

Hvor effektive er undersøgelsesbaserede strategier i naturfagsundervisningen?¹



Søren Kruse, Institut for Uddannelse og Pædagogik, Aarhus Universitet

Abstract: Artiklen belyser på baggrund af fire nyere sammenfatninger af empirisk forskning spørgsmålet om hvorvidt undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning er en effektiv pædagogisk strategi målt på elevernes naturfaglige læring. Først præsenteres en række argumenter for og imod inquiry-based science education (IBSE), og dernæst forklares idéen med reviews som metaanalyser som baggrund for præsentationen af de fire reviews. Resultaterne viser blandt andet at undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning har en positiv effekt på elevernes læring hvis aktiviteterne er lærerstøttede, og hvis de kombinerer kognitive, epistemiske og sociale elevaktiviteter. Men de viser også at undervisningsaktiviteter der sætter naturfaget ind i en sammenhæng, og lærernes spørgende kommunikation der fremmer elevernes synlige tænkning, har endnu større betydning.

MONA har bragt en række indlæg om inquiry-based science education (IBSE) (Østergaard et al., 2010; Harlen, 2011; Cruys-Bagger, 2011; Sørensen & Vestergaard, 2011) hvor spørgsmålet om evidens rejses: Er der empirisk belæg for at hævde at IBSE er en effektiv strategi?

I denne artikel formidles resultaterne af fire nye reviews (Schroeder et al., 2007; Slavin et al., 2012; Furtak et al., 2012; Minner et al., 2010) af forskning der på forskellig vis belyser effekten af undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning (IBSE). Det sker med særligt fokus på elevernes faglige udbytte. De fire analyser giver et systematisk overblik over det empiriske grundlag for at vurdere flere af de argumenter der har været fremført for og imod undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning.

¹ Søren Kruses artikel bringes posthumt. Jens Rasmussen har foretaget den endelige redaktionelle bearbejdning

IBSE som pædagogisk strategi i en politisk reformkontekst

Det kan være nyttigt at skelne mellem undersøgelse og undersøgelsesbaseret undervisning i naturfagsundervisning. Siden 1960'erne har undersøgelse været et prominent begreb. Begrebet *undersøgelse* refererer til mindst tre former for aktivitet (eller til en cyklus af aktiviteter): hvad forskere gør, hvordan elever lærer, og til at beskrive handlinger i undervisning og læreplaner (Minner et al., 2010). Begrebet *undersøgelsesbaseret undervisning* betegner en pædagogisk strategi der angiver principper for undervisning og læreplaner. Undersøgelsesbaseret undervisning som pædagogisk strategi ses ofte i sammenhæng med erfaringspædagogik og forskellige former for konstruktivisme. Såvel praktikere som forskere og politikere refererer således til forskellige betydninger af undersøgelsesbaseret undervisning. Cakir (2008) skriver at oprindelsen til undersøgelsesbaseret undervisning er uklar, men at der gennemgående trækkes på konstruktivistisk læringsteori fra Piaget, Vygotsky og Ausubel. Cakir (2008) peger på tre gennemgående konstruktivistiske idéer i undersøgelsesbaseret undervisning: 1) hands-on-aktiviteter som en måde at motivere og engagere eleverne og konkretisere naturfaglige begreber på, 2) den enkelte elevs konstruktion af viden gennem aktiv tænkning forstået som selektiv opmærksomhed, organisering af information og integration (assimilation) eller erstatning (akkommodation) af eksisterende viden og 3) social interaktion med henblik på vidensdeling. Eleverne må således være både adfærdsmæssigt og mentalt aktive i undervisningen.

Undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning er ikke blot et begreb for en pædagogisk strategi. Den har i USA, OECD og EU været anvendt som et centralt begreb i politisk styrede reformer af science-undervisningen. National Science Education Standards (NRC, 1996) indfører "evnen til at undersøge" som en standard, det vil sige et mål, i læreplanerne i USA. I *Inquiry and the National Science Education Standards* (NRC, 2000) defineres IBSE (se tekstboks 1). Her beskrives kerneelementerne i undersøgelse som handlinger eller støtte til handlinger hvad enten der er tale om forskere, elever eller undervisere.

Tekstboks 1

Definition af IBSE (National Research Council (NRC), 2000)

“Beskrevet fra de lærendes perspektiv må undersøgelsesbaseret undervisning inkludere følgende kerneelementer af handling:

1. Engagere sig i videnskabeligt orienterede spørgsmål
2. Prioritere evidens (undersøgelse) der giver mulighed for at udvikle og evaluere forklaringer der adresserer videnskabelige spørgsmål
3. Formulere forklaringer på grundlag af evidens der adresserer videnskabeligt orienterede spørgsmål
4. Evaluere forklaringer i lyset af alternative forklaringer
5. Kommunikere og begrunde deres foreslåede forklaringer” (NRC, 2000: 25)

Den politiske begrundelse for at advokere for IBSE ligger i et ønske om at reformere naturfagsundervisningen fra traditionel undervisning til undersøgelsesbaseret undervisning da undersøgelse er kerneelementet i naturvidenskabelige aktiviteter. NRC beskriver “traditionel” undervisning som en undervisning,

“hvor læreren formidler et naturfagligt indhold og opstiller forsøg der har karakter af forholdsvis lukkede opgaver hvor læreren eller lærebogssystemet har defineret de mål, spørgsmål, metoder og svarmuligheder der indgår i forsøget” (Minner et al., 2010:).

Bestræbelsen udtrykker en uddannelsespolitisk forskydning fra at definere naturfaglighed ud fra et defineret korpus af faktisk indhold (knowledge) til at definere naturfaglighed ud fra de handlinger og processer der karakteriserer naturvidenskabelig vidensproduktion (knowing) (Duschl, 2008).

Diskussion af undersøgelsesbaseret undervisning (IBSE)

I dette afsnit gennemgås tre argumenter *for* at undersøgelsesbaseret undervisning fremmer elevernes naturfaglige læring, tre argumenter *imod*, og enkelte *andre* argumenter.

Argumenter for IBSE

Det første argument for at undersøgelsesbaseret undervisning fremmer elevernes naturfaglige læring, går på at naturvidenskab grundlæggende har en undersøgende karakter. Argumentet lød oprindeligt at eleverne gennem klassiske forsøg kunne opdage

naturvidenskabens viden. Det er baseret på en traditionel opfattelse af naturfagernes læreplan som Schwab (1962) betegnede som "konklusionernes retorik". Det er en form for undervisning hvor undersøgelser går ud på at finde de rigtige svar frem for at være "an inquiry into enquiry", hvilket Schwab allerede for 50 år siden advokerede for.

Med udviklingen inden for videnssociologi og med udviklingen af den videnskabs-teoretiske selvforståelse inden for naturvidenskab har argumentet ændret karakter. Naturvidenskab betragtes som en samfundsforandrende social praksis der skaber væsentlige dele af de vidensmæssige rammer for menneskets forståelse af omverdenen og forudsætningerne for løsningen af teknologiske samt miljø- og sundhedsmæssige problemer. Flere har således argumenteret for et kulturelt imperativ i naturfagsundervisningen (Driver et al., 1996; Millar & Hunt, 2001; Osborne et al., 2002). Ud fra det perspektiv ses naturvidenskab som en kulturel praksis der udvikler, fornyer og kritisk efterprøver og argumenterer for viden om naturen. Denne viden er hele tiden i dynamisk forandring, og den er farvet af de teoretiske og metodiske "redskaber" forskningen anvender. Det er en kulturel praksis som gennem sine forklaringsmodeller har stor betydning for hvordan vi opfatter naturen, og for hvordan vi gennem teknologi omskaber naturen.

