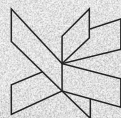


MONA

Matematik- og Naturfagsdidaktik
– tidsskrift for undervisere, forskere og formidlere



SYDDANSK UNIVERSITET



VIA University
College



PROFESSIONS-
HØJSKOLEN
ABSALON



AARHUS
UNIVERSITET

KØBENHAVNS
PROFESSIONS
HØJSKOLE **KP**



: Erhvervsakademi og
: Professionshøjskole

DASG
Danske Science Gymnasier



KØBENHAVNS UNIVERSITET
NATUR- OG BIOVIDENSKAB

MONA

Matematik- og Naturfagsdidaktik – tidsskrift for undervisere, forskere og formidlere

MONA udgives af Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet ved Københavns Universitet, i samarbejde med Det Tekniske Fakultet og Det Naturvidenskabelige Fakultet ved Syddansk Universitet, Hovedområdet Science & Technology ved Aarhus Universitet, Det Lærerfaglige Fakultet ved Københavns Professionshøjskole, UCL Erhvervsakademi og Professionshøjskole, Center for Skole og Læring ved Professionshøjskolen Absalon, VIA University College og Danske Science Gymnasier.

Redaktion

Jesper Bruun, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet (ansvarshavende)

Dorte Moeskær Larsen, Syddansk Universitet

Elzebeth Berg Wøhlk, Københavns Professionshøjskole

Magnus Boye, Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet

Redaktionskomité

Bjørn Johannsen, Københavns Professionshøjskole

Brian Krog Christensen, Danske Science Gymnasier

Charlotte Krog Skott, Professionshøjskolen Absalon

Martin Krabbe Sillasen, Læreruddannelsen i Aarhus, VIA University College

Morten Christensen, UCL Erhvervsakademi og Professionshøjskole

Niels Anders Illemann Petersen, Professionshøjskolen UCN

Manuskripter

Manuskripter indsendes per mail, se www.ind.ku.dk/mona. Medmindre andet aftales med redaktionen, skal der anvendes den artikelskabelon i Word som findes på www.ind.ku.dk/mona. Her findes også forfattervejledning. Artikler i MONA publiceres efter peer-review (dobbelt blindt).

Produktionsplan og deadlines for indsendelse af bidrag til MONA

Artikelmanuskripter og forslag til aktuelle analyser modtages løbende og behandles så hurtigt som muligt. Den redaktionelle proces (inkl. peer-review) tager mindst tre måneder. Deadlines aftales individuelt.

Layout og sats: Narayana Press

ISSN: 2245-8948 © MONA 2026

Citat kun med tydelig kildeangivelse

Indhold

- 4 Fra redaktionen
- 6 **Artikler**
- 7 Brøker, fejlsvar og regnestrategier
– en analyse af fejlsvar i folkeskolens prøve i matematik
Pernille Ladegaard Pedersen, Christian Gregersen Brix og Bent Sortkær
- 27 Digital matematisk myndiggørelse
Cecilie Carlsen Bach, Camilla Finsterbach Kaup, Jack Jalal Kallo og Morten Misfeldt
- 48 **Aktuel analyse**
- 49 Forstå teknologien: Fra filosofi til didaktik
Keld Nielsen
- 70 **Kommentarer**
- 71 Fra typologi til didaktisk handling
Anette Vestergaard Nielsen
- 74 Hvordan bevares de faglige pointer, når lærerstuderende arbejder med didaktisk rekonstruktion?
Peter Wied Stenkilde
- 78 **Litteratur**
- 79 Nyt manifest for naturfag er både et opråb og en drømmevision
Elzabeth Berg Wøhlk

Fra redaktionen

Efter 17 år som ansvarshavende chefredaktør har professor Jens Dolin valgt at træde tilbage og bruge mere tid på sit velfortjente otium. Jens har været med i MONA-redaktionen helt fra tidsskriftets start i 2005 og har været en afgørende drivkraft i dets udvikling lige siden. Herfra lyder en stor tak og en fuld kanonsalut for den store indsats.

Nøglerne til MONA-maskineriet gives videre til Jesper Bruun, der er lektor på Institut for Naturfagenes Didaktik. Både Jens og Jesper vil i et kommende nummer få mulighed for at sætte ord på overleveringen.

I dette nummer har vi to artikler, en analyse, en anmeldelse samt to kommentarer til tidligere artikler.

Regnestrategier er vigtige for elevers matematiske udvikling, men forskning i strategier for rationale tal er begrænset. I artiklen “Brøker, fejlsvar og regnestrategier – en analyse af fejlsvar i folkeskolens prøve i matematik” afdækker Pernille Ladegaard Pedersen, Christian Gregersen Brix og Bent Sortkær begrebet regnestrategier i relation til regning med brøker.

I artiklen bliver fejlsvar til brøkopgaver i folkeskolens prøve i matematik uden hjælpemidler for 9. klasse analyseret. Analysen af fejlsvar viser omfanget af en mangelfuld talforståelse samt det, forfatterne kalder en fragmentbaseret metode til brøkgregning, hvor tæller og nævner fejlagtigt bliver opfattet uafhængigt af hinanden.

Undervisningen i brøker bør have som mål, at eleverne udvikler deres regnestrategier inden for brøker, så de mestrer et bredt udsnit af strategier og kan anvende disse adaptivt og fleksibelt, lyder det fra forfatterne.

Med implementeringen af teknologiforståelse i folkeskolen er der opstået et behov for at forstå, hvordan matematikfaget kan støtte elevers kritiske forståelse af og handlekraft i en digitaliseret verden. Sådan skriver Cecilie Carlsen Bach, Camilla Finsterbach Kaup, Jack Jalal Kallo og Morten Misfeldt i artiklen “Digital matematisk myndiggørelse”.

Forfatterne argumenterer for, at et dannelsesperspektiv frem for et rent kompetenceperspektiv er særligt velegnet til dette formål. Artiklen viser to didaktiske tilgange, teknokritisk matematikundervisning og konstruktionisme, som kan bidrage på komplementære måder til at realisere matematisk myndiggørelse.

Teknologien er ligeledes i centrum i Keld Niensens aktuelle analyse “Forstå teknologien: Fra filosofi til didaktik”. Her giver forfatteren en oversigt over de sidste 30 års udvikling af en filosofi, der beskæftiger sig med teknologi, og som kan give et begrebsmæssigt grundlag for at tænke på, tale om og undervise i teknologi.

Selvom teknologi i årtier har været en del af det faglige indhold i de fire naturfag i grundskolen, har der ikke været faglig enighed om, hvad man som underviser skal lægge i begrebet "teknologi". Keld Nielsen håber, at analysen kan inspirere til løbende diskussioner om, hvad det er, man underviser i, når man underviser i "teknologi".

I takt med at undervisningen i stigende grad bygger på andre materialer end traditionelle lærebøger, er det blevet mere komplekst at udvælge materialer og formidle deres muligheder til lærere. Derfor er Stig Toke Gissels typologi fra artiklen "Typologi for læremidler og ressourcer, der kan bruges til læring eller undervisning" fra *MONA*, 2026(1), et vigtigt bidrag, skriver Anette Vestergaard Nielsen i en kommentar. Men typologiens fulde styrke vil først blive udfoldet, når kategorierne i højere grad kobles til de didaktiske valg, som lærere hver dag træffer i mødet med elever, fag og undervisningens mange ressourcer, skriver hun.

Når ny forskning skal oversættes til undervisning i grundskolen, er der ikke mange konkrete anvisninger at hente i MER-modellen. Sådan skriver Peter Wied Stenkilde i en kommentar til "På hvilken måde kommer den nye viden ind i undervisningen? Lærerstudentens arbejde med didaktisk rekonstruktion i naturfag" fra *MONA*, 2026(1). Stenkilde deler erfaringer med samme slags oversættelse fra forskningsprojektet Albatros og understreger, at der ikke findes en simpel løsning på, hvilke faglige og didaktiske greb man kan benytte, som både tilpasser den faglige kompleksitet og samtidig bevarer de forskningsmæssige pointer.

Vi runder nummeret af med en anmeldelse af "Manifest for et andet naturfag" af Thomas Ziegler Larsen, Karsten Elmose Vad, Katrine Minddal og Katrine Dicte Blohm. Her skriver Elzebeth Berg Wøhlk, at bogen leverer et kærkomment og nødvendigt opråb. Men bogen bliver også en urealistisk drømmevision, der ikke i høj nok grad kan hjælpe lærerne i natur/teknologi med at gøre det godt inden for de rammer, der er stillet til rådighed for dem, lyder det.

God læsning



Artikler

I denne sektion bringes artikler der er vurderet i henhold til MONA's reviewprocedure og derefter blevet accepteret til publikation.

Brøker, fejlsvar og regnestrategier

– en analyse af fejlsvar i folkeskolens prøve i matematik



Pernille Ladegaard
Pedersen, VIA University
College



Christian Gregersen Brix,
VIA University College



Bent Sortkær, VIA
University College

Abstract: *Regnestrategier er vigtige for elevers matematiske udvikling, men forskning i strategier for rationale tal er begrænset. I denne artikel afdækker vi begrebet regnestrategier i relation til regning med brøker. Vi introducerer analysebegrebet fragmentbaseret metode og anvender dette i en analyse af fejlsvar knyttet til brøkopgaver i folkeskolens prøve i matematik uden hjælpemidler for 9. klasse. Analysen af fejlsvar viser omfanget af en mangelfuld talforståelse, og at der anvendes en fragmentbaseret metode. Undervisningen i brøker bør have som mål, at eleverne udvikler deres regnestrategier inden for brøker, så de mestrer et bredt udsnit af strategier og kan anvende disse adaptivt og fleksibelt.*

Introduktion

Forskningen inden for talbaserede regnestrategier med de naturlige tal har i de seneste år fyldt en del i det didaktiske landskab i Danmark (fx Jóelsdóttir & Sunde, 2024; Sunde, 2022) såvel som internationalt (fx Hickendorff et al., 2019; Geary et al., 2004; Verschaffel, 2023). Idéerne om regnestrategier har derfor også en central plads i den danske grundskole. I læseplanen for matematik fra 2019 står der bl.a.:

“Det er centralt, at læreren udfordrer og støtter de enkelte elever på en måde, så eleverne udvikler deres regnestrategier på baggrund af deres talforståelse frem for at lære procedurer for opstilling og udregning. Der sigtes ikke mod opøvelsen af standardiserede algoritmer” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, s. 15).

Afsættet for udviklingen af regnestrategier som beskrevet i læseplanen bør være funderet i elevernes talforståelse, og det er vigtigt at understrege, at udviklingen af regnestrategier ikke nødvendigvis er begrænset til de naturlige tal, men også gælder fx rationale tal, som denne artikel fokuserer på. I denne artikel er der fokus på rationale tal skrevet som brøk, $\frac{a}{b}$, hvor a og b er naturlige tal. Dette indebærer en holistisk tilgang, der integrerer konceptuel forståelse med praktiske anvendelser (Hiebert & Carpenter, 1992; Kilpatrick et al., 2001). Dette styrker elevernes evne til at anvende deres matematiske viden i varierende kontekster. Derudover understreger undervisningsvejledningen, at arbejdet med regnestrategier ikke alene skal have til formål at fokusere på elevernes beregninger. I stedet bør fokus være på at fremme en dybere forståelse af tal og regning.

“Ambitionen er noget andet og mere, end at eleverne får præsenteret beregningsmetoder, som de efterfølgende øver sig på. Formuleringen hænger sammen med, at eleverne skal lære med forståelse. Det er med andre ord ikke hensigten, at eleverne reproducerer beregningsmetoder, men at de udvikler metoder, fordi en sådan udvikling kun kan foregå, når den er forbundet med forståelse af tallenes og regningsarternes egenskaber” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019b, s. 27).

I erkendelse af at mange elever i udskolingen og på ungdomsuddannelserne føler sig usikre i forhold til at arbejde med brøker (fx Christiansen & Sorth-Olsen, 2017), er det vigtigt at undersøge de bagvedliggende årsager til denne udfordring. Når eleverne udtrykker, at de ikke kan huske reglerne eller kun har en vag forståelse af metoderne, kan det indikere, at vi i matematikundervisningen ikke har formået at lade eleverne udvikle den nødvendige dybde i talforståelsen af rationale tal.

I denne artikel undersøger vi, hvori elevernes vanskeligheder i arbejdet med rationale tal ligger. Vi analyserer fejlsvarene fra folkeskolens prøve i matematik uden hjælpemidler for 9. klasse (FP9) for årene 2021 til 2024 (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021b, 2022b, 2023b, 2024b) for at identificere de mest almindelige fejltyper, som eleverne begår i forhold til regning med brøker. Afsættet for analyserne er rapporterne *Data fra folkeskolens prøver i skriftlig matematik* udgivet af Børne- og Undervisningsministeriet (2021a, 2023a, 2024a). Årsagen til, at 2022 ikke er inddraget, er, at brøkopgaverne dette år var teksttunge, og at elevernes fejl i disse opgaver i højere grad kunne handle om tekstforståelse, hvilket ikke er dette studies fokus. Analysen skal forsøge at afdække, hvilke tilgange eleverne anvender i arbejdet med brøker, for derigennem at få indsigt i deres talforståelse.

For at vurdere, om de tendenser og udfordringer, vi observerer i forhold til rationale tal, er unikke for dette emneområde, vil vi kontrastere vores fund med data fra arbejdet med naturlige tal. Artiklens overordnede forskningsinteresse er at udbygge

forståelsen af regnestrategier, så den også omfatter de rationale tal med særligt fokus på brøker. Artiklens forskningsspørgsmål er på denne baggrund:

Hvad fortæller elevers fejlsvar i folkeskolens prøve 2021-2024 i matematik uden hjælpemidler for 9. klasse om deres talforståelse i arbejdet med brøker?

Sammenfattende ønsker vi med afsæt i elevernes fejlsvar at bidrage med viden om, hvilke løsningsmetoder udskolings elever synes at anvende, når de løser brøkopgaver. Målet med analysen er at give indsigt i disse tilgange og elevernes talforståelse inden for brøker. Den nye viden retter sig foruden mod forskning også mod matematiklærere i grundskolen og kan potentielt bidrage med nye perspektiver til arbejdet med udviklingen af elevernes brøkbegreb i undervisningen.

Vanskeligheder ved regning med brøker

Studier har vist, at forståelse af brøker udgør et kritisk punkt i elevernes matematiske udvikling (Bailey et al., 2012; Siegler et al., 2012). Derudover har forskningen vist, at elevernes forståelse af rationale tal også er forbundet til deres algebraiske kunnen (Booth et al., 2014). Desværre oplever mange elever vanskeligheder med at udvikle deres forståelse af brøker (Tian & Siegler, 2017), og disse vanskeligheder fortsætter gennem deres skolegang (Jordan et al., 2017; Siegler et al., 2012). Fx påvirker elevernes forståelse af hele tal deres begrebsdannelse for rationale tal, herunder brøker (Ni & Zhou, 2005; Van Hoof et al., 2015).

At regne med brøker skaber nye indsigter i, hvordan aritmetiske operationer virker på de nye talstørrelser (Lortie-Forgues et al., 2015). Et amerikansk studie har vist, at unøjagtigheder i elevers divisionsregning med heltal er en stor prædikator for deres videre regning med brøker (Siegler & Pyke, 2013). Generelt viser forskningen konsekvent, at elevers forståelse af de naturlige tal har stor betydning for deres senere præcision inden for brøkrekning – selv når der kontrolleres for relevante baggrundsvariable såsom koncentrationsevne og generelle kognitive færdigheder (Bailey et al., 2014). Særligt forståelsen af brøkers størrelse har vist sig at være vigtig for at støtte elevernes brøkrekning. Denne forståelse af brøkers størrelse støtter forståelsen af, at $\frac{1}{3}$ og $\frac{4}{12}$ repræsenterer den samme værdi, når $\frac{1}{3}$ og $\frac{3}{4}$ skal adderes (Pedersen & Bjerre, 2021).

Elevernes fejl i brøkrekning indebærer ofte anvendelse af uhensigtsmæssige strategier, herunder fejl i valg af eller udførelse af algoritme. En af de mest udbredte fejl er, at eleverne behandler brøkernes tæller og nævner som to uafhængige heltal. Dette ses fx i fejl som $\frac{1}{3} + \frac{3}{4} = \frac{4}{7}$ hvor eleverne adderer tællerne og nævnerne hver for sig. Her overfører de deres viden om heltal til brøker og opfatter beregningen som to separate additioner placeret over og under en brøkstreg. Dette fænomen betegnes

som en heltalsdistraktor i form af enten repræsentation eller regneoperation (Van Hoof et al., 2015).

Internationalt er der mangel på studier, som knytter regning med brøker til begrebet regnestrategier, idet regnestrategier primært knyttes til regning med de naturlige tal. Enkelte studier knytter dog regning med brøker sammen med talforståelse (number sense) (fx Bütüner, 2017).

Talbaserede regnestrategier

Regnestrategier er indikatorer for tal- og regneforståelse, og arbejdet med strategier bør sigte mod at udvikle adaptiv ekspertise, det vil sige, at eleven behersker et bredt udsnit af strategier og kan anvende disse *adaptivt* og *fleksibelt* (Sunde, 2022) (vi udfolder begreberne *adaptivitet* og *fleksibilitet* yderligere senere i artiklen). Det står i kontrast til en algoritme, som er en fast og ufravigelig procedure, der altid anvendes på samme måde og trin for trin (Siegler & Jenkins, 1989; Kamii & Dominick, 1997).

Talbaserede regnestrategier fokuserer på en dybere forståelse af tal og deres pladsværdier. Ifølge Jóelsdóttir og Sunde (2024) indebærer arbejdet med talbaserede strategier, at eleverne arbejder med pladsværdien af cifrene i tallene. Det vil sige en forståelse af, hvordan tal kan deles op i fx enere, tiere og hundreder. Dette er i modsætning til cifferbaserede metoder, hvor pladsværdien ignoreres og der således udelukkende arbejdes med tallene fra 0 til 9. Når man fx arbejder med additionen $91 + 19$, kan man med en talbaseret strategi betragte 19 som 1 mindre end 20 og 91 som 1 mere end 90, og derved kan regnestykket forstås som $90 + 20$. Det er blot én af mange strategier, man kan gå til opgaven med. Ved en cifferbaseret tilgang vil cifrene altid betragtes enkeltvis (enerne, $1 + 9$, og tierne, $9 + 1$), hvilket i mindre grad fører til en dybdegående forståelse af tallets samlede størrelse (Jóelsdóttir & Sunde, 2024).

Forskning indikerer således også, at elever, der har adgang til flere regnestrategier og evnen til at vælge imellem dem, ofte har en bedre indsigt i og forståelse af matematiske emner og begreber (Jóelsdóttir et al., 2024; Siegler & Jenkins, 1989; Verschaffel, 2023). Det understreger vigtigheden af at fremme, at eleverne udvikler et repertoire af regnestrategier i undervisningen; hvilket ikke blot hjælper eleverne med at løse opgaver her og nu, men også styrker deres generelle matematiske kompetencer. En væsentlig faktor i elevernes udvikling af talforståelse inden for rationale tal er, at de overkommer de såkaldte heltalsdistraktorer.

Heltalsdistraktorer

En af de største årsager til de problemer, elever oplever, når de arbejder med rationale tal, er det, som på dansk kaldes heltalsdistraktorer – på engelsk enten “natural

number bias” (Vamvakoussi et al., 2012) eller “whole number bias” (Ni & Zhou, 2005). Heltalsdistraktorer refererer til tendensen til, at vores viden om de naturlige tal i nogle tilfælde forstyrrer vores forståelse af og arbejde med de rationale tal (fx Meert et al., 2010; Ni & Zhou, 2005; Van Hoof et al., 2018). Fx vil nogle elever mene, at $\frac{1}{3}$ er større end $\frac{1}{2}$, fordi tallene i nævnerne sammenlignes, og 3 jo er større end 2. Forklaringen kan bl.a. findes i, at forskningen har vist, at der er mindst fem forskellige typer af heltalsdistraktorer, *repræsentation*, *tæthed*, *størrelse*, *regneoperation* og *ækvivalens*, som eleverne i større eller mindre grad møder i arbejdet med brøker (Pedersen, 2021).

- Heltalsdistraktoren *repræsentation* kommer til udtryk, når man betragter en brøknotation som to separate tal; fx tolkes $\frac{1}{3}$ som 1 og 3, og nogle elever vil fejlagtigt mene, at notationen repræsenterer størrelsen 4.
- Heltalsdistraktoren *tæthed* kan beskrives som kontrasten mellem naturlige tal og rationale tal, når det gælder rækkefølgen af tallene. Ved de naturlige tal vil man altid kunne tælle sig frem til det næste tal på tallinjen, mens dette ikke gælder for de rationale tal. For disse gælder at man ikke ved, hvilket tal der kommer som det næste, da der findes uendelig mange tal mellem to rationale tal. Denne forskel fører til den misforståelse, at der kun findes et begrænset antal brøker mellem to brøker eller slet ingen. Fx at der kun findes én brøk mellem $\frac{1}{2}$ og $\frac{1}{4}$, nemlig $\frac{1}{3}$ (McMullen & Van Hoof, 2020; Vamvakoussi et al., 2012).
- Heltalsdistraktoren *størrelse* refererer som tidligere nævnt til, at man opfatter $\frac{1}{3}$ som større end $\frac{1}{2}$, fordi 3 inden for de naturlige tal er større end 2. Selvom vi alle får erfaring med størrelsen på brøkerne i løbet af skoletiden, tager det stadig længere tid at afgøre, hvilken brøk der er størst, når man sammenligner $\frac{2}{3}$ og $\frac{2}{4}$ med brøker som $\frac{3}{5}$ og $\frac{4}{5}$. Det vil sige, at det er lettere at sammenligne brøker med ens nævner, da man så blot kan se på tællerne og trække på sin forståelse inden for de naturlige tal (Meert et al., 2010).
- Heltalsdistraktoren *regneoperation* opstår, når eleverne uhensigtsmæssigt anvender deres viden om de naturlige tal i de fire regneoperationer. Fx når de løser additionsopgaver som $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} = \frac{2}{6}$, hvor eleverne blot lægger henholdsvis tællerne og nævnerne sammen (Van Hoof et al., 2015).
- Heltalsdistraktoren *ækvivalens* indebærer, at eleverne opfatter $\frac{1}{2}$ og $\frac{2}{4}$ som to forskellige størrelser, da der er forskellige tal i tæller og nævner. Inden for de naturlige tal repræsenterer hvert tal en unik mængde eller størrelse, men inden for brøker kan to forskellige brøker repræsentere den samme størrelse (Pedersen, 2021).

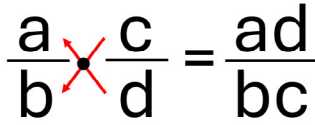
Der er således forskellige typer af heltalsdistraktorer, som forstyrrer eller distraherer, når der arbejdes med brøker. Det er samtidig vigtigt at understrege, at fundamentet med talforståelse og regnestrategier, der er opbygget i arbejdet med de naturlige tal,

stadig er centralt at have på plads, inden der arbejdes videre med en udvidelse af talbegrebet. Foruden heltalsdistraktorer vil vi i denne artikel introducere et nyt begreb, som vi har valgt at kalde *fragmentbaseret metode*.

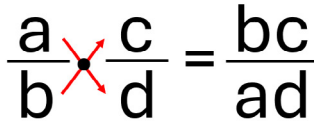
Fragmentbaseret metode

Når talbegrebet udvides til også at omfatte brøker, opstår spørgsmålet om, hvad der sker i arbejdet med talbaserede regnestrategier, når man betragter brøker som tal. Her giver det ikke længere mening at se på tallets pladsværdi og tale om cifferbaserede metoder. Notationen $\frac{a}{b}$ indeholder ikke nogen pladsværdier – det er et forhold mellem tæller og nævner. Cifferbaserede metoder mister derved i de fleste tilfælde deres gyldighed i arbejdet med brøker, da eleverne altid bør betragte den samlede størrelse, som brøkerne repræsenterer, og ikke blot betragte tæller og nævner enkeltvis. Et eksempel kunne være, når eleverne dividerer to brøker med hinanden ved blot at "gange på kryds", det vil sige tællerne med nævnerne (se figur 1), uden at forholde sig til brøkernes størrelse. For at beskrive fænomenet, at elever forholder sig til tæller og nævner fragmenteret uden at betragte dem som en samlet brøk og dermed en samlet størrelse, vil vi i denne artikel introducere begrebet *fragmentbaseret metode*.

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d}$$



Korrekt udført algoritme for at "gange på kryds".



Forkert udført algoritme for at "gange på kryds".

Figur 1. Eksempler på division med to brøker, som gøres ved "at gange på kryds".

En *fragmentbaseret metode* i forhold til brøker er således beslægtet med de cifferbaserede metoder inden for regning med de naturlige tal. Det er ikke tilrådeligt, at elever arbejder cifferorienteret med naturlige tal, og inden for brøker er det tilmed en helt meningsforladt metode, idet det i arbejdet med brøker er afgørende, at de ikke betragter nævner og tæller som to uafhængige dele. I stedet skal eleverne forstå en brøk som én samlet størrelse, hvor forholdet mellem del og helhed er det centrale. I en fragmentbaseret metode vil de netop betragte tæller og nævner uafhængigt og i forhold til tallenes isolerede størrelser. I arbejdet med regnestrategier og brøker er det

centralt, at eleverne forholder sig til størrelsen af brøkerne i de opgaver, de står over for. Hvis man fx ser på additionen $\frac{1}{2} + \frac{3}{4}$, vil en algoritmisk tilgang være at gange nævnerne og herefter gange hver nævner med den anden brøks tæller: $\frac{1}{2} + \frac{3}{4} = \frac{1 \cdot 4 + 3 \cdot 2}{2 \cdot 4} = \frac{10}{8}$.

Men tages der derimod afsæt i forskellige regnestrategier, som kan anvendes, når to brøker skal lægges sammen, er der mange måder, eleverne kan gribe opgaven an på:

- Omskriv $\frac{1}{2}$ til $\frac{2}{4}$, og læg herefter tællerne sammen.
- Tag afsæt i den største brøk, $\frac{3}{4}$. Omskriv den anden brøk, $\frac{1}{2}$, til $\frac{1}{4}$ og $\frac{1}{4}$. Læg den ene $\frac{1}{4}$ til $\frac{3}{4}$, hvilket er en hel. Så har du $\frac{1}{4}$ mere – og du har lagt $\frac{1}{2}$ til.
- Omskriv til decimaltal: $0,5 + 0,75$.

