

# Digital visualisering i skolan

## Mittuniversitetets slutrapport från förstudien

Lena Boström, Mårten Sjöström, Håkan Karlsson, Marcus Sundgren,  
Mattias Andersson, Roger Olsson, Jimmy Åhlander



Mittuniversitetet

MID SWEDEN UNIVERSITY

## Förord

Att genomföra praktikinrä skolforskning kräver stöd och medverkan från flera olika aktörer. Det har vi fått i denna studie. Först och främst har samverkansavtalet mellan Mittuniversitetet och Sundsvalls kommun och Härnösands kommun möjliggjort finansieringen. Sedan har kommunrepresentanter från de båda kommunerna initierat och aktivt stöttat projektet. Vidare har en matematiklärare i vardera kommunen med stort engagemang genomfört den empiriska delen i studien. Utan deltagande elever skulle vi inte heller kunna genomföra arbetet. Vi har därtill gratis fått använda en programvara i geometri för att uppnå våra syften.

Vi vill därför först rikta vårt varma tack till Mittuniversitetet och Härnösands och Sundsvalls kommuner som har denna gemensamma konstruktion för att ömsesidigt stödja forskning och samhällsutveckling. Från Sundsvalls kommun vill vi speciellt tacka kvalitetschef Eva Jönsson och från Härnösands kommun utvecklingsstrateg Pia Liljeström för strategiskt stöd. De lärare som deltagit i studien, Veronica Eriksson, Bergsåker skola och Björn Årnström, Vendela Hellmansskolan har varit nyckelpersoner i studierna och till dem riktar vi vårt största tack. Ni har på alla sätt och vis deltagit med engagemang, kunskap och genomförande. Tack även till de elever som deltagit. Till företaget Sensavis som tillhandahållit programvaran till skolorna och medverkat i fortbildning och support sänder vi också vårt varma tack.

Som forskare har vi uppskattat möjligheten att få arbeta tvärvetenskapligt och transdisciplinärt, vilket vi menar gynnar såväl det beforskade fältet men även vår professionella forskningsutveckling samt lärosätet i dess helhet. Vi är helt övertygade om att detta är ett framtida arbetsätt inom våra forskningsområden.

Sundsvall december 2018

*Lena Boström, Mårten Sjöström, Håkan Karlsson, Marcus Sundgren, Mattias Andersson, Roger Olsson, Jimmy Åhlander*

# Sammanfattning

Den här studiens syfte har varit tvåfaldigt, nämligen att testa alternativa lärmeter via ett digitalt läromedel i matematik i en kvasiexperimentell studie samt att tillämpa metoder av användarupplevelser för interaktiva visualiseringar, och därigenom öka kunskapen kring hur upplevd kvalitet beror på använd teknik. Pilotstudien sätter också fokus på flera angelägna områden inom skolutveckling både regionalt och nationellt samt viktiga aspekter när det gäller kopplingen teknik, pedagogik och utvärderingsmetoder inom "den tekniska delen". Det förra handlar om sjunkande matematikresultat i skolan, praktisknära skolforskning, stärkt digital kompetens, visualisering och lärande samt forskning om visualisering och utvärdering. Den senare svarar på frågor om vilka tekniska lösningar som tidigare använts och med vilket syfte har de skapats samt hur visualiseringar har utvärderats enligt läroböcker och i forskningslitteratur.

När det gäller *elevernas resultat*, en av de stora forskningsfrågorna i studien, så fann vi inga signifikanta skillnader mellan traditionell undervisning och undervisning med visualiseringsläromedlet (3D). Beträffande elevers *attityder* till matematikmomentet kan konstateras att i kontrollgruppen för årskurs 6 förbättrades attityden signifikant, men inte i klass 8. Gällande *flickors och pojkars resultat och attityder* kan vi konstatera att flickorna i båda klasserna hade bättre förkunskaper än pojkarna samt att i årskurs 6 var flickorna mer positiva till matematikmomentet än pojkarna i kontrollgruppen. Därutöver kan vi inte skönja några signifikanta skillnader. Andra viktiga rön i studien var att *provkonstruktionen* inte var optimal samt att tiden för *provgenomförande* har stor betydelse när på dagen det genomfördes. Andra resultat resultaten i den kvalitativa analysen pekar på positiva attityder och beteenden från eleverna vid arbetet med det visuella läromedlet. Elevernas *samarbete och kommunikation förbättrades* under lektionerna. Vidare pekade lärarna på att med 3D-läromedlet gavs större möjligheter till att *stimulera flera sinnen* under lärprocessen. En tydlig slutsats är att 3D-läromedlet är ett viktigt komplement i undervisningen, men kan inte användas helt självt.

Vi kan varken sälla oss till de forskare som anser att 3D-visualisering är överlägset som läromedel för elevers resultat eller till de forskare som varnar för dess effekter för elevers kognitiva överbelastning. Våra resultat ligger mer i linje med de slutsatser Skolforskningsinstitutet (2017) drar, nämligen att undervisning med digitala läromedel i matematik kan ha positiva effekter, men en lika effektiv undervisning kan möjligen designas på andra sätt. Däremot pekar resultaten i vår studie på ett flertal störningsmoment som kan ha påverkat möjliga resultat och behovet av god teknologin och välutvecklade programvaror.

I studien har vi analyserat resultaten med hjälp av två övergripande ramverk för integrering av teknikstöd i lärande, SAMR och TPACK. Det förra ramverket bidrog med en taxonomi vid diskussionen av hur väl teknikens möjligheter tagits tillvara av läromedel och i läraaktiviteter, det senare för en diskussion om de didaktiska frågeställningarna med fokus på teknikens roll. Båda aspekterna är högaktuella med tanke på den ökande digitaliseringen i skolan.

Utifrån tidigare forskning och denna pilotstudie förstår vi att det är viktigt att designa forskningsmetoderna noggrant. En randomisering av grupper vore önskvärt. Prestandamått kan också vara svåra att välja. Tester där personer får utvärdera användbarhet (usability) och användarupplevelse (user experience, UX) baserade på både kvalitativa och kvantitativa metoder blir viktiga för själva användandet av tekniken, men det måste till ytterligare utvärderingar för att koppla tekniken och visualiseringen till kvaliteten i lärandet och undervisningen. Flera metoder behövs således och det blir viktigt med samarbete mellan olika ämnen och discipliner.

## Innehåll

Förord .....	1
Sammanfattning.....	2
1. INTRODUKTION.....	5
2. BAKGRUND .....	7
2.1 Om visualiseringsteknik .....	7
2.2 Om skolans behov av förbättrade matematikkunskaper.....	7
3. SYFTE, MÅL OCH METOD .....	13
3.1 Syfte och mål.....	13
3.2 Allmänt kring vetenskaplig metod .....	13
3.3 Forskningsdesign för forskningsfråga 1 .....	14
3.4 Provkonstruktion och provgenomförande .....	15
3.5 Statistisk analys .....	15
3.6 Metoddiskussion.....	16
3.6.1 Urval.....	16
3.6.2 Provkonstruktion och provgenomförande .....	17
3.6.3 Mixed-methods.....	17
3.7 Forskningsdesign för forskningsfråga 2 .....	17
4. TIDIGARE FORSKNING I SKOLMILJÖ.....	19
4.1 Om bilder, modaliteter och matematikdidaktik.....	19
4.2 Bilders överlägsenhet (jämfört med ordens)? .....	19
4.3 Visualisering, 3D och lärande; fördelar, nackdelar och resultat .....	20
4.4 Skillnader mellan flickor och pojkar .....	22
4.5 Om multimodala arbetsformer i klassrummet i Sverige .....	22
4.6 Om digitala läresurser ur ett skolutvecklingsperspektiv .....	23
4.7 Om teoretiska ramverk för digitala läresurser.....	23
4.7.1 TPACK-modellen.....	23
4.7.2 SAMR-modellen .....	24
5. RESULTAT DELSTUDIE 1 - DIGITAL VISUALISERING I MATEMATIK.....	26
5.1 Provkonstruktion och provresultat .....	26
5.2 Provresultat.....	27
5.3 Attityder.....	29
5.4 Pojkar och flickor – resultat och attityder .....	31
5.5 Attityder – pojkar och flickor .....	32
6. RESULTAT DELSTUDIE 2 – DIGITAL VISUALISERINGSTEKNIK.....	35
6.1 Seminarier .....	35
6.1.1 Informationsvisualisering .....	35

6.1.2 Visualisering för lärande .....	36
6.2 Visuellt lärande och tekniska utmaningar .....	37
6.2.1 Introduktion till visuellt lärande .....	37
6.2.2 Sätt att lära sig .....	38
6.2.3 Framgång i lärandet.....	39
6.2.4 Grundkomponenter i ett visuellt lärandesystem.....	40
6.2.5 Klassificeringsmodell.....	41
6.2.6 Exempel på lärandesystem .....	42
6.2.7 Slutsats.....	44
6.3 Utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse ur ett ingenjörsperspektiv .....	45
6.3.1 Kategorisering av utvärderingsmetoder .....	46
6.3.2 Datasamlingsmetoder .....	48
6.3.3 Standarder i litteraturen - ISO 9241 .....	48
6.3.4 Slutsatser från utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse ur ett ingenjörsperspektiv .....	48
6.4 Utvärderingar i forskningslitteratur: Utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse .....	48
6.4.1 Vad är nödvändigt för att kunna genomföra en bra utvärdering? .....	49
6.4.2 Metodik .....	50
6.4.3 Metoder .....	50
7. RESULTAT INTERVJUER .....	52
7.1 Bidrag .....	52
7.2 Problem .....	52
8. SLUTSATSER .....	54
8.1 Sammanfattande resultat .....	54
8.2 Svårigheter med att mäta effekter av undervisning.....	55
9. DISKUSSION .....	56
9.1 Tekniska implikationer.....	57
9.1.1 Användning av visualiseringsverktyg i skolsituationen.....	57
9.1.2 Anpassning av verktyg till frågeställningar.....	58
9.2 Framtida forskning .....	58
9.2.1 Didaktik .....	58
9.2.2 Effekter för lärande .....	59
9.2.3 Effekter för undervisning .....	59
9.2.4 Verktyg.....	59
9.3 Metod.....	60
Referenser.....	61



# 1. INTRODUKTION

Den här pilotstudien utgår från två olika, men överlappande kunskapsområden: 3D-visualisering och matematik i grundskolan. Men i ett större perspektiv handlar det om digitalisering i skolan och samhället. Låt oss först ge en övergripande bild: digitaliseringen har kommit för att stanna i barns och vuxnas verkligheter. Digitalisering inom alla områden är ett faktum. Samhället utvecklas i allt högre grad mot en ökad digital visuell kommunikation där information, kommunikation och lärande sker med hjälp av digitala visuella medier, tjänster och tekniker. Dagens elever lever i ett alltmer digitaliserat samhälle och därför har regeringen beslutat om förändringar i styrdokumenterna för grundskole-, gymnasie- och vuxenutbildningen från och med juli 2018. De nya skrivningarna i läroplanerna ska bidra till att barn och elever utvecklar förståelse för hur digitaliseringen påverkar individen och samhället. De nya digitala läromedel som växer fram bygger på olika typer av visuell pedagogik. I dessa visuella läromedel kombineras tal, text, ljud och bild på nya sätt och digital visualisering står i centrum.

Men vad vet vi om dessa läromedel? Lär sig barnen bättre genom dem? Hur hanterar lärare dessa läromedel? Hur är de designade och tekniskt utvecklade? Hur upplever lärare och elever att de fungerar? Reklamen om digitala läromedel finns överallt, men var finns forskningen? Och hur har forskningen designats och utifrån vilka teoretiska ramverk? Det här är frågor som en forskargrupp vid Mittuniversitetet har tagit fasta på i två pilotstudier i Härnösands och Sundsvalls kommuner.

Den tekniska utvecklingen av digitala hjälpmedel har varit enorm de senaste årtiondena, vilket har sin grund i en ofantlig utveckling av elektronik och datateknik. Beräkningskapaciteter i allt mindre enheter har lett till att var och en har en dator i fickan som för 20 år sedan behövde ett stort rum för att nå samma prestanda. Tekniska lösningar för att skapa högupplösta skärmar av hög kvalitet, och förenkla inmatning och interaktion med programmen har lett till en digitalisering av samhället i stort och i smått. Krav har därmed kommit att tekniken inte bara ska lösa problem utan också ska vara tilltalande och lätt att använda. Speciellt har presentationsformer av fenomen och modeller gjorts möjlig genom datorgrafik som alltmer liknar verkliga avbildningar. Kunskap om hur mer abstrakt information sammanställs i visualiseringar har också gjort stora framsteg vilket skapar förutsättningar att kommunicera fenomen som annars kan vara svåra att gestalta. Dessa visualiseringar ger oanade möjligheter för kommunikation och lärande om de nyttjas på lämpligt sätt, och kan därmed öka effektiviteten av presentationer. I en tidigare förstudie ”Gör frisk luft synlig” inom samarbetet mellan Mittuniversitetet och Sundsvalls kommun togs en interaktiv visualiseringslösning fram för att kommunicera vad som fortsatt kan göras för att ytterligare förbättra luftkvaliteten i Sundsvalls centrum.