Argumentet for at arbejde undersøgende i undervisningen siger at undersøgelse er en forudsætning for at eleverne kan forstå og aktivt forholde sig til den måde naturvidenskaben arbejder og producerer ny viden på. Undervisningen ændrer karakter fra primært at formidle hvad vi ved om naturen, til at formidle hvordan vi gennem undersøgelser opnår viden om naturen. Dette argument anerkender at det vi ser gennem undersøgelser, er påvirket af det vi ved (teori), og af hvordan vi undersøger (metode) (Duschl, 2008).

Det andet argument er læringsteoretisk. Det tager udgangspunkt i en forståelse af læring som en aktiv proces og kaldes derfor også for hands-on-argumentet. Det betoner elevernes oplevelse af og erfaring med autentiske naturfænomener hvor de ser, føler, hører, smager, lugter eller manipulerer med fænomener i naturen. Det vil i højere grad fremme deres læring end hvis de blot hører om eller læser andres beskrivelser (Minner et al., 2010).

Dette argument er knyttet til spørgsmålet om motivation. Det er elevernes egne opdagelser og undersøgelser af naturfænomener der motiverer deres lyst til at lære og derved øger deres interesse for naturfag, vil nogle sige. Andre fremhæver betydningen af de praktiske, sanselige og æstetiske kvaliteter der er knyttet til direkte naturoplevelser (Kruse, 2002), mens endnu andre finder at elevernes egne oplevelser og erfaringer motiverer en større gruppe af elever end det er tilfældet ved en mere bogligt baseret undervisning (Bentsen et al., 2009; Dismore & Bailey, 2005; Wistoft & Stougaard, 2012).

Endelig finder vi i denne kategori et konstruktivistisk eller erfaringspædagogisk læreprocesargument. Det understreger betydningen af elevernes egne beslutninger

i forbindelse med undersøgelser og observationer af naturfænomener som et afgørende element i undervisning der aktiverer og udfordrer elevernes for forståelse eller forudgående viden gennem "aktiv tænkning". Undersøgelseraktiviteter hvor eleverne kognitivt og motorisk aktivt tager del i sociale beslutningsprocesser, betragtes som et bedre fundament for at eleverne kan udvikle og efterprøve sammenhængende begrebslige forklaringer på naturfænomener (Cakir, 2008; Duschl, 2008). I læreprocesargumentet ses undersøgelse som en cyklus af aktiviteter: udforme spørgsmål, søge svar i litteraturen, designe og gennemføre observationer og eksperimenter, fortolke og formidle resultater (Minner et al., 2010).

Den tredje form for argument er et pædagogisk argument. Det lægger vægt på elevernes aktive deltagelse i elevstyrede eller lærerstøttede undersøgende aktiviteter som af pædagogiske grunde foretrækkes frem for lærerstyret formidling. Dette argument er dels metodisk, dels normativt. Ved metodisk at organisere undervisningen som lærerstøttede undersøgelser opnås de ønskede læringsresultater mere effektivt. Gennem elevernes aktive deltagelse i undersøgelsesbaseret undervisning opnås yderligere at eleverne tilegner sig normer og holdninger som selvstændig begribelse af den verden de lever i, som grundlag for deltagelse i beslutningsprocesser vedrørende naturen og menneskers forhold til naturen.

Det pædagogiske argument fremholder at eleverne gennem et cyklisk undersøgelsesforløb får mulighed for at konstruere en mere sammenhængende forståelse af naturfaglige fænomener, teorier og metoder frem for blot at reproducere mere eller mindre fragmenterede elementer af faktisk viden, teori og metode. Det fremholder også et demokratisk aktørperspektiv fordi undersøgelsesbaseret undervisning tvinger eleverne til selvstændigt og i samarbejde med andre at træffe begrundede beslutninger i en faglig og/eller samfundsmæssig kontekst. Det pædagogiske argument lægger vægt på at eleverne ikke blot tilegner sig viden og sammenhængende forståelse af naturen; de skal også udvikle deres evne til at handle.

Med det ændrede syn på naturvidenskab har argumenterne for undersøgende tilgange skiftet didaktisk perspektiv fra at vedrøre undervisningens metoder til også at omfatte mål for elevernes læring (Duschl, 2008).

Argumenter mod IBSE

Det hyppigst anvendte argument mod IBSE er af erkendelses- eller læringsteoretisk karakter. Elevernes evne til at begrebsliggøre og forklare naturfænomener springer ikke ud af deres oplevelser, erfaringer eller observationer af et naturfænomen. Elevernes oplevelser og erfaringer udgør et overload af information i forhold til det de oplever, erfarer og observerer, men ikke nødvendigvis det som var tilsigtet. Undersøgelseraktiviteter fører ikke i sig selv til at eleverne udvikler faglige begreber og sammenhængende forståelse (Kruse, 2002; Millar, jf Sørensen & Vestergaard, 2011, Mayer, 2004).

Kritikken har navnlig været rettet mod hands-on-oplevelses- eller erfaringsbaseret undervisning – eller det som i USA i 1960'erne gik under betegnelsen *discovery learning* (Bruner, 1961). Mayers indvending går på at undersøgelsesaktivitet – ud fra et erkendelses- og læringsteoretisk perspektiv – må ses i sammenhæng med kognitiv aktivitet, og at kognitiv aktivitet med fordel kan støttes og fremmes gennem andre undervisningsaktiviteter end at undersøge naturfænomener.

Kirschner et al. påpeger at eleverne må støttes i at fokusere deres opmærksomhed på det fagligt relevante, og lærerne må skabe retning og struktur i undervisningen for på den måde at reducere kompleksitet. Såvel Mayer som Kirschner et al. fremfører at der ikke er empirisk belæg for at hævde at undersøgelsesbaseret undervisning er en mere effektiv undervisningsform, og at de konstruktivister der er fortalere for IBSE, har vanskeligt ved at omsætte deres pædagogiske idéer til operationelle pædagogiske strategier og dermed hypoteser der kan testes i forsøg.

Et andet argument mod IBSE er pædagogisk. Det siger at undersøgelsesaktiviteter hvor eleverne selvstændigt formulerer spørgsmål, planlægger og gennemfører forsøg, måske nok kan engagere eleverne, men at elevstyrede aktiviteter ikke fører til at eleverne sammenholder og anvender undersøgelserne med en udvikling af deres naturfaglige begreber og forklaringsmodeller (Kirschner et al., 2006).

Dette kritiske argument påpeger også at mange alternative pædagogiske strategier – ved at overlade ansvaret for læringen til eleverne – ikke er effektive. Det skyldes at lærerne svigter deres opgave med at støtte eleverne i at fokusere på undervisningens mål og indhold. Allerede i 1960'erne fremførte Shulman & Keisler (1966) at undersøgelsesbaseret undervisning ikke bør forstås som en fuldstændig elevstyret eller minimalt guidet form for undervisning.

Hmelo-Silver et al. fremfører som reaktion på denne kritik at de der praktiserer IBSE, ikke genkender den beskrivelse Mayer og Kirschner et al. giver af IBSE. Dels foresimpler de undersøgelsesbaseret undervisning ved at hævde at IBSE kun består af hands-on-undersøgende aktiviteter, dels underbetoner de at elevernes undersøgelsesaktiviteter almindeligvis er lærerguidede eller stilladserede (Hmelo-Silver et al., 2007).

Sweller et al. replicerer at det fortsat ikke er veldokumenteret at IBSE er mere effektiv end andre strategier, og de skærper kritikken ved at fremføre at selv hvis lærerne støtter og vejleder eleverne i hvordan de selvstændigt kan gennemføre undersøgelser, så svigter lærerne deres rolle som formidlere af undervisningens læringsmål samt fagets korpus af viden, teorier og metoder. De peger på at det er en uholdbar præmis at undersøgelsesbaseret undervisning ved at tage udgangspunkt i elevernes selvstændige undersøgelsesaktivitet skulle stå i modsætning til lærerens formidling af læringsmål og viden. Erfarne lærere opnår resultater ved at formidle fagets viden, teorier og metoder (Sweller et al., 2007).