Det er blot nogle eksempler. Fælles for dem alle er, at de kræver en forståelse af en brøk som en helhed, og at man ikke blot opfatter tæller og nævner fragmenteret hver for sig. Hvilken strategi der vælges, afhænger af opgaven eller den kontekst, opgaven befinder sig i – altså et spørgsmål om *adaptivitet*. Hvor ovenstående eksempler alle tager afsæt i løsninger gennem talsymboler, kan *adaptivitet* også komme til udtryk gennem brugen af andre repræsentationer såsom cirkler eller tallinjer (Heinze et al., 2009). Den strategi, man vælger, må være baseret på den specifikke kontekst og det regnestykke, man står over for. *Adaptivitet* refererer således til evnen til at tilpasse en strategi til en given opgave eller situation. *Fleksibilitet* i regning med brøker viser sig eksempelvis, når eleverne vælger at omskrive til decimaltal, da de bruger deres viden inden for en anden repræsentation af de rationale tal. Eller hvis eleverne bruger erfaringerne fra løsning af additionsstykker, når de fx skal løse subtraktionen $\frac{3}{4} - \frac{1}{2}$. *Fleksibilitet* involverer således det at kunne skifte mellem forskellige strategier (Baroody, 2003; Heinze et al., 2009; Jóelsdóttir & Sunde, 2024). Kun elever med talforståelse i relation til rationale tal vil kunne tilgå og løse brøkopgaver både *adaptivt* og *fleksibelt*.

Dette studie

Med udgangspunkt i ovenstående præsenterede begrebsapparat vil vi undersøge elevers fejlsvar i brøkopgaver. Herigennem vil vi pege på mulige årsager til, at fejlene er opstået. Vi har ikke adgang til hverken elevernes beregninger eller elevernes tanker. Nedenfor beskriver vi vores empiriske grundlag og de metodiske valg, vi har foretaget.

Analysens datagrundlag

Vores empiriske grundlag er prøvesættene til FP9 fra årene 2021 til 2024 (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021b, 2022b, 2023b, 2024b), hvorfra opgaverne er valgt, samt rapporterne *Data fra folkeskolens prøver i skriftlig matematik* 2021 til 2024, som

hvert år udarbejdes af Børne- og Undervisningsministeriet. I disse rapporter opgøres antallet af fejlsvare i de enkelte opgaver samt en oversigt over de hyppigst forekommende fejlsvare. Fejlsvarene, der ligger til grund for vores analyser, er således hentet fra mere end 250.000 elever i alderen 14-16 år.

Vores primære analytiske fokus er at undersøge brøkopgaverne med det formål at forstå, hvilke typer af fejlsvare eleverne giver. Til analysen har vi udvalgt de opgaver, der eksplicit formulerer en "ren" brøkopgave. Opgaver, hvor eleverne selv skulle udlede brøker fra tekstbeskrivelser, har vi fravalgt, fordi fejlene i sådanne opgaver kunne skyldes elevernes forståelse af teksten og ikke nødvendigvis deres færdigheder og forståelse af brøker. Eksempelvis fravalgte vi fra FP9 i 2022 følgende tekstopgave: "I Annas klasse er $\frac{3}{7}$ af eleverne 15 år. Hvor stor en brøkdel af eleverne er *ikke* 15 år?" De specifikke opgaver, vi har analyseret, er gengivet i tabel 2. Vores analytiske tilgang består i at se på de hyppigst forekommende fejlsvare og fortolke disse med udgangspunkt i de tidligere præsenterede teoretiske begreber. Derfor har vi valgt kun at medtage de fejlsvare, som udgør mere end 10 % af det samlede antal fejlsvare i opgaven. Denne grænse kunne være sat højere eller lavere, men netop denne grænse synes at få mange forskellige typer af fejlsvare, hvorimod en lavere grænse ikke vil bidrage med yderligere typer af fejlsvare. Desuden har vi set på fejlprocenterne i de fire opgaver med de fire regningsarter inden for de naturlige tal, der optræder i alle fire analyserede prøvesæt. Det har vi gjort for at undersøge, om brøkgregning udgør en særlig udfordring for eleverne, eller om de møder de samme vanskeligheder ved beregninger med naturlige tal.

Inden vi præsenterer analysens resultater, er der to forhold, der er vigtige at understrege: 1) Vi undersøger elevernes fejlsvare. Vi har således ikke data om, hvad den enkelte elev tænkte eller gjorde i prøvesituationen – kun det svar, eleven leverede. Derfor ser vi på mange besvarelser (250.000+) og koncentrerer vores analyse om de fejlsvare, som mange elever giver. På den måde sandsynliggør vi, at de mange ens fejlsvare trækker på de samme eller sammenlignelige overvejelser og tanker. 2) De svar, eleverne giver i en prøvesituation, er ikke nødvendigvis et udtryk for, hvad de forstår, ved og kan. De vil højst sandsynligt svare anderledes i en anden sammenhæng, fx i den almindelige undervisning. Ikke desto mindre vil vores analyse af typiske fejlsvare, der fortæller noget om, hvilke strategier og/eller algoritmer eleverne tyr til i netop eksamenssituationen, give vigtig viden om den daglige undervisning.

Resultater

Regning med naturlige tal versus brøker

I tabel 1 ses en oversigt over fire opgaver inden for de fire regningsarter med naturlige tal for hvert af de fire år, som vi undersøger. Procentandelene af korrekte svar på disse

opgaver ligger mellem 64 % og 94 %. I tabel 2 gengiver vi de brøkopgaver, som vi har udvalgt til analyse, samt antallet af korrekte besvarelser. I tabellen har vi ligeledes medtaget de hyppigst forekommende fejlsvar og andelen af elever, der har angivet netop de fejlsvar, som en procentdel af alle fejlsvar.

Tabel 1. Oversigt over de fire opgaver med de fire regningsarter med de naturlige tal. 2021-2024.

2021		2022		2023		2024	
Opgave	Andel af elever med korrekt svar	Opgave	Andel af elever med korrekt svar	Opgave	Andel af elever med korrekt svar	Opgave	Andel af elever med korrekt svar
2345 + 997	87 %	999 + 199	92 %	478 + 523	94 %	649 + 749	93 %
1302 – 298	71 %	1015 – 816	75 %	1301 – 559	66 %	1008 – 989	77 %
11 * 72	81 %	8 * 703	74 %	99 * 18	64 %	15 * 35	71 %
2008: 4	85 %	5427: 9	67 %	15030: 15	68 %	1208: 8	75 %

Kilde: Børne- og Undervisningsministeriet (2021a, 2021b, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2024a, 2024b).

Ser vi på de korrekte svar på de syv brøkopgaver, som vi har inkluderet i analysen, er det tydeligt, at opgaverne med de fire regningsarter inden for naturlige tal er lettere for eleverne end opgaverne med brøkgregning. Andelene af korrekte svar inden for brøker ligger på mellem 22 % og 71 %, og for de seks af opgaverne har cirka halvdelen eller færre svaret rigtigt. Mest sammenlignelige er opgave 10.1, 10.2 og 10.3 fra 2024, som er brøkgregning med de tre regningsarter addition, multiplikation og division. Her svarer henholdsvis 44 %, 52 % og 22 % rigtigt på brøkstykkerne, hvilket er væsentlig færre end de tilsvarende stykker med de naturlige tal (tabel 1). På trods af elevernes udfordringer med brøkgregning er det positivt, at der er en høj svarprocent inden for både regning med de naturlige tal og regning med brøker (mellem 92 % og 98 %). Eleverne forsøger med andre ord at komme med et bud på et svar – også i en prøvesituation.

Tabel 2. Oversigt over brøkopgaver i FP9 2021-2024 samt fejlsvar.

	Opgave	År	Andel af elever med korrekt svar	Fejlsvar	Andel af elever, der har afgivet fejlsvaret, i forhold til alle afgivne fejlsvar
7.2	Skriv en brøk, der er halvt så stor som $\frac{4}{7}$	2021	52 %	$\frac{2}{3}$	25 %
				$\frac{8}{14}$	18 %
6.3	$\frac{1}{2} + - = \frac{7}{8}$	2023	32 %	$\frac{6}{6}$	41 %
10.1	Hvilken brøk er større end $\frac{1}{2}$? $\frac{7}{18}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{41}{90}$, $\frac{11}{21}$ eller $\frac{116}{251}$	2023	71 %	$\frac{1}{3}$	41 %
10.2	Hvilket regnestykke har et resultat, der er større end 1? $\frac{2}{3} + \frac{1}{4}$, $\frac{4}{15} + \frac{2}{3}$, $\frac{3}{8} + \frac{2}{5}$, $\frac{5}{6} + \frac{1}{5}$ eller $\frac{3}{7} + \frac{1}{2}$	2023	51 %	$\frac{4}{15} + \frac{2}{3}$	30 %
				$\frac{2}{3} + \frac{1}{4}$	29 %
				$\frac{3}{8} + \frac{2}{5}$	25 %
10.1	$\frac{1}{2} + \frac{3}{4}$	2024	44 %	$\frac{4}{6}$	46 %
10.2	$\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3}$	2024	52 %	$\frac{3}{4}$	14 %
				$\frac{7}{6}$	12 %
10.3	$2 : \frac{1}{2}$	2024	22 %	$\frac{1}{4}$	21 %
				1	15 %
				0,25	15 %

Kilde: Børne- og Undervisningsministeriet (2021a, 2021b, 2023a, 2023b, 2024a, 2024b).

I nedenstående vil vi analysere og fortolke de syv udvalgte opgaver hver for sig og beskrive, hvordan eleverne kan være kommet frem til de angivne fejlsvar. Analyserne henviser alle til tabel 2.

Opgave 7.2 (år 2021)

I opgave 7.2 bliver eleverne bedt om at skrive en brøk, som er halvt så stor som $\frac{4}{7}$ (FP9 2021, 7.2). 48 % af eleverne svarer ikke korrekt på denne opgave. Det hyppigste fejlsvar er $\frac{2}{3}$, som dækker 25 % af fejlsvarene. En oplagt forklaring kan være, at eleverne ikke ved, hvad en halvt så stor brøk er, og det er den underliggende årsag til de forskellige fejlsvar. En mulig fremgangsmåde til at komme frem til svaret $\frac{2}{3}$ er, at eleverne halverer tæller og nævner ($\frac{4:2}{7:2} = \frac{2}{3,5}$) og så ændrer decimaltallet 3,5 til 3, da decimaltal ikke kan stå i ægte brøker. Svaret tyder på indflydelse af heltalsdistraktoren *repræsentation*, da eleverne opfatter tæller og nævner enkeltvis og dermed fragmenteret og således forsøger at halvere hele brøken ved at halvere tæller og nævner enkeltvis.

Det næsthyppigste fejlsvar er $\frac{8}{14}$, som dækker over 18 % af fejlsvarene (se tabel 2). Eleverne har i deres svar ganget med 2 i tæller og nævner ($\frac{2 \cdot 4}{2 \cdot 7} = \frac{8}{14}$). Det kan være en sammenblanding af algoritmen for at forlænge brøker og det at halvere en brøk. Svaret indikerer en indflydelse af heltalsdistraktorerne *repræsentation* og *ækvivalens*. *Repræsentation* kommer til udtryk, da eleverne opfatter tæller og nævner enkeltvis og fragmenteret og fordobler dem. *Ækvivalens* kommer til udtryk, da eleverne reelt set blot forlænger brøken fra $\frac{4}{7}$ til $\frac{8}{14}$ uden at opfatte, at disse to brøker er ækvivalente. Samlet set ser elevernes fejlsvar ud til at være funderet i en *fragmentbaseret metode*, da de forsøger at anvende algoritmer uden at betragte brøken som en samlet størrelse – og dermed uden tegn på talforståelse knyttet til rationale tal.

Opgave 6.3 (år 2023)

I opgaven skal eleverne løse additionsstykket $\frac{1}{2} + - = \frac{7}{8}$ (FP9 2023, 6.3). 68 % af eleverne svarer forkert på opgaven. Det hyppigste fejlsvar er $\frac{6}{6}$, som dækker over 41 % af fejlsvarene. Det tyder på, at eleverne har tænkt, at $\frac{1}{2} + \frac{6}{6} = \frac{1+6}{2+8} = \frac{7}{8}$, og dermed fragmenteret har lagt tæller sammen med tæller og nævner sammen med nævner. Dette tyder på indflydelse fra både heltalsdistraktoren *regneoperation* og heltalsdistraktoren *repræsentation* og muligvis også en sammenblanding med standardalgoritmen for multiplikation. Opgaven kan ikke betragtes som en standard-additionsopgave, da den er udformet som en opgave med en ubekendt pladsholder. Det virker, som om disse elever arbejder uden afsæt i en talforståelse af størrelsen på de to brøker. De anvender dermed ikke nogen regnestrategier i deres arbejde med addition af de to brøker. Samlet set tyder det på, at elevernes fejlsvar primært er funderet i en *fragmentbaseret metode* og et forsøg på at anvende en algoritme.

Opgave 10.1 (år 2023)

I opgaven bliver eleverne bedt om at pege på, hvilken af brøkerne $(\frac{7}{18}, \frac{1}{3}, \frac{41}{90}, \frac{11}{21}$ eller $\frac{116}{251})$ der er større end $\frac{1}{2}$ (FP9 2023, 10.1). 29 % af eleverne svarer rigtigt på denne opgave. Det hyppigste fejlsvar er $\frac{1}{3}$, som dækker over 41 % af fejlsvarerne. Årsagen til, at netop $\frac{1}{3}$ vælges, kan være, at det er den mest kendte brøk, da det er en stambrøk og dermed et oplagt gæt, da det er en multiple choice-opgave. At eleverne holder fast i, at den brøk må være det rigtige svar, kan være blevet forstærket af heltalsdistraktoren *størrelse*, da de formentlig har anskuet, at 3 er større end 2, og dermed må det være det rigtige svar.

Opgave 10.2 (år 2023)

I denne opgave skal eleverne pege på, hvilket af brøkgrenestykkerne $(\frac{2}{3} + \frac{1}{4}, \frac{4}{15} + \frac{2}{3}, \frac{3}{8} + \frac{2}{5}, \frac{5}{6} + \frac{1}{5}$ eller $\frac{3}{7} + \frac{1}{2})$ som giver et resultat, der er større end 1. 49 % af eleverne svarer forkert på opgaven.

Det hyppigste fejlsvar er $\frac{4}{15} + \frac{2}{3}$, som dækker over 30 % af fejlsvarerne. Elevernes svar tyder på, at de har valgt regnestykket med den brøk, som indeholder det største heltal, nemlig 15. Det kan være et tegn på heltalsdistraktoren *størrelse*, da eleverne formentlig ikke anskuer brøkens størrelse som et forhold mellem tæller og nævner, men blot finder den brøk med det største heltal, hvilket er en strategi, som er overført fra de naturlige tal.

Dernæst kommer $\frac{2}{3} + \frac{1}{4}$, som dækker over 29 % af fejlsvarerne. Svaret peger i retning af, at eleverne har forholdt sig til, at $\frac{2}{3}$ mangler noget for at blive større end 1. $\frac{2}{3}$ mangler netop $\frac{1}{3}$ for at blive 1, men eleverne vælger stykket, hvor der adderes $\frac{1}{4}$, hvilket peger på heltalsdistraktoren *størrelse*, fordi eleverne formentlig anskuer, at $\frac{1}{4}$ er større end $\frac{1}{3}$.

Det tredjehyppigste svar er $\frac{3}{8} + \frac{2}{5}$, som dækker over 25 % af fejlsvarerne. Vi har faktisk haft svært ved entydigt at afkode elevernes mulige ræsonnement for at vælge dette svar. Et bud kunne være, at eleverne vælger en af de muligheder, hvor tallet 1 ikke optræder i tælleren, da tal med 1 i tælleren virker små. Blandt de to tilbageværende muligheder vælger eleverne så brøkerne med den mindste nævner – enten samlet eller ved at undgå brøken med 15 i nævneren. Hvis det er tilfældet, udviser eleverne en begyndende forståelse for både tællerens og nævnerens betydning for brøkens størrelse, men formår ikke at følge deres forståelse for brøker op med en mere præcis beregning. Eleverne viser således et begyndende opgør med den *fragmentbaserede metode*. Det kan dog heller ikke udelukkes, at en del af de 25 % har sat deres kryds ved dette svar, alene fordi opgaven er en multiple choice-opgave med fem svarmuligheder. Hvis eleverne havde svaret helt tilfældigt, ville 20 % af eleverne have sat deres kryds ud for denne mulighed.

Opgave 10.1 (år 2024)

Opgaven $\frac{1}{2} + \frac{3}{4}$ er en brøkopgave med addition (FP9 2024, 10.1). 56 % af eleverne svarer ikke korrekt på denne opgave. 25 % af eleverne giver svaret $\frac{4}{6}$, hvilket tyder på, at de har tænkt, at $\frac{1}{2} + \frac{3}{4} = \frac{1+3}{2+4} = \frac{4}{6}$, og derved har anskuet tæller og nævner fragmenteret og lagt tæller sammen med tæller og nævner sammen med nævner, hvilket tyder på indflydelse fra heltalsdistraktoren *regneoperation* og muligvis også en sammenblanding med standardalgoritmen for multiplikation.

Det virker, som om denne gruppe elever arbejder uden afsæt i en talforståelse af størrelsen på de to brøker. De anvender med andre ord ikke nogen regnestrategier i deres arbejde med addition af de to brøker. Samlet set tyder det på, at elevernes fejlsvar primært er funderet i en *fragmentbaseret metode* og et forsøg på at anvende en algoritme.

Opgave 10.2 (år 2024)

Hvis vi ser på multiplikationsstykket $\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3}$ (FP9 2024, 10.2), har 52 % af eleverne svaret korrekt på opgaven (se tabel 2). Stykket er med andre ord lettere end ovenstående additionsopgave, når vi ser på antallet af korrekte svar. Når vi ser på de ikke-korrekte svar, er 14 % af alle fejlsvar $\frac{3}{4}$. Årsagen til denne fejl skyldes sandsynligvis, at eleverne benytter algoritmen for division og ganger igennem således: $\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 2} = \frac{3}{4}$. I den samme opgave har 5 % af alle elever svaret $\frac{7}{6}$ (12 % af fejlsvarene). En forklaring er, at eleverne har forlænget brøkerne med fællesnævneren 6 og derefter lagt dem sammen, og dermed har eleverne altså løst opgaven som et additionsstykke. Det tyder således på, at eleverne har blandet regnearterne sammen.

Opgave 10.3 (år 2024)

Det sidste stykke, vi har med i analysen, er med division og lyder $2 : \frac{1}{2}$ (FP9 2024, 10.3). Her svarer blot 22 % af eleverne korrekt på opgaven. Det hyppigst givne fejlsvar er $\frac{1}{4}$, hvilket tyder på, at eleverne har multipliceret nævneren med 2. Dette svar udgør 21 % af alle fejlsvar. Årsagen til svaret kan være, at eleverne blander algoritmerne inden for brøkgregning sammen, idet det virker, som om de har løst $\frac{1}{2} : 2$ – altså har de ubevidst generaliseret den kommutative lov uheldigt ind i regneoperationen division. Resultatet $\frac{1}{4}$ kan også virke sandsynligt for eleverne, da deres erfaring med division af naturlige tal ofte giver et mindre tal som svar end dividenden. Her er eleverne påvirket af heltalsdistraktoren *regneoperation* ved division. Svaret 0,25 udgør 15 % af fejlsvarene. Her har eleverne sandsynligvis omskrevet $\frac{1}{2}$ til decimaltallet 0,5 og delt det med 2. Igen er det en uheldig brug af den kommutative lov.

Fejlsvaret 1 udgør ligeledes 15 % af alle fejlsvar. En mulig forklaring på svaret kan være, at eleverne har betragtet opgaven som en multiplikationsopgave og har ganget op i tælleren og fået $\frac{2}{2}$, hvilket de så har forkortet til 1. En anden forklaring kan være, at

eleverne har tænkt, at det halve af 2 er 1. Endelig kan en tredje forklaring være, at de har lært at omskrive 2 til brøken $\frac{2}{1}$ og derefter har ganget forkert "på kryds". Det ville igen være et udtryk for en *fragmentbaseret metode*. Da vi kun har elevernes svar og ikke deres ræsonnementer bag svaret, kan vi ikke vide, hvordan de er kommet frem til netop det svar.

Alt i alt blander eleverne forskellige algoritmer sammen i regningen med brøker – og overordnet anvender de en *fragmentbaseret metode*. Det vil sige, at de betragter tæller og nævner hver for sig og ikke ser på brøkens samlede størrelse. Når eleverne omskriver brøken til et decimaltal, så de når frem til svaret 0,25, er der dog ikke tale om en *fragmentbaseret metode*; til gengæld viser de problemer med forståelsen af regneoperationen division inden for decimaltal. Det virker, som om deres forståelse af division er influeret af en heltalsdistraktor, når de forventer, at resultatet af division skal blive mindre end dividenden – ligesom inden for division med naturlige tal. Spørgsmålet er, om de har udviklet en forståelse af division som målingsdivision (fx "Hvor mange gange kan en halv meter være inden i 2 meter?"). Desværre har vi ingen data, der viser deres ræsonnementer.

Konklusion og diskussion

I artiklen har vi analyseret de hyppigste fejlsvar fra folkeskolens prøve i matematik uden hjælpemidler for 9. klasse (FP9) for årene 2021 til 2024 (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021b, 2022b, 2023b, 2024b). Vores analyse viser, at langt flere elever svarer forkert på opgaver, hvor der indgår brøker, end på sammenlignelige opgaver med de fire regningsarter, hvor der regnes med de naturlige tal. I seks ud af syv tilfælde svarede omkring halvdelen eller færre rigtigt på brøkopgaverne (andelen af korrekte svar var på mellem 22 % og 71 % – se tabel 2), mens væsentlig flere svarede rigtigt på opgaver med de naturlige tal (andelen af korrekte svar var på mellem 64 % og 94 % – se tabel 1). Denne del af analysen viser dermed tydeligt, at arbejdet med de rationale tal er noget, der bør have et øget fokus i undervisningen i skolen, så der skabes muligheder for, at eleverne kan udvikle deres talforståelse, også inden for de rationale tal.

I den centrale del af analysen undersøger vi, hvilke typer af fejlsvar eleverne giver. Ved at trække på begrebet heltalsdistraktorer finder vi, at eleverne ofte benytter logikker fra regning med de naturlige tal eller benytter algoritmer fejlagtigt. Gennemgående for de fleste fejlsvar er, at eleverne behandler tæller og nævner for sig og dermed fragmenteret. Dermed tager de ikke afsæt i en forståelse af den størrelse, brøken samlet repræsenterer. Dette forhold har vi i artiklen navngivet *fragmentbaseret metode*. Ligesom det inden for de naturlige tal er problematisk at have en cifferbaseret tilgang, er det problematisk at have en *fragmentbaseret metode* inden for brøker, da ingen af de to tilgange bygger på en talforståelse (jf. fagets læseplan). Det er således

centralt at få en opmærksomhed på og et begreb for denne tilgang inden for arbejdet med brøker – hvilket *fragmentbaseret metode* giver. Derudover er den *fragmentbaserede metode* i høj grad støttet af heltalsdistraktoren *repræsentation*, hvor eleverne ikke ser størrelsen som et forhold mellem tæller og nævner.

Analysen af fejlsvar tyder derfor på, at en stor del af eleverne ikke har opnået en tilstrækkelig talforståelse inden for regning med brøker, og at de dermed ikke benytter regnestrategier som afsæt for løsningen af brøkopgaverne. Det er her vigtigt at gentage, at vores analyse netop kun er knyttet til elevernes fejlsvar og kun kan sige noget om disse, da vi kun har elevernes svar og ikke deres ræsonnementer.

På trods af at læseplanen i matematik i de seneste 20 år har fokuseret på talforståelse og regnestrategier, synes målet således ikke at være nået for en stor gruppe af elever, når det kommer til talforståelse og regnestrategier inden for brøkgregning. Det er problematisk, idet bl.a. dansk forskning har vist, at elever, der foretrækker regnemetoder, der bygger på talforståelse, ser ud til at klare sig bedre i matematik end de elever, der foretrækker standardalgoritmen eller simple tællestrategier (Jóelsdóttir et al., 2024). Brøker er tilmed blevet betragtet som en gatekeeper videre i elevernes matematiske udvikling. Man kan således se, at de elever, som ikke opbygger en forståelse af brøker, har en meget begrænset videre udvikling i matematikken (Siegler et al., 2012). Det kan bl.a. forklares ved, at brøker også spiller en central rolle i arbejdet med de to andre repræsentationer af rationale tal – at forstå procent giver kun mening, hvis man forstår, hvad hundrededele er. Det samme gælder, når vi skal forstå positionen hundrededelspladsen inden for decimaltal.

Brøker og talforståelse

I arbejdet med at opbygge elevernes talforståelse er det centralt, at der arbejdes med elevernes *fleksibilitet* og *adaptivitet* i forhold til regnestrategier. Hvis eleverne skal opbygge *fleksible* regnestrategier, kræver det, at undervisningen lægger vægt på, at der er flere måder, hvorpå eleverne kan udvikle løsninger af brøkopgaver. Lad os bruge opgaven 2: $\frac{1}{2}$ (FP9 2024, 10.3) som eksempel: Her ville eleverne kunne løse opgaven ved brug af forskellige repræsentationer som fx en tallinje, et cirkeldiagram eller en blokmodel. En strategi ville være at tage afsæt i målingsdivision og sige: Hvor mange halve kan der lægges i forlængelse af hinanden for at nå op på $\frac{1}{2}$? Formuleret som et konkret eksempel kunne det lyde: Hvor mange kartoner mælk a $\frac{1}{2}$ l kan vi få af 2 l mælk? En anden strategi kunne være at tage afsæt i en omskrivning til decimaltal: $\frac{2}{0,5} = \frac{20}{5} = 4$ eller $2: 0,5 = 20: 5$. Med afsæt i den abstrakte repræsentation kunne en tilgang være at sige $\frac{2}{\frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot 2}{\frac{1}{2} \cdot 2} = \frac{4}{1} = 4$, det er dog ikke en strategi, der ofte er brugt i folkeskolen, men den bunder i tanken om, at det er let at dividere med 1 og derfor forlænge, så der står 1 i nævneren. Det er i dén forståelse, udtrykket “gange på kryds”

bunder. Ved at lade eleverne arbejde med disse (og flere) forskellige tilgange til regning med brøker opbygges deres repertoire, og de får derved større mulighed for at handle fleksibelt i forhold til regnestrategier.