Med ovan beskrivna bakgrundsbilder om digitalisering i skolan, digitala hjälpmedel, visualisering och teknisk utveckling har vi också ställt oss följande frågor: Vad är god teknik? Hur skapas denna utifrån användarens syften och behov? Vad kännetecknar en god visualisering och hur kan den utvärderas med avseende på dess syfte?

För att kunna konkretisera studiens forskningsfrågor inom ett skolämne har vi utgått ifrån kommunernas behov om att beforska matematikämnet i grundskolan, då kunskapsresultaten under

se senaste 15 åren varit sjunkande, både nationellt men även regionalt och lokalt. Detta problemområde inklusive skillnader mellan flickor och pojkar gällande resultat och attityder i momentet geometri med traditionell undervisning eller undervisning byggd på ett visuellt läromedel har stått i fokus i studien *Digital visualisering i skolan*. Det finns sålunda ett stort nationellt, regionalt och lokalt intresse för kunskaper gällande elevers kunskapsutveckling i matematik med koppling till digitala läromedel. Det handlar om elevers resultat och prestationer i skolan och inför resterande liv och vuxenlivet krav, skolans uppgift att ge möjligheter till alla elevers lärande samt att säkerställa välutbildade medarbetare till samhälle och näringsliv. Vidare finns ett akut behov av visuell digital kompetens hos regionens skolor och lärare för att de ska kunna erbjuda elever undervisning som ansluter till den nationella strategin för digitalisering som regeringen beslutat. Denna pilotstudie avsåg att påbörja en resa för att kunna besvara några av frågorna ovan. För Mittuniversitetet är detta ett unikt projekt där vi samverkar mellan två olika discipliner och sammanlänkar pedagogik och digital teknik. Vårt långsiktiga mål är att bygga upp kunskaper om olika tillämpningar av visualisering och för pedagogikämnet i allmänhet samt matematikdidaktik i synnerhet, med ett klusterbyggande kring visualisering i förlängningen. Vi ser detta steg som ett helt nytt sätt att koppla ihop olika kunskapsfält som med digital teknik kan stödja elevers lärande och lärares undervisning. Slutligen är detta pilotprojekt ett konkret exempel på samverkan mellan Mittuniversitetets och två kommuner gällande praktiska forskning.

Denna studie har haft syftet att skapa underlag för fortsatt forskning inom visualisering fokuserat på lärande i en skolmiljö. En del i studien har genomfört två kvasiexperimentella studier med multi-method design för att utvärdera didaktiska aspekter på programvaran Sensavis Visual Learning Tool som tillhandahållits av Sensavis AB jämfört med traditionell undervisning i matematik, mer specifikt momentet geometri. En andra del har omfattat en litteraturstudie som har beaktat tidigare forskning kring tekniska visualiseringslösningar och deras målsättning för lärande, samt förståelse för hur sådana visualiseringslösningar utvärderas enligt facklitteratur och i forskningslitteratur.

I denna rapport ges först en mera ingående bild av bakgrunden till studien, om visualiserings-teknik och viktiga motiv till studiens genomförande. Därefter följer studiens syfte, mål och metod. Tidigare forskning sveper över bildens påstådda överlägsenhet över ordets, visualiseringens för- och nackdelar, multimodala arbetsformer och skolutveckling, skillnader mellan flickor och pojkar samt möjliga teoretiska ramverk för analysen av resultaten. Rapporten presenterar en djupare förståelse för visualiseringen i sig, dess olika former och uppdelning, hur den möjliggör alternativa former för lärande, hur den utvärderas utifrån begreppen användarbarhet och användarupplevelse, vad visuellt lärande innebär och exempel på hur det har implementerats i tekniska lösningar. Resultaten presenteras ur både kvantitativa och kvalitativa ansatser. rapporten avslutas med slutsatser, diskussion samt pedagogiska och tekniska implikationer.



## 2. BAKGRUND

I det här kapitlet beskrivs visualiseringsteknik och viktiga motiv till studiens genomförande.

### 2.1 Om visualiseringsteknik

Visualisering är tekniker och metoder som med data från simuleringar, mätningar och databaser genererar en klar mental bild av väsentlig data och möjliggör en snabb och precis tolkning. Visualisering kan därför skapa förståelse och göra det dolda uppenbart, åskådliggöra det tänkta och det uppmätta, förenkla och förtydliga. Visualisering blir därmed ett viktigt verktyg i kunskapsuppbyggnad, utbildning, lärande och beslutsfattande. Visualisering i olika former blir allt viktigare i en rad tillämpningar såsom medicinsk visualisering, informationsvisualisering, vetenskaplig visualisering, produktvisualisering (design), kunskapsvisualisering och bebyggelseplanering. Visualisering är således ett effektivt verktyg att kommunicera det mest väsentliga av någon information, där informationen kan vara data, metaforer, relationer, komplext innehåll, koncept och mycket mera. Processerna att förmedla och ta emot kunskap på genom visualiseringar benämns idag visuell pedagogik.

För att förverkliga visualiseringar har behovet av teknologi och tekniker identifierats som viktiga. Framtagandet av god visualisering innebär också en kreativ process där den viktigaste informationen måste identifieras med erfarenhet eller med automatiska metoder, och kunskap om vår uppfattning av bilder och rörelser måste byggas in i visualiseringen för att den informationen ska göras lättillgänglig. Denna förstudie har för avsikt att undersöka hur de tekniska valen, och till viss mån designval, påverkar den upplevda kvaliteten hos användaren. Resultaten om hur tekniska val påverkar kommer att återkopplas till berörd personal på Mittuniversitetet.

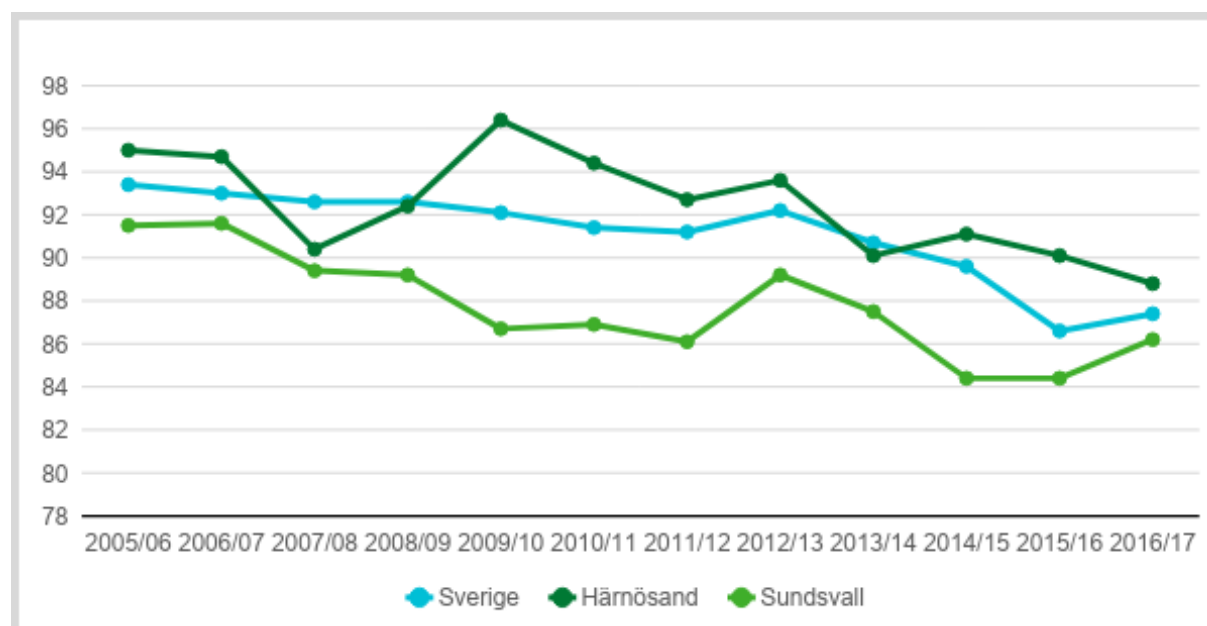
Inom skolans område kan 3D-läromedel ge både lärare och elever stora möjligheter att skapa individanpassad och effektiv undervisning. Dock förekommer stark kritik om att användningen av professionellt producerade digitala läromedel i undervisningen är tämligen låg (Ekelund, 2017) trots att digitalisering i skolan har pågått cirka 20 år och att den största delen av investeringarna har gått till hårdvaror och inte digitala läromedel. Konkreta utvecklingsarbeten och erfarenhetsutbyte tycks saknas. OECD och Skolverket har i sina analyser konstaterat att digitala verktyg i huvudsak används till att söka information på nätet, samt att skriva texter och göra presentationer (Hylén, 2013). Många forskare och lärare efterfrågar kunskaper om hur visualisering påverkar lärandet och på vilket sätt ungdomarna själva kan utnyttja verktygen för ökad förståelse.

### 2.2 Om skolans behov av förbättrade matematikkunskaper

Den här pilotstudien sätter också fokus på flera angelägna delar i dagens skolutveckling både regionalt och nationellt samt två viktiga områden när det gäller kopplingen teknik, pedagogik och utvärderingsmetoder inom "den tekniska delen". Det förra handlar om sjunkande matematikresultat i skolan, praktikinära skolforskning, stärkt digital kompetens, visualisering och lärande samt forskning om visualisering och utvärdering. Den senare svarar på följande frågor: Vilka tekniska lösningar har tidigare använts (litteraturstudie), och med vilket syfte har de skapats? Hur har visualiseringar utvärderats enligt läroböcker (användbarhet och användarupplevelse), samt i forskningslitteratur?

1). *Elevers prestationer i matematik har under de senaste åren sjunkit* avsevärt i internationella undersökningar (förutom senaste TIMMS 2015 och även PISA 2015). Forskning kring matematikdidaktik har rönt allt större intresse i takt med svenska elevers försämrade resultat i matematik. Matematikdidaktik handlar om matematikundervisning och lärande i klassrummet. Det innebär att man studerar vad matematik är, hur människor lär sig matematik och varför och vad lärare kan göra för att elever ska lära sig matematik. Några forskare förespråkar följande; a) Utmana elevernas förståelse av begrepp genom att göra bedömningar om lösningen är korrekt eller inte. Försök att komma ifrån "gör så här"-modellen och istället fokusera på begreppsförståelse (Bentley & Bently, 2011), b) När elever får komma på lösningarna i matematik själva lär de sig mer än med traditionella övningar samt att få möta kreativa uppgifter under träning av matematik ger en tydlig effekt för alla elever, både duktiga och svaga (Norqvist, 2016). Att överhuvudtaget öka intresset för och elevers resultat i detta skolämne är av högsta nationella prioritet.