Endelig ses et tredje modargument der påpeger at kernen i videnskabelig praksis

ikke kun består af undersøgende aktiviteter. Naturfaglig praksis består også af aktiviteter der går ud på at fortolke og forklare naturfænomener på et teoretisk grundlag, at udvikle modeller og teorier og ikke mindst at forholde sig kritisk argumenterende og debatterende til gyldigheden af egne og andres undersøgelsesresultater (Duschl, 2008).

Andre indvendinger mod IBSE

IBSE kan ud over de ovennævnte kategorier som megen anden naturfagsundervisning kritiseres for et naturvidenskabeligt tunnelsyn på undervisning. Det skyldes for det første at undervisningen ikke bygger bro mellem på den ene side en naturvidenskabelig kultur der er fremmed for mange elever, og på den anden side elevernes hverdagslige såvel som sociale og faglige kulturer hvori naturfaglige forklaringsmodeller og metoder anvendes. Naturfagsundervisning må også påtage sig den opgave at kontekstualisere naturvidenskabens viden og arbejdsmåder i forhold til andre fag og professioner, som fx håndværk, teknologi, design og sundhed, i forhold til praktisk anvendelse af naturfaglig viden i hverdagen og i forhold til politiske beslutninger om naturressourcer, miljø og økologisk bæredygtighed (Dolin et al., 2003; Osborne et al., 2002; Osborne & Dillon, 2007). Men det skyldes for det andet også at IBSE's ensidige fokus på videnskabelige procedurer eller en videnskabelig kultur fører til en sammenblanding af videnskabelig metode (naturfag som undersøgelse) og pædagogisk metode (at lære naturfag gennem undersøgelse). Eleverne er jo ikke forskere uanset hvor dygtige underviserne er til at iscenesætte undersøgende undervisning. Der er stor forskel på professionelle forskeres praksis inden for en disciplin og den praksis der kendetegner elever der skal tilegne sig indholdet i disciplinen (Kirschner et al., 2006), uanset at det er blevet hævdet at de underliggende erkendelsesprocesser i nogen grad er de samme for elever og forskere.

I forlængelse af dette indvender Sørensen & Vestergaard (2011) at eleverne ofte oplever undersøgelserne som pseudoundersøgelser. De oplever dem som et ritual der skal gennemløbes for at demonstrere at de kan reproducere viden og nå frem til argumenter, forklaringer og konklusioner som videnskaben, repræsenteret ved læreren eller lærebogen, allerede har etableret. Ofte er det en viden som nogle elever allerede har læst eller ræsonneret sig til, mens tiøren aldrig falder hos andre elever. Kritikken peger på at lærerne først må formidle de faglige forudsætninger før eleverne selv formulerer og gennemfører undersøgelser (Kirschner et al., 2006).

En praktisk indvending lyder at skolen ikke har ressourcer, lokaler, tid, materialer, udstyr osv. der tillader at undervisningen organiseres undersøgelsesbaseret. Den tager for lang tid, hvilket indebærer at færre emner kan tages op, hvorfor det bliver vanskeligt at dække det indhold og de mål som læreplanerne foreskriver. Kritikken rejser det klassiske spørgsmål om afvejning af dybde og bredde og helt grundlæggende

hvad det er naturfagene skal formidle, og hvorfor. Fortalerne for IBSE prioriterer at eleverne skal forstå sammenhænge og udvikle kompetencer frem for at tilegne sig et stort korpus af faglig paratviden. Men tilegnelse af faglig viden og kompetenceudvikling er ikke modsætninger. Faglig viden er et middel til at nå kompetenceudvikling som mål (Qvortrup, 2004).

På baggrund af ovenstående både deskriptive og normative argumenter for og imod IBSE kan der altså rejses en række spørgsmål der kan belyses empirisk:

- Har IBSE som anvendt pædagogisk strategi en positiv effekt på elevernes faglige udbytte?
- Hvor stor er effekten af IBSE sammenholdt med andre pædagogiske strategier?
- Hvad betyder forskellige elementer af kognitiv, epistemisk (videnskabelig) og social aktivitet i IBSE for elevernes udbytte?
- Hvad betyder forskellige grader af elev- og lærerstyring i IBSE for elevernes udbytte?

Det er blandt andet sådanne spørgsmål fire nyere reviews søger at give svar på. Schroeder et al., Furtak et al. og Slavin et al. har foretaget metaanalyser af henholdsvis 12, 37 og 17 kvantitative studier af effektstørrelsen af eksperimenter med IBSE, mens Minner et al. har gennemført en mixed design-analyse af 138 kvalitative og kvantitative undersøgelser af IBSE hvoraf 101 studier belyser effekten på elevernes faglige udbytte (se tabel 1).

Hvad er en metaanalyse?

En metaanalyse er kort fortalt en analyse der belyser et fokuseret forskningsspørgsmål ved systematisk at sammenholde resultaterne af foreliggende empiriske studier publiceret i en afgrænset periode. Det kan fx være IBSE's effekt på faglige elevresultater. De empiriske studier udvælges efter systematiske procedurer (en algoritme) for hvor der søges (hvilke databaser), og med hvilke søgeord og synonymer der søges. Når de relevante publikationer er fundet, vurderes det på baggrund af beskrevne inklusions- og eksklusionskriterier om de pågældende studier falder inden for kriterierne: Er forskningstemaet relevant? Lever datakvalitet og videnskabelig metode op til kriterierne? (Tabel 1 viser en oversigt over de inklusions- og eksklusionskriterier der er anvendt i de fire reviews).

	Periode	Publikationer	Inklusionskriterier	Studier inkluderet	Gns. effekt
Schroeder, Scott, Tolson, Huang & Lee (2007)	1980-2004	390	0.-12. klasse (K12) Naturfagsundervisning i USA Eksperimentelt og kvasi-eksperimentelt design Pædagogisk strategi beskrevet som forklarende variabel Effektstørrelse beregnet på elevernes faglige udbytte Normalområdet; ikke særlig population	12	0,65
Slavin, Lake, Hanley & Thurston (2012)	1980-2011	327	0.-6. klasse (K6), Publiceret på engelsk Eksperimentelt og kvasi-eksperimentelt design Mindst 4 ugers intervention Velbeskrevet intervention og kontrolgruppe Praktisk realistisk intervention Effektstørrelse beregnet Elevresultater måles med standardtest Normalområdet; ikke særlig population	17	0,30 (8) 0,02 (4) 0,37 (5)
Furtak, Seidel, Iverson & Briggs (2012)	1996-2006	1.625 (4.239)	0.-12. klasse (K12) Publiceret på engelsk og peer-reviewed Eksperimentelt og kvasi-eksperimentelt design IBSE beskrevet som forklarende variabel Effektstørrelse beregnet Normalområdet; ikke særlig population	37	0,50
Minner, Levy & Century (2010)	1984-2002	?	0.-12. klasse (K12) Publiceret på engelsk Kvantitativ eksperimentel eller korrelations-analyse samt kvalitative design Interventionen skal være velbeskrevet Effekten skal være vurderet kvantitativt eller kvalitativt	138	Kan ikke opgøres

Table 1. Oversigt over fire nyere reviews der belyser effekten af IBSE på elevernes faglige resultater

Metaanalyser der har været foretaget siden 1970'erne (Schroeder et al., 2007), er optaget af at sammenligne effektstørrelsen i forskellige studier (se tekstboks 2).