På baggrund af arbejdet med talforståelse og regnestrategier vil eleverne sideløbende opbygge deres *adaptivitet*, det vil sige evnen til at vælge en passende strategi til en given situation. Her er det selvfølgelig helt centralt, at eleverne har forskellige strategier at vælge imellem, idet et valg kræver, at man har noget at vælge imellem (Heinze et al., 2009). Til adaptivitetsbegrebet er der således knyttet en kvalitetsvurdering – for hvad vil det sige, at noget er passende? Her er det vigtigt at understrege, at kvalitetskravet ikke er knyttet til en ydre vurdering, men er knyttet til den enkelte person, for hvad der er passende i en given situation, afhænger af personen. Hvilken strategi der vælges for at løse $2: \frac{1}{2}$, er således afhængigt af både elevens talforståelse og affektive forhold knyttet til opgaven (fx om det er en prøvesituation, lektier, en klassesamtale, eller om eleven står derhjemme og er i gang med en bageopskrift). *Adaptivitet* bliver således en konsekvens af både elevens *fleksibilitet* og den konkrete tid og det konkrete sted for eleven. Betydningen af tid og sted gælder således også i vores analyse, hvor eleverne netop sidder i en prøvesituation. Forskningen viser, at elever har en tendens til at tænke forskelligt, alt efter hvilken kontekst de er sat i (Carragher et al., 1985; Dela Cruz & Dela Cruz, 2022).

Foruden de nævnte fejltyper kan mange af fejlene desuden forklares med en sammenblanding af forskellige regnearter. Man kan diskutere, hvorvidt denne sammenblanding er en uhensigtsmæssig brug af *fleksibilitet*, idet eleverne forsøger at løse opgaven på alternative måder. Vi vil dog argumentere for, at begrebet *fleksibilitet* er knyttet til regnestrategier og dermed også til en talforståelse. Derfor er deres sammenblanding i dette tilfælde ikke et mislykket forsøg på *fleksibilitet*. Alt i alt giver elevernes fejlsvar et tydeligt billede af brugen af en *fragmentbaseret metode*, hvor eleverne ikke forholder sig til hele brøken, men blot fokuserer fragmenteret på tælleren og nævneren.

Perspektivering

Elevernes manglende udvikling af regnestrategier inden for brøker er kompleks. På trods af et tydeligt fokus i matematikfagets læseplan på talforståelse og regnestrategier kan antallet og typerne af fejlsvar tyde på, at der har været en manglende opmærksomhed på, hvordan disse udvikles yderligere. Nationalt Center for Udvikling af Matematikundervisning udgav i 2024 materialet *Fælles indsats for tal og algebra* (2024), som kommer med et bud på, hvordan man kan arbejde med brøkbegrebet i skolen.

Artiklen her skriver sig ind i denne indsats ved på baggrund af elevernes fejlsvar at give et indblik i, hvordan talforståelse og regnestrategier aktuelt kommer til udtryk hos en stor del af afgangseleverne. Et næste skridt frem mod at styrke elevernes anvendelse af talforståelse og talbaserede strategier i arbejdet med brøker kunne være at undersøge og forstå, hvordan lærere arbejder med at tilrettelægge og gennemføre undervisningen. Derved kunne vi få mere viden om, hvilke udfordringer og potentialer lærerne oplever og møder i den daglige undervisning ude i klasseværelserne.

Referencer

- Bailey, D.H., Hoard, M.K., Nugent, L. & Geary, D.C. (2012). Competence with fractions predicts gains in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(3), 447-455. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.06.004>
- Bailey, D.H., Siegler, R.S. & Geary, D.C. (2014). Early predictors of middle school fraction knowledge. *Developmental Science*, 17(5), 775-785. <https://doi.org/10.1111/desc.12155>
- Baroody, A.J. (2003). The development of adaptive expertise and flexibility: The integration of conceptual and procedural knowledge. I: A.J. Baroody & A. Dowker (red.), *The development of arithmetic concepts and skills: Constructing adaptive expertise* (s. 133). Lawrence Erlbaum Associates.
- Booth, J.L., Newton, K.J. & Twiss-Garrity, L.K. (2014). The impact of fraction magnitude knowledge on algebra performance and learning. *Journal of Experimental Child Psychology*, 118(1), 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.09.001>
- Bray, W.S. & Abreu-Sanchez, L. (2010). Using number sense to compare fractions. *Teaching Children Mathematics*, 17(2), 90-97. <https://doi.org/10.5951/tcm.17.2.0090>
- Bütüner, S.Ö. (2017). Comparing the use of number sense strategies based on student achievement levels. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 49(6), 824-855. <https://doi.org/10.1080/0020739x.2017.1410738>
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019a). *Matematik – læseplan*. https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/GSK_L%C3%A6seplan_Matematik.pdf
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019b). *Matematik – undervisningsvejledning*. https://emu.dk/sites/default/files/2020-09/GSK_Vejledning_Matematik.pdf
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2021a). *Data fra folkeskolens prøver i skriftlig matematik*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2021b). *Matematik FP9 – folkeskolens prøver – prøven uden hjælpemidler*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2022a). *Data fra folkeskolens prøver i skriftlig matematik*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2022b). *Matematik FP9 – folkeskolens prøver – prøven uden hjælpemidler*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.

- Børne- og Undervisningsministeriet. (2023a). *Data fra folkeskolens prøver i skriftlig matematik*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2023b). *Matematik FP9 – folkeskolens prøver – prøven uden hjælpemidler*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2024a). *Data fra folkeskolens prøver i skriftlig matematik*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2024b). *Matematik FP9 – folkeskolens prøver – prøven uden hjælpemidler*. Styrelsen for Undervisning og Kvalitet.
- Carraher, T.N., Carraher, D.W. & Schliemann, A.D. (1985). Mathematics in the streets and in schools. *British Journal of Developmental Psychology*, 3(1), 21-29. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835x.1985.tb00951.x>
- Christiansen, C. & Sorth-Olsen, J. (2017). Brøker! – Hvordan forstår man dem? I: M. Niss & U.T. Jankvist (red.), *Læringsvanskeligheder i matematik – hvordan kan de forstås og afhjælpes?* (s. 39-57). Frydenlund.
- Dela Cruz, A. & Dela Cruz, M. (2022). The influence of mathematical test anxiety and self-efficacy on students' performance. *Universal Journal of Educational Research*, 1(1), 12-26. <http://doi.org/10.17613/y0kfg-ajjn34>
- Nationalt Center for Udvikling af Matematikundervisning. (2024). *Fælles indsats for tal og algebra*. <https://matematikdidaktik.dk/tal-og-algebra>
- Geary, D.C., Hoard, M.K., Byrd-Craven, J. & DeSoto, M.C. (2004). Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(2), 121-151. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2004.03.002>
- Heinze, A., Star, J.R. & Verschaffel, L. (2009). Flexible and adaptive use of strategies and representations in mathematics education. *ZDM Mathematics Education*, 41, 535-540 <https://doi.org/10.1007/s11858-009-0214-4>
- Hickendorff, M., Torbeyns, J. & Verschaffel, L. (2019). Multi-digit addition, subtraction, multiplication, and division strategies. I: A. Fritz, V.G. Haase & P. Räsänen (red.), *International Handbook of mathematical learning difficulties* (s. 543-560). Springer.
- Hiebert, J. & Carpenter, T.P. (1992). Learning and teaching with understanding. I: D.A. Grouws (red.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (s. 65-97). Macmillan.
- Jóelsdóttir, L.B. & Sunde, P.B. (2024). Adaptivitet og fleksibilitet – addition og subtraktion med flercifrede tal. *MONA*, 2024(3), 7-23. <https://doi.org/10.7146/mona.v24i3.149010>
- Jóelsdóttir, L.B., Sunde, P.B., Sunde, P. & Andrews, P. (2024). Routine and adaptive experts: Individual characteristics and their impact on multidigit arithmetic strategy flexibility and mathematics achievement. *Journal of Numerical Cognition*, 10, 1-20. <https://doi.org/10.5964/jnc.14081>

- Jordan, N.C., Resnick, I., Rodrigues, J., Hansen, N. & Dyson, N. (2017). Delaware longitudinal study of fraction learning: Implications for helping children with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 50*(6), 621-630. <https://doi.org/10.1177/0022219416662033>
- Kamii, C. & Dominick, A. (1997). To teach or not to teach algorithms. *Journal of Mathematical Behavior, 16*(1), 51-61. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(97\)90007-9](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(97)90007-9)
- Kilpatrick, J., Swafford, J. & Findell, B. (red.). (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. National Academy Press.
- Lortie-Forgues, H., Tian, J. & Siegler, R.S. (2015). Why is learning fraction and decimal arithmetic so difficult? *Developmental Review, 38*, 201-221. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.008>
- McMullen, J. & Van Hoof, J. (2020). The role of rational number density knowledge in mathematical development. *Learning and Instruction, 65*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101228>
- Meert, G., Grégoire, J. & Noël, M.P. (2010). Comparing the magnitude of two fractions with common components: Which representations are used by 10- and 12-year-olds? *Journal of Experimental Child Psychology, 107*(3), 244-259. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.04.00>
- Ni, Y. & Zhou, Y.-D. (2005). Teaching and learning fraction and rational numbers: The origins and implications of whole number bias. *Educational Psychologist, 40*(1), 27-52. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4001_3
- Pedersen, P.L. (2021). *Learning and understanding the complexity of fractions*. Aalborg Universitetsforlag. <https://doi.org/10.54337/aau441584586>
- Pedersen, P.L. & Bjerre, M. (2021). Two conceptions of fraction equivalence. *Educational Studies in Mathematics, 107*, 135-157. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10030-7>
- Siegler, R.S., Duncan, G.J., Davis-Kean, P.E., Duckworth, K., Claessens, A., Engel, M., Susperreguy, M.I. & Chen, M. (2012). Early predictors of high school mathematics achievement. *Psychological Science, 23*(7), 691-697. <https://doi.org/10.1177/0956797612440101>
- Siegler, R.S. & Jenkins, E. (1989). *How children discover new strategies*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Siegler, R.S. & Pyke, A.A. (2013). Developmental and individual differences in understanding of fractions. *Developmental Psychology, 49*(10), 1994-2004. <https://doi.org/10.1037/a0031200>
- Sunde, P. (2022). Adaptivitet og fleksibilitet: Regnestrategier i de yngste klasser. *MONA, 2022*(2), 7-23. <https://doi.org/10.7146/mona.v22i1.132755>
- Tian, J. & Siegler, R.S. (2017). Fractions learning in children with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities, 50*(6), 614-620. <https://doi.org/10.1177/0022219416662032>
- Van Hoof, J., Degrande, T., Ceulemans, E., Verschaffel, L. & Van Dooren, W. (2018). Towards a mathematically more correct understanding of rational numbers: A longitudinal study with upper elementary school learners. *Learning and Individual Differences, 61*, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.11.010>

- Van Hoof, J., Vandewalle, J., Verschaffel, L. & Van Dooren, W. (2015). In search for the natural number bias in secondary school students' interpretation of the effect of arithmetical operations. *Learning and Instruction*, 37, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.03.004>
- Vamvakoussi, X., Van Dooren, W. & Verschaffel, L. (2012). Naturally biased? In search for reaction time evidence for a natural number bias in adults. *Journal of Mathematical Behavior*, 31(3), 344-355. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2012.02.001>
- Verschaffel, L. (2023). Strategy flexibility in mathematics. *ZDM Mathematics Education*, 56(1), 115-126. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01491-6>

English abstract

Arithmetic strategies influence students' mathematical development throughout school, yet research on strategies involving rational numbers is limited. This article explores arithmetic strategies in relation to fractions. We introduce the concept of a fragment-based methods and apply it to an analysis of incorrect answers from Denmark's 9th-grade national math exam without aids. The analysis reveals a prevalence of poor number sense and the frequent use of fragment-based methods. When teaching fractions teachers should aim to support students in developing their own strategies, enabling them to master a broad repertoire of approaches and apply them adaptively and flexibly.

Digital matematisk myndiggørelse



Cecilie Carlsen Bach,
Københavns Universitet



Camilla Finsterbach Kaup,
Professionshøjskolen UCN



Jack Jalal Kallo,
Københavns Universitet



Morten Misfeldt,
Københavns Universitet

Abstract: *I denne artikel undersøger vi, hvordan matematikundervisning kan bidrage til digital myndiggørelse. Med implementeringen af teknologiforståelse i folkeskolen er der opstået et behov for at forstå, hvordan matematikfaget kan støtte elevernes kritiske forståelse af og handlekraft i en digitaliseret verden. Vi argumenterer for, at et dannelsesperspektiv, frem for et rent kompetenceperspektiv, er særlig velegnet til dette formål, da dannelsesbegrebet rummer den kritisk-refleksive dimension, som digital myndiggørelse fordrer. Vi viser, hvordan to didaktiske tilgange, teknokritisk matematikundervisning og konstruktionisme, bidrager på komplementære måder: Den teknokritiske tilgang understøtter kritisk bevidsthed om teknologiens rolle i samfundet, mens konstruktionismen understøtter matematisk dannelse gennem skabende aktivitet. Ved hjælp af de to tilgange kan digital matematisk myndiggørelse realiseres.*

Introduktion

I takt med den stigende digitalisering bliver det stadig vigtigere at ruste eleverne med kompetencer, der gør dem i stand til at forstå og navigere i en teknologifyldt verden. Målet med introduktionen af teknologiforståelse som faglighed er netop at udvikle eleverne til kritiske samfundsborgere. Som status er nu, vil teknologiforståelse fra skoleåret 2027/2028 blive implementeret som valgfag fra 7. klasse samt i dansk, matematik og natur/teknologi fra 1. til 9. klasse (Børne- og Undervisningsministeriet, 2024).

Teknologiforståelse har tidligere eksisteret som et forsøgsfag (Tekforsøget). Forsøgsfaget blev afprøvet i perioden 2019-2021. Teknologiforståelse har tidligere eksisteret som et forsøgsfag (Tekforsøget). Faget byggede på fire centrale kompetenceområder: *computational tankegang (CT), digitalt design og designprocesser, digital myndiggørelse*

og *teknologisk handleevne* (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Disse områder sigtede mod at ruste eleverne til at forstå og agere i en digitaliseret verden ved at koble tekniske færdigheder med kritisk refleksion og kreativ problemløsning.

Størstedelen af den eksisterende litteratur om teknologiforståelse og matematik fokuserer på CT (Elicer & Tamborg, 2023). CT har i de senere år fået stor international opmærksomhed som en nøglekompetence inden for undervisning i teknologi (Bocconi et al., 2022; Brown et al., 2014; Grover & Pea, 2013; Niemelä et al., 2017). CT kan anskues både som en væsentlig kompetence på niveau med at læse, skrive og regne (fx Barr & Stephenson, 2011; Wing, 2006) og som en bro mellem problemløsningskompetence og digitale teknologier. Sidstnævnte har netop medført, at CT er blevet implementeret i flere nationale læseplaner (Bocconi et al., 2016).

Flere forskningsresultater peger på en tæt relation mellem CT og matematik, hvor elementer af CT kan bidrage til arbejdet med problemløsning og autentiske problemstillinger og styrke elevernes matematiske forståelse (fx Kaup et al., 2023; Israel & Lash, 2019; Pérez, 2018; Weintrop et al., 2016). Samtidig er der i litteraturen også identificeret udfordringer ved implementeringen af CT i matematik, herunder lærernes manglende pædagogiske redskaber og fraværet af klare didaktiske principper for samspillet mellem matematiske stofområder og CT (Elicer & Tamborg, 2023).

Et eksempel på en national implementering findes i Sverige, hvor programmering i 2018 blev integreret i grundskolens læseplaner i matematik og teknik for at styrke elevernes digitale kompetencer, herunder datalogisk tænkning og forståelse af algoritmer (Jahnke, 2020). Evalueringer af denne implementering viste, at programmering kunne fremme tværfaglig integration og gøre abstrakte matematiske begreber som koordinatsystemer og variable mere tilgængelige via værktøjer som Scratch (Nouri, 2020). Derudover rapporterede lærerne øget elevengagement og forbedrede problemløsningsfærdigheder (Vikslund, 2020) samt større motivation og en mere positiv indstilling til matematik (Jahnke, 2020).

I England har CT været en central del af de nationale "computing"-læreplaner, som er et selvstændigt fag adskilt fra matematikundervisningen. Der har dog også været initiativer som ScratchMaths, der havde til formål at udvikle elevernes matematiske ræsonnement og problemløsning gennem materialer baseret på CT og matematik for 9-11-årige (Benton et al., 2016). Selvom projektet blev positivt modtaget, viste evalueringerne ingen tegn på udvikling af elevernes matematiske kompetencer i relation til projektet (Boylan et al., 2018; Elicer & Tamborg, 2023). De internationale erfaringer med samspillet mellem matematik og de tre andre kompetenceområder i forsøgsfaget er langt mere fragmenterede, og da forsøget med teknologiforståelse var slut, viste resultaterne, at undervisningen i matematik ofte ikke fokuserede på selve kompetenceområderne (fx digital myndiggørelse), men i stedet på vidensområderne (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021). Dette peger på et behov for at fokusere

på, hvordan teknologiforståelse og matematik bedst kan integreres, med henblik på at styrke elevernes dannelse og kritiske bevidsthed.

I en dansk kontekst har man oprettet Videnscenter for Digital Teknologiforståelse. Videnscenteret har til formål at bidrage til udviklingen af en ny faglighed for teknologiforståelse i matematikfaget (Videnscenter for Digital Teknologiforståelse, 2025). I denne artikel ønsker vi derfor at koble digital myndiggørelse med matematisk dannelse for at se på, hvordan undervisningen kan udformes for at tage højde for dette. Vi søger at svare på følgende forskningsspørgsmål:

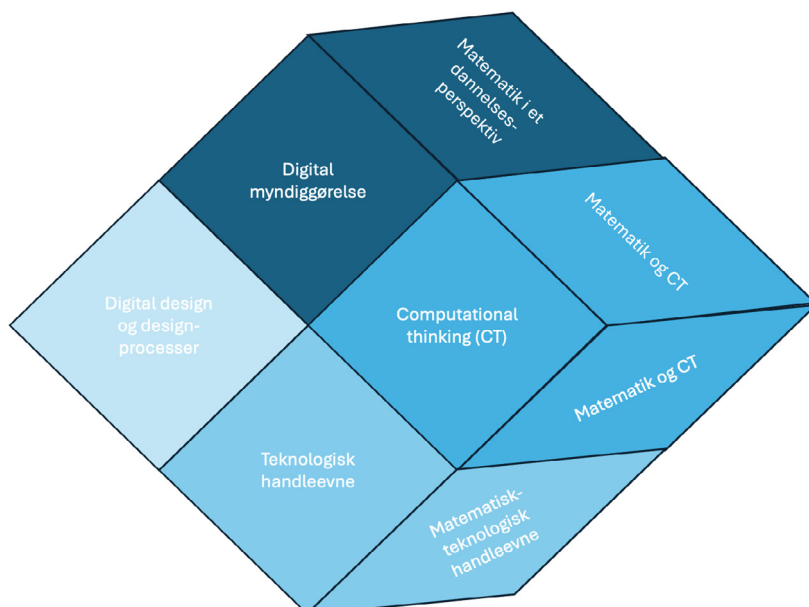
Med udgangspunkt i to tilgange til matematikundervisning (konstruktionisme og teknokritisk matematikundervisning): Hvordan kobles matematisk dannelse og digital myndiggørelse, og hvordan er forholdet mellem realdannelse, kritisk tænkning og kreative udtryk og deltagelse?

For at besvare dette spørgsmål vil vi først beskrive, hvad teknologiforståelse er, og hvordan det er blevet implementeret i den danske folkeskole – herunder erfaringerne fra forsøgsfaget teknologiforståelse. Herefter vil vi beskrive, hvad digital myndiggørelse og matematisk dannelse er, og introducere to eksempler på matematikundervisning, der er rettet mod digital myndiggørelse, nemlig teknokritisk matematikundervisning og konstruktionisme. Med udgangspunkt i disse to eksempler diskuterer vi samspillet mellem kernefaglig viden (matematik og CT), kritisk opmærksomhed på digitale teknologiers samfundsmæssige betydning og de kreative muligheder for at skabe og udtrykke sig, som teknologierne giver. Artiklen henvender sig primært til matematiklærere, læreruddannere og fagdidaktikere, der står over for at skulle integrere teknologiforståelse i matematikundervisningen fra 2027/2028. Ved at belyse samspillet mellem digital myndiggørelse og matematisk dannelse bidrager artiklen med konkrete didaktiske perspektiver for undervisningsudvikling.

Teknologiforståelse

Som tidligere beskrevet var fagligheden for digital teknologiforståelse i Tekforsøget beskrevet som et samspil mellem fire kompetenceområder (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Når teknologiforståelse implementeres i matematik, kan det derfor illustreres som vist i figur 1 herunder.

Figur 1 giver et overblik over, hvordan matematik kan spille sammen med hvert af de fire kompetenceområder i teknologiforståelse. Figuren illustrerer, hvordan denne kobling kan styrke elevernes muligheder for at forstå, skabe og forholde sig kritisk til digitale teknologier og deres rolle i samfundet. For fagudviklerne i matematik under Tekforsøget viste det sig særlig givtigt, at alle fire kompetenceområder kunne inddrages. Det muliggjorde en mere helhedsorienteret tilgang, hvor det matematiske



Figur 1. Overblik over kompetenceområder i teknologiforståelse og matematik (med inspiration fra Børne- og Undervisningsministeriet, 2019, s. 8).

indholdsområde blev forbundet med kreative, praktiske og kritiske perspektiver på teknologi (Slot et al., 2021).

CT omhandler særligt elevers problemløsningsprocesser i mødet med computere. I læseplanen for forsøgsfaget blev CT beskrevet således:

At kunne omsætte en kompleks problemstilling til en mulig digital løsning fordrer en

“abstraktion over fænomener og relationer i verden og computerens evne til at informationsbehandle disse. Denne evne kaldes computationel tankegang [computational thinking]. [...] Dermed kan eleven kritisk og reflektivt forholde sig til computerbaserede modeller af fænomener og relationer omkring os” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019, s. 9)

CT er altså centralt ift. at udvikle evnen til kritisk refleksion og dermed også ift. udvikling af digital myndiggørelse, der vedrører elevernes evne til at forholde sig kritisk til digital teknologi og dens betydning for samfundet og individet. CT hænger tæt sammen med de tre øvrige kompetenceområder, som tilsammen udgør grundlaget for teknologiforståelse som fag.

Digital myndiggørelse handler om, at eleverne udvikler evnen til at forholde sig kritisk og reflekteret til digitale teknologiers betydning i både samfundet og deres

eget liv. Det rummer bl.a. en forståelse for, hvordan normer, værdier og holdninger kan være indlejret i digitale artefakter, og hvordan det kan påvirke brugerens handlemuligheder.

Teknologisk handleevne retter sig mod elevernes muligheder for at bruge og arbejde med teknologi i praksis. Her handler det om at opbygge et fagsprog og få erfaring med at omsætte idéer til konkrete digitale løsninger, så eleverne samtidig får indsigt i, hvordan teknologier fungerer og skaber forandring i deres omgivelser.

Digitalt design og designprocesser sætter fokus på de skabende og eksperimenterende aktiviteter, der opstår, når elever designer og redesigner digitale artefakter. I arbejdet med design indgår valg og fravalg, som former teknologiens udtryk og funktion. Eleverne bliver bevidste om, at teknologiske løsninger ikke er neutrale, men altid er formet af bestemte intentioner og brugskontekster (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019).

På trods af forsøgsfagets brede sigte har evalueringen af teknologiforståelse i folkeskolen vist, at det var vanskeligt i matematikforløbene at inddrage samfundsrelevante problemstillinger, dvs. den digitale myndiggørelse (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021). Dette er problematisk, da digital myndiggørelse sammen med CT udgør en væsentlig del af det at styrke elevernes kritiske stillingtagen og evne til at forstå, hvad der ligger bag ved digitale teknologier. Disse kompetencer er ikke kun nødvendige for elevernes faglige udvikling, men også for deres dannelse som ansvarlige og demokratiske borgere i en digitaliseret verden (Iversen et al., 2019). Der er derfor behov for at se nærmere på, hvad digital myndiggørelse indebærer, og hvordan denne kompetence kan forstås og realiseres i praksis, særligt i en matematikfaglig kontekst. I det følgende udfoldes begrebet med fokus på dets betydning for elevernes teknologiforståelse i samspil med matematisk dannelse.

Digital myndiggørelse og matematisk dannelse

Digital myndiggørelse

Som nævnt drejer *digital myndiggørelse* sig om evnen til at forstå og forholde sig kritisk til teknologi i et digitaliseret samfund. Begrebet rummer ikke primært tekniske færdigheder, men en forståelse af teknologiens sociale, kulturelle og etiske implikationer, hvilket gør det til en essentiel del af moderne dannelse (Fibiger et al., 2019).