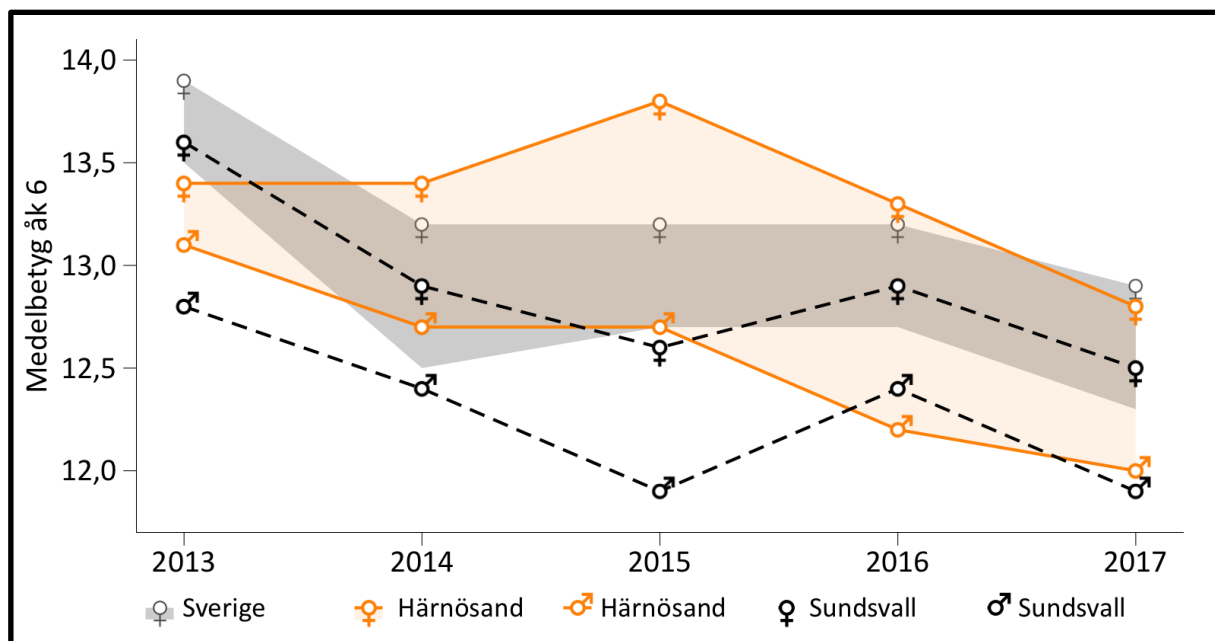
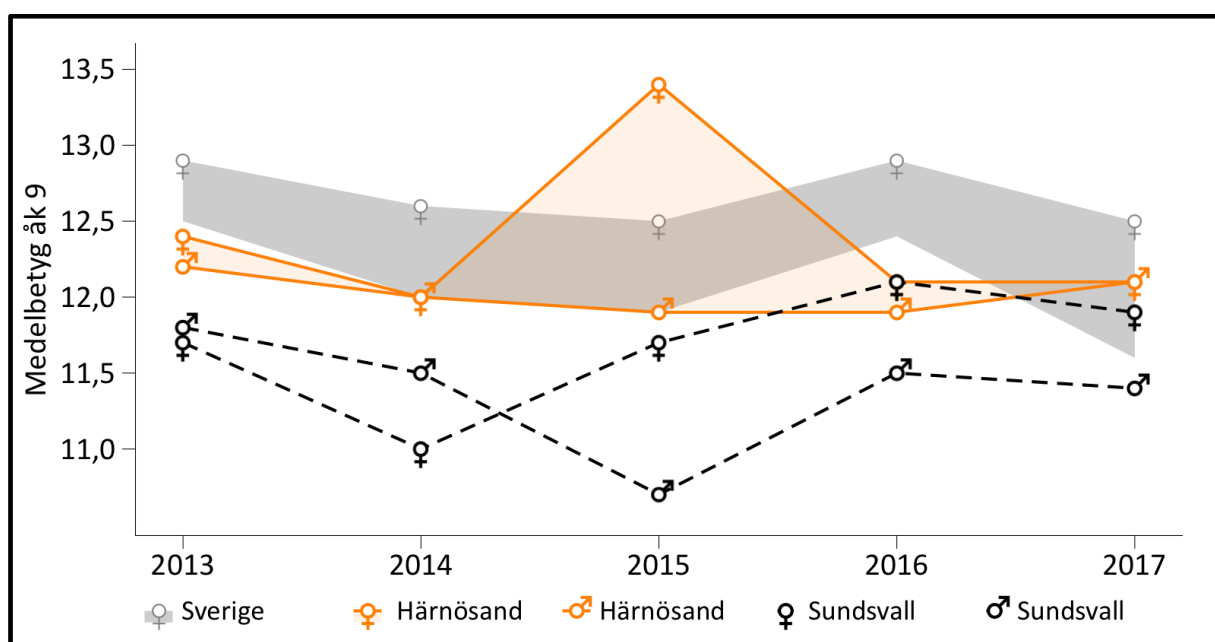
Elevernas prestationer i Sundsvalls kommun har sedan 2004 legat under och långt under det nationella genomsnittet (se Figur 1) (Skolverket, 2017a). Betyg i årskurs sex infördes först läsåret 2012-2013 och ger därför en kortare jämförelseperiod än andel elever som uppnått kunskapskraven. Ett par trender som kan urskiljas (se Figur 2) är dock att flickors betyg i Sundsvall sjunker över tid. En intressant trend just i Sundsvall är att pojkarnas medelbetyg sjunkit över tid, men en viss återhämtning har skett det senaste året. Dock föreligger en könsskillnad gällande medelbetyg både i årskurs 6 och 9. Dessa förhållanden i sig är en viktig indikation på att föreliggande studie i matematikdidaktik borde vara av högsta prioritet för kommunen och regionen.



**Figur 1:** Andel (%) elever som uppnått kunskapskraven i matematik år 2006–2017 i regionens kommuner, samt för hela riket.

**Tabell 1:** Betygsmedelvärden i matematik år 2016 i skolår 6 och 9 för flickor och pojkar.

	Åk 6, 2016			Åk 9, 2016		
	totalt	flickor	pojkar	totalt	flickor	pojkar
Sverige	12,9	13,2	12,7	12,7	12,9	12,4
Härnösand	12,8	13,3	12,2	12,0	12,1	11,9
Sundsvall	12,7	12,9	12,4	11,8	12,1	11,5
Västernorrland	12,5	12,9	12,2	11,9	12,2	11,6

**Figur 2:** Betygsmedelvärden i matematik år 2013–2017 för flickor och pojkar i årskurs 6.**Figur 3:** Betygsmedelvärden i matematik år 2013–2017 för flickor och pojkar i årskurs 9.

\* Bokstavsbedygens numeriska motsvarigheter är: E=10, D=12.5, C=15, B=17.5 och A=20

## 2) *Praktiknära forskning med didaktiskt fokus och specifikt kvantitativa ansatser*

Såväl Utbildningsdepartementet (Utbildningsdepartementet 2017a, b) som Vetenskapsrådet (VR) och Skolforskningsinstitutet (Skolforskningsinstitutet 2017) efterfrågar praktiknära forskning (eller tillämpad skolbaserad forskning), forskning som handlar om den nya teknologins inflytande på barn och ungas lärande, kvantitativt inriktad forskning, studier inom ämnesdidaktik och studier avseende likvärdighet. Vi menar att denna studie alla uppfyller dessa kriterier på ett konkret och komprimerat sätt. Vikten av att bedriva praktiknära forskning går på en nationell nivå att se i relation till Skolforskningsinstitutets uppdrag att finansiera forskningsprojekt och sammanställa forskningsresultat som har hög relevans för och även är tillgängligt för de verkamma inom skolväsendet. Resultatet av sådana projekt ska bidra till att lärare får goda förutsättningar att planera, genomföra och utvärdera undervisningen med stöd av vetenskapligt underbyggda metoder och arbetssätt. Detta i syfte att bidra till barns och elevers utveckling och lärande samt till förbättrade kunskapsresultat för elever.

3) *Stärkt digital kompetens*. Den tekniska utvecklingen och digitaliseringen innebär förändringar i arbetslivet och samhället i övrigt. Det leder i sin tur till allt större krav och förväntningar på skolväsendets förmåga att ge alla elever, unga som vuxna, en god digital kompetens. Genom förtydliganden och förstärkningar i skolans styrdokument får huvudmän, rektorer, lärare och annan personal bättre förutsättningar att bidra till elevernas utveckling när det gäller digital kompetens. I regeringen digitaliseringsstrategi betonas att lärare ska ha kompetens att avgöra om och hur digitala lärverktyg ska användas för att stärka elevers lärande. Samtidigt stärks förutsättningarna för en nationellt likvärdig utbildning, undervisningens kvalitet förbättras och elevers aktiva deltagande i ett alltmer digitaliserat arbets- och samhällsliv stöds. Regeringen beslutat om förtydliganden och förstärkningar i bland annat läroplaner, kursplaner och ämnesplaner för grundskolan och gymnasieskolan (Utbildningsdepartementet, 2017c). Syftet är att tydliggöra skolans uppdrag att stärka elevernas digitala kompetens.

Didaktik i den klassiska bemärkelsen (lärares undervisning, elevers lärande och ämnets innehåll) är ett forskningsområde inom såväl pedagogik, ämnesdidaktisk forskning och pedagogiskt arbete. 3D-visualisering av läromedel omfattar tydligt didaktikens forskningsfält. Vad denna studie kan bidra med är att tillämpa teorier inom i praktiknära verksamhet i skolan samt utvärdering av användarupplevelsen och dess koppling till använd teknik.

4) *Visualiseringsteknik och lärande*. Digital visualiseringen har en stor potential som möjliggörare för lärande och undervisning. För att nå denna potential måste möjligheter och begränsningar för teknik och innehållet i visualiseringen förstås. Det gäller att förstå samspel mellan information, teknik och mottagare. Användaren kan ha olika kunskapsnivåer, både gällande själva ämnet, men även hur visualiseringar ska tolkas och hur tekniken ska användas. Därtill behövs kunskap om läroprocesser och vad som leder till bestående kunskap samt varför pedagogiken måste bli integrerad och genomsyra denna process. Erfarenheter av visualiseringar och interaktion inom andra områden, exempelvis spelbranschen, kan bidra med insikter om hur tekniken kan användas. Dynamik och interaktivitet är fördelar med teknik som kan nyttjas för läroprocessen. Dessutom kan en anpassning ske till individernas olika lärostilar. Det finns därmed ett behov att dra lärdom av senaste rön inom om visualiseringsteknik och lärande, och hur dessa har omsatts in tekniska lärandesystem.

5) *Aktuell forskning om visualisering och utvärdering*. Kunskap kring visualisering är viktig för att nyttja den för pedagogisk verksamhet. Inblick i visualiseringsforskning är därför utgångspunkt för hur visualisering kan användas i en lärsituation. Inriktningar som vetenskaplig visua-

lisering, informationsvisualisering och visuell analys har sina särarter och kan alla vara pedagogiska instrument för undervisning. Kunskap om vad som utgör en ”bra” visualisering är också viktig för att nå målen med att använda denna teknik i skolmiljön. Utvärderingsmetoder baserade på användarbarhet och användarupplevelse är därför viktiga i forskning om digital visualisering i skolan.

I denna studie finns, som tidigare nämnts, ett stort nationellt, regionalt och lokalt intresse om kunskaper gällande elevers kunskapsutveckling i matematik samt koppling till digitala läromedel. Frågeställningen berör såväl elevens resultat och prestationer i skolan och inför resterande liv och vuxenlivet krav, skolans uppgift att ge möjligheter till alla elevers lärande samt att säkerställa välutbildade medarbetare till samhälle och näringsliv. Med tanke på den statistik som redovisats tidigare (och som inte avviker från andra kommuner i regionen) är detta forskningsprojekt relevant för såväl Sundsvalls och Härnösands kommuner, som för övriga skolhuvudmän i kommunen. Erfarenheterna och resultaten kan tillvaratas för kvalitetsutveckling och kunskapsöverföring.

Det finns ett generellt stort intresse för visuell presentation och insiktsskapande visualiseringar. Utökad kunskap och kompetens inom området kan regionens företag dra nytta av både i nuvarande och framtida produkter. En tidigare förstudie kring visualisering i Mellannorrland har visat på att behoven av visualisering hos företag och allmännyttan är framförallt inom två områden: informationsvisualisering (inkluderande datavisualisering m.m.) och 3D konstruktionsvisualisering (byggnader, produkter etc.). Speciellt har Sundsvalls kommun påbörjat ett arbete med ett ”Framtidslabb” vid besökscentret i Sundsvalls centrum där interaktion och visualisering är centrala koncept. I en tidigare förstudie ”Gör frisk luft synlig” inom samarbetet mellan Mittuniversitetet och Sundsvalls kommun togs en interaktiv visualiseringslösning fram för att kommunicera vad som fortsatt kan göras för att ytterligare förbättra luftkvaliteten i Sundsvalls centrum.

## 3. SYFTE, MÅL OCH METOD

### 3.1 Syfte och mål

Det övergripande syftet för förstudien har varit tvåfaldigt: a) att testa alternativa lärmeter via ett digitalt läromedel i matematik i en kvasiexperimentell studie, b) att tillämpa metoder av användarupplevelser (user experience) för interaktiva visualiseringar, och därigenom öka kunskapen kring upplevd kvalitet beror av använd teknik.

Genom projektet skall följande mål uppnås:

1. Få svar på frågan om och hur lärande via 3D-visualisering<sup>1</sup> i matematikmomentet geometri skiljer sig från traditionellt lärande i matematik med avseende på resultat och attityder. En annan fråga är att om det föreligger skillnader i pojkars och flickors resultat i jämförelse mellan de två lärmeterorna.
2. Få svar hur teknik för användargränssnitt och visualisering med datorgrafik påverkar användarupplevelsen av verktyget.

Genom uppnåendet av mål 1 och 2 skall projektet fungera som ett underlag för en vidareutvecklad studie i om och hur 3D-visualisering kan användas för att stödja lärprocesser i matematik i grundskolan. Dessutom ska förståelse erhållas för utvärderingsmetoder för användarupplevelser och hur de jämför med standardiserade utvärderingsmetoder för videokvalitet, samt förståelse för hur användarupplevelser kopplar till använda tekniker.

Ett långsiktigt mål är att bygga upp kunskap kring olika tillämpningar av visualiseringar, i allmänhet och för pedagogik i synnerhet. Ett regionalt samarbete kring interaktiv visualisering ses i förlängningen. Målgrupp i studien har varit elever i fyra klasser (årskurserna 6 och 8) samt deras matematiklärare

### 3.2 Allmänt kring vetenskaplig metod

I delstudie 1 har vi utvärderat två olika metoder att lära sig geometri; traditionell undervisning jämfört med 3D-visualisering i matematik i grundskolans klass 6 och 8. Studien bygger på en kvasi-experimentell design där elever i en kontroll- respektive experimentgrupp har samma kunskapsområde men lär sig det på olika sätt. Eleverna testades i sina kunskaper både före och efter arbetet (och eventuellt efter tre månader) i geometri. Ett antal statistiska analyser av det insamlade datamaterialet genomfördes. Grundläggande deskriptiv statistik för både prov och attitydenkät beräknades. Provfrågorna analyserades med hjälp av klassisk testteori för att skatta provets svårighetsgrad och diskrimineringsförmåga<sup>2</sup> (resultatet av detta har presenterats, men är inte inkluderat i rapporten). Provresultatet analyserades med avseende på skillnader mellan olika undergrupper genom signifikansprövning med t-test. Attitydenkäten reliabilitetstestades med hjälp av Cronbach's alpha och eventuella skillnader mellan undergrupper signifikansprövades med hjälp av t-test. De undergrupper som jämfördes var kontroll- och experimentgrupper, årskurser, pojkar och flickor, samt kombinationer av dessa undergrupper.

