

# Undervisning och lärande i naturvetenskap



# Undervisning och lärande i naturvetenskap

Elevers lärande i relation till en  
forskningsbaserad undervisning om ljud, hörsel  
och hälsa

*Eva West*



© *Eva West*, 2011

ISBN 978-91-7346-716-2

ISSN 0436-1121

Akademisk avhandling i ämnesdidaktik med inriktningar, vid Institutionen för didaktik och pedagogisk profession

Avhandlingen finns även i fulltext på

<http://hdl.handle.net/2077/27970>

Denna doktorsavhandling har genomförts inom ramen för forskarskolan i utbildningsvetenskap vid Centrum för utbildningsvetenskap och lärarforskning, Göteborgs universitet.

Centrum för utbildningsvetenskap och lärarforskning, CUL  
Forskarskolan i utbildningsvetenskap  
Doktorsavhandling 15

År 2004 inrättade Göteborgs universitet Centrum för utbildningsvetenskap och lärarforskning (CUL). CUL:s uppgift är att främja och stödja forskning och forskarutbildning med anknytning till läraryrket och lärarutbildningen. Forskarskolan är fakultetsövergripande och bedrivs i samarbete mellan de fakulteter som medverkar i lärarutbildningen vid Göteborgs universitet samt i samarbete med kommuner, skolhuvudmän och högskolor. [www.cul.gu.se](http://www.cul.gu.se)

Distribution: ACTA UNIVERSITATIS GOTHOBURGENSIS  
Box 222  
SE-405 30 Göteborg, Sweden

Tryck: Kompendiet, Göteborg, 2011

# Abstract

- Title:** Teaching and learning science: Students' learning in relation to a research-based teaching-learning sequence about sound, hearing and auditory health.
- Language:** Swedish with summary in English.
- Keywords:** Learning; teaching; science education; formative assessment; sound; hearing; health; tinnitus; portable music players; loud noise.
- ISBN:** 978-91-7346-716-2

The aim of this thesis is to contribute to increased understanding of students' learning about sound, hearing and auditory health. Concerning the health issue, researchers have highlighted the growing problem of loud sounds among young people particularly in leisure-time environments, recently even emphasizing portable music players, because of the risk of suffering from hearing impairments such as tinnitus.

Taking students' known preconceptions as a starting point, a research-based teaching-learning sequence (TLS) was designed. Teachers made use of the TLS as a resource material and as a basis for planning their lessons. Swedish students in grade 4 (aged 10-11), 7 and 8 were given pre- and post-tests, and delayed post-tests one year after the teaching intervention. The students' answers in these tests were carefully analysed from the different frameworks developed.

The results show that learning about an abstract field such as sound and sound transmission offers content-specific challenges for students. The main challenge for the students is constructing an understanding about sound transmission as transmission of motion and not as matter. Moreover, it might be difficult for students to conceptualize the meaning of risk associated with loud noise, and for this reason it might be fruitful for students to learn about some fundamental ear structures and the function of the ear. The results also show that the students' health awareness of loud sounds was improved after the teaching intervention, and there are also signs of positive behavioural change in relation to loud sounds.

The overall results show that it is beneficial to teach young students (aged 10-11) about sound, hearing and auditory health. A trend seems to be that the older students, the more advanced is their reasoning about sound transmission and the function of the ear. Besides, it appears that the older students are, the more their health awareness increases qualitatively in the year following the teaching intervention, especially among the girls. These results imply a need for recurrent teaching.

The combined results are summarized into a content-specific hypothesis about what might improve the students' opportunities to learn and understand the specific content. This hypothesis provides a basis for further research and contributes to improving practice by bridging the theory-practice gap.



# Innehållsförteckning

## Förord

ARTIKLAR I AVHANDLINGEN.....	15
1. INLEDNING.....	17
1.1 Att lära för livet.....	17
1.2 Elevers kunskande i naturvetenskap.....	18
1.3 Elevers intresse för naturvetenskap.....	19
1.4 Vad vill eleverna lära sig om?.....	20
1.5 Avhandlingens disposition.....	21
2. SYFTE OCH FORSKNINGSPRÅG.....	23
3. TEORETISKA UTGÅNGSPUNKTER.....	25
3.1 Ett socialkonstruktivistiskt perspektiv.....	25
3.2 Kommunikationsmönster.....	28
3.3 ”Learning demand”.....	29
3.3 Formativ bedömning.....	30
Återkoppling.....	33
En förändrad klassrumskultur.....	34
3.4 Scientific literacy.....	35
Argumentationsfärdigheter.....	36
3.5 Integrationsaspekter.....	37
3.6 Lärares kompetens.....	40
3.7 Avslutning - på väg mot design.....	40
4. UNDERVISNINGSDESIGN.....	43
4.1 Designforskning.....	43
4.2 Designforskningstraditioner.....	44
4.3 Design av undervisningssekvenser.....	46
Allmänna teorier om lärande.....	46
Motiv för att undervisa om området.....	46
Undervisningspraxis och områdets karaktär.....	47
Läroplan och kursplaner.....	48
Elevers förutsättningar.....	49
Lärares förutsättningar, urval av innehåll och yttre förutsättningar.....	51
4.4 Lärarguiden.....	51
5. IDÉHISTORISK ÖVERSIKT.....	55
5.1 Naturvetenskapens framväxt.....	55
5.2 Ljud.....	56

Ljudöverföring.....	56
Ljudvågor .....	57
5.3 Örat och hörseln.....	57
Örats anatomi och ljudöverföring.....	58
Örat som frekvensanalysator.....	58
5.4 Hörseln och den moderna tekniken.....	59
6. METOD .....	61
6.1 Lärare.....	61
6.2 Elever .....	62
6.3 Datainsamling .....	62
Elevtester och elevintervjuer.....	62
Undervisningen .....	63
6.4 Den genomförda undervisningen .....	64
6.5 Etiska ställningstaganden .....	65
6.6 Generaliserbarhet .....	66
6.7 Validitet.....	66
6.8 Reliabilitet.....	67
7. SAMMANFATTNING AV ARTIKLARNAS.....	69
Artikel 1.....	69
Artikel 2.....	70
Artikel 3.....	71
8. INNEHÅLLSSPECIFIK HYPOTES.....	73
8.1 Ämnesdidaktiska hypoteser/teorier .....	73
8.2 En innehållspecifik hypotes för undervisning om ljud, hörsel och hälsa .....	74
Ljud och ljudöverföring.....	75
Hörsel och hörselhälsa.....	83
Ljud, hörsel och hälsa.....	85
9. SLUTSATSER, DISKUSSION OCH IMPLIKATIONER .....	87
9.1 Resultaten i relation till elevernas ålder.....	87
9.2 Resultaten i relation till elevernas kön.....	88
9.3 Formativ bedömning .....	89
9.4 Erfarenheter av språkbruk och interaktionsmönster i klassrummet.....	90
9.5 Generell diskussion av resultaten och dess implikationer.....	91
Undervisning om ljud, hörsel och hälsa .....	91
Undervisning i och om naturvetenskap.....	93
9.6 Metodfrågor .....	95
Designforskningens styrkor och begränsningar.....	95
Metodfrågor i relation till min studie.....	100
9.7 Nya forskningsfrågor .....	103
9.8 Avslutande reflektion.....	103



10. SUMMARY .....	105
10.1 Introduction .....	105
10.2 The overall aim and research questions .....	106
10.3 Theoretical framework.....	107
The social constructivist perspective.....	107
Teaching and learning.....	108
10.4 Teaching design .....	108
10.5 Overview of the history of ideas .....	109
10.6 Methods and data .....	110
10.7 Summary of the studies .....	111
Article 1.....	111
Article 2.....	112
Article 3.....	112
10.8 Content-specific hypothesis.....	113
Content-specific hypothesis.....	114
10.9 Conclusion, discussion and implications .....	116
The results in relation to the students' age and gender .....	116
Formative assessment.....	116
Experiences of language in the classroom.....	117
General discussion of the results and implications.....	117
The strengths and limitations of the present study.....	118
Ideas for research and final reflection.....	119
REFERENSER.....	121
BILAGA: ARTIKLARNA.....	139



## Förord

Efter att ha studerat kemi, biologi, fysik, geovetenskap och miljövård bestämde jag mig så småningom för att bli lärare. Det ledde till en spännande tid på lärarhögskolan i Mölndal, där en ny värld av pedagogik och metodik öppnade sig. När jag som färdigutbildad lärare fick möta elever i skolan växte min fascination inför läraryrket mer och mer. Under åren som lärare i grundskolan och på gymnasiet fördjupades mitt intresse för elevers lärande i naturvetenskap, ett intresse som bidrog till att jag studerade vidare inom påbyggnadsprogrammet i ämnesdidaktik med inriktning mot naturvetenskap i Göteborg. Studierna ledde senare till en tjänst på Enheten för Ämnesdidaktik på Göteborgs universitet.

Under de första åren jag var anställd vid IPD (Institutionen för Pedagogik och Didaktik) hade jag förmånen att få arbeta tillsammans med Björn Andersson och Eva Nyberg. Inom LUNA-projektet (Lärande och Undervisning i Naturvetenskap) arbetade vi med kompetensutvecklingskurser för lärare i årskurs 1-5. Vi utvecklade bland annat forskningsbaserat undervisningsmaterial till stöd för lärarna i deras undervisning. Eva Nyberg gav sig in i livscyklernas värld, vilket år 2008 ledde fram till en avhandling om livets kontinuitet. Jag upptäckte att det fanns ett behov av att utforska och utveckla undervisning och lärande inom området ljud och ljudöverföring. Allteftersom jag trängde djupare in i området ökade mitt intresse för de hälsofrågor som är relaterade till ungdomar, ljud, ljudnivåer och hörsel. Dessutom fick jag och Christina Kärrqvist möjlighet att lägga till ett nytt delprov när vi arbetade med den nationella utvärderingen av grundskolan 2003. Vår uppgift var att utvärdera elevers färdigheter i problemlösning, och det nya delprovet bestod av en dilemmappgift om ljudnivåer på ett klass-disko som gavs till årskurs 5.

Under mitt arbete inom LUNA-projektet och med diskodilemmat blev jag mer och mer nyfiken på vad som händer med elevers förståelse av och uppfattningar om ljud, hörsel och hälsa i samband med undervisning. Med ett antal frågeställningar inom området började jag på CUL:s (Centrum för Utbildningsvetenskap och Lärarforskning) forskarskola. Det var nu min forskningsresa började på allvar.

Efter ett antal år på resande fot börjar jag nu närma mig slutdestinationen, en färdig avhandling. Det har varit en spännande och lärorik resa. Vissa dagar har vägen varit krokig och smal och andra dagar ett roligt äventyr. Jag har inte rest ensam utan haft ett antal medpassagerare som har förgyllt min resa. Några av dem har varit med under hela resan, medan andra har stigit på och av. Dessutom har jag noterat att många glatt vinkat när jag passerat förbi. Jag vill nu

rikta ett stort tack till alla er som på olika sätt har bidragit till att resan blivit genomförbar.

Först och främst är det de lärare och de elever som med sina arbetsinsatser har gjort min resa möjlig. Med glädje tänker jag på de givande möten jag haft med er, och tack vare er har jag lärt mig massor. Dessutom har jag haft roligt!

Sedan är det mina handledare: de tre professorerna. Det är Björn Andersson som inspirerat mig till designforskning, gett mig kloka råd och professionellt kommenterat mina texter. Så bra att jag hann bli din doktorand innan du gick i pension! Jag är väldigt glad att du har stannat kvar som huvudhandledare under hela resan. Christina Kärrqvist var min första biträdande handledare. Du involverade mig i den nationella utvärderingen, tog vara på mina idéer och har hela tiden bidragit med positiv uppmuntran. Jag minns särskilt väl när vi åkte till en spa-anläggning för att planera mitt avhandlingsarbete, något som senare gav upphov till viss munterhet hos våra kollegor. När det var dags för Christinas pension var jag en smula bekymrad över vem som skulle ta över hennes roll. Det blev Anita Wallin som efterträdde Christina. Anita har ännu inte den officiella titeln professor, men i min värld är hon professor i alla fall! Anita, du har med humor, uggleögon, fast hand och insiktsfull handledning bidragit till att min resa har känts både bra och inspirerande. Vilken tur jag har haft som fick göra sällskap med dig mot slutdestinationen!

Monica Rosén och Ingrid Munck har varit mina experthandlare i hanteringen av vissa av mina kvantitativa data. Monica har också invigt mig i den strukturella ekvationsmodelleringens hemlighetsfulla värld. Monica, jag har lärt mig mycket av dig som jag förhoppningsvis kan ha glädje av i framtiden!

Andra som har betytt mycket under hela min resa är mina doktorandkollegor inom CUL-temagruppen. De är Birgitta Berne, Helena Sagar, Ingela Bjursjö och Maria Ferlin. Vi har lärt mycket av varandra, varit på lärorika skrivarläger, läst varandras texter och stöttat varandra. Våra temaledare, ursprungligen Christina Kärrqvist och Ann-Marie Pendrill samt senare Angela Wulff och Frank Bach, har hållit ordning på oss. Det har varit härligt att få lära känna er alla! Tack för den återkoppling jag fått på mina texter, och tack för de härligt humoristiska kommentarer som bidrog till förlösande skratt under den hektiska slutspurten av avhandlingsskrivandet. Kul CUL!

Under resans gång har olika personer läst mitt framväxande manus. Det är Margareta Ekborg som var diskutant vid mittseminariet och Per-Mårten Kind som var diskutant vid slutseminariet. Båda har skriftligen gett mig värdefulla synpunkter, och jag har försökt tillvarata dem på bästa sätt. Jan-Eric Gustafsson, som var ordförande vid slutseminariet, har också bidragit med värdefulla

kommentarer. Dessutom vill jag tacka dig, Eva Nyberg för att du erbjöd dig att läsa hela min text efter slutseminariet. Tack för din arbetsinsats och den genomtänkta återkoppling jag fick! Andra som gett mig värdefulla synpunkter på delar av mitt arbete är Jari Lavonen, John Leach, Krystallia Halkia, Phil Scott, Pierre Clement och Shirley Booth.

Florentina Lustig och hennes EU-projekt (ISSUE) har också haft betydelse för min avhandling. Projektet bidrog till att en stor del av lärarguiden blev översatt till engelska, och till att en tidigare version av lärarguiden blev översatt till spanska. Denna version prövades också i Spanien. Florentina, tack för din support! Alexander de Courcy har språkgranskat mina engelska texter. Marianne Andersson och Klas Eriksson har varit mina administrativa stöttepelare. Och Åse Hansson, vi som följts åt under stora delar av livet och även under våra avhandlingsarbeten – nu är även mitt arbete klart! Javisst, det är gott att ha Dig också! Jag vill även rikta ett tack till alla er andra som på olika sätt har stöttat mig under mitt avhandlingsarbete.

Det som har gett mig kraft, styrka och glädje i livet är mina nära och kära, och de har indirekt bidragit till det här arbetet. Jag tänker på min sambo Hans, som kärleksfullt har pysslat om mig när avhandlingsarbetet har slukat min tid. Likaså tänker jag på varma och goa stunder tillsammans med mina vuxna barn: Elin, Olof och Åsa, samt Elins man Johan och Olofs sambo Ellen. Och jag tänker på gemenskapen med mina bonusungdomar: Åsa, Jonas och Joel.

Göteborg och Ytterby den 6 december 2011

*Eva West*



## ARTIKLAR I AVHANDLINGEN

- Artikel 1: West, Eva (2011). Learning for Everyday Life: Pupils' conceptions of hearing and knowledge about tinnitus from a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1245-1271.
- Artikel 2: West, Eva & Wallin, Anita (2011). Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching-Learning Sequence about Sound, Hearing and Health. *International Journal of Science Education*. doi: 10.1080/09500693.2011.589479
- Artikel 3: West, Eva (submitted, 2011). Learning for Everyday life: Students' standpoints on auditory health issues before and after a teaching-learning intervention.
- Appendix: Lärarguiden  
Svensk version: West, Eva (2008a). *Att undervisa om ljud, hörsel och hälsa - kunskapsbas, undervisningsförslag och kopieringsunderlag*. Göteborg: Göteborgs universitet. Tillgänglig via <http://hdl.handle.net/2077/18684> [2011-11-25].  
Engelsk version: West, Eva (2008b). *Teaching about sound, hearing and health - knowledge base, suggestions for teaching and copying material*. Göteborg: Göteborgs universitet. Tillgänglig via <http://gupea.ub.gu.se/dspace/handle/2077/18685> [2011-11-25].





# 1. INLEDNING

Denna avhandling handlar om lärande och undervisning i naturvetenskap, och mer specifikt elevers lärande om ljud, hörsel och hälsa. Detta inledande kapitel syftar till att placera in min studie i ett större sammanhang beträffande elevers lärande i skolan i allmänhet och i naturvetenskap i synnerhet. Inledningsvis förs ett resonemang om syftet med skolans undervisning i naturvetenskap i relation till styrdokumentet. Därefter följer en översiktlig genomgång av nationella och internationella undersökningar beträffande det kunnande och det intresse svenska elever uppvisar i naturvetenskap. Det är resultat som kan ha betydelse för undervisning och lärande om ljud, hörsel och hälsa. Avslutningsvis presenteras avhandlingens disposition.

## 1.1 Att lära för livet

Skolan är en viktig aktör när det gäller att ge barn och ungdomar förutsättningar att lära för att ta ansvar inte bara för sitt eget liv, utan också för andra människor och den värld vi lever i. Av läroplanerna för det obligatoriska skolväsendet, Lpo 94 och Lgr 11, framgår också att skolans undervisning syftar till att främja elevernas lärande så att de utvecklar en kompetens att leva och verka i samhället (Skolverket, 1994; Skolverket, 2011). Vidare syftar utbildningen i de naturorienterande ämnena till att göra naturvetenskapens resultat och arbetssätt tillgängliga samt till ett förhållningssätt till kunskaps- och åsiktsbildning som står i samklang med naturvetenskapens och demokratins gemensamma ideal om öppenhet, respekt för systematiska undersökningar och välgrundade argument (Skolverket, 2000). Skrivningen i Lgr 11 är annorlunda än den i Lpo 94, eftersom det inte längre finns något gemensamt övergripande syfte för de naturvetenskapliga ämnena. Däremot finns följande mål framskrivet: ”kan använda kunskaper från de naturvetenskapliga, tekniska, samhällsvetenskapliga, humanistiska och estetiska kunskapsområdena för vidare studier, i samhällsliv och vardagsliv” (Skolverket, 2011, s. 13). Sammantaget kan skrivningarna i de olika styrdokumentet tolkas som att skolans undervisning i naturvetenskap syftar till att eleverna skall utveckla kunnande i naturvetenskap men också om naturvetenskap, och att eleverna skall utveckla en kompetens att omsätta detta kunnande i det vardagliga och samhällsliga livet. Kunnandet skall också utgöra en grund för fortsatta studier.

## 1.2 Elevers kunskande i naturvetenskap

En kvalitativt god undervisning i naturvetenskap är viktig både för den enskilda individen såväl som för samhället sett ur både lokalt, nationellt som globalt perspektiv. Elevers kunskande i och om naturvetenskap, samt deras intresse och attityder gentemot naturvetenskap inklusive undervisning i naturvetenskap, utvärderas fortlöpande. Jag har valt att redovisa ett antal studier av svenska elevers kunskande ur nationellt såväl som ur internationellt perspektiv för att belysa den bild som ges av undervisning i naturvetenskap, dess brister och därmed framtida förändringsmöjligheter.

Den nationella utvärderingen 2003 (NU 2003) av den svenska grundskolan visade att elevers kunskande i alla de naturorienterande ämnena i årskurs 9 hade försämrats sedan 1992 (Skolverket, 2005). Sjunkande resultat i naturvetenskap bland svenska elever i årskurs 8 redovisas även i den internationella utvärderingen Trends in International Mathematics and Science Study, TIMSS 2007, och den nedåtgående trend som man tidigare rapporterat mellan 1995 och 2003 har således fortsatt (Martin, Mullis, Foy, Olson, Erberber, Preuschoff m.fl., 2008; Skolverket, 2008). I den senaste undersökningen presterade de svenska eleverna ungefär i nivå med EU/OECD-genomsnittet.

I TIMSS 2007 deltog för första gången svenska elever i årskurs 4, och resultaten visar att även dessa elevers resultat låg på ungefär samma nivå i naturvetenskap som EU/OECD-genomsnittet. De svenska eleverna är relativt något bättre i biologi men sämre inom områdena fysik och kemi. Resultatet visar också att de elever som har lärare som känner sig mycket väl förberedda att undervisa i fysik och kemi, har bättre resultat på fysik- respektive kemiuppgifterna i TIMSS. (Bach & Frändberg, 2009)

PISA-studien (OECD Programme for International Student Assessment) är ytterligare en internationell studie som utvärderar 15-åriga elevers kunskande i naturvetenskap, men med ett annorlunda fokus än de tidigare nämnda studierna (Skolverket, 2001, 2004, 2007, 2010). Syftet med PISA-studierna är att pröva elevers kunskande och färdigheter som är nära relaterade till vardagslivet, och stor vikt läggs vid elevernas förmåga att sätta in sitt kunskande i ett sammanhang. Det finns dock kritik riktad mot både reliabiliteten och validiteten i de uppgifter som används i PISA-studierna, exempelvis att de är alltför dekontextualiserade, innehåller översättningsmissar samt konstiga och ovanliga ord (Sadler & Zeidler, 2009; Serder, Sørensen & Jakobsson, 2011; Sjöberg, 2007). Detta leder i sin tur till svårigheter för eleverna att förstå vad uppgifterna går ut på. Det är inte heller möjligt att analysera förändringar i absoluta termer vid en jämförelse av resultat från de olika PISA-studierna (Koretz, 2008), men resultaten kan ändå ses som ett

tecken på att svenska elevers resultat har försämrats. I PISA 2009 hamnade det svenska resultatet i naturvetenskap för första gången under genomsnittsnivån i OECD. Finland placerade sig, liksom 2006, i topp bland de nordiska länderna trots att de finska elevernas intresse för naturvetenskap återfanns i botten. Sverige som tidigare har haft bättre resultat än Danmark, Norge och Island placerade sig 2009 på samma nivå som dessa. I PISA 2009 konstaterades för övrigt att det är de lågpresterande eleverna som har tappat mest i naturvetenskap, vilket även gäller deras generella läsförståelse. Även den svenska kunskapsöversikten "Vad påverkar resultaten i svensk grundskola?" (Skolverket, 2009) visar att lågpresterande elevers skolprestationer generellt sjunkit mer än för andra elever i den svenska skolan .

Resultaten från internationella utvärderingar bör, vilket tidigare nämnts, tolkas med viss försiktighet (Koretz, 2008; Serder, Sørensen & Jakobsson, 2011; Sjøberg, 2007). Det beror på att utvärderingarna testar elevers kunskande inom relativt snäva områden, att olika länders styrdokument innehållsmässigt ser olika ut samt att det finns en variation i vilka länder och det antal länder som deltar i ett och samma utvärderingsprogram över tid. Av dessa anledningar riskerar jämförelser relativt ett beräknat medelvärde att vara missvisande. De jämförelser som antingen görs inom ett och samma land över tid eller mellan länder med liknande styrdokument ger därför en bättre bild. Oavsett om de svenska elevernas resultat jämförs med tidigare nationella resultat, eller med resultat från våra nordiska grannländer pekar samtliga utvärderingar på en sjunkande trend när det gäller svenska elevers kunskande i naturvetenskap i grundskolans senare åldrar.

### 1.3 Elevers intresse för naturvetenskap

Önskvärt för lärande i och om naturvetenskap är att elever är intresserade och känner sig motiverade. I TIMSS 2007 redovisades att svenska elevers intresse och självförtroende är stort i årskurs 4 (Bach & Frändberg, 2009). Däremot visade Schreiner och Sjøberg (2007) i en storskalig internationell enkätstudie, ROSE (The Relevance of Science Education), att västeuropeiska, inklusive svenska, elever i åldern 14-16 år svarar att andra *skolämnen* är intressantare än naturvetenskap. Schreiner och Sjøberg fann att en bidragande orsak till detta var att *undervisning* i naturvetenskap och speciellt i fysik inte upplevdes som särskilt intressant eller inspirerande.

Beträffande ämnet fysik i svenska grundskolor bekräftar Skolinspektionen (2010, 2011) att intresset sjunker med stigande ålder. De visar att den fysik-

undervisning som förekommer i årskurs 4-6 i de 29 skolor som granskats är uppskattad av eleverna, men att skolornas uppföljning och bedömning av elevernas kunskande brister. I årskurs 7 och 9 har 35 skolor granskats och resultaten pekar på att undervisningen domineras av faktakunskaper som ryms inom kursplanens område *natur och människa* på bekostnad av undervisning *om naturvetenskap och hur kunskaperna kan användas*. Många av dessa elever tycker att fysikämnet är svårt, att undervisningen är enformig och att det inte är någon mening med att lära sig fysik. Sammantaget indikerar resultaten att undervisning i fysik inte ger eleverna möjlighet att utveckla det kunnande och de förmågor som de förväntas göra enligt de nationella styrdokumentet.

Utifrån den ovan nämnda ROSE-studien beskriver Jidesjö, Oscarsson, Karlsson och Strömdahl (2009) de svenska elevernas intresse för naturvetenskap. Deras slutsatser är att den obligatoriska skolan endast tillgodoser intresset hos en minoritet av eleverna, och det är de elever som väljer att studera vidare inom naturvetenskapliga och tekniska utbildningar. För att stimulera naturvetenskaplig litteracitet hos alla medborgare måste man i skolan tillgodose alla elevers intresse. De menar att det inte bara är en fråga om förmåga att kunna ett innehåll utan lika viktigt är att ha idéer om naturvetenskap, exempelvis förmåga att kunna göra väl underbyggda val och vara medveten om möjliga oönskade konsekvenser.

#### **1.4 Vad vill eleverna lära sig om?**

Elevernas intresse för innehållet i de naturvetenskapliga ämnena varierar. Flickor och pojkar är delvis intresserade av olika innehåll, men det finns också innehåll som intresserar båda könen. Både flickor och pojkar är intresserade av att lära sig naturvetenskap och teknologi som anknyter till människan och mänskliga aktiviteter, och då särskilt hälso- och miljöfrågor (Baram-Tsabari & Yarden, 2005; Jenkins, 2006; Jidesjö, m.fl., 2009; Lindahl, 2003; Millar, 2006; Osborne, Simon & Collins, 2003; Schreiner & Sjøberg, 2007). Analysresultaten från ROSE-studien (Jidesjö m.fl., 2009) av de svenska 15-åriga elevernas intresse pekar åt samma håll: de är särskilt intresserade av innehåll som berör den egna kroppen, hälsa och sjukdomar och de vill lära sig mer om hur de skall hålla sig i form. Samtidigt visar resultaten på att undervisningen i de naturvetenskapliga ämnena inte har bidragit till öka deras kritiska tänkande, och inte heller att den har hjälpt dem att förstå hur de bättre skall ta hand om sin hälsa.

Elevernas intresse för att lära sig hur de skall ta hand om sin hälsa skulle kunna tyda på att de även är intresserade av att lära sig om hur starka ljud påverkar kroppen, hur de skall kunna skydda sig gentemot starka ljud och hur de

kan behålla en god hörsel. Däremot tycks inte svenska elever vara särskilt intresserade hur olika musikinstrument producerar ljud (Jidesjö m.fl., 2009). Vidare var deras intresse för att lära sig om atomer och molekyler också svagt. En förutsättning för att förstå ljud och ljudöverföring är just atomers och molekylers betydelse för ljudöverföring. Det behöver dock inte betyda att undervisning om ljudproduktion eller atomer och molekyler alltid är ointressant. Om innehållet sätts i en för eleverna meningsfull kontext kan det ändå anknyta till elevers intresse. I ROSE-studien fick eleverna, på en fyrgradig skala bland en mängd påståenden, endast uttrycka vilket intresse de hade av att lära sig om: ”hur olika musikinstrument producerar olika ljud” och ”atomer och molekyler”. Påståendena ingick inte i något sammanhang, varvid elevernas tolkningar av deras innebörd kan förväntas variera. Av denna anledning kan man inte dra några generella slutsatser av de erhållna resultaten, och kanske understryker de snarare hur viktigt sammanhanget är för att kunnande i naturvetenskap skall upplevas som meningsfullt.

De studier som jag redovisat ovan pekar på att ett innehåll i skolans fysik- och kemiundervisning som knyts till elevens vardag, berör hälsofrågor och hur eleven ska kunna ta hand om sin hälsa skulle kunna intressera både pojkar och flickor samt stimulera deras lärande. Studierna visar också att eleverna bör ges möjligheter till att träna kritiskt tänkande.

En aktuell hälsofråga som berör ungdomars vardag och som anknyter till deras kunnande i och om naturvetenskap är frågan om höga ljudnivåer. Starka ljud förekommer allt oftare bland unga människor (EU, 2009) och allt fler ungdomar har fått hörselbesvär såsom nedsatt hörsel eller tinnitus (Chung, Des Roches, Meunier & Eavey, 2005). Redan för 10 år sedan efterlyste Fensham (2001) fler studier som handlar om elevers lärande av begrepp som är kopplade till just frågor om miljö och vardagsfrågor med naturvetenskapligt innehåll, t.ex. frågor om ljudnivåer.

## 1.5 Avhandlingens disposition

I kapitel 2 presenteras syfte och frågeställningar och i kapitel 3 redogör jag för de teoretiska antaganden som präglar min studie. Mitt arbete hör hemma inom designforskningsområdet och i kapitel 4 redogör jag kortfattat för detta samt redovisar de överväganden som anknyter till den tradition som utgör grunden för min studie. Efter en sammanfattande idéhistorisk genomgång i kapitel 5 följer en metodgenomgång i kapitel 6. I kapitel 7 summerar jag de artiklar som ingår i avhandlingen och i kapitel 8 formulerar jag en innehållsspecifik hypotes med

aspekter som antas gynna undervisning om ljud, hörsel och hälsa. Därefter följer slutsatser, diskussion och implikationer av resultaten i kapitel 9. Jag avslutar arbetet med en engelsk sammanfattning i kapitel 10. Artiklarna följer som bilagor.

## 2. SYFTE OCH FORSKNINGSFRÅGOR

Det övergripande syftet med avhandlingen är att bidra med kunskap om hur elevers lärande om ljud och ljudöverföring, örats funktion och hörseln samt kunnande om tinnitus utvecklas i samband med undervisning. Förutom kunnande inom området studeras också hur undervisningen påverkar elevernas ställningstaganden i frågor om höga ljudnivåer.

Följande forskningsfrågor har formulerats:

1. Vilken förståelse uttrycker 10 till 14 år gamla elever av ljud och ljudöverföring före och efter en forskningsbaserad undervisning om ljud, hörsel och hälsa?
2. I vilken utsträckning använder eleverna en generell teori för ljud och ljudöverföring när de uttrycker sin förståelse före och efter undervisningen?
3. Vilka uppfattningar har eleverna om hur örat och hörseln fungerar samt vilket kunnande har de om tinnitus före och efter undervisningen?
4. Vilka ställningstaganden uttrycker eleverna i frågor om hörselhälsa före och efter undervisningen?
5. Hur kan en innehållsspecifik hypotes formuleras som är giltig för undervisning om ljud, hörsel och hälsa?

Resultaten i avhandlingen presenteras dels i tre artiklar och dels som ett sammanfattande resultat i form av en innehållsspecifik hypotes i kapitel 8. Artikel 1 behandlar forskningsfråga 3, artikel 2 behandlar forskningsfrågorna 1 och 2 och artikel 3 behandlar forskningsfråga 4. Kapitel 8 besvarar den sista forskningsfrågan genom att formulera aspekter som anger betingelser som antas gynna lärande med förståelse av ljud, hörsel och hälsa.





### 3. TEORETISKA UTGÅNGSPUNKTER

I detta kapitel redogörs för de teoretiska utgångspunkter som utgjort den bakgrund mot vilken hela mitt designforskningsprojekt fått sin vetenskapliga förankring. Här presenteras det sätt att se på *lärande*, ett socialkonstruktivistiskt perspektiv, som ligger till grund för hela projektet. I samband med designen av *undervisningen* har jag utgått från ytterligare perspektiv vilka anknyter till socialkonstruktivismen, och även dessa perspektiv beskrivs. Denna beskrivning motiveras av att de underliggande antaganden som influerar design av undervisning bör tydliggöras (Lijnse, 2010a). Dessa perspektiv utgör också en vetenskaplig grund när resultaten diskuteras.

I var och en av de tre artiklarna redovisas de utgångspunkter som utgjort grunden för analyserna av det empiriska materialet och därmed de forskningsresultat som genererats. Det är resultat beträffande elevers lärande om örat, hörseln och tinnitus (artikel 1) och om ljud och ljudöverföring (artikel 2) samt elevers ställningstaganden i frågor om hörselhälsa (artikel 3).

#### 3.1 Ett socialkonstruktivistiskt perspektiv

Konstruktivismen utgår ifrån att individen konstruerar sin egen förståelse av världen utifrån sina tidigare föreställningar (Piaget, 1954). Det innebär att den värld vi har tillgång till blir den erfarna världen vilket Furth beskriver i boken ”Piaget and knowledge” enligt följande: ”A thing in the world is not an object of knowledge until the knowing organism interacts with it and constitutes it as an object” (Furth, 1969, s. 19). Piaget bortsåg inte från den sociala omgivningens inflytande, men hans fokus var hur individer uppfattar världen. Den sociala interaktionen var däremot något som Vygotsky (1978) satte i fokus beträffande individens lärande.