Historisk set kan *myndiggørelse* spores tilbage til Kants oplysningsfilosofi, hvor han forbandt begrebet med mod, selvstændig tænkning og ansvar. Myndiggørelse handler ifølge Kant om at træde ud af umyndighed, forstået som en tilstand, hvor man ikke bruger sin egen forstand (Fibiger et al., 2019). I en digital sammenhæng beskrives myndiggørelse som en bevægelse fra passiv teknologibrug til aktiv og kritisk deltagelse. Det indebærer, at eleverne skal kunne gennemskue de digitale teknologiers opbygning

og virkemåder, herunder hvordan data indsamles og behandles af algoritmer. Ved at tilegne sig denne indsigt kan de navigere mere bevidst i en digital verden, fx på sociale medier, hvor forståelsen af databehandling og algoritmer bidrager til større gennemskuelse (Caeli, 2020). Ifølge Fibiger et al. (2019) er det lærerens ansvar at engagere eleverne i undervisningen ved at relatere den til elevernes hverdag, hvor der bliver skabt en lyst til at interagere med teknologien. Særligt i en dansk kontekst har man arbejdet med en designorienteret tilgang til teknologiforståelse. Gennem designprocesser får eleverne indsigt i, hvordan teknologiske artefakter skabes og udvikles, og hvordan brugerens interaktion kan ændre teknologiens formål og anvendelse (Iversen et al., 2019). Dette styrker elevernes evne til at forstå teknologiens bagvedliggende intentioner og træffe oplyste beslutninger. Digital myndiggørelse handler således ikke blot om at lære at bruge teknologi, men om at udvikle kompetencer, der gør eleverne i stand til at forstå, handle og tage ansvar i en teknologisk præget verden. Dette understreger Dindler et al. (2020) i deres definition af digital myndiggørelse. Det særlige for denne definition er koblingen til CT:

“[...] En bekymring for, hvordan børn gives mulighed for at træffe kritiske og informerede beslutninger om teknologiens rolle i deres liv. CE [forkortelse for *computational empowerment*, dvs. digital myndiggørelse] flytter fokus fra programmeringsfærdigheder som et mål i sig selv mod at give børn og unge de nødvendige forudsætninger for at deltage i den teknologiske udvikling. Hvor CT primært beskæftiger sig med at forstå begrebet computing, søger CE at engagere børn i bredere spørgsmål som følgende: Hvordan udfordrer digital teknologi vores demokratiske rettigheder og borgerlige engagement? Hvordan forandrer digitale teknologier vores personlige relationer og vores hverdagspraksisser? Hvordan fortolker vi de intentioner, der er indlejret i hverdagsteknologi, og hvordan kan ethvert barn deltage i samfundet ved at remixe, designe eller skabe digital teknologi, der er mere i tråd med visioner om en bedre fremtid?” (Dindler et al., 2020, s. 67)

Dindler et al.s (2020) definition understreger dermed CT's nødvendighed både ift. “computing” og ift. digital myndiggørelse. CT bliver derved en slags baggrundskompetence for at kunne udvikle digital myndiggørelse. Sammenligner vi med matematikfaget, har Johansen og Jankvist (2022) påpeget, at der er et særligt potentiale i at fokusere på elevernes dannelse i koblingen mellem matematik og teknologi. På baggrund af den følgende litteratur vil vi argumentere for, at der er et stort potentiale for at fokusere på og udvikle netop elevernes digitale myndiggørelse i en undervisning, der kobler matematik og teknologiforståelse.

Dannelse i matematikfaget

Inden vi dykker dybere ned i dannelsesbegrebet, vil vi kort vende et relateret begreb. *Matematisk kompetence* kommer fra en idé om, at det at "kunne" matematik bygger på mere end rene standardiserede færdigheder og kundskaber (Niss, 2017). Matematiske kompetencer kan snarere ses som særlige matematiske evner, fx ræsonnementer og problemløsning ift. omverdenens kontekster (Niss, 2017). Men der ses tydelige sammenhænge mellem matematiske kompetencer og dannelsesbegrebet, som det beskrives i fx PISA (Biehler, 2019). Kompetencebegrebet fokuserer på, hvad eleven kan gøre i matematiske situationer. Klafki tilføjer en dimension til dannelsesbegrebet, der handler om elevens forhold til verden – den dobbelte åbning. For digital myndiggørelse, der netop handler om at forholde sig kritisk til teknologiens rolle i samfundet, er denne relationelle dimension central. Vi anlægger derfor et dannelsesperspektiv som supplement til kompetencetilgangen. Der er mange bud på, hvad dannelse er, men vi lægger os op ad både Klafkis (2001) og Niss' (2021). Ifølge Klafki handler almindelse bl.a. om, at eleven etablerer relationer til verden gennem en dobbelt åbning: Eleven åbner sig for verden gennem interesser og engagement, og samtidig åbner verden sig for eleven gennem en systematisk præsentation af kulturel viden (Klafki, 2001). I en matematisk kontekst betyder den dobbelte åbning, at eleven åbner sig for matematiske idéer og strukturer gennem engagement og undersøgelse, mens matematikken åbner verden for eleven ved at give redskaber til at forstå og analysere fænomener, fx hvordan algoritmer fungerer, eller hvordan data kan misbruges. Matematisk dannelse adskiller sig dermed fra generel dannelse ved specifikt at fokusere på, hvordan matematisk viden kan bidrage til at forstå og handle i verden. Både Blomhøj (2001) og Niss (2021) læner sig ligeledes op ad Klafki (2001) og Winter (1996). Niss (2021) tilbyder følgende definitioner, ift. at dannelse skal:

- "Være for alle, ikke for de få.
- Primært være til af hensyn til den enkelte, men også af hensyn til samfundet, forstået som kollektiv, ikke som magthierarki.
- Fokuserer på realdannelse; formaldannelse afledes heraf og dyrkes ikke abstrakt.
- Betone realdannelsens processer, ikke kun dens indhold.
- Lægge hovedvægt på de fundamentale træk og bærende konstruktioner i såvel realdannelsens indhold som dens processer, ikke på en sværm af konkrete partikulariteter" (Niss, 2021, s. 75)

I tråd med Klafki (2001) skelner Niss (2021) mellem *formal-* og *realdannelse*. Formaldannelse omhandler individets evner og kvaliteter. Realdannelse fokuserer på den indsigt og viden, som opnås gennem kendskab til forskellige fag-, sags- og genstandsområder, såsom latin (Niss, 2021). Niss beskriver formaldannelse som en vigtig, men

problematisk kategori, “der består i udviklingen og konsolideringen af det enkelte individs generelle personlige *fakulteter* såsom tænkeevne, logisk sans, udtryksevne, tilgang til verden, karakter, moral, opførsel, manerer, holdninger til andre, smag osv.” (Niss, 2021, s. 72).

Niss gør det tydeligt, at denne formaldannelse nok er vigtig, men ikke er let at indfange i faglig undervisning. Så selvom matematikfaget traditionelt er tænkt til at støtte elevernes tænkeevne, så er det konkret meget vanskeligt at gøre dette til et omdrejningspunkt for undervisningen. Niss’ svar på dette problem er at fokusere på matematiske realdannelsesprocesser. Disse processer er ifølge Niss (2021) forankret i de otte matematiske kompetencer¹ samt de tre områder for overblik og dømmekraft,² som er defineret i KOM-projektet (Niss & Jensen, 2002). Kompetencerne i KOM-projektet fokuserer på den enkeltes evne til at agere hensigtsmæssigt i matematiske situationer på baggrund af vedkommendes viden og færdigheder.

Her adskiller Niss sig fra Klafki. Klafki fokuserer ikke primært på realdannelsesprocesser, men retter i stedet opmærksomheden mod samspillet mellem real- og formaldannelse – det, han betegner som *kategorialdannelse*. Til forskel fra formaldannelse kan kategorialdannelse ifølge Klafki omsættes til undervisning. Kategorialdannelsesprocesser handler om at bringe den viden og de færdigheder, man tilegner sig gennem realdannelse, i spil sammen med dømmekraft og højere erkendelsesevner. Dette sætter eleverne i stand til at forholde sig til og håndtere komplekse problemstillinger i undervisningen.

Niss (2021) pointerer med udgangspunkt i Richard Noss, at matematisk dannelse og matematikundervisning gerne skal “bidrage til afdækningen af matematikkens skjulte rolle overalt i samfundet og kulturen, herunder i it-systemer – altså at gøre det usynlige synligt” (s. 84).

Digital myndiggørelse og matematisk dannelse

Med både digital myndiggørelse (Dindler et al., 2020) og matematisk dannelse (Niss, 2021) skærpes relationen mellem faglig dannelse og kompetencer. For den digitale myndiggørelse er det den særlige kobling og forståelse af eksempelvis CT. Begge definitioner lægger vægt på myndiggørelse og/eller dannelse i relation til individets engagement i hverdagen, kulturen og samfundet. Som Niss forklarer, kan en væsentlig pointe være, at vi skal åbne den skjulte matematik for børnene, når det kommer til teknologisk matematisk dannelse, ved implementeringen af teknologiforståelse i

1 De otte matematiske kompetencer inkluderer problembehandling, modellering, ræsonnement, tankegang, repræsentation, symbol- og formalisme, kommunikation og hjælpemiddel (Niss & Jensen, 2002).

2 1) Matematikkens faktiske anvendelse i andre fag- og praksisområder, 2) matematikkens historiske udvikling, såvel internt som i samfundsmæssig belysning, og 3) matematikkens karakter som fagområde.

matematikfaget. På denne måde kan man arbejde med elevernes *digitale matematiske myndiggørelse*. Undervisningen i teknologiforståelse kan med udgangspunkt i Klafki (2001) omhandle såkaldt *epokale nøgleproblemer* i relation til teknologi. Det kan ske gennem projektarbejde og problemstillinger, der både har relevans for den enkelte elev og samtidig åbner mulighed for kritisk refleksion. I det kommende afsnit præsenterer vi et eksempel på et undervisningsforløb om ansigtsgenkendelse. Denne teknologi kan betegnes som et epokalt nøgleproblem, da den fundamentalt ændrer, hvordan mennesker interagerer med samfundet, overvåges og identificeres. Teknologien har dermed vidtrækkende konsekvenser for individets frihed, rettigheder og digitale myndiggørelse. Som et epokalt nøgleproblem rummer den både tekniske, etiske og samfundsmæssige dimensioner, der forudsætter en kritisk og tværfaglig forståelse.

To tilgange til undervisning med relevans for teknologiforståelse og matematik

I det følgende vil vi præsentere to tilgange, som rummer mulighed for, at eleverne kan arbejde med digital myndiggørelse og matematisk dannelse, da disse netop søger mod at koble elevernes faglige matematiske viden i en digital verden.

Metodisk tilgang

Denne artikel præsenterer et teoretisk bidrag, hvor vi gennemgår to tilgange til matematikundervisning. Teknokritisk matematikundervisning iscenesætter kritisk tænkning om matematik, samfund og teknologi, mens Paperts konstruktionisme fokuserer på meningsfuld skabelse og hverdagsrelaterede cases. Deres forskelligheder muliggør en komparativ analyse af, hvordan de to tilgange bidrager på forskellige måder. Samtidig har de det tilfælles, at de begge orienterer sig mod dannelse, og derfor kan de potentielt supplere hinanden. De to undervisningseksempler fungerer som illustrationer af tilgangene i praksis.

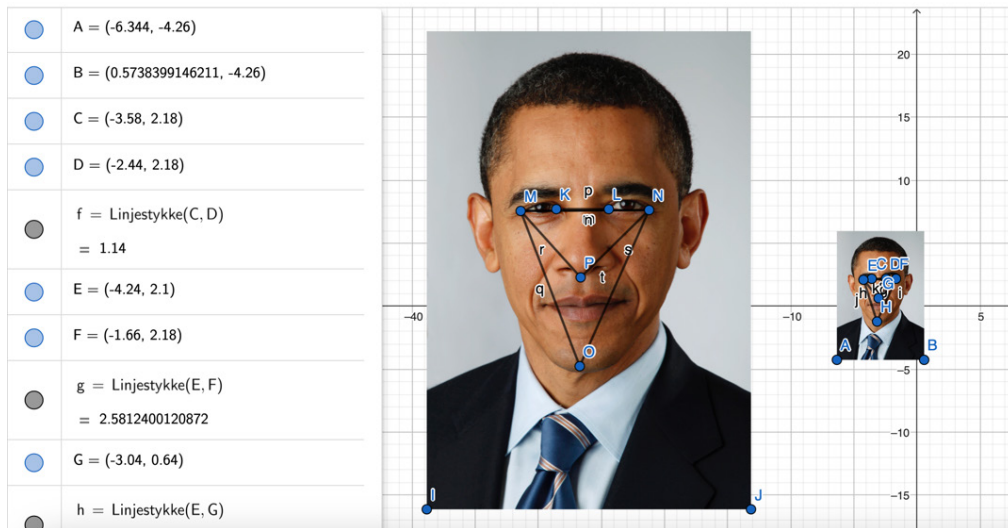
Teknokritisk matematikundervisning

Teknokritisk matematikundervisning er et nyt perspektiv på matematikundervisning, som tager udgangspunkt i Skovsmoses (2023) kritiske matematikundervisning. Skovsmoses kritiske matematikundervisning bygger på idéen om at betragte samfundet som et matematisk undersøgelseslandskab, hvor eleverne hjælpes til at forstå, hvilken rolle matematikken har i deres liv. Kritisk matematikundervisning søger netop at fokusere på medborgerskab og kritisk tænkning. Med den stigende betydning af digitale teknologier i samfundet opstår da den *teknokritiske* tilgang for at understrege vigtigheden i at kunne åbne for den skjulte matematik i teknologien (Misfeldt & Jankvist, 2020; Jankvist et al., 2023)

Den teknokritiske matematikundervisning er særlig vigtig i vores tid med det store indtog af digitale teknologier. En del af den teknokritiske matematikundervisning fokuserer netop på oversættelsesprocesser, forstået som de processer, hvorved matematikkens indhold synliggøres og bearbejdes på tværs af digitale og ikkedigitale repræsentationsformer, og dermed på at åbne den skjulte matematik for eleverne. På denne måde skal undervisningen bidrage til op- og nedpakning af matematikken i teknologien, dvs. elevernes arbejde med at forstå, hvordan matematik henholdsvis frigøres fra og indlejres i digitale teknologier. Her skal eleverne kunne skelne mellem *blackboxing* og *løftestangsprincippet* (Misfeldt & Jankvist, 2020; Jankvist et al., 2023). Blackboxing omhandler, at de matematiske processer, som foregår i værktøjerne, er skjulte for eleverne. Her kan altså opstå læringsmæssige problemer for eleverne, da de ikke får indblik i matematikken bag (Buchberger, 1990). Eleverne bruger teknologien som løftestang, dvs. at de kan udlicitere simple beregninger til værktøjet, således at de kan bruge kræfter på mere krævende matematik og forstå principperne (Dreyfus, 1994).

Undervisningseksempel: Som en del af vores arbejde i Videnscenter for Digital Teknologiforståelse har vi afprøvet et forløb om ansigtsgenkendelse i gymnasiet, som netop er et godt eksempel på teknokritisk matematikundervisning. En tidligere udgave er udarbejdet af Rønne (2023). Forløbet forsøger at udfolde, hvordan ansigtsgenkendelse foregår i virkeligheden. Eleverne starter med selv at udforske og arbejde undersøgende med emnet ved at finde karakteristiske proportioner i ansigtet på fx Barack Obama eller Helle Thorning-Schmidt, herunder ved manuelt at markere og måle karakteristiske punkter i ansigtet. Undervejs finder eleverne ud af, at der er særlige forhold i et ansigt, som er særlig karakteristiske, og som genkendes matematisk, fx af en algoritme. Efterfølgende skal eleverne arbejde med ansigterne i GeoGebra (se figur 2) og i Jupyter Notebook. Her præsenteres eleverne for maskinlæringsmodeller. Den første, *facial landmarks*, gør det samme, som eleverne selv har gjort – den sætter punkter på ansigter (Kazemi & Sullivan, 2014). I en anden notebook får eleverne mulighed for stifte bekendtskab med *convolutional neural networks*. Afslutningsvis arbejder eleverne med en case, hvori de skal forholde sig til, hvis der blev implementeret ansigtsgenkendelse på deres gymnasium.

Forløbet om ansigtsgenkendelse er et godt eksempel på, hvordan det, eleverne arbejder med i skolen, kan bruges til at forstå og navigere i verden. Ved brug af relativt simpel matematik (om proportionalitet) synliggøres den skjulte matematik i teknologien. Eleverne får mulighed for at arbejde selvstændigt med relevante emner og kan diskutere teknologiens konsekvenser for samfund og individ. Eksempelvis: Hvordan fungerer ansigtsgenkendelse? Hvordan ændrer ansigtsgenkendelse vores samfund og personlige frihed? Hvornår er det en dårlig idé?



Figur 2. Illustration af, hvordan elevernes arbejde med ansigter i GeoGebra kunne se ud.

Konstruktionisme

Seymour Papert er en af de vigtigste figurer i arbejdet med at bruge teknologi i matematikundervisningen, og hans betydning er svær at overvurdere. Paperts tilgang til brugen af computere i matematikundervisningen var et opgør med den traditionelle "papir og blyant-matematik", hvor eleverne bruger tiden på det, Papert betragtede som meningsløs, aritmetisk og algebraisk træning. I stedet skulle undervisningen være sjov, personlig og relevant (Stager, 2016). Baseret på pædagogiske eksperimenter udviklede han i bogen *Mindstorms* fra 1980 en konstruktionistisk læringsteori, der bygger på to centrale antagelser: 1) Læring er en interaktiv proces, hvor den lærende udforsker og opbygger agens over et omkringliggende miljø. 2) Denne læringsproces er særlig effektiv, hvis den lærende er i gang med at konstruere artefakter, der er meningsfulde for denne, og som kan deles og diskuteres med andre (Papert, 1980). Gennem programmering kan eleverne bruge matematik til at skabe meningsfulde artefakter. Papert argumenterede for, at teknologier (fx programmeringssprog) kan designes, så de understøtter eleverne i at udtrykke sig og hjælper med at gøre komplekse og abstrakte matematiske begreber mere tilgængelige. Sådanne miljøer – som Papert kalder "mikroverdener" – giver eleverne mulighed for at udforske og forstå matematik gennem aktiv skabelse og tilpasning. Mikroverdener skaber en platform, hvor eleverne kan eksperimentere og engagere sig i problemløsning på kreative måder. Mere specifikt fremhæver Papert, at elever lærer bedst, når de (Papert, 2000):

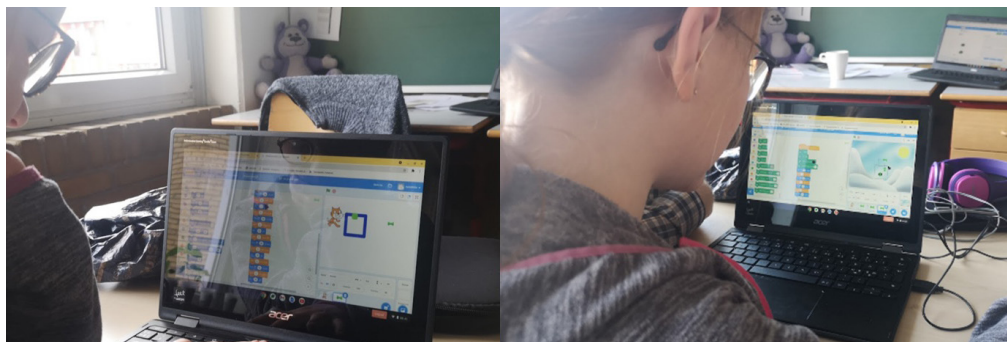
- Skaber noget, der har personlig betydning
- Har frihed til at eksperimentere og fejlfinde
- Arbejder med virkelige og meningsfulde problemer.

Uddannelsesudviklere bør derfor, ifølge Papert, fokusere på at skabe miljøer, der understøtter disse processer. Digitale teknologier giver mulighed for at designe mikroverdener, der muliggør ovenstående processer, samtidig med at de fokuserer på vigtige faglige idéer. Mikroverdener er åbne læringsværktøjer, der understøtter projektarbejde og vedvarende og aktiv deltagelse, og som giver eleverne mulighed for at tage ejerskab over deres læringsproces. Gennem mikroverdener kombineres leg, nysgerrighed og opdagelse, hvor eleverne kan udforske og skabe løsninger uden at følge en forudbestemt vej. Paperts (1980) centrale eksempel er programmeringssproget Logo, der var designet til at støtte matematisk og især geometrisk tænkning. I stedet for at undervise mekanisk i algoritmer og geometriske begreber og fakta ønskede han, at eleverne skulle opdage mønstre og sammenhænge gennem leg og eksperimentering. Læreren har en vigtig rolle at spille som den, der bringer kulturelt overleveret viden ind i elevernes arbejde. Det er vigtigt, at dette foregår på en måde, der er baseret på elevernes egne idéer. Paperts (2000) begreb "powerful idea" understøtter denne proces. Idéer er "powerful", hvis de 1) resonerer med elevernes identitet og interesse, 2) kan bruges til at løse de problemer, eleverne står med i deres arbejde, og 3) knytter an til andre idéer og begreber, som eleverne kender eller kan have glæde af.

Paperts (1980) vision var, at arbejdet med mikroverdener og programmering kunne tilbyde nye kontekster og muligheder for engagement i matematik. Denne opfattelse af programmering som et sprog til at lære og udtrykke matematik ligger også til grund for projekter som ScratchMaths, der bygger på Paperts idéer og forbinder matematik, kreativitet og teknologi i praksis.

Undervisningseksempel: Dette eksempel stammer fra interventionen CTiMAT, som løb fra 2019 til 2021 (Kaup et al., 2023). Det illustrerer det konstruktionistiske perspektiv i arbejdet med programmeringsprogrammet Scratch. Eleverne i 3. klasse arbejder i Scratch som en del af deres matematikundervisning. De har tidligere prøvet programmet, men er stadig i en eksperimenterende fase. Opgaven går ud på at undersøge, hvordan de kan få deres "sprite" til at tegne geometriske figurer. Se illustration af eksemplet i figur 3.

En pige eksperimenterer ved manuelt at gentage en sekvens af kommandoer, hvor hendes sprite går et bestemt antal skridt og drejer 90 grader for at forme en firkant. Efter at have tegnet flere firkanter på skærmen begynder hun at eksperimentere med baggrunde og vælger et snelandskab. Inspireret af snelandskabet prøver hun at tegne to firkanter oven på hinanden ved at justere sprite-positionen ved hjælp af



Figur 3. Elevers arbejde i Scratch.

koordinater. I denne mikroverden begynder hun at udvikle en forståelse for mønstergenkendelse ved at gentage bestemte skridt og rotationer. Abstraktion ses, da hun eksperimenterer med at ændre enkelte elementer som størrelse og placering. En yderligere form for abstraktion ses i hendes forsøg på at tegne en snemand, og da hun endnu ikke kan skabe en cirkel, vælger hun i stedet at bygge figuren op af firkanter. Hun arbejder også med algoritmisk tænkning, idet hun konstruerer en trin for trin-instruktion, som hun løbende tilpasser og udbygger, efterhånden som hendes projekt udvikler sig. Matematikken er tydeligt til stede i hendes arbejde med firkanter egenskaber, herunder at alle sider er lige lange, og at vinklerne er 90 grader.

Casen viser, hvordan arbejdet med Scratch i en konstruktionistisk ramme kan give elever mulighed for at udforske det, Papert kalder *powerful ideas* – idéer, der ikke blot er fagligt relevante, men som også rummer potentiale for at forme tænkning og skabe forbindelser på tværs af kontekster. Eleven arbejder her med mønstergenkendelse, algoritmisk tænkning og geometrisk forståelse gennem eksperimenter, og hun udvikler sine idéer gennem afprøvning og justering. Papert (1980) ønskede, at børn selv skulle opdage og udvikle en sans for *powerful ideas* gennem erfaring, men han pegede også på den udfordring, at det kræver materialer, der faktisk rummer dette potentiale. I dette tilfælde viser Scratch sig som en mikroverden, hvor *powerful ideas* gøres tilgængelige og meningsfulde for eleven. Casen illustrerer, hvordan konstruktionisme giver eleven mulighed for at udtrykke sig gennem teknologi, også uden at beherske alle tekniske færdigheder. Eleven ønskede at lave en snemand, men manglede færdighederne til at programmere en cirkel. I stedet fandt hun en kreativ løsning ved at bygge figuren af firkanter. Teknologien blev dermed ikke en begrænsning, men et udtryksrum, hvor hun kunne realisere sine idéer på egne præmisser. Dette viser konstruktionismens bidrag til matematisk dannelse: Eleven åbner sig for matematiske begreber (geometri, vinkler) gennem meningsfuld skabelse, og matematikken åbner sig for eleven som et redskab til at udtrykke sig kreativt.

Diskussion

Som Dindler et al. (2020) og Niss (2021) understreger, kan CT og de matematiske kompetencer ses som kernefagligheden ved implementering af teknologiforståelse i matematikundervisningen. Disse to fagligheder er begge relevante at få i spil, hvis eleverne skal udvikle digital matematisk myndiggørelse.

Evalueringen af Tekforsøget viste, at digital myndiggørelse blev nedprioriteret i matematikundervisningen til fordel for vidensområder (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021). Dette peger på en fundamental udfordring: Hvordan sikrer vi, at implementeringen af teknologiforståelse ikke blot bliver endnu et teknisk kompetenceområde, men faktisk understøtter elevernes dannelse som kritiske, handlingsdygtige borgere?

De to tilgange, vi har præsenteret, teknokritisk matematikundervisning og konstruktionisme, adresserer denne udfordring på komplementære måder. Den teknokritiske tilgang undersøger teknologiens skjulte matematiske strukturer og synliggør, hvordan matematik bringes i anvendelse i de teknologier, vi omgiver os med. Konstruktionismen fokuserer på handling og menings-skabelse ved at positionere eleverne som nogen, der selv skaber med teknologi. Ved at kombinere teknokritisk matematikundervisning og konstruktionisme kan vi sikre, at eleverne oplever både at udvikle teknologi selv, at skabe gennem teknologien og derigennem også at få en forståelse for teknologiens begrænsninger, fx hvis ansigtsgenkendelsesforløbet blev udbygget til, at eleverne ikke blot skulle udforske andres koder, men også selv skabe dem.

De to tilgange sætter fokus på forskellige aspekter af dannelsesdiskussionen. Ift. Klafkis idé om den dobbelte åbning ses på den ene side teknokritisk matematikundervisning, der primært handler om at bruge matematik til at åbne og kritisk diskutere ens teknologiske omverden, og på den anden side ses Paperts konstruktionistiske tilgang, der primært handler om at eksternalisere og konstruere elevs kreative idéer med brug af matematik og teknologi. Dette spænd genfindes i implementeringen af teknologiforståelse i matematikundervisningen som helhed, hvor vi finder en særlig kobling mellem CT og matematiske kompetencer. Disse to elementer udgør da dannelsesfundamentet, dvs. realdannelsen med udgangspunkt i Klafki. Hermed ses to komplementære dannelsespotentialer: teknokritisk matematikundervisning som ramme for at udfolde og forstå fænomener i elevernes teknologiske omverden og konstruktionisme som det skabende og innovative element. Det er altså realdannelsen, som vi skal stå på. De kritiske og skabende aspekter bliver da måderne, hvorpå vi kan indgå i vores samfund. I det følgende uddybes dette med særligt fokus på CT som realdannelsesfundament i den teknokritiske matematikundervisning.

Realdannelsesfundamentet for teknokritisk matematikundervisning

Både den teknokritiske matematikundervisning og CT involverer refleksion over teknologi, men med forskelligt fokus. Den teknokritiske tilgang retter sig mod at synliggøre teknologiens samfundsmæssige rolle og etiske implikationer ved at åbne black boxes (Misfeldt & Jankvist, 2020). CT fokuserer derimod på tankeprocesser om problemløsning, algoritmisk tænkning og design (Barr & Stephenson, 2011). Som beskrevet af Dindler et al. (2020) bidrager CT primært med det computationelle, fx gennem programmering, men uden nødvendigvis at forholde sig til, hvorfor og hvordan fx algoritmer fungerer i et bredere perspektiv. CT kan derved blive "neutralt", hvor eleverne "blot" lærer at kode, lave loop og finde mønstre. I Tekforsøget viste evalueringen, at dette netop ofte kunne ske, og at der var et manglende fokus på digital myndiggørelse (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021). Derimod er den teknokritiske tilgang særligt orienteret mod samfundet og kritisk tænkning. Uden et solidt realdannelsesfundament i både matematik og CT risikerer den teknokritiske tilgang imidlertid at blive til løsrevne politiske diskussioner uden faglig forankring.