---

<sup>1</sup> 3D-visualisering avser i denna studie nyttjande av monokulära metoder att framhäva avstånd, inte stereoskopisk presentation.

<sup>2</sup> Provets förmåga att särskilja högpresterande och lågpresterande elever.

Vidare genomfördes intervjuer med lärare i både kontroll- och experimentgruppen. Intervjuerna byggde på teman som handlade om undervisning, lärande och appens funktion i relation till skolans behov. Dessutom samlade en lärare i årskurs sex in reflektioner från eleverna och sig själv i dagboksliknande form under hela undervisningstiden, tre veckor.

Delstudie 2 har genomförts som litteraturstudie och kommunikation med erfarna forskare inom områdena informationsvisualisering, visualisering för lärande, samt utvärdering av visualisering. Litteratur har bestått både av standardlitteratur och av forskningsartiklar i forskningsfronten. Fokus har varit på hur visualiseringsverktyget är utformat gällande själva visualiseringen och interaktionen, samt hur dessa kopplar till olika lärstilar. Utfallet har analyserats genom att identifiera öppna frågor gällande tekniska lösningar. Analysen hade till del fokus på utvärderingsmetoder av användbarhet och användarupplevelse för att säkerställa pålitliga slutsatser av framtida forskning.

Slutligen har resultaten i de båda delstudierna problematiserats, diskuterats och integrerats för att få svar på forskningsfrågorna. De båda studierna är kompletterande så till vida att studie 1 fokuserar på resultatet av användandet av ett interaktivt visualiseringsverktyg i en skolmiljö, medan studie 2 fokuserar på till vilken grad de tekniska implementeringarna och till viss mån designen påverkar användbarheten, den upplevda kvaliteten hos användare i själva nyttjandet, samt hur det kopplar till lärstilar.

### 3.3 Forskningsdesign för forskningsfråga 1

Denna delstudie byggde på mixed-method-design, vilket möjliggör både en generalisering och en djupare analys och bearbetning av de vetenskapliga frågorna. Denna ansats betyder att vi tillämpar flera olika datainsamlingsmetoder för att erhålla en djupare förståelse av det studerade fenomenet. Den statistiska empirin möjliggjorde jämförelser mellan experiment- och kontrollgrupper, mellan skolor och mellan kön samt årskurser. Elevers och lärares reflektioner fångade vi upp genom intervjumetodik. Därmed kunde vi på ett brett sätt utvärdera de olika metoderna i geometri, och framför allt fånga värdet av visualiseringsverktyget ”3D-klassrummet” via digital teknik. De deltagande skolorna fick gratis tillgång till läromedlet under studiens gång. Dessutom fick deltagande lärare att få en grundutbildning i verktyget.

För att kunna observera effekterna av en undervisningsmodell eller ett hjälpmedel krävs en design med undersökningsgrupp och kontrollgrupp för att på så sätt skilja ut den komponent som den studerade undervisningsinsatsen bidrar med. I idealfallet skall också gruppdeltagarna dels väljas ut slumpmässigt från en definierad population och dessutom slumpmässigt placeras i de olika grupperna. I denna undersökning var det inte praktiskt möjligt med vare sig slumpmässigt urval eller slumpfördelning, utan projektet var hänvisat till lärare som deltog på frivillig basis och de befintliga klasserna bibehölls som undersökningsgrupper. Designen får därmed betecknas som kvasiexperimentell, det Creswell (2014) kallar en *Nonequivalent Pretest and Posttest Control-Group Design*. I vårt fall deltog två klasser i årskurs 6 i Sundsvalls kommun och två klasser i årskurs 8 i Härnösands kommun. Med hjälp av pretest och posttest-konstruktionen kan man i viss mån kontrollera för skillnader i förkunskaper mellan grupperna genom att mäta resultatförändringen mellan provtillfällena snarare än de faktiska provresultaten.

Utöver kunskapsprov genomfördes även en attitydundersökning bland alla elever både före och efter interventionen, samt intervjuer med lärarna i experimentgrupperna efter att undervisningsmomentet avslutats.



Instruktionen till lärarna gällande undervisningen var att de i respektive årskurs skulle undervisa om samma innehållsmässiga avsnitt i geometri i respektive årskurs (fördjupningsnivån skiljde sig åt mellan årskurserna) och använda sig av geometrimodulen i Sensavis. I övrigt gavs lärarna fria händer att utforma undervisningen. Inför interventionen deltog lärarna i en utbildning med en representant från Sensavis som demonstrerade programmets innehåll och funktioner samt visade exempel på didaktiska tillämpningar.

I kontrollgruppen i årskurs 6 användes en traditionell tryckt lärobok. I experimentgruppen användes Sensavis kompletterat med material som läraren själv producerade. Inget traditionellt läromedel användes alltså i experimentgruppen. I årskurs 8 använde både kontroll- och experimentgrupperna ett förlagsproducerat digitalt läromedel i matematik, men experimentgruppen använde Sensavis som ett centralt inslag i undervisningen.

### 3.4 Provkonstruktion och provgenomförande

I förstudien fanns varken tid eller resurser för att skapa och prova ut nya provfrågor. De deltagande lärarna ombads därför att konstruera ett prov med lämpliga frågor för undervisningsområdet. Ett provförslag presenterades av läraren i årskurs 6, vilket årskurs 8-läraren även bedömde vara adekvat för sin årskurs.

Lärarna instruerades att distribuera pre-testet så nära inpå starten av undervisningsmomentet som möjligt, samt post-testet direkt efter momentets genomförande. Det gavs dock inga detaljerade anvisningar om hur provtillfällena skulle genomföras eller vilka instruktioner som skulle ges till eleverna. Lärarna i årskurs 8 gav samtliga elever extra instruktioner kring fråga 6 a och b. Eleven skall i denna uppgift själv mäta i figurerna och sedan beräkna arean. På grund av omskalning i samband med kopiering av provhäftena blev mätvärdena inte så enkla att räkna med som tänkt, och eleverna fick då välja att antingen räkna med exakta mått eller avrundade mått, huvudsaken var att resultatet av uträkningarna stämde överens med de valda värdena. Vår bedömning är att dessa instruktioner inte påverkat resultatet på något för undersökningen relevant sätt. Pre-test och post-test genomfördes vid olika tidpunkter på dagen.

### 3.5 Statistisk analys

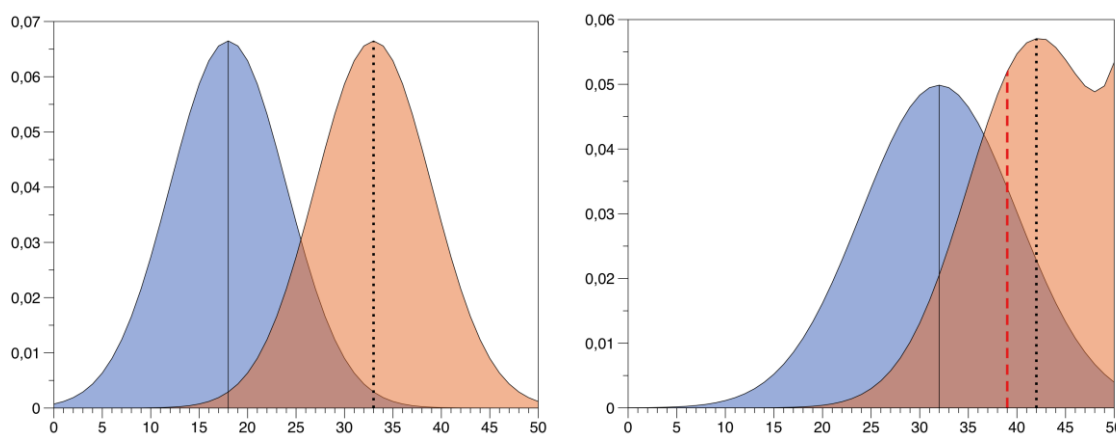
Datamaterialet rensades från uppenbart missvisande resultat, främst elever som på grund av medicinerings, trötthet eller hälsoskäl presterat uppenbart och markant sämre än förväntat. För de beräkningar där det varit möjligt har det interna bortfallet, alltså där svar på något av proven saknas, hanterats med metoden *pairwise delete*. Det innebär att endast individer som saknar data för variabler ingående i en och samma analys utesluts, alternativet är listwise deletion där individer med saknade data utesluts helt och hållet oavsett analys. Den senare metoden skulle leda till att en stor mängd relevanta data skulle uteslutas, vilket i sin tur skulle försämra kvaliteten och precisionen på analyserna. I attitydenkäten har ett fåtal saknade värden (<5) imputerats med Maximum Likelihood Estimates, detta för att kunna bibehålla existerande data för individerna i analysen. Det låga antalet imputerade värden medför en mindre bias än uteslutning av hela individens resultat skulle göra. All deskriptiv statistik, reliabilitetsprovning av attitydskalor, samt signifikansprovning av medelvärdeskillnader har beräknats med SPSS (IBM Corp., 2017).

## 3.6 Metoddiskussion

### 3.6.1 Urval

I denna förstudie gjordes inget obundet slumpmässigt urval, vare sig av lärare, elever eller fördelning mellan kontroll- och experimentgrupp. Två frivilliga lärare deltog med sina klasser som experimentgrupper, och de lärarna såg i sin tur till att få med var sin kollega och dennes klass som kontrollgrupper. Denna urvalsmodell var den enda möjliga utifrån förstudiens förutsättningar, men det finns metodologiska problem att vara medveten om. Det kan inte uteslutas att de lärare som deltog med experimentgrupperna är mer positivt inställda till teknikstöd i undervisningen än genomsnittsläraren, vilket kan ha påverkan på dessa gruppers resultat. Helst skall alltså deltagande lärare slumpmässigt tilldelas experiment- eller kontrollmodellen för att minska inverkan av lärarens attityder och förmågor. Vidare skulle en slumpmässig fördelning av elever mellan kontroll- och experimentgrupp eliminera systematiska skillnader i förkunskaper och förmågor mellan grupperna. I praktiken är det dock knappast möjligt att bryta upp befintliga klasser för ett enskilt undervisningsmoment. Ett större urval av klasser skulle dock minska den inverkan som mellangrupsvariationen ger. Ett större urval skulle dessutom göra jämförelser mellan undergrupper lättare. Ju mindre grupp som undersöks, desto svårare blir det att konstatera signifikanta skillnader på grund av den ökade osäkerheten i medelvärdena (ju färre individer det är i en grupp, desto större är risken att de inte är representativa för gruppen – ett enskilt extremvärde kan förskjuta gruppens medelvärde en hel del).

För validiteten i mätningen av geometrikunskaper hade det varit önskvärt att alla deltagande klasser varit från samma årskurs. Skillnaden i förkunskaper och kompetensnivåer medförde nu mätproblem då det prov som användes blev för enkelt för att kunna mäta förändringen i den högre årskursen (se figur 4).



**Figur 4.** Fiktiv normalfördelning av provresultat för prov med två olika svårighetsgrader. Blå färg representerar pretest, orange färg posttest. Till vänster normalfördelning vid väl anpassad svårighetsgrad. Till höger fördelning då posttestet (orange) är för lätt.

Om de högpresterande eleverna inte får utrymme att visa sin kunskap trycks normalfördelningskurvan samman och medelvärdet förskjuts åt vänster (röd streckad linje i figuren till höger) i förhållande till det förväntade medelvärdet för populationen (svart prickad linje i figuren till höger) om. Den minskade medelvärdesskillnaden försämrar möjligheten att upptäcka signifikanta skillnader.

### 3.6.2 Provkonstruktion och provgenomförande

En optimal provkonstruktion skulle innebära framtagande av provfrågor på en spännvidd av svårighetsgrader, och med ett kunskapsinnehåll väl anpassat till undervisningsinsatserna. Med sådana frågor kan prov konstrueras med olika svårighetsgrad, men ändå mäta eleverna på samma skala genom tillämpning av Item Response Theory (IRT) såsom Rasch-modellen (OECD, 2009). Detta kräver dock validering av frågorna på ett antal elever (>100) innan de kan användas för mätning i mindre grupper. För att på bästa sätt mäta effekten av en intervention bör provfrågorna dessutom avspegla kunskapsinnehållet i interventionen. I detta fall var visualisering av relationen mellan radie, omkrets och area i en cirkel ett sådant innehåll som tyvärr inte bedömdes i provet.

I internationella studier är det vanligt att ge provledarna ett strikt manus att följa för genomförande av provtillfällen och instruktioner att ge till provdeltagarna. Tidpunkt för provstart och provets genomförande förutbestäms för att ge så lika förutsättningar som möjligt i alla undersökningsgrupper. I denna förstudie gavs inga riktlinjer för instruktioner vid provtillfället eller tidpunkter för genomförande. Lärarna i åtminstone två av klasserna observerade tydliga skillnader i flera elevers prestationsförmåga relaterat till tidpunkten på dagen.