The zone of proximal development is the distance between the actual developmental level as determined by independent problem solving and the level of potential development as determined through problem solving under adult guidance, or in collaboration with more capable peers. (s. 86)

What children can do with the assistance of others is even more indicative to their mental development than what they can do alone. (s. 85)

Vygotsky menade således att lärande sker i en social omgivning med hjälp av andra vuxna och kamrater i en språklig interaktion. Interaktionen bidrar till att individen möter nya idéer på det sociala planet, reflekterar över deras innebörd,

skapar mening genom att relatera dem till sina tidigare idéer och därefter utgör de det redskap som behövs för det individuella tänkandet (Vygotsky, 1986). Således föregår det talade språket de föreställningar individen utvecklar. Detta meningsskapande kan innebära betydande begreppsmässiga och ontologiska utmaningar när de idéer som synliggörs på det sociala planet inte överensstämmer med den egna förståelsen, varvid den lärande måste omorganisera och rekonstruera sin egen förståelse.

Av ovanstående följer att både Piaget och Vygotsky betraktade den lärande som en aktiv konstruktör i sitt meningsskapande och inte som en passiv mottagare. Piagets och Vygotskys arbeten kan därför betraktas som ”complementary to that of the other” (Shayer, 2003, s. 465), och tillsammans formar de båda synsätten ett socialkonstruktivistiskt perspektiv på lärande (Leach & Scott, 2002; 2003). Den metafor som liknar den lärande vid en container, som skall fyllas med innehåll, är oförenlig med ovanstående syn på lärande (Lakoff & Johnson, 2003). Dewey (1990/1956) menade på liknande sätt att lärandeprocessen är aktiv:

Subject matter never can be got into the child from without. Learning is active. It involves reaching out of the mind. It involves organic assimilation starting from within. (Dewey, 1990/1956, s. 187)

Vidare pekade Dewey (1916, 1929) på språkets betydelse i interaktionen individer emellan:

Language is specifically a mode of interaction of at least two beings, a speaker and a hearer; it presupposes an organized group to which these creatures belong, and from whom they have acquired their habits of speech. It is therefore a relationship, not a particularity. (Dewey, 1929, s. 185)

Språkets betydelse som ett redskap i lärandeprocessen har betonats alltmer under de senaste decennierna (t.ex. Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994; Carlsen, 2007). Driver m.fl. skriver exempelvis:

[...] knowledge and understandings, including scientific understandings, are constructed when individuals engage socially in talk and activity about shared problems or tasks. Making meaning is thus a dialogic process involving persons-in-conversation, and learning is seen as the process by which individuals are introduced to a culture by more skilled members. (s. 7)

Vidare menar Ametller, Leach och Scott (2007) samt Mortimer och Scott (2003) att lärande i naturvetenskap innebär att eleven måste lära sig ett nytt språk, ett vetenskapligt språk (*scientific social language*), som skiljer sig från det vardags-

språk (*everyday social language*) som eleven tillägnat sig utifrån sina erfarenheter i vardagliga sociala sammanhang. Det vetenskapliga språket är det språk som har utvecklats av och används av naturvetare. Dock menar forskarna att det vetenskapliga språk som elever lär sig i undervisning i naturvetenskap är något annorlunda och egentligen borde kallas vetenskapligt skolspråk (*school science social language*). Således innebär lärande att utveckla innebörder av det vetenskapliga skolspråket, relatera det till tidigare idéer samt omorientera och rekonstruera dessa idéer inom den nya diskursen. Denna lärandeprocess är såväl personlig som social, varvid lärarens roll att mediera det vetenskapliga skolspråket är central (Leach & Scott, 2002; Scott, Asoko & Leach, 2007). Olander (2010) har studerat elevers meningsskapande av begrepp inom evolutionsundervisningen. Han menar på liknande sätt att vardagsspråket har betydelse genom att elever använder en blandning av vardagsspråk och vetenskapligt språk, ”interlanguage”, i sitt lärande, och att det är en förutsättning för den meningsskapande processen.

Att kommunicera naturvetenskap handlar förutom om ord även om att kunna förstå och använda andra representationsformer (Coll, France & Taylor, 2005; Lemke, 2003; Norris & Phillips, 2003). Piaget ansåg att det är först när individen konstruerat en inre förståelse av ett objekt som det är möjligt att utveckla en symbolisk uppfattning av detsamma (Furth, 1969). Att lära ett naturvetenskapligt språk innebär en synergistisk integrering av olika symboler som ord, diagram, bilder, grafer, kartor, ekvationer, tabeller, diagram och andra former av visuella eller matematiska uttryck (Lemke, 2003). Inom naturvetenskapen används ofta ytterligare en representationsform för att beskriva olika abstrakta fenomen, och det är modeller. Duit och Treagust (2003) påpekar dessutom att modeller är utmärkta att använda som redskap för att identifiera hur elevers epistemologier och ontologier utvecklas och förändras vid lärande i naturvetenskap, och då särskilt i samband med ”conceptual change”. I enlighet med Duit och Treagust betonar Prain, Tytler och Peterson (2009) vikten av att elevernas egna representationer lyfts fram och används i undervisningen. De skriver:

[...] negotiating representational meaning encourages the students to consider both the adequacy of their representation to their current ideas, as well as the adequacy of the representation to the phenomena they are attempting to explain. (s. 805)

Olika representationsformer skall sedan byggas samman när naturvetenskapliga fenomen skall förklaras och förstås. Ogborn, Kress, Martins och McGillicuddy (1996) anser att strukturen i en vetenskaplig förklaring är analog med den struktur som finns i en vanlig berättelse.

There is a world of protagonists (electrons, genes, etc.) which have their proper powers of action. They enact a sequence of events (a current flows, proteins are made). This sequence has an outcome, namely the phenomenon to be explained (a lamp glows, a cell develops). The point of the analogy is that none of these three components can, in science, be taken for granted. Much explanation has to concern the protagonists and the events they enact. Nor may the phenomenon to be explained be at all obvious (e.g. motion of continents). (Ogborn m.fl., 1996, s. 137)

Strukturen förutsätter att de ingående protagonisterna först måste beskrivas innan läraren kan bygga upp en berättelse som förklarar det naturvetenskapliga fenomen där de ingår. Ogborn m.fl. påpekar att många förklaringar ges i klassrummet utan att de ingående protagonisterna är förståeliga för eleverna, och därmed har inte eleverna någon möjlighet att förstå det fenomen som förklaras. De jämför det hela med ett isberg: förklaringen motsvarar toppen av ett isberg och därunder ligger en mängd gömda delförklaringar som är osynliga. Ett av de exempel som Ogborn m.fl. lyfter fram är begreppet ljudvågor, vilket symboliserar den synliga delen av isberget, och som ofta ensamt används för att förklara ljud och ljudöverföring (Ogborn m.fl., 1996, s. 13). Wickman och Ligozat (2011) pekar på samma problematik när de skriver att “a definition in terms cannot help the child as long as the child does not already know all the terms that are used in the explanation” (s. 148).

Elevers förståelse av och lärande i skolans naturvetenskap är således beroende av hur innehållet kommuniceras i undervisningen. Denna kommunikation är en förutsättning för att eleverna ska ha möjligheter att väva samman sina vardagserfarenheter med skolans naturvetenskap och vice versa.

## 3.2 Kommunikationsmönster

De kommunikationsmönster som används i undervisningen är av betydelse för den sociala interaktionen och därmed elevens meningsskapande. Mortimer och Scott (2003) har utvecklat ett sätt att se på kommunikationsmönster i klassrummet som har betydelse för lärande och undervisning. De delar in de olika mönstren i interaktivt/auktoritativt, interaktivt/dialogiskt, icke-interaktivt/auktoritativt och icke-interaktivt/dialogiskt kommunikationsmönster. Det kommunikationsmönster som bör tillämpas är beroende av uppsatta lärandemål. Mortimer och Scott och många andra forskare (t.ex. Barnes & Todd, 1977; Mercer, Daws, Wegerif & Sams, 2004; Treagust, Jacobowitz, Gallagher & Parker, 2001) understryker vidare att en kombination av lärarledda diskussioner och smågruppsdiskussioner underlättar elevernas lärande. Diskussion i smågrupp

fyller en viktig funktion genom att sådana diskussioner utmanar och utvecklar elevens förståelse av gällande terminologi eftersom eleven ges tillfälle att formulera sin egen förståelse och pröva den gentemot de andra i gruppen. Lärarens roll är även viktig i detta sammanhang eftersom lärarens ansvar är att se till att diskussionen stimuleras och fördjupas. I den lärarledda undervisningen har det kommunikationsmönster som kommer till uttryck stor betydelse för elevernas engagemang och lärande. Lemke (1998) pekade på att ett vanligt kommunikationsmönster är att läraren initierar en fråga, eleverna svarar på den och att läraren slutligen utvärderar svaret. Lemke kallade mönstret för IRE-dialoger (initiera-respondera-evaluera) och menade att detta samtalsmönster borde förändras.

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. (Lemke, 1998, s. 168)

### 3.3 "Learning demand"

Jag har tidigare i detta kapitel visat på vikten av den sociala interaktionen för elevens lärande, och att andra mer kunniga personer har en avgörande betydelse. Vygotsky (1978) kopplade samman lärande och undervisning utifrån begreppet *närmaste utvecklingszonen* (Zone of Proximal Development, ZDP). Den närmaste utvecklingszonen utgör ett mått på skillnaden mellan vad en elev kan uppnå genom att arbeta på egen hand jämfört med vad eleven kan förstå med stöd och hjälp av andra som kan mer. Lärarens roll i klassrummet blir då att göra den kunskap och det sociala språk som finns inom naturvetenskapen tillgängliga på det sociala planet, och stödja eleverna när de försöker att förstå. I detta ingår att läraren också auktoritativt måste introducera vetenskapliga begrepp, och därefter ge eleverna tillfälle till att själva tala och tänka med hjälp av dessa konceptuella redskap. Vygotsky menar att vetenskapliga begrepp ofta är osynliga, abstrakta eller på annat sätt otillgängliga, och att de aldrig kan uppkomma ur praktiska erfarenheter hur kreativa dessa än är.

Av denna anledning är det viktigt att läraren gör en bedömning av elevens förståelse av det specifika innehåll som undervisningen handlar om, samt relaterar den förståelse eleven ger uttryck för till de vetenskapliga uppfattningar som är målet för elevens lärande. De vardagsuppfattningar som eleven ger uttryck för och som skiljer sig från ett vetenskapligt synsätt brukar ofta benämnas *alternativa uppfattningar* ("alternative conceptions"), och sådana finns beskrivna i den inter-

nationella forskningslitteraturen inom en mängd olika områden (t.ex. Duit, 2009). Det finns också ett antal olika benämningar på sådana elevuppfattningar. Driver och Easley (1978) skiljer till exempel i sin forskningsöversikt på *alternativa uppfattningar* ("alternative frameworks"): idéer som eleven själv har utvecklat genom sin egen erfarenhet av den fysiska världen, och *missuppfattningar* ("misconceptions"): idéer som oftast är ett resultat av att eleven har stött på formella modeller eller teorier och inte assimilerat dem på ett korrekt sätt. Med alternativa uppfattningar avser jag de uppfattningar som eleverna har med sig till undervisningen och som skiljer sig från de vetenskapliga uppfattningar som är målet för deras lärande. Lärarens viktiga uppgift är därför att identifiera den skillnad som finns mellan de alternativa uppfattningar eleverna ger uttryck för och de vetenskapliga uppfattningarna. Denna skillnad benämns i forskningslitteraturen för *learning demand* (Ametller m.fl., 2007; Leach & Scott, 1995, 2002, 2008).

Learning demand [...] involves making a comparison between two social languages [...] this comparison is used to identify the precise nature of the content-specific learning that needs to be supported through teaching. (Ametller m.fl., 2007, s. 484)

När läraren har identifierat det eventuella glapp som finns mellan elevens vardagsspråk (everyday social language) och det vetenskapliga skolspråket (school science social language) kan läraren stödja eleven att med hjälp av språket konstruera en mer vetenskaplig uppfattning.

### 3.3 Formativ bedömning

I samband med undervisning bedömer lärare elevers kunskande. Bedömningar kan göras med två olika utgångspunkter: summativ och formativ. Summativ bedömning genomförs när en verksamhet är avslutad såsom vid betygsättning av ett avslutat område eller en kurs. Formativ bedömning görs fortlöpande och används som ett redskap av läraren för att forma den fortsatta undervisningen med syfte att bidra till ökat lärande för eleverna. Detta är i överensstämmelse med det kända citatet av Ausubel (1968):

If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly. (s. vi)

Forskningsöversikter över ett stort antal studier från hela världen visar entydigt att formativ bedömning och relevant återkoppling till eleverna är ett av de kraftfullare redskap som finns beträffande elevers lärande (Black & Wiliam, 1998a, 1998b; Hattie, 2009; Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008). Studierna pekar på

att formativ bedömning förbättrar elevernas motivation, självkänsla och lärande. Många av studierna visar dessutom att formativ bedömning gynnar alla elever och särskilt lågpresterande elever, vilket innebär att spännvidden mellan eleverna minskar samtidigt som gruppens totala prestationsnivå ökar. I kapitel 1 har jag visat att det under senare tid finns tydliga tecken på att de lågpresterande elevernas kunskaper i naturvetenskap har försämrats i högre grad än andra elevers kunskaper, och inte minst av denna anledning finns det skäl att uppmärksamma den potential till lärande som formativ bedömning erbjuder.

Det kan vara mödosamt att förändra en gällande undervisningspraxis som huvudsakligen bygger på summativ bedömning. Översikterna visar att det krävs intresse, motivation samt kunskaper om formativ bedömning för att en förändring skall komma till stånd. Black, Harrison, Lee, Marshall och Wiliam (2003; 2004) genomförde exempelvis ett undervisningsprojekt baserat på formativ bedömning i England tillsammans med lärare och elever i åldern 11 till 16 år under åren 1999 och 2001. Man fann att lärarnas upplevelser av den nya uppläggnings förändrades under projektiden: initialt beskrev lärarna att de kände sig osäkra och att de hade en känsla av att de tappat kontrollen, men mot slutet upplevde de snarare att de tillsammans med eleven delade på ansvaret för elevens eget lärande.

De nämnda forskningsöversikterna visar att formativ bedömning och formativ återkoppling är komplext. Gemensamt pekar de olika studierna på att det finns en grundläggande framgångsfaktor för lärandet, och det är tydliga lärandemål. Hattie och Timperley (2007) menar vidare att en ideal lärandesituation uppkommer när både elever och lärare söker svar på följande tre grundläggande frågor: "Where am I going?", "How am I going?" och "Where to next?" (Hattie & Timperley, s. 86). Frågorna syftar till att hjälpa eleven med att identifiera klyftan mellan vad eleven hittills har lärt sig och vad som återstår att lära. Hattie och Timperley poängterar att elevens egen förståelse av denna diskrepans är en helt avgörande faktor för elevens lärande genom att den bidrar till elevens ökade ansträngningar, motivation och engagemang för att lära mer samt möjligheter att nå det uppsatta målet. Här framgår med all tydlighet att formativ bedömning är framåtsyftande till skillnad från summativ bedömning, där fokus endast ligger på de två första frågorna, det vill säga var eleven befinner sig i relation till målet.

En förutsättning för att eleven och läraren skall bli medvetna om var eleven befinner sig är att eleven, som tidigare har beskrivits, ges rika tillfällen att formulera sin egen förståelse. Black och Wiliam (1998a, 1998b) hävdar att elevernas möjligheter att uttrycka sin förståelse skall ingå i varje del av undervisningen

eftersom denna växelverkan mellan undervisning och formativ bedömning leder till ett effektivare lärande. Diskussioner, i helklass eller smågrupper, i ett öppet och tillåtande klassrumsklimat kan ge läraren rika möjligheter att utforska elevernas förståelse av begrepp eller företeelser när läraren tillåter elevernas olika uppfattningar att komma fram (Black, Harrison, Lee, Marshall & Wiliam, 2003; Mortimer & Scott, 2003). På så vis kan elevernas svar ge läraren en bild av vad eleverna har lärt sig i förhållande till målet och vilka eventuella oklarheter som behöver redas ut. En annan positiv effekt för eleverna av att deras olika uppfattningar lyfts fram är att det bidrar till att öka deras medvetenhet om vilka idéer som överensstämmer respektive inte överensstämmer med gällande teorier. Black m.fl. (2003) understryker att kunnande i naturvetenskap är lika mycket att känna till vilka idéer som inte är giltiga såväl som att känna till dem som idag anses vara giltiga. Osborne, Erduran och Simon (2004) menar att detta kunnande är en del av att vara naturvetenskapligt litterat.

[...] the view developed in literacy studies that secure knowledge and understanding are as much a product of knowing why some ideas are erroneous as much as why other ideas are correct. (Osborne m.fl., 2004, s. 997)

Black m.fl. (2003) betonar att en förutsättning för att få fram elevernas olika uppfattningar är att läraren ställer frågor i syfte att utforska just detta och inte är ute efter ett specifikt svar. Mortimer och Scott (2003) understryker dock att all klassrumsundervisning inte kan ha denna struktur, exempelvis blir lärarens roll en annan när ett område skall introduceras eller knyts ihop och sammanfattas. Rowe (1974) poängterar vidare att eleverna behöver tid innan läraren låter dem svara på en ställd fråga. När läraren svarar på sin egen fråga efter bara två eller tre sekunder och när en minut av tystnad inte tolereras finns det ingen möjlighet för eleven att tänka ut ett svar. Black och Wiliam (1998a, 1998b) skriver att de enda frågor som kan ge svar på så kort tid är faktafrågor och dessa kommer då oftast att dominera. En uppenbar risk är att många elever inte ens försöker tänka ut ett svar eftersom de vet att de inte hinner, och resultatet blir att ett fåtal elever i klassen svarar på lärarens frågor. Lektionen kan på så vis flyta på utan att majoriteten av eleverna egentligen förstår innehållet. Vidare skriver Black och Wiliam att ett annat alternativt sätt att ge eleverna tid är att be dem formulera sina idéer antingen parvis och/eller i små grupper och därefter låta en elev i paret/gruppen berätta vad de kommit fram till. Ytterligare sätt är att ge eleverna ett val mellan olika möjliga svar och be dem att rösta på de olika förslagen, eller att be alla skriva ner ett svar och därefter låta några av dem läsa upp för klassen vad de skrivit.



## Återkoppling

Forskningsöversikterna visar att det är effektivt med skriftlig återkoppling (feedback) på individnivå, men det förutsätter att den används på ett genomtänkt sätt annars kan det bli motsatt effekt. Färre och väl genomtänkta återkopplingar har gett bättre resultat än ofta förekommande, oreflekterade kommentarer. Om återkopplingen dessutom består av ett innehåll som handlar om elevens speciella kvaliteter i hennes/hans arbete, med råd om vad eleven kan göra för att närma sig målet för sitt lärande blir återkopplingen än effektivare. I enlighet med detta fann Black m.fl. (2003, 2004) att lärare som regelbundet använde sig av formativ bedömning gav mer genomtänkt återkoppling men vid färre tillfällen. Hattie och Timperley (2007) och Shute (2008) har gjort en fördjupad analys av vad som kännetecknar den återkoppling som ger positiva lärandeffekter. I princip handlar det om tre nivåer av återkoppling: feedback på uppgifts-, process- eller metakognitiv nivå. Många gånger ges även personlig feedback, det vill säga att elevens personliga egenskaper värderas, men forskningsöversikterna pekade på att sådan återkoppling sällan gav positiva effekter på elevens lärande.

Beträffande feedback på uppgiftsnivå rekommenderar Hattie och Timperley (2007) och Shute (2008) att återkoppling som riktas gentemot ett specifikt innehåll i elevens arbete/uppgift skall innehålla enkla, konkreta förslag om hur arbetet/uppgiften kan förbättras, utvecklas eller genomföras. Specifik återkoppling som beskriver vad, hur och varför något skall göras har visat sig vara mer framgångsrik än den återkoppling där läraren enbart verifierar, via uttryck som exempelvis rätt, fel och korrekt, vad eleven gjort. Det rekommenderas vidare att detaljerad information ska ges i mindre portioner, eftersom alltför omfattande återkoppling lätt förkastas eller alternativt bidrar till ytlinärning. Forskarna fann att återkoppling som ges stegvis erbjuder eleven möjligheter att själv kontrollera sina misstag och att korrigera felaktigheter. Feedback på nästa nivå, processnivån, innehåller information om hur eleven kan arbeta vidare med mer utmanande uppgifter och innehåller förslag på lämpliga strategier. Det innebär att fokus ligger på process- och färdighetskunskaper och inte på uppgiftens innehåll i sig. De ovan nämnda översiktsstudierna visade att sådan återkoppling kan utveckla elevens syn på måluppfyllelse och att fokus på genomförande kan ändras till fokus på lärande. En ytterligare nivå av formativ bedömning, metakognitiv nivå, är att träna eleverna att själva utvärdera sitt eget lärande. Forskarna betonar att det kan ske först när eleven har en klar bild över vilka lärandemål som skall uppnås. Eleven behöver också information om hur långt hon/han kommit på vägen och ha någon form av förståelse för hur hon/han skall kunna komma vidare. Denna form av återkoppling har visat sig

kraftfull genom att den leder till ökat engagemang samt ökar elevens vidare ansträngningar att genomföra uppgiften. Elevens arbetsinsats blir helt enkelt effektivare.

Tidigare har nämnts att feedback gentemot individen som person är tveksamt när det gäller elevens lärande. Beröm riktar elevens uppmärksamhet mot den egna personen och det tar bort fokus från uppgiften och därmed lärandet. Feedback som är kritisk och kontrollerande gentemot eleven hotar självkänslan och påverkar lärandet i negativ riktning. Negativa effekter fås också när elever indirekt eller direkt jämförs med andra elever eller när deras prestationer graderas eller betygsätts. En studie (Butler, 1988) jämförde hur elever reagerade på olika former av återkoppling, varvid resultaten visade att de elever som endast fick kommentarer gjorde stora framsteg, de som endast fick betyg lärde sig inget mer, och de som fick både kommentarer och betyg lärde sig inte heller något mer. Butler menade att dessa resultat gjorde att hela klassrumskulturen med betyg, graderingar, guldstjärnor och premier kunde ifrågasättas eftersom de inte bidrog till ökat lärande. Enligt Black och Wiliam (1998a) blir konsekvensen att eleverna undviker svåra frågor om de kan välja. De lägger tid och energi på att söka efter ledtrådar för att finna det ”rätta” svaret. Faktiskt blir många lågpresterande elever ovilliga att ställa frågor för att de lär sig att de saknar förmåga och är rädda för att misslyckas, vilket bidrar till att de undviker att satsa på lärande eftersom det bara leder till besvikelser. De försöker istället att bygga upp sin självkänsla på annat sätt.

### **En förändrad klassrumskultur**

Forskningsresultaten visar att det inte finns något enkelt sätt att utveckla formativ bedömning, och varje lärare som försöker förändra sin praxis mot ett mer formativt sätt att arbeta kommer med all sannolikhet att stöta på en del svårigheter i början. Ett skäl är att när elever möter en form av bedömning de inte är vana vid kan man förvänta sig att de reagerar med motstånd och osäkerhet eller att de upplever det nya som hotfullt. Eleverna tror automatiskt inte på ett förbättrat lärande förrän de själva har upplevt fördelen med detta arbetssätt. Black och Wiliam (1998a) menar att väsentligt för all formativ bedömning är lärarens inställning och att läraren är realistisk och konfronterar sig själv med frågan: ”Do I really know enough about the understanding of my pupils to be able to help each of them?” (s. 144).

### 3.4 Scientific literacy

De utvärderingar som redovisats i kapitel 1 pekar på att det finns ett ifrågasättande av och en kritisk diskussion om innehållet i skolans naturvetenskap. Utvärderingarna pekar på att undervisningen bör anknyta mer till elevernas liv och ge dem sådana färdigheter att de kan omsätta sitt kunnande i vardagen. Redan för drygt 100 år sedan skrev Dewey (1990/1956) i sin essä ”The Child and the Curriculum” om vikten av att kombinera elevens erfarenheter med undervisningens innehåll:

Abandon the notion of subject-matter as something fixed and ready-made in itself, outside the child’s experience; cease thinking of the child’s experience as also something hard and fast; see it as something fluent, embryonic, vital; and we realize that the child and the curriculum are simply two limits which define a single process. (s. 189)

Under de senaste 50 åren har det pågått en livlig diskussion om innehållet, utformningen och syftet med undervisning i och om naturvetenskap. Internationellt har oftast termen *scientific literacy* (SL) använts med den allmänna betydelsen ”what we expect students to know and be able to do as a result of their science learning experiences” (Sadler & Zeidler, 2009, s. 910). Roberts (2011) menar att termen SL är så allmänt förekommande att den ”has become something of a science education icon” (s. 13), och att det inte finns någon enhetlig tolkning av innebörden. Utifrån sin omfattande genomgång och klassifikation av olika studier inom ”science education” visar Roberts (2007) att SL omfattar två delvis konkurrerande och övergripande visioner beträffande skolans undervisning i naturvetenskap. *Vision I* syftar till att eleven skall lära sig naturvetenskapens produkter och processer, medan *Vision II* syftar till att eleven skall kunna omsätta sitt kunnande i vardagliga situationer med naturvetenskapligt innehåll. Roberts menar att det är viktigt att uppmärksamma att innehållet i skolans undervisning innehåller komponenter från de båda visionerna.

Det finns ett antal framväxande traditioner som berör undervisning i naturvetenskap och som kan kopplas till Vision II. Ett sådant exempel är Aikenhead (2006) som för fram vikten av ett *humanistiskt perspektiv* inom skolans undervisning i naturvetenskap. Detta perspektiv inbegriper bland annat ”moral reasoning integrated with values, human concerns, and scientific reasoning” (s. 39). Andra exempel är de traditioner som kallas *Science-Technology-Society* (STS), *public understanding of science* (PUS), *context-based science* och *socioscientific issues* (SSI) (Sadler & Zeidler, 2009). SSI definieras som komplexa, öppna och i avsaknad av fasta svar (Sadler, 2004), och Sadler och Zeidler kategoriserar dem som en extrem variant inom Vision II:

Based on Roberts' characterization of SL and borrowing his language we would place our views 'at the extreme' of Vision II in that we believe scientific literacy ought to entail understandings and practices pertinent to 'science-related situations' in which individuals integrate science and other 'considerations'. (s. 912)

Osborne och Dillon (2008) anser att ett bredare perspektiv på undervisning i naturvetenskap kan bidra till att utveckla elevernas förmåga att i egenskap av samhällsmedborgare kritiskt kunna engagera sig naturvetenskap.

Rather, societies need to offer their young people an education in and about science – and that this needs to be an education that will develop an understanding of the major explanatory themes that science has to offer and contribute to their ability to engage critically with science in their future lives. In addition it should help develop some of the key competencies that the EU aspires to for its future citizens. (Osborne & Dillon, 2008, s. 27)

Feinstein (2011) menar att det inte räcker med att enbart argumentera för att kunnande skall vara användbart i vardagslivet, utan att ”when someone says science education is useful in a particular way, we should be able to find evidence for or against that claim, at least in theory” (s. 169).

## Argumentationsfärdigheter

En viktig kompetens inom SL är elevers argumentationsfärdigheter (Driver, Newton & Osborne, 2000; Zohar & Nemet, 2002). Alla människor måste fortlöpande göra personliga, etiska och moraliska ställningstaganden som berör ett naturvetenskapligt innehåll. Vi möter en mängd sådan information via Internet, TV, press och andra media, samt via människor i vår närhet. Det kan vara svårt att förhålla sig kritiskt gentemot detta informationsflöde och särskilt i känsliga frågor. Det kräver både en medvetenhet om de egna ställningstagandena och på vilka grunder dessa ställningstaganden bygger. Därför är det viktigt att öka kvaliteten av unga människors förståelse av argumentation i allmänhet men också deras kompetens att bygga argument med hjälp av vetenskapligt kunnande (Osborne m.fl., 2004).

Under de senaste årtiondena har betydelsen av argumentation inom undervisning i naturvetenskap betonats alltmer i den forskning som redovisas över elevers lärande (Erduran & Jimenez-Alexandre, 2007). Studien av Osborne m.fl. (2004) visade att det tar tid för elever att utveckla argumentationsfärdigheter, och att deras kompetens ökade när de fått explicit undervisning i argumentation. Eleverna i den nämnda studien fick exempelvis träna på att argumentera utifrån ett specifikt naturvetenskapligt innehåll, och de fick lära sig att skilja på vetenskapligt grundade påståenden och sådana som byggde på andra uppfattningar.

De fick också öva på argumentation inom en ”socioscientific” kontext, det vill säga utifrån ett innehåll där vardagsfrågor anknöts till naturvetenskapligt kunnande. Även Sadler (2004) skriver i en forskningsöversikt att många elever behöver ha tydliga instruktioner om vilka strategier som kan användas för att utvärdera en vetenskaplig rapport, samt att eleverna behöver lära sig att skilja på information för att avgöra om den är vetenskapligt underbyggd eller inte. För att kunna värdera information från olika informationskällor behövs därför ett kritiskt förhållningssätt (Aikenhead, 2006):

To engage with science and technology toward practical ends, people must be able to critically assess the information they come across and critically evaluate the trustworthiness of the information source. (s. 2)

Undervisning i naturvetenskap bör således ge en rik och nyanserad bild av naturvetenskap som visar på dess framväxt och komplexitet och inte bara på naturvetenskap som färdig och ”sann” kunskap (Black m.fl., 2003; Osborne m.fl., 2004).

Also, given that argumentation is a major constitutive element of science itself, and of our cultural mileau, developing some understanding of its nature and function is an essential component of the education of all young people. Engaging students in argumentation and its evaluation offers a means of transcending the dogmatic, uncritical, and unquestioning nature of so much of the traditional fared offered in science classrooms. (Osborne m.fl. 2004, s. 1017)

Oavsett om undervisningens innehåll berör fysik, biologi, kemi eller ett övergripande naturvetenskapligt innehåll, där dessa ämnens innehåll har integrerats, finns det riktiga möjligheter att i undervisningen låta eleverna träna sin kompetens att bygga argument med hjälp av vetenskapligt kunnande.

### 3.5 Integrationsaspekter

Elevers konstruktion av de övergripande begrepp och sammanhang som finns inom naturvetenskapen är beroende av hur dessa medieras i de olika naturvetenskapliga skolämnena. Av denna anledning kan ett resonemang om värdet av och innebörden av ämnesintegration vara av betydelse för design av undervisning.

Jag har utifrån ett antal utvärderingar (kapitel 1) redovisat att svenska elever i årskurs 4-6 tycks vara intresserade av naturvetenskap, men däremot att intresset hos de äldre grundskoleeleverna är relativt svagt och i synnerhet i fysik. Däremot är de äldre eleverna intresserade av miljö- och hälsofrågor. Sammantaget pekar resultaten på att det skulle kunna vara positivt att i undervisningen integrera

innehåll från fysik och kemi med innehåll från biologiämnet samt att koppla det till miljö- och hälsofrågor. De redovisade studierna, både i kapitel 1 och de som berör diskussionen om SL och argumentation tidigare i detta kapitel, visar även på vikten av att innehållet knyts till elevens vardag.

En väsentlig fråga i sammanhanget är vilka effekter en integrering av olika skolämnen kan ha på elevernas lärande. Åström och Karlsson (2007) har studerat elevresultat från de 15-åriga svenska elever som deltog i PISA-studien 2003. De har jämfört elevresultat från skolor där man angett att undervisningen i naturvetenskap varit uppdelad i separata ämnen (biologi, fysik och kemi) med elevresultat från skolor där man angett att man har integrerat de olika ämnena i undervisningen (naturvetenskap). Det finns också skolor som angett att det finns undervisning av båda slagen. Resultaten av analysen visar att det inte fanns några signifikanta skillnader med avseende på svenska elevers litteracitet i naturvetenskap med hänsyn taget till hur undervisningen organiserats. Åström (2008) har även gjort en liknande studie av resultaten från PISA 2006, och den visade en tendens till att flickornas resultat var något bättre på skolor där undervisningen i de naturvetenskapliga ämnena integrerats.

Ett dilemma beträffande forskningsresultat som anknyter till integrerad undervisning är att innebörden av begreppet integration i skolundervisningen är mångfacetterat. Olika studier visar exempelvis att lärare lägger olika innebörd i vad som avses med ämnesintegrerad undervisning i naturvetenskap (Dawson & Venville, 2010; Venville, Rennie & Wallace, 2004; Persson, Ekborg & Garpelin, 2009; Åström, 2008). I forskarvärlden finns inte heller någon entydig definition: det finns forskare som efterlyser en allmängiltig definition och det finns andra som istället eftersträvar en mångfald av definitioner (Hurley, 2001). Drake (1991, 1998) diskuterar exempelvis integration utifrån ett progressionsperspektiv där skillnaden mellan ämnena gradvis suddas ut. Han menar att i den enklaste varianten av integration, den multidisciplinära uppläggningsen, sker undervisningen utifrån ett tema eller frågeställning som studeras samtidigt. Undervisningen genomförs i olika klassrum, varvid eleverna själva förväntas stå för integrationen. Nästa variant representeras av den interdisciplinära uppläggningsen där ämnena är sammankopplade och sambanden görs explicita för eleverna. Den tredje varianten, det transdisciplinära, utgår inte utifrån själva ämnesdisciplinerna utan baseras på en vardagskontext.

