

(I) gapet mellan teori och praktik – utveckling av lärarkunskap i biologi

Eva Kellner

Hur ska elever inse att växter bygger sin egen mat av framförallt koldioxid, om man i skolan gör odlingsförsök som bara fokuserar på att jämföra tillväxten mellan gödslade och ogödslade plantor?!

Reflektionen ovan, av en lärarstudent, är relevant. Kanske förstärker ett odlingsförsök som bygger på att jämföra gödslade och ogödslade plantors tillväxt en vanlig missuppfattning bland elever, nämligen att växterna byggs upp av i huvudsak ämnen som finns i marken och inte av koldioxiden som finns i luften. Lärarstudenten visade sig ha en viktig kunskap om elevers svårigheter. I andra sammanhang har jag som lärarutbildare mött studenter som inte själva är helt medvetna om koldioxidens roll för växternas tillväxt; de har saknat en mycket central ämneskunskap som är väsentlig för att kunna hjälpa sina framtida elever att förstå fotosyntesen. Frågan är hur vi på ett effektivt sätt kan stimulera utvecklingen av såväl ämneskunskaper som ämnesdidaktiska kunskaper hos lärarstudenterna under utbildningen. Utifrån några exempel inom biologiområdet vill jag lyfta en diskussion om hur vi som lärarutbildare kan skapa gynnsamma förutsättningar för utvecklingen av lärarkunskap bland lärarstudenter.

Det kan tas för givet att verksamma lärare har en mängd olika uppfattningar om undervisning inom ett visst ämnesområde. Men vilka tankar har nyantagna lärarstudenter om undervisning inom olika ämnesområden? Är det relevant att redan tidigt i lärarutbildningen koppla deras idéer till teorier om lärarkunskap och till specifika ämnesdidaktiska frågor? De här frågorna tar jag upp i texten som också berör hur lärarutbildare och studenter kan arbeta med ämnesdidaktiska frågor i samverkan med lärare ute i skolverksamheter.

Teorier om lärarkunskap – gapet mellan teori och praktik

Ämnesundervisning innebär att relevant ämnesstoff ska bearbetas så att det blir begripligt för elever, och för det behöver läraren olika typer av färdigheter och kunskaper. Begreppet Pedagogical Content Knowledge (PCK) introducerades av Lee Shulman (1986, 1987), och han menade att PCK kan ses som lärarens särskilda form av yrkeskompetens. Utifrån Shulmans arbete har lärarkunskapen senare delats in i fyra huvudområden (Grossman 1990): ämneskunskap, pedagogisk kunskap, kunskap om undervisningens sammanhang och slutligen PCK. Olika forskare beskriver PCK på lite olika sätt (se bl.a. Grossman, 1990; Magnusson, Krajcik & Borko, 1999; Marks, 1990). I modellen av Magnusson m.fl. (1999, s. 99) indelas PCK i fem delområden:

- 1 Den övergripande synen på naturvetenskaplig undervisning (t.ex. att man undervisar genom att utmana elevers förförståelse)
- 2 Kunskap om styrdokument och mål
- 3 Kunskap om olika typer av utvärdering samt metoder för detta
- 4 Kunskap om elevers förkunskaper och svårigheter samt om vilka kunskaper och färdigheter eleverna behöver för lärande

och slutligen:

- 5 Kunskap om undervisningsstrategier på ämnes- och områdesnivå

I den här texten jämför jag begreppen PCK och ämnesdidaktik och använder dem omväxlande. Abell (2007) har presenterat en forskningsöversikt om lärarkunskap med inriktning mot naturvetenskap och den inkluderar bl.a. forskningen inom delområdena av PCK. Efter 20 års forskning om PCK ställs frågan om området fortfarande är viktigt att studera inom lärarutbildning (Abell, 2008). Författaren konstaterar att svaret definitivt är ja och undrar varför många lärare, som genomgått en reformorienterad lärarutbildning, fortfarande undervisar på samma sätt de själva tidigare blivit undervisade. Det är visat att lärarutbildningar ofta har mycket liten effekt på studenters väl rotade uppfattningar om undervisning (Lager-Nyqvist, 2003; Whitcomb, 2003; Wideen, Mayer-Smith & Moon, 1998). En aspekt att diskutera i det här sammanhanget

