

Ämnesdidaktiska teorier – är det undervisningsteorier?

Frank Bach och Anita Wallin

Enheten för ämnesdidaktik, Institutionen för pedagogik och didaktik

Göteborgs universitet.

Abstrakt

Vi har i vår forskningsmiljö hittills internationellt publicerat två ämnesdidaktiska teorier som beskriver aspekter som gynnar lärande med förståelse av olika naturvetenskapliga innehåll, geometrisk optik (Andersson & Bach, 2005) och biologisk evolutionsteori (Andersson & Wallin, 2006). En sådan teori består av:

- A. Domänspecifika aspekter
- B. Aspekter som rör naturvetenskapens karaktär
- C. Generella aspekter

De domänspecifika aspekterna är specifika för varje naturvetenskapligt innehåll. De aspekter som rör naturvetenskapens karaktär är mer eller mindre generella för all naturvetenskaplig undervisning. De generella aspekterna kan vara giltiga även för undervisning av innehåll som inte tillhör naturvetenskaperna.

Inledning

Det finns troligtvis inte ett bästa sätt att undervisa ett innehåll. Detta tror vi de flesta pedagoger och ämnesdidaktiker skulle kunna skriva under på. Däremot anser vi att vissa sätt att undervisa resulterar i ett bättre lärande hos barn, elever eller studenter än andra sätt. De senare årtiondenas forskning om barns, elevers och studenters uppfattningar om naturvetenskapliga fenomen har resulterat i cirka 7000 vetenskapliga artiklar samlade i en databas (Duit, 2006). Dessa olika uppfattningar, ofta kallade vardagsuppfattningar, skiljer sig från naturvetenskapens förklaringar av samma fenomen. De utgör dock för många barn, elever och studenter startpunkten för lärandet i naturvetenskap. Paludan (2000) beskriver skillnader mellan vardagstänkandet, som hon kallar basistankegång, och naturvetenskaplig tankegång i 15 punkter, se tabell 1. En vetskap hos läraren om att barn, elever och studenter har denna typ av tankegångar då undervisningen startar kan vara avgörande för att ett lärande med förståelse ska bli möjligt.

Tabell 1. Skillnader mellan vardagstänkande och vetenskapligt tänkande i 15 punkter (Paludan, 2000)

Basistankegang	Naturvidenskabtankegang
1 Antropocentriskt	Decentreret
2 Antropomorfistiskt	Dehumaniseret, naturlovssøgende
3 Finalistisk	Mekanisk-kausal
4 Ingen tilfældighed og sandsynlighed	Tilfældighed og sandsynlighed
5 Konkret	Abstrakt
6 Situationsbundet	Principiel
7 Lokallogisk	Modsigelsesfri
8 Induktiv	Deduktiv
9 Episodisk	Kvantitativ, statistisk
10 Fremtoningsbundet	Skeptisk
11 Simplificerende	Erkender kompleksitet
12 Helhedsbundet	Analyserende, reducerende
13 Fokusbundet	Variabelbevidst
14 Associerende	Taksonomisk
15 Modsætningsbundet	Nuancerende

Vi har alltså utarbetat två ämnesdidaktiska teorier inom det naturvetenskapliga området. Den ena handlar om geometrisk optik (Andersson & Bach, 2005; Bach, 2001) och den andra om biologisk evolutionsteori (Andersson & Wallin, 2006; Wallin, 2004). Inom dessa båda områden finns dokumenterat olika vanligt förekommande vardagsuppfattningar.

