

ATT FÖRSÖKA FÖRBÄTTRA SKOLANS NATURVETENSKAP

DISKUSSION AV ETT ÄMNESDIDAKTISKT FORSKNINGSPROGRAM

av

Björn Andersson, Frank Bach, Mats Hagman, Clas Olander och Anita Wallin
Institutionen för Pedagogik och didaktik, Göteborgs Universitet
(201003)

Abstract

I denna artikel beskrivs, diskuteras och exemplifieras ett forskningsprogram vars syfte är att bidra till att lösa ett angeläget skolproblem, nämligen den bristande naturvetenskapliga förståelse hos en majoritet av eleverna, som framkommit vid nationella utvärderingar och andra undersökningar. I korthet går programmet ut på att ämnesdidaktiska forskare och lärare i skolan tillsammans designar undervisningssekvenser och utvärderar hur de fungerar i praktiken, bl.a. med avseende på vad eleverna lär sig. Under designarbetet spelar forskningsresultat om elevers förutsättningar en viktig roll, liksom analyser av ett givet områdes begreppsliga uppbyggnad och av motiv för att det skall ingå i skolans undervisning. Designfasens viktigaste produkt är en utförlig lärarhandledning, som vi ser som ett verktyg för fortsatt kunskapsbygge. I handledningen ingår en beskrivning av en undervisningssekvens, vilken vi betraktar som en konkretisering av en domänspecifik teori om hur man kan undervisa så att givna mål uppnås. Designarbetet kan också ge upphov till 'uppfinningar' av begreppslig och praktisk karaktär. Exempel på sådana ges för området 'grundskolans geometriska optik'. Angående utvärderingsfasen ges exempel på resultat, och vissa metodproblem diskuteras. För att den nya undervisningen skall framstå som ett attraktivt alternativ behöver man ge övertygande argument för att den ger bättre resultat än nuvarande praxis. I detta sammanhang kan nationella utvärderingsresultat komma till användning, vilket exemplifieras. I artikeln framhåller vi att formulering och prövning av domänspecifika teorier kan vara en ny väg att utveckla och stärka 'science education' som ett autonomt vetenskapsområde. Vi betraktar denna väg som ett komplement till den som nu är vanligare, nämligen att utgå från en allmän teori, t.ex. socialkonstruktivismen, och tillämpa den på ett givet innehåll.

Problem

Forskningsprogram motiveras och bedrivs utifrån olika kunskapsintressen, t.ex. att utveckla och pröva en teori, att utveckla och använda en metod eller att försöka lösa ett praktiskt problem. Man talar om teoridrivna, metoddrivna och problemdrivna forskning.

En vanlig uppfattning om relationen mellan teori- och problemdrivna forskning är att den förra är viktigare och en förutsättning för den senare. Vunna teoretiska insikter antas generera tillämpad forskning som kan leda till lösningar på praktiska problem. I en analys som gjorts av National Research Council i USA bedöms dock denna modell som alltför begränsande när det gäller att utforma en utbildningsvetenskaplig forskningsagenda (Bransford, Brown & Cocking, 2000). Som en alternativ modell av betydelse lyfter man fram forskning som tar sin utgångspunkt i praktiska problem, vilka görs till föremål för forskningsinsatser

som genererar både praktiskt användbara resultat och bidrag till utbildningsvetenskapens utveckling. En tidig företrädare för detta synsätt var Ann Brown vid Berkeleyuniversitetet (Brown, 1992). Aktuella exempel är de olika 'Design experiments in educational research' som nyligen genomförts eller pågår i USA (Kelley, 2003) och liknande arbete i Europe, såsom 'developmental research' (Lijnse, 1995) and 'educational reconstruction' (Kattmann, Duit & Gropengießer, 1998, Duit, 2000).

Mot denna bakgrund konstateras att vårt forskningsprogram är problemdrivet. Vi vill bidra till att lösa ett angeläget skolproblem, nämligen den bristande naturvetenskapliga förståelse hos en majoritet av eleverna, som framkommit vid utvärderingar och andra undersökningar i Sverige och internationellt (för en översikt se Andersson, 2001). Om man inte förstår, så tenderar man att tappa intresset, och troligtvis är detta en bidragande orsak till den sviktande rekryteringen till naturvetenskapliga utbildningar. En svårighet i sammanhanget är att ämnesdidaktiska och andra forskningsresultat som skulle kunna bidra till förbättrad undervisning inte når ut till lärarna och omsätts i praktiken.

En ambition är också att forskningsprogrammet skall lämna bidrag till utveckling av domänspecifika teorier om undervisning och lärande.

Utgångspunkter

Den som börjar fundera över dessa problem inser att lärarens praktik har avgörande betydelse för vad eleverna lär sig. Denna praktik baseras bl. a. på kunskaper om det specifika sammanhang i vilket läraren arbetar, exempelvis om de olika individer som är inblandade och om olika ramfaktorer som styr i varje enskild situation. Läraren har också kunskaper om vad det innebär att undervisa olika elevgrupper enligt kursplanernas mål och känner även till en del om hur kollegor undervisar.

Det finns också både specifik och generell kunskap som är resultat av forskning och som skulle kunna påverka lärarens praktik på ett positivt sätt. Denna kunskap finns uttryckt i vetenskapliga publikationer, men är ofta på en hög abstraktionsnivå. Den tar tid att förstå och bearbeta och är därför svår för en tidspressad lärare att omsätta i praktisk verksamhet. Lijnse (2000, p. 313) går t.o.m. så långt att han bedömer detta arbete som en omöjlig uppgift för läraren.

Steget från forskningsresultat till praktik är alltså långt ifrån trivialt. Vi anser att svårigheterna är klart underskattade av forskarsamhället, och att bristen på kunskap om vad som händer då olika aktörer försöker omsätta forskningsresultat i praktiken är betydande. Man kan med fog tala om ett utforskat område, som är intressant i sig att studera, men som också har stor betydelse för hur inte minst lärarna uppfattar utbildningsvetenskapens legitimitet i vårt samhälle.

I Sverige finns för närvarande ingen välutvecklad tradition för att systematiskt tillvarata lärares och lärargrupperns erfarenheter från sin praktik, medan man i vissa länder bygger stora delar av sin skolutveckling på just detta (Stigler &

Hiebert, 1999). Man kan heller inte säga, att vi i Sverige på ett systematiskt sätt använder forskningsresultat för att förbättra praktiken. Detta ser vi som en utmaning, och vi bedömer det som fullt möjligt att tillvarata både lärares erfarenheter och olika forskningsresultat på ett sådant sätt att den naturvetenskapliga undervisningen signifikant förbättras, både när det gäller elevers lärande och deras attityder till naturvetenskap. Viktigt i sammanhanget är att det finns studier som visar att forskningsbaserade förändringar av praktiken inte kan påtvingas lärare uppifrån, utan bara kan nås genom att forskare arbetar tillsammans med verksamma lärare, vilka är medarbetare i forskningsprocessen (Baird & Northfield, 1992). Vårt forskningsprogram har därför som ett viktigt inslag samverkan mellan lärare och forskare. Utgångspunkten är att de båda parterna tar sig an ett gemensamt problem, nämligen hur man kan undervisa så att eleverna får en god naturvetenskaplig förståelse och utvecklar ett intresse för området. Det är fråga om ett gemensamt kunskapsbyggande som kräver olika slags expertis. Lärarna bidrar med sitt yrkeskunnande, forskarna med ämnesdidaktisk kompetens och ämneskunnande.

Forskningsprogrammet i stora drag

Den strategi som vi valt för att bearbeta vårt problem går i korthet ut på att under en 'desingfas' utveckla undervisningssekvenser för att sedan under en 'utprovningfas' studera olika aspekter av hur sekvenserna fungerar i praktiken. Vunna resultat används för att förbättra designen. Kvalitetskrav är att undervisningen skall vara intresseväckande, intellektuellt utmanande och leda till varaktiga kunskaper.

Designfas

Designprocessen är ett kreativt arbete som inte nödvändigtvis följer en utstakad plan. Men det finns inslag av systematik. Under arbetet beaktas och analyseras nämligen ett antal aspekter med utgångspunkt från tillgängliga forskningsresultat och beprövad erfarenhet. Aspekterna hänger på olika sätt ihop och utgör ett system av kunnande, vars delar kan växelverka så att nya idéer uppstår. Vi ger här en översikt i form av en aspektlista.

A. Motiv för att undervisa givna elever om ett givet område

Anta att vi tänker oss att undervisa om området O. En viktig fråga är då: 'Varför skall vi undervisa om O till den givna elevgruppen?' Ett skäl kan naturligtvis vara att O ingår i skolans kursplaner, men detta är inte nödvändigt. Skolan behöver alltid förnyas, och en forskargrupp kan bidra till detta. De svar på frågan som kommer fram legitimerar området, och kan påverka hur undervisningen läggs upp.

B. Områdets karaktär

En annan viktig fråga är: 'Vad är O?' Frågan manar till att tänka igenom det naturvetenskapliga innehållet som sådant. Vilka begrepp ingår? Hur är de relaterade? Vilken är den teoretiska kärnan och vilka viktiga satser följer av denna? Vilken betydelse har O i naturvetenskapen? Vad har O betytt för människan i hennes samhälle? Svaren på dessa frågor påverkar också hur undervisningen läggs upp.

C. Urval inom området

De flesta naturvetenskapliga områden är mycket omfattande. Det går inte att ta med allt i skolans undervisning, och därför måste frågan 'Vad av O?' ställas och besvaras. Det är med andra ord fråga om en selektion av ett lämpligt innehåll, som bl.a. beror av motiven för att undervisa området.

D. Elevens förutsättningar

Tack vare en omfattande forskningsinsats på senare år har vi fått fram beskrivningar av elevers vardagsföreställningar om olika naturvetenskapliga fenomen och av deras svårigheter att förstå skolans naturvetenskap. En databas för området listar cirka 6000 arbeten, alltifrån 'working papers' till artiklar i ansedda internationella tidskrifter (Duit, 2003). Det är vanligt att eleverna blandar ihop vardagens och vetenskapens värld då de försöker förstå undervisningen. För läraren är kunskaper om detta av intresse. Det handlar om att förstå elevens utgångsläge – de föreställningar med vilka han/hon försöker begripa naturvetenskapen. Till elevens förutsättningar hör också en hel del annat, inte minst intresse och motivation.