är hur teorier och modeller används i utbildningen. Russel (1997) menar att lärarstudenter i stor utsträckning förväntar sig att bli visade hur man ska undervisa och att teorier om undervisning anses irrelevanta för att utveckla förmågan att undervisa. Ett problem kan vara att studenternas egna erfarenheter och den skolverklighet de möter under praktiskt lärarbete inte överensstämmer med kursernas innehåll under utbildningen (Borko & Putnam, 1996, s. 699; Ekborg, 2002). Många lärarstudenter har också tidigt en bestämd uppfattning om sig själva i rollen som lärare i naturvetenskap, grundad på tidigare erfarenheter. Dessa kan fungera i form av ett filter när nya erfarenheter ska processas (Pajares, 1992; Thomas & Pedersen, 2003; Wideen m.fl., 1998). Dessutom kan de vara nöjda med att under praktiken själva få sköta undervisningen utan handledarens inblandning, en situation som innebär att studenternas egna inläringsteorier då inte behöver processas (Lager-Nyqvist, 2003).

Hur ser då möjligheten ut att minska gapet mellan å ena sidan det många lärarstudenter efterfrågar i form av tips och idéer och å andra sidan lärarutbildares uppfattning om att forskning och vetenskapliga teorier om undervisning är viktiga att reflektera över? Hur ska frågor rörande lärarkunskap, bl.a. om ämnesdidaktik, behandlas under utbildningen för att uppfattas som relevanta av studenterna? Davis (2003) menar att lärarutbildare bör ta reda på studenters föreställningar om naturvetenskap och undervisning för att utifrån dessa stimulera lärarstudenternas begreppsutveckling. Thomas och Pedersen (2003) pekar på vikten av en miljö där studenterna stimuleras att reflektera över personliga uppfattningar och idéer om undervisning i naturvetenskap, och lyfter fram lärarutbildarnas roll i att skapa denna miljö. Dessutom efterfrågas en starkare koppling mellan teori och praktik där arbetet med teorier byggs upp utifrån lärarstudenternas egna tankar kring undervisningssituationer (Korthagen, Loughran & Russel, 2006). Det finns också ett behov av att tydliggöra för studenterna på vilka sätt ämnesstudier och ämnesdidaktik integreras (Ekborg, 2002). Min tolkning är att det finns stor anledning för oss lärarutbildare att skapa aktiviteter som stimulerar studenter att reflektera kring egna och andras uppfattningar om olika ämnesbegrepp, så väl som kring undervisning om dessa begrepp, och samtidigt relatera till teorier om lärarkunskap. För att aktiviteterna ska kännas viktiga för studenterna bör de gärna knytas till praktiskt lärarbete och ha ett, för studenterna, synligt ämnesdidaktiskt fokus.

Jag utgår i mitt fortsatta resonemang från att ju fler uppfattningar som finns inom en studentgrupp om frågor som rör ämnet och undervisningsfrågor, desto större möjligheter finns det att stimulera en vidareutveckling av den enskilde studentens tankar.

Lärarstudenters uppfattningar om ämnesundervisning – en brygga till teori

Vilka uppfattningar har då lärarstudenter om undervisningsfrågor kopplade mot ett specifikt ämnesområde redan i början av utbildningen? Är dessa tankar möjliga att koppla till modeller av lärarkunskap och till specifik ämnesdidaktisk forskning? På Högskolan i Gävle har tidigare genomförts forskning, med syftet att undersöka variationer av uppfattningar om undervisning inom matematik och naturvetenskap som finns redan tidigt i utbildningen bland lärarstudenter. I studien fick 32 lärarstudenter uppdelade i fyra grupper en uppgift att göra lektionsplaneringar för elever i grundskolan, om växters tillväxt, gasbegreppet, ekvationsbegreppet eller om värme och temperatur (Gullberg, Kellner, Attorps, Thorén & Tärneberg, 2008). Resultatet gav att två tredjedelar av studenterna visade en medvetenhet om vikten av att ta hänsyn till elevers förförståelse vid planering av lektioner, oftast genom beskrivningar av olika strategier för att ta reda på elevers förkunskaper. Däremot beskrevs inga specifika undervisningsmoment för att ta sig an elevernas förväntade svårigheter. Det saknades därmed, enligt studien, en förmåga att planera undervisningen utifrån elevers förväntade svårigheter.