### 3.6.3 Mixed-methods

Det grundläggande motivet bakom att använda en flermetodsforskning, mixed-methods alltså, är att vi ofta kan lära oss mer om vårt forskningsområde om vi kan kombinera styrkorna från kvantitativa metoder med styrkorna från kvalitativa metoder och samtidigt kompensera för svagheter med respektive metod (Punch & Oancea, 2014). I denna studie har en *embedded mixed methods*-design som är vanlig i skolforskning använts (Creswell, 2014). Det innebär i detta fall att kvalitativ datainsamling med både konvergenta och sekventiella inslag har fogats till den övergripande kvasiexperimentella designen, alltså dels en parallell komponent i form av dagboksanteckningar och observationer från lärare, och dels en uppföljande del bestående av intervjuer med lärarna. Syftet med en sådan design är att få både bredd och djup, att bättre kunna förstå och förklara resultaten av den statistiska analysen. En problematik med ett mindre urval (<500-1000) i en statistisk undersökning är att det krävs mycket tydliga effekter för att de skall leda till signifikanta resultat. Inverkan av andra bakomliggande faktorer än de studerade riskerar också störa mätningen i större utsträckning vid små urval. En kvalitativ analys kan där bidra till att identifiera icke studerade faktorer som påverkar resultatet, och till att fånga upp uppfattningar och upplevelser som den kvantitativa mätningen inte förmår att nå.

## 3.7 Forskningsdesign för forskningsfråga 2

Forskningsfråga 2 har genomförts som en litteraturstudie med efterföljande analys om var kunskapsluckor finns. Inhämtandet av kunskap har skett genom studier i facklitteratur och forskningsartiklar, men har även skett genom kommunikation med erfarna forskare inom området. Fokus för förstudiens aktiviteter har legat på visualisering i ett vidare koncept, visualiseringens lämplighet för lärande och hur den hittills har tillämpats i pedagogiska verktyg, samt hur visualiseringar utvärderas för att påvisa användbarhet och kvalitet i användarens upplevelse. Resultaten av dessa studier har sammanfattats i denna rapport, se avsnitt 8.

Ett andra steg för att svara på forskningsfråga 2 har varit en analys och diskussion av brister i tidigare forskning. Speciellt har forskningsansatser, metodval, och speciellt slutsatser av utvärderingsmetoder ifrågasatts. Därutöver har diskussioner skett gällande möjligheter med visualiseringstekniken som ännu inte kommit att utvärderas. Utfallet av denna analys och diskussion har sammanfattats i ett antal idéer om framtida forskning, se avsnitt 9 i denna rapport.

## 4. TIDIGARE FORSKNING I SKOLMILJÖ

Nedanstående översikt bygger på ett tjugotal forskningsartiklar, fyra forskningsöversikter samt två rapporter med sökorden inom fältet visualisering, 3D – läromedel, matematikdidaktik, elevers skolresultat och attityder, gender och lärande. Därtill har forskning och teorier om elevers lärstrategier samt spatial förmåga lagts till översikten. I ett bredare perspektiv har forskning om modern teknologi i matematikundervisning har varit riklig de tre senaste dekaderna, enligt Cheung & Slavin (2011) och de hänvisar till ett tjugotal forskningsöversikter. I deras metaanalys understryks att resultaten inte är övertygande om teknologins positiva effekter på elevernas lärande. De hävdar istället att teknologin bör nyttjas som supplement i den ordinarie undervisningen samt att bättre programvaror inom matematik behövs. Deras konklusion är följande:

Educational technology is making a modest difference in learning of mathematics. It is a help, but not a breakthrough. However, the evidence to date does not support complacency. New and better tools are needed to harness the power of technology to enhance mathematics achievement for all children (s. 20).

### 4.1 Om bilder, modaliteter och matematikdidaktik

Forskning om mentala bilder och modaliteter påbörjades redan på 1900-talet och har sitt ursprung inom behaviorismen. Forskning om matematik i kombination med visualisering påbörjades under 1970-talet med både kvalitativa och kvantitativa ansatser, men mestadels kvalitativa ansatser för att få insikter i människors tänkande. Både svårigheter och styrkor associerade med denna modalitet (bilder), och såväl kognitiva som affektiva aspekter undersöktes. Under 1990-talet blev visualiseringsforskning viktig inom lärarutbildningar i matematik, i synnerhet ur ett läroplansperspektiv. Forskning om effekterna av visualisering inom matematikämnet har med ny teknologi ökat fokus på området och exempelvis könsskillnader och matematikens användning av bilder (Presmeg, 2006). Dock efterfrågas de didaktiska aspekterna av och kunskaper om forskningsfältet:

An ongoing and important theme is the hitherto neglected area of how visualization interacts with the didactics of mathematics. Effective pedagogy that can enhance the use and power of visualization in mathematics education [...]. How do visual aspects of computer technology change the dynamics of the learning of mathematics? (Presmeg, s.74, 2016)

Under 2000-talet breddades forskningen om visualisering att inkludera semiotiska aspekter och teorier. Forskning om användning av rörelser i meningsfullt lärande av matematik började också spela en betydande roll. Om hela fältet av visualisering i matematikundervisningen ska erkännas och uppmärksammas behövs övergripande förenande teorier, enligt Presmeg (2006).

### 4.2 Bilders överlägsenhet (jämfört med ordens)?

En allmän uppfattning är att bilder är överlägsna ord när det gäller minnesbehållning av information. Detta beror på bildens starkare associativa perceptuella information jämfört med ord. Bilder som belyser detaljer, ökar på ett effektivt sätt minnet av dessa detaljer och den relationella informationen (Khalil et al., 2005). De mest framträdande fördelarna med statistiska presentationer (bilder) är att de statistiska bilderna minskar kognitiv belastning (CL) eftersom eleverna

bara ser en viktig sekvens i taget och förmodas förstå (implicit) förändringar och sammanhang från en bild till nästa själva (Mayer, et al. 2005).

Att förstå bilder i matematik får dock inte uppfattas som trivialt då visuella representationer kan också relateras till olika typer av bilder, enligt Dyrvold (2016). Hon har granskat fyra semiotiska representationer i matematik med avseende på form; naturligt språk, symboler, bilder och schema och olika kombinationer dem emellan. Resultaten visar att antalet olika semiotiska resurser i en matematisk uppgift inte är relaterade till svårigheter, men svårigheten är relaterad till de speciella kombinationerna av semiotiska resurser där bilder är en av resurserna. Resultaten visar också att svårigheten i samband med dessa semiotiska egenskaper inte är relaterad till läsförståelse. Risker att förlita sig på bildens överlägsenhet, pekar även Korakakis et al. (2009) på och manar till en mera nyanserad hållning för att kunna utvärdera bilders effektivitet i att stödja undervisning och lärande inom naturvetenskapliga fältet med följande ord:

...we must take under consideration that there are times when pictures can aid learning, times when pictures do not aid learning but do no harm either, and times when pictures do not aid learning and are distracting (Korakakis et al. 2009, s.399).

### 4.3 Visualisering, 3D och lärande; fördelar, nackdelar och resultat

Empiriska studier som fokuserar på lärandeffekter av 3D-visualiseringar i skolkontexter är hittills sällsynta och inkonsekventa (Korakakis et al. 2012). Vid en första anblick i forskningslitteraturen tycks visualiseringsläromedel med 3D vara överlägset traditionell undervisning i matematik och naturvetenskapliga ämnen (Bamford, 2011). Denna forskare som refererar till studier i sju länder och 15 skolor i naturvetenskapliga ämnen hävdar att resultaten är överväldigande gällande förbättrad förståelse för funktionalitet, resultat, bättre motivation och engagemang, ökad uppmärksamhet, minnesförmåga och positiva uppfattningar från lärare. Vidare pekar Bamford i sina studier på att elever kommer ihåg detaljer och sekvenser, att de använder mer kroppsspråk när de beskriver matematiska samband, med bättre ordningsföljd och fördjupade färdigheter när de beskriver och därutöver tycks kommunikationen och beteendet i klassrummet förbättras. 3D-metoder uppmuntrar inte bara studenters intresse enligt (Weng, 2011), de hjälper dem även att bättre förstå abstrakta matematiska symboler

Ytterligare en fördel med 3D-visualisering är att de är fördelaktiga för barn med ADHD och andra funktionsnedsättningar (Bamford, 2011). Liknande resultat framgår även i de Jagers studie (2016), där hon beskriver att 3D-animationer förbättrar lärandet för barn med olika ”learning barriers” och barn med intellektuell nedsatt förmåga (de Jager, 2017). Ytterligare en fördel med 3D-visualiseringar är att de kan passa många olika lärstilar och förbättra förmågan till reflektion (Bronack, et al. 2008). 3D-animationer antas också vara ett möjligt sätt att förändra och förbättra elevernas ofullständiga mentala modeller (Wu & Shah, 2004).

En risk med 3D-läromedel som forskare pekar på (Gerjets & Scheiter, 2003; Paas, Renkl & Schweller, 2003) är att de kan leda till kognitiva överbelastningsproblem i avancerade lärmiljöer, eftersom sådana miljöer antas generera en tung kognitiv belastning. Å andra sidan har resultaten från Ferk, Vrtacnik, Blejec, & Grils (2003) forskning visat att vissa representationer av 3D-struktur är lättare att förstå och kan bättre användas av studenter för att lösa uppgifter av olika komplexitet. För de flesta elever är de konkreta representationerna mer användbara än abstrakta representationer.

Animering kan uppvisa en mycket dramatisk visuell effekt, men dess inverkan på lärande verkar vara mycket mer subtil enligt Narayanan och Hegarty (2000). Dynamiska visualiseringar och animationer uppfattas ofta som synonyma, även om animationer är en delmängd av dynamiska visualiseringar. Den växande användningen av animationer verkar vara baserad på lite mer än intuition, och forskningsbevis börjar utmana det utbredda antagandet att animationerna är i grunden överlägsen statisk grafik, enligt dessa forskare. Dessutom är det animationer inte alltid är fördelaktiga (Lowe, 2004) Möjliga anledningar till detta är att a) eleverna måste processa alltför stor information och (b) en minskning av hur eleverna bedriver värdefull bearbetning.

Ytterligare en aspekt av visualisering är forskning som har visat att spatial förmåga har en inverkan på förståelsen av 3D-visualiseringar. Elever med hög spatial förmåga har en mer positiv attityd till 3D-innehåll än elever med låg spatial förmåga. Huk (2006) observerade att elever med hög spatial förmåga använder 3D-modeller i högre utsträckning än studenter med låg spatial förmåga. Detta bekräftas även i en studie från Malaysia (Saha, Ayub, & Tarmizi, 2010). Detta mönster kan antingen vara: (a) resultatet av ett kognitivt belastningsproblem eller (b) en distraheringseffekt av de sofistikerade 3D-modellerna för studenter med låg spatial förmåga. Slutsatserna från dessa studier är att 3D- modeller resulterar i en kognitiv överbelastning för elever med låg spatial förmåga, medan elever med hög spatial förmåga drar fördelar av dem eftersom den kognitiva belastningen stannar inom gränserna för arbetsminnet.

I ett flertal av tidigare studier i paritet med föreliggande, visar på positiva effekter av 3D-baserade läromedel gällande prestationer, minnesbehållning, lärprocesser, motivation, förbättrad spatial kompetens och kognitiv belastning (Güven, & Temel, 2008; Korakakis et al., 2012; Kurtulus, & Uygans, 2010; Kushwaha, Chaurasia, & Singhal, 2014; Pilli & Aksu, 2013; Saha, et al. 2010; Yang, 2014). Däremot kan inte positivare attityder märkas i Yangs studie (2014) och inte heller att 3D i en virtuell lärmiljö jämfört med 2D simuleringar ger positiva läranderesultat (Richards, & Taylor, 2015). Ytterligare en studie som pekar på att en ensidig användning av en av de tre typerna av visualiseringar (interaktiva 3D-animationer, 3D-animationer och 3D-illustrationer) förbättrar inte effektiviteten av lärprocessen för elever (Korakakis et al. 2012).

Digitala läresurser i matematikundervisning i grund- och gymnasieskola i ett brett perspektiv har granskats av Skolforskningsinstitutet (Skolforskningsinstitutet, 2017) omfattande 75 studier från hela världen, varav två från Sverige. Resultatet som beskrivs är att

...undervisning med digitala läresurser kan ha positiva effekter [...] i synnerhet om de används i en övrig rik undervisningsmiljö. Men det går inte att dra slutsatsen att en lika effektiv undervisning inte skulle kunna utformas på andra sätt utan digitala läresurser” (s. XII).

Forskningen inom 3D och skolämnen visar sålunda olika resultat, möjligen beroende på vilken typ av 3D-läromedel som används; 3D-bilder, 3D-animationer eller 3D interaktiva animationer. Skillnad i resultaten kan även bero på olika programvaror, kvalitet på programvarorna, skillnader i studiernas design och valt skolämne, enligt Elentari (2017). Hon har granskat på Sensavis programvara i en masteruppsats i en kvasi-experimentell studie i kemi i klass 8. Resultatet var att kontrollgruppen presterade bättre än experimentgruppen och sålunda kunde inte visualiseringsmetoden i denna studie sägas vara överlägsen traditionell undervisning. Dock pekar Elentari på ett flertal problem under studiens genomförande såsom tekniska svårigheter, för kort tid med interveneringen, instruktionerna till lektionerna samt problem med att förstå animationerna. Avslutningsvis påpekar Elentari följande. ”The results of the study highlight the importance of taking into account student needs and preferences when introducing new technologies in a classroom” (s. 13).