E. Lärarens förutsättningar

Det är även av vikt att känna till lärarens förutsättningar. Liksom för eleverna avses 'inre' förutsättningar, såsom kunskaper, intresse, syn på sitt yrke m.m.

F. Yttre förutsättningar

Yttre förutsättningar kan vara såväl materiella som immateriella. Exempel på frågor angående dessa är: Vilken tid disponeras för undervisningen? Vilken undervisningsmateriel finns? Vilka är möjligheterna att använda datorer? Vilket samarbetsklimat råder?

G. Läroplan och kursplaner

Till de yttre förutsättningarna hör också gällande läroplan och kursplaner. Dessa är dock så viktiga att det är motiverat att behandla dem som en särskild aspekt. En fråga av betydelse är vad läroplan och kursplaner tillsammans säger om vad undervisningen om det aktuella området bör innehålla, och hur den bör bedrivas. Det är också av vikt att analysera hur ett givet område är kopplat till andra ämnen, och på vad sätt det bygger på tidigare, och utgör underlag för senare, undervisning

H. Undervisningspraxis

Eftersom utveckling av undervisningssekvenser går ut på att förbättra nuvarande praxis är det av intresse att känna till denna. Nationella utvärderingsresultat och analyser av vanliga läromedel är en viktig kunskapskälla, liksom egen och andras lärarerfarenhet.

I. Teorier och undersökningsresultat angående undervisning och lärande

När det gäller att utforma en undervisningssekvens är allmänna rekommendationer som utgår från olika teorier om undervisning och lärande av intresse, liksom specifika undersökningar som eventuellt kan ha gjorts av undervisning och lärande inom det aktuella området.

Genom att låta de nu beskrivna aspekterna på olika sätt möta varandra kan nya idéer och nya insikter genereras. Vår erfarenhet hittills är att särskilt mötet mellan kunskaper om elevers vardagsföreställningar och svårigheter att förstå ('elevens förutsättningar') å ena sidan, och insikter i det naturvetenskapliga innehållet ('områdets karaktär') å den andra kan vara produktivt.

Ett huvudresultat av designfasen är en uppsättning mål och ett utkast till en undervisningssekvens. Förutom förslag till lektioner kan det finnas elevtexter, problem att diskutera, datorsimuleringar m.m. Allt detta skrivs ner i form av en lärarhandledning som vanligen också innehåller analyser av det naturvetenskapliga innehållet, motiv för att undervisa detta samt genomgång av forskningsresultat angående elevers vardagsbegrepp och möjligheter att förstå.

Mål, utvärdering och återkoppling

Nästa steg är att genomföra undervisningen, utvärdera denna och återkoppla vunna resultat till designen för revision. Processen kan genomlöpas ett antal gånger. Med andra ord – inte bara generering av intressanta och innovativa uppslag och idéer utan också ett mödosamt empiriskt arbete för att så långt som möjligt ta reda på vad som händer då idéerna prövas i praktiken.

Det finns ett antal olika foci man kan anlägga för forskningen under utvärderingsfasen. Ett är vad eleven har upplevt och vad han/hon har lärt sig angående det givna området. De studier som finns angående detta ger anledning till en viss optimism. De visar nämligen att elever som följt undervisning vars design baserats på forskningsresultat om elevers föreställningar uppvisar signifikant bättre kunskapsbehållning än vad konventionell undervisning uppnår (se t. ex. Brown & Clement, 1991; Mason, 1994; Klaassen, 1995; Lijnse, 1995; Arnold & Millar, 1996; Tiberghien, 1997; Viennot & Ranson, 1999; Bach, 2001; Wallin, Hagman & Olander, 2001).

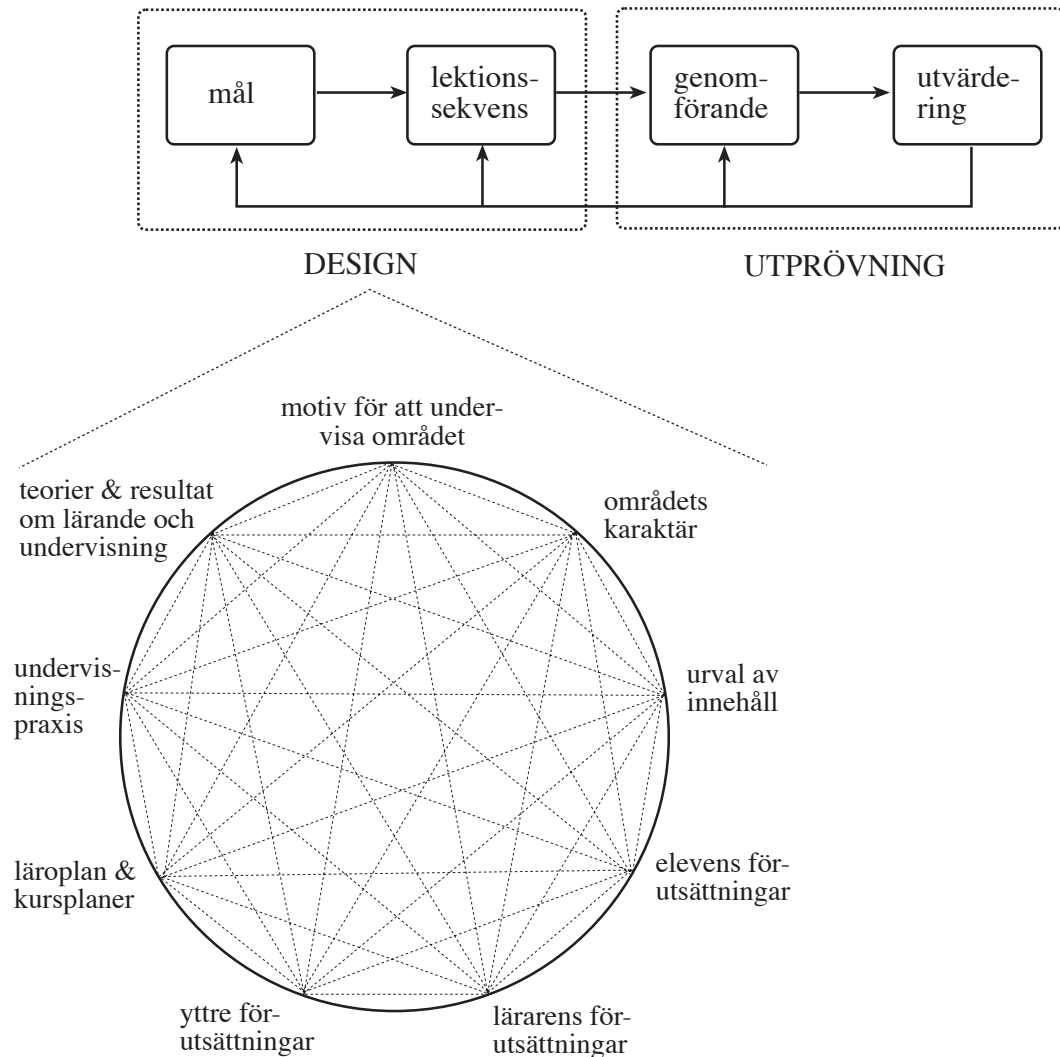
Ett annat fokus är att studera olika interaktioner när de pågår, t.ex. mellan elever i olika konstellationer och mellan lärare och elever. Vårt kunskapsintresse är främst att studera innehållsspecifika aspekter genom att försöka skapa situationer som väcker intresse och inbjuder till begreppsutveckling. Leach och Scott (2003) framhåller betydelsen av att inte studera elevens lärande som en isolerad företeelse (t.ex. genom upprepade intervjuer), utan hela tiden i relation till undervisningen och dess olika aspekter.

Ett tredje fokus är läraren och hans/hennes upplevelser och erfarenheter av undervisningen, inklusive lärarhandledning och annat framtaget materiel, liksom av den handledning som förekommit. Detta studeras i ett pågående avhandlingsarbete av Nyberg (2003). Ett spännande perspektiv är hur lärarens ämnesdidaktiska kompetens angående det aktuella innehållsområdet utvecklas under arbetets gång. Det finns relativt få studier rapporterade i litteraturen angående detta. Några exempel gäller elkretsar (Geddis, 1993), kraft och energi (Summers och Kruger, 1994), kemisk jämvikt (van Driel, Verloop och de Vos, 1998) och ljus, ljud och elektricitet (Jones, Carter och Rua, 1999). Inom ett så viktigt område som

evolution finns exempelvis inga kända studier om utveckling av ämnesdidaktisk kompetens (Zetterqvist, 2003).

Ett fjärde fokus, som även innefattar designfasen, är den kunskapsbyggande process som forskare och lärare är engagerade i. Den går ut på att åstadkomma en bra kunskapsprodukt, uttryckt i en lärarhandledning och annat materiel. Veterligen finns inga undersökningar rapporterade som har detta fokus.

Det som nu sagts om design, utvärdering och återkoppling sammanfattas i figur 1.



Figur 1. Aspekter av utveckling och studium av undervisningssekvenser

Figuren och tillhörande resonemang anknuter till den diskussion om vad som menas med 'pedagogical content knowledge' som initierats av Schulman (1986). Den har sammanfattats av Zetterqvist (2003) och av henne utvecklats till begreppet 'ämnesdidaktisk kompetens', som i stor utsträckning innefattar figurens olika aspekter. Man kan se figur 1 som en beskrivning av ett system för att bygga ämnesdidaktiskt kunnande. De som bygger utvecklar sin ämnesdidaktiska

kompetens, och skapar också förutsättningar för andra att göra detta genom publikationer, kurser och annat.