Undersökningen visade att lärarstudenternas tankar om elevers ämnessvårigheter överensstämde i hög grad med tidigare forskningsresultat om elevers faktiska utmaningar (Kellner, Gullberg, Attorps, Thorén & Tärneberg, 2011). I figur 1 visas studenternas olika typer av uppfattningar om elevers svårigheter inom området växters tillväxt. Den första kategorin i figur 1; osynlig gas, handlar om att det inte är så lätt att förstå hur en osynlig gas kan bygga upp växters biomassa. Det fanns således kunskap som kan knytas till forskning som visar elevers oförståelse inför att gaser har biomassa. Fler svårigheter kommer i kölvattnet, nämligen insikten om att koldioxid är en viktig beståndsdel vid uppbyggnaden av kolhydrater (Carlsson, 2003; Stav, Eisen & Yaakobi, 1987). Inom studentgruppen fanns även tankar om vilka utmaningar det innebär för elever när de ska förstå att det sker en omvandling av ämnen i växten till andra ämnen; kategori 2 (att koldioxid och vatten omvandlas till glukos och syrgas i en energikrävande process). Även det här är viktig ämnesdidaktisk kunskap. Det är vanligt att elever och studenter i olika åldrar saknar kunskap om att omvandling av ämnen sker i växter i samband med fotosyntes (Barman, Stein, McNair & Barman, 2006; Carlsson, 2002a). En insikt om ämnens omvandling är en av flera nycklar för att förstå fotosyntesen, anser Carlsson (2002a, 2003). Författaren menar att elever behöver viss kunskap om partikelteori; att atomer kan kombineras på nya sätt och bilda ämnen med nya egenskaper.



Figur 1. Lärarstudenters uppfattningar om elevers svårigheter inom området växters tillväxt.

Den tredje kategorin i figur 1 pekar på svårigheten att förstå fotosyntesens övergripande roll och koppling till energiflöden och olika kretslopp. Även denna aspekt beskrivs i tidigare forskning om elevers svårigheter (Carlsson, 2002b; Lin & Hu, 2003; Stavy m.fl., 1987). Den fjärde kategorin handlar om elevers uppfattningar runt hur mineraler bygger upp biomassan hos växter; något som för övrigt är en mycket vanlig föreställning bland elever (Helldén, 2004; Stavy m.fl., 1987; Özay & Öztas, 2003).

Lärarstudenter trodde också att elevers tankar om vad vatten och luft används till utgår från ett människoperspektiv: att eleverna utgår från vad människan använder dessa ämnen till. Forskning har visat att elever ofta har en människocentrerad bild av växters tillväxt, t.ex. att växter behöver vatten för att dricka av samma anledning som människor (Barman m. fl., 2006). Man kan konstatera att det fanns många viktiga utgångspunkter för att diskutera elevers tankar och uppfattningar utifrån lärarstudenters egna tankemönster.

Hur såg det då ut med lärarstudenternas mera generella idéer om utmaningar att undervisa om växters tillväxt; uppfattningar som kan kopplas till olika typer av lärarkunskap? De fick svara på en fråga om förväntade egna undervisningssvårigheter inom området. Dessa kunde grupperas under samtliga fyra huvudområden av lärarkunskap som Grossman (1990) beskriver, dvs. ämneskunskap, allmän pedagogisk kunskap, kunskap om undervisningens sammanhang och slutligen PCK. Det handlade t.ex. om att de såg egna bristande ämneskunskaper, dilemman av pedagogisk karaktär som att "hålla ordning", mm. Det berörde även resurser för delning av klassen och om specifika undervisningsstrategier för ämnesområdet (figur 2).



Figur 2. Förväntade utmaningar med att undervisa om växters tillväxt

Slutsatsen är att redan i början av utbildningen har studenterna tankar om lärarkunskap på olika nivåer kopplat till specifika ämnesområden som är viktiga att diskutera inom utbildningens högskoleförlagda delar och i praktiskt lärararbete. Även om var och en av studenterna i gruppen endast uttryckte någon eller några av uppfattningarna som här presenterats, så fanns utifrån lärarstudenternas *samlade* idéer många utgångspunkter att använda till diskussion om undervisningsfrågor.