Tekstboks 2

Beregning af effektstørrelsen i de tre metaanalyser

$$ES = \frac{(Fe - Ff) - (Ke - Kf)}{SDkf} , \text{ hvor:}$$

ES = effektstørrelse

Ff = gennemsnittet af målte elevresultater i forsøgsgruppen før forsøget

Kf = gennemsnittet af målte elevresultater i kontrolgruppen før forsøget

Fe = gennemsnittet af målte elevresultater i forsøgsgruppen efter forsøget

Ke = gennemsnittet af målte elevresultater i kontrolgruppen efter forsøget

SDkf = standardafvigelse for kontrolgruppen efter forsøget

ES > 0 betyder positiv effekt

ES < 0 betyder negativ effekt

Det er velkendt at så at sige alle forsøg har en positiv effekt. Det skyldes blandt andet de ofte ekstra ressourcer og den særlige opmærksomhed der gør lærere og elever mere grundige end vanligt. Derfor er spørgsmålet ikke om et forsøg har effekt, men hvor stor effekt det har. Gennem benchmarking sammenlignes forskellige interventioner med hensyn til deres effektstørrelse. Hattie (2009), som er kendt for sine analyser af over 800 metaanalyser, finder at den gennemsnitlige effektstørrelse ligger på 0,4 i de mere end 300.000 forsøg der indgår i hans analyser. På den baggrund advokerer han for at kun interventioner med en effektstørrelse på 0,4 eller derover (zone of desired effects) har interesse. Den opfattelse er kontroversiel, men ikke desto mindre har Hattie en pointe når han understreger at spørgsmålet ikke er om en intervention virker, men derimod hvilke interventioner der virker bedst.

For at kunne sammenstille forskningsresultater er kravet i en metaanalyse at studiet har et eksperimentelt design hvor interventionen er beskrevet, og hvor resultaterne af interventionen kan sammenlignes med resultater fra en kontrolgruppe der ligeledes er velbeskrevet. Det er videre et krav at deltagere i forsøgsgruppen og kontrolgruppen er udvalgt tilfældigt. I mange undersøgelser har den tilfældige udvælgelse været tilstræbt, men ikke været mulig af praktiske grunde. Nogle metaanalyser accepterer disse studier og betegner dem kvasi-eksperimentelle.

Det er ikke, som Harlen (2011) redegør for, umuligt, men vanskeligt at evaluere IBSE. Selv ved gennemførelsen af egentlige eksperimenter knytter der sig vanskeligheder til både den uafhængige variabel (interventionen) og den afhængige variabel (elevresultatet).

taterne). For det første er den intervention forsøgsgruppen udsættes for, ikke identisk med lærerens og elevernes handlinger i klasserummet. Som oftest består forsøgene i gennem uddannelse at instruere lærerne i anvendelse af fx instruerende materialer, et alternativt curriculum, alternative læremidler eller en alternativ metode.

Der er som bekendt ikke et 1:1-forhold mellem en pædagogisk strategi (principper, idéer, normer) og pædagogiske handlinger i klasserummet. Undersøgelserbaseret pædagogisk praksis dækker over forskellige og meget komplekse handlinger i klasserummet, og effektive professionelle undervisere er karakteriseret ved at kunne anvende forskellige pædagogiske strategier afhængigt af situationen, målene og deltagernes forudsætninger (Shulman, 1986; Meyer 2005; Hattie 2009). Det betyder at man hvis man vil undersøge effekten af en særlig pædagogisk strategi gennem eksperimenter, så i en vis forstand må fiksere lærerne på et bestemt sæt af principper. Det vil i praksis aldrig kunne gøres fuldstændigt, for lærere og elever agerer relativt autonomt. Det betyder dog ikke at alle strategier er lige effektive. Effekten af undervisernes forskellige strategier kan måles, og de principper effektive undervisere beskriver, kan formidles til mindre effektive undervisere (Schroeder et al., 2007).

Hertil kommer problemer med at definere og måle elevresultaterne som den afhængige variabel. Elevresultater kan evalueres som faktisk viden (hvad eleverne ved om naturen), som faglige begreber, som sammenhæng (hvordan eleverne forklarer mere eller mindre komplekse naturfænomener) og som færdigheder og kompetencer (hvad eleverne kan, og deres evne til problemløsning). Men en interventions output kan også belyses gennem andre typer af resultater: lyst til at lære, sympati eller antipati for faget, motivation og interesse for faget eller valg af uddannelse. De fire reviews som analyseres nedenfor, fokuserer alle på IBSE's effekt på elevernes faglige udbytte, og de belyser således ikke IBSE's effekt på fx elevernes motivation, holdning til naturfag eller valg af uddannelse. Ud over at definere hvilke elevresultater der ønskes evalueret, kommer der også måleproblemer: Hvilke tests eller prøver er gyldige og dækkende? Hvornår er det rimeligt at måle effekten? Lige efter forsøget, et år efter eller når skolegangen er slut? Vanskelighederne kan illustreres således:



Figur 1. Illustration af forholdet mellem intervention, undervisning og elevresultater i forsøg med undervisning

For at kunne generalisere på tværs af flere studier må analytikerne foretage en tolkning af de enkelte studier. Analytikerne må kategorisere de enkelte studier efter kriterier der ofte bryder med de kategorier og den logiske sammenhæng der er anvendt i det enkelte studie. De to væsentligste kategoriseringsproblemer består, ud over at gå på tværs af forskellige design (varighed, metoder, datakvalitet), i at elevresultaterne måles på forskellige måder i studierne, og at metaanalysen må type- eller klassegeneralisere de interventioner der er foretaget i de forskellige studier. Fx kan computersimulationer kategoriseres sammen med hands-on-feltforsøg under kategorien undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning (Schroeder et al., 2007).

De fire analyser søger at tage højde for kategoriseringsproblemet ved at foretage eksplicite og systematiske kodninger af de undersøgelser der indgår, således at IBSE bliver en relativt mere distinkt defineret kategori, eller ved at indføre underkategorier som beskriver forskellige former for IBSE.

Effekten af forskellige strategier i naturfagsundervisningen

Dette afsnit indeholder analysen af de fire reviews af undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning, Schroeder et al., Slavin et al., Furtak et al. og Minner et al. (se tabel 1).

Schroeder et al. undersøger effekten af forskellige pædagogiske strategier, herunder undersøgelsesbaseret undervisning, anvendt i forsøg i naturfagsundervisningen i perioden 1980-2004. Deres mål er at tilvejebringe forskningsbaseret information om effektiv naturfagsundervisning gennem en metaanalyse af forskningsresultater i USA. Intentionen er at vurdere hvilke undervisningsstrategier der har vist sig effektive i forhold til at forbedre elevernes udbytte i naturfag.

De finder at 61 af de 390 identificerede studier lever op til deres inklusionskriterier (se tabel 1), hvorefter de beskriver 10 undervisningsstrategier (se tekstboks 3).

Schroeder et al. udarbejder et ratingskema som en gruppe af naturfagsundervisere med 20-30 års undervisningserfaring anvender til at læse beskrivelsen af den intervention der indgår i et eksperiment, og giver en score fra 1 til 5 for hver af de 10 beskrevne strategier i det pågældende studie. Den strategi der får den højeste score, bliver valgt som den dominerende interventionsstrategi i studiet og kategoriseret som sådan. Forskergruppen finder at strategierne er overlappende, men at undervisernes kategorisering er konsistent og valid. Ingen af de 61 studier bliver kategoriseret som direkte instruktion eller fokuserende strategier. Ved at sammenholde effektstørrelsen i studierne inden for de 8 øvrige kategorier finder forskergruppen følgende mønster (se tabel 2).