Lärrarhandledningen – ett verktyg för kunskapsbygge

Vi har erfarenhet av att utveckla tre undervisningssekvenser, vilket skett med mycket begränsade resurser. Områdena är 'en kvalitativ partikelmodell för gaser' (Andersson & Bach, 1996), 'evolutionsteorin' (Hagman, Olander, & Wallin, 2002; Wallin, Hagman & Olander, 2001) samt 'geometrisk optik' (Bach, 2001; Andersson & Bach, 2003). Vi väljer att ge exempel från den sistnämnda. Men först några allmänna synpunkter på det vi betraktar som huvudresultatet av designfasen, nämligen en lärrarhandledning.

Vår nuvarande ståndpunkt är att denna inte bara skall innehålla en beskrivning av en undervisningssekvens, utan också redovisning av de motiv och resonemang som lett fram till denna, samt viktiga resultat. Tanken är att skapa en rik grund för reflexion och fortsatt kunskapsbygge. Följande moment ingår därför i våra handledningar:

- Diskussion om varför man undervisar det givna området
- Analys av det naturvetenskapliga innehållet (begreppsstruktur, relationer till andra områden mm.)
- I mån av behov viss ämnesfördjupning, i vilken en idéhistorisk översikt kan ingå.
- Redovisning och analys av forskningsresultat om elevföreställningar och svårigheter att förstå, liksom resultat av eventuella försök att undervisa området.
- Förslag till mål i relation till elevens utgångsläge
- Diskussion om betingelser som är gynnsamma för ett lärande som leder till förståelse.
- Förslag till ett antal lektioner. Till dessa hör uppgifter lämpliga för diagnos och utvärdering av framför allt begreppsförståelse. Problemsamlingar, elevtexter, simuleringar och annat kan ingå.
- Redovisning av olika resultat (vad eleverna har lärt sig och hur de upplevt undervisningen, försöklärares erfarenheter mm.)

Undervisningssekvensen bör vara så väl beskriven att andra kan göra om den för att kontrollera de resultat som erhållits.

Teoretiska överväganden

Allmän teoretisk plattform

Vi är intresserade av olika teorier om kunnande, lärande och undervisning och försöker ta till oss sådant som kan bidra till att förbättra skolans undervisning. Samtidigt är vi öppna för möjligheten att vi själva kan åstadkomma teoretiska synteser, som bättre fångar den komplexa undervisningen i skolan än de olika ansatser som finns utvecklade var och en för sig som teoridrivna forskningsprogram. Vår allmänna teoretiska plattform har för närvarande följande inslag:

En konstruktivistisk syn på lärande och kunnande

Vi har en konstruktivistisk syn på vad som i engelskspråkig litteratur brukar benämnas 'the knower-known relation', sådan den är beskriven i arbetet 'Piaget and knowledge' av Furth (1969). Den didaktiska relevansen av konstruktivismen kan uttryckas i form av fyra idéer (Ogborn 1997, p. 131):

- The importance of the pupils' active involvement in thinking if anything like understanding is to be reached.
- The importance of respect for the child and for the child's own ideas.
- That science consists of ideas created by human beings.
- That the design of teaching should give high priority to making sense to pupils, capitalizing on and using what they know and addressing difficulties that may arise from how they imagine things to be.

Den tredje punkten uttrycker att naturvetenskapliga begrepp och teorier inte kan upptäckas genom observationer av naturen. De skapas eller 'konstrueras' av människor, enskilt eller i grupp. Men naturen är för den skull inte ute ur bilden. Långt därifrån! En teori testas med förutsägelser, som leder till experiment. Om förutsägelseerna inte stämmer med experimentresultat kan teorin behöva revideras.

Det sagda betyder att eleverna ej på egen hand kan upptäcka begrepp och teorier genom att t.ex. experimentera och undersöka. De är därför hänvisade till olika media och till sina lärare och andra naturvetenskapligt kunniga personer för att lära sig fysik, kemi och biologi. Vi ser läraren som den viktigaste i detta sammanhang. Det är han/hon som är bäraren av det naturvetenskapliga kunnandet. Utan lärarens begreppsintroduktioner och systematiska planering av situationer för begreppsanvändning är chansen ganska liten att det blir en bestående behållning av den naturvetenskapliga undervisningen. Ett annat sätt att uttrycka detta är att vi ifrågasätter föreställningen om eleven som informationssökare och läraren som en något tillbakadragen handledare. Vi betraktar läraren som en aktiv kulturbärare snarare än som en hjälpreda i bakgrunden.

Kommunikation är nödvändig för kunskapsutveckling

En annan teoretisk ansats är den sociokulturella. Den har som sitt huvudsakliga studieobjekt hur människor kommunicerar med varandra i olika situationer och sammanhang. En företrädare för denna inriktning, intresserad av naturvetenskaplig undervisning, är Lemke (1990). Han ger en hel del rekommendationer för undervisningen, bl.a. dessa:

- give students more practice talking science
- teach students how to combine science terms in complex sentences
- have students translate back and forth between scientific and colloquial statements or questions.

Olika rekommendation utvecklas vidare av författaren, t.ex.

Teachers should use question-and-answer dialogue less than they do now and organize more class time for student questions, student individual and group reports, true dialogue, cross-discussion, and small-group work. Students should do more science writing during class, always following oral discussion of topics.

I alla ovan nämnda rekommendationer instämmer vi helhjärtat. Man kan tycka att såväl de konstruktivistiska som de sociokulturella riktlinjerna för undervisning inte är nya och originella, utan tillhör sedan länge etablerad aktivitetspedagogisk visdom. Men det faktum att de också emanerar från olika teoretiska ansatser berikar på olika sätt deras innebörd.

Ökad medvetenhet om lärande och undervisning genom formativ utvärdering

Formativ utvärdering ger information till läraren och eleven, som används till att försöka förbättra undervisning och lärande när det pågår. Det finns många möjligheter att få sådan information, och formativ utvärdering torde på ett eller annat sätt förekomma i alla utbildningar. En relativt omfattande vetenskaplig dokumentation visar att om den förbättras och görs mer medvetet och systematiskt, så kan också undervisning och lärande förbättras (Black & Wiliam, 1998). Därför betonar vi formativ utvärdering.

Betoning av att förstå grundläggande begrepp och teorier

Vi sätter förståelse i centrum. Den som förstår tenderar också att bli intresserad. Om det inte finns något att förstå i undervisningen så försvinner det spänningsmoment som en intellektuell utmaning utgör. För eleverna gäller det att förstå skolans naturvetenskap så att de kan använda den i nya situationer, t. ex. då de löser problem, samtalar eller söker nytt kunnande. För forskare och lärare gäller det att välja ut väsentligheter, dvs. undervisa om grundläggande begrepp och teorier som kan användas i många olika sammanhang och som är viktiga för att förstå vår omvärld.

Den som förstått något har uppnått en självständighet i förhållande det förstådda, jämfört med kunnande som bara är memorerat. Detta torde bl. a. förbättra förutsättningarna att ta ställning till etiska konsekvenser av kunskapen. Förståelse är med andra ord viktigt inte bara för kunskapsutveckling utan också för en levande demokrati.

Problem med generella utsagor

Vi tycker att alla rekommendationer och riktlinjer som beskrivits ovan är goda sådana. De kan bidra till att ge en produktiv inriktning åt arbetet. Men tyvärr är de otillräckliga för att lösa våra problem. Ta som exempel undervisning om ljuset och dess egenskaper. Lärare och forskare som samarbetar för att skapa bättre undervisning inom detta område ställer sig en rad frågor, t.ex.:

- Hur uppfattar eleven ljus, och innebär detta svårigheter som man måste ta itu med på ett speciellt sätt?
- Hur kan man få eleven att tänka aktivt och engagerat om ljuset och dess egenskaper?
- Hur kan man motivera eleven att skriva om ljuset och dess egenskaper?

Att svara på dessa och liknande frågor är som tidigare antytts långt ifrån en trivial uppgift. Inga generella teoretiska ansatser, och rekommendationer om undervisning som följer av dessa, går som sådana i land med uppgiften. Svaren måste sökas med innehållsspecifik forskning.

Vi noterar också att vårt eget tidigare resonemang, vilket sammanfattas i figur 1, förs på ett allmänt plan. Detta är nödvändigt för att ringa in fältet och skapa en begreppslik plattform, som ger kunskapsbygget en viss struktur. Men det är inte tillräckligt för att skapa ämnesdidaktisk kunskap av intresse och till nytta för den som undervisar. Man måste också genomföra ett konkret forskningsarbete, område för område, och publicera resultat för kritik och vidareutveckling. Resultaten kan inte härledas eller förutses utifrån den allmänna ansatsen. De måste skapas, och de kommer att vara olika, område för område. Vi håller med Lijnse (2000) när han framhåller att detta är 'the forgotten dimension of science education research'. Vi vill gå ett steg längre genom att hävda den kunskap som genereras både definierar och motiverar en egen utbildningsvetenskaplig kunskapsdomän, nämligen 'de naturvetenskapliga ämnens didaktik'.

Domänspecifika teorier – ett nytt sätt att se på undervisningssekvenser

Från de konstaterade problemen med generella utsagor är steget kanske inte så långt till ett nytt sätt att se på den teoretiska betydelsen av att utveckla undervisningssekvenser. Det är primärt inte fråga om att tillämpa eller konkretisera allmänna teorier, utan ett teori bygge som står på egna ben och har ett egenvärde. En utvecklad eller 'designad' sekvens är helt enkelt en teori om hur man kan skapa ett system för undervisning och lärande angående ett visst innehåll så att eleverna utifrån sina förutsättningar uppnår givna mål. Detta synsätt förs fram av Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer och Schauble (2003). De påpekar:

Design experiments are conducted to develop theories, not merely to empirically tune 'what works'. These theories are relatively humble in that they target domain-specific learning processes. ... A theory of this type would specify successive patterns in students' reasoning together with substantiated means by which the emergence of those successive patterns can be supported.

Synsättet att den designade undervisningssekvensen är en innehållsspecifik teori har olika konsekvenser. En viktig sådan är att den inte uppfattas som ett recept att undervisa efter utan som ett bidrag till ett kunskapsbygge, vilket granskas kritiskt och konstruktivt enligt de normer som gäller för vetenskaplig verksamhet.