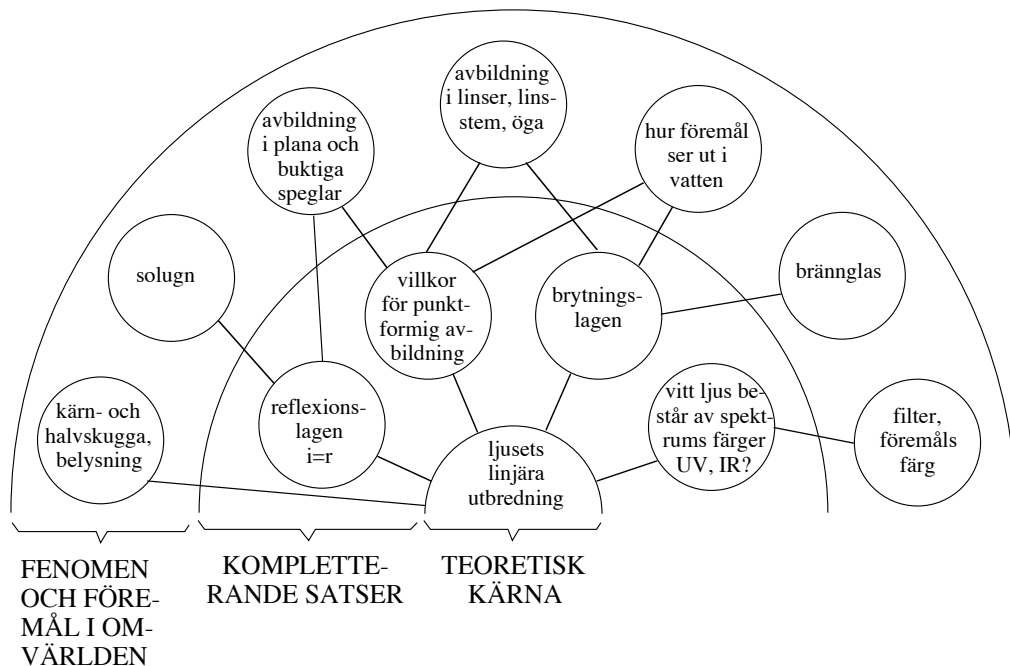
Exempel på kategorier av vardagsföreställningar när det gäller optik

Åtskilliga undersökningar om människors olika sätt att förstå ljuset och dess egenskaper har gjorts genom åren. Dessa har visat att det finns många kritiska aspekter där vardagsförståelsen många gånger skiljer sig från den vetenskapliga. Det är möjligt att inordna de kritiska aspekterna i kategorier med syfte att belysa skillnader och likheter mellan vardaglig förståelse och vetenskaplig med referens till betydelsefulla undersökningar som definierar kategorin. Exempel på sådana kategorier är: Ljusets existens och egenskaper (Piaget & Garcia, 1974; Guesne, 1985; Galili, 1996), ljusets utbredning (La Rosa, Mayer, Patrizi, & Vicentini-Missoni, 1984; Langley, Ronen, & Eylon, 1997; Stead & Osborne, 1980; Fetherstonhaugh & Happs, 1988), Ljus och seende (Guesne, 1985; Andersson & Kärrqvist, 1982; Piaget, 1995; Selley 1996), avbildning med positiv lins (Galili, 1996; Goldberg & McDermott, 1987), och virtuell bild i plan spegel (La Rosa m.fl., 1984; Langley m.fl., 1997; Goldberg & McDermott, 1986; Galili, 1996; Goldberg & Bendall, 1992). Resultaten sammanfattas tillsammans med tänkbara mål för elevernas kunskaper i tabell 2.

Tabell 2. Exempel på aspekter av begrepp om ljus i vardag och i skola

Aspekt	Vardagstänkande	Skolans naturvetenskap
Ljusets existens och egenskaper	Ljus förknippas med dess källa och/eller effekter	Ljuset finns i rummet, mellan källor och effekter
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 mellan föremål och öga är inte nödvändigtvis fysikens ljus (seende och ljus är inte begreppslikt integrerade)	För att man skall kunna se en punkt, vilken som helst, måste ljus från punkten träffa ögat. Bilderna på näthinnan kan förklaras med punktformig avbildning med lins och glaskropp
Ljus och skuggor	Skuggor kan uppfattas som en bild, som något som tillhör ett objekt	Skugga uppstår då ljus hindras att komma fram. Dit ljuset inte når blir det skugga
Avbildning	En spegel speglar, ett förstoringsglas förstorar, en kamera tar bilder. Bilder 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 reflexion möts igen i en annan punkt P ₁ , uppstår en bild av punkten P i P ₁ .

En beskrivning av den vetenskapliga synen på geometrisk optik



Figur 1. En framställning av den geometriska optikens struktur.

Kunskapsområdet, som illustreras i figur 1, kan sägas vara uppbyggt av tre nivåer med en teoretisk kärna, kompletterande satser samt fenomen och föremål i omvärlden. Den teoretiska kärnan utgörs av idén om ljusets linjära utbredning. Denna idé utgör grunden för allt som har med geometrisk optik att göra. Nästa skikt i kunskapsstrukturen utgörs av några teoretiska satser, som alla bygger på att ljuset utbreder sig linjärt i ett givet medium. Dessa är reflektions- och brytningslagarna, villkoren för punktformig avbildning samt ljusets uppdelning i färger. Det yttersta skiktet är den upplevda världens föremål och fenomen.