Tekstboks 3

10 pædagogiske strategier i naturfagsundervisningen (Schroeder et al., 2007)

- **Spørgende:** Læreren stiller spørgsmål som eleverne besvarer, for derigennem aktivt at undersøge elevernes tænkning.
- **Fokuserende:** Læreren præsenterer læringsmål og/eller retter elevernes opmærksomhed mod læringsmålene.
- **Manipulerende hands-on:** Læreren giver eleverne mulighed for at arbejde med fysiske objekter.
- **Udvikle læremiddel:** Læreren udvikler eller modificerer læremidler.
- **Evaluerende:** Læreren ændrer frekvens, formål eller kognitivt niveau i tests eller evaluering, fx gennem umiddelbar eller forklarende feedback på anvendte diagnostiske tests, formative tests og gentests.
- **Undersøgelse:** Læreren anvender elevcentreret undervisning som er mindre "trin for trin"- og lærerstyret undervisning end traditionel undervisning. Eleverne besvarer forskningsspørgsmål ved at analysere data, fx ved at anvende guidede eller faciliterede undersøgelsesaktiviteter eller laboratorieforsøg.
- **Kontekstintroducerende:** Læreren relaterer til elevernes tidligere erfaringer og viden eller engagerer eleverne ved at relatere til elevernes eller skolens nærmiljø eller setting, fx ved anvendelse af problembaseret læring, ekskursioner, skolegården eller stimulering til refleksion over anvendelsesmuligheder.
- **IKT:** Læreren introducerer teknologier i undervisningen (computere eller andre medier) til simulering og modellering af begreber/teorier, dataindsamling, repræsentation af begreber via diagrammer, illustrationer eller billeder.
- **Direkte instruktion:** Læreren formidler information verbalt og guider eleverne gennem sekvenser af opgaver (eksperimenter, anvendelse af apparatur, forklarer sammenhænge osv.).
- **Collaborative learning:** Læreren organiserer eleverne i fleksible grupper for at arbejde med forskellige opgaver (laboratorieforsøg, undersøgelser, projekter, diskussioner).

Forskergruppen konkluderer at alle typer af interventioner ligger over en effektstørrelse på 0,2. Bortset fra "lærerens udvikling af læremidler" viser deres analyse at de øvrige 7 strategier har en effektstørrelse, der ligger betydeligt over Hatties magiske grænse på 0,4. Schroeder et al. konkluderer på baggrund af konfidensintervallerne at "kontekstintroducerende" og "kooperative" (CL) læringsstrategier har en signifikant større effekt end de øvrige strategier, og at "udvikling af læremidler" har en signifikant mindre effekt end de øvrige strategier.

Gruppen konkluderer på den baggrund at lærere kan gøre undervisningen mere relevant for eleverne ved at præsentere indholdet i en kontekst af eksempler og problemer fra den virkelige verden, som fx gennem teknologi, ekskursioner og feltarbejde. Kooperative strategier forstået som organisering i fleksible, heterogene grupper og gruppeundersøgelserprojekter kan være mere effektive end traditionel undervisning.

De minder sluttelig om at undervisningsstrategier er propositionel viden (dvs. teoretisk, som fx formuleret i lærebøger) (Shulman, 2006) der kan klassificeres som principper, maksimer og normer, at strategierne ikke er diskrete variable fordi lærere i praksis anvender en blanding af strategier, og at innovative undervisere der opnår gode resultater, netop udnytter en kombination af velfungerende strategier.

Strategi	Gns. effekt	95%-konfidens-interval	Antal studier	Antal elever
Kontekstintruderende	1,48	1,42-1,54	6	7.235
Cooperative learning (CL)	0,96	0,78-1,14	3	641
Spørgende	0,74	0,49-0,99	3	279
Undersøgende	0,65	0,64-0,67	12	145.722
Hands-on	0,57	0,46-0,69	8	1.240
Evaluering	0,51	0,19-0,82	2	166
IKT	0,48	0,39-0,58	15	1.962
Udvikle læremidler	0,29	0,21-0,37	12	2.450
Total	0,67	0,66-0,68	61	159.695

Tabel 2. Effekt af 8 kategorier af undervisningsstrategier i naturfag i 61 USA-studier i perioden 1980-2004 (Schroeder et al., 2007)

Er undersøgelsesbaseret undervisning effektiv for de yngste elever?

Slavin et al. ønsker at fokusere på studier blandt de yngste elever i 0.-6. klasse (K6) fordi tidligere reviews og metaanalyser primært har været optaget af 0.-8. klasse (K8) og 0.-12. klasse (K12). Således fokuserede kun 6 ud af 61 studier hos Schroeder et al. på K6.

Slavin et al. identificerer 327 studier der er orienteret mod effekten af forskellige interventioner i 1.-6. klasse. I disse indgår der en eller anden form for undersøgelsesaktivitet. 17 studier lever op til inklusionskriterierne (se tabel 1). På baggrund af narrative beskrivelser af interventionerne opdeles de 17 studier i tre grupper:

- 4 undersøgelser hvor interventionen består i at lærerne gives materialer (kits) med specifikke guidelines som de kan anvende til at gennemføre hands-on-orienterede undersøgelsesaktiviteter i undervisningen. En kontrolgruppe får ikke disse materialer. Begge grupper kan være tilbudt samme efteruddannelse. Tesen er at lærere der udstyres med materialer der understøtter en undersøgende tilgang, i højere grad implementerer en undersøgende tilgang i deres undervisning.
- 8 undersøgelser hvor interventionen består i at lærerne i interventionsgruppen har fået et kursus som introducerer dem til en velbeskrevet strategi som de efterfølgende afprøver i praksis.
- 5 undersøgelser hvor forskellige teknologier anvendes til at støtte en undersøgelsesbaseret undervisning.

	Antal forsøg	Vægtet gns. effektstørrelse	Minimums-ES	Maksimums-ES
Instruerende materialer	4	0,02	-0,01	0,48
Efteruddannelse	8	0,30	0,21	0,90
Teknologistøtte	5	0,37	0,25	0,43

Tabel 3. Effekt på elevresultater i 0.-6. klasse (K6) ved forskellige måder at introducere undersøgelsesbaseret undervisning på (Slavin et al., 2012)

Set på baggrund af de relativt få studier, så må, sammenfatter forfatterne, konklusionerne være tentative. Overraskende viser de fire ret omfattende undersøgelser af materialer til konkret undersøgelsesbaseret undervisning at der *ikke* kan påvises nogen effekt på hvordan eleverne klarer sig i efterfølgende tests. Materialerne (Insights, FOSS, STC, SCALE og Teaching SMART) der anvendes i de fire forsøg, har en vægtet gennemsnitlig effektstørrelse på 0,02 (se tabel 3).

Derimod viser de 8 forsøg der efteruddanner lærere til at undervise undersøgelsesbaseret uden støttende materialer, at have en positiv effekt på elevresultaterne i forskellige former for evalueringer. I disse studier har lærerne fået intensiv efteruddannelse.

Alle 8 forsøg viser en signifikant positiv effekt af at efteruddanne lærere i at undervise undersøgelsesbaseret. Der er en vægtet gennemsnitlig effektstørrelse på 0,30 (se tabel 3).

De 5 studier af støttende teknologier som video og computere der inddrages i undersøgelsesbaseret undervisning, viser en vægtet gennemsnitlig effektstørrelse på 0,37 (0,25-0,43) (se tabel 3). Trods det ret entydige billede er forskergruppen forbeholden over for at drage konklusioner da 4 ud af 5 forsøg dækker ret små populationer.

Forskergruppens tolkning peger på at støttende materialer der ofte er tidskrævende at anvende, ikke hjælper fordi naturfagernes læreplaner er tidspressede. Efteruddannelse af lærere ser ud til at give bedre resultater fordi efteruddannelsen udruster lærerne med metoder som de mere fleksibelt kan anvende i undervisningen når der er tid til og mulighed for det.

Undersøgelsesbaseret undervisning – hvad er det, og gør det en forskel?

Minner et al. (2010) har gennemført et af de hidtil mest omfattende reviews af 138 IBSE-studier gennemført i perioden 1984-2002. I modsætning til de øvrige metaanalyser inkluderer de kvalitative studier. De argumenterer for at de strenge kvantitative metodologiske krav afskærer forskersamfundet fra væsentlige bidrag.