En annan möjlig konsekvens är att idén med domänspecifika teorier kan bli en ny väg för teoriutveckling inom utbildningsvetenskapen. Efterhand som domänspecifika teorier formuleras och testas kan måhända teoretiska synteser göras, som binder ihop de lokala, och som uttrycker förståelse på ett sådant sätt att både teoretiker och praktiker känner sig hemma. I stället för att gå från en stor, allmän teori och tillämpa den, förslår vi alltså en omvänd väg, nämligen från små, domänspecifika teorier till mer generella teoretiska synteser. Vi betraktar de båda vägarna som komplementära. Ett exempel på vägen från allmän teori till praktisk applikation är ett arbete av Leach och Scott (2003).

Exempel på resultat från designfasen

Under designfasen kan kunskapsprodukter av såväl konceptuell som praktisk art skapas. Dessa beskrivs givetvis i lärarhandledningen, men förtjänar också att uppmärksammas som sådana. Vi tycker deras status bör uppgraderas och att de skall bedömas som uppfinningar, av betydelse för att förbättra undervisningen i stort och smått. Sådana uppfinningar tenderar att betraktas som 'utvecklingsarbete' av lägre status än vetenskap. Vi anser att detta synsätt kan ha en bromsande effekt på utveckling av skolans undervisning. Vi ger här några exempel på kunskapsprodukter inom området geometrisk optik, som vi skapat under designfasen.

En karta för didaktiskt bruk

Ett flertal undersökningar pekar på att elevernas grundsvårighet när det gäller optik är att föreställa sig ljus som något som existerar och utbreder sig i rummet, mellan källor och effekter. Redan Piaget beskrev denna svårighet (Piaget & Garcia, 1974, p.104). Föreställningen är så självklar för den fysikkunnige att han/hon inte tänker på den. Den tas exempelvis mer eller mindre för given i de läromedel som används i skolår 7-9. Men optikens historia visar att människans tanke hade en lång och slingrig väg att vandra från antiken till början av 1600-talet innan föreställningen om att ljus är något fysikaliskt, som utbreder sig längs räta linjer mellan källor och effekter, etablerades genom Keplers arbeten om ljuset och dess egenskaper.

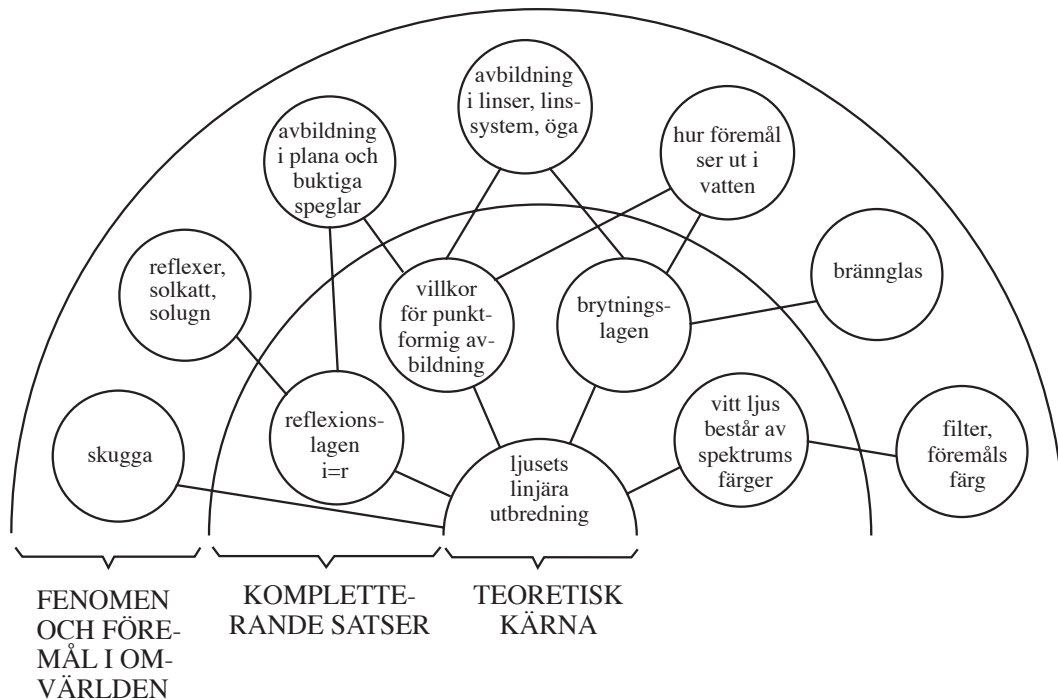
Då dessa insikter har växelverkat med vårt kunnande om geometrisk optik har några olika idéer skapats och utvecklats. En är den karta för didaktiskt bruk över den geometriska optikens struktur som visas i figur 2.

Kunskapsområdet kan sägas ha en teoretisk kärna, nämligen idén om ljuset som går rakt. Denna idé finns som ett inslag i allt som har med geometrisk optik att göra. Nästa skikt i strukturen är några teoretiska satser, som alla bygger på att ljus går rakt i ett givet medium, nämligen reflektions- och brytningslagarna, villkoren för punktformig avbildning samt ljusets uppdelning i färger. Dessa satser berikar teorin och gör det möjligt att förstå och förklara fenomen i omvärlden såsom spegelbilder, avbildning med linser, föremåls färg mm. Det yttersta skiktet är den upplevda världens föremål och fenomen. Här har vi bara angett några områden som exempel. Andra finns, t. ex. ljusledare, hägring och regnbågen.

I figuren kan man se att villkoren för punktformig avbildning är viktiga. Om eleverna inte förstår dessa villkor är man i undervisningen hänvisad till att enbart *beskriva* olika former av avbildning.

Strukturen enligt figur 2 är ett verktyg för didaktiska reflexioner och beslut. Läraren kanske gör erfarenheten att eleverna har svårt att förstå punktformig avbildning, och att det därför inte går att öva teoretiskt tänkande inom detta område. Han/hon söker då efter andra exempel och väljer kanske att följa linjen 'linjär utbredning, reflexionslagen, solugn' eller 'linjär utbredning, brytningslagen, brännglas'.

På ett mera allmänt plan ger figur 2 en helhetsbild, som knyter ihop teori och fenomen. Om bilden är tydlig i lärarens medvetande tappar han/hon inte bort den viktiga relationen 'teori-observation' i sitt didaktiska tänkande och handlande.



Figur 2 En framställning av den geometriska optikens begreppsstruktur.

Strukturen i figur 2 kan ses som ett exempel på resultat av vad Duit (2000) kallar 'elementarization':

Analyses of the leading textbooks and key publications on the content under inspection but also analyses of the historical development of that content are the starting points. These analyses aim at constructing the core ('elementary') ideas of the content and their relationships.

När vi betraktar svenska läromedel för grundskolan genom strukturen i figur 2 ser vi som nämnts att den teoretiska kärnan tas för given, och att det finns så och stora luckor i framställningen att elevernas möjligheter att läsa och förstå måste bedömas som begränsade.

Att beskriva kurskrav i förhållande till elevens utgångsläge

Forskningen om elevers begrepp om ljus och seende har inte bara visat deras problem med föreställningen att ljuset utbreder sig mellan källor och effekter längs räta linjer. Den har också, i form av åtskilliga undersökningar, gett oss detaljerad information om hur de förklarar seende, avbildning och andra fenomen (se t.ex. Driver, Squires, Rushworth och Wood-Robinson, 1994, s 41-45 och 128-133). Denna detaljinformation, som inte kan härledas från några allmänna teorier om lärande utan kräver särskilda undersökningar, kommer till användning på olika sätt. Ett är att man kan göra beskrivningar av kurskrav i förhållande till ett

utgångsläge som man vet att ganska många elever har innan de fått undervisning. Tabell 1 visar ett exempel. Också denna kan liknas vid en didaktisk karta, som vägleder vid design och genomförande av undervisningssekvenser. Tabellen kan också ses som ett sätt att uttrycka viktiga aspekter av det Leach och Scott (1995) kallar 'learning demand'.

Tabell 1. Aspekter av begrepp om ljus i vardagstänkandet och i skolans naturvetenskap.

Aspekt	Utgångsläge (vardagstänkande)	Kurskrav (skolans naturvetenskap)
Ljusets existens och egenskaper	Ljus förknippas med dess källa och/eller effekter.	Ljuset finns i rummet, mellan källor och effekter.
Ljusets utbredning	Ljus kan uppfattas som något statiskt och kopplas ej till rörelse, ljus kan vara ett tillstånd.	Ljus <u>utbreder</u> sig med $3 \cdot 10^8$ m/s från en källa utefter oändligt många räta linjer.
Konservation av ljus	Ljus kan förstärkas eller försvagas av en lins. Ljus kan försvagas och försvinna då det är tillräckligt långt från ljuskällan.	Ljus konserveras om det inte absorberas av ett materiellt medium. Intensiteten avtar med kvadraten på avståndet från källan.
Ljusets energiaspekt	Ljus kan förstärkas eller försvagas när det passerar genom eller reflekteras mot föremål. Ljus kan värma föremål.	Ljus absorberas, transmitteras eller reflekteras, olika mycket i olika media. En del av ljuset kan övergå i inre energi hos olika system.
Ljus och seende	Ögat är aktivt vid seende; ögat skickar ut något för att kunna se. Det är dock nödvändigt att ett föremål är belyst för att man skall kunna se. Länken föremål - öga är ej nödvändigtvis fysikens ljus (seende och ljus ej begreppsligt integrerade).	För att man skall kunna se en punkt, vilken som helst, måste ljus från punkten träffa ögat. Bilden på näthinnan kan förklaras med punktformig avbildning genom lins och glaskropp.
Ljus och skuggor	Skuggor kan uppfattas som en bild, eller som något som tillhör ett objekt	Skugga uppstår då ljus hindras att komma fram. Dit ljuset inte når blir det skugga.
Avbildning	Spegel speglar, förstoringsglas förstorar, kamera tar bilder. <u>Bilder</u> transporteras från föremål och förändras på olika sätt av optiska system.	Punktformig avbildning, t.ex. När ljus som divergerar från en punkt P på ett föremål och på grund av brytning eller reflektion möts igen i en annan punkt P ₁ , uppstår en bild av punkten P i P ₁ .
Föremåls färg	Föremåls färg är en absolut egenskap (färg och ljus ej begreppsligt integrerade).	Hur ett föremål uppfattas beror dels på vilket ljus som träffar föremålet och vilka delar som reflekteras, dels på det biologiska synsystemets egenskaper.
Färgfilter	Ljus färgas om det passerar ett färgat filter.	Ljus absorberas selektivt av filtret. Ljuset som passerat filtret saknar en del våglängder (el. 'färger') som absorberats.