Sammanfattningsvis kan konstateras att många av forskarna påpekar att det verkliga värdet av nya digitala verktyg i klassrummet ska och bör verifieras genom kontrollerade utvärderingar.

#### 4.4 Skillnader mellan flickor och pojkar

Skillnader mellan pojkar och flickor beskrivs i ett flertal studier ur olika perspektiv och med olika resultat. Ben-Chaim, Lappan, & Houang (1988) visade i en studie att könsskillnader gällande spatial visualisering fanns till pojkarnas fördel redan i tidiga ungdomsår. Men de påpekade att denna förmåga kan tränas och betonar också vikten av lärares medvetenhet om detta i undervisningen. Battista (1990) använde sig av fyra olika tester, som också visade att pojkar och flickor på högstadiet skilde sig i spatial visualisering och i resultat i geometri (till pojkarnas fördel), men inte i logisk resonemangsförmåga eller i användning av geometriska problemlösningstrategier. Han fann sålunda bevis på könsskillnader i elevers profiler av förmågor som är viktiga för geometriska prestationer. Från psykologisk forskning har Gardner (1985) forskat om människors intelligenser ur ett annat perspektiv är traditionell IQ-forskning och pekar på ett flertal intelligenser (nio) där den spatiala intelligensen är en av dem. Gardner hävdar bestämt att pojkar har högre/bättre spatial intelligens generellt sett än flickor.

#### 4.5 Om multimodala arbetsformer i klassrummet i Sverige

Med bakgrund i globaliseringens och digitaliseringens nya villkor för skola och arbetsliv betonas vikten av att i utbildningsplanering, lärmiljöer och undervisning ge elever möjlighet att utveckla digital och multimodal<sup>3</sup> literacitet<sup>4</sup>. Den högaktuella frågan om fördelar och nackdelar med att elever nyttjar sociala medier i undervisningen beskrivs av Andersson, Hatakka och Grönlund (2013). Med ett stort empiriskt underlag omfattande enkätsvar från ca 1800 informanter samt gruppintervjuer med elever och lärare, tolkades tematiskt och med innehållsanalys. Resultatet visade bland annat att ”svaga” elever tenderade att bli mer distraherade av användningen av sociala medier samt att lärare saknar strategier för att tackla problemen. Studien problematiserar konsekvenserna av elevers användande av sociala medier i skenet av individualisering av skolarbete med eget ansvar. Ytterligare en studie om digitala resursers påverkan på elevers lärande beskrivs i Wiklund och Andersson (2018), även den med utgångspunkt i ett stort datamaterial omfattande observationer, intervjuer och enkäter. Elevernas användning av digitala resursers kategoriseras i termer av ”inquiry, communication, construction and expression (s. 5)” (med inspiration från Dewey). En viktig slutsats är att kontemplation bör lyftas fram för förståelse och lärande vid nyttjande av ny teknologi. En annan studie inom området digitalisering och lärande handlar om datorer och dess inverkan på samarbete och samsarbetsmetoder (Andersson, Wiklund & Hatakka, 2016). Denna observationsstudie fann att den vanligaste aktiviteten i 1:1 klassrum är användning av datorn vid grupparbeten och att andra samsarbetsformer 1:2 eller 2:2 är vanligt förekommande, konceptet till trots. Resultatet ger implikationer både för forskning och för klassrumspraktik. Om läromedel som blir samverkande digitala miljöer mellan lärare och elever och hur dessa digitala miljöer används i skolpraktiken beskrivs av Grönlund, Wiklund & Böö (2017). Även denna studie bygger på ett omfattande datamaterial med en flermetodsdesign. Resultaten visade bland annat att varken lärare eller elever var särskilt medvetna om dem och att de digitala lärresursernas metodik inte användes enligt dess intentioner.

<sup>3</sup> **Multimodalitet** är ett teoretiskt synsätt på kommunikation, interaktion och representation som inte endast tar hänsyn till språk som tal och text, det vill säga i dess traditionella innebörd.

<sup>4</sup> **Literacitet** (läs- och skrivkunighet), begrepp använt för verksamheter som är relaterade till läsande och skrivande.



En viktig konklusion i studien är att det behövs nya vägar att tänka och undervisa vid nyttjande av digitala resurser.

## 4.6 Om digitala lärresurser ur ett skolutvecklingsperspektiv

Slutsatser som framförts i forskningen användningen av IT och olika positiva effekter för skolutveckling och elevers lärande är försiktiga därför att det ofta föreligger komplexa samband. De förväntade effekterna kan utebli eller förändras (Hylén, 2013). Denne forskare pekar framför allt på följande faktorer;

- positiva effekter kan utebli på grund av de komplexa sambanden i flera led,
- skolor med hög datortäthet ökar elevers motivation och resultat
- det föreligger en ställtid på flera år innan resultaten syns. Det handlar både om praktiska och tekniska frågor och om lärares och skolledares kompetensutveckling.
- organisatoriska lösningar som stödjer de nya arbetssätten är nödvändiga. Detta gäller både på skolnivå och på huvudmannanivå.
- det professionella språkbruket i detta sammanhang måste utvecklas och preciseras, exempelvis begreppen användningsgrad och användningsformer,

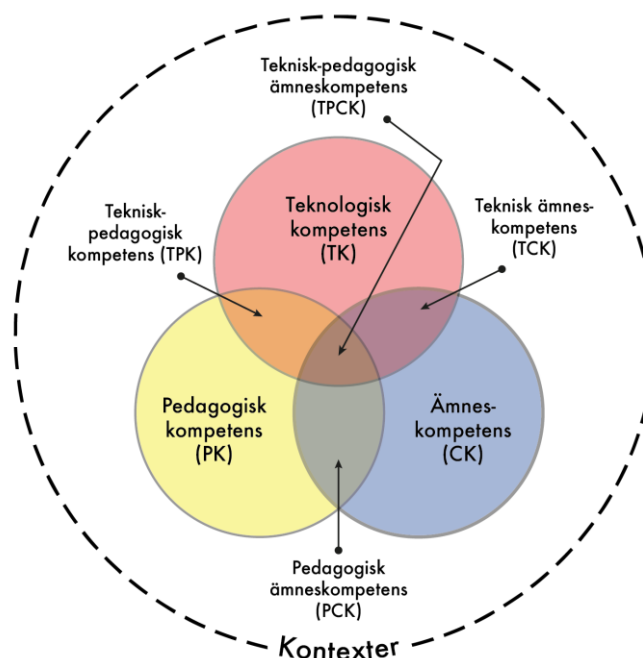
## 4.7 Om teoretiska ramverk för digitala lärresurser

För att kunna kontextualisera studien och analysera dess resultat ser vi följande två teoretiska ramverk som tillämpliga i sammanhanget.

### 4.7.1 TPACK-modellen

Koehler och Mishras (2009) modell TPACK (technological pedagogical content knowledge) är utvecklat som ett instrument för att förstå vilken kunskap lärare behöver för att integrera teknik i undervisningen (figur 5). Det är inte tillräckligt att tillföra teknik till skolverksamheten. För att uppnå positiva effekter för lärandet behöver läraren kunskap om hur teknik kan bidra pedagogiskt (TPK) och hur ämnet kan behandlas med tekniska hjälpmedel (TCK). Två centrala begrepp i användningen av modellen är teknologins affordanser och restriktioner (affordances and constraints), att en viss teknologi kan möjliggöra och stödja en viss aktivitet, men motverka andra. Exempelvis uppmuntrar e-post till asynkron kommunikation och arkivering, men inte till synkron kommunikation vilket t.ex. ett telefonsamtal gör.

Ramverket kan vara värdefullt vid analys av lärarens didaktiska användning av visualiseringsprogramvaran. Framför allt lärarens tekniska ämneskompetens (TCK) och teknisk-pedagogiska kompetens spelar in för hur utförandet av lektionerna i slutändan blir, och på vilket sätt visualiseringarna kommer eleverna till del. Affordansbegreppet blir intressant vid analys av elevers ageranden eller beteenden som inte planerats eller förutsetts av läraren.



**Figur 5.** Technological, pedagogical and content knowledge framework (TPACK) efter Koehler och Mishra (2009), men i svensk översättning. Original från tpack.org.

#### 4.7.2 SAMR-modellen

Vid planering och utveckling av undervisningsmoment kan även SAMR-modellen (figur 6) vara ett användbart tankeverktyg för hur teknik kan integreras och användas i undervisningssammanhang. Det är en hierarkisk modell som beskriver fyra nivåer där de två nedre beskriver förstärkningar av i grunden samma uppgifter, medan de två övre handlar om att omvandla uppgifterna till något som inte var möjligt, eller ens tänkbart, utan tekniken. Den första nivån innebär att tekniken används som en direkt ersättning av något tidigare, utan några funktionella tillägg, exempelvis att överföra en textbok till PDF för läsning på skärmen. På den andra nivån kan vissa funktionella förbättringar tillkomma, som uppläsning av text, alternativa språk, animerade illustrationer eller liknande. På den tredje nivån kan uppgiften ändras till stora delar, och på den fjärde nivån kan uppgiften omdefinieras från grunden på sätt som inte var möjliga utan tekniken.

Modellen kan främst tjäna som diskussionsunderlag för vad övergången till digitala lärresurser som används i skolorna egentligen medfört, och för att diskutera designen av de läraktiviteter som eleverna tagit del i.



Källa: Svensk översättning av Puentedura, R. "Building Transformation: An Introduction to the SAMR Model" <http://hippasus.com/resources/tte/>

**Figur 6.** Ruben Puenteduras modell "Substitution, Augmentation, Modification, and Redefinition" (SAMR) i svensk översättning.

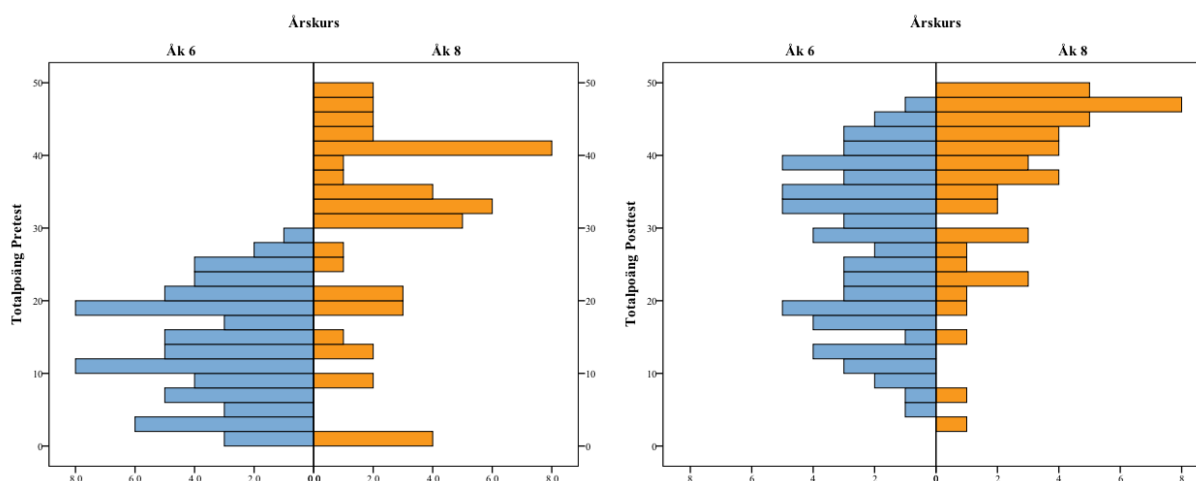
Det finns en hel del relevant kritik mot SAMR-modellen, och det gäller framför allt olämplig tillämpning av den. För det första, SAMR är inte en modell för lärande. Det finns inget som säger att lärandet med nödvändighet blir bättre för att teknikintegreringen ligger ovanför strecket snarare än under. Det viktigaste är att teknik integreras på ett ändamålsenligt sätt. För det andra, SAMR är inte en taxonomi. Det är ingen stege som man skall klättra på, och att som lärare känna sig tvingad till mer avancerad teknikanvändning än man behärskar kan snarare leda till sämre utfall än bättre. Igen, teknikanvändningen skall först och främst vara ändamålsenlig. Med det sagt är det många lärare som haft stor nytta av modellen för att tänka kring och planera hur den egna undervisningen kan utvecklas.

## 5. RESULTAT DELSTUDIE 1 - DIGITAL VISUALISERING I MATEMATIK

För att få svar på den första forskningsfrågan om och hur lärande via 3D-visualisering i matematikmomentet geometri skiljer sig från traditionellt lärande i matematik med avseende på resultat och attityder samt med avseende på kön, konstruerades först ett prov av deltagande lärare. Detta användes som för- och eftertest i de båda grupperna. I detta resultatkapitel beskrivs först provet konstruktion provresultat. Därefter redovisas om resultaten skiljer sig med avseende på interventionen. Sedan följer en resultat för attityder och slutligen redovisas skillnader mellan flickor och pojkar gällande resultat och attityder.