Det finns många studier som visar på fördelar med integrerad undervisning, men det tycks ännu inte finnas någon konsensus i forskarvärlden om integrerad undervisning är att föredra eller inte (Berlin & Lee, 2005; Czerniak, 2007). Oftast handlar dessa studier om hur undervisningen gått till. Däremot finns det relativt

få artiklar som belyser elevers lärande utifrån teoretisk och empirisk grund (Berlin & Lee, 2005). Dawson och Venville (2010) diskuterar olika sätt att se på forskningsresultat vilka anknyter till undervisning och integration. De menar att det å ena sidan finns forskare som argumenterar för undervisning utifrån en ämnesdisciplinär uppläggning med skarpt avgränsade skolämnen. Argument för sådan undervisning är att den ger det speciella kunnande som behövs för att förstå ett ämnes specifika aspekter. Å andra sidan finns det förespråkare vilka argumenterar för integrerad uppläggning som öppnar för möjligheter att gå utanför strikta ämnesgränser och möta de erfarenheter eleverna har med sig från livet utanför skolan. Dawson och Venville menar att ett dilemma är att helt skilda resultat kan fås av en och samma studie beroende på vilket teoretiskt perspektiv som anläggs. Resultaten kan bli en besvikelse om de elever som studeras arbetar utifrån en integrerad uppläggning och deras lärande analyseras utifrån ett strikt ämnesdisciplinärt perspektiv och vice versa.

En risk med integrerad undervisning är att lärandet av det begreppsliga innehållet åsidosätts, och därför är det även i detta sammanhang väsentligt med tydliga lärandemål och ett medvetet arbete för måluppfyllelse (Czerniak, 2007; Lederman & Niess, 1997; Venville, Wallace, Rennie & Malone, 2002). Kunnande om lärandemål och måluppfyllelse ingår som en del i lärarens kompetens. Osborne m.fl. (2003) anknyter i sin forskningsöversikt till lärarens kompetens i relation till lärarens möjligheter att genomföra integrerad undervisning:

One of Woolnough's recommendations for preserving good science teaching is that teachers should teach what they feel comfortable with, as teachers in the study were happiest and most enthusiastic teaching their specialist subjects – a finding that clearly has implications for the organization of the curriculum in separate versus integrated disciplines. (s. 1068)

Ämnesinnehållet i undervisningen kan följaktligen integreras på olika sätt, och dessutom förekommer det en integration av ämnesinnehållet inom en och samma individ. Andersson (1994) menar att den enskilda eleven konstruerar helheter av delar, och att eleven på så vis kan integrera kunnande inom ett och samma skolämne och/eller mellan olika skolämnena.

Ett ensidigt fokus på ämnesdiscipliner riskerar att ge negativa effekter både på grundskoleelevers lärande och intresse. Eftersom undervisningen i den obligatoriska skolan syftar till att eleven skall utveckla ett grundläggande kunnande ur ett holistiskt perspektiv, det vill säga ett kunnande som kan omsättas i nuvarande och framtida liv, skulle en undervisning som ger en integrerad helhetsförståelse för olika naturvetenskapliga fenomen kunna stimulera elevers intresse och lärande på ett positivt sätt.

### 3.6 Lärarens kompetens

De perspektiv på lärande och undervisning som jag har presenterat ovan utgör delar av en professionell lärarens ämnesdidaktiska kompetens (Zetterqvist, 2003), och denna kompetens är avgörande för undervisningens kvalitet och elevens lärande. De kunskapsområden som Zetterqvist har identifierat och som ingår i den ämnesdidaktiska kompetensen är: teorier om lärande, ämnesteori, läro- och kursplaner, ramfaktorer, läromedel, elevens förutsättningar, lärarens egna förutsättningar, undervisningsstrategier och utvärdering (s. 43). Således utgörs den ämnesdidaktiska kompetensen av lärarens samlade kunnande om ämnesteoretisk, pedagogisk och ämnesdidaktisk forskning.

En mycket omfattande forskningsöversikt av Hattie (2009) bekräftar att läraren är den faktor som påverkar elevens lärande allra mest. Andersson och Bach (2005) samt Wallin (2004) poängterar dessutom att läraren har en central betydelse som bärare av den naturvetenskapliga kulturen. Att lärarens kompetens och entusiasm är avgörande för elevernas lärande och attityder gentemot naturvetenskap visas även i en forskningsöversikt av Osborne m.fl. (2003):

[...] the single most important change that could be made to improve the quality of science education would be the recruitment and retention of able, bright enthusiastic teachers of science. (s. 22)

Osborne, Simon och Tytler (2009) ifrågasätter det som de anser vara en vedertagen uppfattning: att de bästa lärarna skall undervisa äldre elever. De menar att den mest kritiska perioden för elevers intresse och lärande i naturvetenskap är åldern 10-14 år och för detta behövs kunniga och kompetenta lärare. Att kvalitativt god undervisning i denna ålder kan ha avgörande betydelse för elevers framtida intresse för naturvetenskap återfinns även i andra studier (Lindahl, 2003; Martin m.fl. 2008; Osborne & Dillon, 2008).

### 3.7 Avslutning - på väg mot design

I detta kapitel har jag redovisat de teoretiska utgångspunkter som på olika sätt haft betydelse för min studie. Eftersom mitt arbete är en designstudie är det viktigt att synliggöra underliggande antaganden vilket är något som Lijnse (2010a) framhåller:

As all education is based on values, the design of teachable didactical structures asks for an explicit embedding in what could be called a 'total view' of science education. That



means an integrated view on the nature of teaching and learning, the nature and content of science, the nature and aims of education in general, and of science education in particular. (s. 99)

Designforskningen presenteras närmare i nästa kapitel.



## 4. UNDERVISNINGSDSIGN

I detta kapitel ges en översikt över designforskning inom *educational design-based research* och dess olika traditioner inklusive den svenska tradition som jag byggt mitt avhandlingsarbete på. Därefter presenteras de utgångspunkter som är centrala i denna tradition, och som jag använt mig av vid designen av det forskningsbaserade material som jag utvecklat inom avhandlingens ram. Detta material ligger till grund för undervisningen och utgör därmed en del av mitt forskningsinstrument.

### 4.1 Designforskning

Flera forskare framhåller att traditionell forskning inte har haft någon större genomslag i undervisningspraktiken såsom forskning inom områdena medicin, teknik och naturvetenskap haft i sina respektive praktiker (t.ex. Walker, 2006; Lijnse, 2000; Millar, 1989). Ett övergripande argument som talar för designforskning är just dess relevans för praktiken (van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen, 2006). Även Lijnse menar att sådan forskning kan bidra till att överbygga klyftan teori-praktik och samtidigt utveckla teorier i relation till ett givet innehåll, det vill säga innehållsspecifik didaktisk kunskap. Följande punkter anses generellt karaktärisera existerande designforskning (van den Akker m.fl., 2006, s. 5):

- Interventionist: the research aims at designing an intervention in the real world;
- Iterative: the research incorporates a cyclic approach of design, evaluation and revision;
- Process-oriented: a black box model of input-output measurement is avoided, the focus is on understanding and improving interventions;
- Utility-oriented: the merit of a design is measured, in part, by its practicality for users in real contexts; and
- Theory oriented: the design is (at least partly) based on theoretical propositions, and field testing of designs contributes to theory building.

För att klargöra designforskningens forskningsanspråk i relation till traditionell forskning använder jag den fyrfältsmodell som Andersson, Bach, Olander och Zetterqvist (2004) har anpassat utifrån Stokes (1997). Han formulerade en modell, Pasteurs kvadrant, för att diskutera *forskning inom naturvetenskap* utifrån

relationen teoretisk förståelse och praktisk användning. Andersson m.fl. utgår från denna modell men resonerar istället om *forskning om undervisning i naturvetenskap* i relation till grundläggande vetenskaplig förståelse och praktisk användning. Modellen syftar till åskådliggöra just var den ämnesdidaktiska teoriutveckling, som syftar till att utveckla teorier i relation till ett givet innehåll, hör hemma.

		Söker forskningen praktisk användning	
		Nej	Ja
Söker forskningen teoretisk förståelse	Ja	Piagets forskning	Ämnesdidaktisk designforskning
	Nej	Systematiska kartläggningar (t.ex. nationella utvärderingar)	Utveckling av undervisning (kursplaneprojekt, undervisnings-experiment)

Figur 4.1 Fyrfältsmodell av forskning om undervisning i naturvetenskap baserad på Andersson m.fl. (2004, s. 141).

Piagets forskning hör hemma i den övre vänstra kvadranten eftersom hans fokus var generell förståelse och inte praktisk användbarhet. I den nedre högra kvadranten, återfinns sådana utvecklingsprojekt som är inriktade på att lösa praktiska problem utan att bidra till grundläggande vetenskaplig förståelse och teoriutveckling. Systematiska kartläggningar, i den nedre vänstra kvadranten, syftar inte heller till teoriutveckling och bara indirekt till att lösa praktiska problem såsom förbättring av undervisningen. Ämnesdidaktisk designforskning hör hemma i den övre högra kvadranten eftersom *både* teoriutveckling och praktisk användning är i fokus. Det betyder att ämnesdidaktisk designforskning och utvecklingsarbeten tillhör skilda fält. (Andersson m.fl., 2004)

## 4.2 Designforskningstraditioner

Designforskning är ett relativt nytt forskningsfält som har utvecklats under de senaste två decennierna. Startpunkten var de *design experiments* som presenterades av Brown (1992) och Collins (1992) och som genomfördes i samarbete med

verksamma lärare. Brown (1992) byggde sin metodologi på tre faser. Den första var att designa en undervisningssekvens med stöd av aktuella forskningsresultat. Den andra fasen var att utpröva sekvensen tillsammans med lärare. I samband med detta studerades och analyserades den genomförda undervisningen vilket genererade nya forskningsresultat som i sin tur användes för att revidera innehållet. Den tredje och sista fasen genomfördes på liknande sätt förutom att lärare som tidigare inte varit involverade i arbetet självständigt fick arbeta med den reviderade sekvensen. Browns forskning bidrog till att inspirera andra forskare både i USA och i Europa till att utveckla forskningsbaserade undervisningssekvenser (Kelly, 2003; Méheut & Psillos, 2004). I Europa har några olika traditioner utvecklats såsom *developmental research* i Nederländerna (Lijnse, 1994, 1995), *educational reconstruction* i Tyskland (Kattman, Duit, Gropengießer & Komorek, 1996), *didactical transposition* i Frankrike (Tiberghien, 2000) och *designing and evaluating science teaching sequences* i England (Leach & Scott, 2002; Scott, Leach, Hind & Lewis; 2006). En svensk tradition är *design och validering av undervisningssekvenser* (Andersson & Bach, 2005; Andersson, Bach, Hagman, Olander & Wallin, 2005; Andersson & Wallin, 2006). För en utförligare beskrivning av de olika designforskningstraditionerna, se Olander (2010, s. 56-61).

Designforskningen har, vilket tidigare nämnts, två huvudsakliga mål: 1) ett teoretiskt - att bidra till ämnesdidaktisk teoriutveckling, och 2) ett pragmatiskt – att överbrygga klyftan teori-praktik. Den svenska traditionen *design och validering av undervisningssekvenser* bidrar till denna teoriutveckling genom att formulera *innehållsorienterade teorier*, vilka anger betingelser som anses gynna lärande och förståelse av givna innehåll. Dessa teorier består av tre delar: *innehållspecifika aspekter* ("content-specific aspects") som är begränsade till det givna området, *aspekter som gäller naturvetenskapens karaktär* och som är tillämpliga i skolans naturvetenskap ("science aspects") samt *allmänna aspekter* ("general aspects") som kan vara giltiga för undervisning även inom andra ämnen (Andersson, 2005; Andersson & Bach, 2005; Andersson & Wallin, 2006; Wallin, 2004). Tidigare har fyra undervisningssekvenser designats inom denna tradition och de berör områdena en partikelmodell för gaser (Andersson & Bach, 1995, 1996), geometrisk optik (Bach, 2001; Andersson & Bach, 2004), evolutionsteorin (Wallin, 2004) samt växters och djurs livscyklar (Andersson & Nyberg, 2006; Nyberg, 2008).

I fortsättningen tillämpar jag termen *ämnesdidaktiska hypoteser/teorier* istället för innehållsorienterade hypoteser/teorier (Wallin, 2004).

## 4.3 Design av undervisningssekvenser

Undervisningssekvensen i denna avhandling har designats utifrån traditionen *design och validering av undervisningssekvenser*. I denna tradition finns ett antal utgångspunkter att ta hänsyn till i designarbetet, vilka berör såväl övergripande aspekter såsom teorier om lärande och undervisning, men också specifika aspekter av lärande i relation till ett unikt ämnesinnehåll (Andersson, 2005; Andersson & Bach, 2005; Bach, 2001; Wallin, 2004). Sådana utgångspunkter är:

- allmänna teorier om lärande,
- motiv för att undervisa ett givet område,
- undervisningspraxis,
- områdets karaktär,
- läroplan och kursplaner,
- elevens förutsättningar,
- lärarens förutsättningar,
- urval av innehåll samt
- yttre förutsättningar.

Dessa utgångspunkter används till att designa en kunskapsbas, en så kallad lärarguide för fortsatt kunskapsbygge. Lärarguiden, ”Att undervisa om ljud, hörsel och hälsa - kunskapsbas, undervisningsförslag och kopieringsunderlag”, som utvecklats inom den här avhandlingens ram ingår i avhandlingens appendix (West, 2008a). Den finns också i en engelsk version (West, 2008b).

### Allmänna teorier om lärande

Jag har tidigare (kapitel 3) presenterat de perspektiv som jag utgått ifrån och som präglat min design av undervisningssekvensen.

### Motiv för att undervisa om området

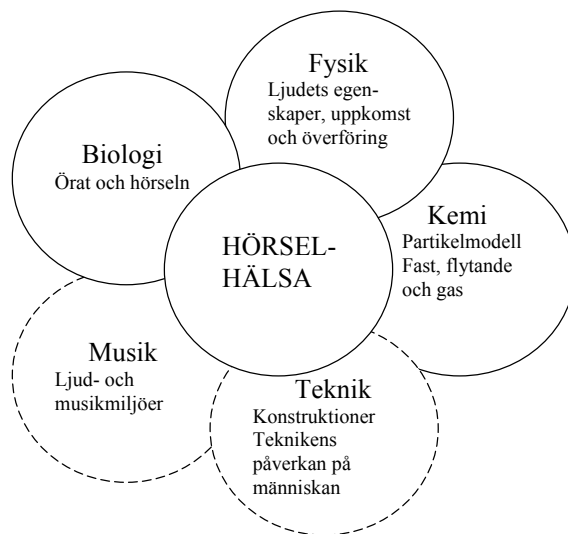
Det finns olika motiv för att undervisa om området ljud, hörsel och hälsa. Majoriteten av dagens ungdomar är intresserade av att lyssna på musik, och många utsätter sig för starka ljud i olika sammanhang. Det kan vara ljud från hörlurar kopplade till bärbara musikspelare, höga ljudnivåer på konserter, på diskotek, i skolans matsal och korridorer eller slöjdsal. I fokus framträder den egna hörselhälsan och hur man bibehåller denna. Kunnande om vad hörselhälsa innebär anknyter därför till hur hörseln fungerar, egenskaper hos ljud och hur ljud överförs samt olika ljudmiljöer, men också till olika tekniska landvinningar

såsom utformning och användning av olika hörselskydd. Eleven behöver också kunskaper och färdigheter att hantera och omsätta innehållet i sin vardag.

### **Undervisningspraxis och områdets karaktär**

Forskningsbaserade undervisningssekvenser syftar till att förbättra rådande undervisningspraxis, vilket i sin tur förväntas bidra till elevers ökade intresse, motivation och lärande av ett specifikt innehåll. Jag har tidigare redovisat att svenska grundskoleelevers intresse för och lärande i fysik ligger förhållandevis lågt, särskilt under de senare åren av grundskolan, och vidare att intresset för ett undervisningsinnehåll om atomer och molekyler, samt hur ljud uppkommer är svagt (Jidesjö m.fl., 2009). Däremot uttrycker elever ett stort intresse för miljö- och hälsofrågor (ibid). Det tyder på, tillsammans med resultat från nationell utvärdering, TIMSS, PISA, ROSE och Skolinspektionens utvärderingar, att det finns en potential att i undervisningen integrera innehåll från skolfysiken med innehåll från biologiämnet som i sin tur kopplas till hälsofrågor. De forskningscykler som genomförts under designarbetet har dessutom visat att elever, särskilt de yngre, är intresserade av och ställer många frågor om djur och djurs hörsel. Baram-Tsabari och Yarden (2005) har likaså, utifrån en israelisk studie, redovisat att elever i 9-12 årsåldern är särskilt intresserade av djurs anatomi och fysiologi.

De skolämnen som slutligen berörs är biologi, fysik och kemi samt delvis även musik och teknik. Genomgången i kapitel 3, om integration och lärande, tyder på att lärande skulle kunna gynnas av att innehåll från dessa ämnen integreras (figur 4.2).



Figur 4.2. Figuren visar innehåll i de olika skolämnena som kan integreras i samband med undervisning om hörselhälsa.

Innehållet kopplas till kunskande i och om naturvetenskap samt till hur kunskandet kan användas, t.ex. argumentationsövningar. Det innebär att eleven ges möjlighet till att bygga en helhet genom explicit integration av innehåll inom ett och samma skolämne men också från olika skolämnena. Det är dock av vikt att explicita lärandemål för de olika skolämnena formuleras oavsett om de integreras eller inte (Czerniak, 2007; Millar, Leach, Osborne & Ratcliffe, 2006; Scott m.fl., 2006; Venville m.fl., 2002).

Hörselhälsa kan användas som en gemensam nämnare för de olika skolämnena. Undervisning om hälsofrågor kan utgå från två olika perspektiv med olika fokus: ett hälsofrämjande perspektiv eller ett risk- och sjukdomsperspektiv. En internationell forskningsöversikt över undervisningsprogram som genomförts inom området sex och HIV visar att de program som har en balans mellan dessa båda perspektiv har visat sig mer framgångsrika än de som endast fokuserar riskperspektivet (Kirby, Laris & Rolleri, 2007).

### Läroplan och kursplaner

Ytterligare argument för att undervisa om ljud, hörsel och hälsa är att området anknuter till gällande läro- och kursplaner. I de kursplaner som varit giltiga i



samband med studiens genomförande finns det strävans- och uppnåendemål (Skolverket, 2000). De förra uttrycker den inriktning undervisningen skall ha när det gäller att utveckla elevernas kunnande, och de senare anger den miniminivå av kunnande som alla elever skall uppnå. I både strävans- och uppnåendemål finns det mål som ansluter till området ljud-hörsel-hälsa i ämnena biologi, fysik, kemi, teknik och musik.

### Elevers förutsättningar

En viktig utgångspunkt är elevens utgångsläge, det vill säga föreställningar med vilka elever försöker förstå det område som avses. Jag har gjort en internationell forskningsgenomgång (se artikel 1, 2 och 3), och identifierat ett antal vanliga alternativa föreställningar som elever använder när de uttrycker sig med hjälp av sitt vardagsspråk, och ytterligare några har tillkommit eller förfinats under designstudiens olika faser.

Inom området ljud finns ett stort antal studier som anknyter till barns, elevers och studenters föreställningar samt frågor som berör undervisning och lärande, men inom hörselområdet finns det ytterst få studier. Beträffande ungdomars attityder gentemot höga ljudnivåer finns det däremot fler studier. I lärarguiden (West, 2008a, kap. 7) finns en omfattande redovisning av vanliga alternativa uppfattningar som kommer till uttryck i elevers vardagsspråk (*everyday social language*) ställda i relation till de mål som finns i skolans naturvetenskap och som kommer till uttryck via det vetenskapliga skolspråket (*school scientific social language*). Denna redovisning syftar till att stödja läraren samt till att utveckla lärarens kompetens att identifiera *learning demand*, vilket i sin tur är ett viktigt redskap vid formativ bedömning och för elevens fortsatta lärande.

I tabell 4.1 redovisar jag ett urval av vanliga alternativa uppfattningar och deras motsvarande uttryck i skolans naturvetenskap.

Tabell 4.1. Ett urval av aspekter av ljud och hörsel med avseende på vanliga alternativa uppfattningar och skolans naturvetenskap (West, 2008a, s. 59 ff).

<i>Innehållsaspekt</i>	<i>Alternativa uppfattningar</i>	<i>Skolans naturvetenskap</i>
Ljudöverföring	Ljud är en egenskap hos ljudkällan, inget som överförs./Ljud är något materiellt, ett "objekt" som rör sig från en plats till en annan./Ljud sprids genom tomma utrymmen i mediet./Ljudöverföring har inget med materia att göra (luft eller annan materia nämns ej).	Ljud sprids genom att vibrationer (rörelseenergi) överförs i olika typer av materia inklusive luft (genom att partiklar kolliderar med varandra).
	Ljud överförs i vatten för att det finns syre eller luft i vatten.	Ljud överförs i vatten och andra flytande ämnen.
	Ljud överförs i föremål via små hål eller öppningar inuti föremålet.	Ljud överförs genom fasta, homogena ämnen som trä, stål el.dyl.
	Ljudvågor är något materiellt som överförs, och de kan t.ex. krocka med varandra eller stöta emot luftpartiklarna.	Ljudvågor är något icke-materiellt. Ljudöverföring kan ritas på olika sätt. Ljudvågor, dvs. vågformen, är ett matematiskt sätt att åskådliggöra ljud.
Hörsel	Ljudet går från örats synliga del till hjärnan.	Ljudvibrationer överförs via örats delar till sinnessceller i innerörat. Där omvandlas vibrationerna till elektriska impulser som i sin tur skickas till hjärnan. I hjärnan sker varseblivningen – vi hör.  Rörelseenergi omvandlas till elektrisk (eg. elektrokemisk) energi i sinnesscellerna.
	Hörselhälsa	Höga ljudnivåer är inte skadliga för hörseln om man gillar musiken.  Det är bara när det gör ont i örat som starka ljud är farliga.  Tillfälliga starka ljud skadar inte hörseln.

Majoriteten av de undervisningsförslag inklusive kopieringsunderlag som finns i lärarguiden syftar på olika sätt till att skapa möjligheter för eleverna att uttrycka, utveckla och pröva sina föreställningar gentemot andra samt underlätta för läraren att identifiera "learning demand".

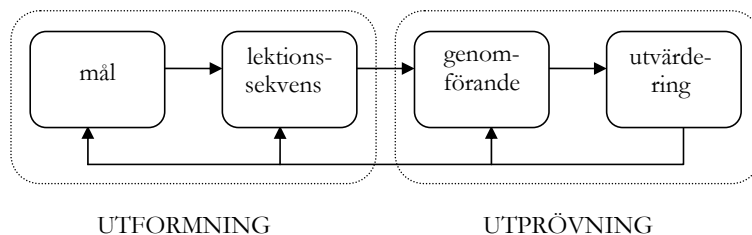
### Lärarens förutsättningar, urval av innehåll och yttre förutsättningar

Lärarens ämnesdidaktiska kompetens har betydelse för urval av innehåll och elevernas lärande. Zetterqvist (2003) beskriver att denna kompetens utgörs av lärarens samlade kunnande om ämnestoretisk, pedagogisk och ämnesdidaktisk forskning. Denna aspekt har jag tidigare diskuterat i kapitel 3.

Till yttre förutsättningar räknas såväl immateriella som materiella faktorer som påverkar undervisningen och dess uppläggning. Det kan till exempel vara tidsomfång, undervisningsmateriel och samarbetsmöjligheter.

## 4.4 Lärarguiden

Lärarguiden har utgjort underlag för iterativa undervisningsexperiment genomförda av verksamma lärare från årskurs 4 till årskurs 9, och den har även prövats i en spansk version (West, 2006) av tre lärare och deras elever (13-14 år) i Spanien (Lustig m.fl., 2009). Utifrån insamlade data har lärarguiden reviderats i ett flertal cykler (figur 4.3).



Figur 4.3. Undervisningsexperiment är en cyklisk process med återkopplingar (Ur Wallin, 2004, s. 88)

Utvärderingarna har baserats på analyser av den genomförda undervisningen med hjälp av lärares dagböcker, intervjuer med både lärare och elever, deltagande observationer, vilka även inkluderat reflektioner över interaktionen lärare-elev, samt analys av elevernas svar på olika frågor. I samband med att lärarguiden efterhand har reviderats har kommentarer, angående i undervisningen kritiska aspekter som framkommit under föregående utprövningscykler, skrivits in.

Den version av lärarguiden om ljud, hörsel och hälsa som har använts i den här studien tar upp följande aspekter (West, 2008a):

- Forskning om barns och ungdomars hörselhälsa, argumentation, attityder och beteende i förhållande till olika miljöer med höga ljudnivåer.
- Hur kunskap om ljud och hörsel har utvecklats ur ett historiskt perspektiv.
- En ämnesdidaktisk kunskapsöversikt inom kemi (partikelteori för undervisning), fysik (ljudets egenskaper inklusive ljudöverföring) och biologi (hörseln och hörselhälsa samt hörseln hos olika djur) som ger ett stöd för läraren inför undervisningen.
- En forskningsgenomgång av elevers uppfattningar och lärande om ljud och hörsel, inklusive en sammanfattande översikt gällande olika innehållsaspekter med tillhörande vanliga alternativa och vetenskapliga uppfattningar, det vill säga ett tydliggörande över skillnaden mellan dessa uppfattningar ("learning demand").
- En sammanställning av forskning om formativ bedömning som ger ett stöd för läraren inför undervisning och bedömning.
- Innehållet i läro- och kursplaner.
- En diskussion kring målen för undervisning i relation till läro- och kursplaner, "learning demand" och bedömning.
- Ett antal undervisningsförslag inklusive bilagor som är utvecklade på basis av de teoretiska utgångspunkter som jag redovisat i kapitel 3 och 4. Undervisningsförslagen berör lärandemål, ljud omkring oss, ljudets uppkomst och överföring i olika medier, olika modellers förtjänster och brister, ljudhastighet, tonhöjd och ljudstyrka, örat och hörseln, hur hörseln kan skyddas, ljud träffar olika ytor, ljud och skolämnet teknik samt medvetenhet om egna värderingar och argumentationsfärdigheter. Bilagorna består i huvudsak av ett stort antal frågor, som kan användas som underlag för formativ bedömning, gruppdiskussioner, meta-reflektioner med mera. Således ingår övningar i att ta ställning, uttrycka sina uppfattningar, argumentationsteknik, att kunna skilja på vetenskaplig kunskap och värderingar, att kunna genomföra undersökningar inklusive att reflektera över vad jag som elev lärt mig i relation till uppsatta mål (metareflekton). Argumentationsövningarna har flera syften: att eleven skall ges möjlighet att lära sig hur en argumentation byggs upp, att bli medveten om sina egna värderingar men också ett ökat innehållsligt

lärande. I bilagorna finns också ett diskussionsunderlag som kopplar samman djur och djurs hörsel med termer och begrepp som används i fysik (frekvens, tonhöjd, hertz, ljudstyrka, decibel, infraljud och ultraljud).

- Ett sista kapitel har tillkommit efter de sista undervisningsexperimenten och det är ett kapitel om lärares erfarenheter.

En forskningsbaserad lärarguide som denna kan vara ett led i vad Johnson (2007) efterlyser, nämligen att forskare skall ta ansvar för att överbrygga klyftan mellan forskning och praktik.

Until teachers can see the benefit of modifying their instructional practices to reflect a more effective approach to teaching science—as science—they will continue with the status quo, which, in most cases, means teaching science as isolated facts and ignoring the dynamic field of science while turning off more students to learning science. Science educators have the responsibility of bridging the gap between research and practice and reaching out to practicing teachers. A more focused research agenda with this goal in mind will provide substantial clues as to how to begin to transform science teaching. (Johnson, 2007, s. 135)

Avslutningsvis vill jag poängtera att jag betraktar lärarguiden som en konceptuell artefakt som kan ge olika utfall. Den är ett idématerial som kan utvecklas och bidra till lärarens fortsatta kunskapsbygge. Men den måste tolkas av den enskilda läraren utifrån hans/hennes tidigare kunnande och erfarenheter om lärande och undervisning. Detta meningsskapande, det vill säga att läraren konstruerar sin egen förståelse av lärarguidens innehåll, liknar på så vis det meningsskapande som eleven gör när han/hon konstruerar sin förståelse om olika naturvetenskapliga fenomen. Av detta följer att det finns mer än ett sätt att tolka, förstå och omsätta innehållet i guiden.



## 5. IDÉHISTORISK ÖVERSIKT

I detta kapitel redovisas en kort idéhistorisk översikt över hur kunskapen om ljud, hörsel och hälsa har vuxit fram. Översikten visar att filosofer och forskare under århundraden har brottats med vissa av de alternativa föreställningar som dagens elever också brottas med (kapitel 3 och 4) innan man kommit fram till någon form av konsensus. Chi (2005) påpekar att kännetecknande för sådana alternativa uppfattningar som utgör särskilda utmaningar för eleverna är just att de även har präglat de diskussioner som förts under långa perioder i historien. Den idéhistoriska genomgången ger därför förutsättningar för att diskutera artiklarnas resultat i relation till vetenskapens historiska utveckling. Översikten inleds med en reflektion över naturvetenskapens framväxt och skolans naturvetenskap.

### 5.1 Naturvetenskapens framväxt

Dagens forskare och forskarlag lägger fram sina teorier på vetenskapliga konferenser och i vetenskapliga tidskrifter där andra forskare kritiskt granskar och diskuterar det som redovisas. Ibland händer det att teorin faller och nya teorier får sökas, prövas och diskuteras. Redan långt före Kristus diskuterade filosoferna på liknande sätt sina teorier, och den vetenskapliga diskussionen har därefter förfinats mer och mer. Ett exempel på en sådan historisk argumentation är diskussionen om ljudets hastighet i luft där det tog långt över 1000 år innan man nådde konsensus. Ett annat klassiskt exempel är teorin om att jorden skulle vara världssalltets centrum, och den teorin ifrågasattes i början av 1500-talet. Efter många diskussioner och astronomiska observationer bland dåtidens forskare växte en ny teori fram som istället satte solen i centrum. Denna teori möttes av stor skepsis under hela 1500-talet, innan den så småningom accepterades. Den naturvetenskapliga kunskap som idag är accepterad i vårt samhälle har vuxit och växer fram på liknande sätt, vilket är viktigt för ungdomar att förstå. Annars finns det risk för att de via massmedia uppfattar motstridiga forskningsresultat som oseriösa och att forskare är opålitliga. (Newton, Driver & Osborne, 1999; Osborne m.fl., 2004).

En viktig del av naturvetenskapens framväxt är vetenskapliga undersökningar. I skolan gör eleverna på liknande sätt egna undersökningar för att söka förstå sin omvärld. Då behöver de liksom forskaren ha ett kunnande om hur en vetenskaplig undersökning genomförs för att de framgångsrikt skall kunna få fram vettiga resultat och hantera dem. De behöver kunna formulera en under-

sökningsfråga utifrån en hypotes de har, planera sin undersökning (t.ex. ett kontrollerat experiment), göra förutsägelser, genomföra observationer och mätningar, bearbeta data, dra slutsatser, reflektera över resultaten och mätmetodens tillförlitlighet. Redovisningen i form av en laborationsrapport har då sin motsvarighet i en artikel i en vetenskaplig tidskrift (Driver m.fl., 2000). Newton m.fl. (1999) menar att i samband med att eleverna arbetar enligt ovan öppnar sig möjligheten för läraren att lyfta fram och diskutera vetenskapliga undersökningars betydelse för den naturvetenskapliga kunskapens framväxt.

## 5.2 Ljud

I det här avsnittet behandlas hur kunskapen om ljudöverföring och ljudvågor har vuxit fram.

### Ljudöverföring

Teorin om att ljudöverföring sker via ett medium går att spåra bakåt i tiden till antikens Grekland. De lärde uppfattade ljud som något som utbreder sig från källor, men hade olika idéer om naturen hos detta något. Tydliga uttryck för att ljud betraktas som något materiellt finns. Demokritos (ca 400 f.Kr.) tänkte sig att röst är luft som har en viss form och som förflyttas från en plats till en annan (Hunt, 1978). Grekerna hade dock inte tillgång till ett modernt gasbegrepp och det är inte så lätt att veta vad de menade med luft och hur de tänkte sig olika processer i denna. Aristoteles (ca 350 f. Kr.) menade att luft måste pressas samman för att ljud skall kunna förflytta sig, och att det är någon form av små luftpaket, en liten vind, som rör sig framåt (Caleon & Subramaniam, 2007). Den romerske filosofen Lucretius (ca. 75 f.Kr.) menade att när en person skriker starkt passerar ”röstens atomer” den smala strupen i så stor mängd att de ger upphov till smärta (Eshach & Schwartz, 2006). Lucretius materiella uppfattning om ljud återfanns också i hans förklaring till varför ljud kan höras genom en dörr. Han menade att ljudet passerar genom små osynliga hål.