Koppling mellan teori och praktik i professionellt lärande

Inom det ämnesdidaktiska forskningsfältet påpekas betydelsen av att koppla ihop lärares och elevers lärande. Forskare menar att lärares professionella lärande tar avstamp i elevernas kunskapsinhämtning och stimuleras genom engagemang i konkreta uppgifter för att utveckla undervisningen (Darling-Hammond, Chung Wei, Andree, Richardson & Orphanos, 2009; Darling-Hammond & McLaughlin, 2011; Fishman, Marx, Best & Tal, 2003; Timperley, 2011). Det efterfrågas också mer forskning om undervisning och lärande i specifika ämnesområden (Abell, 2008; Bausmith & Barry, 2011). Ett sådant exempel är Nilssons och van Driels (2010) studie som visar hur både lärarstudenter och erfarna lokala lärarutbildare kan lära av att gemensamt planera och reflektera över varandras undervisning i naturvetenskap.

I en annan studie har man visat hur man kan introducera modellen av PCK för lärarstudenter och också synliggöra både studenternas ämneskunskap och ämnesdidaktiska kunskap genom ett verktyg som består av två delar (Loughran, Mulhall & Berry, 2008). Den första delen handlar om att lyfta fram tankar och idéer om undervisning inom ett specifikt ämnesområde utifrån ämnesdidaktiska frågor i ett så kallat CoRe (Content representation)-formulär som visas i tabell 1 (Loughran, Mulhall & Berry, 2004). Uppfattningarna, om t.ex. vad eleverna ska kunna om ett specifikt begrepp, elevers förståelse, hur man testar förståelsen samt olika undervisningsstrategier, dokumenteras i ett CoRe-dokument. Den andra delen av verktyget är en reflektions- och erfarenhetsdokumentation som sker efter genomförd undervisning, med utgångspunkt från CoRe-dokumentet (Loughran, Milroy, Berry, Gunstone & Mulhall, 2001). De två delarna har tillsammans använts t.ex. för att följa utveckling av ämnesdidaktisk kunskap hos lärarstudenter (Loughran, m.fl., 2008). En begränsning med verktyget är att dokumentationen är tidskrävande, men det har visat sig vara till stor hjälp när lärare tillsammans ska utveckla undervisning inom nya områden eller områden som uppfattas lite mer krävande att undervisa om (Bertram & Loughran, 2012).

Vi ska backa tillbaka till frågan om hur vi kan arbeta i lärarutbildningen för att studenterna ska känna det relevant att reflektera över teorier, och hur vi kan stimulera utvecklingen av studenternas lärarkunskap. Jag ser det som troligt att gapet mellan teori och praktik minskar om lärarstudenterna tydligt känner kopplingen mellan ämnesdidaktisk forskning och egna samt andra studenters erfarenheter och tankar om undervisning inom specifika ämnesområden. Vi kan räkna med att bland studenterna som påbörjar en utbildning finns en betydande variation av uppfattningar om frågor som rör undervisning. Därför borde teoretiska modeller om lärarkunskap kunna introduceras och diskuteras i större utsträckning redan tidigt inom utbildningen. Det kan röra sig om aktiviteter som t.ex. är kopplade till verksamhetsförlagd utbildning när studenter planerar, genomför och reviderar undervisningsmoment utifrån elevers lärande.

En metod som skulle kunna användas för att koppla teori till studenternas egna uppfattningar är CoRe-formuläret. Att tillsammans bearbeta frågorna i CoRe-formuläret kan hjälpa studenterna att systematiskt synliggöra de egna och även andras ämnesdidaktiska tankar inom ämnesområdet och att planera undervisningen. De olika tankarna som ligger till grund för planeringen sätts på pränt i CoRe-dokument. I uppföljande seminarier finns möjligheter att i grupp diskutera och dokumentera erfarenheter från genomförandet av undervisningen, utifrån CoRes olika delar. Fördelen med dokumenterade erfarenheter är just att de är dokumenterade och därför kan utgöra ett discussionsunderlag och en kunskapskälla i flera sammanhang.

Tabell 1. CoRe-formulär, något modifierat utifrån Loughran m.fl. (2004).