Liknande sammanställningar har gjorts inom andra områden (Roth & Anderson, 1987) Också här räcker det inte med den till synes goda generella idén att man kan framställa kurskrav i förhållande till elevernas utgångsläge. Man måste även ha kunskaper om vilket detta utgångsläge är, och dessa uppstår inte av sig själva

utan är resultat av forskningsarbete, som kan ta ett flera år i anspråk. Man måste också ha kunskap om det naturvetenskapliga innehållet.

Det finns andra viktiga dimensioner i elevens utgångsläge än den som beskrivs i tabellen och vilka kan ha betydelse för hur han/hon försöker lära sig innehållet, såsom föreställningar om vad naturvetenskap är och hur skolarbetet uppfattas. Ett exempel är följande påpekande av Tiberghien: 'Rather than addressing learning situations or problems in terms of the underlying concepts, students address them in terms of what they think the teacher will expect them to do.' (Tiberghien, 2000).

Figur 2 och tabell 1 är exempel på hur aspekterna B, C och D, beskrivna under 'designfasen', kommer till konkret uttryck.

Diagnos och formativ utvärdering

De många undersökningar som gjorts om hur elever uppfattar ljuset och dess egenskaper har inneburit att en hel del optikproblem konstruerats, vilka kan fånga elevernas intresse och utmana deras tänkande, samtidigt som de sätter fingret på väsentligheter i kunskapsområdet. För att lösa problemen i enlighet med skolans naturvetenskap krävs ofta att man tillämpar sina kunskaper i en ny situation, vilket är ett sätt att visa förståelse. Den som försökt konstruera problem med dessa egenskaper vet att det är svårt. Därför tas de som rapporterats i forskningslitteraturen tacksamt emot som instrument för bl.a. diagnos och formativ utvärdering. Problemen leder också till uppslag om nya. Som tidigare nämnts är formativ utvärdering ett potentiellt kraftfullt medel för att förbättra undervisningen och göra eleven mer medveten om sitt lärande (Black & William, 1998)

Vi har bl. a. utarbetat en internetbaserad metod för att använda dylika problem som diagnos och utvärdering av olika slag. Den innebär att eleven besvarar frågor i en browser och skickar in sina svar till en databas, som gjorts sökbar, också via browser. Läraren kan på så sätt få en sammanställning av hur klassen svarat (statistik över flervalsfrågor respektive varje elevsvar på öppna frågor). Också eleverna kan söka i basen och få fram klassens resultat. Erfarenheten hittills är att detta uppskattas av både lärare och elever.

För bl.a. ett exempel från optik, se <http://na-serv.did.gu.se/diagnos/diagnos.html>

Argument för att använda Keplers strålbegrepp

I skolan behandlas ljusstrålar ofta som något fysikaliskt. De tillskrivs egenskaper som utbredningshastighet, reflexion och brytning och kan användas för att förklara optiska fenomen. Detta strålbegrepp kan dock vara problematiskt när det gäller belysning/energiöverföring (Galili & Lavrik, 1998) Hur många ljusstrålar är det som åstadkommer belysningen av ett visst område? Blir det fler ljusstrålar som träffar området då belysningen ökar? Hur många fler? Det går ej att svara på dessa frågor, eftersom någon enhetsstråle inte har definierats. I detta fall är det

bättre att tala om ett ljusflöde, strålningsflöde eller energiflöde. Ännu ett exempel gäller halvskugga. Hur skall man med hjälp av ett resonemang om ljusstrålar klargöra att det blir ljusare och ljusare då man lämnar ett område med kärnskugga och rör sig ut i ett med halvskugga?

Efter dessa exempel noterar vi att 'ljusstråle' i Keplers optik är ett matematiskt begrepp – en linje med riktning som anger hur det fysikaliska ljuset går. Detta strålbegrepp leder inte till svårbesvarade frågor om hur många strålar som ger en viss belysning, eftersom 'keplerstrålarna' inte är själva ljuset utan bara en beskrivning av hur det fysikaliska ljuset går. En annan fördel med 'keplerstrålar' är att man inte behöver överge detta strålbegrepp då man kommer in på vågoptik, vilket man måste göra om man har börjat med en fysikalisk stråluppfattning. Keplerstrålar visar fortfarande hur ljuset går, närmare bestämt hur vågfronter utbreder sig. Keplerstrålar kan också användas för att beskriva flöden av fotoner, t. ex. hur en ström av fotoner med samma riktning i luft växelverkar med en yta av glas. Av dessa skäl föredrar vi att definiera ljusstråle så som Kepler gjorde. Detta beslut är exempel på hur aspekterna B och G, beskrivna under 'designfasen', kommer till konkret uttryck.

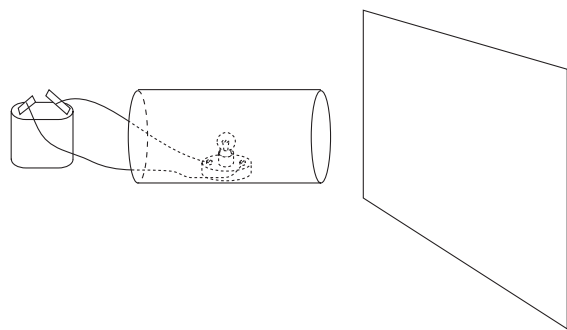
Ett elevexperiment

Vår undervisningssekvens i optik är bland annat en konkretisering av den konstruktivistiska rekommendationen ovan att 'teaching should give high priority to making sense to pupils, capitalizing on and using what they know and addressing difficulties that may arise from how they imagine things to be'. Ett exempel är att undervisningen från början tar sikte på att skapa behov av idén om att ljuset utbreder sig längs räta linjer, vilket som nämnts är elevernas grundsvårighet när det gäller att förstå geometrisk optik. Det leder till att vi startar med att låta eleverna diskutera och försöka lösa problem som det i figur 3.

En liten glödlampa placeras så som bilden visar inuti en pappcylinder. Lampglaset är klart (som fönsterglas). Glödtråden är liten och lyser starkt då strömmen är på. Anordningen hålls framför en ljus vägg eller en vit pappskiva.

A. Vad kommer du att se på väggen/pappskivan om du tänder lampan? Varför?

B. Vad kommer du att se på väggen/pappskivan om du drar den tända lampan åt vänster inuti cylindern? Om du skjuter den åt höger? Varför?



Figur 3. En elevuppgift i optik

Det här experimentet är förvisso ett designbidrag i det lilla formatet. Det bygger på förståelse av elevens förutsättningar (aspekt D) men också på kunskap om yttre förutsättningar (aspekt F), nämligen att standardutrustning som optisk bänk med en stark punktformig ljuskälla inte finns i alla berörda skolor

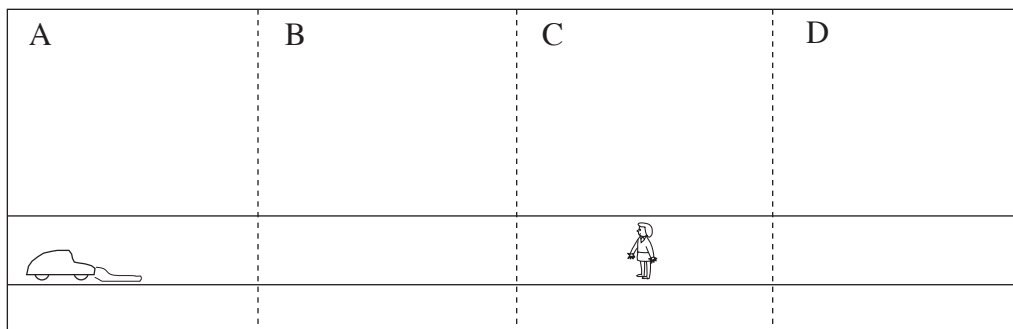
Utvärderingsfasen – exempel på resultat

Eftersom ekonomiska resurser alltid är begränsade är det nödvändigt att prioritera bland de många möjligheter att göra undersökningar som står till buds. Vi ger högsta prioritet åt att ta reda på elevernas långsiktiga behållning, särskilt begreppsförståelse. Om denna är dålig eller uteblir så bidrar inte den designade undervisningen till att lösa de två problem som vi formulerade inledningsvis.

En metod att mäta långsiktig behållning som vi använder är följande: Vi konstruerar två parallella test T1 och T2. Före undervisningen fördelas de två versionerna slumpmässigt på de elever som skall undervisas. Detta ger oss grupperna E1 och E2. Efter avslutad undervisning väntar vi cirka 6 månader och genomför så ett eftertest. De elever som fick T1 som förtest får nu T2 och vice versa. E1 och E2 blir på detta sätt varandras kontrollgrupper. Exempelvis jämförs E2:s eftertestresultat med E1:s förtestresultat. Den enda systematiska skillnaden mellan de två grupperna vid denna jämförelse är att medelåldern för E2 är cirka ett halvt år mer än den för E1, vilket vi bedömer inte har någon betydelse i sammanhanget. Förutom detta tillvägagångssätt ger vi också vissa uppgifter till alla som deltar i undervisningen för att få en bild av hur varje elev utvecklas. Här följer två exempel på resultat.