I början av 1600-talet fanns det fortfarande vetenskapsmän som tydligt uttryckte uppfattningen att ljud innebär en förflyttning av materia från en plats till en annan. Exempelvis så tänkte sig Gassendi att ljudöverföring utgörs av ett flöde av atomer som sänds ut från en ljudkälla (Blood, 2009). Vidare ansåg Beekman att ett vibrerande föremål klyver den omgivande luften i mindre delar som består av små, runda, luftfyllda kroppar som åker iväg i olika riktningar och som uppfattas som ljud när de når örat (Caleon & Subramaniam, 2007). Före-



ställningen att ljud är detsamma som en nettoförflyttning av materia har således funnits under lång tid.

I mitten av 1600-talet grundades den första vetenskapliga tidskriften i vilken vetenskapsmän kunde publicera sina resultat i form av artiklar (Hunt, 1978). Den öppna, kritiska, vetenskapliga debatten hade påbörjats. Ett bevis på att ljudöverföring har med materia att göra, utan att för den skull vara detsamma som en nettoförflyttning av materia, publicerades av Boyle och Hooke under 1660-talet (ibid). De lyckades att med hjälp av en vakuumpump bevisa att ljud inte kunde överföras i vakuum. Beviset ledde till att vetenskapsmän i början av 1700-talet var helt överens om att ljud behöver ett medium för sin utbredning.

## Ljudvågor

Begreppet ljudvåg har använts under lång tid för att beskriva ljudöverföring. I Aristoteles skrifter finns det tecken som tyder på att det fanns idéer om ljudvågor, och även att jämförelser gjordes med vattenvågor (Caleon & Subramaniam, 2007). Boyle använde också ljudvågsbegreppet när han, som jag tidigare har nämnt, drog slutsatsen att ett medium är en förutsättning för att ljudöverföring skall kunna ske (Acoustics, 2009). Under 1600-talet började man också att använda sig av teoretiska, matematiska modeller för att formulera hypoteser och teorier om olika fenomen. Den första teoretiska förklaringen av begreppet ljudvåg redovisades av Newton i hans verk Principia som publicerades 1687 (Caleon & Subramaniam, 2007).

## 5.3 Örat och hörseln

Från antiken finns även dokument som visar att man funderade på hur hörseln fungerar Femhundra år före Kristus formulerade Anaxagoras idén om att hörandet kan förklaras med att ljud tränger in i hjärnan (Hunt, 1978). Vidare skriver Platon (ca 300 f.Kr.) om människans hörsel att:

Det tredje av våra sinnen som skall undersökas är hörseln. Vi kan säga vad som orsakar hörselintryck. Låt oss allmänt förutsätta att ljud är ett slag mot hjärnan och blodet, utgående från luften, förmedlat via öronen och vidarebefordrat ända till själen, medan hörsel är en av slaget igångsatt rörelse som börjar i huvudet och slutar där levern sitter. (Platon, 2007, s. 481)

Theophrastus (ca 300 f.Kr.), en av Aristoteles studenter, kopplade samman luft och hörsel. Han ansåg att luften inuti örat borde röra sig på liknande sätt som den omgivande luften eftersom hörselorganen är i kontakt med den denna (Hunt, 1978).

## Örats anatomi och ljudöverföring

Det var först på 1500-talet som kunskapen om örats anatomi och funktion började expandera i samband med att man började använda döda kroppar vid anatomiska studier. Tidigare var kunskapen om örat begränsad till de yttre, synliga delarna. Kunskapen om örats anatomi och funktion härstammar från en rad italienska läkare. I början av 1500-talet fann de Capri två små hörselben i mellanörat, varvid det ena var fäst i trumhinnan. De små benen benämndes senare hammaren och städet. De Capri formulerade utifrån sin upptäckt en teori om örats funktion: han menade att luft rörelserna i hörselgången får trumhinnan att vibrera och att rörelsen överförs till hörselbenen så att de slår mot varandra. Under samma århundrade fann Ingrassia det tredje lilla hörselbenet, stigbygeln. Vidare upptäckte Eustachio ett litet fint rör, örontrumpeten, som förbinder mellanörat med svalget. Han beskrev strukturen så väl att det därefter fått bära upptäckarens namn, det eustachiska röret. (Pappas, 2000).

I slutet av 1500-talet kunde man börja skilja på hörselnedsättningar som orsakats av bristande ljudöverföring i olika delar av örat. Den italienske läkaren Caprivaccio var först med att diagnostisera nedsatt hörsel och dövhet. Han undersökte i vilken del av örat hörselskadan fanns genom att patienten fick hålla en liten järnstav mellan sina framtänder. Han lät en vibrerande sträng från ett musikinstrument komma i kontakt med staven. Om patienten hörde ett ljud när strängen anslogs drog man slutsatsen att hörselnedsättningen måste vara lokaliserad till trumhinnan. Förklaringen var att ljudvibrationer överförs via järnstaven vidare genom skallbenen till hörselbenen utan att behöva passera trumhinnan, och därför kunde patienten uppfatta vibrationerna. Om ingen ton hördes måste hörselnedsättningen istället finnas i hörselbenen eller längre in i örat. (Pappas, 2000).

I slutet på 1700-talet beskrev Cortugno i sin avhandling att innerörat innehåller en vätska. Han drog slutsatsen att ljudöverföringen i denna del av örat därför måste ske via denna vätska. (Pappas, 2000).

## Örat som frekvensanalysator

I början av 1800-talet började forskare undersöka vilka frekvenser en människas hörsel kan uppfatta. Deras resultat tydde på att den högsta frekvens som örat kan registrera skulle vara 24 000 vibrationer per sekund (Hz), ett värde som numera brukar anges till 20 000 Hz (Rossing, 2007). Hermann von Helmholtz utvecklade något senare en hypotes som sedermera förkastades om att enskilda nervfibrer fungerar som vibrerande strängar, var och en med sin egen resonansfrekvens. Det var först ca 100 år senare, på 1940-talet, von Békésy kunde visa att

det är möjligt för örat att skilja på olika ljud genom att basilmembranet i innerörats snäcka vibrerar på olika ställen beroende på vilken frekvens det är.

## 5.4 Hörseln och den moderna tekniken

Den snabba teknikutvecklingen under de senaste decennierna har bland annat bidragit till att en mängd elektronikprodukter har utvecklats som kan producera ljud av både hög kvalitet och hög ljudvolym. En bieffekt har blivit att ungdomar många gånger utsätter sig för alltför starka ljud i olika sammanhang, till exempel när de lyssnar på musik i sina egna bärbara musikspelare. I takt med att den tekniska utformningen av musikspelarnas hörlurar har utvecklats har det blivit möjligt att lyssna på musik med bibehållen kvalitet även vid höga ljudnivåer. Studier visar att man gärna höjer volymen extra mycket när störande ljud runt omkring förekommer, när man vill vara i fred för andra, när det är dags för den egna favoritlåten eller när man bara vill slappna av. Dessutom har tekniken bidragit till att det numera är möjligt att lyssna till hög ljudvolym bland andra människor utan att de störs. Det är inte bara via bärbara musikspelare som ungdomar och andra människor riskerar att utsätta sig för starka ljud. Höga ljudnivåer förekommer frekvent på konserter, diskon, fester, biografier och idrotts-evenemang samt numera allt oftare i samband med träningsaktiviteter. (se forskningsgenomgången i artikel 3)



## 6. METOD

Det underlag som jag använt i min forskning består av både kvantitativa och kvalitativa data. Pring (2006) är kritisk gentemot den vanligt förekommande dualistiska indelningen i kvantitativ och kvalitativ forskning. Pring skriver att redan Dewey hade invändningar mot denna uppdelning.

And such Cartesian dualism is but one of the 'false dualisms' which Dewey criticizes. [...] But he would deny the 'epistemological' and 'ontological' apartheid which to often divides the qualitative and quantitative researchers. (Pring, 2006, s. 45)

Johnson och Onwuegbuzie (2004) menar att det inom utbildningsforskningen finns ett tredje forskningsparadigm mitt emellan dessa båda som de kallar blandad metodansats "mixed methods research". Det är denna metodansats som tillämpas i denna studie.

### 6.1 Lärare

Sju lärare från fyra olika skolor har deltagit i studien. Tre lärare från samma skola har undervisat i årskurs 4. De planerade gemensamt samt undervisade en grupp elever som de oftast delade upp i tre mindre grupper. Två lärare från olika högstadieskolor har undervisat eleverna i årskurs 7, och ytterligare två lärare från en tredje högstadieskola har undervisat eleverna i årskurs 8. Alla lärarna undervisade i vanliga fall de tre naturvetenskapliga ämnena, biologi, fysik och kemi, och de undervisade även i teknik. Undervisningen genomfördes i årskurs 4 under vårterminen 2006 och i årskurs 7 och 8 under vårterminen 2007. Alla lärare förutom en i årskurs 4 hade tidigare deltagit i en pilotomgång.

Alla lärarna dokumenterade och reflekterade över sin undervisning i dagboksform efter varje lektion via en Internetplattform. Lärarna diskuterade fort-löpande med varandra och gav varandra återkoppling. De lärare som undervisade i årskurs 4 hade möjlighet att göra detta via personliga möten på den egna skolan. Eftersom lärarna i årskurs 7 och 8 kom från tre olika skolor kommunicerade de istället via Internetplattformen där de diskuterade och gav varandra återkoppling. Jag gav aktiv och omedelbar återkoppling på lärarnas dagboksanteckningar för att öka deras motivation och stimulera deras fortsatta dokumenterande. Lärarna har dock styrt innehållet utifrån sina mål, och jag har hållit mig till deras frågor. Jag har även varit delaktig i de diskussioner som förekom via Internet. Dessutom har jag varit med på arbetsmöten samt observerat lektioner.

## 6.2 Elever

I studien har 199 elever deltagit: 48 elever från årskurs 4 (24 flickor och 24 pojkar), 71 elever från årskurs 7 (28 flickor och 43 pojkar) samt 80 elever från årskurs 8 (38 flickor och 42 pojkar). De skolor som eleverna kommer ifrån är belägna i Västsverige. Skolornas upptagningsområden består av en blandning av socialgrupper utan någon övervikt åt något håll.

Eleverna i årskurs 4 hade tidigare inte mött någon formell undervisning om ljud, hörsel och hälsa, förutom att de hade sett en film om tinnitus under en musiklektion i årskurs 3. Eleverna i årskurs 7 och 8 hade inte fått någon undervisning om ljud, men de hade däremot blandade erfarenheter av undervisning om örat och hörselhälsa. En relativt stor andel av eleverna, 60 % i årskurs 7 och 50 % i årskurs 8, angav att de tidigare hade någon form av erfarenhet av undervisning med anknytning till örat och hörseln. Den vanligaste kommentaren var ”sett en film om tinnitus under musiklektioner”, men det fanns också kommentarer som ”lyssnat till en skolsköterska som kom och pratade om hörseln och gav oss paper” och ”läraren pratade om örat”.

Eleverna i årskurs 4 hade fått undervisning inom området ”en partikelmodell för luft” terminen innan undervisningen om ljud, hörsel och hälsa påbörjades. Eleverna i en av klasserna i årskurs 7 och alla elever i årskurs 8 hade tidigare arbetat med partikelmodeller, medan de två återstående sjuorna bara hade mött yttligare resonemang.

## 6.3 Datainsamling

Dataunderlaget har bestått av skriftliga tester, elevintervjuer, elevernas anteckningsböcker, lärarintervjuer, lärardagböcker och lärardiskussioner via Internet, anteckningar från deltagande observationer och videoinspelningar. Data har samlats in med två olika syften. Det första syftet har varit att fånga elevers kunskande och ställningstaganden i frågor om ljud, hörsel och hälsa före och efter undervisningen. Det andra syftet har varit att fånga en så god bild av undervisningen som möjligt i de olika klasserna.

### Elevtester och elevintervjuer

Två testinstrument har använts, ett frågeformulär och ett enkätformulär, vilka har getts före, efter och ett år efter avslutad undervisning. Frågeformuläret har bestått av öppna frågor om ljud, ljudöverföring och hörsel samt några frågor om tinnitus där endast slutna svarsalternativ fanns (ja/nej). Enkätformuläret har i

huvudsak bestått av frågor med flervalsalternativ i form av en femgradig Likert-skala, där eleverna har fått ta ställning till frågor om ljudnivåer och användande av öronproppar i olika sammanhang. Eleverna fick också ange vilka erfarenheter de hade av tinnitus samt sina lyssnarvanor relativt bärbara musikspelare (MP3-spelare). För eleverna i årskurs 7 och 8 fanns det i enkätformuläret dessutom ett tillägg bestående av några frågor med öppna svar. Testinstrumenten gavs i en och samma ordningsföljd till alla elever i de olika klasserna. Vid förtestet fick eleverna fylla i enkätformuläret vid lektionstillfälle 1 och frågeformuläret vid lektionstillfälle 2. Vid eftertestet var ordningen den omvända och likaså vid det fördröjda eftertestet ett år senare. Testfrågornas innehåll och utformning redovisas i respektive artikel.

Vid förtestet kompletterades elevernas skriftliga svar på frågeformuläret med ett urval av elevintervjuer i årskurs 4. Eleverna intervjuades i direkt anslutning till förtestet utifrån semistrukturerad intervjuemetodik (Kvale, 1997). De fick beskriva hur de tolkade respektive testfråga och vilka bakomliggande funderingar de hade när de skrev sitt skriftliga svar.

Analysen av kvalitativa data, det vill säga den innebörd eleverna uttrycker i sina svar på de öppna frågorna i frågeformuläret, har genomförts i två steg. Det första steget är en iterativ och relativt öppen kodningsprocedur som syftar till att försöka fånga återkommande mönster. I denna procedur har resultat från tidigare forskning inom området varit till stöd. Utifrån erhållna mönster och tidigare forskning har jag sedan definierat olika kategorier, som i sin tur använts för att slutgiltigt analysera kvalitativa data. Analysen av kvantitativa data från enkätformuläret har gjorts med hjälp av statistiska dataanalyser i SPSS. Samtliga testuppgifter har utprovats, pilottestats och reviderats utifrån den respons och de svar andra deltagande elever i årskurs 4-9 gett under tidigare omgångar i den cykliska designprocessen.

En mer detaljerad genomgång av insamlade data inklusive den databearbetning som har skett redovisas i respektive artikel.

## Undervisningen

Undervisning om samma eller liknande innehåll ser naturligtvis olika ut i olika klassrum beroende på lärare, elever och en rad andra faktorer. I avsikt att fånga en bild av den undervisning som bedrivits i de olika klassrummen och därmed elevernas möjligheter att lära har olika dataunderlag använts. De består av lärarnas dokumenterade beskrivningar av undervisningen på Internet, och det är deras dagboksanteckningar, återkopplingar gentemot varandra samt diskussioner. Andra underlag är mina egna fältanteckningar inklusive reflektioner från arbetsmöten och ett stort antal klassrumsobservationer samt delvis även video-

inspelningar av lektioner. Ytterligare underlag är elevernas anteckningsböcker inklusive de återkopplingskommentarer som lärarna har gett till sina elever. Och slutligen har underlag från de semistrukturerade intervjuer som genomförts med samtliga lärare före och efter undervisningen använts.

## 6.4 Den genomförda undervisningen

Alla lärarna har använt lärarguiden (West, 2008a) som ett verktyg för sitt eget kunskapsbygge och som resursmaterial för sin undervisning. De har formulerat lärandemål med stöd av de idéer som har angetts i lärarguiden och som de ansett vara lämpliga för den elevgrupp de haft. De uppsatta målen har behandlats på något olika djup beroende på den individuella läraren, elevernas engagemang och de frågor som eleverna har ställt under lektionerna. Den tid som avsattes för undervisningen i de olika klasserna, inklusive tid för de genomförda testerna, var 15-20 klocktimmar.

Områdena ljud, hörsel och hälsa har integrerats på olika sätt i undervisningen, och inte i någon klass har områdena delats upp var för sig. Men i den översiktliga redovisning som här följer av det innehåll som faktiskt har behandlats i undervisningen har jag ändå för enkelhetens skull valt att presentera innehållet områdesvis.

Det innehåll om ljud som har behandlats under lektionerna var följande: hur ljud uppstår när föremål vibrerar, att ljud överförs via materians partiklar\* i luft (gaser), flytande och fasta ämnen, olika sätt att representera ljudöverföring inklusive elevernas egna representationer, innebörden av begreppet ljudvågor, ljudets egenskaper såsom tonhöjd och ljudstyrka samt hur man skall kunna konstruera en god ljudmiljö i förhållande till ljudets reflektion och absorption i olika materiel. Dessutom ingick ljudets hastighet i undervisningen i årskurs 7 och 8.

Det innehåll som anknyter till hörseln har handlat om örats anatomi och funktion, varvid en anatomisk och en funktionell öronmodell samt modeller av hörselben i naturlig storlek har använts i alla elevgrupper. Sinnes/hårcellerna har diskuterats explicit, liksom effekten av starka ljud på dessa strukturer inklusive risken att få tinnitus. Alla lärare har använt sig av ljudnivåmätare i sin undervisning, och de flesta elever har mätt ljudnivåer på olika platser i och/eller utanför skolan. De elever som hade egna MP3-spelare med sig till skolan mätte hur hög den ljudnivå var som de vanligen använde när de lyssnade på musik.

---

\* Fysiker använder dock oftast partikelbegreppet med hänsyftning till subatomära partiklar, det vill säga partiklar som är mindre än atomer, så kallade elementarpartiklar.



Under dessa lektioner diskuterades ännu en gång höga ljudnivåers effekter på hörseln samt risken av att få tinnitus. Olika varianter av hörselskydd (öronproppar) har demonstrerats, delvis prövats och diskuterats. Samtliga elever har deltagit i gruppdiskussioner om ljudnivåer på diskon, de har i grupp diskuterat vad som är vetenskaplig kunskap och tyckande (värderingar) i frågor om ljud, hörsel och hälsa samt hur man skiljer på dessa. Många elever har även analyserat sina egna ställningstaganden utifrån denna indelning. Följaktligen har frågor om hur man behåller en god hörsel och hur man minimerar risken att få tinnitus vävts in i många lektioner. Eleverna har i några klasser under resans gång utvärderat sin egen förståelse gentemot uppsatta mål (metareflekton).

Eleverna har getts tillfälle att bearbeta innehållet såväl muntligt som skriftligt. Lärarna har undervisat i helklass såväl som i mindre grupper (halvklass eller liknande). Eleverna har gjort olika experiment och arbetat i mindre grupper samt deltagit i smågruppsdiskussioner. Alla lärare har på olika sätt fortlöpande använt sig av formativ bedömning, och gett återkoppling gentemot eleven/eleverna, som ett redskap i sin undervisning.

## 6.5 Etiska ställningstaganden

Alla individer som deltar i ett forskningsprojekt omfattas av det s.k. individskyddskravet vilket konkretiseras i fyra allmänna huvudkrav, nämligen informations-, samtyckes-, konfidentialitets- och nyttjandekravet (Centrala etikprövningsnämnden, Datainspektionen, Statistiska Centralbyrån & Socialstyrelsen, 2009). I denna studie har skolledning, lärare, föräldrar och elever informerats om studien och dess syfte samt vilka villkor som ställs på i studien deltagande personer. Forskarens namn och institutionsanknytning har angetts för att deltagare skulle ha möjlighet att ta kontakt för att få ytterligare information. Lärarna och eleverna har gett sitt samtycke till att delta. Eftersom delar av undervisningen har videospelats har berörda vårdnadshavare inklusive eleverna skriftligt informerats och gett sitt samtycke till att eleven får filmas. I den skriftliga informationen framgick att deltagandet var frivilligt, att eleven har rätt att avbryta sin medverkan utan att det får negativa följder och hur insamlade data skulle användas t.ex. att filmsekvenser kan komma att visas på forskarkonferenser och/eller i utbildningssammanhang. I årskurs 4 tilläts inte en av eleverna att vara med under inspelningarna, och den eleven placerades utanför kamerans synfält. Det fanns också elever i årskurs 7 som glömt att återlämna samtyckesblanketten, och vid inspelning av gruppdiskussioner fick de arbeta i grupper som ändå inte spelades in.

## 6.6 Generaliserbarhet

Det är inte möjligt att formulera generella utsagor gällande resultat av interventioner i sociala praktiker (Hammersley, 2009). Det innebär att det exempelvis inte går att generalisera slutsatser av elevers lärande och ställningstaganden som ett resultat av undervisning baserad på en forskningsbaserad undervisningssekvens. Det beror bland annat på att en sådan sekvens är kontextbunden, kan tillämpas på olika sätt beroende på vilken lärare som genomför den och på den elevgrupp som läraren undervisar i. Hammersley menar också att de resultat som genereras inom undervisningsområdet alltid är mångfacetterade och svåra att mäta med noggrannhet. Däremot kan resultaten från en intervention som är tillräckligt väl beskriven användas av en annan lärare eller forskare i en liknande situation och där läraren/forskaren kan relatera sina ställningstaganden till den beskrivna interventionen (Bassegy, 1981). Andersson (2000) benämner denna form av generalisering för utvecklingsvaliditet.

## 6.7 Validitet

De frågor som använts i de olika testerna berör centralt innehåll i undervisningen vilket bidrar till ökad innehållsvaliditet. Identiska frågor har till stor del använts både till för- och eftertester. Det förekommer även frågor där formuleringarna varit satta i olika kontexter men ändå prövat samma innehåll. En risk med att använda identiska frågor är att eleverna fokuseras i sitt lärande på just detta innehåll, men eftersom det fördröjda eftertestet har givits ett år efter avslutad undervisning har denna risk minimerats.

Eleverna uppmanades att illustrera sina svar i vissa frågor, men då ombads de också att förklara sina bilder med hjälp av ord. Ehrlén (2009) menar att endast ritade svar utan medföljande text är svåra att tolka. Enligt Cohen, Manion och Morrison (2000) bidrar intervjuer till ökad validitet, s.k. respondent validitet. Av denna anledning har ett urval av elever intervjuats: urvalet har fallit på ett antal av de yngre eleverna vilka kan förväntas ha något mindre skriftlig förmåga att uttrycka sig än de äldre eleverna. Urvalet baserades på elever som av sina lärare ansågs prestera på medelnivå, under eller över denna nivå, varvid en tredjedel av vardera elevkategorin ingick.

## 6.8 Reliabilitet

Reliabilitet är ett mått på hur tillförlitliga, det vill säga konsistenta, genomförda mätningar är. Ett sätt att öka reliabiliteten vid konstruktion av testfrågor är att välja ord och meningsbyggnad så att inte lässvaga elever missgynnas (Linn, 2006). Därför har enkla ordformuleringar använts vid konstruktionen av de olika testen, och i enkätformuläret har elevformuleringar från elever i årskurs 5 i den nationella utvärderingen 2003 (Kärrqvist & West, 2005) delvis använts. Majoriteten av de öppna frågorna har följts av en figur för att underlätta elevernas läsförståelse (Wandersee, 1988). De ingående frågorna i de olika frågeformulären har sedan utprovats av elever i motsvarande åldrar. Ytterligare åtgärder har vidtagits för att öka reliabiliteten vid testtillfällena genom att lärarna uppmärksammade särskilt lässvaga elever, och i något fall i årskurs 4 läste läraren en del frågor för eleven samt hjälpte till att skriva ner elevens muntliga svar.

En annan form av reliabilitet är interbedömarreliabilitet. Följande process har använts för att öka denna:

- elevsvaren, ritningar och texter, har tolkats och bedömts utifrån uppsatta kategorisystem av tre forskare,
- bedömningarna har jämförts och diskuterats, kategorisystemet har fin-slipats och nya bedömningar har gjorts, och
- de olikheter som till slut fanns kvar har diskuterats tills de deltagande forskarna nådde konsensus.

Elevbortfallet på de olika testerna har varit relativt litet, vilket också bidrar till ökad reliabilitet. I årskurs 4 deltog 94 % i alla tester, och motsvarande andelar i årskurs 7 var 92 % och i årskurs 8 93 %.

Avslutningsvis kan nämnas att könsfördelningen bland de deltagande eleverna är något skev: 45 % flickor och 55 % pojkar. Detta diskuteras vidare i artikel 3 där systematiska könsskillnader uppträder.



## 7. SAMMANFATTNING AV ARTIKLARNA

Det övergripande syftet med hela forskningsprojektet är att undersöka hur undervisning utifrån en forskningsbaserad undervisningssekvens kan bidra till elevers lärande och förståelse av ljud och ljudöverföring, örats funktion och hörseln samt till ett hälsofrämjande förhållningssätt gentemot höga ljudnivåer.

I avhandlingen ingår tre artiklar som vardera besvarar olika forskningsfrågor. De olika artiklarna syftar till att undersöka elevernas uppfattningar och lärande om ljud, hörsel och hälsa i samband med den undervisning som genomförts. Ett ytterligare syfte är att undersöka elevernas ställningstaganden i frågor om höga ljudnivåer före och efter den genomförda undervisningen.

### Artikel I

Den första artikeln besvarar följande forskningsfråga:

**Vilka uppfattningar har eleverna om hur örat och hörseln fungerar samt vilket kunnande har de om tinnitus före och efter den forskningsbaserade undervisningen?**

Artikeln baseras på elevers uppfattningar och lärande om hörseln och tinnitus före och efter den undervisning de mött. Dataunderlaget består av elevernas svar på en fråga om hörseln, deras ställningstaganden gentemot ett antal påståenden om tinnitus, samt deras svar gällande hur ofta de lyssnar på musik i MP3-spelare och vilka tinnituserfarenheter de har. Beträffande frågan om hörseln fick eleverna följande fråga: ”Vad händer med ett ljud som har nått örat? Rita hur du tänker just nu. Skriv en liten text till bilden som kan förklara hur du tänkt när du ritat”. Den bild som förekom i frågan bestod av en kontur av ett huvud sett framifrån. Dataunderlaget samlades in före, efter och ett år efter den genomförda undervisningen. I samband med förtestet intervjuades ett urval av elever i årskurs 4.

Resultaten visar att ungefär en fjärdedel av eleverna i årskurs 4 samt hälften av eleverna i årskurs 7 och 8 dagligen/nästan dagligen lyssnar på musik i MP3-spelare. Cirka 35 % till 70 % av eleverna svarade att de hade erfarenheter av någon form av tinnitus och 5 % uppgav att de ofta besvärades av tinnitus. På hörsel frågan i förtestet refererade en majoritet av eleverna i årskurs 4 och 7 endast till hjärnan när de skulle beskriva vad som händer när ett ljud kommer till örat. Dessa beskrivningar/ritningar pekade inte på någon medvetenhet om ana-

tomiska strukturer i örat. Det vanligaste svaret bland de äldre eleverna i årskurs 8 omfattade dock både hjärnan och någon del i örat. Efter undervisningen innehöll de vanligaste svaren i alla tre årskurserna både hjärnan och någon eller flera delar i örat. Resultaten visar också att eleverna i årskurs 4 bibehöll sitt kunnande lika bra, och i vissa fall bättre, ett år efter undervisningens slut än eleverna i årskurs 7 och 8. Men ju äldre eleverna var desto mer avancerade var deras svar, vilket innebär att en större andel av deras svar innehöll cellstrukturer och/eller kausala samband. Resultaten visar också att elevernas kunnande om tinnitus signifikant hade ökat efter undervisningen. Inga systematiska könsskillnader påvisades.

Många unga människor utsätter sig för alltför starka ljud i ökande omfattning till exempel via sina MP3-spelare och råkar ut för hörselskador såsom tinnitus. Därför efterlyser många forskare information och undervisning i förebyggande syfte om risken att råka ut för hörselskador. Artikeln visar att det kan vara svårt för ungdomar att förstå innebörden av risken med starka ljud, och att elever också behöver ha ett kunnande om örats uppbyggnad och funktion.

## Artikel 2

Den andra artikeln besvarar följande forskningsfrågor:

**Vilken förståelse uttrycker 10- till 14-åriga elever om ljud och ljudöverföring före och efter en forskningsbaserad undervisning om ljud, hörsel och hälsa?**

**I vilken utsträckning använder eleverna en generell teori för ljud och ljudöverföring när de uttrycker sin förståelse före och efter undervisningen?**

Forskning visar att lärande av ljudets natur inklusive ljudöverföring bjuder på stora utmaningar, eftersom det är ett abstrakt område. Att förstå innebörden av de abstrakta begrepp som hör till ljud och ljudöverföring innebär oftast att eleven måste ändra sin ontologiska position från att uppfatta ljud som ett materiellt fenomen till att föreställa sig ljud som ett processfenomen, en rörelseprocess. En ytterligare utmaning är att kunna generalisera sin förståelse av ljud och ljudöverföring, alltså att kunna tillämpa den i vakuum samt i gasformig, flytande och fast materia.

Dataunderlaget består av elevernas skriftliga svar på fyra frågor, ljudöverföring i vakuum, luft, vatten och trä, i samband med för-, efter- och fördröjda eftertester. Ett verktyg i flera nivåer, ”generalized sound theory framework”, har utvecklats för att analysera de uppfattningar eleverna ger uttryck för om ljud och

Ljudöverföring. Varje elevs samlade svar på de fyra frågorna har därefter använts som analysenhet.

Resultaten visar att majoriteten av eleverna beskriver ljudöverföring som ett materiellt fenomen före undervisningen, eller att de inte uppvisar någon teori för ljudöverföring överhuvudtaget. Vid eftertestet använde däremot en majoritet av eleverna förklaringar som baserades på en processförståelse, det vill säga de beskrev ljudöverföring som en rörelseprocess. Ibland förekom sådana processförklaringar i kombination med en materiell förklaring, vilket innebär att eleven använde olika teorier i olika media. Ett år senare var de materiella förklaringarna åter vanligast, men en fjärdedel baserade fortfarande sitt resonemang på en processförståelse utan tecken på materiella inslag. Eleverna i årskurs 4 använde sig av en processförståelse i liknande omfattning som de äldre efter undervisningen; de ligger något lägre än eleverna i årskurs 8 men signifikant högre än många elever i årskurs 7. Trots att en stor del av eleverna i årskurs 4 använde sig av ett processresonemang i eftertesterna visar resultaten ändå att ju äldre eleverna är desto högre andel av dem utgår ifrån en generell teori för ljudöverföring. Det finns inga systematiska könsskillnader i elevernas resultat. Artikeln visar också att det fanns skillnader i elevernas förkunskaper och i hur undervisningen genomfördes i de olika klasserna, exempelvis beträffande formativ bedömning.

Sammantaget pekar resultaten på att eleverna utvecklar sin förståelse av ljud och ljudöverföring via intermediära teorier som består av en blandning av materia- och processidéer. Resultaten visar också att undervisning om ljud och ljudöverföring är fruktbart redan i årskurs 4. Slutligen har ett antal innehålls-specifika aspekter som antas gynna lärande och förståelse av ljud formulerats.

### Artikel 3

Den tredje artikeln besvarar följande forskningsfråga:

#### **Vilka ställningstaganden uttrycker eleverna i frågor om hörselhälsa före och efter en forskningsbaserad undervisning om ljud, hörsel och hälsa?**

Artikeln undersöker elevernas ställningstaganden i frågor om starka ljud och användande av öronproppar. Data består av elevernas svar på ett antal flervalsfrågor vid för-, efter- och fördröjda eftertester. I årskurs 4 utgörs data endast av elevernas svar på flervalsfrågor, men i årskurs 7 och 8 har ytterligare några fler-

valsfrågor tillkommit där eleverna även skriftligt förklarat varför de gjort dessa ställningstaganden.

Resultaten visar att elevernas ställningstaganden är mer positiva i relation till den egna hörselhälsan efter den genomförda undervisningen. Dessutom pekar resultaten på att de äldre elevernas positiva inställning i stort består ett år efter undervisningens slut. Innehållet i deras förklaringar, beträffande deras medvetenhet om hörselhälsa, har också blivit kvalitativt bättre för varje test. Resultaten visar även tecken på att elevernas beteende har förändrats i riktning mot ökad aktsamhet om den egna hörseln i samband med starka ljud under det år som gått efter den genomförda undervisningen.

Sammantaget tyder resultaten på att ju äldre eleverna är desto större är deras hälsomedvetenhet, och en annan signifikant trend är att flickornas hälsomedvetenhet är större än pojkarnas. Följaktligen kan elevers kunnande om ljud, hörsel och hälsa anses vara en viktig del i det preventiva arbete som syftar till att bryta den trend av ökande hörselskador bland unga människor som påvisats under senare år. Artikeln visar således på möjligheter att integrera hälsofrågor i grundskolans undervisning i naturvetenskap.



## 8. INNEHÅLLSSPECIFIK HYPOTES

I detta kapitel besvaras den sista och övergripande forskningsfrågan. Inledningsvis introduceras begreppet ämnesdidaktiska hypoteser/teorier och därefter utvecklas en innehållsspecifik hypotes, inklusive de aspekter som ingår i denna, för undervisning om ljud, hörsel och hälsa.

Den forskningsfråga som behandlas är:

**Hur kan en innehållsspecifik hypotes formuleras som är giltig för undervisning om ljud, hörsel och hälsa?**

### 8.1 Ämnesdidaktiska hypoteser/teorier

Designforskning har, vilket tidigare redovisats i kapitel 3, två huvudsakliga mål. Det ena är att bidra till ämnesdidaktisk teoriutveckling och det andra är att bidra till utveckling av undervisningspraktiken genom att överbrygga klyftan mellan teori och praktik.