### 5.1 Provkonstruktion och provresultat

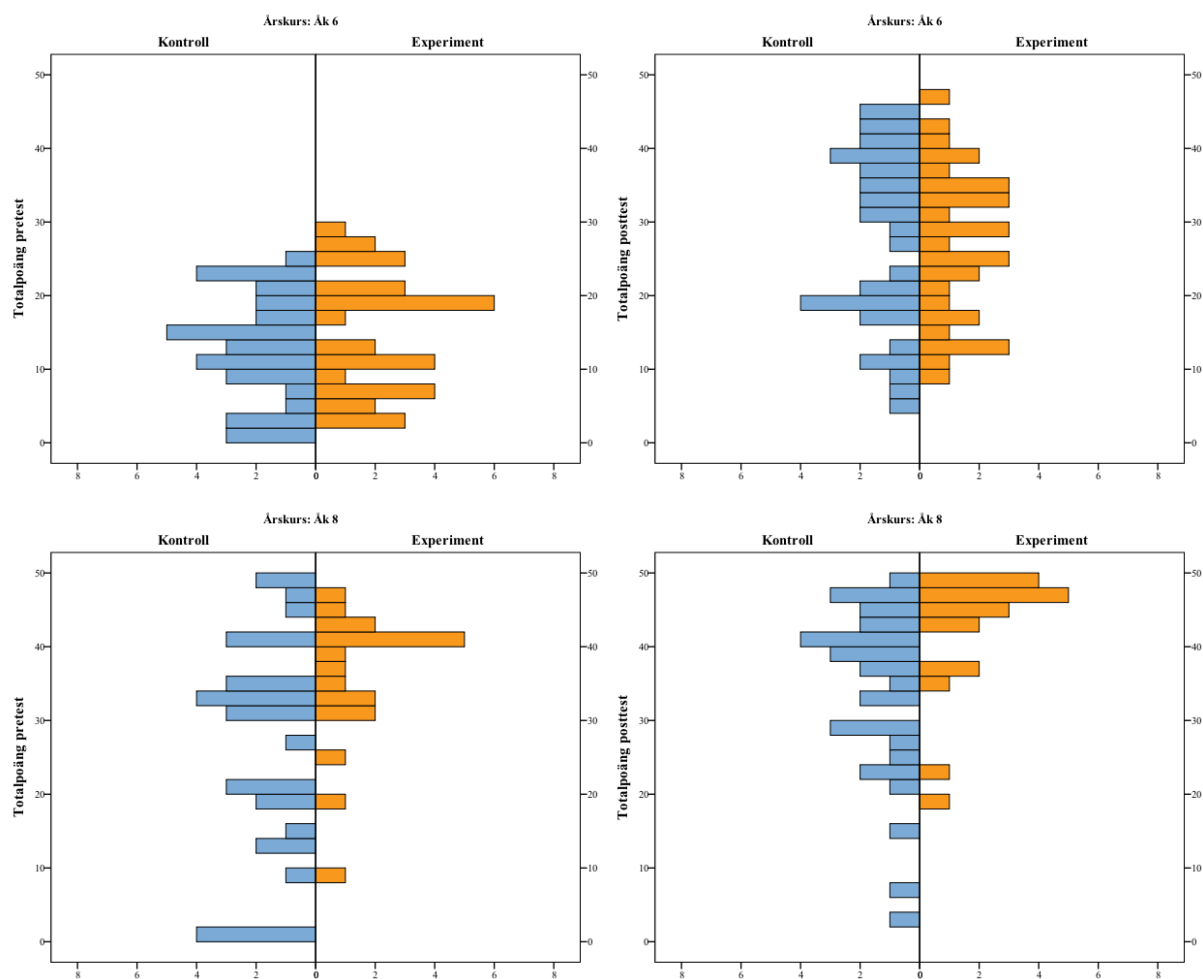
För att få en översiktlig bild av provets svårighetsgrad för de olika genomförda proven i de två grupperna visas histogram över provresultaten i nedanstående grafer. Detta ger en fingervisning om hur provet fungerar i de olika grupperna.



**Figur 7.** Frekvenser av provresultaten uppdelat efter årskurs, för pretest respektive posttest.

Genom att visualisera frekvenser av provresultaten i ett histogram över resultaten, uppdelat efter årskurs (se figur 7), kan anpassningen av svårighetsgraden på proven uppskattas. I den vänstra figuren ovan framgår det att pre-testet var något svårt för årskurs 6 men på gränsen till för lätt för årskurs 8. I figuren till höger framgår att post-testet hade en väl anpassad svårighetsgrad för årskurs 6 då ingen uppnådde full poäng och medelvärdet ligger något över hälften av möjliga poäng. För årskurs 8 syns dock en tydlig takeffekt då resultaten är starkt förskjutna mot maxpoäng. Provet lyckas inte diskriminera bland elever med höga resultat. Utfallet är att svårighetsgraden var väl anpassad för åk 6, men för lätt för åk 8, vilket i sin tur ledde till en kraftig takeffekt.

På motsvarande sätt kan en visuell jämförelse i form av histogram avslöja eventuella tydliga skillnader mellan experiment- och kontrollgrupper. Här är resultaten dessutom uppdelade på årskurs. Figurerna visar att det inte är några större skillnader mellan experiment och kontroll för åk 6. Däremot är kontrollgruppens resultat lägre i åk 8 både i pre- och i posttest. I och med att experimentgruppen i åk 8 var duktigare och fler elever nådde maxpoäng blir det svårare att se förbättringar av resultatet mellan pre- och posttest i den gruppen (se figur 9).



**Figur 8.** Frekvenser av provresultaten uppdelade efter experiment- och kontrollgrupp och årskurser.

Sammanfattningsvis var svårighetsgraden väl anpassad för åk 6, men kunde inte diskriminera bland de duktigare eleverna i åk 8. Kontroll-experimentgrupperna i åk 6 hade jämförbara utgångsvärden medan det fanns en märkbar skillnad mellan grupperna i åk 8. Det senare har troligen betydelse för resultatet.

## 5.2 Provresultat

För att ta reda på om resultaten skiljer sig med avseende på interventionen har poängförändringarna mellan pre- och posttest beräknats för alla elever samt medelvärden beräknats (se tabell 2).

**Tabell 2.** Pre- och posttest för alla elever

Årskurs	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Åk 6	Poängökning pre- till post-66 test	34,0	-1,0	33,0	13,485	8,0622
Åk 8	Poängökning pre- till post-50 test	32,0	-3,0	29,0	7,320	6,6958

En uppdelning per årskurs visar att åk 6 i genomsnitt förbättrat sitt resultat med 13,5 poäng och åk 8 med 7,3. Detta ligger i linje med vad figurerna tidigare visat, att en takeffekt gör att åk 8 inte kunnat visa hela sin förbättring. En uppdelning mellan kontroll- och experimentgrupp (tabell 3) ger väldigt likartade resultat, 11,4 för kontrollgruppen och 10,1 för experimentgruppen. Resultatspridningen är större i kontrollgruppen (36 poäng mot 28).

**Tabell 3.** Pre- och posttest för experiment- och kontrollgrupperna

Experiment- eller kontrollgrupp		N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Kontroll	Poängökning pre- till posttest	65	36,0	-3,0	33,0	11,400	8,8790
Experiment	Poängökning pre- till posttest	51	28,0	-3,0	25,0	10,098	6,9412

En ytterligare uppdelning på både årskull och experiment/kontroll visar något större förbättring i kontrollgrupperna än i experimentgrupperna (se tabell 44).

**Tabell 4.** Pre- och posttest för båda årskurserna och för experiment- och kontrollgrupperna

Årskurs	Experiment- eller kontrollgrupp		N	Range	Min	Max	Mean	Std. Dev.
Åk 6	Kontroll	Poängökning pre- till posttest	34	33,0	0,0	33,0	14,853	9,0625
	Experiment	Poängökning pre- till posttest	32	26,0	-1,0	25,0	12,031	6,6804
Åk 8	Kontroll	Poängökning pre- till posttest	31	32,0	-3,0	29,0	7,613	7,0365
	Experiment	Poängökning pre- till posttest	19	22,0	-3,0	19,0	6,842	6,2562

I årskurs 6 ökade poängen med 14,9 poäng i kontrollgruppen och 12,0 i experimentgruppen. I åk 8 ökade poängen med 7,6 i kontrollgruppen och med 6,8 i experimentgruppen. För att bättre förstå dessa skillnader bör man även titta på de faktiska provresultaten (tabell 5). De visar att det fanns elever i åk 8 som slog i taket med ett poäng under max redan i pretestet. Med andra ord var testet för enkelt för åk 8. Detta får återverkningar för möjligheten att upptäcka och mäta förbättringar i den årskursen.

**Tabell 5.** Faktiska provresultat för de båda årskurserna för pre- och posttest

Årskurs		N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Åk 6	Totalpoäng pretest	66	28,5	0,0	28,5	13,417	7,5923
	Totalpoäng posttest	66	42	5	47	26,90	11,131
Åk 8	Totalpoäng pretest	50	48,0	0,0	48,0	29,400	13,5270
	Totalpoäng posttest	50	46	3	49	36,72	11,364

Med en uppdelning på årskurs visar medelresultaten ganska tydligt att svårighetsgraden var mer lämpad för åk 6, då pretestet ligger i den nedre fjärdedelen (13,4) och posttestet en bit över mitten (26,9). I åk 8 ligger båda medelresultaten över mitten med 29,4 i pretestet, alltså högre än posttestet för åk 6, och posttestet på 36,7. Maxresultatet i åk 6 låg knappt över mitten medan det fanns elever i åk 8 som nästan fick full pott redan på pretestet. Spridningen i åk 8 spänner över hela spektrat med någon enstaka elev på noll poäng. Sammanfattningsvis visar detta att

det fanns ett antal elever i åk 8 som inte fick visa sin kunskapsökning då provet blev för lätt för dem.

Ovan har ett antal skillnader observerats, men dessa skillnader måste testas för signifikans för att se om skillnaderna kan anses bero på interventionen eller om de beror på slumpmässiga variationer mellan grupper och provtillfällen. För detta användes Independent Samples t-test. Till att börja med undersöktes om det finns någon signifikant skillnad mellan experiment- och kontrollgrupp över båda årskurserna (se tabell 6).

**Tabell 6. Signifikanstestning för pre- och posttester**

*Independent Samples Test*

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Poängökning pre- till posttest	Equal variances assumed	4,950	0,028	0,861	114	0,391	1,3020	1,5127	-1,6946	4,2986
	Equal variances not assumed			0,886	114,000	0,377	1,3020	1,4689	-1,6079	4,2118

Ingen signifikant skillnad kan observeras för hela undersökningsgruppen, men med en skillnad på endast 1,3 poäng är det ganska väntat.

En uppdelning på årskurs ger en större skillnad mellan experiment- och kontrollgrupp i åk 6 (2,8 poäng) och en mindre skillnad i åk 8 (0,8 poäng). Inte heller här är skillnaderna signifikanta (se tabell 7).

**Tabell 7. Signifikanstestning för pre- och posttester**

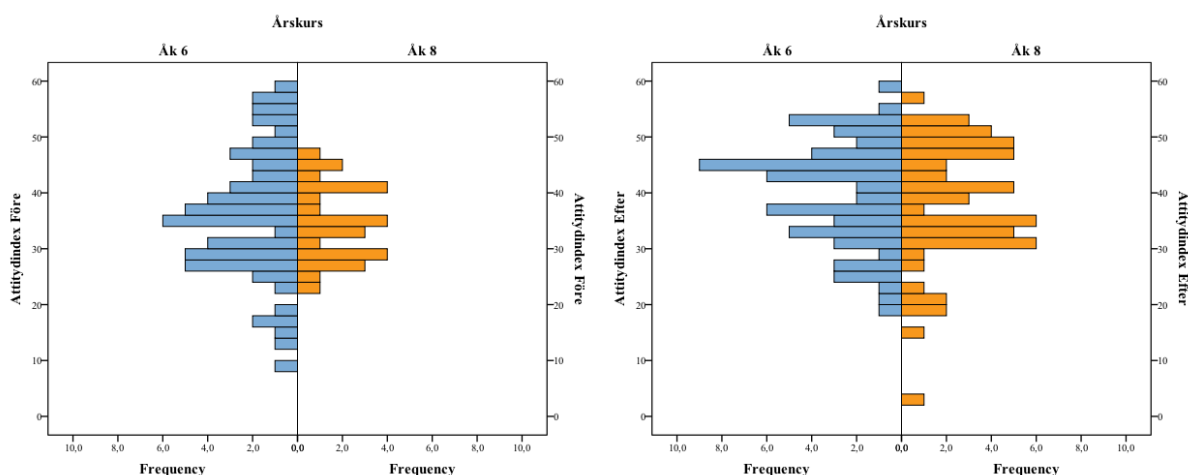
*Independent Samples Test*

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Åk 6 Poängökning pre- till posttest	Equal variances assumed	5,542	0,022	1,432	64	0,157	2,8217	1,9698	-1,1135	6,7569
	Equal variances not assumed			1,446	60,601	0,153	2,8217	1,9520	-1,0820	6,7254
Åk 8 Poängökning pre- till posttest	Equal variances assumed	0,013	0,910	0,392	48	0,697	0,7708	1,9680	-3,1861	4,7277
	Equal variances not assumed			0,403	41,694	0,689	0,7708	1,9124	-3,0894	4,6310

Sammanfattningsvis gav interventionen inga signifikanta skillnader mellan kontroll- och experimentgrupperna. Med tanke på att grupperna var tämligen små, och att provet inte förmådde mäta förbättringarna i den ena årskursen är det dock inte så oväntat.