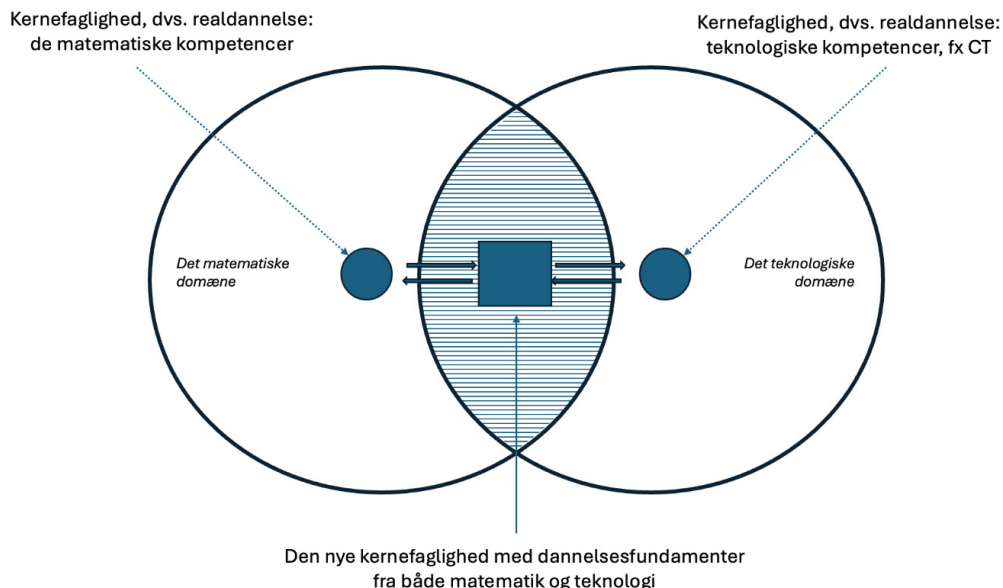
Hvis vi anskuer dette ud fra Klafki, vil den kritiske tænkning i teknokritisk matematikundervisning være en del af formaldannelsen, hvor de matematiske kompetencer/begrebsforståelsen samt de computationelle færdigheder og forståelser, som kan anskues ud fra CT, er de realdannende processer. Begge er vigtige, men af forskellig karakter – og nødvendige ift. *digital matematisk myndiggørelse*.

Realdannelsesfundamentet for konstruktionismen

Konstruktionisme handler om, ligesom CT, at *skabe og eksperimentere med* digitale teknologier. Papert (1980) så programmering som en naturlig læringsplatform, hvor elever konstruerer mening gennem aktiv skabelse. Hvor CT primært fokuserer på at strukturere tankeprocesser i problemløsning, lægger konstruktionismen vægt på meningsfuldhed, kreativitet og arbejdet med virkelige problemer (Papert, 1980; Goldenberg, 2019).

Ifølge Goldenberg (2019) kan programmering give mulighed for kreativ udfoldelse og matematikforståelse, hvis det integreres som et naturligt sprog i undervisningen. Dette kræver, at arbejdet med CT og programmering udvikler sig sammen med matematikken og anvendes på måder, der understøtter snarere end konkurrerer med den faglige udvikling. Arbejdet med CT må ikke blive eller fremstå som et isoleret projekt, som sjov og leg uden forbindelse til den faglige udvikling. Hvis lærere lykkes med at integrere CT og programmering som en del af matematikundervisningen, kan programmeringens fleksibilitet og kreative potentiale ifølge Goldenberg (2019) spille en central rolle i at fremme elevernes matematiske forståelse og kreativitet.

For at konstruktionisme skal kunne bidrage til dannelse, skal realdannelsen være på plads. I eksemplet med Scratch ses det, at pigens arbejde bygger på både matematisk



Figur 4. Overblik over koblingen af de to faglige domæner og deres kernefagligheder.

viden (firkanters egenskaber) og færdigheder inden for computing (algoritmisk tænkning, evnen til at bevæge sig mellem abstrakt og konkret). Disse computing-færdigheder kan forstås gennem CT (Wing, 2006), der fokuserer på at strukturere tankeprocesser i problemløsning. CT adresserer dog ikke i sig selv den kritisk-refleksive dimension, som digital myndiggørelse fordrer. Konstruktionismen tilfører denne meningsfuldhed og kreativitet, men kun når den hviler på et solidt realdannelsesfundament.

Matematisk dannelse ift. teknologiforståelse

Som diskuteret ovenfor opnår vi med implementeringen af teknologiforståelse i matematikundervisningen en ny faglig identitet. Når to faglige domæner, teknologi og matematik, integreres, vil dette ikke bare medføre et nyt fagligt domæne, men også en ny kernefaglighed, altså realdannelse, som bygger på både teknologi og matematik. Denne realdannelse er netop essentiel ift. at udvikle situationer, hvori elever har mulighed for at udøve *digital matematisk myndiggørelse*. Se figur 4.

Figur 4 illustrerer, hvordan de to kernefagligheder, matematik og teknologiforståelse, mødes og skaber en ny integreret kernefaglighed. Dette er ikke blot to fag lagt sammen, hvor matematik og CT eksisterer side om side. I stedet opstår en ny faglig praksis, hvor de to områder påvirker hinanden: Matematikken udvides til at omfatte kritisk teknologiforståelse, mens teknologiforståelsen forankres i matematisk indhold.

I en undervisningspraksis betyder dette, at valget af cases og problemstillinger bliver afgørende. De to tilgange, vi har præsenteret, viser, hvordan CT og matematik kan forbindes naturligt gennem velvalgte cases som ansigtsgenkendelse eller geometrisk programmering – cases, hvor realdannelsen (matematiske og teknologiske kompetencer) naturligt kobles med dannelsens kritisk-refleksive og kreativ-skabende dimensioner. På denne måde adresseres de problemer, der tidligere er identificeret: manglende didaktiske principper og fraværet af klare sammenhænge mellem matematiske stofområder og CT (Elicer & Tamborg, 2023). Analysen er primært teoretisk funderet, og de to cases fungerer som illustrationer snarere end som empirisk grundlag. En fremtidig undersøgelse kunne med fordel inddrage systematisk empiri fra klasserum, hvor de to tilgange afprøves, både hver for sig og i kombination, for at undersøge, hvordan lærere navigerer i spændingsfeltet mellem fagligt indhold og kritisk refleksion, og hvordan elever oplever og udvikler digital matematisk myndiggørelse i praksis.

Konklusion

Digital myndiggørelse og matematisk dannelse er to centrale elementer af de to kernefagligheder: matematik og teknologiforståelse. Disse to fagligheder skal mødes ved implementering af teknologiforståelse i matematikundervisningen. Vi har her beskrevet to tilgange, der bidrager på hver sin måde: Den teknokritiske tilgang understøtter kritisk bevidsthed om teknologiens rolle i samfundet, mens konstruktionismen understøtter matematisk dannelse gennem skabende aktiviteter. Det er dog vigtigt at understrege, at ingen af disse tilgange kan stå alene uden at have kernefaglighederne for øje.

Vi har i denne artikel understreget den særlige relation mellem dannelsesfundamentet (realdannelse) i form af matematiske kompetencer og CT, som ligger til grund for at elever kan udøve digital matematisk myndiggørelse. Her bliver de to kernefagligheder særligt væsentlige ift. at kunne bringe samfundsrelevante problemstillinger i spil. Det er altså ikke et enten-eller-spørgsmål, om man vil se på digital myndiggørelse eller kernefaglige kompetencer. Det hele hører sammen.

De to tilgange, vi har præsenteret i artiklen, er ikke de eneste, men de er brugbare til at designe en undervisning, som sigter mod at få eleverne til at udvikle digital matematisk myndiggørelse. Sluttelig skal det bemærkes, at teknologiforståelse som faglighed endnu er under udvikling. Hvor matematikken har veletablerede kompetencebeskrivelser, udgør CT kun én af flere kompetencer i teknologiforståelse. Dette åbner for videre undersøgelser af, hvordan de to fagligheder bedst integreres i praksis.

Tak!

Dette arbejde er en del af Videnscenter for Digital Teknologiforståelse, som er finansieret af Novo Nordisk Fonden (NNF23SA0082894), Villum Fonden (54607) og Lundbeckfonden (R419-2022-1261).

Referencer

- Barr, V. & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community? *ACM Inroads*, 2(1), 48-54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Benton, L., Hoyles, C., Kalas, I. & Noss, R. (2016). Building mathematical knowledge with programming: Insights from the ScratchMaths project. I A. Sipitakiat & N. Tutiyaaphuengprasert (red.), *Constructionism in Action 2016: Conference Proceedings* (s. 26-33). Suksapattana Foundation.
- Biehler, R. (2019). Allgemeinbildung, mathematical literacy, and competence orientation. I H.N. Jahnke & L. Hefendehl-Hebeker (red.), *Traditions in German-speaking mathematics education research* (s. 141-170). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11069-7_6
- Blomhøj, M. (2001). Hvorfor matematikundervisning? Matematik og almindannelse i et højteknologisk samfund. I M. Niss (red.), *Matematikken og verden* (s. 218-246). Fremad.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Dettori, G., Ferrari, A. & Engelhardt, K. (2016). *Developing computational thinking in compulsory education: Implications for policy and practice* (nr. JRC104188). Joint Research Centre. <https://doi.org/10.2791/792158>
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., Kampylis, P., Dagienė, V., Wastiau, P., Engelhardt, K., Earp, J., Horvath, M.A., Jasutė, E., Malagoli, C., Masiulionytė-Dagienė, V. & Stupurienė, G. (2022). *Reviewing computational thinking in compulsory education: State of play and practices from computing education*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/126955>
- Boylan, M., Demack, S., Wolstenholme, C., Reidy, J. & Reaney, S. (2018). *ScratchMaths: Evaluation report and executive summary*. Education Endowment Foundation.
- Brown, N.C.C., Sentance, S., Crick, T. & Humphreys, S. (2014). Restart: The Resurgence of Computer Science in UK Schools. *ACM Transactions on Computing Education*, 14(2), 1-22. <https://doi.org/10.1145/2602484>
- Buchberger, B. (1990). Should students learn integration rules? *ACM SIGSAM Bulletin*, 24(1), 10-17. <https://doi.org/10.1145/382276.1095228>
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2019). *Læseplan for forsøgsfaget teknologiforståelse*. <https://www.emu.dk/sites/default/files/2019-02/GSK.%20Læseplan.Tilgængelig.%20Teknologiforståelse.%20pdf.pdf>
- Børne- og Undervisningsministeriet. (2021). *Forsøg med teknologiforståelse i folkeskolens obligatoriske undervisning – slutevaluering*. https://emu.dk/sites/default/files/2021-09/gsk_teknologiforståelse_evalueringsrapport.pdf

- Børne- og Undervisningsministeriet. (2024). *Her er anbefalingerne til folkeskolens nye fagplaner*. <https://uvm.dk/aktuelt/nyheder/2024/december/241218-fagfornyelsens-beslutningsgrundlag>
- Caeli, E.N. (2020). *Teknologiforståelse*. Aarhus Universitetsforlag.
- Dindler, C., Smith, R.C. & Iversen, O.S. (2020). Computational empowerment: Participatory design in education. *CoDesign: International Journal of CoCreation in Design and the Arts*, 16(1), 66-80. <https://doi.org/10.1080/15710882.2020.1722173>
- Dreyfus, T. (1994). The role of cognitive tools in mathematics education. I R. Biehler, R.W. Scholz, R. Strässer & B. Winkelmann (red.), *Didactics of mathematics as a scientific discipline* (s. 201-211). Kluwer Academic Publishers.
- Elicer, R. & Tamborg, A.L. (2023). A critical case study on the implementation of computational thinking in mathematics education. *Implementation and Replication Studies in Mathematics Education*, 3(1), 44-74. <https://doi.org/10.1163/26670127-bja10011>
- Fibiger, J., Hjorth, M., Lorentzen, R. & Pasgaard, N.J. (2019). Digital myndiggørelse fra Kant over Dewey til teknologiforståelse i folkeskolen. *Studier i Læreruddannelse og -Profession*, 4(1), 56-76. <https://doi.org/10.7146/lup.v4i1.117980>
- Goldenberg, E.P. (2019). Problem posing and creativity in elementary-school mathematics. *Constructivist Foundations*, 14(3), 319-331. <https://constructivist.info/14/3/319>
- Grover, S. & Pea, R. (2013). Computational thinking in K-12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38-43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Israel, M. & Lash, T. (2019). From classroom lessons to exploratory learning progressions: Mathematics + computational thinking. *Interactive Learning Environments*, 28(3), 362-382. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674879>
- Iversen, O.S., Dindler, C. & Smith, R.C. (2019). *En designtilgang til teknologiforståelse*. Dafolo.
- Jahnke, A. (red.). (2020). *Programmering i skolan. Vad, hur, när och varför? Slutrapport från FoU-programmet Programmering i ämnesundervisningen* (Ifous rapportserie 2020:5).
- Jankvist, U.T., Misfeldt, M., Geraniou, E., Sánchez Aguilar, M. & Baccaglioni-Frank, A. (2023). Towards a technocritical mathematics education. *NOMAD Nordic Studies in Mathematics Education*, 28(3-4), 9-34. <https://doi.org/10.7146/nomad.v28i3-4.149029>
- Johansen, S.G. & Jankvist, U.T. (2022). The potential role of digital tools in students' development of Bildung: An illustrative case of statistical distributions. I H.-G. Weigand, A. Donevska-Todorova, E. Faggiano, P. Iannone, J. Medová, M. Tabach & M. Turgut (red.), *MEDA3 Mathematics Education in Digital Age 3: Proceedings of the 13th ERME Topic Conference (ETC13)* (s. 188-195). European Society for Research in Mathematics Education.
- Kaup, C.F., Pedersen, P.L. & Tvedebrink, T. (2023). Integrating computational thinking to enhance students' mathematical understanding. *Journal of Pedagogical Research*, 7(2), 127-142. <https://doi.org/10.33902/JPR.202318531>

- Kazemi, V. & Sullivan, J. (2014). One millisecond face alignment with an ensemble of regression trees. I *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (s. 1867-1874). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.3>
- Klafki, W. (2001). *Dannelsesteori og didaktik – nye studier*. Klim.
- Misfeldt, M. & Jankvist, U.T. (2020). Teknokritisk matematikundervisning: at åbne den skjulte matematik i demokratiets tjeneste. I C. Haas & C. Mathiessen (red.), *Fagdidaktik og demokrati* (s. 331-348). Samfundslitteratur.
- Niemelä, P., Partanen, T., Harsu, M., Leppänen, L. & Ihantola, P. (2017). Computational thinking as an emergent learning trajectory of mathematics. I *Proceedings of the 17th Koli Calling International Conference on Computing Education Research* (s. 70-79). <https://doi.org/10.1145/3141880.3141885>
- Niss, M. (2017). Numeracy, mathematical literacy og matematisk kompetence. *Viden om Literacy*, 22, 4-9. http://www.videnomlaesning.dk/media/2218/22_mogens-niss.pdf
- Niss, M. (2021). Matematisk dannelse i det 21. århundrede. I M.W. Andersen & P. Weng (red.), *Håndbog om matematik i grundskolen. Læring, undervisning og vejledning* (s. 71-85). Dansk Psykologisk Forlag.
- Niss, M. & Jensen, T.H. (red.). (2002). *Kompetencer og matematiklæring: Idéer og inspiration til udvikling af matematikundervisning i Danmark* (Uddannelsesstyrelsens temahæfteserie nr. 18). Undervisningsministeriet.
- Nouri, J. (2020). Forskningsindsatsens gennemførende og resultat. I A. Jahnke (red.), *Programmering i skolan. Vad, hur, när och varför? Slutrapport från FoU-programmet Programmering i ämnesundervisningen* (s. 35-50, Ifous rapportserie 2020:5).
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers and powerful ideas*. Basic Books.
- Papert, S. (2000). What's the big idea? Toward a pedagogy of idea power. *IBM System Journal*, 39(3-4), 720-729. <https://doi.org/10.1147/sj.393.0720>
- Pérez, A. (2018). A framework for computational thinking dispositions in mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 49(4), 424-461. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.49.4.0424>
- Rønne, M. (2023). *Matematik og innovation i undervisningen*. Center for Undervisningsmidler og Undervisningsministeriet. <https://emu.dk/stx/matematik/det-innovative/matematik-og-innovation-i-undervisningen>
- Skovsmose, O. (2023). *Critical mathematics education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-26242-5>
- Slot, M.F., Hjorth, M. & Gissel, S.T. (2021). Teknologiforståelse i fag. *Learning Tech*, 6(10), 190-217. <https://doi.org/10.7146/lt.v6i10.125676>
- Stager, G. (2016). Seymour Papert (1928-2016). *Nature*, 537, 308. <https://doi.org/10.1038/537308a>
- Videnscenter for Digital Teknologiforståelse. (2025). *Videnscenterets vision*. <https://tekforstaa.dk>
- Vikslund, S. (2020). Tyresö: Eleverna har lärt sig begrepp och har precis som lärarna nu ett gemensamt språk. I A. Jahnke (red.), *Programmering i skolan. Vad, hur, när och varför? Slut-*

rapport från FoU-programmet Programmering i ämnesundervisningen (s. 23-26, Ifous rapportserie 2020:5).

- 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), 127-147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>
- Wing, J.M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Winter, H. (1996). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*, 61, 37-46. <https://ojs.didaktik-der-mathematik.de/index.php/mgdm/article/view/69>

English abstract

This article examines how mathematics education can contribute to computational empowerment. With the implementation of technology comprehension in Danish primary schools, there is a need to understand how mathematics can support students' critical understanding of and agency in a digitalized world. We argue that a Bildung perspective, rather than a purely competence-based approach, is particularly suited for this purpose, as the concept of Bildung encompasses the critical-reflective dimension that computational empowerment requires. Through two didactic approaches – techno-critical mathematics education and constructionism – we demonstrate how these contribute in complementary ways: the techno-critical approach supports critical awareness of technology's role in society, while constructionism supports mathematical Bildung through creative construction. Together, the two approaches can realize digital mathematical empowerment.



Aktuel analyse

I denne sektion tages aktuelle problemstillinger i relation til matematik- og naturfagsdidaktik op til analyse og diskussion. Teksterne gennemgår ikke peer review, men skal være saglige, analytiske og argumenterende. Kontakt gerne redaktionen med idéer til indhold på mona@ind.ku.dk.

Forstå teknologien: Fra filosofi til didaktik



Keld Nielsen, lektor emeritus, Center for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet

Abstract: *De muligheder, vi og vores børn vil få for fremadrettet at skabe bedre livsbetingelser, afhænger i ekstrem grad af, hvordan vi forstår og håndterer vores teknologiske muligheder. Derfor bør moderne uddannelse omfatte viden om – og holdninger til – teknologi og teknologiske valg. Artiklen giver en oversigt over de sidste 30 års udvikling af en filosofi og didaktik, der ikke har fokus på forholdet mellem teknologi og samfund, men undersøger spørgsmål som: Hvad er teknologi for et fænomen? Hvordan opstår ny teknologi? Hvilken rolle spiller design? Hvilke egenskaber har teknologien, der gør, at vi er så afhængige af den?*

Indledning

Døgnet rundt er vi omgivet af teknologi. Den måde, vi bruger teknologi på, er afgørende for vores livsvilkår. Og de muligheder, vi – og ikke mindst vores børn – vil få for fremadrettet at skabe bedre livsbetingelser, afhænger i ekstrem grad af, hvordan vi håndterer vores teknologiske muligheder. Og styrer uden om de teknologiske faldgruber.

Derfor er det uomgængeligt, at moderne uddannelse og dannelse må indeholde viden om – og holdninger til – teknologi og teknologiske valg. Det gælder ikke kun for de fremadstormende digitale teknologier, men også for de store teknologiske systemer, der forsyner os med energi, transport, kommunikation, beboelse, fødevarer og sundhed. Og for alle de andre teknologier, som mennesker har udviklet og implementeret – og kontinuerligt udvikler videre på.

Men hvem er det, der har udviklet teknologierne, og hvem er det, der fortsat udvikler dem? Hvordan bærer de sig ad? Hvad vil de opnå? Hvorfor gør de det? Kan det gøres anderledes? Sandsynligvis kan vi mennesker slet ikke lade være med at bruge og udvikle teknologi:

“Af historien lærer vi, at der altid har været en forbindelse mellem mennesker og deres teknologier. [...] så længe mennesker har levet på denne jord, har de formået at udvikle sig, fra den første dag til i dag, udelukkende som følge af deres forhold til teknologier. En forståelse af teknologibegrebet er derfor afgørende, hvis vi skal forstå verden i dag, i fortiden og ind i fremtiden.” (Dakers, 2023, s. 237). (Alle citater er oversat af forfatteren).

I grundskolen har emnet teknologi i årtier været en del af det faglige indhold i de fire naturfag. Det har dog ikke ført til faglig enighed om, hvad man som underviser skal lægge i begrebet “teknologi”. Fraværet af en fælles forståelse er bl.a. påpeget i (Nielsen & Sillasen, 2020). Se også (Brandt et al., 2024).

I forbindelse med undervisning, der inddrager teknologi, er STEM-begrebet af stor betydning. Men i dansk STEM-sammenhæng er der heller ikke enighed om, hvad T’et står for. Behovet for, at fagområdet teknologi får en velbeskrevet plads i forbindelse med udvikling og implementering af STEM-undervisning, er påtrængende (Nielsen et al., 2023).

Nye måder at forstå teknologi på

Denne artikel giver en oversigt over de sidste 30 års udvikling inden for den gren af filosofi, der beskæftiger sig med teknologi. Udviklingen har ført til en beskrivelse af teknologi, som forhåbentlig er så overskuelig, at det bør overvejes, om den kan bruges som udgangspunkt for en fokusskabende, teknologirettet fagdidaktik der er robust nok til at blive brugt både i en naturfaglig STEM-sammenhæng og i et bredere STEM-samarbejde med fx sprog- og samfundsfag.

Endemålet er at komme omkring tre store filosofiske spørgsmål:

“[...] teknologifilosofi er et felt, der har været optaget af tre hovedspørgsmål: (1) Hvad er teknologi? (2) Hvordan kan teknologiens konsekvenser for samfundet og den menneskelige tilstand forstås og evalueres? (3) Hvordan bør vi handle i forhold til teknologi?” (Brey, 2010, s. 43)

Det følgende handler om det første spørgsmål samt nogle af de implikationer, svaret har for de to andre.

Thinking through Technology

I 1994 udgav den amerikanske filosof Carl Mitcham bogen *Thinking through Technology: The Path between Engineering and Philosophy* (Mitcham, 1994). Bogen fik stor betydning som afsæt for tænkning om teknologi – hvad er teknologi? – og dermed også for tænkning om undervisning i teknologi.

“Carl Mitcham udvidede forståelsen af teknologi til at omfatte teknologi som genstande, viden, aktivitet og vilje. Denne tænkning om teknologi som et bredere begreb har hjulpet med at sætte mere generelle målsætninger for teknologiuddannelse [...]. Nu, som et alment uddannelsesfelt, har diskursen om målene for teknologiuddannelse i vid udstrækning flyttet sig i retning af – blandt andre – begreberne teknologisk dannelse (‘technological literacy’) og teknologisk kompetence.” (Gill et al., 2023, s. 21)

I bogen gennemgår Mitcham to traditioner for beskrivelser af teknologi, som gennem historien har været dominerende. En teknisk “engineering philosophy of technology” (EPT) på den ene side og en “humanities philosophy of technology” (HPT) på den anden.

EPT er, når det kommer til stykket, ikke særlig filosofisk. Denne retning er fortrinsvis blevet dyrket af ingeniører, der ikke var trænet i filosofi, og som med begejstring betragtede teknologi “indefra” og beskrev den som en lang række af nyskabelser – opfindelser – og forbedringer. I denne forståelse er teknologi drivkraften bag menneskehedens fremskridt.

HPT har rødder i den græsk-romerske oldtid. HPT er skabt af tænkere trænet i filosofi, og derfor er den mere filosofisk interessant end EPT. Filosoferne betragter teknologien “udefra”, med skepsis, og ser den som et fremmedelement, en konstant udfordring for menneskets mulighed for at leve i overensstemmelse med sin sande natur. Blandt de mest kendte repræsentanter for HPT omtaler Mitcham bl.a. de teknologikritiske filosoffer Martin Heidegger og Jacques Ellul. Mitcham er overrasket over, hvor lidt de ved om teknologi og ingeniørarbejde, og hvor overfladisk de beskriver teknologien, imens de problematiserer den voldsomt (Mitcham, 1994, s. 142).

Mitcham holder fast i, at det ikke er nok kun at forstå teknologiens tekniske aspekter. For at komme til en dybere forståelse af teknologiens væsen og dens betydning for mennesker og kultur er det nødvendigt at behandle den filosofisk. Derfor er det nødvendigt at tage udgangspunkt i HPT. Udfordringen er – eller var det i 1994 – at HPT må baseres på langt mere empiri. På flere observationer af, hvad teknologi er, gør og kan. Historisk og sociologisk.

Med det som udgangspunkt leder Mitcham efter et filosofisk grundlag for at beskrive teknologi. Han gennemgår 11 filosoffer, som i perioden 1955 til 1975 forsøgte at indfange de væsentligste træk ved teknologi. Deres 11 definitioner af teknologi stritter i alle retninger, og de er stort set uforenelige (“incompatible”). Ingen af dem er egnede som et samlende filosofisk udgangspunkt.

I stedet for at give endnu en definition formulerer Mitcham, hvad han kalder en karakteriserende rammesætning (“a characterological framework”) (Mitcham, 1994, s. 153). Gennem en syntese af forgængernes ræsonnementer ender han med at fremdrage fire aspekter, som han mener, karakteriserer teknologi. Teknologi manifesterer sig som:

- Artefakter – produkter, maskiner og redskaber, som omgiver os
- Viden – erfaring, knowhow, regler og teorier, hvormed vi forstår tekniske processer
- Aktiviteter – designprocesser, fremstilling, brug, vedligeholdelse og anden interaktion med teknologi
- Vilje/værdier (“volition”) – den menneskelige vilje, der ligger bag udvikling og brug af teknologi.