Minner et al. tager udgangspunkt i at IBSE er fortolket og operationaliseret forskelligt i de 138 studier. Forfatterne udvikler derfor, på baggrund af litteraturen om IBSE, en begrebsramme som de anvender til at undersøge hvordan IBSE operationaliseres i de forskellige studier. Den bruges videre til at identificere hvilke elementer der indgår i forsøgene med IBSE, og hvilken effekt de forskellige elementer i IBSE har på elevernes udbytte. I deres flerdimensionelle begrebsramme indgår:

- spørgsmålet om hvordan eleverne involveres i undersøgelserne: om de selv manipulerer materialer (hands-on), om de på egen hånd observerer naturfænomener, om de ser andre manipulere materialer, eller om de anvender sekundære kilder, såsom information fra bøger, oplæg, internet og video
- spørgsmålet om hvilke elementer der indgår i en undersøgelsesbaseret undervisningscyklus: spørgsmål, design, data, konklusion og kommunikation
- spørgsmålet om elevernes deltagelse i undersøgelsesprocessen: elevernes ansvarlighed for processen, altså om de selv træffer beslutninger i forhold til elementerne i processen, elevernes aktive (synlige) tænke i forhold til de enkelte elementer i processen, altså om de eksplicit beskriver begreber, forklaringer osv., og elevernes motivation.

Minner et al. er optaget af om der kan vises en effekt af det de kalder mætningsgraden af IBSE, det vil sige hvor mange elementer der indgår i IBSE, og i hvilken grad eleverne aktivt deltager (beslutter og tænker aktivt) i forhold til elementerne i undersøgelsen. Deres tese er at jo større mætningsgrad af IBSE i forsøget, des større effekt på elevernes læring.

For at kunne sammenstille og vurdere effekten i både kvantitative og kvalitative studier opstiller og anvender de et effektscoresystem. Med det ønsker de at kunne undersøge korrelationer mellem forskellige parametre/elementer i studierne og ef-

fekten på elevernes konceptuelle læring, herunder ikke mindst om mætningsgraden har betydning for effekten. Der vil ikke blive redegjort for metoden her da det ikke lykkedes gruppen at påvise nogen signifikant korrelation mellem mætningsgrad og elevernes konceptuelle læring. Det negative resultat tilskrives metodologiske problemer med at sammenholde kvantitative og kvalitative studier.

Minner et al. konkluderer at der ikke kan påvises et klart positivt billede af effekten af IBSE, men at der dog på tværs af de 101 studier er fundet en klar tendens til at IBSE har positiv effekt på elevernes udbytte. Analysen viser en klar og konsistent tendens til en positiv effekt på elevernes konceptuelle læring i de studier hvor der indgår en sammenhængende undersøgelsescyklus (udforme spørgsmål, designe undersøgelser, indsamle data, drage konklusioner og formidle resultater). Det fremhæves at studier der fokuserer på elevernes aktive tænkning og på ansvar for læring, har positiv effekt, navnlig på tilegnelsen af videnskabelige begreber. Endelig viste 5 ud af 6 studier med fokus på hands-on-undersøgelser at elevernes konceptuelle læring forbedres.

Minner et al.s fortolkning konkluderer at sammenstillingen af studierne bekræfter den konstruktivistiske teori om at eleverne aktivt må konstruere deres viden, og at elevernes deltagelse i undersøgelsescyklusser med fokus på deres aktive tænkning og ansvarlighed (at de træffer beslutninger) er afgørende for at de tilegner sig naturvidenskabelige begreber.

Forskellige former for undersøgelsesbaseret undervisning

Furtak et al. ønsker med deres metaanalyse at undersøge og sammenligne effekten på elevresultater af forskellige styringsformer i undervisningen (elevstyret, lærerguidet og traditionel lærerstyret IBSE) og forskellige former for kognitiv aktivitet i IBSE. De forfølger således den idé som Minner et al. er optaget af, men fastholder det klassiske krav til en metaanalyse om kvantitativt at kunne beregne effektstørrelsen af en forsøgsintervention.

De afgrænser deres analyse til IBSE-studier der er publiceret med peer-review og på engelsk i perioden 1996-2006. Begrundelsen herfor er dels at IBSE i denne periode var en bærende idé i reformer af naturfagsundervisningen i store dele af verden, og dels at der ikke ud over Schroeder er gennemført systematiske metaanalyser af IBSE-studier i denne periode. De ønsker dels at belyse om den rejste kritik af elevstyringen (Kirschner et al., 2006; Meyer, 2004) og modkritikken (Hmelo-Silver et al., 2007) der advokerer for lærerguidede undersøgelser, kan kvalificeres empirisk. Endelig vil de undersøge om der kan identificeres forskelle i effekt af forskellige former for kognitive undersøgelsesaktiviteter i IBSE, som foreslået af blandt andet Duschl.

De finder 37 studier der lever op til deres inklusionskriterier (se tabel 1). Det er studier foretaget i USA, Tyrkiet, Taiwan, Tyskland, Kenya, Israel, England, Estland

og Jamaica. Ingen af de 37 studier overlapper de 12 studier der indgik i Schroeder et al.s metaanalyse. Forfatterne indikerer selv at søgeprofilerne er forskellige i de to metaanalyser, og at kun ganske få af de 37 studier anvender betegnelsen IBSE til at beskrive interventionerne. Studierne anvender betegnelser som cooperative learning, problemløsning, discovery learning, instruerende støtte, undersøgende approach, konstruktivistisk læring eller forskellige former for IKT. Kontrolgrupperne beskrives ligeledes forskelligt som lærebogstilgang, traditionel undervisning, direkte instruktion, individuel læring, regulær instruktion, baseline eller at eleverne arbejder alene.

Den gennemsnitlige effektstørrelse i de 37 forsøg er 0,5, hvilket er noget højere end ældre metaanalyser fra 1980'erne og 1990'erne (med varierende effektstørrelse fra 0,06 til 0,41) og næsten på niveau med Schroeders et al.s effektstørrelse på 0,65.

Forskellig kognitiv aktivitet i IBSE

Furtak et al. (2012) konstruerer fire kategorier af kognitiv aktivitet der enkeltvis eller i kombination kan indgå i eksperimenter med IBSE (se tekstboks 4).

Tekstboks 4

Fire domæner af kognitiv aktivitet i forsøg med naturfagsundervisning (Furtak et al., 2012)

Proceduralt domæne:	At stille videnskabeligt orienterede spørgsmål At anvende eksperimentelle design At gennemføre videnskabelige procedurer At indsamle data At repræsentere data At foretage hands-on-aktiviteter
Epistemisk domæne:	At drøfte videnskabens natur At drage konklusioner baseret på evidens (undersøgelse) At generere eller revidere teori
Konceptuelt domæne:	At eleverne trækker på det de allerede ved At ekspliciterer elevernes idéer eller mentale modeller At eleverne gives feedback på deres idéer, begreber osv.
Socialt domæne:	At deltage i klasses Diskussioner At argumentere for/debatere videnskabelige idéer At præsentere At samarbejde i grupper eller i klassen

Der knytter sig vanskeligheder til det konceptuelle domæne som nogle af studierne forholder sig til. Det der betegnes traditionel undervisning, er ofte karakteriseret ved kognitive aktiviteter hvor lærebøger eller lærere gennemgår faglige begreber, og hvor eleverne gennem forskellige opgaver og eventuelt gennem prøver og feedback prøves for om de har forstået begreberne. De konceptuelt orienterede undersøgelsesaktiviteter i de inkluderede studier er til forskel herfra rettet mod at eleverne ekspliciterer og aktivt arbejder med deres egne begreber.