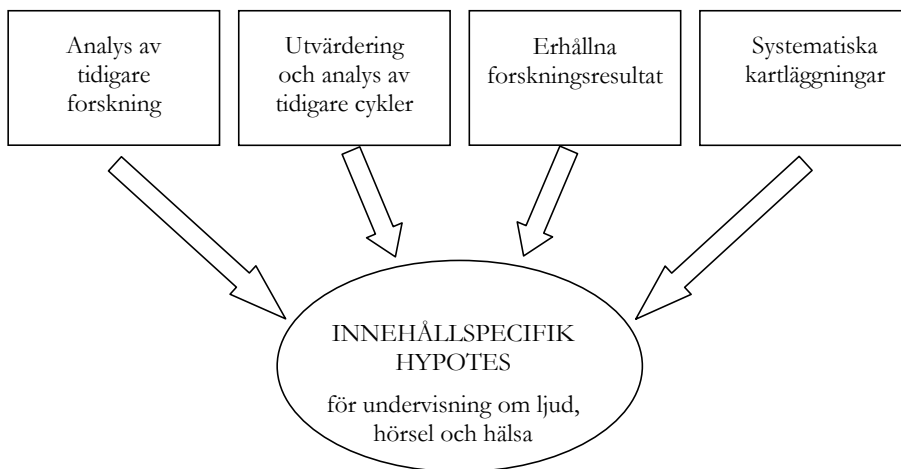
Den ämnesdidaktiska teoriutvecklingen sker genom att *ämnesdidaktiska hypoteser för undervisning* formuleras beträffande betingelser som gynnar lärande av ett specifikt innehåll. Dessa hypoteser kan i sin tur utvecklas till *ämnesdidaktiska teorier för undervisning* (Andersson, 2005; Andersson & Bach, 2005; Andersson & Wallin, 2006; Wallin, 2004). Dessa hypoteser/teorier består av

- *innehållsspecifika aspekter* begränsade till det givna området,
- *aspekter som gäller naturvetenskapens karaktär* och som är tillämpliga i skolans naturvetenskap, samt
- *generella aspekter* som kan vara giltiga för undervisning även inom andra ämnen.

De nämnda forskarna har redan tidigare formulerat aspekter som gäller naturvetenskapens karaktär inklusive generella aspekter, och mitt fokus är att bidra med innehållsspecifika aspekter gällande undervisning om ljud, hörsel och hälsa.

## 8.2 En innehållsspecifik hypotes för undervisning om ljud, hörsel och hälsa

I det här avsnittet formulerar jag en innehållsspecifik hypotes med aspekter som gäller för undervisning om ljud, hörsel och hälsa. I avsikt att presentera en sammanhängande innehållsspecifik hypotes har jag valt att presentera mina forskningsresultat tillsammans med tidigare forskning, erfarenheter och resultat från utprovningarna under tidigare undervisningscykler samt systematiska nationella och internationella kartläggningar (figur 8.1).



Figur 8.1 Uppbyggnad av en innehållsspecifik hypotes för undervisning om ljud, hörsel och hälsa.

Jag presenterar innehållet i den innehållsspecifika hypotesen i tre avdelningar. Först inleder jag med de aspekter som kan antas gynna undervisning beträffande *ljud och ljudöverföring* och därefter följer de aspekter som kan antas gynna undervisning med avseende på *hörsel och hälsa*. Avsnittet avslutas med aspekter som är gemensamma för hela området *ljud, hörsel och hälsa*.

Den här formulerade innehållsspecifika hypotesen kan sedan provas genom nya designförsök, och om den motstår framtida prövningar kan den utvecklas till en innehållsspecifik teori för undervisning om ljud, hörsel och hälsa.

## Ljud och ljudöverföring

Beträffande ljud och ljudöverföring antas undervisningen gynna lärande med förståelse om ett antal betingelser (1 t.o.m. 7) beaktas i undervisningen. Den första är förståelsen av hur ljud uppkommer.

*1. Ljud uppkommer genom att föremål vibrerar oavsett vilket föremål det är som ger upphov till ljudet.*

Den forskningsgenomgång som redovisas i artikel 2 pekar på att elever ges bättre förutsättningar att utveckla sin förståelse för ljudöverföring om de först har lärt sig att ljud uppkommer genom att föremål vibrerar. Asoko, Leach och Scott (1992a, 1992b) fann i en studie att elever ofta tror att ljud uppkommer på olika sätt beroende på vilket föremål det är som ger upphov till ljudet. Deras slutsats var att elever behöver en generell förståelse för att allt ljud alstras genom vibrationer.

*2. Rörelsen från ett vibrerande föremål överförs via luftens "luftpartiklar". Varje enskild "luftpartikels" rörelse överförs till en näraliggande "luftpartikel" i en växelverkan.*

Artikel 2 tydliggör att området ljud och ljudöverföring är ett svårt och abstrakt område, och att både barn, ungdomar och studenter står inför stora utmaningar när de skall försöka att utveckla en grundläggande förståelse för området. Det är vanligt att de uppfattar ljud och ljudöverföring som ett materiellt fenomen istället för att förstå ljudöverföring som en rörelseprocess. Exempel på materiella uppfattningar är att ljud överförs som materiella paket bestående av ljudpartiklar, eller att ljudvågor överförs som materiella vågor som färdas igenom luften. Om den materiella uppfattningen explicit bearbetas i undervisningen antas elevernas förståelse av ljud förbättras. Resultaten i artikel 2 visar att många av de elever som möter en sådan undervisning kan bygga upp en mer eller mindre välutvecklad processförståelse och att de bibehåller denna, men resultaten visar också att ett antal elever efterhand faller tillbaka till en materiell uppfattning av ljud och ljudöverföring.

Eftersom ljud och ljudöverföring är nära förknippat med materia och materiens uppbyggnad krävs att eleverna har ett kunnande om materia, materiens byggstenar och materiens faser innan de har möjlighet att förstå mekanismen bakom ljudöverföring. Det innebär att de naturvetenskapliga termer och delförklaringar som används i undervisningen måste vara klargjorda för att eleven skall ha möjlighet att förstå (Ogborn m.fl., 1996; Wickman & Ligozat, 2011). Vidare framhåller Driver m.fl. (1994) samt Eshach och Schwartz (2006) att det är

först när elever har förståelse för att luft består av partiklar och att vakuum är avsaknaden av sådana partiklar, som det finns förutsättningar för att de skall kunna utveckla en vetenskaplig förståelse för att ett medium är nödvändigt för ljudets överföring. Artikel 2 som behandlar elevers beskrivningar av ljud och ljudöverföring understryker det ovan sagda. Artikeln belyser de svårigheter som är förenade med att utveckla ett kunnande om att ljudöverföring är en process, det vill säga en överföring av rörelseenergi via materiens beståndsdelar och inte en överföring av materia. Av detta följer att det är vanskligt för elever att förstå innebörden av begreppet ljudöverföring innan de har konstruerat ett materiebegrepp. Artikelns fokus har dock inte varit att studera hur elevernas förståelse av materia konstrueras eller hur en partikelteori för undervisning kan utvecklas.

Det finns ett flertal andra studier (t.ex. Andersson & Bach, 1995; Adbo & Taber, 2009; Garcia Franco & Taber, 2009; Johnson, 1998; Johnson & Papageorgiou, 2010; Löfgren & Helldén, 2009; Renström m.fl., 1990; Wisner & Smith, 2008) som diskuterar elevers lärande av en partikelteori för undervisning. Studierna påvisar de möjligheter som finns att undervisa om en partikelteori redan i tidiga skolår för att eleverna skall nå en fortsatt progression i sitt lärande. Löfgren och Helldén började exempelvis arbeta med partikelbegreppet redan när barnen var sju år. Men studierna visar också på elevers svårigheter att konstruera en acceptabel vetenskaplig förståelse och den komplexitet som är förenad med att undervisa om området. Forskarna förespråkar exempelvis olika utgångspunkter i undervisningen. Andersson och Bach (1995) utgår ifrån det gasformiga tillståndet, Löfgren och Helldén (2009) samt Wisner och Smith (2008) utgår ifrån det fasta tillståndet medan Johnson och Papageorgiou (2010) ifrågasätter den undervisning som utgår ifrån ämnenas tillstånd, och menar att en annan startpunkt, ”substance-based”, bör undersökas ytterligare.

Ett annat dilemma berör användningen av termen partiklar. Det atomära partikelbegreppet avser mikronivån, och det kan förväxlas med det vardagliga partikelbegreppet som avser makronivån. Av denna anledning har Löfgren och Helldén (2009) valt att tala om molekyler istället för partiklar. Jag har ändå valt termen partiklar\*, och i detta innefattar jag atomer, molekyler och joner. En konsekvens av detta är att jag benämner luftens beståndsdelar för ”luftpartiklar”, eftersom det kan vara en framkomlig väg innan eleverna kan vidga sin förståelse för att luft i huvudsak består av olika molekyllag samt en och annan atom. På så vis kan luftpartikelbegreppet preciseras utifrån mer vetenskapliga termer allt

---

\* Fysiker använder dock oftast partikelbegreppet med hänsyftning till subatomära partiklar, det vill säga partiklar som är mindre än atomer, så kallade elementarpartiklar.

eftersom elevernas kunskande om materiens byggstenar ökar. Detta resonemang bygger på den idé som Wisser och Smith (2008) uttrycker, vilken innebär att elevers lärande kan utvecklas via en intermediär modell som "might not be scientific, but is revisable 'cognitively' in the sense that it scaffolds learning the (more scientific) [...] model" (s. 231). I det här fallet betyder det att eleverna inte behöver definiera om innebörden av partiklar när de lär sig mer, vilket de måste göra om de utgår från termen molekyler.

Oavsett vilken utgångspunkt partikelteori bygger på eller vilket grundbegrepp som väljs, är en partikelteori nödvändig för att eleverna skall kunna konstruera en förståelse för ljud och ljudöverföring. En innehållsspecifik hypotes för ljud och ljudöverföring skulle kunna baseras på det ramverk som utgår från en partikelteori för gaser (Andersson & Bach, 1995, 1996). Då skulle en lärandeprocession kunna åstadkommas genom att följande betingelser beaktas i tur och ordning: "konkreta erfarenheter av luft, faser, fasändringar med mera, en partikelteori för gasformigt tillstånd och en partikelteori för fast och flytande tillstånd" (Andersson, 2011, s. 211). Eftersom fokus i denna avhandling inte ligger på design av undervisning om en partikelteori för materia, kommer jag inte att gå djupare in på detta. Mitt syfte med ovanstående resonemang har varit att visa på vikten av att eleverna har konstruerat en förståelse för materiens uppbyggnad för att de skall ha möjlighet att förstå ljud och ljudöverföring. Det sagda innebär *inte* att ingen som helst undervisning om ljud skulle kunna förekomma om eleverna inte har ett materiebegrepp. Eleverna kan ändå undersöka var det finns ljud, vilka olika ljud som förekommer och hur de upplever dem utan att förstå något om ljudöverföring. Likaså kan de undersöka hur ljud uppkommer och göra experiment som anknyter till detta (se aspekt 1). Men om syftet är att eleverna skall kunna förstå grunderna för ljudets överföring då är partikelförståelsen nödvändig.

Jag vill framhålla att den modell för ljudöverföring som presenterats i aspekt 2 också är en förenklad, intermediär modell för skolans naturvetenskap, som inte till fullo överensstämmer med den vetenskapliga synen på ljudöverföring. Dock fann Fazio, Guastella, Sperandeo-Mineo och Tarantino (2008) i sin studie av gymnasiestudenters lärande att en tillräcklig grund för elevernas lärande var att de från början kunde beskriva ljudöverföring med hjälp av växelverkan mellan atomer och molekyler. Då kunde de utveckla sin förståelse mot en korrekt vetenskaplig uppfattning. Den intermediära modellen kan således efterhand byggas ut till en mer vetenskaplig modell (Wisser & Smith, 2008).

*3. Rörelsen från ett vibrerande föremål överförs i gasformiga, flytande och fasta ämnen via dessa ämnens "partiklar". Varje enskild "partikels" rörelse överförs till en närbelägen "partikel" i en växelverkan.*

Artikel 2 visar att många elever och studenter beskriver ljud och ljudöverföring på olika sätt i olika media, vilket betyder att de inte har konstruerat en generell teori för ljudöverföring. Mina resultat visar att det är en utmaning för elever att bygga upp en generell teori. En förutsättning för att eleverna skall kunna lära sig att generalisera är att läraren är väl medveten om att olika förklaringsmodeller kan förekomma hos en och samma elev och tar hänsyn till det. Ett viktigt redskap i detta arbete är formativ bedömning inklusive kvaliteten på den återkoppling som ges gentemot eleven/eleverna.

I artikel 2 framkommer att ett litet antal elever före undervisningen beskrev att luft, syre och/eller gas är nödvändigt för att ljudöverföring skall kunna ske i vatten. Efter undervisningen var det till och med några fler som använde sådana formuleringar i sina svar. Detta trots att lärarna undervisade om att vattenpartiklarna överför den vibrerande rörelsen. En anledning skulle kunna vara att undervisningen om ljud startade med överföring via luftens partiklar, och att dessa elever därför fortsatte att bygga sin teori om ljudöverföring på gasformiga ämnen som luft och syre. De plockade så att säga med sig luft och syre ner i vattnet. Maurines (1993) menade, utifrån likartade resultat, att det visar att eleverna inte har förstått hur ljud överförs i vatten. Samma dilemma återfinns när det handlar om ljudöverföring i fasta ämnen, både i artikel 2, men också i andra studier (Caleon & Subramaniam, 2010a; Eshach & Schwartz, 2006). Det kan vara ett tecken på, såsom Houle och Barnett (2008) skriver, att eleverna uppfattar att ljud är luft, syre och/eller gas, och att det är dessa substanser som förflyttas vid ljudöverföring oavsett i vilket ämne ljudöverföringen sker. Caleon och Subramaniam (2010a) påpekade i sin studie att uppfattningen om att luft behövs för ljudöverföring, oavsett media, var den mest robusta av de alternativa föreställningar som eleverna gav uttryck för. Det finns följaktligen en risk att elever förväxlar olika media och dess beståndsdelar när de skall försöka förstå hur ljudöverföring går till, vilket i sin tur är ett tecken på att deras materiebegrepp ännu inte utvecklats. Således tycks det vara viktigt att i undervisningen betona hur ljudöverföringen sker i olika ämnen, och att dessutom formativt utvärdera vilken uppfattning eleverna har efter denna undervisning. Ljudöverföring kan något mer vetenskapligt diskuteras i termer av att rörelseenergi överförs mellan de ingående partiklarna i ett ämne om eleverna redan från början har ett välutvecklat energibegrepp.

#### *4. Ju närmare partiklarna befinner sig varandra desto snabbare överförs rörelsen.*

Artikel 2 visar att det finns elever som uttrycker att det går långsammare för ett ljud att ta sig igenom vatten än luft, respektive trä än vatten. Dessa uppfattningar är i regel ett tecken på en materiell uppfattning. I samband med de genomförda undervisningssekvenserna diskuterade ofta eleverna i termer av ljudhastighet, exempelvis när de experimentellt prövade om ljud kan överföras via olika vätskor eller via olika fasta material. Det går dock inte att uttala sig om ljudhastigheten i olika media utifrån dessa experiment. Det kan ändå vara väsentligt att möta elevernas undran med ett enkelt resonemang som i sin tur kan vidareutvecklas i samband med undervisning på högre stadier. Generellt ökar ljudhastigheten genom olika medier vid en och samma temperatur ju närmare partiklarna befinner sig varandra. Det betyder att ljudhastigheten är högre i fasta ämnen än i flytande ämnen och att den är högre i flytande ämnen än i gasformiga ämnen. Rent fysikaliskt påverkas ljudhastigheten i ett ämne av temperaturen, ju högre temperatur desto högre ljudhastighet, och av de ingående partiklarnas egenskaper. Dessa egenskaper bidrar till att den generella regeln inte är tillämplig rakt av, vilket de elever som så småningom studerar mer fysik kan ges möjlighet att förstå.

#### *5. Olika sätt att representera ljudöverföring måste problematiseras i undervisningen*

I samband med utprovningarna blev det tydligt att olika sätt att representera ljudöverföring måste synliggöras och problematiseras i undervisningen. Elever använder olika sätt att beskriva och/eller illustrera ljudöverföring, vilket framgår av artikel 2 men även av andra studier (Eshach & Schwartz, 2006; Watt & Russel, 1990). Exempel på termer som används är vibrationer, eko, åka, vågor, ljudvågor, z-tecken eller formuleringar som ”brum” eller ”tut tut”. Illustrationerna kan exempelvis bestå av notskrift, bubblor, linjer, vågor, pilar eller virvlar. Det innebär att eleverna kommer till undervisningen med en mängd olika sätt att tolka och förstå ljud och ljudöverföring, och många gånger tilldelar de uttrycken en annan mening än den som används i vetenskapliga sammanhang. Eleverna behöver därför ges möjligheter att uttrycka sina föreställningar, bearbeta dem och utveckla eller rekonstruera dem utifrån ett vetenskapligt synsätt, och detta kan de inte göra ensamma. I denna process ingår lärarens mediering av det ”vetenskapliga skolspråket” som en central del. Under mitt avhandlingsarbete har jag noterat att elever ofta använder termen ljudvåg(or) i en helt annan betydelse än den som används inom naturvetenskapen. Eftersom det är en vanligt förekommande term såväl i vardagsspråket som inom naturvetenskapen,

är det väsentligt att lyfta fram termen i undervisningen så att eleverna ges möjlighet att förstå den begreppsliga innebörd som vetenskapen utgår ifrån. Många forskare (Caleon & Subramaniam, 2010a, 2010b; Barman, Barman & Miller, 1996; Eshach & Schwartz, 2006; Linder, 1992; Wittman, Steiberg & Redish, 2003) påvisar de svårigheter som elever och även studenter på universitetsnivå har med innebörden av termen ljudvåg. Exempel är att ljudvågor betraktas som något i sig materiellt som krockar med luftens partiklar eller med varandra eller att luftens partiklar följer en vågformad rörelse.

Om man i undervisningen uppmärksammar och diskuterar ett antal olika sätt som kan användas för att representera ljud och ljudöverföring, samt i vilka sammanhang de är relevanta, antas att elevernas medvetenhet om de olika representationsformerna ökar. I detta ingår att lyfta fram att ljudvågor egentligen är en grafisk representationsform som matematiker och fysiker använder för att beskriva ljudöverföring (Linder & Erickson, 1989).

#### *6. Ljudöverföring är en emergent process*

Ljudvågebegreppet länkar till nästa steg, och det är att ljudöverföring utgörs av en emergent process. Med emergent process avses att det är en storskalig process vars rörelsemönster är annorlunda än de ingående delarnas rörelsemönster. Den våg som åskådare gör tillsammans på läktaren under en fotbollsmatch är exempel på en emergent process, eftersom människornas rörelser upp och ner är helt annorlunda än det storskaliga rörelsemönster, vågen, som syns på håll. En bilköns rörelsemönster relativt de ingående bilarnas rörelser är ett annat vardagsnära exempel. På liknande sätt är ljudöverföring ett exempel på en sådan emergent process, där de partiklar som mediet består av har ett annat rörelsemönster än den storskaliga processens rörelsemönster. I den storskaliga processen brukar man tala om förtätningar och förtunningar i mediet, samt grafiskt illustrera detta som ett vågmönster vilket benämns ljudvågor. Dessa olika rörelsemönster är en annan svårighet för elever och studenter att skilja ut och förstå (Wittman m.fl, 2003). Det innebär att den lärande ånyo står inför ett ontologiskt skifte i sitt sätt att betrakta ljudöverföring, och sådana skiften är svårhanterliga vilket tidigare nämnts.

Jag har dock inte fokuserat elevernas lärande av den emergenta processen i min analys utan bygger mitt resonemang på tidigare forskning.







### *7. Ljudöverföring är en komplex emergent process*

Den sista aspekten syftar till att den lärande skall kunna utveckla en adekvat vetenskaplig modell i vilken ingår en förståelse för hur ett ämnes elasticitet och tröghet påverkar ljudöverföringen (Fazio m.fl., 2008; Linder, 1993). Begreppen elasticitet och tröghet i relation till ljudöverföring är inte aktuella i grundskolans naturvetenskap, och därför förväntas det inte att eleverna skall lära sig den naturvetenskapliga modellen för ljudöverföring.

### *Sammanfattning*

En översikt över de innehållsspecifika aspekter som anses underlätta elevernas förståelse och lärande av ljud och ljudöverföring presenteras i följande tabell (tabell 8.1).

Tabell 8.1. Innehållsspecifika aspekter som anses underlätta elevernas förståelse och lärande av ljud och ljudöverföring (översättning av tabell 4 i artikel 2).

<i>Förklaringar</i>	<i>Att lära</i>	<i>Lärandenivå</i>
<p><b>Initiala förklaringar:</b> Ljud är inget som överförs; eller utgörs av ett objekt, eller av en avgränsad substans såsom en vind eller ett luftpaket som förflyttas.</p>	<p>Luft (gasformiga ämnen), flytande och fasta ämnen är uppbyggda av ”partiklar”. Dessa ”partiklar” är av olika slag beroende på vilket ämne det är - flytande och fasta ämnen består inte av ”luftpartiklar”.</p>	<p>Utökad förståelse</p>  <p>Ontologiskt skifte</p> 
<p><b>Intermediär modell/modell för skolans naturvetenskap:</b> Ljud är vibrationer (rörelseenergi); de (den) kan överföras i all materia via materiens ”partiklar”; ju närmare ”partiklarna” är varandra desto fortare går överföringen.</p> <p>Ljudöverföring kan representeras på olika sätt.</p>	<p>Ljudöverföring är en direkt process (rörelsen överförs via närbelägna ”partiklar”).</p>	<p>Ontologiskt skifte</p> 
<p><b>Intermediär modell/alternativ modell för skolans naturvetenskap:</b> Ljudöverföring är en storskalig process vars rörelsemönster är annorlunda än de ingående ”partiklarnas” rörelsemönster.</p>	<p>Ljudöverföring är en emergent process.</p>	<p>Utökad förståelse</p> 
<p><b>Vetenskaplig modell</b> Ljudöverföring påverkas av ett ämnes egenskaper, dvs. elasticitet och tröghet.</p>	<p>Ljudöverföring är en komplex, emergent process.</p>	

Översikten tydliggör ett antal väsentliga aspekter att ta hänsyn till i undervisning som syftar till att eleverna ska ges möjligheter att konstruera en förståelse för ljudöverföring. Den pekar också på de alternativa modeller, intermediära

modeller, som kan utgöra lärandemål för grundskolans naturvetenskap på vägen mot en vetenskaplig modell.

De resultat som presenteras i artikel 2 visar med all tydlighet att elever, och särskilt före undervisningen, betraktar ljud som ett materiellt fenomen, alltså att något materiellt förflyttas från en plats till en annan. Föreställningen är vanligt förekommande och den utgör en utmaning för eleverna att rekonstruera, och jag menar att det är viktigt för den undervisande läraren att vara medveten om detta. Denna medvetenhet ger läraren förutsättningar att förstå grunden för elevernas olika resonemang och att hjälpa dem med sin rekonstruktion. Klaassen och Lijnse (1996) framhåller just att “all interpretation depends on our ability to find *common ground*” (s.131).

Den utmaning många elever står inför består av att ändra uppfattning, byta ontologi, från uppfattningen att ljud är en förflyttning av något materiellt från en plats till en annan, till att förstå att det istället är en rörelse som överförs. Sådana ontologiska skiften är omskrivna som särskilt utmanande i forskningslitteraturen (t.ex. Carey, 1991; Chi, 2008; Chi, Slotta & De Leeuw, 1994; Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti, 2008). Karaktäristiskt för sådana uppfattningar som kräver ett ontologiskt skifte är att de återfinns hos lärande i olika åldrar (Chi, 2005), vilket överensstämmer med resultaten från den forskningsgenomgång jag gjort i artikel 2 beträffande elevers och studenters uppfattningar om ljud. Dessutom menar Chi att dessa uppfattningar sett ur ett historiskt perspektiv vanligen har funnits under lång tid. Den idéhistoriska genomgången i kapitel 5, om hur kunskap om ljud och ljudöverföring har vuxit fram genom århundradena, bekräftar också att uppfattningen om att ljudöverföring innebär en materietransport har funnits under lång tid.

## Hörsel och hörselhälsa

Jag inleder med en allmän reflektion om den ljudmiljö dagens unga växer upp i. Det framkommer av forskningsgenomgången i artikel 3 att hörselskador som tinnitus och ljudöverkänslighet under senare år har ökat bland barn och ungdomar, vilket i sin tur tycks bero på den ökande mängd starka ljud som de exponeras för under sin uppväxt (Daniel, 2007). Unga människor riskerar att utsätta sig för höga ljudnivåer exempelvis i samband med bruk av högljudda leksaker, utövande av dataspel samt vid besök på gym, konserter och diskotek (t.ex. Bohlin & Erlandsson, 2007; Konsumentverket, 2011; Råd & Rön, 2005, 2010; Serra m.fl., 2005). Under de senaste åren har också den ökande användningen av personliga musikspelare ansetts utgöra en ytterligare riskfaktor för unga människors hörsel (Berg & Serpanos, 2011; Bulbul, Bayar Muluk, Çakir

& Tufan, 2009; Daniel, 2007; SCENIHR, 2008; Vogel, Brug, Hosli, van der Ploeg & Raat, 2008).

Frågan om starka ljud är således viktig att hantera i skolan i förebyggande syfte. Kirby m.fl. (2007) visade utifrån sin forskningsöversikt att det i undervisningen är väsentligt att inkludera och balansera de två perspektiven: *hälsofrämjande* respektive *riskperspektivet*. Eftersom barn redan vid unga år utsätts för höga ljudnivåer är ett hälsofrämjande arbete i förskolan och i de tidiga årskurserna av vikt (Vogel, Verschuure, van der Ploeg, Brug, & Raat, 2009).

Om följande betingelser (1 t.o.m. 3) beaktas i undervisningen antas att lärande med förståelse gynnas när det gäller hörsel och hörselhälsa.

*1. Eleverna ges ett flertal konkreta upplevelser av att hörseln kan registrera olika ljud.*

Min hypotes, baserad på Kirby m.fl. (2007) och Vogel m.fl. (2009), är att unga människors medvetenhet om hörselorganens avancerade byggnad samt känslighet skulle öka om de redan i förskolan och i de tidiga årskurserna explicit möter ett hälsofrämjande synsätt som fokuserar på hur känslig och betydelsefull hörseln är. Ett sätt att åstadkomma detta är att ge barnen/eleverna konkreta upplevelser genom att de i olika sammanhang positivt medvetandegörs om att de kan urskilja olika ljud, svaga och starka såväl som låga och höga, som finns runt omkring dem. Barnen/eleverna kan exempelvis aktivt lyssna efter hur många olika naturljud/fågelljud (oavsett om läraren känner till vad det är för art eller inte) de kan urskilja när de sitter tysta och lyssnar en stund i samband med en skogspromenad. Andra alternativ är att försöka urskilja olika ljud inomhus eller i en stadsmiljö. Att hörseln kan skilja på många olika ljud är ett tecken på örats och hörselns fina uppbyggnad och känslighet, och för att vi skall kunna behålla denna måste vi vara rädda om vår hörsel.

*2. Det betonas att örat består av känsliga delar som är av helt avgörande betydelse för vår hörsel. Dessa känsliga delar kan skadas permanent av starka ljud i vår vardag och vi måste vara rädda om dem. Den egna sårbarheten framhålls.*

Resultaten i artikel 3 tyder på att det finns korrelationer mellan beskrivningar av egen sårbarhet respektive oro för tinnitus och de tecken på beteendeförändring som eleverna i årskurs 7 och 8 beskrev ett år efter undervisningens slut. Denna analys var inte möjlig att göra i årskurs 4 eftersom sådana data inte hade samlats in. Den forskningssammansättning som ingår i artikel 3 visar också att insikt om den egna sårbarheten och ett visst mått av oro har betydelse för hur ungdomar agerar i hälsofrämjande syfte (Vogel m.fl., 2008; Widén, 2006).

*3. Hörselns funktion studeras: trumbinnans vibrationer överförs via hörselbenen till innerörat där små ytterst känsliga sinnessceller (hårceller) omvandlar vibrationerna till elektriska impulser vilka överförs till hjärnan där de tolkas. Den egna sårbarheten och risken att råka ut för hörselskador såsom tinnitus betonas i undervisningen samt hur en god hörsel kan bibehållas.*

Artikel 1 visar att elever redan i årskurs 4 har förutsättningar att lära sig om örats delar, hörselns funktion samt om konsekvenser av tinnitus. Vidare pekar artikel 3 på att deras ställningstaganden i frågor om starka ljud och användande av öronproppar kan utvecklas i gynnsam riktning genom undervisning om ljud, hörsel och hälsa. En bidragande anledning kan vara att eleverna har fått bearbeta sina uppfattningar om hörsel och hörselhälsa i grupp, inklusive att de fått träna på att argumentera utifrån värderingar och naturvetenskapliga kunskaper (t.ex. Mercer m.fl., 2004; Osborne m.fl., 2004). Artikel 3 visar exempelvis att en del elevers förklaringar till att de anser sig klara all stark musik bygger på mytbildningar (Arlinger m.fl., 2007; Socialstyrelsen, 2003), såsom att de tål all stark musik för att de vant sig eller att de tål all stark musik som de gillar. I samband med argumentationsövningar kan eleverna få möjligheter att diskutera grunden för sådana argument. De båda artiklarna visar också att ju äldre eleverna är ju mer utvecklade är deras svar med avseende på kunnande och ställningstaganden i frågor om örat, hörseln och hörselhälsa. De äldre eleverna redovisade i högre grad finare strukturer såsom hårceller och/eller kausala samband, och kvaliteten på de äldre elevernas förklaringar beträffande hörselhälsomedvetenhet förbättrades och fortsatte att förbättras efter undervisningens slut.

## Ljud, hörsel och hälsa

I detta avslutande avsnitt har jag formulerat en aspekt som knyter samman ljud och ljudöverföring med hörsel och hälsa och som antas gynna undervisning inom området.

*Innehåll från flera skolämnen integreras i undervisning om ljud, hörsel och hälsa samt kopplas till elevens vardag.*

Artikel 2 visar att eleverna kan lära sig om ljud och ljudöverföring i samband med undervisning om hörsel och hälsa vilket innebär att det finns möjligheter att integrera ämnesinnehåll från olika skolämnen. Sammantaget pekar således resultaten på att det är ändamålsenligt med integrerad undervisning om ljud, hörsel samt hälsa redan i årskurs 4, och att återkommande undervisning (Bruner, 1977) inom området kan ge eleverna förutsättningar att ytterligare utveckla och

integrera sin förståelse på en mer avancerad nivå (Andersson, 1994). Således finns det förutsättningar för att integrera undervisning om hälsa med undervisning i de olika naturvetenskapliga skolämnena, något som Harrison (2005) efterlyser.

## 9. SLUTSATSER, DISKUSSION OCH IMPLIKATIONER

I detta kapitel sammanfattas och diskuteras de slutsatser jag drar av min studie och de implikationer dessa ger. Först följer ett resonemang om elevernas lärande i relation till ålder och kön. Därefter diskuteras elevernas och lärarnas lärande i relation till formativ bedömning. Avsnittet följs av en kort beskrivning av hur lärare har reflekterat över språkbruket i klassrummet, och mina egna reflektioner kring interaktionsmönster i undervisningen. Vidare följer en generell diskussion kring de resultat avhandlingen genererat, och i anslutning därtill diskuteras metodfrågor. Avslutningsvis följer några förslag till fortsatt forskning och en avslutande reflektion.

### 9.1 Resultaten i relation till elevernas ålder

De analyser som gjorts i samband med denna avhandling berör elevernas lärande av ett naturvetenskapligt innehåll samt deras ställningstaganden i frågor om ljudnivåer som har tydlig koppling till ungdomarnas eget liv. Resultaten visar att de yngre eleverna i årskurs 4 kan lära sig strukturer i örat och att använda vetenskapliga termer lika bra som elever i årskurs 7 och 8. När det gäller lärande om ljud och ljudöverföring tyder resultaten på att de yngre, ungefär i samma omfattning som de äldre, har utvecklat en förståelse för att ljudöverföring handlar om en rörelseprocess istället för en nettoförflyttning av materia. Det finns dock skillnader i de yngre och äldre elevernas lärande när resultaten analyseras på en mer detaljerad nivå. Ju äldre eleverna är desto större förståelse uttrycker de vid eftertesterna beträffande de små känsliga strukturerna i innerörat (hårcellerna), att vibrationer/rörelse transformeras till elektriska impulser och följaktligen också den kausala kopplingen: mellanörat - innerörat - hår/hårceller - transformation - hjärnan - varseblivning. Liknande mönster finns i elevernas svar på frågor om ljudöverföring. Ju äldre eleverna är desto större andel av dem uttrycker explicit att de utgår ifrån en och samma teori för ljudets överföring oavsett media - en *generell teori* för ljudöverföring.