Fotgängaren och billyktorna

Följande uppgift har getts till elever i skolår 8 och 9 enligt den modell med två parallella test som nyss beskrivits. De undervisades om den geometriska optikens grunder enligt en sekvens, som konstruerats på det sätt som angetts under rubriken 'designfas' (Bach, 2001; Andersson & Bach, 2003).



Det är dag och solen skiner. En bil står parkerad på en rak, plan bilväg. Bilen har halvljuset på. En fotgängare som står på vägen ser billyktorna. Det är cirka 200 meter mellan bil och fotgängare. Figuren är indelad i fyra områden: A, B, C och D. Fotgängaren står i område C. I vilka områden finns det ljus från billyktorna? Förklara ditt svar! Det finns ljus i:

- A
 A och B
 A och C
 A, B och C
 A, B, C och D

Resultatet framgår av tabell 2.

Exempel på förklaring till att ljuset bara finns i A eller A och B är att billjuset slukas upp av, eller flyter ihop med, solljuset.

Exempel på förklaring till att ljuset finns i A, B och C eller i alla områdena är att solljuset visserligen är det starkaste ljuset, men att billjuset ändå finns där eller att ljus från en källa nästan går hur långt som helst.

Tabell 2. Elevernas val av område/områden på uppgiften 'fotgängaren och bilen'. Fördelning (%) på olika alternativ.

	förtest (n=124)	eftertest (n=111)
Ej besvarat	4	5
A	52	33
A och B	15	9
A och C	2	1
A, B och C	9	20
A, B, C och D	18	32

Lisa och boken

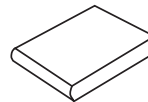
Följande uppgift har getts till alla elever som undervisades enligt den ovan nämnda optiksekvensen:

Lisa och hennes lärare pratar om att se.

Läraren: Förklara hur du kan se boken!

Lisa: Det går signaler i nervtrådar mellan ögonen och hjärnan.

Läraren: Ja, detta händer mellan ögonen och hjärnan. Men det är ju ett avstånd mellan boken och ögonen. Händer det något mellan dem?



Vad skulle Du svara? Rita och förklara!

Elevernas svar har delats in i följande kategorier:

- I. Ej besvarat (oftast) eller övriga svar
- II. Ingen länk mellan föremål och öga beskrivs
- III. Stråle, blick mm. från öga till bok, ibland också tillbaka till ögat
- IV. Stråle mellan öga och bok nämns eller ritas, men riktning framgår ej.
- V. Något (oftast stråle/ljus, men ibland bild) går från bok till öga
- VI. Boken reflekterar ljus/ljusstrålar som går in i ögat

Resultatet framgår av tabell 3.

Elever på diagonalen (31%) har oförändrat resultat på eftertestet jämfört med förtestet. De som ligger till höger om diagonalen (60%) har förbättrat sina svar, de till vänster (9%) svarar sämre. Det är 19% av eleverna som ligger i kategori V och VI på förtestet. Motsvarande tal för eftertestet är 50%. Av de elever som från början uttrycker en modell för länken föremål öga (III tom. V) är det 46% som går upp i den högsta kategorin på eftertestet. Motsvarande för dem som inte uttrycker en modell (I och II) är något lägre, 35%

Tabell 3. Fördelning av elever på kategorier, uppgiften 'Lisa och boken'. Skolår 8 och 9.

		E F T E R T E S T						
		I	II	III	IV	V	VI	
F Ö R T E S T	VI	0	0	0	1	1	20	22
	V	1	0	1	0	2	12	16
	IV	3	2	3	9	2	12	31
	III	2	0	4	4	3	7	20
	II	5	4	5	4	1	10	29
	I	25	7	13	9	2	31	87
		36	13	26	27	11	92	205

Översiktlig resultatbild

Sammanlagt användes 15 uppgifter som prövade begreppsförståelse. Av dessa behandlade 10 områdena 'ljusets existens och utbredning', 'seendet', 'ljusets reflexion' och 'filtrering av ljus'. Förbättringar för var och en av dessa uppgifter från för- till eftertest varierar mellan 20 och 50 procentenheter. Betydligt sämre resultat, ibland ingen förbättring alls, erhöles inom områdena 'brytning' och 'avbildning', undersökta med 5 uppgifter. (Detta kan delvis förklaras med att dessa moment av tidsskäl blev summariskt behandlade.) Procentsatserna avser andelen acceptabla svar enligt kriterier som diskuterats fram. Exempelvis räknar vi svar enligt kategorierna V och VI i tabell 3 som acceptabla.

För 7 av de 10 först nämnda uppgifterna finns också resultat från en nationell utvärdering som genomfördes 1995. Det slumpmässiga nationella urvalet testades på våren i skolår 9 och utgjordes av 700 elever (Anderson, Bach & Zetterqvist, 1997). Skillnaden i procentenheter, avseende andelen acceptabla svar, mellan 'våra' elever och det nationella urvalets varierar mellan 19 och 40. Medelvärdet är 26 enheter. Vi hävdar därför att när det gäller områdena 'ljusets existens och utbredning', 'seendet', 'ljusets reflexion' och 'filtrering av ljus', så ger vår undervisningssekvens bättre resultat än gängse undervisningspraxis.

Om lärarens inverkan på elevernas resultat

Undervisningssekvensen genomfördes av fem lärare under reguljära skolförhållanden. Lärarna fick en introduktion till den nya undervisningen och några handledningsbesök, men var i övrigt hänvisade till lärarhandledningen.

De olika lärarna har undervisat 13 grupper, och uppnådda resultat är mycket varierande. För att kunna jämföra olika undervisningsgrupper har vi tilldelat varje acceptabelt svar på en uppgift en poäng. För samtliga undervisningsgrupper kan vi då konstateras en ökning från för- till eftertest av antalet acceptabla svar per elev, som varierar mellan 0,71 och 6,47. Vi har inte på ett systematiskt sätt kopplat denna variation till enskilda lärare, men noterar att lärarhandledningen uppfattats olika. Den lärare som ser sig som en tillbakadragen handledare tenderar att få mindre bra resultat än den som intar en mer aktiv lärarroll, men vi tycker inte att tillgänglig data från lektionsbesök och intervjuer utgör något säkert underlag för detta påstående.

En intressant observation är att en lärare som undervisade sekvensen tre gånger i följd med olika grupper fick bättre och bättre resultat. Samtal under lektionsbesök pekade också på att han allt bättre förstod undervisningens intentioner och innehåll. Detta är en indikation så god som någon på lärarens betydelse för undervisningsresultatet, och en påminnelse om att man inte utan vidare skall göra drastiska revisioner av en undervisningssekvens, som kanske inte ger så bra resultat första gången som den prövas.

En domänspecifik teori för undervisning om geometrisk optik

I ett tidigare avsnitt har vi argumenterat för att lokala, innehållsspecifika teorier om undervisning kunde vara ett komplement till generella teorier såsom socialkonstruktivismen, och att de just genom att vara specifika kunde ge den undervisande läraren vägledning med större precision än allmänna rekommendationer. Hur skulle då en lokal teori för undervisning om geometrisk optik till elever i senare delen av grundskolan se ut?

En möjlighet att beskriva teorin är att helt enkelt hänvisa till lärarhandledningens lektionssekvens, men vi anser att en beskrivning på denna nivå genom sin detaljrikedom blir för lång och inte tillräcklig öppen för olika möjligheter att undervisa. Vi föredrar därför en generellare nivå, men betraktar lärarhandledningens beskrivning som en värdefull exemplifiering av den mer generella beskrivningen. Så här ser vårt teoriförslag ut:

Om följande inslag ingår i undervisningen om geometrisk optik, så förbättras elevernas möjligheter att utveckla förståelse:

- Från första början skapas behov av optikens nyckelidé, nämligen att ljus existerar och utbreder sig mellan källor och effekter
- Eleverna ges från början möjligheter att använda optikens nyckelidé som ett verktyg för att förklara fenomen i omvärlden, såsom skuggors och belysta ytors storlek och form.

- Undervisningen klargör att ljus som går mellan källa och effekt inte kan ses.
- Först efter att optikens nyckelidé har etablerats förklaras seende med att ljus går från det sedda föremålet och in i ögonen.
- Först efter att optikens nyckelidé har etablerats och seende förklarats introduceras tekniker för att visa ljusets väg, t.ex. att blåsa ut rök eller att låta ljus släpa längs ett papper. Det man då ser är inte ljus som går mellan källa och effekt, utan ljus som reflekteras in i ögonen från rökpartiklar och papper. Om dessa tekniker introduceras från början får eleverna lätt intrycket att det går att se ljus som utbreder sig i rummet, dvs. att seende är en separat förmåga som inte beror på att ljus går in i ögonen utan snarare på att ögat tittar, skickar ut blickar mm.
- Undervisning om olika former av avbildning tar sin utgångspunkt i villkoren för punktformig avbildning, dvs. att om ljus som divergerar från en punkt P1 efter växelverkan med ett optiskt system konvergerar i en punkt P2, så är P2 en bild av P1, och motsvarande sats för virtuella bilder. Först efter detta introduceras geometriska tekniker för bildkonstruktion.

Denna teori är baserad på forskning om elevers begrepp om ljuset och dess egenskaper (Driver, Squires, Rushworth & Wood-Robinson, 1994, p 41-45 and 128-133). Ett avhandlingsarbete av Bach (2001) ger visst empiriskt stöd. Två exempel på resultat från avhandlingen har redovisats ovan ('Fotgängaren och billyktorna' samt 'Lisa och boken').

En erfarenhet vi gjort av att bearbeta forskning om elevers innehållsspecifika föreställningar är att vi ser våra egna grundbegrepp inom ett område på nya sätt. Ett exempel är att vissa begrepp kan vara så inarbetade i vår egen världsbild att vi inte är medvetna om dem, och därför inte tidigare lagt märke till att de är innebär svårigheter för eleverna. Ett annat exempel är insikten att de begreppsstrukturer som skolundervisningen erbjuder kan vara ofullständiga och därför onödigt svåra för eleverna att förstå.