Ud fra disse beskrivelser af kognitive domæner og systematiske procedurer afgør forskerne hvilke kategorier af kognitiv aktivitet der indgår som forklarende variabel i de 37 studier. De finder for det første at 13 studier ikke indeholder et eller flere af disse domæner som forklarende variabel i interventionsgruppen. 10 af de 13 studier sammenligner undersøgelsesbaseret undervisning hvor undervisningen på forskellig måde er computerstøttet, med en kontrolgruppe hvor eleverne får den samme form for undersøgelsesbaseret undervisning, men alene formidlet af læreren. En gennemsnitlig effektstørrelse på 0,86 for disse 10 studier indikerer at IKT i undersøgelsesbaseret undervisning kan have en positiv støttende effekt på elevernes læring, hvilket bekræfter Schroeder et al.s og Slavin et al.s resultater. For de 22 øvrige studier var det muligt at identificere forskellige former for kognitiv aktivitet som forklarende variabel i forbindelse med IBSE (se tabel 4).

Form for IBSE i behandlet gruppe	Antal studier	Gns. ES	Min.-ES	Maks.-ES	SD
Epistemisk og konceptuel	3	0,19	-0,04	0,63	0,38
Social	8	0,11	-0,30	1,05	0,43
Procedural, epistemisk, konceptuel og social	2	0,24	0,24	0,25	0,01
Procedural, epistemisk og social	6	0,72	0,05	1,74	0,61
Epistemisk	3	0,75	0,55	0,92	0,19

Tabel 4. Sammenligning af effekt af forskellige former for kognitiv aktivitet i forbindelse med IBSE (Furtak et al., 2012)

De 3 studier der eksplicit modstiller epistemiske aktiviteter (at drage konklusioner af en undersøgelse, udvikle eller revidere teori og drøfte videnskabeligheden i en undersøgelse), har den største gennemsnitlige effekt, nemlig 0,75. De 6 studier hvor en kombination af procedurale, epistemiske og sociale undersøgelsesaktiviteter er modstillet en kontrolgruppe, opnår næsten lige så stor effekt, nemlig 0,72. Den største

gruppe af studier (8) modstiller sociale aktiviteter med en kontrolgruppe og viser i modsætning til Schroeder et al. en minimal effekt på 0,11. Hos Schroeder et al. er det effekten af cooperative learning (CL) som strategi der har effekt, mens Furtak et al. viser at deltagelse i klassediskussioner (argumentere for og debattere videnskabelige idéer, præsentere og samarbejde i grupper eller i klassen) har minimal effekt. Sociale aktiviteter kombineret med procedurale og epistemiske aktiviteter har derimod en markant effekt.

Forskellige former for styring af IBSE

Furtak et al. opstiller et kontinuum for styring med et spænd fra lærerstyrede over lærerguidede til elevstyrede undersøgelsesaktiviteter. De antager at hvis andet ikke er angivet, kan kontrolgruppen opfattes som traditionel lærerstyret undervisning hvor lærerne formidler og instruerer eleverne i at gennemføre forud tilrettelagte forsøg. De definerer elevstyrede undersøgelser som aktiviteter der ledes af eleverne selv, mens lærerstøttede undersøgelser er aktiviteter hvor eleverne selv træffer beslutning, men hvor aktiviteterne ledes af lærerne som fokuserer og organiserer aktiviteterne. Forfatterne kodede de 37 undersøgelser på følgende måde:

1. Lærerstyret undersøgelse (intervention) sammenholdt med elevstyret undersøgelse (kontrol)
2. Elevstyret undersøgelse (intervention) sammenholdt med traditionel undervisning (kontrol)
3. Lærerstyret undersøgelse (intervention) sammenholdt med traditionel undervisning (kontrol)
4. Studier der ikke beskriver styringen af undersøgelserne.

Af de 37 studier finder forskergruppen 21 studier hvor det er muligt at identificere i hvilken grad undersøgelsesaktiviteterne er lærer- eller elevstyrede (se tabel 5).

Styring	Antal studier	Gns. ES	Min.-ES	Maks.-ES	SD
Elevstyret IBSE vs. lærerstyret IBSE	6	0,01	-0,04	0,04	0,03
Traditionel vs. elevstyret IBSE	5	0,24	-0,30	0,96	0,45
Traditionel vs. lærerstyret IBSE	10	0,65	-0,01	1,74	0,57

Tabel 5. Effektstørrelse (ES) ved henholdsvis elev- og lærerstyret IBSE (Furtak et al., 2012)

I de 6 studier der sammenligner lærerstyrede undersøgelser med elevstyrede undersøgelsesaktiviteter, viser sammenstillingen en effektstørrelse af lærerstyring på i gennemsnit 0,01. I de 5 forsøg hvor elevstyrede undersøgelser sammenlignes med traditionel undervisning, har elevstyrede undersøgelser en effektstørrelse på i gennemsnit 0,24. I de 10 forsøg hvor lærerstøttede forsøg sammenlignes med traditionel undervisning, opnås en gennemsnitlig effekt på 0,65 (se tabel 5). Effekten af IBSE er altså mere end dobbelt så stor i de 10 lærerstøttede forsøg som i de 5 elevstyrede forsøg.

Furtak et al. konkluderer at deres resultater indikerer at undersøgelsesbaseret undervisning kan have en positiv effekt på elevernes naturfagslæring sammenholdt med traditionel undervisning. Desuden konkluderer de at det er afgørende at lærerne aktivt guider eleverne i deres undersøgende aktiviteter. Metaanalysen bekræfter således kritikken af elevstyrede undersøgelser for ikke at give væsentlig bedre resultater end lærerstyrede aktiviteter. Men analysen bekræfter også modkritikken: at elevernes aktive undersøgelsesaktiviteter giver væsentlig bedre resultater end traditionel undervisning hvis eleverne vel at mærke guides af lærerne. Gruppen konkluderer videre at betegnelsen undersøgelse ikke er dækkende for de kognitive aktiviteter der har indflydelse på elevernes udbytte af undervisningen. Resultaterne indikerer at det er afgørende for elevernes udbytte at de involveres i epistemiske aktiviteter hvor de engageres i at generere, udvikle og be- eller afkræfte forklaringer eller teorier, at de engageres i epistemiske aktiviteter kombineret med procedurale aktiviteter såsom at formulere spørgsmål, konstruere undersøgelsesdesign og indsamle data, og at de indgår i sociale aktiviteter som at samarbejde, argumentere for og formidle resultater. Metaanalysen underbygger således Duschls tese om at integration af kognitive domæner er afgørende for elevernes læring.

Sammenfatning

Tidligere metaanalyser af undersøgelsesbaseret undervisning har ikke givet entydige svar på effekten af IBSE. Det skyldes at IBSE i mange studier er uklart defineret, og at IBSE er operationaliseret forskelligt. De fire reviews viser samstemmende at undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning generelt har en overvejende positiv effekt. Effektstørrelsen i de 3 metaanalyser er større end den der er fundet i 5 ældre metaanalyser. Studierne viser at ikke alle former for undersøgelsesbaserede undervisningsstrategier har lige stor positiv effekt på elevernes læringsudbytte. Nogle former for IBSE er væsentlig mere effektive end traditionel undervisning, mens andre ikke har nogen væsentlig effekt. Samlet set peger de fire reviews i retning af at lærerstøttet IBSE der kombinerer kognitive, epistemiske og sociale elevaktiviteter, giver væsentlig bedre elevresultater end traditionel undervisning. Hands-on-aktiviteter er effektive når de kombineres med kognitive aktiviteter. Instruerende materialer ser

ikke ud til at have nogen væsentlig effekt, mens forskellige former for IKT der støtter undersøgelsesbaseret undervisning, generelt har vist positiv effekt. Endelig viser Schroeder et al.s analyse at der er andre strategier der er endnu mere effektive. Det gælder undervisningsaktiviteter der sætter naturfag ind i en sammenhæng, lærernes spørgende kommunikation der fremmer synlig tænkning, og organiseringen af samarbejdet mellem eleverne.