Beträffande elevernas ställningstaganden i frågor om ljudnivåer i olika sammanhang samt deras inställning till användande av öronproppar finns det också en skillnad när resultaten jämförs mellan de olika åldrarna. Elever från de tre årskurserna (4, 7 och 8) visar signifikant ökad hälsomedvetenhet vid efter-

testet jämfört med förtesterna, men de äldre eleverna ligger i större omfattning kvar på en signifikant högre nivå även ett år senare. I årskurs 7 och 8 fick eleverna dessutom skriva förklaringar till sina ställningstaganden på två frågor. Återigen finns samma mönster: att en större andel av de äldre eleverna efter undervisningen uttrycker att de själva anser sig vara sårbara när det gäller stark musik. Dessutom uppvisar en större andel av de äldre tecken på att de ändrat sitt beteende på ett hälsofrämjande sätt under det år som gått efter undervisningens slut. Några elever beskriver också hur de ändrat sitt beteende. Det är dock viktigt att uppmärksamma att *uttryck* för ändrat beteende inte behöver vara samma sak som ändrat beteende. Resultaten bygger på relativt få elevsvar (cirka 140 stycken) och det skulle därför vara intressant att göra en mer omfattande undersökning.

Olsen Widén och Erlandsson (2004b) fann in sin studie av tonåringar (13-19 år) en liknande trend, det vill säga att de äldre eleverna visade en mer kritisk inställning gentemot höga ljudnivåer än vad de yngre gjorde. Samma trend beskrev Socialstyrelsen (2002) bland 15-20 åriga ungdomar. Dessa båda studier bygger dock på data från ett enda enkättilfälle, medan resultaten i den här avhandlingen bygger på longitudinella data som samlats in både före och efter undervisning. Mina data kan därför visa på skillnader i elevernas ställningstaganden inklusive yttranden om sårbarhet och beteende i frågor om starka ljud. Resultaten pekar på att elevernas ställningstaganden, yttranden och beteende förändras på liknande sätt; ju äldre eleverna är desto större är deras förändring i hälsofrämjande riktning.

## 9.2 Resultaten i relation till elevernas kön

Resultaten visar inga signifikanta, generella könsskillnader beträffande elevernas lärande om ljud, hörsel och tinnitus. Däremot finns det tydliga könsskillnader när det handlar om elevernas ställningstaganden i frågor om höga ljudnivåer och användande av öronproppar samt i de förklaringar eleverna i årskurs 7 och 8 gjort i frågor om hur de ser på sin egen sårbarhet och beteende i relation till höga ljudnivåer. Flickorna uppvisar generellt en mer hälsofrämjande inställning i frågor om höga ljudnivåer och användande av hörselskydd än vad pojkarna gör både före men framförallt efter undervisningen. De visar också högre medvetenhet om att de själva är sårbara, och en högre andel av dem uttrycker tecken på att de ändrat sitt beteende under det år som gått efter undervisningens slut. Dessa resultat överensstämmer med andra studier, som visar att flickor tycks vara mer medvetna om hälsofrågor kopplade till höga ljudnivåer (t.ex. Kärrqvist & West, 2005; Olsen Widén & Erlandsson, 2004a; Socialstyrelsen,



2002). En fundering jag har i anslutning till dessa resultat är hur undervisning ska utformas för att pojknas hälsomedvetande ska kunna utvecklas i samma grad som flickornas.

### 9.3 Formativ bedömning

Avhandlingens fokus har varit eleverna och deras lärande, och inte analys av formativ bedömning och dess komponenter. I samband med mitt arbete har det dock framkommit resultat som tyder på att formativ bedömning och relevant återkoppling har haft betydelse för elevernas lärande (artikel 1 och 2). Lärarna har på olika sätt också uttryckt att den haft betydelse för deras eget lärande. Formativ bedömning har varit en bärande idé som lärarna fortlöpande har använt sig av i undervisningen.

Samtliga lärare har i sina dagböcker och i intervjuer framfört att den formativa bedömningen har bidragit till att de förändrat synen på elevernas lärande och därmed sin egen undervisning. Det är också något som exempelvis Black m.fl. (2003; 2004) och Nyberg (2006) beskriver utifrån sin samverkan med lärare i olika undervisningsprojekt. Dessutom beskriver lärarna hur den formativa bedömningen har påverkat deras elever. En lärare skriver exempelvis i sin dagbok:

I och med den formativa utvärderingen har eleverna tvingats till att tänka efter i stort sett varje lektion. Jag har ju gjort utvärderingarna på lite olika sätt, muntligt, skriftligt, enskilt eller i grupp. Men sammanfattningsvis är det så att ingen har ”kommit undan” genom att gömma sig bakom någon annan.

Ytterligare ett exempel utgörs av detta dagbokscitat:

En av mina elever sa idag att det är ju lika bra att fråga från början för du kollar ju ändå om jag har fattat.

Dessa citat, inklusive en något djupare beskrivning av lärarnas erfarenheter, redovisas i lärarguidens sista kapitel (West, 2008a, kap. 11) och i ett bokkapitel (West & Andersson, 2011).

Lärare har i samband med den genomförda undervisningen uttryckt att de lågpresterande eleverna har lyckats bättre än tidigare. Jag har ovan nämnt att det även finns tecken på att kvaliteten på den formativa återkopplingen har stor betydelse. Resultaten är helt i överensstämmelse med de forskningsöversikter som entydigt visar att formativ bedömning och relevant återkoppling till eleverna är ett kraftfullt redskap för ökat lärande (Black & Wiliam, 1998a, 1998b; Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008). Översiktterna pekar dessutom på att formativ bedömning förbättrar elevernas motivation, självkänsla och lärande. Om elevens

lärande fortlöpande utvärderas och eleven får hjälp att komma vidare är det kanske inte så konstigt att alla dessa tre faktorer förbättras samtidigt. Beträffande lågpresterande elever är det i sammanhanget intressant att notera de trender som finns i Sverige som visar att lågpresterande elevers resultat har försämrats mer än andra elevers resultat både i naturvetenskap och rent generellt (Skolverket, 2009, 2010). Det ovan sagda tyder på att det är väsentligt att utveckla formativ bedömning i den svenska skolan.

## 9.4 Erfarenheter av språkbruk och interaktionsmönster i klassrummet

I samband med studien och de olika utprövningscyklerna har det framkommit ytterligare aspekter som också kan vara intressanta att nämna. Det är lärarnas reflektioner över betydelsen av sitt eget språkbruk i klassrummet och mina egna funderingar över interaktionsmönster i undervisningen. Dessa nämns också i lärarguiden (West, 2008a, kap. 11) och i ett bokkapitel (West & Andersson, 2011).

Vid flera tillfällen har lärarna konstaterat att de ord och de begrepp som eleverna använder tydligt relaterar till lärarens eget språkbruk. Det blev särskilt tydligt när de lärare som undervisade i årskurs 7 och 8 träffades för att diskutera vad eleverna lärt sig. I samband med träffen hade jag klassvis skrivit ut samtliga elevsvar (anonyma) från årskurs 7 och 8 på eftertestet som underlag för diskussion. Syftet med diskussionen var att generellt utvärdera vad eleverna lärt sig. Trots att elevsvaren var anonyma kände lärarna igen sina elevers svar och det språkbruk lärarna själva använt i klassrummet. De uttryckte både glädje och förvåning men också en viss rädsla över det inflytande deras språkbruk haft på elevernas lärande. Det tyder på att ett väl definierat och enhetligt bruk av termer och begrepp gynnar elevernas möjligheter att uttrycka sin förståelse.

I samband med lektionsbesök under de olika utprövningscyklerna har jag vid några tillfällen observerat att undervisande lärare undviker att samla ihop trådarna i det undervisningsinnehåll som avhandlats under lektionen, fastän en sådan avslutning sannolikt hade bidragit till att klargöra innehållet för eleverna. Mortimer och Scott (2003) menar att sådan kommunikation är viktig för att vetenskapliga uppfattningar ska kunna befästas, och de benämner detta kommunikationsmönster för icke-interaktivt/auktoritativt. I samtal efter lektionen uttryckte exempelvis en lärare en tvekan inför att ”köra över” eleverna genom att använda denna form av kommunikation. Svårigheten består kanske av att växla mellan de olika kommunikationsmönster som Mortimer och Scott

beskriver. Under mina lektionsbesök har mitt intresse inför de kommunikationsmönster som används i undervisningen ökat allt mer, och jag anar att det här finns en framtida potential för utveckling av undervisning i de naturvetenskapliga ämnena. Det är onekligen en fråga som är intressant för vidare forskning.

## 9.5 Generell diskussion av resultaten och dess implikationer

I det här avsnittet diskuteras undervisning med fokus på ljud, hörsel och hälsa, och därefter följer en allmän diskussion om undervisning i och om naturvetenskap.

### Undervisning om ljud, hörsel och hälsa

Att undervisa om ljud, hörsel och hälsa bjuder på ett antal utmaningar både för lärare och för elever. Utmaningarna liknar dem som filosofer och vetenskapsmän brottats med genom historien (kapitel 5). Det tog exempelvis lång tid innan man var ense om att ljudöverföring inte är en nettoförflyttning av materia utan en överföring av rörelseenergi. Ett annat exempel är kunskapen om örat och hörseln där man först under 1900-talet började klara ut de kausala samband som råder när ett ljud överförs från omgivningen tills vi hör.

Artikel 2 klagör att en svårighet för eleverna är just att ljudöverföring inte är en nettoförflyttning av materia utan en överföring av rörelseenergi. Artikel 1 visar också att det kan vara svårt för ungdomar att förstå innebörden av risken med starka ljud, och att de därför behöver utveckla en förståelse för örats uppbyggnad och funktion. Vidare framgår det av artikel 3 att elevernas hälsomedvetenhet i frågor om starka ljud är större efter undervisningen och att det även finns tecken på ett ökat hälsofrämjande beteende i sådana frågor. De samlade resultaten visar entydigt att elever redan i årskurs 4 kan lära sig om ljud, hörsel och hälsa, men en trend tycks vara att ju äldre eleverna är desto mer avancerade är deras resonemang. En annan trend är att den hälsomedvetenhet eleverna ger uttryck för omedelbart efter undervisningen har ökat ju äldre eleverna är under det år som gått efter undervisningens slut. Detta gäller särskilt för flickorna.

Slutsatser av min studie är att undervisning om ljud, hörsel och hälsa ger goda resultat redan i årskurs 4, att området är komplext och att det kräver ämnesdidaktiskt kunniga och kompetenta lärare. Vidare kan den innehålls-specifika hypotes som har formulerats i den här avhandlingen utgöra en grund för fortsatt forskning och dessutom bidra till att undervisning om ljud, hörsel och hälsa kommer till stånd och utvecklas i utökad omfattning.

Undervisning om ljud tycks inte ha förekommit i önskvärd omfattning vare sig i Sverige eller i många andra länder. Martin m.fl. (2008) konstaterade

exempelvis i den TIMSS-studie som genomfördes 2007 att undervisning om ljud förekom i begränsad omfattning. Av de svenska eleverna i årskurs 4 hade 12 % fått undervisning om hur ljud uppkommer, medan motsvarande andel bland elever från alla de deltagande länderna var 33 %. Vidare hade 51 % av de svenska eleverna i årskurs 8 fått undervisning om ljud och ljudets egenskaper jämfört med 60 % av alla deltagande elever. Det innebär sammantaget att färre svenska elever hade fått undervisning om ljud och särskilt i årskurs 4. Däremot säger TIMSS inget om hur det är med undervisning om hörsel och hörselhälsa. Vogel m.fl. (2009) menar dock att undervisning om preventiv hörselhälsa saknas i skolundervisningen.

Remarkably, schools were not identified as a party in the prevention of MP3-induced hearing loss among adolescents. Although hearing conservation instruction during school lessons was rated relevant in this study, it was rated not feasible, especially by experts involved in schools. This is in contrast with previous recommendations; over the past 3 decades, implementation of hearing conservation education programs in schools was recommended by many. Explanations for this could be lack of awareness among persons involved in schools and an overloaded curriculum. (Vogel m.fl. s. 1261-1262)

Chung m.fl. (2005) är av uppfattningen att undervisning om hörselhälsa bör implementeras på bred front i dagens samhälle. Den läroplan, Lgr 11, som gäller för den svenska grundskolan från och med hösten 2011 ger utökade förutsättningar för att undervisa om ljud, hörsel och hälsa (Skolverket, 2011). Hälsofrågor som anknyter till ljudmiljöer är nu tydligare formulerade än i de tidigare styrdokument, framförallt i fysik, musik och slöjd. Det finns också anknytningar till området redan i det centrala innehållet för de tidiga årskurserna.

Undervisning om ett abstrakt område som ljud har betydelse inte bara för elevers kunskaper om ljud och ljudöverföring, utan den kan också bidra till att underlätta elevers förståelse av andra mer generella naturvetenskapliga begrepp som tryck och vågrörelser (Eshach & Schwartz, 2006). En förutsättning för att läraren skall lyckas är att läraren har ämnesdidaktisk kompetens (Zetterqvist, 2003). I en sådan ingår ämneskunskaper och inte minst ämnesdidaktiska kunskaper för att kunna planera och genomföra undervisningen. Dock visar Linder och Erickson (1989) samt Treagust och Duit (2008) att lärarkompetensen ibland brister. TIMSS 2007 visade också att de elever som hade lärare som inte kände sig förberedda att undervisa i fysik och kemi hade sämre resultat på fysik och kemiuppgifterna (Bach & Frändberg, 2009). Mina undersökningar (artikel 2) visar exempelvis att lärarens användning av formativ bedömning kan vara avgörande för att få syn på elevernas förståelse och hjälpa dem vidare med

adekvat återkoppling. Detta resultat får även stöd av de forskningsöversikter som pekar på att formativ bedömning utgör en viktig potential i undervisningen (Black & Wiliam, 1998a, 1998b; Hattie, 2009; Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008). Eftersom läraren är den faktor som har störst inflytande på elevens lärande (Hattie, 2009; Osborne m.fl., 2003; Vygotsky, 1978) kan designforskningen, genom att den utvecklar innehållsspecifik didaktisk kunskap, ge ett viktigt bidrag till lärarens fortsatta kunskapsbygge och bidra till att överbrygga den klyfta som finns mellan teori och praktik.

Jag har tidigare framfört att det är väsentligt att innehållet i de naturvetenskapliga ämnena an knyter till elevens vardag (t.ex. Aikenhead, 2006; Osborne & Dillon, 2008; Roberts, 2007; Schreiner & Sjöberg, 2007). En studie av 10 universitetsstudier visar exempelvis att en viktig faktor för studenternas lärande om ljud och ljudöverföring var att innehållet var relaterat till deras vardags erfarenheter (Chu, Treagust & Chandrasegaran, 2008). PISA-resultaten (Skolverket, 2010) och Skolinspektionens rapport om svensk fysikundervisning (Skolinspektionen, 2010) pekar också på att vardagsanknytningen är viktig för grundskoleelevers lärande i naturvetenskap och i synnerhet fysik. Beträffande ljud, hörsel och hälsa finns det ett flertal sådana kopplingar, exempelvis hur man kan förebygga hörselskador orsakade av starka ljud (t.ex. Berg & Serpanos, 2011; Berglund, Lindvall, Schwela & Goh 1999; Bulbul m.fl., 2009; Daniel, 2007). Ett mer specifikt exempel är kunnande om hur personliga musikspelare kan användas så att hörselhälsan kan bibehållas (Vogel m.fl., 2009).

## Undervisning i och om naturvetenskap

Min första utgångspunkt är de internationella och nationella studier som jag redovisat i kapitel 1. De visade att svenska högstadielevers intresse för undervisning i naturvetenskap samt kunnande i och om naturvetenskap har sjunkit sedan 90-talet. Dessa resultat gäller särskilt för kemi- och fysikämnen. Dessutom framkom att eleverna inte fått den undervisning som styrdokumentet föreskriver. Det finns således anledning att fundera över skolans undervisning i naturvetenskap och de utvecklingsmöjligheter som finns.

Däremot visade TIMSS-utvärderingen 2007 att intresset och självförtroendet är stort hos svenska elever i årskurs 4 när det gäller naturvetenskap (Bach & Frändberg, 2009). Andra studier visar också att elever i de åldrar som föregår puberteten är intresserade av att lära sig naturvetenskap (Lindahl, 2003; Martin m.fl. 2008; Osborne & Dillon, 2008; Skolinspektionen, 2011). Denna avhandling pekar på att det även finns en potential för lärande beträffande naturvetenskap i dessa åldrar. Dessutom tyder resultaten på att en progression i grundskolans fortsatta undervisning, i överensstämmelse med

Bruners (1977) idé om ”the spiral curriculum”, skulle ge eleverna möjlighet att på en mer avancerad nivå bygga vidare på det kunnande och de färdigheter som de förvärvat i de tidigare årskurserna.

I sammanhanget är det dock viktigt att understryka att två av de tre lärare som arbetade tillsammans och som undervisade i årskurs 4 i de klasser jag studerat, tidigare hade följt två kompetensutvecklingskurser (LUNA – Lärande och Undervisning i NAturvetenskap) med fokus på formativ bedömning motsvarande en termins heltidsstudier. Av detta följer att de resultat som framkommit i denna avhandling beträffande årskurs 4 endast visar vad elever i årskurs 4 kan lära när de undervisas av lärare med ämnesdidaktisk kompetens. Det är i linje med vad Osborne och Dillon (2008) pläderar för:

*A growing body of recent research has shown that most students develop their interest in and attitudes towards school science before the age of 14. Therefore, much greater effort should be invested in ensuring that the quality of science education before this age is of the highest standard and that the opportunities to engage with science, both in and out of school, are varied and stimulating. Within schools, research has shown that the major determinant of student interest is the quality of the teaching. (s. 8)*

Osborne m.fl. (2009) har också understrukit vikten av att kunniga kompetenta lärare undervisar elever i den för deras intresse och lärande i naturvetenskap mest kritiska åldern 10-14 år. En rad andra forskare har också poängterat att lärarens kompetens har en helt avgörande betydelse för elevers lärande i naturvetenskap (t.ex. Andersson & Bach, 2005; Hattie, 2009; Osborne m.fl., 2003; Wallin, 2004). Dessutom tyder mina resultat på (särskilt artikel 2), liksom exempelvis studier av Hattie och Timperley (2007), att lärarens kompetens är en viktig förutsättning för att en väl fungerande formativ bedömning inklusive återkoppling till eleverna skall kunna komma till stånd. I detta ingår att läraren har formulerat tydliga mål för elevernas lärande. Vikten av tydliga lärandemål har jag diskuterat i mina två första artiklar, och det har tidigare poängterats av andra forskare (t.ex. Czerniak, 2007; Millar m.fl., 2006; Scott m.fl., 2006; Venville m.fl., 2002).

Många forskare uttrycker att undervisning i naturvetenskap, inte minst i fysik och kemi, med nödvändighet måste utvecklas mot ett mer elevcentrerat synsätt där eleverna utvecklar kunnande och färdigheter som är användbara i vardagslivet och av betydelse i det vuxna livet (t.ex. Aikenhead, 2006; Feinstein, 2011; Osborne & Dillon, 2008; Roberts, 2007; Schreiner & Sjöberg, 2007; Skolinspektionen, 2010; Skolverket, 2010). I detta ingår också att eleverna får träna sig att argumentera i olika frågor utifrån värderingar och naturvetenskapliga kunskaper. Många forskare (t.ex. Aikenhead, 2006; Osborne m.fl., 2004; Erduran

& Jimenez-Aleixandre, 2007; Sadler, 2004) har också påpekat vikten av att elever skall kunna förhålla sig kritiskt gentemot dagens informationsflöde och att unga människors förståelse av argumentation i allmänhet behöver utvecklas och även deras kompetens att bygga argument med hjälp av vetenskaplig kunskap. Flera av de nämnda studierna visar att denna dimension många gånger saknas i undervisningen.

En framtidsvision är att ökad ämnesdidaktisk utbildning och kompetensutveckling inklusive ämnesdidaktiskt stöd för lärare på alla stadier ger förbättrad undervisning, i synnerhet i fysik och kemi, som i sin tur bidrar till ökat lärande för elever i alla skolår.

Forskningsbaserat material inom specifika områden, såsom exempelvis den lärarguide som utvecklats inom ramen för det här avhandlingsarbetet, kan utgöra ett stöd för verksamma lärare eller användas inom lärarutbildningarna eller i kompetensutvecklingskurser för lärare. I enlighet med detta skriver Johnson (2007):

It is clear that teachers require a great amount of support in order to teach science effectively, including the use of inquiry, cooperative groups and classroom discourse. (s. 133)

Jag menar således att framtida designforskning är av vikt för såväl praxis som forskarsamhälle, och att det är viktigt att sådan forskning prioriteras. Den kan bidra till att undervisning i naturvetenskap utvecklas, och därmed att elevers förståelse och lärande inom specifika områden ökar. Detta kan i sin tur förväntas påverka elevernas motivation och intresse. Förhoppningsvis kommer framtida utvärderingar av elevers kunnande i och intresse för naturvetenskap därmed att visa på en positiv trend inklusive att lågpresterande elever lyckas allt bättre.

## 9.6 Metodfrågor

Jag vill i detta avsnitt belysa några grundläggande kriterier för forskningskvalitet vilka berör validitet, reliabilitet och generaliserbarhet. Jag inleder med en generell diskussion om designforskningens styrkor och begränsningar, och därefter följer en metoddiskussion beträffande min egen studie.

### Designforskningens styrkor och begränsningar

Jag har tidigare skrivit om designforskningens relevans (avsnitt 4.1). Den syftar till ämnesdidaktisk teoriutveckling och till att utveckla praktiken. Beträffande den ämnesdidaktiska teoriutvecklingens betydelse skriver Lijnse och Klaassen (2004): "If more research-based didactical structures [...] became available, then from

mutual comparisons and discussions more didactical progress would be possible” (s. 552). Många gånger tenderar forskning vars huvudsyfte är att bidra med produkter till forskarsamhällets kunskapsbygge att värderas högre än forskning som också bidrar till att i samverkan utveckla praktiken. Den senare forskningen stämplas ibland som utvecklingsarbete eller ges en lägre status. Av denna anledning vill jag än en gång lyfta fram den fyrfältsmodell som jag diskuterat i kapitel 4, och som visar skillnaden mellan utvecklingsarbete och ämnesdidaktisk designforskning. Vikten av forskning som bidrar till att utveckla både teori och praktik understryks bland annat av följande citat:

In summary, we would encourage the development of research models that shift away from the traditional limited pipeline model of researcher to practitioner information transfer. By doing so, we should see an increase in innovative and purposeful interactions between researchers and practitioners that have the potential to impact greatly on classrooms, policy makers and curriculum developers. [...] The development of these new research models would promote stronger communication between all stakeholders in the research endeavour and thereby promote better ways to communicate the outcomes of such research. The use of relevant evidence-based outcomes is needed to inform how student acquisition of science literacy can be developed further. (Hand, Yore, Jagger & Prain, 2010, s. 64-65)

Om forskning som avser undervisning och lärande av ett naturvetenskapligt innehåll ska ha någon markant påverkan på praktiken, ”it must provide teachers with guidance that is practically useful, on teaching the things they have to teach - on teaching Xs” (Millar, 2010, s. 56). Det är dock ett omfattande arbete att formulera innehållsspecifika teorier för undervisning inom alla de naturvetenskapliga områden som ingår skolans läro- och kursplaner (Lijnse, 2000; Tiberghien, 2000).

McKenney, Nieveen och van den Akker (2006) framhåller att designforskningen även ger ett tredje bidrag i form av den professionella utveckling som deltagarna genomgår. De skriver:

For example, data collection methods, such as interviews, walk-throughs, discussions, observations, and logbooks, can be structured to stimulate dialogue, reflection or engagement among participants. This perspective also stems from the conviction that there is a natural synergy between curriculum development and teacher development, and that sensitivity to this can provide more fruitful research and development opportunities. (s. 74)



När jag har följt lärare i de olika utprovningssyklerna har jag noterat hur deras kompetens efterhand ökat, och framförallt som ett resultat av formativ bedömning. Nyberg (2008) har dragit en liknande slutsats av sin studie: ”motorn som driver Stinas kompetensutveckling är hennes ökade insikter i, intresse för och genomförande av formativ utvärdering” (s. 211). Studien av Andersson och Bach (2005) visar också hur en lärares kompetens ökar i takt med att läraren undervisar utifrån ett idématerial om optik. Dessutom kan jag konstatera att mitt samarbete med lärare och elever, inklusive den undervisning jag studerat, har bidragit till att öka min egen kompetens och vidare inspirerat till nya forskningsidéer. Det är i överensstämmelse med McKenney m.fl. (2006) som skriver: “If design research activities are to contribute to the professional development of participants, then design and development must be conducted in *collaboration with* and not *for* those involved” (s. 77).

Resultat från många forskningsfält är generaliserbara, men eftersom designforskning är kontextbunden strävar den inte efter kontextfria generaliseringar (van den Akker m.fl., 2006). Dock finns det andra möjligheter genom att “it is the extent to which the details are sufficient and appropriate for a teacher working in a similar situation to relate his decision making to that described” (Bassey, 1981, s. 85). Andersson (2005) anser att sådana väl beskrivna arbeten har, som han kallar det, god utvecklingsvaliditet i det att andra forskare och lärare kan känna igen sig, lära sig något nytt, reflektera över innehållet samt stimuleras att pröva, vilket i sin tur kan generera ny kunskap. Dock syftar inte ”design och validering av undervisningssekvenser till att producera vetenskapligt testade recept för ett antal lektioner som garanterar vissa resultat” (Andersson, 2005, s. 11). Det finns dock forskningsresultat baserade på extern validering, det vill säga jämförelser mellan försöksklasser och andra klasser, som tyder på att elever som har undervisats utifrån forskningsbaserade undervisningssekvenser har utvecklat en bättre begreppsförståelse än om de följt en annan uppläggning (Leach, Scott, Ametller, Hind & Lewis, 2006). Inom den här avhandlingens ram har det inte funnits utrymme för en sådan extern validering, och av denna anledning kan jag inte uttala mig om huruvida den design som min studie bygger på fungerar bättre eller sämre än annan undervisning. Följaktligen har det inte heller funnits utrymme för att studera hur andra lärare som inte varit inblandade i forskningsprojektet skulle ha undervisat utifrån den reviderade lärarguiden och vad dessa lärares elever skulle ha lärt sig. Det betyder att den tredje fasen inte är genomförd (Brown, 1992; Leach & Scott, 2008; Leach, Scott, Ametller, Hind & Lewis, 2006). Å andra sidan har inte målet med min studie varit att utvärdera

resultatet av undervisningen gentemot andra klasser, utan mitt fokus har varit hur eleverna lär i relation till det specifika innehåll de mött.

Designforskningsstudier bygger på en komplex design, de tar lång tid i anspråk, de är dynamiska och blir aldrig slutgiltiga. Resultaten är mångfacetterade och svåra att mäta med noggrannhet. Hammersley (2009) menar emellertid att de resultat som genereras inom undervisningsområdet ofta är av sådan karaktär. Ett problem är replikerbarheten, eftersom varje undervisningsexperiment är en engångsföreteelse som aldrig kan reproduceras på samma sätt som experiment inom naturvetenskap (Lijnse, 2010b).

En svårighet är hur detaljerat de forskningsbaserade undervisningssekvenserna ska utformas. Å ena sidan påpekar Ogborn (2010) att lärare behöver ha ett fritt utrymme för att använda sitt eget professionella kunnande:

One of the strongest conclusions to come out of decades of studies of innovations is that they succeed best when teachers feel a sense of ownership of them [...] teachers necessarily transform ideas when they interpret them for themselves and turn them into something that they actually do in the classroom. (Ogborn, 2010, s. 76)

Å andra sidan kommenterar Ametller m.fl. (2007) ett exempel angående en undervisningssekvens som bygger på en analogi för att introducera elektriska kretsar:

Our point is that if teachers significantly modify the analogy itself, or the strategy for its introduction on the social plane of the classroom, a key aspect of the design brief for the teaching may not be addressed, and this is likely to have a detrimental effect on students' conceptual understanding. (Ametller m.fl., 2007, s. 490)

Liknande synpunkter framför Kirschner, Sweller och Clark (2006) när de skriver att "minimally guided instruction is less effective and less efficient than instructional approaches that place a strong emphasis on guidance of the student learning process" (s. 75). Ovanstående resonemang tydliggör det dilemma en forskare står inför, och den tradition där mitt arbete hör hemma, det vill säga *design och validering av undervisningssekvenser*, strävar efter att redovisa principer och hur undervisningen genomförts för att visa på exempel (Andersson & Bach, 2003; Millar, 2010). Ett sådant upplägg kan ge läraren en förståelse för de grunder på vilka den föreslagna undervisningssekvensen utformats, och det kan ge läraren redskap till att själv utveckla undervisningen utan att den ursprungliga intentionen går förlorad. Således är det en svår avvägning vid design av lärarguider - att ge tillräckligt vetenskapligt underlag och vara styrande men ändå ge utrymme för lärarens egna idéer.

Den utformade lärarguiden kan betraktas som en konceptuell artefakt (se 4.4), vilken i sin tur måste tolkas av den enskilda läraren utifrån hans/hennes tidigare kunskaper, uppfattningar och erfarenheter om lärande och undervisning. Det innebär att undervisningen kommer att variera med läraren, vilket blev särskilt tydligt när en tidigare spansk version av lärarguiden (West, 2006), prövades av lärare i Spanien (Lustig m.fl., 2009). De spanska fysiklärarna kände sig obehagliga med den öppna designen, och omformulerade innehållet till ett mycket styrt lärar- och elevmaterial som i huvudsak negligerade formativ bedömning. De plockade även in illustrationer som de vanligtvis använde, och som i lärarguiden beskrivs vara problematiska för elevers lärande. Således gick många av de intentioner som fanns i lärarguiden till spillo. Å andra sidan tog fysiklärarna för första gången in hälsofrågorna i sin undervisning, vilket både hade stimulerat dem och engagerat eleverna. Denna erfarenhet överensstämmer med andra forskares uttåg (t.ex. Leach, Ametller & Scott, 2010; Leach & Scott, 2008). Leach och Scott skriver:

However, the norms of school organization vary considerably between countries, and different teachers, schools and students have very different expectations about what counts as “good science teaching”. (s. 663)

Lärarens tolkning och användning av lärarguiden är således kulturberoende, vilket Bruner (2002) uttrycker genom att skriva ”[...] utbildning är inget isolerat fenomen och kan inte utformas som om den var det. Utbildning existerar i en kultur” (s. 46). Jag menar därför att tolkningen och användningen av guiden i vidare mening påverkas av såväl den enskilda skolans kultur som den kultur som råder i ett givet land.

Ett annat problem som berör designforskarens roll beskrivs av Barab och Squire (2004):

Another core challenge in carrying out design-based research arises given the joint role of the researchers as designer and researcher. Design-based researchers are not simply observing interactions but are actually “causing” the very same interactions they are making claims about. (s. 9)

Eftersom lärarguiden gradvis har reviderats och utvecklats utifrån de utvärderingar och de resultat som erhållits i samband med tidigare cykler, finns det vissa likheter mellan idéer till undervisningens uppläggning och mina forskningsanspråk. Det är naturligt att det blir så, men emellertid blir det problematiskt, som i mitt fall, då jag endast redovisar resultat från den senaste cykeln. Ett sätt att komma ifrån problemet är att göra djupanalyser av data från samtliga utvärderingsomgångar och redovisa dem tillsammans, men det har inte varit möjligt att

genomföra detta inom ramen för detta avhandlingsprojekt. Brown skrev redan 1992 om dilemmat med den mängd data som designforskning genererar.

Jag har här diskuterat några av de problem som är förenade med designforskning. Ytterligare styrkor och begränsningar diskuteras mer utförligt i många olika artiklar (t.ex. Barab & Squire, 2004; Brown, 1992; Shavelson, Phillips, Towne & Feuer, 2003) såväl som i böcker (t.ex. *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (2006), *Educational Design Research* (2006) och *Handbook of Design Research Methods in Education* (2008)) och med detta vill jag säga att det fortlöpande pågår en diskussion inom forskarvärlden. En slutsats är att designforskning är ett innovativt, framväxande forskningsfält där metodologin är under utveckling (Kelly, 2006).

### Metodfrågor i relation till min studie

De data jag samlat in och de analyser som jag genomfört är förenade med ett antal metodöverväganden, som jag vill belysa i detta avsnitt. Jag har använt det forskningsbaserade idématerialet, lärarguiden (West, 2008a), som ett forskningsinstrument i min egen studie. En studie som har syftat till att undersöka vilket kunnande elever uttrycker i frågor om ljud, hörsel och hälsa före och efter undervisning där lärare utgått ifrån den lärarguide jag har utvecklat i flera omgångar. Trots att lärarguiden varit detsamma har enligt tidigare resonemang ändå undervisningsinnehållet mellan de olika lärarna varierat beroende på den individuella lärarens tolkningsram och den situerade, sociala interaktionen i klassrummet. Det innebär exempelvis att lektionernas innehåll och uppläggning har påverkats av de deltagande eleverna, och att undervisningen har influerats av hur den formativa bedömningen har omsatts i praktiken. Det har även inneburit att en och samma lärares lektioner i två olika klasser blivit olika. Lärarguiden föreskriver också att undervisningen ska utgå ifrån elevernas uppfattningar, och av det följer med nödvändighet att lektionssekvenser med samma innehåll aldrig blir identiska.