Vi tänker oss därför att en teoretisk sats på en nivå över ett antal domänspecifika teorier skulle kunna vara denna:

Om undervisningen, med beaktande av vad som är känt om elevers begrepp och svårigheter att förstå, ägnar tid och omsorg åt ett områdes grundbegrepp, så förbättras elevernas möjligheter att utveckla förståelse.

Diskussion

Om metodproblem

Undervisning som genomförs i ett antal klasser är en komplex företeelse, och beroende på vilka frågor man vill besvara uppstår ett antal metodproblem.

En viktig fråga är om den genomförda undervisningen verkligen innebär en väsentlig förbättring av lärandet jämfört med 'rådande undervisningspraxis', ett

begrepp vars innebörd inte är självklar, men som i viss mån kan preciseras t.ex. genom att analysera populära läromedel. Vår design med två parallella test som skiftas svarar inte på denna fråga. Däremot får vi reda på i vilken utsträckning som det blir en varaktig begreppslig behållning, vilket är ett nödvändigt villkor för att kunna hävda den nya undervisningen som rekommendabelt alternativ till den konventionella. Vad beträffar vår sekvens i geometrisk optik har vi dock som nämnts i ganska stor utsträckning kunnat använda samma testuppgifter som i den nationella utvärderingen 1995. Det visar sig då att våra elever i långa stycken svarar betydligt bättre än det nationella samplets. Detta pekar på möjligheten att integrera nationella utvärderingar i den forskningsverksamhet som syftar till att förbättra skolans undervisning.

En annan metod är att skaffa sig en kontrollgrupp, som undervisas konventionellt. Detta innebär många praktiska svårigheter, som dock inte är oöverstigliga. Vår erfarenhet är emellertid att för ett givet avsnitt så tar den designade undervisningen lägre tid än konventionell, dvs. variabeln 'undervisningstid' är inte kontrollerad. Att tiden blir längre är inte så konstigt. Nyare ämnesdidaktiska forskningsresultat visar ofta på tidigare okända svårigheter av olika slag som läraren i gemen inte är medveten om och därför, i motsats till designgruppen, inte tar upp i undervisningen.

På sätt och vis kan man säga, att en nydesignad undervisning är i underläge gentemot den konventionella så länge man inte på ett övertygande sätt kan bevisa att det finns en god sannolikhet för bättre lärande. Den konventionella undervisningen lever i detta avseende ett bekvämt liv, eftersom den normalt inte behöver tävla mot något alternativ och bevisa att den är bättre. Nationella utvärderingar 1992 och 1995 pekar dock ganska entydigt på att det är så och så med långsiktig begreppslig behållning (se t.ex. Andersson, Emanuelsson och Zetterqvist, 1993 och Andersson, Bach och Zetterqvist, 1996). Som nämnts är detta ett motiv för vårt forskningsprogram.

En annan intressant fråga är vilka aspekter av undervisningen som är särskilt viktiga för lärandet? Vad betyder sekvenseringen, problemlösningen i grupp, den nyskrivna texten, det systematiska framlockandet av elevernas föreställningar eller vad det nu kan vara? De designalternativ som nyss diskuterats svarar inte på dessa frågor. I princip kan man tackla problemet genom att jämföra två undervisningssekvenser som bara skiljer sig åt med avseende på en av nyss angivna faktorer. Denna typ av studier är tekniskt och praktiskt krävande. Påverkas t.ex. långsiktig behållning positivt av att elevernas vardagsföreställningar lockas fram och diskuteras? En studie av detta betyder att experiment- och kontrollgrupp behandlas lika i en rad avseenden: samma sekvensering, samma elevexperiment, samma problem, samma elevtext, lika lång undervisningstid etc. Men i den ena gruppen efterfrågas och diskuteras aldrig elevernas vardagsföreställningar, vilket däremot sker regelbundet i den andra. En antal studier av detta slag skulle kunna ge intressanta resultat. Men ju mer den studerade variabeln renodlas, desto svagare blir troligen dess påverkan jämfört med den totala

undervisningsmiljön, vilket kan göra att eventuella positiva skillnader ej är signifikanta.

En annan möjlighet att komma åt för lärandet kritiska moment är att följa enskilda elever genom undervisningen. Det gäller då att inte enbart fokusera eleven, t.ex. genom upprepade intervjuer. Det viktiga är hur eleven växelspelar med olika påverkansfaktorer, såsom lärarens undervisning, diskussioner med kamrater och lärare, studium av texter mm. En svårighet är att påverkan kan ha en fördröjd effekt. Vem har inte vaknat på morgonen och plötsligt förstått något som föreföll obegripligt dagen före?

Om experimentella undersökningar av textförståelse

En pionjär inom design-området i USA var Ann Brown. Hon skrev bl.a.: 'As a design scientist in my field, I attempt to engineer innovative educational environments and simultaneously conduct experimental studies of those innovations' (Brown 1992, p. 141). En källa till sådana studier kan t.ex. vara intressanta upptäckter då undervisningen pågår, som leder till systematiskt experimenterande av laboratoriekaraktär. Denna typ av strikta studier har vi hittills inte gjort i vårt arbete med undervisningssekvenser, och vi känner heller inte till några exempel inom området 'science education'. Vi vill dock här framhålla ett område som vi menar lämpar sig för experimentella studier inom ramen för design och utvärdering av undervisning, nämligen lärande genom att läsa texter.

Vi bedömer detta område som angeläget. Det finns bl.a. en misstanke om att eleverna inte lär sig så mycket då de läser de läroböcker som marknaden tillhandahåller för den svenska grundskolans senare del. Exempelvis pekar en detaljgranskning av hur den geometriska optiken behandlas på olika inkonsekvenser och oklarheter i framställningen, vilka lätt kan leda till missförstånd (Bach, 2001). Liknande resultat har framkommit när det gäller teorin om biologisk evolution (Zetterqvist, 1999). Texter är givetvis ett viktigt inslag i undervisningen. Om eleven t.ex. är frånvarande så skulle han/hon ändå kunna hänga med genom att läsa. Ett annat exempel är att en skola tvingas använda obehöriga lärare, vilket tyvärr inte är ovanligt. Då är en utmärkt text ett viktigt stöd för både lärare och elever.

Mot denna bakgrund tycker vi att det är önskvärt att den som designar undervisning försöker skapa texter som bedöms vara betydligt bättre än gängse läromedel. En undersökning i laboratorieformat som i så fall med fördel kan göras är att låta elever en och en läsa en given text och vid lämpliga tillfällen under läsningen intervjua dem. Hur har de uppfattat poängen? Kan de återberätta det lästa med egna ord? Vilka frågor rör sig i deras huvuden då de försöker begripa innehållet?

Denna typ av studie kan byggas ut till att omfatta olika textversioner av samma innehåll och en jämförelse av vad eleverna lär sig. En intressant variation är:

Text A: God sakprosa som beskriver och förklarar det givna innehållet

Text B: God sakprosa som inte bara beskriver och förklarar det givna innehållet utan också tar upp och kommenterar vanliga vardagsföreställningar så att eleverna blir medvetna om att man talar och tänker på ett sätt i vardagliga sammanhang och ett annat i naturvetenskapen.

Denna variation kan anses vara teoriprovande – det är en vanlig utsaga i konstruktivistiska undervisningsteorier att om man förutom naturvetenskapen också gör vardagsföreställningar inom det aktuella området till undervisningsinnehåll så leder detta till förbättrat lärande.

En annan variation är:

Text A: God sakprosa som beskriver och förklarar det givna innehållet

Text C: Personligt berättande, som beskriver och förklarar det givna innehållet, men i vilket också berättaren blir synlig som människa.

Denna variation anknyter till forskning som studerar hur läsförståelse kan förbättras med olika tekniker (Reichenberg, 2000). En sådan kalls 'röst', och exemplifieras av text C. 'Röst' kan ses som en motvikt mot den opersonlighet som blivit typisk för lärobokstexter i NO och SO, och är ett uttryck för författarnas strävan att vara objektiva. Man kan också tänka sig en text D som kombinerar egenskaper hos text B och C.

Det finns många andra möjligheter att variera utformningen av en text.

Om reproducerbarhet och terminologi

Reproducerbarhet är en viktig förutsättning för vetenskapliga framsteg. När det gäller design och utvärdering av undervisning är detta inte utan problem, eftersom läraren har stort inflytande på vad och hur eleverna lär sig. Det gäller dock att sträcka sig så långt det går för att ge andra intresserade möjlighet att genomföra en given undervisningssekvens och undersöka vad den leder till. Det betyder att lärarhandledning, elevtexter, problemläsningsmaterial, dataprogram och annat måste göras tillgängliga in extenso. Tekniskt är detta inget problem tack vare datorer och internet. Men det ställer stora krav på forskare som ej som sitt förståspråk har engelska – det enda realistiska publiceringsalternativet. Kommersiella intressen kan också komma in i bilden och komplicera tillgängligheten.

Ett annat problem är olikheter i terminologi, som har sina rötter i olika nationella traditioner. Det finns både likheter och skillnader i olika termers innebörder, vilket försvårar kommunikation. Kanske går det att efterhand skapa en viss gemensam terminologi.

Framtidsutsikter

I USA noteras ett stigande intresse för design av undervisning. Ett exempel är att tidskriften *Journal of Research in Science Teaching* efterfrågar artiklar inom området (Andersson & Hogan, 1999), ett annat att tidskriften *Educational Researcher* nyligen ägnade ett temanummer åt 'The role of design in educational research' (Kelley, 2003). I Europa finns flera forskningsgrupper inom det naturvetenskapliga området som utvecklar fältet (Psillos & Méheut, 2001; Méheut & Psillos, in press).

I Sverige har man på politiskt håll uppmärksammat att utbildningsvetenskapliga forskningsresultat inte når ut till praktiker och bidrar till att förbättra undervisningen. Exempelvis efterfrågar regeringen i en proposition betydligt mer av sådan forskning som direkt vänder sig mot skolans värld, och lyfter speciellt fram behovet av ämnesdidaktisk forskning (Regeringen, 2000). Man anser att utbildningen av blivande lärare i betydligt högre grad bör vila på vetenskaplig grund än vad som nu är fallet. Motsvarande behov av vetenskaplig förankring gäller givetvis även redan verksamma lärare.