Sammenholdes studierne, tyder det på at det er afgørende at lærerne tilegner sig nye funktionelle strategier, forstået som principper for undervisning som de frit kan vælge at anvende i undervisningen. Læreres pædagogiske strategier er sammen med deres professionelle viden fra såvel forskning som praksis baggrund for at de ud fra deres dømmekraft kan agere relativt frit og effektivt i deres pædagogiske praksis. Lærers undervisning er – sammenholdt med andre faktorer – den faktor der har størst effekt på elevernes resultater. Den effektive lærer kan netop variere undervisningen gennem anvendelse af et repertoire af fagligt relevante undervisningsstrategier. Men det er afgørende at læreren anvender effektive strategier. Vel vidende at strategierne er vanskelige at identificere, og at de i praksis ofte er overlappende, kan det på baggrund af debatten om IBSE og de fire reviews konkluderes at undersøgelsesbaseret undervisningspraksis kan bidrage til gode elevresultater hvis følgende 5 pædagogiske principper forfølges:

1. Læreren integrerer kognitive, undersøgende og sociale aktiviteter hvor:
 - a. eleverne aktivt og synligt konstruerer og anvender begreber, forklaringer og ræsonnementer (kognitiv dimension)
 - b. eleverne deltager i formulering af spørgsmål og (hands-on-)manipulation af materialer og gennem systematisk observation og undersøgelse af naturfænomener indhenter information som grundlag for forklaring af naturfænomener (undersøgende dimension)
 - c. eleverne i samarbejde omsætter deres læring i produkter og kommunikation, og deres gyldighed diskuteres (social dimension).
2. Eleverne tilegner sig i undervisningen forudsætninger for og involveres i selv at træffe og begrunde beslutninger inden for den kognitive, undersøgende og sociale dimension.
3. Læreren har ansvaret for at fagenes centrale begreber og forklaringsmodeller formidles på en overskuelig og relevant måde, da begreber, teorier og metoder ikke af sig selv springer ud af elevernes bevidsthed eller af undersøgelsesaktiviteterne.
4. Læreren støtter elevernes aktiviteter ved at fokusere på læringsmål og det centrale faglige og metodiske indhold.
5. Eleverne gives gennem undervisningen mulighed for at sætte naturfaglighed i sammenhæng med det liv og det samfund de lever i.

Referencer

- Bentsen, P., Mygind, E. & Randrup, T.B. (2009). Towards an Understanding of Udeskole: Education Outside the Classroom in a Danish Context. *Education, 3-13, 37(1)*, s. 29-44.
- Bruner J.S. (1961). The Art of Discovery. *Harvard Educational Review, 31*, s. 21-32.
- Cakir, M. (2008). Constructivist Approaches to Learning in Science and Their Implication for Science Pedagogy: A Literature Review. *International Journal of Environmental and Science Education, 3(4)*, s. 193-206.
- Cruys-Bagger, S. (2011). Skal undervisningen i naturfagene fremover IBSE's (kommentar til Østergaard et al.), *MONA, 2011(1)*, s. 78-81.
- Dismore, H., & Bailey, R. (2005). "If Only": Outdoor and Adventurous Activities an Generalized Academic Development. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning, 5(1)*, s. 9-20.
- Dolin, J., Krogh, L.B. & Troelsen, R. (2003). Kompetencebeskrivelse i naturfagene. I: Andersen et al. (red.), *Fremtidens naturfaglige uddannelser*. Uddannelsesstyrelsens temahæfteserie, nr. 7, 2003. København: Undervisningsministeriet (lokaliseret på <http://pub.uvm.dk/2003/naturfag2/html/chapter03.htm>. marts 2013)
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic and Social Learning Goals. *Review of Research in Education, 32*, s. 268-291.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning – A Synthesis of over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. London: Routledge.
- Harlen, W. (2011). Udvikling og evaluering af undersøgelsesbaseret undervisning, med forord af Jens Dolin. *MONA, 2011(3)*, s. 46-70.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G. & Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Krischner, Sweller and Clark (2006). *Educational Psychologist, 42(2)*, s. 99-107.
- Furtak, E.M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D.C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research, 82(3)*, s. 300-329.
- Kirschner, P.A., Sweller, J. & Clark, R.E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Falior of Constructivist, Discovery, Experiential, and Problem-Based Teaching. *Educational Psychologist, 41(2)*, s. 75-86.
- Kruse, S. (2002). *Naturoplevelsernes didaktik – iagttagelser af de iscenesatte naturoplevelser med naturvejledning som eksempel*. Ph.d.-afhandling. København: Danmarks Pædagogiske Universitet.
- Mayer R.E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? *American Psychologist, 59(1)*, s. 14-19.
- Meyer, H. (2005). *Hvad er god undervisning?* København: Gyldendal.
- Millar, R. & Hunt, A. (2001). Science for Public Understanding: A Different Way to Teach and Learn Science. *School Science Review, 83(304)*, s. 35-42.

- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction – What It Is and Does It Matter? Results from Research Synthesis Year 1984-2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), s. 474-496.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Crosscutting Concepts and Core Ideas* (lokaliseret på http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13165 6. marts 2013)
- Osbourne, J.F., Duschl, R. & Fairbrother, R. (2002). *Breaking the Mould: Teaching Science for Public Understanding*. London: Nuffield Foundation.
- Osborne J. & Dillon, J. (2007). *Science Education Now – A Renewed Pedagogy for the Future of Europe* (1. EU-rapport). Lokaliseret 15.12.2011 på: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf.
- Qvortrup, L. (2004). *Det vidende samfund – mysteriet om viden, læring og dannelse*. København: Unge Pædagoger.
- Schroeder, C.M., Timothy, P.S., Tolson, H., Huang, T.-Y. & Lee, Y.-H. (2007). A Meta-Analysis of National Research: Effects of Teaching Strategies on Student Achievement in Science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(10), s. 1436-1460.
- Schwab, J.J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. I: J.J. Schwab & P. Brandwein (red.), *The Teaching of Science* (s. 1-104). Cambridge: Harvard University Press.
- Shulman L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15, s. 4-14.
- Shulman L.S. & Keislar, E.R. (1966). *Learning by Discovery: A Critical Appraisal*. Chicago: Rand McNally.
- Slavin, R.E., Lake, C., Hanley, P. & Thurston, A. (2012). *Effective Programs for Elementary Science: A Best-Evidence Synthesis*. www.bestevidence.org.
- Sørensen, H. & Vestergaard, A. (2011). ISBE – stillads for enhver Naturfagsundervisning? (kommentar til Østergaard et al.), *MONA*, 2011(1), s. 82.
- Sweller, J., Kirschner, P.A. & Clark, R.E. (2007). Why Minimal Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries. *Educational Psychologist*, 42(2), s. 115-121.
- Wistoft, K. & Stovgaard, M. (2012). Lyst til at lære. Evaluering af konceptet "Haver til Maver". *MONA*, 2012(1), s. 7-22.
- Østergaard, L.D., Sillasen, M., Hagelskjær, J. & Bavnthøj, H. (2010). Inquiry-based science education – har naturfagsundervisningen i Danmark brug for det? *MONA*, 2010(4), s. 2.

English Abstract

Based on four reviews of empirical research, this paper focuses on the question: Do we have evidence for Inquiry-Based Science Education (IBSE) as an effective pedagogical strategy considering science achievements of students? As a background for the findings pro and con, arguments about IBSE are presented and methodological problems in doing meta-analyses are introduced. The analyses show that IBSE can have a positive effect if the activities are teacher guided, and if cognitive, epistemic and social student activities are integrated. But research also shows that if science activities are introduced in a context, and if the teachers ask questions that promote visible thinking in students, the effects are even higher.