Vardagsuppfattningar om biologisk evolutionsteori

Studier visar att elever har idéer om fenomenet evolution innan de haft någon formell undervisning (Deadman & Kelly, 1978; Engel Clough & Wood-Robinson, 1985a). Bishop och Anderson (1990) finner i sin studie att de flesta studenterna har en förförståelse av evolutionen som en process där alla individer i en art anpassar sig till miljön genom gradvisa förändringar. Det visar sig i flera undersökningar att elever och studenter i liten utsträckning förändrar sina idéer genom undervisning (t.ex. Halldén, 1988; Bishop & Anderson, 1990; Demastres, Settlage & Good, 1995).

Ferrari och Chi (1998) skriver att trots att naturligt urval är en ganska enkel process har elever svårt att förstå den och alternativa förklaringsmodeller är robusta mot undervisning. En mycket vanlig uppfattning är att evolutionsprocessen är behovsstyrd (t.ex. Engel Clough & Wood-Robinson, 1985a; Bishop & Anderson, 1990; Settlage, 1994; Demastes, Good & Peebles, 1995). En annan vanlig alternativ idé är att elever och studenter använder anpassning som drivkraften i evolutionsprocesser i stället för naturligt urval (t.ex. Brumby, 1984; Halldén, 1988; Bishop & Anderson, 1990; Settlage, 1994). Ytterligare andra idéer är att evolutionära förändringar sker på grund av att egenskapen används eller inte används (t.ex. Brumby, 1984; Bishop & Anderson, 1990; Settlage, 1994; Ferrari & Chi, 1998) eller genom arv av förvärvade egenskaper (t.ex. Kargbo, Hobbs & Erickson, 1980; Engel Clough & Wood-Robinson, 1985b; Bishop & Anderson, 1990; Wood-Robinson, 1994; Ramorogo & Wood-Robinson, 1995; Thomas, 2000).

En vetenskaplig förklaring av biologisk evolutionsteori

Tre nyckelbegrepp behövs för att förklara evolutionsteorin, nämligen 'variation', 'ärflighet' och 'urval'. Inom så gott som samtliga levande populationer finns bland dess olika individer en variation i många olika egenskaper. Vissa egenskaper uppvisar stor variation, andra liten och ytterligare andra ingen variation alls. Den ursprungliga uppkomsten av den genetiska variationen är slumpmässiga förändringar, mutationer, i organismernas arvs massa (oftast

DNA). Mutationsfrekvenser kan påverkas miljömässigt och allt genetiskt material har inte lika stor mutationssannolikhet. Men vi betraktar mutationer som slumpmässiga utifrån de egenskaper vi studerar i olika evolutionssammanhang. En ytterligare källa till genetisk variation är omkombinationer i samband med sexuell förökning. Vid diskussioner av variation i evolutionssammanhang är det den i varje population befintliga variationen som är i fokus. Det andra viktiga begreppet är ärftlighet. Avkomman är mer lik sina föräldrar än en slumpmässigt tagen individ inom populationen. Även ärftlighet har sitt huvudsakliga ursprung i genetiskt arv. Det tredje begreppet är urval eller naturligt urval och det utgör själva drivkraften i evolutionen och är inte en slumpmässig process. Vissa individer i en population har egenskaper som ger dem fördelar i den aktuella miljön. Om fördelarna ska ha evolutionära konsekvenser måste dessa individer ge fler avkommor till nästa generation, ha relativ reproduktiv framgång.

Med hjälp av dessa tre begrepp skulle man ganska enkelt kunna beskriva teorin: Om man i en population har en befintlig variation i en viss egenskap, som är ärftlig, och de individer som har denna egenskap gynnas av miljön kommer det naturliga urvalet att göra att dessa får fler avkommor och kommer därmed att utgöra en större andel av nästa generation. Man kan också tänka sig individer som har en egenskap som missgynnas av miljön. Det naturliga urvalet resulterar då i att andelen individer med denna egenskap kommer att vara mindre nästa generation. Biologisk evolution är alltså en konsekvens av befintlig variation, ärftlighet och urval. Evolution kan också ske slumpmässigt utan naturligt urval genom s.k. neutral evolution och genetisk drift. Här väljer vi dock att enbart behandla 'evolution genom naturligt urval'.