Vi vender tilbage til denne firedeling. Den løber som en tråd gennem store dele af en ny måde at tænke om teknologi på. Samtidig har Mitcham, gennem sin indflydelse på filosofiens udvikling, også medvirket til at give teknologi-didaktikken et nyt udgangspunkt:

“Mitchams (1994) *Thinking through Technology* har [...] i høj grad haft indflydelse på forskning i teknologiundervisning, og den har været grundlag for mange moderne studier af teknologiundervisning.” (Hallström, 2024, s. 94); se også (Dakers, 2019, s. 6); (Dakers, 2025, s. 6); (Larsson et al., 2024; Nia & de Vries, 2016).

Påvirkning fra videnskabsfilosofi

Mitcham skrev sin bog i en tid, hvor tænkningen om teknologi var påvirket af udviklingen inden for videnskabsfilosofi.

I 1962 udkom Thomas Kuhns berømte bog om strukturen af videnskabelige revolutioner (Kuhn, 1962). Bogen igangsatte en omvæltning i opfattelsen af naturvidenskab: fra et “lukket”, værdifrit og logisk deduktivt system til en social aktivitet fuld af værdikonflikter, som er påvirket af det omgivende samfund og omvendt har stor indflydelse på samfundets udvikling. Dette nye sociologiske syn på videnskaberne inspirerede både teknologihistorikere og -filosoffer.

I 1970'erne – inspireret af de nye toner i videnskabshistorien og som en reaktion på den eksisterende klassisk-kritiske opfattelse af teknologi – begyndte en bølge af teknologihistorie og teknologifilosofi, som tog udgangspunkt i kildebaserede analyser af konkrete teknologier. På et empirisk grundlag beskrev historikere og filosoffer tilblivelsen og udbredelsen af specifikke teknologier, ofte med vægt på deres reception og effekt på brugerne. Udviklingen muliggjorde en mere detaljeret og realistisk indsigt i, hvordan nye teknologier lanceres, implementeres og modtages – eller forkastes. Udviklingen er siden blevet omtalt som den empiriske vending i teknologifilosofi (“the empirical turn in the philosophy of technology”) (Brey, 2010; Verbeek, 2022).

STS – fokus på forholdet mellem teknologi og samfund

Den empiriske vending muliggjorde den “bevægelse”, der blev kendt som STS (science, technology, society). I STS er der fokus på, hvordan konkrete teknologier har indfly-

delse på samfundet og samfundet har indflydelse på udvikling og implementering af konkrete teknologier. Interessen samler sig om “brugere” som kunder eller socialt relevante aktørgrupper og deres forhold til teknologi/teknologier (Ankiewicz, 2019; Müller et al., 1984).

STS-vinklen er fx velegnet til at inddrage miljøpåvirkning i teknologiundervisning, eller – mere bredt – hvordan man vurderer indflydelsen på omgivelserne af en given teknologi. STS-tanker har da også haft stor indflydelse på behandling af teknologier og deres aspekter i en dansk undervisningssammenhæng (Larsen, 2020; Nielsen et al., 2023). STS betød, at teknologi i mange læseplaner fik en mere synlig status som en faktor i samfundet.

Men forståelsen af teknologi som en særlig form for viden og aktiviteter, herunder hvordan ny teknologi kommer til verden, blev ikke udviklet som en del af STS, fordi STS i mange sammenhænge overtog det gamle synspunkt, at ny teknologi vokser ud af videnskabelige gennembrud. Altså at teknologi i sit væsen er en anvendelse af videnskab. Teknologi har store konsekvenser, men filosofisk set blev den anset for at været uinteressant (Brey, 2010). (Behandlingen af teknologi i (Müller et al., 1984) giver et mere nuanceret syn på teknologisk aktivitet og teknologisk udvikling).

Det afgørende her er, at STS primært udviklede en tænkning *om* teknologi, men ikke beskæftigede sig nær så meget med, hvad teknologi *er* for et fænomen.

“Selvom STS-tænkningen bidrog til en voksende opmærksomhed på temaet teknologi i uddannelse, er teknologiens sande natur stadig generelt ukendt.” (de Vries, 2018c, s. 76); se også (Turkoglu et al., 2022).

I en oversigtsartikel over “the empirical turn” udtrykker filosofen Peter-Paul Verbeek det således:

“Nogle forskere har hævdet, at teknologifilosofien [STS] i sin opmærksomhed på [teknologiens] sociale implikationer syntes at have glemt at tænke på selve teknologien.” (Verbeek, 2022, s. 41)

Mens teknologi gennem STS fik en væsentlig plads i mange landes læreplaner, så skyggede STS samtidig for udviklingen af en dybere forståelse af teknologiens væsen. Men der er ingen modsætning mellem på den ene side at interessere sig for forholdet mellem teknologi og samfund og på den anden side at interessere sig for “teknologiens sande natur”. De to tilgange supplerer hinanden.

30 år med teknologiens fire manifestationer

I 1990'erne gik teknologifilosofien dermed ind i en ny epoke. Man tog nye emner op og fandt nye måder at undersøge tingene på (Brey, 2010, s. 36). Det skete ikke udelukkende på grund af Mitchams bog. Som nævnt spillede inspirationen fra en ny, mere sociologisk orienteret videnskabsfilosofi også en rolle.

Dele af den nye filosofi søgte at analysere karakteren af teknologi, artefakter og design. Tænkningen blev baseret på analyser af konkrete teknologier og designprocesser (de Vries, 2019, s. 27). I den tradition, vi ser på her, var kravet, at tænkningen skulle fokusere mere på selve teknologien og mindre på dens sociale konsekvenser. (Franssen et al., 2024) opsummerer:

“[Det er] en form for teknologifilosofi, som vi i øjeblikket anser for at indtage en position som alternativ til den [traditionelle] humanistiske teknologifilosofi. Den [...] har vundet momentum i de sidste tyve til femogtyve år. Denne form for teknologifilosofi [...] beskæftiger sig ikke primært med forholdet mellem teknologi og samfund, men med selve teknologien.” (Franssen et al. 2024, afsnit 1.3)

Denne nye tænkning om teknologi har materialiseret sig i en lang række artikler, rapporter, monografier og antologier. Mange af dem bygger videre på det fundament, der blev skabt af Mitcham (de Vries, 2018b, s. 8).

Kun en lille del af disse værker er omtalt her. Nærværende artikel er på ingen måde et forsøg på at lave et review. Hensigten er begrænset til at give en oversigt over de nye tanker og den baggrund, de har udviklet sig på.

I det følgende opsummeres kort de sidste 30 års beskrivelser af de fire manifestationer af teknologi, der blev foreslået af Mitcham. Et gennemgående sidetema er ønsket om at få de nye idéer ind i teknologiundervisningen samt ønsket om at udvikle en teknologiundervisning, som ruster eleverne til at leve i et moderne dilemmafyldt samfund, hvor teknologi og teknologiske valg spiller en større og større rolle.

Teknologi som artefakter (og systemer)

Den mest umiddelbare måde at møde teknologi på er som den kæmpestore samling af genstande og systemer – artefakter – som er skabt gennem menneskelig aktivitet (de Vries, 2018a, s. 9; Larsson et al., 2024, s. 8; Meijers & de Vries, 2009).

“Artefakter – materielle genstande som værktøjer, maskiner og forbrugerprodukter – er det, der først og fremmest falder én ind, når ordet ‘teknologi’ nævnes. [...] Teknologi som objekter er den mest umiddelbare, for ikke at sige den enkleste, måde, hvorpå teknologi

manifesterer sig, og den kan omfatte alle menneskeligt fremstillede materielle artefakter, hvis funktion afhænger af en specifik stoflighed.” (Mitcham, 1994, s. 161)

Netop denne synlighed og – i mange tilfælde – fysiske nærhed af artefakter gør brugen af dem og beskrivelsen af dem til et oplagt udgangspunkt for undervisning om teknologi.

Et artefakt er meget mere end det, man umiddelbart kan sanse. Det, der for alvor kan medvirke til at forklare, hvorfor teknologiske genstande er så tæt vævet ind i vores liv og vores samfund, er deres “dobbelte natur” (“dual nature”).

Et artefakt har to sider. En fysisk, som vi kan sanse og bestemme ved iagttagelse og målinger (vægt, hårdhed, form, farve, indgående dele). Men vi anskaffer ikke et givent artefakt på grund af dets fysiske fremtoning, men fordi vi vil *bruge* det til noget. Artefaktet har et formål, en funktion (de Vries, 2019; Kroes, 2012; Kroes & Meijers, 2006). (Man kunne også sige, at artefaktet har en “betydning”, men i den engelsksprogede litteratur anvendes udtrykket “function” om den ydelse, som artefaktet designes til at kunne levere. Så her bruger vi også udtrykket “funktion”).

Et artefakt kan således ikke “forstås” ved kun at give en fysisk beskrivelse – eller kun en funktionel analyse. Begge sider skal indgå, ellers mister beskrivelsen det centrale ved vores forhold til teknologiens mange genstande (Kroes, 2012, s. 40). Det er artefakternes funktion – ikke deres konstruktion eller fysiske virkemåde – der er årsagen til, at vi omgiver os med dem. Hvis man undlader at inddrage det funktionelle i sin undervisning, mister man muligheden for at tale om, hvorfor artefakterne eksisterer og spiller en rolle for os.

Artefaktets funktionelle natur er en relation mellem artefaktet og brugeren. I sidste ende er det nemlig brugeren – eller brugerne – der tillægger artefaktet en funktion. Det er artefaktets funktion, der gør, at det rækker ind i vores sociale relationer.

Den intenderede funktion, som er indlejret i et artefakt gennem dets design, betyder, at artefaktet ikke er “neutralt” i den forstand, at det først får en funktion, når et menneske beslutter sig for at anvende det til et eller andet. Muligheden for en bestemt funktion er allerede indlejret i designet.

Men mennesker er opfindsomme i deres omgang med tekniske artefakter, og den intenderede funktion kan ikke entydigt fastlægge, hvordan vi bruger artefaktet. En travl forretningsmand bruger og “forstår” sin mobiltelefon på en anden måde end en teenager. Der er et ret stort spillerum i forholdet mellem den intenderede funktion og den reelle funktion, som diverse sociale grupper tillægger et givent artefakt (Franssen et al., 2024). Den grundlæggende funktion af artefaktet en bil er at transportere mennesker eller gods fra A til B. Men en bil kan tillægges en lang række andre funktioner, fx til brug i motorsport eller som prestigegivende udstillingsgenstand.

Teknologiske systemer

Moderne teknologi bliver mere og mere "systemagtig". Den kan ikke beskrives og forstås – og derfor heller ikke behandles didaktisk – uden at inddrage systemperspektiver. Betydningen af teknologiske systemer vil kun vokse (Hallström & Williams, 2022).

Et teknologisk system kan betragtes som et artefakt. Det har altså også en dobbelt natur. Vi udvikler, bygger og vedligeholder systemer, fordi de skal opfylde et formål eller levere en ydelse.

Systemer behøver ikke at være geografisk omfattende. Men de har altid et input, en proces og et output. Tag som eksempel artefaktet en "en vaskemaskine". Den kan beskrives som et system, hvis input er snavset tøj, rent vand, vaskemiddel, elektrisk energi og instruktioner i form af software, der vælges af brugeren. Systemets output er rent tøj, snavset vand med opløst vaskemiddel, (spild)varme og information (på displayet) om maskinens status.

Til systemet er knyttet en proces: åbning af låge, tøj ind, luk låge, vaskemiddel ind, valg af program, vand ind, opvarmning, tromlen roterer osv. Som en vigtig del af processen genererer systemet information om sin egen tilstand ved at måle tid, vandstand og vandtemperatur. Gennem feedbackloops bruges informationerne til at styre processen. Det er kombinationen af feedback med en eller flere digitale (programmerbare) chips, der gør maskinen selvregulerende. Informationsbaseret feedback kombineret med programmerbar teknologi er et centralt træk ved de fleste moderne teknologiske systemer (Hallström, 2022c; Meadows, 2009; Mioduser & Kuperman, 2020; Perez & Svensson, 2024).

Store teknologiske systemer spiller en særlig rolle. Vores teknologiske samfund er kun muligt på grund af et voksende antal geografisk meget omfattende systemer, der forsyner os med drikkevand, elektricitet, fødevarer, lægebehandling, transport, underholdning, nyheder og kommunikation. Sådanne systemer drives og passes af specialister, der overvåger dem, vedligeholder dem, udbygger dem, justerer dem, hvis der opstår fejl, og sørger for, at de ikke kommer i konflikt med konkurrenter, lovgivning eller grupper af brugere. Store tekniske systemer er ikke kun afhængige af ingeniører og teknologer, men også af sociologer, økonomer, jurister, økologer, logistikere, historikere, statistikere mv.

De store systemer har en række fælles karakteristika (Hallström & Williams, 2022, s. 237):

- De består af både tekniske og sociale/menneskelige komponenter – systemerne er sociotekniske.
- De udvikles og holdes ved lige af dertil udviklede organisationer, som er tværfaglige. De har brug for både teknisk, juridisk, økonomisk, informationsvidenskabelig, sociologisk og politisk (og ofte miljømæssig) viden.

- Deres geografiske udstrækning varierer alt efter deres struktur og funktion: Fra at dække byområder til at omfatte hele byer eller regioner/lande til at være globale. Det er netop i kraft af deres systemnatur, at det er muligt for dem at vokse sig så store.
- De indeholder feedbackmekanismer, som giver information om deres tilstand og gør det muligt at holde dem stabile.
- De interagerer med – og er ofte afhængige af – andre systemer.
- De har afgørende betydning for folks liv og samfundets indretning.
- De fleste af dem har stor indflydelse på miljøet.

Erfaringer viser, at det er udfordrende at inddrage store tekniske systemer i undervisningen, fordi systemerne er så komplekse. Eleverne har især vanskeligt ved at forstå den sociale del, som er abstrakt/usynlig for almindelige brugere. Det går bedre med at forstå den synlige – fysiske – opbygning (Svensson, 2018).

Det har vist sig vanskeligt at udvikle overskuelige mentale modeller af sociotekniske systemer, og der eksisterer p.t. ikke nogen simpel, udbredt model for, hvordan man kan undervise i og om systemer (Hallström & Klasander, 2020). Men i en moderne forståelse af teknologi kommer vi ikke uden om at arbejde med det sociotekniske systemaspekt:

“[Gode modeller af store sociotekniske systemer er vigtige] for at eleverne kan generalisere viden om teknologiske systemer og lære om, hvad der er de mest almindelige karakteristika ved teknologiske systemer, og hvordan de adskiller sig fra enkeltstående artefakter. En sådan generaliseret viden kunne kaldes systemtænkning, som er en måde at gribe studiet af teknologiske (og andre) systemer an på.” (Hallström, 2022a, s. 246)

En didaktik, der gør det muligt at reducere kompleksiteten i omtalen og forståelsen af store sociotekniske systemer, kræver en bedre filosofisk beskrivelse af systemerne og de træk ved dem, der er grundlæggende. En sådan beskrivelse har vi ikke endnu, men vi må håbe, at der snart sker et gennembrud. Der er nye idéer på vej, fx SAFO-modellen (SAFO står for System Architecture-Function-Outcome) (Lavi & Bertel, 2024); se også (Gilisen et al., 2020).

Teknologi som viden

Teknologi er ikke mulig uden den viden, der anvendes eller udvikles i forbindelse med design, fremstilling, brug, vedligehold og genanvendelse/bortskaffelse af teknologi. Den omfatter viden om materialer og deres egenskaber, om processer, organisering, uddannelser, juridiske og miljømæssige krav samt viden om interaktioner mellem

brugere og artefakter. Teknologisk viden kan være knyttet til individer, grupper eller institutioner. Også viden om teknologiens uønskede effekter som forurening eller forarmelse af naturgrundlaget hører hjemme her.

Teknologisk viden er fx viden, som ingeniører henter fra naturvidenskaberne, viden om, hvordan man løser designproblemer, viden om tekniske normer og standarder, om økonomiske og juridiske forhold i relation til teknologi, og hvordan man omsætter ønsker fra en klient til tekniske krav, eller håndværkernes "tavse viden". Altså en blanding af elementer fra fag og faglige discipliner, der rækker fra naturvidenskab over samfundsvidenskab til jura, psykologi og håndværk.

Brugere, på deres side, har viden om, hvad tekniske apparater, maskiner og systemer kan bruges til, de ved, hvordan man bruger et givent artefakt, og de ved ofte, hvordan man vedligeholder eller reparerer artefaktet (Meijers & de Vries, 2009, pp. 70-71).

Teknologi er mere end "anvendt naturvidenskab"

Udvikling og brug af moderne, avanceret teknologi er ikke muligt uden viden hentet fra naturvidenskaberne. Så det ligger til højrebenet at tænke, at drivkraften i teknologisk udvikling er anvendelsen af videnskabelige landvindinger.

Men konkrete studier af, hvad det er for en viden, som ingeniører og brugere anvender, udvikler og udveksler i forbindelse med design, fremstilling, tilpasning og brug af artefakter, har vist, at det er for begrænset at tænke på teknologi som "anvendt naturvidenskab". Ny videnskabelig viden er med til at gøre det muligt at udvikle ny teknologi. Men det er ikke videnskabelige resultater, der driver den teknologiske udvikling (de Vries, 2018b).

De første konkrete forståelser af, at teknologi forudsætter særlige typer af kompleks viden, opstod i 1990'erne i forbindelse med studier af, hvordan ingeniører faktisk arbejder. Bøger som *What Engineers Know and How They Know It* (Vincenti, 1990) og *Engineering and the Mind's Eye* (Ferguson, 1992) satte en ny dagsorden for studier af, hvad det er ingeniører ved, tænker og gør, når de løser teknologiske problemer. Dermed kom der også fokus på designprocessen (mere herom i næste afsnit).

En vigtig konklusion var, at i forbindelse med teknologi er der mange typer af viden og færdigheder i spil, hvoraf nogle er specifikke for teknologi. Ligesom andre professionelle discipliner – fx naturvidenskab, økonomi, lingvistik eller samfundsvidenskab – har teknologi sit eget specifikke vidensdomæne (de Vries, 2018b).

"De to aktiviteter naturvidenskab og ingeniørkunst rækker i høj grad ind over hinanden, men vedbliver at være forskellige." (Franssen, 2022, s. 68)

Videnskab og teknologi er også forskellige, når det gælder formålet med aktiviteterne. Kriteriet for god videnskab er, at de udsagn, man kommer frem til, er "sande" i den

forstand, at der er overensstemmelse mellem den udviklede viden (formler, teorier, modeller) og den observerede virkelighed. Men inden for teknologi taler man jo ikke om "sandhed" som et mål for det, man laver, men om "anvendelighed". Kernepunktet er, om resultatet kan bruges af nogen til noget. Her og nu. Og et stykke ind i fremtiden.

Teknologi som aktivitet

Teknologi kan opfattes som noget, vi mennesker gør. I forskellige roller. Vi køber eller anskaffer, vi anvender, vi evaluerer, vi designer, vi fremstiller eller producerer, vi kasserer, vi genanvender, vi protesterer. I den moderne verden er vi alle teknologisk aktive, vi træffer teknologiske valg, og vi deltager i teknologiske processer. Både på et individuelt niveau og på kollektive niveauer.

Designprocesser

Et resultat af den nye teknologifilosofi er, at der er kommet fokus på designprocessen. Tidligere tiders brug af begrebet "opfindelse" er forladt til fordel for en mere kompleks beskrivelse af, hvordan teknologi opstår og forbedres. Hvor man tidligere forstod begrebet "opfindelse" som et resultat af en pludselig, nærmest mystisk inspiration hos opfinderen (James Watts "opfindelse" af dampmaskinen er et stjerneeksempel), så har studier af konkrete designprocesser ført til en mere nuanceret forståelse af, hvordan teknologi kan udvikle og forny sig i en tilsyneladende uendelig proces.

Designprocesser er blevet studeret empirisk, med videooptagelse, spørgeskemaer, interviews mv. Et af resultaterne er, at en designproces er meget mere kompleks, end man havde forestillet sig. Mange typer af overvejelser indgår i en designproces. To centrale er kreativ inspiration og rationel beslutning. Det er kreativiteten, der skaber nye muligheder for at agere, og det er rationaliteten, der beslutter, hvad det er for en aktion, der skal vælges (de Vries, 2016).

"At forstå, hvor teknologi 'kommer fra', hvad der driver innovationsprocessen, er vigtigt – ikke kun for dem, der er nysgerrige efter at forstå selve fænomenet teknologi, men også for dem, der er bekymrede over dens rolle i samfundet.

[...] I de seneste årtier er der i stigende grad ikke kun blevet lagt vægt på etiske spørgsmål, der opstår under brugen af en teknologi, men også på designfasen. En vigtig overvejelse bag denne udvikling er tanken om, at teknologier og deres sociale konsekvenser i designfasen stadig er formbare, hvorimod teknologier i brugsfasen er mere eller mindre givne, og negative sociale konsekvenser kan være sværere at undgå, eller positive effekter sværere at opnå." (Franssen et al., 2024)

Forståelsen af designprocessen og dens rolle i udviklingen af teknologi er også blevet vigtig i undervisningssammenhæng:

“Mens design historisk set har været et element i teknisk uddannelse, er det i de seneste årtier blevet langt mere fremtrædende og har ændret karakter med en dagsorden om autenticitet og brugen af design som en pædagogisk aktivitet.” (Buckley, 2023, s. 21)

Det er altså en vigtig del af teknologiundervisningen, at eleverne deltager i designprocesser. Deltagelsen kan styrke faglig læring og træne sociale kompetencer, men det vigtigste fra et filosofisk-etisk synspunkt er, at eleverne får indsigt i, hvordan nye artefakter bliver skabt – at den teknologiske verden er frembragt gennem design og forandres gennem design. Hvis de vil ændre fremtiden gennem ændrede artefakter, så skal de i gang med at designe.

Evaluering af teknologi

En absolut relevant aktivitet i dannende teknologiundervisning er vurderingen af en given teknologi eller en gruppe af teknologier. Kompetencer til at beskrive, analysere og vurdere virkningerne af en teknologi er en essentiel del af det at være teknologisk myndig.

En evaluering må oplagt tage udgangspunkt i de teknologiske aktiviteter, fx brug og implementering, der omgiver den givne teknologi. Men teknologi som “aktivitet” er måske det af Mitchams fire aspekter, der stadig er mindst gennemlyst af moderne teknologifilosofi (Mioduser, 2025).

Uden et didaktisk grundlag er arbejdet med at evaluere en given teknologi i en klasse i fare for at munde ud i en ustruktureret snak. (Williams & Barlex, 2020) efterlyser en didaktik, der kan støtte undervisning, hvori der indgår evaluering. Altså bringe orden og stilladsering i spørgsmål som: Hvordan afgrænser man, hvad der skal evalueres? Hvad er nødvendigt at vide om teknologien (historie, virkemåde)? Hvad skal man vide om brugen (hvem der gør hvad med teknologien, brugergrupper, udbydere, kontrollanter)? Hvordan gennemskuer/formulerer man intentionaliteten? Hvad er der af kontrol/lovgivning (og hvad mangler på dette område)? Hvilke spørgsmål skal man søge at besvare? Kan man sammenligne “vurderinger” af to eller flere forskellige teknologier? Er der en skala for vurderingerne? Osv.

Også Brey gør opmærksom på, at vi mangler at udvikle en model for, hvordan man i undervisningen kan arbejde med at evaluere konsekvenserne af ny teknologi. Lærerne skal have et bedre grundlag for at tale normativt og etisk om nye teknologier (Brey, 2010, s. 45).

Teknologi som menneskelig vilje

Mitchams fjerde manifestation peger på den rolle, som menneskelig vilje spiller i at initiere, forme og realisere teknologisk udvikling. Det er ikke muligt at forstå teknologi som et fænomen uden at tænkningen inddrager, hvordan teknologi er knyttet til menneskers indre liv i form af vilje, ønsker og værdier. Mitcham bruger udtrykket "volition", der kan oversættes til "viljesakt".

"Volition" refererer til, at teknologi drives af menneskelige intentioner og motiver, og omfatter forskellige typer af menneskelig vilje, som overlevelseshæft, viljen til at kontrollere eller opnå magt, jagten på frihed, stræben efter forbedringer af livsvilkår og vilje til at virkeliggøre sine drømme.

Mitcham fremhæver, at forståelse af teknologi som en manifestation af vilje kræver en filosofisk tilgang, der anerkender, at teknologiske handlinger er forbundet med individuelle menneskelige ønsker og beslutninger, som almindeligvis kun kan realiseres, hvis de bliver delt med en eller flere grupper af andre individer. Dermed understreges teknologiens menneskelige oprindelse og den sociale og kulturelle karakter af teknologisk udvikling, drevet af (fællesgjorte) menneskelige drømme, værdier, mål og valg (Mitcham, 1994, s. 250).

Teknologisk determinisme

I diskussioner om forholdet mellem vilje, individ, teknologi og samfund dukker et spørgsmål op: Er det i virkeligheden teknologi, der determinerer samfundets indretning – de sociale strukturer, vores kulturelle værdier og vores syn på verden i det hele taget? Er det teknologiske innovationer, der betinger, hvordan samfundet udvikler sig?

I 1960'erne og 70'erne var diskussionen stærkt påvirket af den allerede omtalte Jacques Ellul, der argumenterede for, at teknologi udvikler sig *autonomt*: Det er mennesker, der udtænker nye innovationer, men teknologien har en indre logik, som udspringer af krav om rationalitet og effektivitet. Det betyder, at etiske, kulturelle eller politiske synspunkter ikke har nogen kraft i den teknologiske proces. Teknologien er menneskeskabt, men den er ikke under menneskelig kontrol. Den betinger sin egen udvikling.

Forestillingen om teknologiens autonomi er – efter den empiriske vending – opgivet af det store flertal af teknologifilosoffer og -sociologer. Men selvom teknologien ikke er autonom, kan den jo godt være determinerende for, hvordan samfundet udvikler sig.