Centralt innehåll t.ex. ekosystem och samband mellan olika organismer Årskurs X			
Olika ämnesdidaktiska aspekter att tänka på vid planeringen	Lärandeobjekt/ begrepp 1 Ex. Producenter	2 Ex. Konsumenter	3 o.s.v.
1. Vad anser du/ni att eleverna ska lära sig om det här begreppet?			
2. Varför är det viktigt för eleverna att kunna det här?			
3. Vilka aspekter av begreppet anser du/ni att eleverna inte behöver kunna ännu?			
4. Känner du/ni till några svårigheter/begränsningar i samband med undervisningen av det här begreppet?			
5. Vilka kunskaper har du/ni om elevers tänkande som påverkar undervisningen av begreppet?			
6. Vilka andra faktorer påverkar undervisningen om begreppet?			
7. Vilka typer av undervisningsmetoder och strategier använder du/ni, varför?			
8. Hur tar du/ni reda på elevernas förståelse och vardagsföreställningar om detta begrepp?			
9. Hur följs och dokumenteras elevernas lärande?			

Ett annat tillfälle då teori och praktik knyts närmare varandra är under examensarbetet. Min uppfattning är att vi ska stimulera studenter att genomföra ämnesdidaktiska projekt, gärna aktionsforskningsprojekt. Ett sådant tar avstamp i ämnesdidaktiska frågor och teorier och när studenter arbetar tillsammans med verksamma lärare möts teori och praktik. Ett exempel på den här typen av examensarbete är ett aktionsprojekt som fokuserade på processen när ett arbetslag planerade, genomförde och vidareutvecklade aktiviteter i förskolan om småkryp (Kindlundh, 2012). Arbetslaget använde, tillsammans med studenten, frågorna i CoRe-formuläret som en hjälp vid planeringen, och erfarenheterna efter genomförandet av första aktiviteten användes för att utveckla nästa aktivitet. Den här typen av examensarbeten borde kunna leda till lärande hos både studenter och verksamma pedagoger.

CoRe-formuläret kan tyckas vara bara ett simpelt formulär med frågor, men fördelen med de här frågorna är att många viktiga ämnesdidaktiska aspekter verkligen blir synliga och föremål för reflektion under planeringsarbetet. Genom att det sker en kortfattad dokumentation, i form av ett CoRe-dokument, kan man sedan utgå från denna när man reflekterar kring, utvärderar och reviderar undervisningen. Den här formen av lärandecykel finns även i en Learning Study-cykel som närmare beskrivs av Attorps och Radic i kapitel 2.

I forsknings- och utvecklingsprojekt där t.ex. CoRe används eller Learning Studies genomförs bidrar alla inblandade till att öka den ämnesdidaktiska kunskapen. Här knyts ämnesdidaktiska frågor direkt till undervisningssituationer och elevernas lärande, och är exempel på projekt som efterfrågas (Abell, 2008; Bausmith & Barry, 2011). I ett longitudinellt aktionsforskningsprojekt samarbetade forskare från HiG med nio lärare i ett arbetslag för att tillsammans utveckla undervisningen och stimulera lärandet i biologi och matematik i åk 4-6. I projektet användes CoRe i kombination med Learning Study (Attorps & Kellner, 2015; Kellner & Attorps, 2015). Några av projektdeltagarna hade tidigare gått en fortbildningskurs för verksamma lärare på HiG och genom detta blivit intresserade av att delta i forskningsprojektet. Projektet beskrivs närmare i kapitel 5, Kollegialt lärande – aktionsforskning i biologi- och matematikundervisning.