Material och metod

Undervisningen i optik studerades i årskurs 9 på grundskolan och undervisningen evolution i årskurs 2 på gymnasiet. Allt som allt studerades cirka 250 elever under optikundervisning och 79 elever under evolutionsundervisning. Eleverna i gymnasiet hade alla valt det naturvetenskapliga programmet. Undervisningen ingick i den för naturvetarprogrammet obligatoriska kursen Biologi A. Alla skolor i studierna finns i Göteborg eller någon av kranskommunerna.

Under projektens gång skedde datainsamlingar med hjälp av förtest innan undervisningen startade och fördröjt eftertest ett halvt till ett år efter undervisningen avslutats. I optikundervisningsprojektet intervjuades lärare före och efter själva undervisningssekvensen. I evolutionsundervisningsprojektet utfördes intervjuer med elever före och under själva undervisningen. Delar av undervisningen observerades i de båda projekten.

Elevernas svar på uppgifterna i för- och eftertesten kategoriserades utifrån innehåll av vardagliga och vetenskapliga uppfattningar uppdelat på tillräckligt många kategorier för att eventuella kritiska aspekter när det gäller förståelse av aktuellt innehåll framträder.

Resultat beskrivs som en ämnesdidaktisk teori för undervisning

Först redovisas de domänspecifika aspekterna av teorin om evolutionsundervisning och undervisning i geometrisk optik. Därefter aspekter som rör naturvetenskapens karaktär och sist generella aspekter eftersom de är relativt lika för båda teorierna. Vi betraktar i dagsläget teorierna som välgrundade hypoteser.

Om följande aspekter beaktas i undervisningen antas eleverna ha goda möjligheter att lära och förstå evolutionsteorin och dess konsekvenser:

A1. Domänspecifika aspekter för evolutionsteorin

1. Det klargörs att evolution betraktas som ett historiskt faktum i naturvetenskapen, livets uppkomst diskuteras och evolutionär tid konkretiseras.
2. Den teori som förklarar evolutionen delas upp i två processer, dels uppkomst av variation i ärftliga egenskaper, dels naturligt urval.
3. Det betonas att endast den förstnämnda processen är slumpmässig, inte den senare.
4. Vanliga alternativa idéer (vardagsföreställningar) om biologisk evolution t.ex. idén om behovsdriven miljöanpassning av alla individer inom en art, görs på lämpligt sätt till en del av undervisningsinnehållet.
5. Evolutionsteorin studeras genom att de fem komponenterna 'variation', 'arv', 'överlevnad', 'reproduktion' och 'ackumulation' introduceras, diskuteras och används.
 - Befintlig variation diskuteras utförligt och så mycket genetik införs som behövs för att få en idé om hur likheter och olikheter uppkommer.
 - Skillnader i överlevnad och i reproduktion bland populationens individer diskuteras och hur dessa skillnader är relaterade till naturligt urval.
 - Populationers anpassning genom ackumulation diskuteras.
6. Medvetenhet om befintlig variation av ärftliga egenskaper är en nödvändig plattform för att gå vidare till naturligt urval och på så sätt få ett alternativ till idéer om evolution orsakad av behov, strävan, vilja m.m.
7. Olika organisationsnivåer som resonemangen om evolution gäller görs explicita.
8. Teorin om evolution genom naturligt urval används för att förklara livets utveckling, stamträd, biologisk mångfald, sexuell selektion, samevolution, artbildning, etologi m.m.

A2. Domänspecifika aspekter för geometrisk optik

1. Från första början skapas behov av optikens nyckelidé, nämligen att ljus existerar och utbreder sig mellan källor och effekter

2. 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.
3. Undervisningen klargör att ljus som går mellan källa och effekt inte kan ses.
4. Först efter att optikens nyckelidé har etablerats förklaras seende med att ljus går från det sedda föremålet och in i ögonen.
5. 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, d.v.s. 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.
6. 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.

B. Aspekter som rör naturvetenskapens karaktär

1. Karaktären av en naturvetenskaplig teori klargörs (är hypotetisk till sin natur, kan förklara och förutsäga, prövas med experiment och iakttagelser, kan ej verifieras så till den grad att den kan betraktas som en absolut sanning, ger en sammanhållande förståelse av många fenomen m.m.)
2. Skillnader mellan naturvetenskap och tro behandlas. Specifikt för evolutionsundervisning: Naturvetenskapen har inget att säga om Guds existens och handlande och behöver därför inte utgöra något hot mot gudstro. Denna insikt kan bidra till att religiös tro inte behöver blockera lärande av evolutionsteorin.
3. Eleverna bjuds in till naturvetenskapens sätt att förklara fenomen i världen. I fallet evolutionsundervisning förklaras livets uppkomst och utveckling. Stor hänsyn visas till olika elevers syn på livets uppkomst och utveckling och deras eventuella religiösa uppfattningar.