Her tegner sig et broget billede. (Hallström, 2022b) giver et overblik. Der er ingen enighed om, hvordan man kan forstå, beskrive og forklare teknologisk determinisme. Med hensyn til hvordan man kan behandle dette essentielle emne, skriver han,

"Der er forsket meget lidt – måske slet ikke – i den rolle, forestillinger om teknologisk determinisme har eller kan have i teknologiundervisning." (Hallström, 2022b, s. 18)

Når historikere undersøger, om en given teknologi udviser tegn på determinerende opførsel, tegner der sig et mønster: Hvis de undersøger store systemer og beskriver dem på et overordnet, abstrakt makroniveau, ser de ofte tegn på determinisme. Men hvis de undersøger en teknologi på mikroniveau og ser på, hvad bestemte individer i en lokal sammenhæng gør, så finder de masser af tilfældigheder og individuelle, personlige beslutninger og altså ingen spor af “determinisme”.

“Om teknologi udviser determinisme, afhænger altså af, hvordan man undersøger den og betragter den.” (Hallström, 2022b, pp. 19-22)

I forbindelse med designprocesser taler vi om, at designerne forsøger at indbygge “intentionalitet” i de udviklede artefakter. Det giver kun mening ud fra forestillingen om, at artefaktet – teknologien – er med til at determinere, hvordan brugeren forholder sig til artefaktet.

På den anden side ved vi, at brugerne ofte “omfortolker” et givent artefakt og bruger det på en måde, som designeren ikke havde forudset. En forsigtig konklusion er, at det sociale og det teknologiske udvikler sig sammen. Udviklingen er i en eller anden forstand fælles, men i det store hele uforudsigelig.

Der er selvfølgelig også den mulighed, at teknologien determinerer meget lidt, men at vi som brugere af teknologi udviser teknologisk søvngængeri (“technological somnambulism”) og slet ikke udnytter de muligheder, vi har for at træffe teknologiske valg og dermed påvirke udviklingen (Winner, 1986).

Her er altså – igen – et område, hvor vores forståelse af teknologien, og dermed vores muligheder for at tale om den og udvikle en didaktik, er underudviklet. Det er ikke tilfredsstillende, men indtil videre er situationen uafklaret.

Teknologisk fornyelse fordrer etik

Fordi store dele af vores fysiske omgivelser skabes gennem teknologiske aktiviteter, opstår et krav om, at teknologisk viden bør inkludere viden om etik, altså om hvordan man kan skelne mellem, hvad der teknologisk set er godt eller dårligt.

Teknologisk dannelse bør inkludere spørgsmål om holdninger og etik: Hvilken slags udvikling ønsker vi? Hvilken fremtidig teknologi harmonerer med vores ønsker? Hvilke krav kan vi stille? Hvem bør bestemme? Hvem har ansvar? Og hvorfor? (Brey, 2010, s. 43; Dakers, 2018, s. 3).

I forbindelse med inddragelsen af det etiske aspekt i teknologiundervisningen foreslår Verbeek følgende (Verbeek, 2022, s. 49):

1. Analysér/beskriv teknologien i den konkrete kontekst, hvor den bruges.
2. Diskutér og analysér de potentielle effekter, som teknologien har/kan få for alle relevante involverede.
3. "Oversæt" effekterne til konkrete handlinger rettet mod:
 - a. Et eventuelt redesign af teknologien/artefakterne
 - b. Teknologiens "omgivelser", fx gennem regulering eller nye rammer (contexts) for brugen
 - c. Brugerne i form af uddannelse, kommunikation eller empowerment.

Teknomoralske valg

Shannon Vallor er professor ved University of Edinburgh, hvor hun er leder af Center for Teknomoralske Fremtider (Centre for Technomoral Futures). Hun var redaktør på den indflydelsesrige *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology* (Vallor, 2022b).

Hun peger på det paradoks, der ligger i, at det først er i dette århundrede, vi har udviklet en teknologifilosofi, som kan hjælpe os med at stille komplekse spørgsmål og tænke i dybden om teknologi. Lige så længe som der har været mennesker, har teknologi være med til at forme menneskelig eksistens, men filosofisk har vi ret konsekvent overset den teknologiske faktor (Vallor, 2022a, s. 1).

En central indsigt er for hende, at teknologi, som vi prøver at forstå fænomenet, altid kobles uadskilleligt til den sociale verden, og hun foretrækker derfor at tale om en teknosocial udvikling.

Teknologifilosofisk er vi, mener hun, dog kun ved begyndelsen. Der er stadig mange sider af den teknosociale udvikling, som vi ikke kan gennemskue eller beskrive. På grund af den manglende forståelse er menneskehedens teknosociale fremtid "uigenemskuelig, uforudsigelig, kompleks og med potentielt destabiliserende effekter". Vores situation er domineret af "akut teknosocial uigenemskuelighed" (Vallor, 2016, s. 6).

Samtidig ved vi, at fremtiden – miljømæssigt, socialt, videnskæssigt, politisk – mere end nogensinde afhænger af, hvilke teknologier der udvikles, og hvordan vi bruger dem. Vi er nødt til at foretage teknologiske valg i lyset af, hvad det er for en verden, vi gerne vil leve i. Vallor spørger:

"Hvordan kan vi vælge klogt blandt de tilsyneladende uendelige muligheder, som nye teknologier tilbyder? De valg, vi træffer, vil forme fremtiden for vores børn, vores samfund, vores art og andre, vi deler vores planet med, på måder, der aldrig før har været mulige. Er vi forberedte på at vælge klogt?" (Vallor, 2016, s. 3)

For di teknosociale valg er uløseligt forbundne med forestillinger om det gode liv, er valgene ikke kun teknologiske. De er også moralske – de er teknomoralske.

Vallor er optimist. I en teknomoralsk fremtid vil vi have mulighed for at vælge en verden, hvor teknologi ikke drives af lysten til at tjene penge, men er til gavn for alle. Hun minder os om, at teknologi, som er designet ud fra de rette værdier og anvendt til fælles bedste, er – og altid har været – en fantastisk kraft til udvikling, oplevelse, velfærd og samvær. De egenskaber ved teknologi har vi stadig en mulighed for at udnytte:

“I en anderledes verden, udstyret med stærke og inkluderende filosofiske forestillinger, kan teknologier [...] ses som udtryk for menneskelig frihed i solidaritet med andre, ja, som nye veje til materialisering af kærlighed. Teknologier kan være, og har ofte været, motorer for ikke blot krig og rigdom, men også for kreativ leg, kunstnerisk udtryk, social omsorg, tjeneste og trøst for andre. [...] Vi må udforske fornyelsen og udvidelsen af sådanne muligheder, og i dem, tror jeg, ligger vores bedste filosofiske håb om endelig, forsinket [“belatedly”], at blive klogere på teknologi.” (Vallor, 2022a, s. 7)

Afslutning

Artiklen beskriver et begrebsmæssigt grundlag for at tænke på, tale om og undervise i teknologi. Grundsynspunktet er, at filosofiske overvejelser af den type er anvendelige, når man vil udvikle et fag og en tilhørende didaktik. Men vejen fra overordnede begreber til meningsgivende undervisning er lang.

I starten af artiklen blev det problematiseret, at vi i Danmark mangler et teknologibegreb, der er fælles i de mange sammenhænge, hvor emnet teknologi indgår i grundskolens undervisning. Det ledsagende spørgsmål var, om den her beskrevne opfattelse af teknologi er så overskuelig og anvendelig, at det giver mening at overveje, om den kan være udgangspunkt for et gennemgåede teknologibegreb.

Spørgsmålet kan selvfølgelig ikke med rimelighed besvares på grundlag af en kort oversigt, som den der er givet her, men håbet er, at tanker fra oversigten kan inspirere løbende diskussioner om, hvad det er, man underviser i, når man underviser i “teknologi”. Gerne med et fælles teknologibegreb i baghovedet.

Afslutningsvis sættes her Mitchams begrebsverden i relief ved kort at omtale to af de mest oplagte udfordringer, der er på vejen fra filosofiske begreber til faglig undervisning.

Den første er, at teknologiundervisning altid må være konkret og teknologien/teknologierne sættes i en kontekst. Man kan ikke bare undervise om begreberne. De er vanskelige at lære, fordi de er abstrakte. (de Vries, 2016, pp. 101-109).

Den såkaldte STEL-rapport (ITEEA, 2020) giver detaljerede eksempler på, hvordan man kan undervise i teknologi i forskellige kontekster. Rapporten bruger ikke Mitchams begreber eksplicit, men er stærkt inspireret af hans tanker (Starkweather, 2025). STEL-rapporten er tidligere omtalt i MONA (Nielsen et al., 2023).

Den anden er inkorporering af digital teknologi. Mitchams karakteristik af teknologi er almen og skelner ikke mellem forskellige former for teknologi som fx transportteknologi, sundhedsteknologi, energiteknologi eller lignende. Han skelner heller ikke mellem digital og ikke-digital teknologi. Teknologiens fire manifestationer er relevante i forbindelse med alle former for teknologi.

Samtidig ved vi, at digital teknologi har egenskaber, der gør den anderledes og revolutionerende i forhold til "konventionel" teknologi (Floridi, 2014). Dertil kommer, at de udvikler sig med halsbrækkende fart. Og at de trænger ind overalt. Digitale teknologier giver i kraft af deres "anderledeshed" mange didaktiske udfordringer. Det skyldes især:

- Digitale teknologier kan bruges til at styre og kontrollere anden teknologi. Programmerbare teknologier har udviklet sig til en slags metateknologi, som indgår i andre teknologiformer. Fra vaskemaskiner til store teknologiske systemer (Perez & Svensson, 2024; Voll, 2025).
- Digitale teknologier giver nye muligheder for at kommunikere. Kæmpestore digitalt baserede netværker bag fx sociale medier trænger dybt ind i vores hverdag med enorme menneskelige og sociale implikationer.
- Vi indsamler, opbevarer og tilgår data/informationer på måder, der er fundamentalt forskellige fra, hvad der tidligere har været muligt. Computere er blevet forståelses- og problemløsningsmaskiner på måder, menneskeheden aldrig før har oplevet. En radikal vidensrevolution.

Forandringerne er omfattende og komplekse, og der forestår et påtrængende arbejde med at "udvide" Mitchams fire manifestationer, så de modsætningsfrit og didaktisk anvendeligt integrerer digital teknologi.

(Hallström, 2024) giver et lovende bud. Han vil udvikle "en forenet teknologiteori" ("a unified theory of technology", s. 89), der udstrækker Mitchams ideer til at omfatte digitale teknologier. Han påpeger, at et stykke software også er et artefakt, og konkluderer efter en længere diskussion, at "både digitale og analoge teknologier bør betragtes som tekniske artefakter med en dobbelt natur" (s. 89).

Hallström tilføjer en ny karakteristik af digitale teknologier ved at pege på, at de er "repræsentative". Når vi bruger et digitalt artefakt, er det ikke den digitale teknologi i sig selv, der giver artefaktet dets funktion, men den information, artefaktet gør tilgængelig for os. Et eksempel er et digitalt termometer. Det er ikke den indbyggede chip og dens kode, der er interessante for os, men den information om temperatur, som vises (repræsenteres) på termometerets display.

(Perez & Svensson, 2024) giver et tilsvarende bud. Også de peger på den betydning, det har for forståelsen og evalueringen af et digitalt artefakt, at man har dets dob-

belte natur for øje. De peger endvidere på den rolle, kodning spiller i digital teknologi: "I vore dage er artefaktens funktion i stor udstrækning styret af en programmeret enhed." (s. 215).

Så for at komme til en bedre forståelse af digitale artefakter – mener Perez og Svensson – er man nødt til at diskutere dem med termer, der ikke blot er præget af erkendelsen af deres dobbelte natur, men også inkluderer computationel tænkning og systemtænkning. Dermed antyder de en didaktik for undervisning om digitale teknologier, der tager udgangspunkt i Mitcham, og hviler på tre ben.

Det vil altså være muligt at basere et bredt og inkluderende – og didaktisk frugtbart – teknologibegreb på Mitchams fire manifestationer. Der er er også begrundet håb om, at et sådant begreb meningsfuldt kan udstrækkes til at omfatte digitale teknologier.

Referencer

- Ankiewicz, P. (2019). Andrew Feenberg: Implications of Critical Theory for Technology Education. In J.R. Dakers, J. Hallström, & M.J. de Vries (Eds.), *Reflections on Technology for Educational Practitioners* (pp. 115-130). Brill Sense.
- Brandt, H., Petersen, L., Petersen, N.A.I., Wøhlk, E.B., & Wied, K. (2024). *NAFA inspirationsmateriale til temaperiode 3 Teknologisk dannelse i naturfag – Tillæg til NAFAs inspirationsguide til rofessionelle læringsfællesskaber i læreruddannelsen 2024-2025*.
- Brey, P. (2010). Philosophy of Technology after the Empirical Turn. *Techné*, 14(1), 36-48.
- Buckley, J. (2023). Historical and Philosophical Origins of Technology Education. In D. Gill, D. Irving-Bell, M. McLain, & D. Wooff (Eds.), *The Bloomsbury Handbook of Technology Education* (pp. 14-27). Bloomsbury Academi.
- Dakers, J. (2018). Philosophy of Technology and Engineering. In M. de Vries (Ed.), *Handbook of Technology Teaching* (pp. 3-6). Sense Publishers.
- Dakers, J.R. (2019). Bernard Stiegler. On the origin of the Relationship between Technology and Humans. In *Reflections on Technology for Educational Practitioners* (pp. 87-99). Brill.
- Dakers, J.R. (2023). *A Nomadic Pedagogy about Technology: Teaching the Ongoing Process of Becoming Ethnotechnologically Literate* (1 ed., Vol. 18). BRILL.
- Dakers, J.R. (Ed.). (2025). *A Collection of Dreams about the future of Technology Education. A Festschrift in Honour of Marc J. de Vries* (Vol. 21). Brill.
- de Vries, M. (2016). *Teaching about Technology. An Introduction to the Philosophy of Technology for Non-Philosophers. 2nd Ed.* Springer.
- de Vries, M. (Ed.). (2018a). *Handbook of Technology Education*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44687-5>.

- de Vries, M. (2018b). Philosophy of Technology: Themes and Topics. In M.J. de Vries (Ed.), *Handbook of Technology Education* (pp. 8-16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38889-2_1-1
- de Vries, M. (2018c). Technology Education: An International History. In M. de Vries (Ed.), *Handbook of Technology Education* (pp. 73-84).
- de Vries, M. (2019). Peter Kroes and Anthonie Meijers. The Dual Nature of Artefacts. In J. Dakers, M. de Vries, & J. Hallström (Eds.), *Reflections on Technology for Education – Philosophers of Technology Inspiring Technology Education* (pp. 25-35).
- Ferguson, E.S. (1992). *Engineering and the Mind's Eye*. The MIT Press.
- Floridi, L. (2014). *The Fourth Revolution: How the Infosphere Is Reshaping Human Reality*. Oxford University Press, Incorporated. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/asb/detail.action?docID=1685674>
- Franssen, M. (2022). Philosophy of Technology and the Continental and Analytic Traditions. In S. Vallor (Ed.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology* (pp. 55-77). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190851187.013.5>
- Franssen, M., Lokhorst, G.-J., & van de Poel, I. (2024). "Philosophy of Technology", *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (E.N. Zalta & U. Nodelman, Eds.). Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2024/entries/technology/>
- Gilisen, M.G.R., Knippels, M.-C.P.J., & van Joolingen, W.R. (2020). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1253-1280.
- Gill, D., Irving-Bell, D., McLain, M., & Wooff, D. (2023). *The Bloomsbury Handbook of Technology Education* (1 ed.). Bloomsbury Publishing. <https://www.bloomsburycollections.com/encyclopedia?docid=b-9781350238442>
- Hallström, J. (2022a). Chapter 12. Teaching and Learning About Technological Systems: A Research Synthesis. In J. Hallström & J.P. Williams (Eds.), *Teaching and Learning About Technological Systems. Philosophical, Curriculum and Classroom Perspectives* (pp. 235-249). Springer.
- Hallström, J. (2022b). Embodying the past, designing the future: technological determinism reconsidered in technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(1), 17-31. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09600-2>
- Hallström, J. (2022c). Feedback in Technological Systems. In J. Hallström & J.P. Williams (Eds.), *Teaching and Learning about Technological Systems: Philosophical, Curriculum and Classroom Perspectives* (pp. 153-170). Springer.
- Hallström, J. (2024). Design and Make – and Code? Technology Education and a Unified Conception of Technology. In J. Hallström & M.J. de Vries (Eds.), *Programming and Computational Thinking in Technology Education: Swedish and Interantional Perspectives* (pp. 89-102).
- Hallström, J., & Klasander, C. (2020). Making the invisible visible: Pedagogies related to teaching and learning about technological systems. In J. Williams & D. Barlex (Eds.), *Pedagogy for technolgy education in secondary schools: Research informed perspectives for classroom teachers* (pp. 65-82). Springer.

- Hallström, J., & Williams, P.J. (Eds.). (2022). *Teaching and Learning about Technological Systems. Philosophical, Curriculum and Classroom Perspectives*. Springer.
- ITEEA. (2020). *Standards for Technological and Engineering Literacy: The Role of Technology and Engineering in STEM Education*. iteea.org/stel
- Kroes, P. (2012). *Technical Artefacts: Creations of Mind and Matter. A Philosophy of Engineering Design*. Springer.
- Kroes, P., & Meijers, A. (2006). The dual nature of technical artefacts. *Studies in History and Philosophy of Science, 37*, 1-4.
- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.
- Larsen, P. (2020). STEM på htx. 25 år med teknologi og engineering i de gymnasiale uddannelser i Danmark. *MONA – Matematik- og Naturfagsdidaktik, 2020(3)*, 39-51.
- Larsson, A., Nordlöf, C., Bernhard, J., & Hallström, J. (2024). *Från teori till teknikundervisning* (Vol. 9). Institutionen för beteendevetenskap og lärande. Linköpings Universitet.
- Lavi, R., & Bertel, L.B. (2024). The System Architecture-Function-Outcome Framework for Fostering and Assessing Systems Thinking in First-Year STEM Education and Its Potential Applications in Case-Based Learning. *Education Sciences, 14(7)*, 720.
- Meadows, D.H. (2009). *Thinking in Systems. A Primer*. Earthscan.
- Meijers, A.W.M., & de Vries, M.J. (2009). Technological Knowledge. In J.K.B. Olsen, S.A. Pedersen, & V.F. Hendricks (Eds.), *A Companion to the Philosophy of Technology* (pp. 70-74). Wiley-Blackwell.
- Mioduser, D. (2025). Nurturing Design and Technological Thinking. A Core Goal in Technology Education. In J. Dakers (Ed.), *A Collection of Dreams about the future of Technology Education. A Festschrift in Honour of Marc J. de Vries* (pp. 351-368). Brill.
- Mioduser, D., & Kuperman, A. (2020). Young Children's Representational Structures of Robot's Behaviors. *Design and Technology Education: An International Journal, 25(2)*, 143-159.
- Mitcham, C. (1994). *Thinking through Technology. The Path between Engineering and Philosophy*. The University of Chicago Press.
- Müller, J., Remmen, A., & Christensen, P. (1984). *Samfundets teknologi: teknologiens samfund*.
- Nia, M.G., & de Vries, M.J. (2016). 'Standards' on the bench: Do standards for technological literacy render an adequate image of technology? *Journal of Technology and Science Education, 6(1)*, 5-18. <https://doi.org/10.3926/jotse.207>
- Nielsen, K., Bertel, L.B., Kaltoft, P., & Sillasen, M. (2023). Behov for et tydeligt teknologibegreb – om teknologi og teknologisk dannelse i STEM. *MONA – Matematik- og Naturfagsdidaktik, 2023-4*, 95-115.
- Nielsen, K., & Sillasen, M. (2020). Teknologiforstyrrelse: Hvad mener Børne- og Undervisningsministeriet, når de skriver "teknologi"? *MONA – Matematik- og Naturfagsdidaktik, 2020(3)*, 63-73.
- Perez, A., & Svensson, M. (2024). Student Teachers' Experience of Programmed Technological Artefacts. In J. Hallström & M. de Vries (Eds.), *Programming and Computational Thinking in Technology Education. Swedish and International Perspectives* (pp. 213-233).

- Starkweather, K.N. (2025). The Wisdom, Power and Promise of Marc J. de Vries' Thoughts. In J.R. Dakers (Ed.), *A Collection of Dreams about the Future of Technology Education. Festschrift in Honour of Marc J. de Vries* (pp. 97-99). Brill.
- Svensson, M. (2018). Learning About Systems. In M. de Vries (Ed.), *Handbook of Technology Education* (pp. 447-462). Springer.
- Turkoglu, A.Y., Aydin, F., & Es, H. (2022). Science teacher's perceptions of the nature of technology: a Q-methodology study. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(5), 2671-2696. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09713-2>
- Vallor, S. (2016). *Technology and the Virtues: A Philosophical Guide to a Future Worth Wanting*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780190498511.001.0001>
- Vallor, S. (2022a). Introducing the Philosophy of Technology. In S. Vallor (Ed.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology* (pp. 1-16). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190851187.013.1>
- Vallor, S. (Ed.). (2022b). *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190851187.001.0001>.
- Verbeek, P.-P. (2022). The Empirical Turn. In S. Vallor (Ed.), *The Oxford Handbook of Philosophy of Technology* (pp. 35-54). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190851187.013.4>
- Vincenti, W.G. (1990). *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History*. Johns Hopkins University Press.
- Voll, L.O. (2025). *Skaperskolen – en didaktisk plattform for praktisk udervisning i skolen* (Naturfagssenterets rapportserie, Issue 1/2025).
- Williams, J.P., & Barlex, D. (Eds.). (2020). *Pedagogy for Technology Education in Secondary Schools. Research Informed Perspectives for Classroom Teachers*. Springer Nature Switzerland.
- Winner, L. (1986). *The whale and the reactor: A search for limits in an age of high technology*. University of Chicago Press.

English abstract

The opportunities we and our children get to create a better future depend on how we understand and respond to the technological potentials. Therefore, modern education must include knowledge about, and attitudes towards, technology and technological choices. The article gives an overview of the last 30 years of development of a philosophy and teaching-ideas which do not focus on the relationship between technology and society, but is concerned with questions like: What IS technology? How does new technology arise? What role does design play? What properties does technology have that make us so dependent on it?



Kommentarer

I denne sektion bringes kommentarer til tidligere bragte artikler. Kommentarerne skal være saglige, samt fagligt og analytisk funderede. Kontakt gerne redaktionen forinden indsendelse af kommentar. Indsendte kommentarer vurderes af redaktionen og er ikke genstand for peer-review.

Fra typologi til didaktisk handling



Anette Vestergaard
Nielsen, CFU

Kommentar til Stig Toke Gissels: "Typologi for læremidler og ressourcer, der kan bruges til læring eller undervisning", MONA, 2026(1).

Som naturfagskonsulent befinder jeg mig ofte i spændingsfeltet mellem læremidler, didaktik og undervisningspraksis. En væsentlig del af mit arbejde består i at udvælge materialer og formidle deres muligheder til lærere. Det handler ikke blot om at vurdere kvaliteten af et materiale, men om at skabe et sprog for, hvordan det kan anvendes i forskellige undervisningssammenhænge.

Denne opgave er blevet mere kompleks, i takt med at undervisningen i stigende grad bygger på andre materialer end traditionelle lærebøger. I dag møder lærere et voksende udvalg af billedbøger, digitale ressourcer, modeller, artefakter, autentiske fænomener og multimodale fortællinger, som ikke nødvendigvis er udviklet til undervisningsbrug, men som alligevel rummer betydelige læringspotentialer.

To aktuelle eksempler er *Himlen er en helleflynder* og *Mit hjertehjem*. Ingen af bøgerne er udviklet som læremidler, men begge kan bidrage til naturfaglig undervisning. *Himlen er en helleflynder* åbner gennem sine poetiske illustrationer op for samtaler om naturens sammenhænge og menneskets relation til verden. *Mit hjertehjem* kombinerer billeder, tekst og musik i et multimodalt univers, der bl.a. kredser om bæredygtighed, fællesskab og tilhørsforhold.

Netop fordi disse bøger ikke er produceret til skolebrug, følger didaktikken ikke med. Potentialerne er til stede, men de skal opdages, fortolkes og omsættes af læreren. Det kræver faglig indsigt, didaktisk kreativitet og et fælles sprog til at tale om materialernes muligheder.

Her oplever jeg, at Stig Toke Gissels forslag til en ny typologi for læremidler og læringsressourcer er et vigtigt bidrag. Typologien tilbyder et mere dækkende begrebsapparat til at beskrive de mange ressourcer, der i dag indgår i undervisningen. Særligt introduktionen af fysiske entiteter som en selvstændig kategori fremstår som et væsentligt fremskridt, fordi den giver plads til de materialer, fænomener og genstande, som ofte spiller en central rolle i naturfaglig undervisning.

Et æg er et godt eksempel. Som fysisk genstand kan det indgå i undersøgelser af skalstruktur eller osmose. Det kan fungere som en model for Jordens opbygning. Det kan være et redskab i eksperimenter om konstruktion og bæreevne eller indgå i tekster, videoer og andre multimodale ressourcer. Det samme æg kan således optræde i flere kategorier, afhængigt af undervisningens formål og lærerens didaktiske valg.

Eksemplet illustrerer en vigtig pointe: Materialers betydning opstår ikke alene gennem deres egenskaber, men gennem deres anvendelse. På samme måde som teknologi først får sin funktion gennem brug, får læremidler deres pædagogiske betydning i den konkrete undervisningssituation.

Netop derfor ser jeg også en udfordring i typologien. Den hjælper os med at beskrive, hvad noget er, men i mindre grad med at beskrive, hvad vi kan gøre med det.

Når jeg skal formidle nye materialer til lærere, efterspørger jeg ikke alene kategorier. Jeg efterspørger et professionelt sprog, der gør det muligt at kommunikere materialernes didaktiske muligheder. Hvilke læringsformer understøtter materialet? Hvilke arbejdsformer indbyder det til? Hvilke faglige betydninger kan eleverne udvikle gennem arbejdet med det?

Her oplever jeg, at der fortsat mangler en vis konsensus i feltet. Vi har brug for analyseværktøjer, som kan bygge bro mellem læremiddelforskning og undervisningspraksis. Typologien er et vigtigt første skridt, men den kan ikke stå alene.

I naturfagsgruppen på CFU har vi gennem flere år arbejdet med forskellige tekstformater for at synliggøre materialernes faglige muligheder. Vi skelner eksempelvis mellem biografier, beretninger, opslagsbøger, artikler, forskningstekster og elevbøger. Disse kategorier beskriver ikke blot materialernes form, men peger også på forskellige måder at møde og skabe viden på.