Slutligen

Utifrån studier av lärarprogram i Australien, Kanada och Nederländerna dras slutsatsen att det finns flera viktiga aspekter som kan utgöra en grund för att vidareutveckla lärarutbildningar (Korthagen m.fl., 2006). Författarna konstaterar bl.a. att det är viktigt att det skapas möjligheter för lärarstudenter att bli medvetna om sitt eget lärande, undervisning naturligtvis och elevernas lärande. Det är också viktigt att lärarstudenter ser att elevers bakgrundskunskaper i en lärandesituation kan kopplas till egna erfarenheter. Att utgå från egna uppfattningar och erfarenheter skapar en känsla av relevans och ger även ett verktyg för professionell utveckling i arbetslivet. Vidare pekar författarna på vikten av att förändra synen på teorier i lärarutbildningen så att man i större utsträckning ser att kunskap skapas av den lärande själv och inte något som skapats av andra. I det här kapitlet har jag beskrivit den variation av tankar som lärarstudenter har om frågor rörande olika delar av lärarkunskap inom ett specifikt ämnesområde. Uppfattningarna är av den karaktären att de lätt kan kopplas till olika modeller av lärarkunskap och utgöra en pedagogisk tillgång i lärarutbildningen. Jag anser därför att olika teorier och modeller om lärarkunskap samt forskning om elevers kunskaper inom olika ämnesområden kan diskuteras tidigt i utbildningen. De kan tas upp i samband med ämneskurser och praktiskt lärararbete och problematiseras utifrån lärarstudenters synliggjorda uppfattningar och erfarenheter. Lärarstudenterna kan då själva aktivt skapa sin syn på och kunskap om lärarkunskap; sin egen lärarkunskap. Olika ämnesdidaktiska aspekter menar jag ska bearbetas under hela utbildningen och i examensarbetet kan fördjupning ske i specifika ämnesdidaktiska frågeställningar, gärna tillsammans med verksamma lärare. Det finns även möjlighet att utveckla samarbeten mellan forskare och verksamma lärare genom t.ex. fortbildningskurser och i projekt. På så sätt kan erfarenheter från den praxisnära verksamheten i ökad omfattning bidra till vidareutveckling av lärarutbildningens kurser och att ny ämnesdidaktisk teori kan spridas i skolverksamheter. I det spännande mötet mellan teori och praktik finns en stor potential att skapa förutsättningar för professionellt lärande för såväl verksamma lärare och enskilda lärarstudenter som lärarutbildare och forskare.

Referenser

- Abell, S.K. (2007). Research on science teacher knowledge. I S.K. Abell & N.G. Lederman (Red.), *Handbook of research on science education* (s. 1105–1149). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Abell, S.K. (2008). Twenty years later: does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30 (10), 1405–1416.
- Attorps, I., & Kellner, E. (2015). School – university action research: Impacts on teaching practices and pupil learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1–18. Doi 10.1007/s10763-015-9686-6
- Barman, C. R., Stein, M., McNair, S., & Barman, N. S. (2006). Students' ideas about plants and plant growth. *The American Biology Teacher*, 68 (2), 73–79.
- Bausmith, J. M., & Barry, C. (2011). Revisiting professional learning communities to increase college readiness: The importance of pedagogical content knowledge. *Educational Researcher*, 40 (4), 175–178.
- Bertram, A., & Loughran, J. (2012). Science teachers' views on CoRes and Pap-eRs as a framework for articulating and developing pedagogical content knowledge. *Research in Science Education*, 42 (6), 1027–1047.
- Borko, H., & Putnam, R. (1996). Learning to teach. I D.C. Berliner & R.C. Calfee (Red.), *Handbook of educational psychology* (s. 673–708). New York: Macmillan.
- Carlsson, B. (2002a). Ecological understanding 1: Ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 24 (7), 681–699.
- Carlsson, B. (2002b). Ecological understanding 2: Transformation – a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education*, 24 (7), 701–715.
- Carlsson, B. (2003). Dramatic photosynthesis. *Australian Science Teachers' Journal*, 49 (1), 26–35.
- Darling-Hammond, L., Chung Wei, R., Andree, A., Richardson, N., & Orphanos, S. (2009). *Professional learning in the learning profession: a status report on teacher development in the U.S. and abroad*. Stanford University, CA: National Staff Development Council.
- Darling-Hammond, L., & McLaughlin, M. W. (2011). Policies that support professional development in an era of reform; policies must keep pace with new ideas about what, when, and how teachers learn and must focus on developing schools' and teachers' capacities to be responsible for student learning. *Phi delta kappan*, 92 (6), 81–90.
- Davis, E. A. (2003). Knowledge integration in science teaching: Analysing teachers' knowledge development. *Research in Science Education*, 34 (1), 21–53.
- Ekborg, M. (2002). *Naturvetenskaplig utbildning för hållbar utveckling? En longitudinell studie hur studenter på grundskolläroprogrammet utvecklar för miljöundervisning relevanta kunskaper i naturkunskap*. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Fishman, B. J., Marx, R. W., Best, S., & Tal, R. T. (2003). Linking teacher and student learning to improve professional development in systemic reform. *Teaching and Teacher Education*, 19 (16), 643–658

- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Gullberg, A., Kellner, E., Attorps, I., Thorén, I., & Tärneberg, R. (2008). Prospective teachers' initial conceptions about pupils' understanding of science and mathematics. *European Journal of Teacher Education*, 31 (3), 257–278.
- Helldén, G. F. (2004). A study of recurring core developmental features in students' conceptions of some key ecological processes. *Canadian Journal of Science, Mathematics & Technology Education*, 4 (1), 59–76.
- Kellner, E., Gullberg, A., Attorps, I., Thorén, I., & Tärneberg, R. (2011). Prospective teachers' initial conceptions about pupils' difficulties in science and mathematics: A potential resource in teacher education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9 (4), 843–866.
- Kellner, E., & Attorps, I. (2015). Primary school teachers' concerns and needs in biology and mathematics teaching. *Nordic Studies in Science Education*, 11 (3), 282–292.
- Kindlundh, Å. (2012). *Ett arbetslags användande av ett ämnesdidaktiskt planeringsredskap i förskolan: Vad rör sig i gräset? Barn och förskollärare håvar och samtalar om småkryp*. Gävle: Högskolan i Gävle (Examensarbete inom Akademin för teknik och miljö).
- Korthagen, F., Loughran, J., & Russel, T. (2006). Developing fundamental principles for teacher education programs and practices. *Teaching and Teacher Education*, 22 (8), 1020–1041.
- Lager- Nyqvist, L. (2003). *Att göra det man kan – en longitudinell studie hur sju lärarstudenter utvecklar sin undervisning och formar sin lärarroll i naturvetenskap*. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Lin, C.-Y., & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis and respiration. *International Journal of Science Education*, 25 (12), 1529–1544.
- Loughran, J., Milroy, P., Berry, A., Gunstone, R., & Mulhall, P. (2001). Documenting science teachers' pedagogical content knowledge through PaP-eRs. *Research in Science Education*, 31 (2), 289–307.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (4), 370–391.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2008). Exploring pedagogical content knowledge in science teacher education. *International Journal of Science Education*, 30 (10), 1301–1320.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. I J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Red.), *PCK and science education* (s. 95–132). Dordrecht: Kluwer.
- Marks, R. (1990). Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to a modified conception. *Journal of Teacher Education*, 41 (3), 3–11.
- Nilsson, P., & van Driel, J. (2010). Teaching together and learning together – Primary science student teachers' and their mentors' joint teaching and learning in the primary classroom. *Teaching and Teacher Education*, 26 (6), 1309–1318.

- Pajares, M.F. (1992). Teachers' beliefs and educational research: Cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62 (3), 307–322.
- Russell, T. (1997). Teaching teachers: How I teach is the message. I J. Loughran & T. Russell (Eds.), *Teaching about teaching: Purpose, passion and pedagogy in teacher education* (pp 32–47). London: Falmer.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15 (2), 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundation of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), 1–22.
- Stavy, R., Eisen, Y., & Yaakobi, D. (1987). How students aged 13–15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 9 (1), 105–115.
- Thomas, J. A., & Pedersen, J. E. (2003). Reforming elementary teacher preparation: What about extant teaching beliefs? *School Science and Mathematics*, 103 (7), 319–330.
- Timperley, H. (2011). *Realizing the power of professional learning*. Berkshire, UK: McGraw-Hill Education.
- Whitcomb, J. A. (2003). Learning and pedagogy in initial teacher preparation. I W. M. Reynolds & G. E. Miller (Eds.), *Educational psychology. Handbook of psychology* (s. 533–556). Hoboken, NJ: Wiley.
- Wickman, P.-O. & Persson, H. (2008). *Naturvetenskap och naturorienterande ämnen i grundskolan – en ämnesdidaktisk vägledning*. Stockholm: Liber
- Wideen, M., Mayer-Smith, J., & Moon, B. (1998). A critical analysis of the research on learning to teach: Making the case for an ecological perspective on inquiry. *Review of Educational Research*, 68 (2), 130–178.
- Özay, E., & Öztas, H. (2003). Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, 37 (2), 68–70.