C. Generella aspekter

1. Läraren ser sig som en aktiv bärare av den vetenskapliga kulturen, som introducerar begrepp, ger vetenskapliga förklaringar, arrangerar situationer för begreppsanvändning m.m.

2. Läraren är väl insatt i vanliga alternativa idéer, vardagsföreställningar, om innehållet och vad dessa betyder för undervisningen. Dessa idéer är läraren medveten om genom hela undervisningen. Han/hon är uppmärksam och intresserad av elevernas idéer, både redan kända och nya.
3. Läraren skapar ett tillåtande klassrumsklimat där eleverna på ett positivt sätt kan dela med sig av sina idéer och funderingar. Det är dessa idéer snarare än elever eller elever och lärare som möts i diskussionerna.
4. Tid och omsorg ägnas åt ett givet områdes grundbegrepp.
5. Väl tilltagen tid används för att diskutera och lösa olika uppgifter som innebär att eleverna får tillämpa undervisningsinnehållet i olika situationer.
6. Djuplärande uppmuntras. Tecken på djuplärande kan t.ex. vara att eleven
 - 'vrider och vänder' på det nya kunnandet (transformation i stället för memorering)
 - ställer frågor och framkastar idéer
 - kopplar ihop nytt kunnande med befintligt
 - använder kunnande som verktyg för att se sin omvärld med nya ögon
 - diskuterar det nya med kamrater och andra
 - antar utmaningar (t.ex. i form av problemuppgifter)
7. Formativ utvärdering används på ett varierat sätt av både lärare och elever i syfte att förbättra undervisning och lärande.
8. Läraren utgår inte från att eleven är motiverad utan arbetar för att skapa intresse och motivation.

Diskussion

Vi har här valt att diskutera ett litet urval av de aspekter som finns redovisade i resultatdelen under rubriken 'Domänspecifika aspekter för evolutionsteorin'

Aspekt 2. *Den teori som förklarar evolutionen delas upp i två processer, dels uppkomst av variation i ärftliga egenskaper, dels naturligt urval.*

Redan Bishop och Anderson (1990) poängterar vikten av att visa på evolutionens två olika delprocesser – den slumpmässiga som leder till variationens uppkomst och den icke slumpmässiga, naturligt urval, som leder till anpassning.

Aspekt 3. *Det betonas att endast den förstnämnda processen är slumpmässig, inte den senare.* Att poängtera att inte hela evolutionsprocessen är slumpmässig verkar vara en kritisk aspekt för att elever ska framgångsrikt lära sig och kunna använda evolutionsteorin i denna studie. Flera elever visar innan undervisning att de inte accepterade slumpprocesser. Att evolutionen skulle resultera i den mångfald och det avancerade liv som finns på jorden idag på grund av en slumpprocess finner de orimligt. Att placera slumpen på sin rättmätiga plats i evolutionen

är en förutsättning för lärande av evolutionsteorin och detta kan nås genom uppdelningen i två delprocesser.

Aspekt 6. *Medvetenhet om befintlig variation av ärftliga egenskaper är en nödvändig plattform för att gå vidare till naturligt urval och på så sätt få ett alternativ till alternativa idéer om evolution orsakad av behov, strävan, vilja m.m.*

Detta är en ny kritisk aspekt som bygger på denna studies resultat. Att inomartsvariation är ett mer eller mindre okänt område för elever och studenter vittnar flera forskare om (t.ex. Halldén, 1988; Greene, 1990; Pedersen & Halldén, 1994; Jensen & Finley, 1995; Smith, Siegel & McInerney, 1995; Rudolph & Stewart, 1998). Greene påpekar dessutom att elever/studenter som inte observerar inomartsvariation ofta resonerar i termer av behov. I denna studie visas att befintlig variation är en nyckelidé för att förstå evolutionsteorin. Utifrån den befintliga variationen kommer elever nämligen lätt in på korrekta evolutionära resonemang. Det är den som gör att de kan byta grundantagandena och som medför att eleverna har chans att gå från de intuitiva idéerna om behov, strävan, vilja, naturkraft, balans eller liknande till de mer vetenskapliga idéerna. Idén om befintlig variation motsäger dessutom den vanliga uppfattningen att alla individer i en population (art) utvecklas samtidigt med en ökning eller minskning av egenskapen i fråga, istället för en frekvensförändring i populationen som blir resultatet av naturligt urval. Befintlig variation är dessutom ett innehåll som med fördel kan börja undervisas i tidiga skolår.