Her kan den genrepædagogiske tradition inden for systemisk funktionel lingvistik bidrage med et interessant perspektiv. Hos John Polias og andre genrepædagoger forstås genrer som sociale måder at skabe mening på. Forskellige teksttyper giver adgang til forskellige former for viden, arbejdsformer og faglige praksisser. En biografi giver eksempelvis adgang til naturvidenskaben gennem menneskers erfaringer og fortællinger, mens en forskningstekst introducerer eleverne til dokumentation, argumentation og videnskabelige arbejdsformer.

Set i dette perspektiv er spørgsmålet ikke blot, om et materiale er en tekst, et læremiddel eller en læringsressource. Det er også relevant at undersøge, hvilken genre materialet repræsenterer, og hvilke faglige handlinger eleverne inviteres til at deltage i.

Et materiale som *Himlen er en helleflynder* kan beskrives som en læringsressource, men det fortæller ikke meget om de undersøgende, æstetiske og fortolkende muligheder, som bogen åbner op for. Tilsvarende kan *Mit hjertehjem* beskrives som en multimodal ressource, men genreperspektivet gør det muligt at tale mere præcist om samspillet mellem fortælling, billeder, musik og bæredygtighedstemaer.

For mig som konsulent bliver behovet derfor ikke blot en typologi for læremidler, men et fælles professionsprog, der kan koble materialernes kategorier med deres faglige, didaktiske og pædagogiske muligheder.

Her kunne typologien med fordel kobles til mere eksplicite didaktiske perspektiver. Basil Bernsteins beskrivelse af forskellige pædagogiske positioner er et eksempel. Det samme materiale kan nemlig understøtte meget forskellige undervisningsformer. En lærer kan anvende *Mit hjertehjem* i en relativt åben og elevstyret proces, hvor eleverne undersøger bæredygtighed gennem egne erfaringer. En anden lærer kan vælge en mere struktureret tilgang med tydelige læringsmål, fælles analyse og eksplicit faglig begrebsdannelse.

Begge tilgange er legitime. Pointen er, at materialets kategori ikke i sig selv fortæller noget om den didaktiske vej, læreren vælger. Derfor bliver det afgørende at kunne synliggøre sammenhængen mellem materialer, læringssyn og undervisningsdesign.

Set fra et konsulentperspektiv er det netop her, typologiens største potentiale ligger. Ikke blot som et system til at klassificere læremidler, men som et afsæt for en professionel samtale om undervisning. Typologien skaber orden i mangfoldigheden. Næste skridt må være at koble denne orden til didaktiske og pædagogiske analyseværktøjer, der hjælper lærere med at omsætte materialernes potentialer til konkret undervisning.

Artiklen repræsenterer derfor et vigtigt bidrag til læremiddelforskningen. Men dens fulde styrke vil først blive udfoldet, når kategorierne i højere grad kobles til de didaktiske valg, som lærere hver dag træffer i mødet med elever, fag og undervisningens mange ressourcer.

Referencer

- Eken, C., & Kjær, S. (2025). *Mit hjertehjem*. Gyldendal.
- Gissel, S.T. (2026). Typologi for læremidler og ressourcer, der kan bruges til læring eller undervisning. *MONA*, 2026(1), 29-51. <https://doi.org/10.7146/mona.v26i1.166713>
- Krogsbøll, B., & Wichmann, K. (2025). *Himlen er en helleflynder*. Gyldendal.

Hvordan bevares de faglige pointer, når lærerstuderende arbejder med didaktisk rekonstruktion?



Peter Wied Stenkilde,
Institut for Naturfagernes
Didaktik, KU

Kommentar til Helle Kruse Krossá, Morten Christensen & Anja Rousing Lauridsen: "På hvilken måde kommer den nye viden ind i undervisningen? Lærerstuderendes arbejde med didaktisk rekonstruktion i naturfag", MONA, 2026(1).

Den nyeste forskning rykker hele tiden grænsen mellem, hvad vi ved, og hvad vi ikke ved. Men dette "vi" henviser først og fremmest til de få forskere, der har specialiseret sig i et givent felt, og som deler nye erkendelser med fagfæller i videnskabelige artikler og på konferencer.

For den brede befolkning er denne nye viden som regel avanceret og svært tilgængelig.

Samtidig skal undervisningen i grundskolen sørge for at følge med udviklingen for fortsat at være relevant og opfylde sit formål. Det er derfor interessant at undersøge, hvordan nyere forskning i fx naturvidenskab eller datalogi kan bearbejdes, så den kan bidrage til en løbende reaktualisering af skolens fag.

Eleverne skal selvsagt ikke læse forskningsartikler, så et helt centralt spørgsmål er, hvordan det faglige niveau tilpasses til de valgte klassetrin. Krossá, Christensen og Lauridsen (2026) præsenterer i deres artikel, hvordan de sammen med et hold lærerstuderende har taget netop denne udfordring op. I den forbindelse benyttede de MER-modellen (Duit et al., 2012), når de lærerstuderende skulle didaktisere et oplæg fra en forsker, så det blev til undervisning i 6.-8. klasse. Jeg vil opridsse nogle af de udfordringer, jeg ser ved MER-modellen, og som kommer til udtryk i MONA-artiklen, og vil dernæst komme med et par bud på spørgsmål og overvejelser, der vil kunne støtte de studerende i overgangen fra forskningsviden til undervisning.

Elementarisering og det faglige niveau

Elementarisering er ifølge Duit et al. (2012) den proces, der identificerer “the key basic ideas of a certain content domain” (s. 26). Duit et al. giver ikke anvisninger på, hvordan elementariseringen skal ske i praksis, men her præsenterer Krossá et al. (2026) en lovende tilgang, hvor begrebskortlægning skal hjælpe de lærerstuderende med at identificere de centrale idéer. Selvom de studerende, ifølge artiklen, i store træk identificerer de centrale forskningspointer, beskrives der flere udfordringer i arbejdet med begrebskortene. En af dem er, at “forskningspointer bortfalder under begrebskortlægningen” (s. 44-45). Det er fx en central pointe for forskeren, “at der skal være mad nok til alle i verden” (s. 45), men den pointe optræder ikke på et eneste begrebskort. Ifølge Krossá et al. (2026) skyldes denne udeladelse, at de lærerstuderende ikke kunne koble pointerne til begreber, de kendte i forvejen, eller at de ikke fandt dem relevante for eleverne. Men da de studerendes arbejde tog udgangspunkt i et mundtligt oplæg med en forsker, kunne det også skyldes noget så lavpraktisk, som at de lærerstuderende har overhørt eller misforstået pointerne. Jeg ser her en oplagt mulighed for at spørge ind til, hvad der i forskerens øjne er de vigtigste pointer. Det kunne være en genvej til at sikre, at flere centrale pointer fandt vej til begrebskortene.

Begrebskortet, der præsenteres i artiklen, indeholder mange informationer, men det fremgår ikke, hvordan de studerende blev støttet i at identificere, hvilke elementer der var de centrale rent fagligt. Begrebskortene har derfor i mine øjne ikke ført til den ønskede elementarisering, og det fremgår også, at “ingen studerende besøger eller udbygger kortet i planlægningsfasen” (s. 45). Et andet tegn på, at MER-modellens idé om elementarisering ikke har fungeret helt efter hensigten, er, at en gruppe skifter fagligt fokus, fra smag til sundhed, imellem undervisningsgangene. Jeg ved ikke, hvad der fik de studerende til at skifte fokus, men ideelt set skulle det i planlægningsfasen være blevet klart, hvilket fagligt fokus der var det rigtige.

For mig at se peger disse punkter på, at MER-modellens begrebsapparat ikke har støttet de studerende tilstrækkeligt i identifikationen af centralt indhold, og at arbejdet med begrebskort med fordel kan fokuseres yderligere for at øge brugsværdien for de studerende.

Til gengæld har de lærerstuderende i artiklen øjensynligt haft lettere ved at knytte an til elevernes hverdagserfaringer vha. en indgangsvinkel om mad og smag. Man kunne også sige, at de har været gode til at knytte den nye faglige viden til en velkendt kontekst, der opleves som meningsfuld for eleverne. Præcis et af de punkter, der lægges vægt på i MER-modellen.

Det faglige spænd mellem universitetsforskning og undervisning i 6.-8. klasse er enormt. Jeg er derfor nysgerrig på, hvordan de lærerstuderende kan støttes bedst muligt i at tilpasse det faglige niveau. For mig at se giver MER-modellen nemlig ikke mange konkrete anvisninger på, hvordan det gøres. Hvis man ikke støttes i denne

proces, vil det være oplagt at kassere den nye faglige viden som værende for svær og erstatte den med aktiviteter, man kender i forvejen, og som man ved passer til målgruppen. I artiklen peges der netop på, at de lærerstuderende erstatter de forskningsmæssige indsigter med kendte forsøg i deres undervisningssekvenser. Et reflektionsspørgsmål, der i mine øjne kunne have hjulpet de studerende med at holde fokus på den nye forskning, kunne være, om forskeren ville genkende deres aktivitet som en præsentation af en del af hans eller hendes forskning.

Kopiér, justér, kassér

I projektet Albatros på Institut for Naturfagenes Didaktik på Københavns Universitet har vi i de seneste 2,5 år arbejdet med transponering af viden fra forskningsartikler inden for datalogi til undervisningsforløb i udskolingsmatematik. Vores udgangspunkt i forskningsartikler gjorde, at vi kom meget tæt på selve forskningen, men teksternes akademiske niveau betød samtidig, at det var en utrolig tidskrævende proces, som næppe ville være hensigtsmæssig på læreruddannelsen.

Vi benyttede ikke MER-modellen, men tog udgangspunkt i KOM-rapportens (Niss & Jensen, 2002) beskrivelser af kompetencebesiddelse i kombination med Fælles Mål og et målrettet fokus på implementerbarhed (Tamborg & Stenkilde, 2026).

Et af perspektiverne fra KOM-rapportens beskrivelse af kompetencebesiddelse handler om det tekniske niveau. Her er der en åbenlys udfordring, når man taler om at bruge universitetsforskning som udgangspunkt for undervisningsmaterialer til grundskolen. I Albatros blev det klart for os, at man har tre muligheder, når man skal transponere et specifikt fagligt indhold eller en specifik faglig undersøgelse fra universitet til grundskole. Vi har kaldt dem *kopiér*, *justér* og *kassér*. *Kopiér* betegner den uproblematisk integration af en pointe eller teknik fra forskningen, som trækker på elementer, eleverne allerede kender, og som optræder i den gældende læreplan. Det kan fx være data, der afbildes i et søjlediagram eller et boksplot, og som eleverne enten kan aflæse og fortolke eller selv kan producere.

Kassér er den anden yderpol. Der, hvor pointen nok er vigtig for forskningen, men hvor den er så kompliceret, bygger på så svære beregninger eller forudsætter så meget baggrundsviden, at det er umuligt at inddrage den i undervisningen på en meningsfuld måde.

Imellem de to yderpunkter ligger *justér*. Her er det nødvendigt at tilpasse det faglige niveau til læreplanen og målgruppen på en måde, hvor essensen eller grundidéen bevares. Et eksempel kan være forskning i anbefalingsalgoritmer, der fungerer vha. vektorer i 50 eller 100 dimensioner, men hvor principperne stadig kan undersøges og forstås vha. simpel afstandsregning i to dimensioner (se vores undervisningsforløb

*Hvordan ved din streamingtjeneste, hvad du vil se?*¹). Det er efter min overbevisning her, de mest interessante overvejelser ligger for de lærerstuderende. For hvilke faglige og didaktiske greb kan man benytte, som både tilpasser den faglige kompleksitet og samtidig bevarer de forskningsmæssige pointer? Erfaringerne fra Albatros fortæller os, at der ikke findes et enkelt svar på dette. Det varierer fra case til case på baggrund af det faglige indhold og er en opgave, der kræver både fagligt overblik og en god portion kreativitet. Som netop illustreret har vi gået "baglæns" i den faglige progression (fra flerdimensionelle vektorer til afstande i 2D), men også brugen af modeller, der reducerer kompleksiteten og visualiserer det abstrakte, har været centrale værktøjer. Derudover har et fokus på stilladsering bl.a. sigtet mod at dele opgaverne op i mindre dele for at gøre dem mere håndterbare for eleverne.

Mit håb med denne kommentar er at inspirere til en videreudvikling af de metoder, de lærerstuderende kan bruge, når de arbejder med transponering af forskning til undervisning. På baggrund af en fagligt fokuseret begrebskortlægning med fokus på det, forskeren fremhæver som centralt, vil grundige overvejelser om, hvad der kan kopieres eller justeres, forhåbentlig medvirke til, at centrale pointer ikke kasseres af de forkerte årsager. Dermed vil de lærerstuderendes undervisning i endnu højere grad kunne afspejle den forskning, den er inspireret af.

Referencer

- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction: A framework for improving teaching and learning science. I D. Jorde & J. Dillon (red.), *Science education research and practice in Europe* (s. 13-37). Brill. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Krossá, H.K., Christensen, M. & Lauridsen, A.R. (2026). På hvilken måde kommer den nye viden ind i undervisningen? Lærerstuderendes arbejde med didaktisk rekonstruktion i naturfag. *MONA*, 2026(1), 29-51. <https://doi.org/10.7146/mona.v26i1.166714>
- Niss, M. & Jensen, T.H. (2002). *Kompetencer og matematiklæring – ideer og inspiration til udvikling af matematikundervisning i Danmark*. Uddannelsesstyrelsens temahæfteserie nr. 18. Undervisningsministeriet.
- Tamborg, A.L. & Stenkilde, P.W. (2026). Designing for implementability: Authentic and technological mathematics education innovations. *Implementation and Replication Studies in Mathematics Education* (udgivet online før print). <https://doi.org/10.1163/26670127-bja10034>

1 <https://edtalk.dk/albatros/>



Litteratur

I denne sektion bringes anmeldelser af og notitser om nye bøger, rapporter og andre væsentlige ressourcer inden for det matematik- og naturfagsdidaktiske felt. Læsere opfordres til at kontakte redaktionen med henblik på at få bragt anmeldelser og notitser. Indlæg er ikke genstand for peer-review.

Nyt manifest for naturfag er både et opråb og en drømmevision

Vi har brug for at tale mere om, hvad natur/teknologi er og kan være i skolen, og derfor er opråbet fra nyt manifest kærkomment.



Elzebeth Berg
Wøhlk, Københavns
Professionshøjskole

Anmeldelse af Manifest for et andet naturfag af Thomas Ziegler Larsen, Karsten Elmoose Vad, Katrine Minddal og Katrine Dicte Blohm, Gads Forlag/A Mock Book, 2026.

Der er et vist schwung over at udgive et manifest, og det er da heller ikke gået upåagtet hen i det naturfagsdidaktiske miljø, at Ziegler, Vad, Minddal og Blohm har skrevet *Manifest for et andet naturfag*. Det er tydeligt, at samtalen om naturfagsundervisning, og her især natur/teknologi for de yngste, har savnet næring og position, og debatbogen er ivrigt blevet grebet i flere podcasts og sågar en retssag på Big Bang-konferencen. Lad det være sagt med det samme: Jeg fik øjeblikkeligt trang til diskussion, da jeg læste manifestet.



Berøver natur/teknologi børnene deres naturlighed?

Bogen introduceres således:

“Det naturfag, der i dag har navnet natur/teknologi, og som eleverne møder fra første klasse i den danske folkeskole, er et fag, hvor både naturen og eleverne er blevet glemt. Den dominerende naturfaglige tænkning har reduceret faget til naturvidenskab og teknologi, legitimeret af nytte og rekruttering. Faget er

målstyret, kontrolleret og gennemkonstrueret – og det ekskluderer de elever, det ellers skulle indfange. Mange elever mister nysgerrigheden, fordi de ikke får lov til at begynde med deres egne sanser, erfaringer og spørgsmål.”

Vi ved fra Friluftsrådets undersøgelse i 2018, at en tredjedel af knap 3.000 forældre til børn på 2-15 år angiver, at deres børn kun kommer i naturen en gang om ugen eller sjældnere. At børn opholder sig mindre og mindre i naturen til fordel for indendørs aktiviteter, bekræftes af internationale studier. Vi ved fra SCOPE, at elever i natur/teknologi oplever en natur/teknologiundervisning med fokus på korrekte fagbegreber og rigtige svar snarere end på nysgerrighed, spørgsmål og oplevelser. Og vi ved, at læseplanen for natur/teknologi for nuværende er skrevet i et målstyringsprog, som udfases med de nye fagplaner fra 2027. Men så ved vi faktisk ikke ret meget mere om natur/teknologiundervisningen (endnu), for der er ikke forsket systematisk i faget siden engang midt i 00'erne. Så Ziegler et al.s påstande om, hvad natur/teknologiundervisningen er eller ikke er, står ubegrundede hen i teksten. Manifestet fremstår som en tekst, der er skrevet ud fra forfatterens erfaringer fra naturfagsområdet, og det er kærkomment med flerstemmighed i samtalen om natur/teknologi. Men teksten havde fremstået stærkere, hvis forfatterne havde signaleret lidt tydeligere, hvilke dele af teksten der er holdninger, og hvilke dele af teksten der er viden.

I bogen fremmanes et “paradise lost” med naturlige børn, der medfødt og helt af sig selv drages mod vandpytter og nysgerrigt spørger til skyernes bevægelser på himlen. Men det fremgår ikke, hvornår dette paradisiske skoleliv gik tabt, eller om det i virkeligheden nogensinde har eksisteret. Vores tid er af nogle blevet karakteriseret som antropocæn, altså en geologisk tidsalder, hvor mennesket har afgørende indvirkning på Jordens processer. Det har givet anledning til spændende nytænkning i naturfagsdidaktiske kredse om perspektivskift og naturforbundethed som en vej mod mere bæredygtig adfærd. Men Ziegler et al.s kredsen om det naturlige, oprindelige barn og den store, mystiske og fascinerende natur går et skridt videre, og jeg får mindelser om romantikken med dens fokus på følelser og intuition, og hvor voksne af Oehenschläger betragtes som ødelagte børn. Den tid skal vi ikke tilbage til, for vi har brug for både følelser og fornuft som mennesker i det 21. århundrede. Desuden spekulerer jeg på, om børn mon ikke kan være vilde med både computerspil og vandpytter på én gang? Der gælder vel ikke kun én fortælling om barnet? Jeg hører tante Sofies sang for mit indre øre:

“... hvis alle bare var som jeg, så gik det nok til sidst. Men ingen andre er som jeg, og det er meget trist. Øv!”

Og måske er det i virkeligheden det, Ziegler et al. skriver om? At de selv elskede naturen som børn, og derfor ønsker de

for alle andre, at de kunne have det på samme måde?

Natur uden teknologi

I manifestet ønsker Ziegler et al. sig et nyt naturfag uden teknologi som mellemled og filter mellem barnet og verden. Det er lidt svært at gennemskue, hvilket teknologibegreb der er tale om, for jeg går ud fra, at eleverne stadig skal tage gummi-støvler på, hvis de skal gå i strandkanten, og at de tager en ekstra sweater på, hvis de skal på tur om efteråret. Teknologi gør jo hverdagen nem for os mennesker, og mange elever ankommer da også med metro eller på cykel til naturcenteret. Men kikkerter, fiskenet og termometre skal ud af undervisningen for de yngste, hvis det står til manifestets forfattere. I den manifest-ske naturfagsundervisning vægtes barnets umiddelbare erfaring før forklaringen, og erfaringen skal være primær og sanselig og ikke medieret gennem teknologi. Og det er jo både sympatisk og urealistisk. Sympatisk, fordi ingen vel kan være uenige i, at det (også) er skolens opgave at give barnet oplevelser i naturen, og at det konkrete erfaringsgrundlag, det sansede og det oplevede, er et stærkt sted at udvikle først nysgerrighed og siden forklaringer fra. Urealistisk, fordi den danske grundskole er en politisk institution, der har bestemt, at teknologi (og fra 2027 også teknologiforståelse) er en del af natur/teknologi. Det er altså ikke – som skolen ser ud nu – op til natur/teknologilærerne at beslutte, om de vil have teknologi med i faget eller ej.

Ligesom teknologibegrebet er vanskeligt at få greb om i manifestet, er naturvidenskabsbegrebet det også. Ziegler et al. vil gerne naturen og vil lade naturvidenskaben vente, til barnet bliver ældre. Men er der egentlig ikke allerede tale om naturvidenskab, når barnets spørgsmål faciliteres, og den voksne med dialog og modspørgsmål guider barnet på vej mod at udlede en årsagssammenhæng om, hvorfor mælkebøttens frø spredes så let af et pust? Det er væsentligt at betone barnets sansning og oplevelse, men uden forklaring og efterprøvning bliver viden anekdotisk og løsrevet, og hverdagsforestillingerne bliver ikke udfordret. En refleksion herfra kan være, at vi uforvarende i skolen har fået snævret naturvidenskabsbegrebet ind til kun at være det stærkt kontrollerede, måske qua mange natur/teknologilæres manglende udannelse i faget. Sådan er naturvidenskaben slet ikke. Så i stedet for at skille natur fra naturvidenskab, så lad os hjælpes ad med at få et bredere naturvidenskabsbegreb tilbage i skolen.

Et fag uden fagdidaktik

I manifestet plæderes der for, at naturfagsundervisningen bør være almen og tage udgangspunkt i naturen, indtil eleverne kommer i udskoling og videre på ungdomsuddannelserne. Så kan fagdidaktikken og det naturvidenskabelige med hypoteser og deduktion komme an. Jeg forstår ikke, hvorfor undervisningen skal være så forskellig for de yngste og de lidt ældre elever, for de 13-15-årige

Anbefaling

- Natur/teknologilærere kan læse *Manifest for et andet naturfag* sammen med deres kolleger, fx i fagteamet, og drøfte de seks anbefalinger til undervisningen.
- Læreruddannere i natur/teknologi kan lade bogen indgå i en samtale om naturfagsundervisningens fortid, nutid og fremtid med hinanden og med deres studerende. De kan også drøfte, hvordan natur og naturvidenskab forholder sig til hinanden.
- Forskere i naturfagsdidaktik kan undersøge manifestets påstande om natur/teknologi og naturens betydning for børns udvikling af interesse for naturfag.
- Interessenter og policy-magere kan understøtte en fortsat dialog om, hvilken rolle natur/teknologi skal have for børnene og for fremtiden.

lærer vel også med sanser og krop forrest? Desuden virker det også som lidt lang ventetid for de yngste, hvis de skal sanse havets bevægelser på de bare underben i 2. klasse og så først begynde at forstå og forklare havstrømme og bølger, når geografiundervisningen begynder i 7. klasse.

Ikke desto mindre kan jeg godt tilslutte mig manifestets opgør med metoder og didaktikker på naturfagsområdet, som (i den bedste mening) bliver tilbudt naturfagsundervisningen. Nu findes der selvfølgelig mange metoder og didaktikker, herunder former, der sætter elevinddragelse i centrum. Men i en travl hverdag for natur/teknologilærere kan et materiale bygget op om en "metode" måske nok opleves som en nem og/eller attraktiv løsning, og så kan det forekomme, at det bliver metoden og ikke barnet og dets nysgerrighed, der bliver omdrejningspunkt for undervisningen.

I manifestet betones læreres relationskompetence som den væsentligste parameter for "det andet naturfag", altså den naturfagsundervisning, de sigter mod i manifestet. Det fremhæves endvidere, at den vigtigste lærerkompetence er "det almenpædagogiske håndværk". Undervisningen i natur/teknologi skal ifølge manifestet væk fra det gennemkoreograferede og ultraforarbejdede, men jeg er ikke sikker på, at det står i modsætning til en lærer med en stærk fagdidaktisk forankring. Nærmest tværtimod. Det kræver om noget fagdidaktik og et særligt blik for natur/teknologis særkende at lade eleverne fordybe sig og forbinde sig i og med naturen, at lade dem opdage og opleve. Jeg tvivler på, at naturforbundethed af sig selv bliver suget op fra jorden, gennem benene og op i hjerterne og hjerne på eleverne, hvis bare de står med tæerne dyppet i fugtigt mos.

Har natur/teknologi brug for et manifest?

Et opråb, en drømmevision. Sådan vil jeg sammenfatte *Manifest for et andet naturfag*.

Opråbet er kærkoment og nødvendigt, for natur/teknologi har brug for, at mange krøllede hjerner tænker med. Vi har at gøre med et fag uden videnskabsfagernes stærkt markerede identitet, men det skal være sit eget fag, og startstedet skal være barnet. I fagfornyelsen betones tilstedevær i naturen på lige fod med undersøgelse, og det er et fremskridt. Vi har brug for at tale mere om, hvad natur/teknologi er og kan være i fremtidens skole.

Den urealistiske drømmevision er sympatisk og i tråd med tidsånden, men vi skylder lærerne i natur/teknologi at hjælpe dem med at gøre det godt *inden for* de rammer, der er stillet til rådighed for dem. Den nære erfaringsverden for nutidens børn er også den teknologiske omverden, og teknologi forlænger menneskers handlemuligheder og kan åbne naturens og naturvidenskabens verden.

Litteratur

Bill Nielsen, K. (2025). Hvordan er man en god elev i natur/teknologi?. *MONA*, 2025(3), 7-24. <https://doi.org/10.7146/mona.v25i3.151383>

- BUVM. *Fagfornyelsen*. (u.å.). <https://uvm.dk/grundskole/folkeskolen/lovgivning-og-politiske-aftaler/politiske-aftaler/folkeskolens-kvalitetsprogram/fagfornyelsen/>
- BUVM. *Læseplan for natur/teknologi*. (2025). <https://emu.dk/grundskole/naturteknologi/faghaefte-faelles-maal-laeseplan-og-vejledning>
- Friluftsrådet. (2018). *Børns oplevelser i naturen*. <https://friluftsradet.dk/viden-fakta-om-friluftsliv/publikationer/boerns-oplevelser-naturen>
- Larsen, T.Z., Vad, K.E, Minddal, K. & Blohm, K.D. (2026). *Manifest for et andet naturfag*. Gads Forlag/A Mock Book.
- Torjinski, M., Cliff, D. & Horwood, S. (2024). Associations between nature exposure, screen use, and parent-child relations: A scoping review. *Systematic Reviews*, 13, 305. <https://doi.org/10.1186/s13643-024-02690-2>
- VIVE. *SCOPE*. (u.å.). <https://www.vive.dk/da/projektforloeb/scope/>
- Wøhlk, E.B., Olsen, M.B., Auning, C., Ellebæk, J.J., Albrechtsen, T., Beiskjær, G. & Johannsen, B.F. (2025). *På sporet af natur/teknologi: Arbejdsrapport nr. 1 i "N/T-kortlægningen"*. Københavns Professionshøjskole.