I förhållande till dessa lovande trender och uttryckt politisk vilja måste man ändå konstatera att designrörelsen inom science education hittills uppnått relativt blygsamma resultat. En svårighet är som nämnts att bevisa att den nya undervisningen, utan att ta så mycket längre tid i anspråk, leder till påtagligt bättre lärande än gällande praxis. En omständighet som försvårar jämförelser kan vara att den nya och den gamla undervisningen delvis har ha olika mål.

En aspekt som inte studerats är vad som händer då en grupp forskare och försöklärare känner sig nöjda med sitt designarbete, vilket innefattar att de har visat att deras undervisningssekvens ger påtagliga resultatförbättringar. Det är då dags att deras innovation sprids vidare. Strategier för detta behöver utvecklas och studeras. Försöklärarna kan t.ex. börja bygga upp lokala nätverk, med sig själva som stödjande noder. Lärarhandledningarnas kvalitet kommer att vara en avgörande faktor när det gäller i vilken utsträckning som fortsatt kunskapsbygge stimuleras.

Vi noterar att det i svensk lärarutbildning råder en närmast skriande brist på lärarhandledningar som visar hur man kan gå hela vägen från mål och teoretiska utgångspunkter till genomarbetade och utprovade exempel på en fungerande undervisning, och som är skrivna inte som recept utan för att fungera som verktyg för kunskapsbygge. Om den nyblivne läraren i naturvetenskapliga ämnen kan utgå från sådana publikationer så behöver han/hon inte uppfinna hjulet på nytt utan kan stå, om inte på giganter så i alla fall på kollegors och forskares axlar då lektioner planeras och genomförs. Detta är ett skäl så gott som något för fortsatta satsningar på design och utvärdering av undervisningssekvenser.

Tillkännagivande

Denna artikel har skrivits inom ramen för projektet NUDU (Naturvetenskaplig Undervisning – Design och Utvärdering), finansierat av Vetenskapsrådet.

REFERENSER

- Anderson, C. W., & Hogan, C. (1999). Editorial and call for papers: Design in Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 975-976.
- Andersson, B. (2001). *Elevers tänkande och skolans naturvetenskap*. Stockholm: Liber distribution.
- Andersson, B. & Bach, F. (1996). Developing new teaching sequences in science: The example of 'gases and their properties'. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe: current issues and themes* (pp. 7-21). London: The Falmer Press.
- Andersson, B., & Bach, F. (2003). *Att undervisa i geometrisk optik – kunskapsbas och undervisningsförslag*. Ämnesdidaktik i praktiken nr 6. Mölndal: Göteborgs Universitet, Inst. för pepdagogik och didaktik.
- Andersson, B., Bach, F., & Zetterqvist, A. (1996). *Nationell utvärdering 95 – åk 9. Energi i natur och samhälle* (NA-SPEKTRUM, nr 17). Mölndal: Göteborgs universitet, Inst. för ämnesdidaktik.
- Andersson, B., Bach, F., & Zetterqvist, A. (1997). *Nationell utvärdering 95 – åk 9. Optik* (NA-SPEKTRUM, nr 19). Mölndal: Göteborgs universitet, Inst. för ämnesdidaktik.
- Andersson, B., Emanuelsson, J., & Zetterqvist, A. (1993). *Nationell utvärdering – åk 9. Vad kan eleverna om materia?* (NA-SPEKTRUM, nr 5). Mölndal: Göteborgs universitet, Inst. för ämnesdidaktik.
- Arnold, M., & Millar, R. (1996). Learning the scientific "story": A case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. *Science Education*, 80(3), 249-281.
- Bach, F. (2001). Om ljuset i tillvaron. *Göteborg Studies in Educational Sciences*, 162. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Baird, J. R. & Northfield, J. R. (eds.) (1992). *Learning from the Peel Experience*. Melbourne: University of Monash.
- Black, P., & Wiliam, D. (1998). Inside the black box: Raising standards through classroom assessment. *Phi Delta Kappan*, 80(2), 139-48.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. C. (Eds.). (2000). *How people learn. Brain, mind, experience, and school*. Washington, D. C.: National Academy Press.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the learning sciences*, 2(2), 141-178.
- Brown, D., & Clement, J. (1991) *Classroom teaching experiments in mechanics* in R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.) *Research in physics learning: theoretical and empirical studies* Kiel: IPN.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), pp.9-13.
- Driel, J. H. v., Verloop, N. , de Vos, W. (1999). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-696.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science – research into children's ideas*. London: Routledge.

- Duit, R. (2000). *A model of educational reconstruction as a framework for designing and validating teaching and learning sequences*. Paper presented at the international symposium 'Designing and validating teaching-learning sequences in a research perspective', Paris, November 23-25, 2000.
- Duit, R. (2003) *Bibliography: Pupils' alternative frameworks and science education*. Available online: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>, accessed 21/05/03.
- Furth, H. (1969) *Piaget and knowledge*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
- Galili, I., & Lavrik, V. (1998). Flux concept in learning about light: a critique of the present situation. *Science Education*, 82, 591-613.
- Geddis, A. N. (1993). Transforming subject-matter knowledge: the role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal of Science Education*, 15(6), 673-683.
- Hagman, M., Olander, C., & Wallin, A. (2002) Research-based teaching about biological evolution. In J. Lewis, A. Magro & L. Simonneaux (Eds.), *Biology Education for the Real World. Student – Teacher – Citizen* (pp. 105-119). Proceedings of the IVth ERIDOB Conference. Toulouse: Ecole National de Formation Agronomique.
- Jones, M. G., Carter, G., Rua, M. J. (1999). Children's concepts: Tools for transforming science teachers' knowledge. *Science Education*, 83(5), 545-557.
- Kattmann, U., Duit, R., & Gropengießer, H. (1998). The model of educational reconstruction. Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In H. Bayrhuber & F. Brinkman (Eds.), *What – Why – How? Research in Didaktik of Biology* (pp. 253-262). Proceedings of the First Conference of European Researchers in Didaktik of Biology (ERIDOB), Kiel: IPN.
- Kelley, A. (2003). Theme issue: The role of design in educational research. *Educational Reseracher*, 32(1), pp.3-4.
- Klaassen, C. W. J. M. (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity* Utrecht: CD-β Press.
- Leach, J. & Scott, P. (1995). 'The Demands of Learning Science Concepts: Issues of Theory and Practice'. *School Science Review* 76(277), 47–51.
- Leach, J., & Scott, P. (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & Education*, 12, 91-113.
- Lemke, J. L. (1990). *Talking Science*. Norwood, N. J.: Ablex Publishing Corporation.
- Lijnse, P. (1995) "Developmental research' as a way to an empirically based "didactical structure' of science. *Science Education*, 79(2), 189-199.
- Lijnse, P. (2000). Didactics of science: the forgotten dimension of science education research. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education. The contribution of research* (pp. 308-326). Buckingham: Open University Press.
- Mason, L. (1994) Analogy, metaconceptual awareness and conceptual change: A classroom study. *Educational Studies*, 20(2), 267-291.
- Méheut, M., & Psillos, D. (in press). Teaching-learning sequences. Aims and tools for science education. *International Journal of Science Education*.
- Nyberg, E. (2003). *Lifecycles. Teaching and learning in grade 1-5*. Unpublished manuscript. Department of Education, Göteborg University.
- Ogborn, J. (1997). Constructivist metaphors of learning science. *Science & Education*, 6(1-2), 121-133.

- Piaget, J., & Garcia, R. (1974). *Understanding causality*. New York: Norton
- Psillos, D., & Méheut, M. (2001). Teaching-learning sequences as a means for linking research to development. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselves, G. Bisdikian, G. Fassouloupoulos, E. Hatzikraniotis, & M. Kallery (Eds.), *Proceedings of the third international conference on science education research in the knowledge based society, Vol. 1* (p. 226). Tessaloniki: Aristotle University of Tessaloniki, Dept of Primary Education.
- Regeringen. (2000). *Regeringens proposition 1999/2000:135: en förnyad lärarutbildning*. Stockholm: Riksdagen
- Reichenberg, M. (2000). Röst och kausalitet i lärobokstexter. En studie av elevers förståelse av olika textversioner. *Göteborg studies in educational sciences, 149*. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Roth, K. & Anderson, C. (1987). *The power plant: Teacher's guide to photosynthesis* (Occasional Paper No. 112). East Lansing: Michigan State University, Institute for research on teaching.
- Schulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 1-22
- Stiegler, J.W. & Hiebert, J. (1999). *The teaching gap. Best ideas from the world's teachers for improving education in the classroom*. New York: The Free Press.
- Strömdahl, H. (2000). *No-didaktisk forskning i Sverige - en lägesrapport och några förslag vid millennieskiftet 1999/2000*. Rapport från NOT-projektet. <http://www.hsv.se/NOT/PDF/lagesrapport.PDF>
- Summers, M., Kruger, C., Childs, A., Mant, J. (2001). Understanding the science of environmental issues: Development of a subject knowledge guide for primary teacher education. *International Journal of Science Education, 23*(1), 33-54.
- Tiberghien, A (1997). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.) *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes* (pp. 269-282). London: Falmer.
- Tiberghien, A. (2000). Designing learning situations. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving science education. The contribution of research* (pp. 27-47). Buckingham: Open University Press.
- Wallin, A., Hagman, M. and Olander, C. (2001) Teaching and learning about the biological evolution: Conceptual understanding before, during and after teaching. In *Proceedings of the III Conference of European Researchers in Didactic of Biology (ERIDOB)*, pp.127-139. Universidade de Santiago de Compostela, Spain.
- Viennot, L., & Rainson, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education, 21*(1), 1-16.
- Zetterqvist, A. (2003). *Ämnesdidaktisk kompetens i evolutionsbiologi. En intervjuundersökning med no/biologilärare* (Göteborg studies in educational sciences 197). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.