Referenser

- Andersson, B., & Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education*, 89(2), 196-218.
- Andersson, B., & Kärrqvist, C. (1982). *Light and its properties. The pupil's perspective*. EKNA (8). Mölndal: Department of Education and Educational Research, University of Gothenburg.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2006). On developing content-orientated theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28 (6), 673-695.
- Bach, F. (2001). *Om ljuset i tillvaron. Ett undervisningsexperiment inom optik*. Göteborg studies in educational sciences, 162. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of research in science teaching*, 27(5), 415-427.
- Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.
- Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12(1), 7-15.
- Demastes, S. S., Good, R., & Peebles, P. (1995). Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79(6), 637-666.
- Demastes, S. S., Settlege, J., & Good, R. (1995). Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: Cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 535-550.
- Duit, R. (2006). *Bibliography – STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education*, Hemsidan tillgänglig [2006-03-31] på <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>
- Engel Clough, E., & Wood-Robinson, C. (1985a). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19(2), 125-130.

- Engel Clough, E., & Wood-Robinson, C. (1985b). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, 19(4), 304-310.
- Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1231-1256.
- Fetherstonhaugh, T., & Happs, J. (1988). Countering fundamental misconceptions about light: An analysis of specific teaching strategies with year 8 students. *Research in Science Education*, 18, 211-219.
- Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, 18(7), 847-868.
- Goldberg, F., & Bendall, S. (1992). Computer-video-based Tutorials in Geometrical Optics. In R. Duit & F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies* (pp. 356-379). Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel.
- Goldberg, F., & McDermott, L. (1987). An investigation of student understanding of the real image, formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108-119.
- Goldberg, F., & McDermott, L. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8), 472-480.
- Greene, E. D. (1990). The logic of university students' misunderstanding of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(9), 875-885.
- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver & E. Guesne & A. Tiberghien (Red.), *Children's Ideas In Science* (pp. 10-32). Philadelphia: Open University Press.
- Halldén, O. (1988). The evolution of the species: pupil perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, 10(5), 541-552.
- Jensen, M. S., & Finley, F. N. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79(2), 147-166.
- Kargbo, D. B., Hobbs, E. D., & Erickson, G. L. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2), 137-146.
- La Rosa, C., Mayer, M., Patrizi, P., & Vicentini-Missoni, M. (1984). Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6(4), 387-397.
- Langley, D., Ronen, M., & Eylon, B.-S. (1997). Light Propagation and Visual Patterns: Preinstruction Learners' Conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 399-424.
- Paludan, K. (2000). *Videnskaben verden og vi. Om naturvidenskab og hverdagstænkning*. Århus: Aarhus Universitetsforlag.
- Pedersen, S., & Halldén, O. (1994). Intuitive ideas and scientific explanations as parts of students' developing understanding of biology: The case of evolution. *European Journal of Psychology of Education*, IX(1), 127-137.
- Piaget, J. (1995). *Child's conception of the world* (J. Tomlinson & A. Tomlinson, Övers.). Maryland: Rowman & Littlefield (Publicerades första gången i England av Routledge & Kegan Paul Ltd, 1929.).
- Piaget, J., & Garcia, R. (1974). *Understanding causality*. New York: Norton.
- Ramorogo, G., & Wood-Robinson, C. (1995). Batswana children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*, 29(1), 60-71.
- Rudolph, J. L., & Stewart, J. (1998). Evolution and the nature of science: On the historical discord and its implications for education. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1069-1090.
- Selley, N. (1996). Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18(6), 713-723.
- Settlage, J. (1994). Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense-making process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 449-457.
- Smith, M. U., Siegel, H., & McInerney, J. D. (1995). Foundational issues in evolution education. *Science & Education*, 4, 23-46.
- Stead, B., & Osborne, R. (1980). Exploring Student's Concepts of Light. *Australian Science Teachers' Journal*, 26(3), 84-90.

- Thomas, J. (2000). Learning about genes and evolution through formal and informal education. *Studies in Science Education*, 35, 59-92.
- Wallin, A. (2004). *Evolutionsteorin i klassrummet: På väg mot en ämnesdidaktisk teori för undervisning i biologisk evolution*. Göteborg studies in educational sciences 212. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education* 24, 29-47.