I avsikt att försöka fånga en översiktlig bild av elevernas möjligheter att lära har jag låtit lärarna skriva reflekterande dagböcker efter varje lektion, observerat ett antal lektioner i de olika klasserna, gjort videoinspelningar, deltagit i lärarmöten, intervjuat de deltagande lärarna och samlat in elevernas anteckningsböcker. Eftersom min studie bygger på data från ett flertal lärare och deras klasser, har det inte varit möjligt att rekonstruera en detaljerad bild av hur undervisningen har genomförts i de olika klasserna. I de fall när jag har diskuterat mina resultat i relation till lärande i olika årskurser och klasser, har detta utgjort en begränsning. En annan begränsning är att jag inte har något datamaterial om elevernas uppfattningar om en ”partikelteori för undervisning” före den genom-

förda undervisningen, vilket sannolikt hade kunnat bidra till ett djupare resonemang om elevernas möjligheter att lära. De data jag har samlat in har emellertid gjort det möjligt att översiktligt diskutera lärarnas erfarenheter och deras eget lärande i relation till det genomförda projektet. Visserligen har studien inte syftat till att studera lärarna, men jag har ändå ansett det intressant att ta upp några sådana resultat.

I mina artiklar har jag diskuterat ett antal specifika metodproblem, och jag har här valt att översiktligt sammanfatta dessa.

### *1. Faktorer som bidrar till att öka resultatens tillförlitlighet/trovärdighet*

- Frågorna i frågeformulären har pilottestats och vid behov reviderats innan de använts i det här avhandlingsarbetet.
- Jag har gjort ett antal överväganden i relation till elevernas läs- och skrivförmåga. Ett enkelt språk har använts vid utformningen av elevfrågorna, och öppna frågor har kompletterats med bilder. Val av ord och meningsstruktur är betydelsefullt eftersom det påverkar elevernas läsförståelse och därmed reliabiliteten (Linn, 2006). Lärarna i årskurs 4 läste för säkerhets skull frågorna för ett par lässvaga elever, och i något fall skrev läraren ner de muntliga svar eleven gav. Således kan elevernas förståelse av frågorna och förmåga att uttrycka sig utgöra en begränsning, och det gäller i synnerhet för de yngre eleverna.
- Ett urval av elever i årskurs 4 intervjuades i samband med förtestet (artikel 1) med avsikt att validera det skriftliga instrumentet, s.k. respondent validitet (Cohen, Manion & Morrison, 2000).
- I avsikt att öka validiteten har ett antal likadana elevfrågor använts vid de tre olika testtillfällena före och efter undervisningen (artikel 1 och majoriteten av frågorna i artikel 3). I en undersökning (artikel 2) har en blandning av frågor använts vid de olika testtillfällena. Det betyder att vissa frågor är identiska, och att andra är innehållsmässigt lika men är satta i olika kontext i de olika testerna. En invändning mot att använda identiska frågor är att eleverna lär sig innehållet, men eftersom det fördröjda eftertestet har getts ett år efter avslutad undervisning bedömer jag att problemet är försumbart. En risk med innehållsmässigt lika frågor satta i olika kontext är att de inte mäter samma kunnande, och att resultaten kan innehålla kontextmässig bias. Fördelen är att frågorna varierar mellan de olika testen. Jag har diskuterat denna problematik vidare i samband med artikel 2.

- På de öppna frågorna har både elevernas skriftligt formulerade svar och ritade bilder använts i analysen.
- Elevsvaren har avidentifierats och svar från de olika testerna, för-, efter- och fördröjt eftertest, har slumpvis blandats före kategoriseringarna.
- För att öka analysinstrumentets reliabilitet har tre olika forskare, oberoende av varandra, kategoriserat elevsvaren, s.k. interbedömarreliabilitet. Skillnaden i bedömningarna har diskuterats och analysinstrumentet har därefter ytterligare förfinats. De olikheter som till slut fanns kvar har vidare diskuterats tills konsensus nåddes.
- Bortfallet på de olika testerna är relativt lågt.

## 2. *Faktorer som bidrar till att begränsa resultatens tillförlitlighet/trovärdighet*

- En begränsning vad avser validiteten är att elevernas lärande kan ha påverkats av omvärlden under det år som passerat mellan efter- och fördröjt eftertest, vilket för mig har varit omöjligt att kontrollera.
- De i studien ingående skolorna, lärarna och klasserna utgör inget representativt urval. Därför visar resultaten endast vad som var möjligt att lära för just dessa elever utifrån den undervisning som baserats på den tolkning som de ingående lärarna gjort av den givna designen.
- Inga kontrollgrupper har använts och därför kan jag inte uttala mig om huruvida eleverna har lärt sig mer eller mindre än andra elever som undervisats utifrån en annan design. Studiens syfte är dock inte att utvärdera elevernas lärande gentemot undervisning som bygger på en annan design.
- Brown (1992) diskuterar den s.k. Hawthorneffekten som innebär att de som deltar i en studie känner sig speciella, försöker lista ut vad forskaren vill ha och reagerar utifrån det. Resultaten färgas då av detta. I mitt fall har denna effekt mindre betydelse eftersom min intention endast har varit, vilket jag nämnde ovan, att undersöka elevernas lärande utan någon extern utvärdering.
- Enkätformuläret bygger huvudsakligen på frågor med fasta svarsalternativ (Likertskala), och en sådan skala kan förväntas ha en viss metodeffekt ("method response factor"). Det innebär att respondenter har en benägenhet att välja vad de anser vara mer positiva alternativ före andra alternativ. I den här studien har samma enkätformulär använts vid samt-

liga tillfällen, varvid resultaten bygger på en jämförelse mellan dessa tillfällen, och därför kan metodeffekten anses ha mindre betydelse.

## 9.7 Nya forskningsfrågor

En avhandling ger inte bara svar på ett antal frågor. Den väcker också nya. Här är några:

- Hur kan hälsorelaterad undervisning utformas så att pojkars hälso-medvetenhet utvecklas i lika hög grad som flickors?
- Hur kan undervisning om ljud och ljudöverföring och därmed den innehållspecifika hypotesen för undervisning utvecklas vidare så att elevers lärande av en generell teori för ljudöverföring ytterligare stimuleras?
- Hur påverkas undervisning i naturvetenskap inom specifika områden av att lärare följer ämnesdidaktiska kompetensutvecklingskurser?
- Hur kan lärares vetenskapliga språkbruk och kommunikationsmönster i klassrummet utvecklas?

## 9.8 Avslutande reflektion

Min studie visar att eleverna har ett ökat naturvetenskapligt kunnande om ljud och hörsel efter undervisningen, och att mycket av detta finns kvar ett år senare. Elevernas omsorg om den egna hörselhälsan, exempelvis insikten om den egna sårbarheten och tecken på hälsofrämjande beteende, har också ökat efter undervisningen. Det finns dessutom tendenser till att denna omsorg fortsatt att öka under det år som gått efter undervisningens slut. Forskningsresultaten tyder därför på att eleverna har utvecklat färdigheter i linje med vad Feinstein (2011) efterlyser:

[...] science education can help people solve personally meaningful problems in their lives, directly affect their material and social circumstances, shape their behavior, and inform their most significant practical and political decisions. (s. 169)

Det betyder att resultaten från denna avhandling pekar på att relevant undervisning i naturvetenskap kan utveckla elevernas kompetens i att förebygga uppkomsten av ett hälsoproblem som dessutom riskerar att ge sociala konsekvenser – i det här fallet hörselproblem med konsekvenser såsom tinnitus.





## 10. SUMMARY

### 10.1 Introduction

In both national assessments (NU 2003) and international assessments (PISA, TIMSS) of compulsory school it has been shown that in recent decades students' results concerning science knowledge and science skills related to everyday life have decreased among Swedish students in grades 8 and 9 (e.g. Martin, Mullis, Foy, Olson, Erberber, Preuschoff et al., 2008; Skolverket, 2005, 2008, 2010). Swedish students in grade 4 participated for the first time in TIMSS 2007 (Bach & Frändberg, 2009). These students performed better in biology than in physics and chemistry, and students whose teachers felt well prepared to teach physics and chemistry had better results in these school subjects. Moreover, in the PISA study performed in 2009 among 15-year olds, the low-achieving students' results had declined more than others. Notwithstanding that results of assessments should be interpreted with some caution (e.g. Koretz, 2008; Serdar, Sørensen & Jakobsson, 2011; Sjöberg, 2007), the results do indicate a need for improved science teaching in Sweden.

Another element for consideration is students' interest in science and motivation for learning science. Bach and Frändberg (2009) reported from TIMSS 2007 that Swedish students' interest and confidence was high in grade 4. In contrast, Schreiner and Sjöberg (2007) reported from a large-scale international questionnaire, The Relevance of Science Education (ROSE), that Swedish students aged 14-16 considered other school subjects more interesting than science. One reason for this was that the students did not value science teaching as particularly interesting or inspiring, especially physics. Regarding students' interest in learning physics, their interest seems to decrease with age in Swedish compulsory schools (Skolinspektionen, 2010, 2011). Some reasons for this are that students think school physics is difficult, that teaching is monotonous and that there is no point in learning physics. Based on the above ROSE study, Jidesjö, Oscarsson, Karlsson and Strömdahl (2009) concluded that the Swedish compulsory school only meets the interests of a minority of students, namely those who choose to continue their studies in science and technology. They argued that school science must take into account what all students need to learn about in order to encourage the scientific literacy of all citizens.

The reports above indicate that school physics and chemistry linked to students' everyday lives and considering health issues would be interesting for

both boys and girls and stimulate their learning. They also show that students should be given opportunities to practise critical thinking. This is in accordance with other studies showing that students, both girls and boys, are interested in learning science and technology related to humans and human activities, especially health and environmental issues (Baram-Tsabari & Yarden, 2005; Jenkins, 2006; Lindahl, 2003; Millar, 2006; Osborne, Simon, & Collins, 2003).

One health issue related to school science, which is becoming increasingly frequent, is the issue of loud sounds in young people's everyday life (EU, 2009). More young people than ever before have impaired hearing such as hearing loss and tinnitus (Chung, Des Roches, Meunier & Eavey, 2005). However, there are few health-related studies in the international science education literature (Harrison, 2005). Fensham (2001) also pointed to the lack of studies of students' learning of concepts related to environmental, technological and socio-scientific content, for example, noise pollution.

## 10.2 The overall aim and research questions

The aim of this thesis is to contribute to increased understanding of students' learning about sound, hearing and auditory health.

The research questions contribute to answering the overall aim by addressing the following issues:

1. What are students' understandings of sound and sound transmission before and after research-based teaching about sound, hearing and auditory health?
2. To what extent do students use a generalized theory about sound and sound transmission in their understanding before and after the teaching?
3. What are students' understandings of hearing and tinnitus before and after the teaching?
4. What are the students' standpoints on auditory health issues before and after the teaching?
5. How can a content-specific hypothesis be formulated that is valid for teaching about sound, hearing and auditory health?

The results are presented in three articles and as a summarized result in the form of a content-specific hypothesis.

## 10.3 Theoretical framework

The whole research project is based on a social constructivist perspective of *learning*. In connection with the design of the *teaching* materials, I have employed broader perspectives linked to social constructivism and these perspectives are also described. Since the project is a design-research study, visualising these perspectives is also important (Lijnse, 2010a). The ground for the analyses of the empirical material is presented in the three articles.

### The social constructivist perspective

Learning school science involves learning about a world consisting of matter and energy, and every learner has to actively construct an image of the world by her/himself from what she/he already knows (Piaget, 1954). Thus, the “real” world is always the experiential world. A consequence of Piaget’s ideas is that the learner’s starting point becomes important. Piaget also stated that the individual needs to construct her/his ideas in interaction, especially linguistic interaction, with other people. The active role of learners is also what Vygotsky (1978) emphasized, and he stressed the importance of interaction and guidance from persons knowing more; this interaction taking place in the zone of proximal development (ZDP). The importance of social interaction with peers in the individual’s learning is also stressed by many other researchers (e.g. Barnes & Todd, 1977; Lemke, 1998; Mercer, Daws, Wegerif & Sams, 2004; Treagust, Jacobowitz, Gallagher & Parker, 2001).

When interacting with others, language operates as an epistemological tool in constructing science understanding. Norris and Phillips (2003) argued that without the verbal, visual, mathematical and gestural languages of science there is no science. The discourse of everyday social language is developed by experiences and talk in social settings, whereas learning school science involves learning the scientific social language that has been developed in the scientific community (Amettler, Leach & Scott, 2007; Mortimer & Scott, 2003; Scott, Asoko & Leach, 2007). But as school science differs from science in the scientific community, it is more relevant to talk about school science social language (Amettler et al., 2007). Consequently, learning involves making sense of this language and relating it to previous ideas, reorganizing and reconstructing these ideas in a new discourse. This process of learning is personal as well as social, and the teacher’s role in mediating the school science social language for students is crucial (Leach & Scott, 2002; Scott et al., 2007). Science classrooms can be regarded as communities of discursive practices where students are engaged and socialized into that particular community of knowledge (Carlsen,

2007; Driver, Asoko, Leach, Mortimer & Scott, 1994). Not only language but also other representations are important for learning science (Lemke, 2003; Norris & Phillips, 2003; Prain, Tytler & Peterson, 2009). Prain et al. place major emphasis on the importance of using representations in science learning.

## Teaching and learning

Some more perspectives of students' learning linked to teaching and learning will be presented. One perspective is the influence of the *communicative approach* in the classroom (e.g. Lemke, 1998; Mortimer & Scott, 2003). Another important perspective in teaching is identifying the difference between students' alternative conceptions and the school scientific goals. This is done by the teacher by finding the epistemological difference, designated *learning demand*, between students' everyday social language and the school science social language (Ametller et al., 2007; Leach & Scott, 1995, 2002, 2008). Moreover the power of *formative assessment* is considered. Reviews of formative assessment point to the fact that formative assessment improves the students' motivation, self-confidence and learning (Black & Wiliam, 1998a, 1998b; Hattie, 2009; Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008). In doing this, there is also a need for clear goals of learning (Millar, Leach, Osborne & Ratcliffe, 2006). In addition, aspects of *scientific literacy* emphasize that literacy within science (vision I) and literacy about science-related situations (vision II) should be included in science teaching (Roberts, 2007). This also includes developing students' competence in constructing arguments on the basis of scientific knowledge (Osborne, Erduran & Simon, 2004). The different perspectives of teaching science that I have accounted for belong to the pedagogical content knowledge that is part of a *teacher's competence* (Zetterqvist, 2003).

## 10.4 Teaching design

The educational design used in this study is derived from traditions within educational design-based research, which has been a continuous endeavour since the classical article about *design experiments* by Brown (1992). Brown's research focused on the theory-practice gap, which was also what Lijnse (2000) emphasized in order to develop content-specific didactic knowledge. There are other examples of approaches to design-based research (Kattman, Duit, Gropengieber & Komorek, 1996; Leach & Scott, 2002; Lijnse, 1994, 1995; Kelly, 2003; Méheut & Psillos, 2004; Tiberghien, 2000), and the design used in this study is based on *Design and Validation of Teaching-Learning Sequences* (Andersson & Bach, 2005; Andersson, Bach, Hagman, Olander & Wallin, 2005; Andersson &

Wallin, 2006). According to this framework, there are some general theoretical considerations regarding students' learning. Firstly, the framework is based on a constructivist view of the learner. Secondly, the teacher is considered to be the bearer of the scientific knowledge and is well acquainted with common alternative ideas of the teaching content. The teacher's introduction of concepts and systematic planning of situations for the use of concepts is crucial. Thirdly, students should be given opportunities to conceptualize the school scientific content by means of talking and writing science, individual and group reports, true dialogue, cross-discussion and small-group work. Moreover, the framework emphasizes formative assessment that should be made consciously and systematically. Finally, considerations concerning students' interest and motivation are of importance. These general guidelines are combined with aspects about the nature of science limited to school science and content-specific aspects limited to the given topic.

On the basis of the framework presented, a research-based teaching-learning sequence (TLS) was designed for the school scientific area of sound, hearing and auditory health. The sequence was elaborated in the form of a flexible Teachers' Guide, which teachers used as a resource for their own teaching. In this way, the TLS was tested, research results from practice were collected and evaluated and the teachers' guide was refined. This process was repeated several times. The results in this study are based on the research from the final cycle in which teachers made use of the guide presented in the appendix (West, 2008b).

## 10.5 Overview of the history of ideas

Since 500 B.C., philosophers, mathematicians and scientists have reflected over sound and sound transmission. The theory that sound requires a medium in order to be transmitted originated as early as in classical antiquity with Demokritos (400 B.C.), who imagined that the voice was air that had a certain form and was transported (Hunt, 1978). However, the Greeks did not have access to the modern concept of gas, and it is not so easy to know what they meant by air and how they conceived of its different processes. Aristotle (350 B.C.) suggested that air had to be compressed to enable sound to be transmitted, and that it was some kind of small air packet, a little wind, that moved forwards (Caleon & Subramaniam, 2007). The Roman Lucretius (75 B.C.) believed that when a person screams loudly, "atoms of voice's" pass the narrow gullet in such large amounts that they cause pain (Eshach & Schwartz, 2006). Lucretius also

had the idea that sound passes doors by way of invisible fissures. At the beginning of the 1600s, there were still some scientists who believed that sound involves a transfer of matter from one place to another. For example, Gassendi imagined that sound transmission meant that a flow of atoms was emitted from a sound source (Blood, 2009). A similar idea was expressed by Beeckman, who thought that each vibrating object splits up the surrounding air into small, round, air-filled bodies, which are sent off in all directions and which are perceived as sound when they reach the ear (Caleon & Subramaniam, 2007). Evidence that sound transmission had to do with matter, without necessarily being the same as a net transfer of matter, was put forward by Boyle and Hooke (1600s). According to Hunt (1978), Boyle ultimately proved that sound cannot travel in a vacuum. At the beginning of the 1700s, scientists reached an agreement that sound could only be transmitted through a medium. To summarise, the idea that sound propagates as invisible particles or as delimited substances, that is, a net transmission of matter, has thus existed for a long time.

## 10.6 Methods and data

The approach was to explore the students' conceptions and learning about sound, hearing and auditory health including the students' standpoints as regards loud sounds when teachers implemented the TLS in practice. Seven teachers from four Swedish schools and their 199 students from grades 4 (aged 10-11), 7 and 8 participated in the study. The teachers continuously documented their lessons in diaries on an Internet platform where a lot of collaboration took place; teachers discussed and gave feedback to each other. I also took part in these discussions. I visited a selection of lessons, observed them and wrote extensive field notes. The data from the teachers' diaries, students' notebooks and notes from my visits were used as sources to obtain a reliable picture of the intervention in the different classrooms. In addition, the teachers were individually interviewed before and after the intervention.

The teachers designed their own teaching by formulating goals for students' learning using ideas in the Teachers' Guide (West, 2008b). These goals guided the content of the lessons, but depending on the individual teacher and their students, they were treated more or less in depth. The total time used for the teaching about sound, hearing and auditory health was around 15-20 hours.

Students were given pre-, post- and delayed post-tests one year after the teaching intervention. On each occasion, there was a questionnaire dealing with students' standpoints concerning loud sounds, experiences of tinnitus and

listening behaviour with headphones, and a test with questions related to the school scientific learning goals.

## 10.7 Summary of the studies

### Article 1

West, E. (2011). Learning for Everyday Life: Pupils' conceptions of hearing and knowledge about tinnitus from a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1245-1271.

The first article answers the third research question, which explores students' learning about hearing and tinnitus in connection with the teaching intervention. In pre-, post- and delayed post-tests, students were asked to use drawing and writing to express their answer to the question "What happens to a sound that has reached your ear?" A questionnaire concerning tinnitus, experiences of tinnitus and listening behaviour was also given. The results show that approximately one quarter of the students in grade 4, and half the students in grade 7 and 8 listen to music daily or almost daily in their personal music players. About 35% to 70% answered they had experiences of tinnitus and 5% reported they were often bothered by tinnitus. In the pre-test, a majority of the students in grades 4 and 7 answered that a sound goes to the brain or they did not answer anything at all when they were asked to describe what happens to a sound that has reached the ear. These descriptions/drawings did not indicate awareness of any structures in the ear. The most common answer in grade 8 involved the brain as well as some part of the ear. The results show that the students' knowledge of hearing and tinnitus had increased after the intervention and retention of this knowledge was good even one year after the intervention. The students in grade 4 learned just as much as the older students, although it was more difficult for them to understand cell structures and causal chains. To conclude, it is beneficial to teach about hearing and tinnitus as early as at the ages of 10-11. Knowledge of hearing and tinnitus may be an important prerequisite for conceptualizing the risk of being exposed to loud sounds. No systematic gender differences were found in the results.

## Article 2

West, E., & Wallin, A. (2011). Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching-Learning Sequence about Sound, Hearing and Health. *International Journal of Science Education*.  
doi: 10.1080/09500693.2011.589479

This article answers the research questions 1 and 2, which explore students' learning of sound and sound transmission. Learning abstract concepts such as sound often involves an ontological shift since conceptualizing sound transmission as a process of motion requires abandoning sound transmission as a transfer of matter (Carey, 1991; Chi, Slotta & De Leeuw, 1994; Reiner, Slotta, Chi & Resnick, 2000). Thus, the ability of students to grasp and use a generalized model of sound transmission, that is using the same theory for sound transmission in different media, poses great challenges for them. The students' views about sound transmission were investigated before and after teaching by comparing their written answers about sound transfer in different media/no media: air, water, wood and vacuum. The analysis involved interpreting students' underlying theories of sound transmission, including the different conceptual categories that were found in their answers. The results indicated a shift in students' understanding from the use of a theory of matter before the intervention to embracing a theory of process afterwards. The described pattern was found in all groups of students irrespective of age. Thus, teaching about sound and sound transmission is fruitful already at the ages of 10-11. However, the older the students, the more advanced is their understanding of the process of motion. In conclusion, the use of a TLS about sound, hearing and auditory health promotes students' conceptualization of sound transmission as a process in all grades. The results also indicate some crucial points in teaching and learning about the scientific content of sound. No systematic gender differences were found in the results.

## Article 3

West, E. (submitted, 2011). Learning for Everyday life: Students' standpoints on auditory health issues before and after a teaching-learning intervention.

This article answers research question 4, which investigates the students' standpoints on auditory health issues before and after the teaching. Researchers have highlighted the growing problem of loud sounds among young people in leisure-time environments, recently even emphasizing that portable music players carry

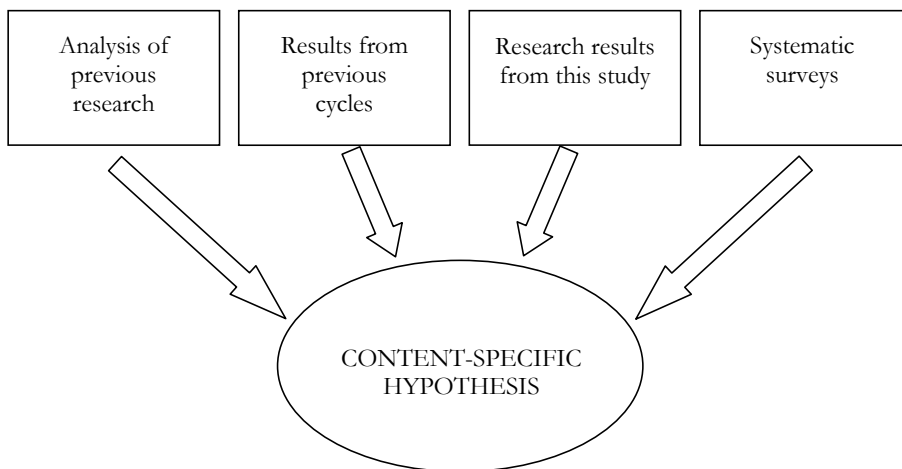


the risk of leading to hearing impairments such as tinnitus. However, there is a lack of studies investigating compulsory school students' standpoints and explanations in connection with teaching interventions integrating the content of school subjects with auditory health. This study explores students' standpoints on loud sounds, including their standpoints on use of hearing-protection devices before and after the teaching intervention. The results show that the students make healthier choices in questions involving loud sounds after the intervention and especially among the older ones this result remains or is further improved one year later. There are also signs of positive behavioural change in relation to loud sounds. Significant gender differences are found; generally, the girls show more healthy standpoints and expressions than boys do. If this can be considered to be an outcome of students' improved and integrated knowledge of sound, hearing and auditory health, then it emphasizes the importance of integrating health issues into regular school science.

## **10.8 Content-specific hypothesis**

This chapter answers the final research question that aims to formulate a content-specific hypothesis that is valid for teaching about sound, hearing and auditory health.

The content-specific hypothesis is composed of a combination of my research results, previous research results, results from the iterative research cycles preceding the final cycle and systematic national and international surveys (Figure 10.1).



Figur 10.1 Construction of a content-specific hypothesis for teaching about sound, hearing and auditory health.

### Content-specific hypothesis

The combined results from the studies are summarized into a content-specific hypothesis for teaching. It is formulated by a combination of aspects concerning 1) sound and sound transmission, 2) hearing and auditory health, and finally 3) common aspects of the whole area of sound, hearing and auditory health. The hypothesis can be tested in new design experiments, and if it withstands future tests, it can be developed into a content-specific theory for teaching about sound, hearing and auditory health.

If the following content-specific aspects are considered in teaching, the students' opportunities to learn and understand the theory of sound and sound transmission, hearing and auditory health will be improved:

#### *Sound and sound transmission*

1. Sound arises when objects vibrate, irrespective of which object is causing the sound.
2. The movement of a vibrating object in air is transmitted via particles in the air, i.e. "air particles". Every movement from a single "air particle" is transferred to the "air particle" nearby in an interaction.

3. The movement of vibrating objects is transmitted in gaseous, liquid and solid substances via the particles in these substances. The movement of each particle is transmitted to the particle nearby in an interaction.
4. The closer the particles, the faster the transfer of sound.
5. Different ways of representing sound transmission need to be problematized in teaching.
6. Sound transmission is an emergent process.
7. Sound transmission is a complex, emergent process.

The meanings of the emergent processes need to be explained. Sound transmission as an emergent process means that the transmission is a large-scale process whose motion differs from the motion of the constituent particles. Additionally, the complex process also includes that the transmission is influenced by elastic and inertial properties.

Since it is difficult for students to understand sound transmission, and especially to grasp a generalized theory of sound transmission through all media, their learning faces major challenges. According to Chi (2005), a characteristic of such challenges is that they are held across historical periods, and this was confirmed by historical overviews of ideas about sound and sound transmission.

### *Hearing and auditory health*

1. A number of concrete experiences of hearing and its capacity to register different sounds.
2. It is emphasized that the ear consists of sensitive parts that are of crucial importance to our hearing. These sensitive components can be permanently damaged by loud noise in our everyday lives and we must take care of them.
3. The function of the ear is studied: vibrations in the eardrum are transferred via the ossicles to the internal ear where tiny, highly sensitive sensory cells (hair cells) transform the vibrations into electrical impulses that are transmitted to the brain where they are interpreted. The students' own vulnerability and the risk of suffering from hearing impairment such as tinnitus, as well as how to maintain good hearing, are emphasized in the teaching.

### *Sound, hearing and auditory health*

1. Content from several school subjects can be integrated into teaching about hearing and auditory health, and linked to students' everyday life.

## 10.9 Conclusion, discussion and implications

The results are discussed in relation to the students' age and gender and the teachers' experiences are summarized and discussed. Moreover, there is a general discussion of the results from this thesis, including the limitations of this study. The chapter ends with some ideas for further research and a final reflection.

### The results in relation to the students' age and gender

The results show that it is beneficial to teach 10-11 year old students about sound, sound transmission, the function of the ear and hearing and auditory health. They can learn that sound transmission is a process of motion and not a transfer of matter. In addition, the results suggest that their standpoints evolve in a health-promoting direction on issues related to high sound levels and the use of hearing-protection devices. The results also suggest that students' understanding and learning of causal connections, their ability to develop a general understanding and their reflections on the consequences of high sound levels develop with age. Moreover, the older the students are, the more they seem to realize that high sound levels can be harmful not only to others but also to themselves. These results confirm the pattern of young people being more critical to loud sounds as they grow older reported by other studies (Olsen Widén & Erlandsson, 2004b; Socialstyrelsen, 2002).

There are no overall significant gender differences concerning students' learning about sound, hearing and tinnitus. However, there are clear differences concerning students' standpoints on issues related to high sound levels and use of hearing-protection devices. The girls generally show more healthy standpoints and expressions than boys do. They also show greater awareness of their own vulnerability, and a higher proportion of the girls indicate that they have changed their behaviour into more auditory healthy behaviour during the year after the teaching. These results correspond with other studies, which also show that girls seem to show greater awareness in health issues related to high sound levels (e.g. Kärrqvist & West, 2005; Olsen Widén & Erlandsson, 2004a; Socialstyrelsen, 2002).

### Formative assessment

Formative assessment has been used as a connecting idea which the teachers continually used throughout their teaching. The impact of formative assessment on student learning is discussed in Articles 1 and 2. The results suggest that formative assessment and the quality of feedback have had an impact on students' learning. Moreover, formative assessment has had an impact on teachers' learning. All the teachers stated in their diaries and in interviews that

the formative assessment changed their view of students' learning and their own teaching. This is also what Black, Harrison, Lee, Marshall and Wiliam (2003, 2004) and Nyberg (2008) describes from their interactions with teachers in various educational projects. In addition, teachers have stated that more students achieve the goals when their teaching is based on formative assessment. In the light of this result, it is interesting to note the Swedish trend showing that low-achieving students' results had declined more than others in PISA 2009 (Skolverket, 2010). Therefore, formative assessment might contribute to turn this trend.

As an example of the impact of formative assessment, one teacher wrote the following in her diary:

One of my students said today that it's just as well to ask from the beginning because you check anyway if I have understood. (West, 2008b, p. 115)

The results from this study are consistent with the reviews of research that show that formative assessment and relevant feedback to students is a powerful tool for improved learning (Black & Wiliam, 1998a, 1998b; Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008).

### **Experiences of language in the classroom**

The main focus of the study was to investigate the students' understanding of the content and their standpoints on the health issues in question. However, some results concerning the teachers' experiences also emanate from the study. On several occasions, the teachers found that the words and the concepts their students used clearly related to the teacher's own use of the school science social language (Amettler et al., 2007). A well-defined and consistent use of terms and concepts seems to benefit student learning and thus their ability to express their understanding.

### **General discussion of the results and implications**

Article 2 clarifies that teaching an abstract area like sound and sound transmission offers challenges for both teachers and students. Article 1 also shows that it can be difficult for adolescents to understand the meaning of the risk associated with loud sounds, and that knowledge of hearing and tinnitus may be an important prerequisite for conceptualizing the risk of being exposed to loud sounds. Moreover, article 3 indicates that students' auditory health awareness, especially among the girls, has increased after teaching, and there are also signs of behavioural change in relation to loud sounds.

The content-specific hypothesis developed in this thesis provides a basis for further research and contributes to improving practice. This might be important especially as fewer Swedish students have been given opportunities to learn about sound than students in many other countries (Martin et al., 2008). Additionally, many researchers ask for health education in schools as an important part of the work on maintaining good auditory health (e.g. Berg & Serpanos, 2011; Berglund, Lindvall, Schwela & Goh, 1999; Bulbul, Bayar Muluk, Çakir & Tufan, 2009; Daniel, 2007). The new Swedish curriculum, Lgr 11, offers possibilities for using the content-specific aspects in teaching since there are explicit goals concerning sound and auditory health in several school subjects (Skolverket, 2011). However, teachers with a high degree of pedagogical content knowledge are also important for putting this into practice, and they are equally important in grades 4-6 as in grades 7-9 (e.g. Bach & Frändberg, 2009; Linder & Erickson, 1989; Zetterqvist, 2003), especially since these younger students seem to be more interested in learning science than the older students (Lindahl, 2003; Martin et al. 2008; Osborne & Dillon, 2008).

### **The strengths and limitations of the present study**

The contributions from educational design research are 1) theoretical contributions by developing content-specific didactic knowledge, 2) pragmatic contributions to teaching practice by bridging the gap between theory and practice, and finally 3) professional development of participants involved in the research (McKenney, Nieveen & Van den Akker, 2006). There are limitations related to design-research such as “design-based researchers are not simply observing interactions but are actually ‘causing’ the very same interactions they are making claims about” (Barab & Squire, 2004, p. 9). Outcomes from the field of education are always diverse and difficult to measure with accuracy (Hammersley, 2009). This study has a complex design and is relatively small scale, and therefore general conclusions cannot be drawn. However, since design research is context-bound, it does not strive for context-free generalizations (van den Akker, Gravemeijer, McKenney & Nieveen, 2006). Nevertheless, “if the details are sufficient and appropriate for a teacher working in a similar situation to relate his decision making to that described” (Bassey, 1981, p.85), then the results are useful for other designers as well as teachers.

Specific considerations as regards method, including limitations associated with the articles, are discussed in the respective articles. Examples are the validity of the tests, inter-rater reliability considerations and the impact of the method response factor.

## Ideas for research and final reflection

This thesis has generated several new research questions such as:

How can teaching about sound and sound transmission and thus the content-specific hypothesis for teaching be further improved so that students' learning of a general theory for sound transmission is additionally stimulated?

My study shows that students have increased scientific knowledge about sound and hearing after the teaching, and that much of this remains the following year. Students' awareness of their own auditory health has also increased after teaching. Besides, there are signs that this awareness has increased during the following year. A final conclusion of the results from this thesis is what Feinstein (2011) asks for:

[...] science education can help people solve personally meaningful problems in their lives, directly affect their material and social circumstances, shape their behavior, and inform their most significant practical and political decisions. (p. 169)

Therefore, the results of this thesis can be seen as indicating that appropriate science education can enhance students' competence to prevent health-related personal problems that have social consequences - here problems with hearing and consequences such as tinnitus.





## REFERENSER

- Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' Mental Models of the Particle Nature of Matter: A study of 16-year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31(6), 757-786.
- Acoustics. (2009). I *Encyclopaedia Britannica*. Tillgänglig via:  
<http://search.eb.com.ezproxy.ub.gu.se/eb/article-64047>. [2010-08-17]
- Aikenhead, G. (2006). *Science Education for Everyday Life*. New York: Teachers College Press.
- Amettler, J., Leach, J., & Scott, P. (2007) Using perspectives on subject learning to inform the design of subject teaching: an example from science education. *The Curriculum Journal*, 18(4), 479-492.
- Andersson, B. (1994). *Om kunskapande genom integration*. NA-spektrum (Nr. 10). Mölndal: Göteborgs universitet, Inst. för ämnesdidaktik.
- Andersson, B. (2000). National evaluation for the improvement of science teaching. I R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Red.), *Improving science education: the contribution of research* (s. 62-78). Buckingham: Open University Press.
- Andersson, B. (2005). *Design och validering av undervisningssekvenser - en ämnesdidaktisk forskningsstrategi med exempel från naturvetenskap*. (IPD-rapport Nr 2005:11, NAspektrum, Nr 27). Göteborg: Institutionen för pedagogik och didaktik, Göteborgs universitet.
- Andersson, B. (2011). *Att utveckla undervisning i naturvetenskap - kunskapsbygge med hjälp av ämnesdidaktik*. Lund: Studentlitteratur.
- Andersson, B., & Bach, F. (1995). *Att utveckla naturvetenskaplig undervisning. Exemplet gaser och deras egenskaper*. NA-spektrum (Nr. 14). Mölndal: Göteborgs universitet, Enheten för ämnesdidaktik.
- Andersson, B., & Bach, F. (1996). Developing new teaching sequences in science: The example of 'gases and their properties'. I G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Red.), *Research in science education in Europe: current issues and themes* (s. 7-21). London: The Falmer Press.
- Andersson, B., & Bach, F. (2004). *Att undervisa om geometrisk optik, kunskapsbas och undervisningsförslag*. (Ämnesdidaktik i praktiken, nr 6). Göteborg: Göteborgs universitet, Inst. för pedagogik och didaktik.

- 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., Bach, F., Hagman, M., Olander, C., & Wallin, A. (2005). Discussing a research programme for the improvement of science teaching. I K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong & H. Eijkelhof (Red.), *Research and the quality of science education* (s. 221-230). Dordrecht: Springer.
- Andersson, B., Bach, F., Olander, C., & Zetterqvist, A. (2004). *Grundskolans naturvetenskap - utvärderingar 1992 och 2003 samt en framtidsanalys*. (Na spektrum, nr 24). Göteborg: Göteborgs universitet, Inst. för pedagogik och didaktik.
- Andersson, B., & Nyberg, E. (2006). *Att undervisa om livscyklar i årskurs 1-5: Kunskapsbas och undervisningsförslag*. (Ämnesdidaktik i praktiken, nr 7). Göteborg: Göteborgs universitet, Inst. för pedagogik och didaktik.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2006). On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28(6), 673-695.
- Arlinger, S., Uhlén, I., Hagerman, B., Kähäri, K., Rosenhall, U., Spens, K.-E., m.fl. (2007). Höga ljudnivåer på konserter kan ge hörselskador för livet. *Läkartidningen*, 41(104), 2978-2979.
- Asoko, H. M., Leach, J. T., & Scott, P. H. (1992a). Classroom research as a basis for professional development of teachers: a study of students' understanding of sound. New prospects for teacher education in Europe II. I J. Vonk, J. Giesbers, J. Peeters, & T. Wubbels (Red.), *Proceedings of the 16th annual conference of ATEE* (s. 109-119). Amsterdam: Universitaire Lerarenopleiding Vrije Universiteit.
- Asoko, H.M., Leach, J.T., & Scott, P.H. (1992b). Sounds interesting: Working with teachers to find out how children think about sound. *TOPIC* 1(8), 1-7
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Bach, F. (2001). *Om ljuset i tillvaron. Ett undervisningsexperiment inom optik*. (Göteborg Studies in Educational Sciences 162). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Bach, F., & Frändberg, B. (2009). *Naturorienterande ämnen i årskurs 4. En analys av lärares och elevers uppfattningar om ämnesinnehåll och undervisning i TIMSS 2007*. Stockholm: Skolverket.

- Barab, S., & Squire, K. (2004): Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Baram-Tsabari, A., & Yarden, A. (2005). Characterizing children's spontaneous interest in science and technology. *International Journal of Science Education*, 27(7), 803-826.
- Barman, C., Barman, N., & Miller, J. (1996). Two teaching methods and students' understanding of sound. *School Science and Mathematics*, 96(2), 63-67.
- Barnes, D., & Todd, F. (1977). *Communication and learning in small groups*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Bassey, M. (1981). Pedagogic Research: on the relative merits of search for generalisation and study of single events. *Oxford Review of Education*, 7(1), 73-94.
- Berg, A. L., & Serpanos, Y. C. (2011). High Frequency Hearing Sensitivity in Adolescent Females of a Lower Socioeconomic Status Over a Period of 24 Years (1985-2008). *Journal of Adolescent Health*, 48(2), 203-208.
- Berglund, B., Lindvall, T., Schwela, D., & Goh, K T. (1999). *Guidelines for community noise*. Geneva: World Health Organization Press.
- Berlin, D. F., & Lee, H. (2005). Integrating science and mathematics education: Historical analysis. *School Science and Mathematics*, 105(1), 15-24.
- Black, P., & Wiliam, D. (1998a). Inside the black box: Raising standards through classroom assessment. *Phi Delta Kappan*, 80(2), 139-148.
- Black, P., & Wiliam, D. (1998b). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education*, 5(1), 7-74.
- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. (2003). *Assessment for learning: putting it into practice*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. (2004). Working Inside the Black box: Assessment for Learning in the Classroom. *Phi Delta Kappan* 86(1), 9-21.
- Blood, B. (2009). *Physics of musical instruments*. Dolmetsch online. Tillgänglig via, <http://www.dolmetsch.com/poshistory.htm>. [2010-08-17]
- Bohlin, M., & Erlandsson, S. (2007). Risk behaviour and noise exposure among adolescents. *Noise & Health*, 9(36), 55-63.

- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the learning sciences*, 2(2), 141-178.
- Bruner, J. (1977). *The process of education*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Bruner, J. (2002). *Kulturens vän*. Göteborg: Bokförlaget Daidalos AB.
- Bulbul, S. F., Bayar Muluk, N., Çakir, E. P., & Tufan, E. (2009). Subjective tinnitus and hearing problems in adolescents. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 73(8), 1124-1131.
- Butler, R. (1988). Enhancing and undermining intrinsic motivation: The effects of task-involving and ego-involving evaluation on interest and performance. *British Journal of Educational Psychology*, 58(1), 1-14.
- Caleon, I. S., & Subramaniam, R. (2007). From Pythagoras to Sauveur: tracing the history of ideas about the nature of sound. *Physics Education*, 42(2), 173-179.
- Caleon, I. S., & Subramaniam, R. (2010a). Development and Application of a Three-Tier Diagnostic Test to Assess Secondary Students' Understanding of Waves. *International Journal of Science Education*, 32(7), 939-961.
- Caleon, I. S., & Subramaniam, R. (2010b). Do Students Know What They Know and What They Don't Know? Using a Four-Tier Diagnostic Test to Assess the Nature of Students' Alternative Conceptions. *Research in Science Education*, 40(3), 313-337.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? I S. Carey & R. Gelman (Red.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*. (s. 257-291). Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- Carlsen, W. S. (2007). Language and science learning. I K. S. Abell, & N. G. Lederman (Red.), *Handbook of research on science Education* (s. 57-74). London: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Centrala etikprövningsnämnden, Datainspektionen, Statistiska Centralbyrån, & Socialstyrelsen (2009). *Personuppgifter i forskningen – vilka regler gäller?* Tillgänglig via [www.datainspektionen.se/Documents/faktabroschyr-pul-forskning.pdf](http://www.datainspektionen.se/Documents/faktabroschyr-pul-forskning.pdf). [2010-08-17]
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.

- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change. I S. Vosniadou (Red.), *Handbook Of Research On Conceptual Change* (s. 61-82). New York, Routledge.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction, 4*(1), 27-43.
- Chu, H.-E., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). Naive Students' Conceptual Development and Beliefs: The Need for Multiple Analyses to Determine What Contributes to Student Success in a University Introductory Physics Course. *Research in Science Education, 38*(1), 111-125.
- Chung, J. H., Des Roches, C. M., Meunier, J., & Eavey, R. D. (2005). Evaluation of noise-induced hearing loss in young people using a web-based survey technique. *Pediatrics, 115*(4), 861-867.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research Methods in Education*. London: RoutledgeFalmer.
- Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models/and analogies in science education: implications from research. *International Journal of Science Education, 27*(2), 183-198.
- Collins, A. (1992). Toward a design science of education. I E. Scanlon & T. O'Shea (Red.), *New Directions in Educational Technology* (s. 15-22). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Czerniak, C. M. (2007). Interdisciplinary science teaching. I S. K. Abell & N. G. Lederman (Red.), *Handbook of Research on Science Education* (s. 537-559). New Jersey London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Daniel, E. (2007). Noise and Hearing Loss: A Review. *Journal of School Health, 77*(5), 225-231.
- Dawson, V. M., & Venville, G. (2010). Teaching Strategies for Developing Students' Argumentation Skills About Socioscientific Issues in High School Genetics. *Research in Science Education, 40*(2), 133-148.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and Education*. New York, McMillan (svensk översättning 1999, Demokrati och utbildning, Daidalos förlag).
- Dewey, J. (1929). *Experience and Nature*. London: George Allen & Unwin, LTD.
- Dewey, J. (1990 (1956)). *The School and the Society: and, The Child and the Curriculum: a centennial edition with a "lost essay"*. London: The University of Chicago Press, Ltd.

- Drake, S. M. (1991). How our team dissolved the boundaries. *Educational Leadership*, 49(2), 20-22.
- Drake, S. M. (1998). *Creating integrated curriculum: Proven ways to increase student learning*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5-12.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: a review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Studies. *Studies in Science Education* 5(1), 61-84.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making Sense of Secondary Science*. London: Routledge.
- Duit, R. (2009). *Bibliography – STCSE: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Kiel: IPN. Tillgänglig via [www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/](http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/) [2010-09-06]
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Ehrlén, E. (2009). Drawings as Representations of Children's Conceptions. *International Journal of Science Education*, 31(1), 41-57.
- Erduran, S., J., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2007). Argumentation in Science Education: An Overview. I S. Erduran, J. & M. P. Jiménez-Aleixandre (Red.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (s. 3-28). Dordrecht: Springer Science + Business Media B.V.
- Eshach, H., & Schwartz, J. L. (2006). Sound Stiff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, 28(7), 733-764.
- EU (2009). *Personal Music Players & Hearing. An assessment by the European Commission Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)*. Tillgänglig via <http://ec.europa.eu/health/opinions/en/hearing-loss-personal-music-player-mp3/index.htm#1> [2010-08-10].

- Fazio, C., Guastella, I., Sperandeo-Mineo, R.-M., & Tarantino, G. (2008). Modelling Mechanical Wave Propagation: Guidelines and experimentation of a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1491-1530.
- Feinstein, N. (2011). Salvaging Science Literacy. *Science Education* 95(1), 168-185.
- Fensham, P. (2001). Science content as problematic – Issues for research. I H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross & P. Reiska (Red.), *Research in science education – Past, present, and future* (s. 27-41). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Furth, H. G. (1969). *Piaget and knowledge: Theoretical foundations*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- García Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary Students' Thinking about Familiar Phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917-1952.
- Hammersley, M. (2009). What is Evidence for evidence-based Practice. I H.-U. Otto, A. Polutta & H. Ziegler (Red.), *Evidence-based-Practice - Modernising the Knowledge Base of Social Work?* (s. 139-150). Opladen: Barbara Budrich Publishers.
- Hand, B., Yore, L. D., Jagger, S., & Prain, V. (2010). Connecting research in science literacy and classroom practice: a review of science teaching journals in Australia, the UK and the United States, 1998-2008. *Studies in Science Education*, 46(1), 45-68.
- Harrison, J. (2005). Science Education and Health Education: Locating the Connections. *Studies in Science Education*, 41(1), 51-90.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: a synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London: Taylor & Francis Ltd.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.
- Houle, M. E., & Barnett, G. M. (2008). Students' Conceptions of Sound Waves Resulting from the Enactment of a New Technology-Enhanced Inquiry-Based Curriculum on Urban Bird. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3), 242-251.
- Hunt, F. V. (1978). *Origins of Acoustics*. London: Yale University Press Ltd.

- Hurley, M.M. (2001). Reviewing Integrated Science and Mathematics: The Search for Evidence and Definitions From New Perspectives. *School Science and Mathematics*, 101(5), 259-268.
- Jenkins, E. W. (2006). The Pupil Voice and School Science Education, *Studies in Science Education*, 42(1), 49-88.
- Jidesjö, A., Oscarsson, M., Karlsson, K. G., & Strömdahl, H. (2009). Science for all or science for some: What Swedish students want to learn about in secondary science and technology and their opinions on science lessons. *Nordina*, 5(2), 213-229.
- Johnson, C. C. (2007). Effective science teaching, professional development and No Child Left Behind: Barriers, dilemmas and reality. *Journal of Science Teacher Education*, 18 (2), 133-136.
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393-412.
- Johnson, R. B., & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed methods research: A research paradigm whose time as come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26.
- Johnson, P., & Papageorgiou, G. (2010). Rethinking the Introduction of Particle Theory: A Substance-Based Framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), 130-150.
- Kattman, U., Duit, R., Gropengieber, H., & Komorek, M. (1996). *Educational Reconstruction – bringing together of Scientific Clarification and Students' Conceptions*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST), St. Louis, April 1996.
- Kelly, A. E. (2003). Theme Issue: The Role of Design in Educational Research. *Educational Researcher*, 32 (3-4).
- Kelly, A. E. (2006). Quality criteria for design research. I J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKennedy & N. Nieveen (Red.), *Educational Design Research* (s. 107- 118) Milton Park: Routledge.
- Kelly, A. E, Lesh, R. A., & Baek, J. Y. (Red.). (2008). *Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching*. New York: Routledge.
- Kirby , D., Laris , B., & Roller, L. (2007). Sex and HIV Education Programs: Their Impact on Sexual Behaviors of Young People Throughout the World. *Journal of Adolescent Health*, 40(3), 206-217.



- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Klaassen, K., & Lijnse, P. (1996). Interpreting students' and teachers' discourse in science classes: An underestimated problem? *Journal of Research in Science Teaching*, 33(2), 115-134.
- Konsumentverket (2011). *Leksaker med höga ljud*. Stockholm. Tillgänglig via <http://www.konsumentverket.se/sakra-varor-tjanster/Barnsakerhet/Leksaker/Varningstexter-pa-leksaker4/> [2011-06-25].
- Koretz, D. (2008). *Measuring Up*. London: Harvard University Press.
- Kortland, K., & Klaassen, K. (Red.) (2010). *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education*. Utrecht: CDBeta Press.
- Kvale, S. (1997). *Den kvalitativa forskningsintervjun*. Lund: Studentlitteratur.
- Kärrqvist, C., & West, E. (2005). *Problemlösning*. Stockholm: Skolverket.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2003). *Metaphors we live by*. Chicago: The University of Chicago.
- Leach, J., Ametller, J., & Scott, P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. I K. Kortland & K. Klaassen (Red.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (s. 7-35). Utrecht: CDBeta Press.
- Leach, J., & Scott, P. (1995). The demands of learning science concepts: issues of theory and practice. *School Science Review*, 76(277), 47-52.
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142.
- Leach, J., & Scott, P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 12(1), 91-113.
- Leach, J., & Scott, P. (2008). Teaching for conceptual understanding: an approach drawing on individual and sociocultural perspectives. I S. Vosniadou (Red.), *International handbook of research on conceptual change* (s. 647-675). New York: Routledge.

- Leach, J., Scott, P., Ametler, J., Hind, A., & Lewis, J. (2006). Implementing and evaluating teaching interventions. I Millar, R., Leach, J., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (Red.), *Improving Subject Teaching - Lessons from Research in Science Education* (s. 79-99). Routledge, London och New York.
- Lederman, N., & Niess, M. (1997). Integrated, interdisciplinary, or thematic instruction? Is this a question or is it questionable semantics? *School Science and Mathematics* 97(2), 57-58.
- Lemke, J. (1998). *Talking Science: Language, Learning and Values*. Norwood N.J: Ablex Publishing Corporation.
- Lemke, J. (2003). *Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions*. Tillgänglig via: <http://www-personal.umich.edu/~jaylemke/papers/barcelon.htm> [2010-08-10].
- Lijnse, P. (1994). Didactical structures as outcome of research on teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- 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 in science education research? I Millar, R., Leach, J., & Osborne, J. (Red.), *Improving Science Education. The contribution of research* (s. 308-326). Buckingham: Open University press.
- Lijnse, P. (2010a). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. I K. Kortland & K. Klaassen (Red.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (s. 91-101). Utrecht: CDBeta Press.
- Lijnse, P. (2010b). Methodological aspects of design research in physics education. I K. Kortland & K. Klaassen (Red.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (s. 143-155). Utrecht: CDBeta Press.
- Lijnse, P., & Klaassen K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554
- Lindahl, B. (2003). *Lust att lära naturvetenskap och teknik?: en longitudinell studie om vägen till gymnasiet*. (Göteborg studies in educational sciences, 196). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis
- Linder, C. (1992). Understanding sound: so what is the problem? *Physics Education*, 27(5), 258-264.

- Linder, C. (1993). University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, 15(6), 655-662.
- Linder, C., & Erickson, G. L. (1989). A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, 11(5), 491-501.
- Linn, R. L. (2006). The Standards for Educational and Psychological Testing: Guidance in Test Development. I S. M. Downing & T. M. Haladyna (Red.), *Handbook of Test Development*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Lustig, F., West, E., Borgato, M.T., Isub, I., Martinez, B., Staszal, M., m.fl. (2009). Experiences and results from the European project 'Integrated Subject Science Understanding in Europe'. I Menabue, L. & Santoro, G. (Red.), *New Trends in Science and Technology Education. Selected papers at the conference New Trends in Science and Technology Education* (s. 7-24). Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna.
- Löfgren, L., & Helldén, G. (2009). A Longitudinal Study Showig how Students use a Molecule Concept when Explaining Everyday Situations. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1631-1655.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Foy, P., Olson, J. F., Erberber, E., Preuschoff, C., m.fl. (2008). *TIMSS 2007 International Science Report: Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth Grades*. IEA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College, Boston: Chestnut Hill.
- Maurines, L. (1993). Spontaneous reasoning on the propagation of sound. *The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics Publication*. Ithaca. Misconceptions Trust.
- McKenney, S., Nieveen, N., & van den Akker, J. (2006). Design research from a curriculum perspective. I J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Red.), *Educational Design Research* (s. 67-90). Milton Park: Routledge.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences. Aims and tools for science education. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R., & Sams, C. (2004). Reasoning as a scientist: ways of helping children to use language to learn science. *British Educational Research Journal*, 30(3), 359-377.

- Millar, R. (1989). Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, 11(5), 587-596.
- Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: Insights from the Design and Implementation of a Scientific Literacy Approach in School Science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521.
- Millar, R. (2010). Using research to improve practice in science education: Where should we begin, and what should we aim to produce? I K. Kortland & K. Klaassen (Red.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (s. 55-68). Utrecht: CDBeta Press.
- Millar, R., Leach, J., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (2006). *Improving subject teaching: lessons from research in science education*. Abingdon: UK, Routledge.
- Mortimer, E.F., & Scott, P.H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead: Open University Press.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education* 21(5), 553-576.
- Norris, S., & Phillips, L. (2003). How Literacy in Its Fundamental Sense Is Central to Scientific Literacy. *Science Education*, 87(2), 224-240.
- Nyberg, E. (2008). *Om livets kontinuitet. Undervisning och lärande om växters och djurs livscyklar en fallstudie i årskurs 5*. (Göteborg studies in educational sciences 271). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Ogborn, J. (2010). Curriculum development as practical activity. I K. Kortland & K. Klaassen (Red.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (s. 69-78). Utrecht: CDBeta Press.
- Ogborn, J., Kress, G., Martins, I., & McGillicuddy, K. (1996). *Explaining Science in the Classroom*. Maidenhead: Open University Press.
- Olander, C. (2010). *Towards an interlanguage of biological evolution: exploring students' talk and writing as an arena for sense-making*. (Göteborg Studies in Educational Sciences 288). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Olsen Widén, S.E., & Erlandsson, S.I. (2004a). Self-Reported Tinnitus and Noise Sensitivity among Adolescents in Sweden. *Noise and health* 7(25), 29-40.
- Olsen Widen, S.E., & Erlandsson, S.I. (2004b). The Influence of Socio-Economic Status on Adolescent Attitude to Social Noise and Hearing Protection. *Noise and health*, 7(25), 59-70.

- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections*. London: Nuffield Foundation.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- Osborne, J., Simon, S., & Tytler, R. (2009). *Attitudes Towards Science: An Update*. Paper presenterat vid AERA-konferensen (American Educational Research Association).
- Pappas, D. G. (2000). Otology – Unfolding a Speciality. I Canalis, R. F., & Lambert, P. R. (Red.), *The Ear: Comprehensive Otology* (s. 1-16). Philadelphia: Lippincott Williams & Williams.
- Persson, H., Ekborg, M., & Garpelin, A. (2009). Ämnesintegrerad undervisning i naturvetenskap – Vad är det? *Nordina*, 5(1), 47-60.
- Piaget, J. (1954). *The Construction of Reality in the Child*. New York: Basic Books.
- Platon. (2006). *Skrifter. Bok 4, Parmenides; Theaitetos; Sofisten; Statsmannen; Timaios; Kritias; Filebos*. (J. Stolpe, Övers.) Stockholm: Bokförlaget Atlantis AB.
- Prain, V., Tytler, R., & Peterson, S. (2009). Multiple Representation in Learning About Evaporation. *International Journal of Science Education*, 13(6), 787-808.
- Pring, R. (2006). *Philosophy of Educational Research*. London: Continuum.
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M.T.H., & Resnick, L. B. (2000). Naïve physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34.
- Renström, L., Andersson, B., & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 555-569.
- Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy. I S. Abell & N.G. Lederman (Red.), *Handbook of Research on Science Education* (s. 729-780). London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Roberts, D. A. (2011). Competing Visions of Scientific Literacy. I C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson & A. MacKinnon (Red.), *Exploring the Landscape of Scientific Literacy* (s.11-27). New York: Routledge.

- Rossing, T. D. (2007). A Brief History of Acoustics. I T. D. Rossing (Red.), *Handbook of Acoustics* (s. 9-24). New York, Springer Science+Business Media.
- Rowe, M. B. (1974). Wait-time and rewards as instructional variables, their influence on language, logic, and fate control: Part one – wait-time. *Journal of Research in Science Teaching*, 11(2), 81-94.
- Råd & Rön (2005). *Test: Hörurleksaker (bullertest)*. Nr 6. Stockholm: Sveriges konsumenter.
- Råd & Rön (2010). *Högjudda leksaker, granskning*. Nr 10. Stockholm: Sveriges konsumenter.
- Sadler, T. (2004). Informal Reasoning Regarding Socioscientific Issues: A Critical Review of Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2009). Scientific Literacy, PISA, and Socioscientific Discourse: Assessment for Progressive Aims of Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 909-921.
- SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) (2008). *Potential health risks of exposure to noise from personal music players and mobile phones including a music playing function*. Brussels: European Commission.
- Schreiner, C., & Sjøberg, S. (2007). Science education and youth's identity construction - two incompatible projects? I D. Corrigan, Dillon, J. & Gunstone, R. (Red.), *The Re-emergence of Values in the Science Curriculum* (s. 231-248). Rotterdam: Sense Publishers.
- Scott, P., Asoko, H., & Leach, J. (2007). Students Conceptions and Conceptual Learning in Science. I S. Abell & N.G. Lederman (Red.), *Handbook of Research on Science Education* (s. 31-56). London, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Scott, P., Leach, J., Hind, A., & Lewis, J. (2006). Designing research evidence-informed teaching interventions. I R. Millar, J. Leach, J. Osborne & M. Ratcliffe (Red.), *Improving Subject Teaching – Lessons from research in science education* (s. 60-78). Routledge, London och New York.
- Serder, M., Sørensen, H., & Jakobsson, A. (2011). *Opportunities and difficulties for students' engagement in PISA science items*. Paper presenterat vid Nordiskt Forskarsymposium om Undervisning i Naturvetenskap (NFSUN). Linköping, Sverige.
- Serra, M., Biassoni, E., Richter, U., Minoldo, G., Franco, G., Abraham, S., m.fl. (2005). Recreational noise exposure and its effects on the hearing of

- adolescents. Part I: An interdisciplinary long-term study. *International Journal of Audiology*, 44(2), 65-73.
- Shavelson, R.J., Phillips, D. C., Towne, L., & Feuer M. J. (2003). On the Science of Education Design Studies. *Educational Researcher* January, 32(1), 25-28.
- Shayer, M. (2003). 'Not just Piaget; not just Vygotsky, and certainly not Vygotsky as alternative to Piaget'. *Learning and Instruction* 13(5), 465-485.
- Shute, V.J. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153-189.
- Sjøberg, S. (2007). PISA and "real life challenges": Mission impossible? I S. Hopman, G. Brinek & M. Retzl (Red.), *PISA according to PISA, Does PISA Keep What It Promises?* (s. 203-224). Wien: LIT Verlag.
- Skolinspektionen. (2010). *Fysik utan dragningskraft - En kvalitetsgranskning om lusten att lära fysik i grundskolan.* (Nr. 2010:8). Stockholm: Skolinspektionen.
- Skolinspektionen. (2011). *Fysik i mellanåren – bortgömt men inte bortglömt.* (Nr. 2011:9). Stockholm: Skolinspektionen.
- Skolverket. (1994). *Läroplan för det obligatoriska skolväsendet, förskoleklassen och fritidshemmet - Lpo 94.* Tillgänglig via: <http://www.skolverket.se/> [2010-08-10].
- Skolverket. (2000). *Kursplaner och betygskriterier 2000. Grundskolan.* Tillgänglig via: <http://www.skolverket.se/> [2010-08-10].
- Skolverket. (2001). *PISA 2000. Svenska femtonåringars läsförmåga och kunnande i matematik och naturvetenskap i ett internationellt perspektiv.* (Nr. 209). Stockholm: Skolverket.
- Skolverket. (2004). *PISA 2003 - svenska femtonåringars kunskaper och attityder i ett internationellt perspektiv.* (Nr. 254). Stockholm: Skolverket.
- Skolverket. (2005). *Naturorienterande ämnen, ämnesrapport till rapport 252 (NU-03).* Stockholm: Skolverket.
- Skolverket. (2007). *PISA 2006 - 15-åringars förmåga att förstå, tolka och reflektera - naturvetenskap, matematik och läsförståelse.* (Nr. 306). Stockholm: Skolverket.
- Skolverket. (2008). *TIMSS 2007 - Svenska grundskoleelevers kunskaper i matematik och naturvetenskap i ett internationellt perspektiv.* Stockholm: Skolverket.
- Skolverket. (2009). *Vad påverkar resultaten i svensk grundskola? Kunskapsöversikt om betydelsen av olika faktorer. Sammanfattande analys.* (Nr. 09:1126). Stockholm: Skolverket.

- Skolverket. (2010). *Rustad att möta framtiden? PISA 2009 om 15-åringars läsförståelse och kunskaper i matematik och naturvetenskap*. (Nr. 352). Stockholm: Skolverket.
- Skolverket (2011). *Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet 2011*. Stockholm: Skolverket. Tillgänglig via:  
[www.skolverket.se/publikationer?id=2575](http://www.skolverket.se/publikationer?id=2575) [2011-09-15].
- Socialstyrelsen. (2002). *Höga ljudnivåer, ungdomars beteenden, kunskaper och attityder*. (Nr. 2002-123-66). Stockholm: Socialstyrelsen.
- Socialstyrelsen. (2003). *Uppdrag att utvärdera om regelverket kring höga ljudnivåer ger avsedd effekt*. (Dnr 7679/02). Stockholm: Socialstyrelsen.
- Stokes, D. E. (1997). *Pasteur's quadrant. Basic science and technological innovation*. Washington, D.C.: Brookings Institution Press.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. I R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Red.), *Improving science education. The contribution of research* (s. 27-47). Buckingham: Open University press.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297-328.
- Treagust, D., Jacobowitz, R., Gallagher, J., & Parker, J. (2001). Using Assessment as a Guide in Teaching for Understanding: A Case Study of a Middle School Science Class Learning about Sound. *Science Education*, 85(2), 137-157.
- van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (Red.). (2006). *Educational Design Research*. Milton Park: Routledge.
- van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). Introducing educational design research. I J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney & N. Nieveen (Red.), *Educational Design Research* (s. 3-7). Milton Park: Routledge.
- Venville, G., Rennie, L., & Wallace, J. (2004). Decision Making and Sources of Knowledge: How Students Tackle Integrated Tasks in Science, Technology and Mathematics. *Research in Science Education*, 34(2), 115-135.
- Venville, G., Wallace, J., Rennie, L., & Malone, J. (2002). Curriculum Integration: Eroding the High Ground of Science as a School Subject? *Studies in Science Education*, 37(1), 43-83.



- Vogel, I., Brug, J., Hosli, E., van der Ploeg, C., & Raat, H. (2008). MP3 Players and Hearing Loss: Adolescents' Perceptions of Loud Music and Hearing Conservation. *The Journal of Pediatrics*, 152(3), 400-404.
- Vogel, I., Verschuure, H., van der Ploeg, C., Brug, J., & Raat, H. (2009). Adolescents and MP3 Players: Too Many Risks, Too Few Precautions. *Pediatrics*, 123(6), 953-958.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. I S. Vosniadou (Red.), *Handbook Of Research On Conceptual Change* (s. 3-34). New York, Routledge.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Cambridge: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and language*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Walker, D. (2006). Toward productive design studies. I J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKennedy & N. Nieveen (Red.), *Educational Design Research* (s. 8-13) Milton Park: Routledge.
- Wallin, A. (2004). *Evolutionsteorin i klassrummet. På väg mot en ämnesdidaktisk teori för undervisning om biologisk evolution*. (Göteborg studies in educational sciences 212). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Wandersee, J. H. (1988). Ways students read texts. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), 69-84.
- Watt, D., & Russel, T. (1990). *Sound. Primary SPACE Project Research Report*. Liverpool, University Press.
- West, E. (2006). *Sonido, audición y salud*. ISSUE-projektet. Göteborg: Institutionen för pedagogik och didaktik, Göteborgs universitet. Tillgänglig via [http://na-serv.did.gu.se/SoundHearingHealth%20\\_Spanish3.pdf](http://na-serv.did.gu.se/SoundHearingHealth%20_Spanish3.pdf) [2011-01-15]
- West, E. (2008a). *Att undervisa om ljud, hörsel och hälsa - kunskapsbas, undervisningsförslag och kopieringsunderlag*. Göteborg: Göteborgs universitet. Tillgänglig via <http://hdl.handle.net/2077/18684> [2011-06-25].
- West, E. (2008b). *Teaching about sound, hearing and health - knowledge base, suggestions for teaching and copying material*. Göteborg: Göteborgs universitet. Tillgänglig via <http://gupea.ub.gu.se/dspace/handle/2077/18685> [2011-06-25].
- West, E. (2011). Learning for Everyday Life: Pupils' conceptions of hearing and knowledge about tinnitus from a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1245-1271.

- West, E., & Andersson, B. (2011). Ljud, hörsel och hälsa. I B. Andersson. *Att utveckla undervisning i naturvetenskap - kunskapsbygge med hjälp av ämnesdidaktik* (s. 241-282). Lund: Studentlitteratur.
- West, E., & Wallin, A. (2011). Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching-Learning Sequence about Sound, Hearing and Health. *International Journal of Science Education*. doi: 10.1080/09500693.2011.589479.
- Wickman, P.-O., & Ligozat, F. (2011). Scientific Literacy as Action: Consequences for Content Progression. I C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson & A. MacKinnon (Red.), *Exploring the Landscape of Scientific Literacy* (s. 145-159). New York: Routledge.
- Widén, S. E. (2006). *Noice and Music - A Matter of Risk Perception?* Doktorsavhandling, Göteborg: Göteborgs universitet.
- Wiser, M., & Smith, C. (2008). Learning and Teaching about Matter in Grades K-8: When should the Atomic-Molecular Theory be Introduced? I S. Vosniadou (Red.), *International handbook of research on conceptual change* (s. 205-239). New York: Routledge.
- Wittman, M. C., Steiberg, R. N., & Redish, E. F. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.
- Zettergvist, A. (2003). *Ämnesdidaktisk kompetens i evolutionsbiologi. En intervjuundersökning med 26 no/ biologilärare*. (Göteborg Studies in Educational Sciences 197). Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35-62.
- Åström, M. (2008). *Defining Integrated Science Education and Putting It to Test*. (Studies in Science and Technology Education No 26). Linköpings universitet, Norrköping.
- Åström, M., & Karlsson, K.-G. (2007). Using hierarchical linear models to test differences in Swedish results from OECD's PISA 2003: Integrated and subject-specific science education. *Nordina*, 3(2), 121-131.