### 5.3 Attityder

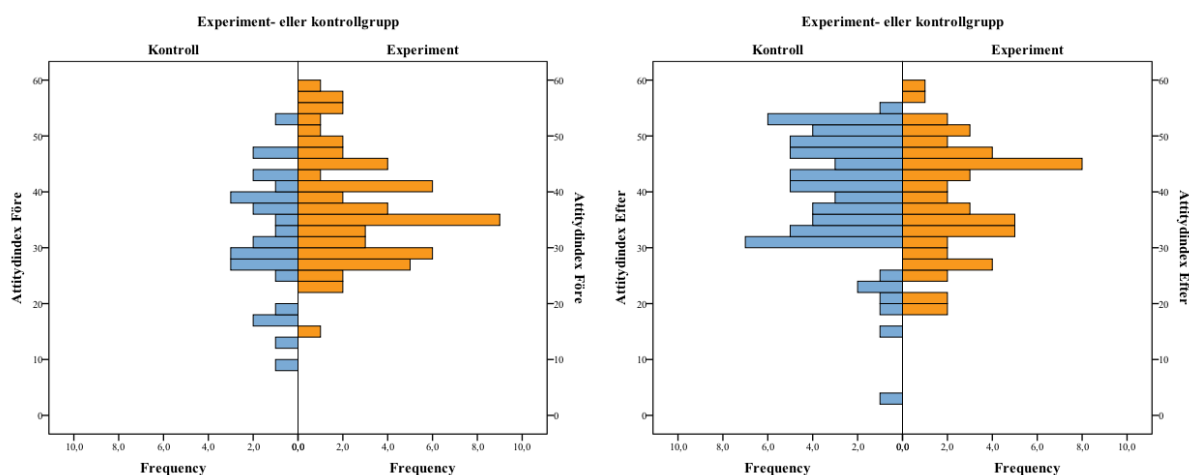
För att få reda på om interventionen hade inverkan på elevernas attityder till geometrimomentet genomfördes en attitydundersökning före och efter momentet. En attitydenkät baserad på Semantic Differential Scale (SDS) med tio delfrågor konstruerades där eleverna fick ta ställning till olika par av motsatsord genom att markera sin inställning på en sjugradig skala (bilaga?). För att säkerställa att alla delfrågor mäter samma fenomen testades dessa med Cronbach's alpha (0,899, resultatet förbättras inte om något item tas bort) och befanns fungera väl tillsammans. Därmed kunde ett index av samtliga delfrågor konstrueras som skalades så att det mest negativa svarsalternativet på samtliga frågor ger 0 poäng och det mest positiva svarsalternativet på alla frågor ger 60 poäng. Ett helt neutralt resultat är då 30 poäng. Tyvärr saknas pre-enkäten för kontrollgruppen i åk 8 vilket omöjliggör vissa jämförelser och andra blir lite skeva, vilket kan ses i figur 9 nedan.



**Figur 9.** Frekvenser av attityder för posttesten i båda årskurserna

Spridningen i resultat på pre-enkäten är större i åk 6, men det genomsnittliga värdet är ganska lika mellan årskurserna. Post-enkätens resultat verkar vara förskjutet uppåt jämfört med pre-enkäten, men när det gäller åk 8 går det inte att uttala sig om någon förändring här då bara en grupp besvarat post-enkäten.

En jämförelse mellan experiment- och kontrollgrupp (se figur 10 nedan) där årskurserna är sammantagna verkar också antyda en skiftning uppåt från pre- till post undersökning, men då en kontrollgrupp saknas går det inte att uttala sig om förändringen.



**Figur 10.** Frekvenser av attityder för experiment- och kontrollgrupperna

Genom att dela upp resultatet på både årskurs och experiment/kontroll kan vi komma undan problemet med den saknade enkäten. I åk 6 framträder en tydlig positiv tendens i kontrollgruppen och faktiskt en negativ tendens i experimentgruppen. I åk 8 är dock tendensen positiv i experimentgruppen. Det är ett alldeles för litet underlag för att kunna dra slutsatser, men jag funderar över lärareffekter och om upplägget med ett förlagsproducerat läromedel som bas i åk 8 gör att Sensavis bättre kommer till sin rätt i egenskap av komplement. Det bör ha tagit mycket tid och kraft av läraren att själv producera tilläggsmaterial där Sensavis inte räckte till, och det finns en uppenbar risk att översiktlighet och struktur påverkas i ett sådant scenario.



De observerade skillnaderna har här testats för signifikans med Paired-Samples t-test. För hela undersökningsgruppen sammantagen har attityden blivit signifikant mer positiv (3,6 poäng, se tabell 8 nedan).

**Tabell 8.** Signifikansprövning av attitydförändring för alla elever.

*Paired Samples Test*

Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
		-3,506	11,465	1,307	-6,109	-0,904	-2,684	76	0,009

Vid en jämförelse av årskurser och experiment- och kontrollgrupper isoleras den saknade enkäten, och övriga resultat blir därför ”säkrare”. Den enda gruppen som visar en signifikant förändring är kontrollgruppen i åk 6 som blivit 9,6 poäng mer positiv i genomsnitt (tabell 9).

**Tabell 9.** Signifikansprövning av attitydförändring för årskurs, experiment- och kontrollgrupper.

*Paired Samples Test<sup>a</sup>*

Årskurs	Experiment- eller kontrollgrupp	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
							Lower	Upper			
Åk 6	Kontroll	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-9,646	10,382	2,119	-14,030	-5,262	-4,551	23	0,000
	Experiment	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	1,233	11,820	2,158	-3,180	5,647	0,572	29	0,572
Åk 8	Experiment	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-3,283	9,245	1,928	-7,281	0,715	-1,703	22	0,103

a. No statistics are computed for one or more split files

Sammanfattningsvis visar signifikansprövningen att kontrollgruppen i åk 6 blivit mer positiva efter genomförandet. Att experimentgruppens resultat förefaller ha försämrats uppvisar visserligen inte signifikans, men kan vara en indikation på hur gruppen arbetade och fungerade.

## 5.4 Pojkar och flickor – resultat och attityder

För att svara på frågan om det föreligger skillnader mellan pojkars och flickors provresultat jämför vi gruppernas medelvärden vilket illustreras i tabell 10 nedan.

**Tabell 10.** Skillnader mellan flickors och pojkars resultat

Kön	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	
Flicka	Totalpoäng pretest	57	48,0	0,0	48,0	21,254	12,6534
	Totalpoäng post-57 test		44	5	49	33,03	11,687
	Valid N (listwise)	57					
Pojke	Totalpoäng pretest	59	48,0	0,0	48,0	19,390	13,7173
	Totalpoäng post-59 test		46	3	49	29,31	12,508
	Valid N (listwise)	59					

Flickorna startade på en något högre nivå än pojkarna och flickorna förbättrade sitt resultat mer än pojkarna. Denna förändring är dock inte signifikant (tabell 11).

**Tabell 11. Signifikantestning av flickors och pojkars resultat**

*Independent Samples Test*

Kön			Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
			F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
										Lower	Upper
Flicka	Poängökning pre- till posttest	Equal variances assumed	4,565	0,037	0,211	55	0,834	0,4697	2,2278	-3,9950	4,9344
		Equal variances not assumed			0,221		54,987				
Pojke	Poängökning pre- till posttest	Equal variances assumed	1,991	0,164	0,951	57	0,346	1,9606	2,0625	-2,1694	6,0907
		Equal variances not assumed			0,968		56,920				

I tabell 12 nedan redovisas pojkars och flickors resultat på pre- och posttesten fördelat på de olika årskurserna.

**Tabell 12. Skillnader mellan flickors och pojkars resultat och mellan årskurser**

Kön	Årskurs		N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Flicka	Åk 6	Totalpoäng pretest	37	26,5	0,0	26,5	14,149	7,5515
		Totalpoäng posttest	37	42	5	47	28,15	11,417
	Åk 8	Totalpoäng pretest	20	36,0	12,0	48,0	34,400	9,1445
		Totalpoäng posttest	20	17	32	49	42,05	4,850
Pojke	Åk 6	Totalpoäng pretest	29	27,5	1,0	28,5	12,483	7,6736
		Totalpoäng posttest	29	35	9	44	25,31	10,740
	Åk 8	Totalpoäng pretest	30	48,0	0,0	48,0	26,067	15,0217
		Totalpoäng posttest	30	46	3	49	33,17	13,044

Intressant att notera är att pojkarna i åk 8 har ett posttest-resultat (33,2 poäng) som är lägre än flickornas pretest-resultat (34,4 poäng). Minimireultatet på flickornas posttest i åk 8 (32 poäng) är dessutom i nivå med pojkarnas medelresultat på posttestet (33,2 poäng). Här finns alltså en stor skillnad i förkunskaper mellan pojkar och flickor. Trots att det finns en tydlig takeffekt i provet har flickorna förbättrat sina resultat mer än pojkarna. Hade provet haft frågor med högre svårighetsgrad skulle denna skillnad troligen blivit större.

Skillnaderna mellan grupperna är inte heller här signifikanta (se tabell 13 nedan), men det är att vänta då undergrupperna är så små.

**Tabell 13. Signifikantestning mellan flickors och pojkars resultat och mellan årskurser**

*Independent Samples Test*

Kön	Årskurs		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
			F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
										Lower	Upper
Flicka	Åk 6	Poängökning pre- till posttest	5,395	0,026	0,653	35	0,518	1,6324	2,4996	-3,4421	6,7068
		Equal variances not assumed			0,675		33,198				
	Åk 8	Poängökning pre- till posttest	0,081	0,779	0,031	18	0,976	0,1209	3,8887	-8,0490	8,2907
		Equal variances not assumed			0,032		13,464				
Pojke	Åk 6	Poängökning pre- till posttest	1,694	0,204	1,300	27	0,205	4,2000	3,2309	-2,4292	10,8292
		Equal variances not assumed			1,288		24,452				
	Åk 8	Poängökning pre- till posttest	0,234	0,632	0,526	28	0,603	1,1389	2,1655	-3,2969	5,5747
		Equal variances not assumed			0,535		25,070				

## 5.5 Attityder – pojkar och flickor

För att se om attityderna påverkats olika för flickor och pojkar jämförs gruppernas medelvärden. I tabell 14 nedan visas resultatet för flickor och pojkar i hela undersökningsgruppen sammantagen.

**Tabell 14. Skillnader mellan flickors och pojkars attityder**

Kön		N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Flicka	Attitydindex Före	46	50	9	59	33,70	10,652
	Attitydindex Efter	60	35	18	53	38,27	9,801
Pojke	Attitydindex Före	41	47	14	60	37,35	10,396
	Attitydindex Efter	59	57	2	59	38,86	10,855

Flickorna förefaller ha förändrat sin attityd mest, men pojkarna startade på ett högre genomsnittligt utgångsläge och båda könen slutade på ungefär samma nivå. Spridningen för flickorna minskade medan den ökade för pojkarna. På grund av det saknade enkätunderlaget är det dock bättre att dela upp resultatet på undergrupper så att de saknade grupperna inte påverkar värdena. I tabell 15 nedan redovisas attitydindex uppdelat på både kön, årskurs, och kontroll- eller experimentgrupp.

**Tabell 15. Skillnader mellan flickors och pojkars attityder och mellan årskurser**

Kön	Årskurs	Exp- eller kontrollgrupp	N	Range	Min	Max	Mean	Std. Dev	
Flicka	Åk 6	Kontroll	Attityd Före	16	37	9	46	<b>30,06</b>	10,195
			Attityd Efter	19	32	21	53	<b>42,31</b>	7,874
		Experiment	Attityd Före	17	44	15	59	<b>37,82</b>	12,461
			Attityd Efter	17	28	24	52	<b>35,00</b>	8,44
	Åk 8	Kontroll	Attityd Före	0	-	-	-	-	-
			Attityd Efter	12	23	30	53	<b>40,58</b>	8,785
		Experiment	Attityd Före	13	23	22	45	<b>32,77</b>	6,772
			Attityd Efter	12	34	18	52	<b>34,17</b>	12,805
Pojke	Åk 6	Kontroll	Attityd Före	12	47	14	60	<b>35,46</b>	13,714
			Attityd Efter	12	35	19	54	<b>38,08</b>	12,972
		Experiment	Attityd Före	15	29	28	57	<b>40,60</b>	9,97
			Attityd Efter	14	31	28	59	<b>41,64</b>	7,977
	Åk 8	Kontroll	Attityd Före	0	-	-	-	-	-
			Attityd Efter	21	50	2	52	<b>35,81</b>	11,991
		Experiment	Attityd Före	14	22	25	47	<b>35,50</b>	6,87
			Attityd Efter	12	29	27	56	<b>41,71</b>	8,905

Några av undergrupperna skiljer sig något från de övriga. Flickor i kontrollgruppen i åk 6 rapporterar den största positiva attitydförändringen på 12,2 poäng medan flickorna i experimentgruppen i samma årskurs är den enda gruppen med en negativ förändring (-2,8 poäng). Attityden för pojkarna i åk 6 stiger marginellt, med 2,6 poäng i kontrollgruppen och 1,0 poäng i experimentgruppen. Bland pojkarna syns den största förändringen i experimentgruppen i åk 8 där ökningen är 6,2 poäng, medan attityden för flickorna i samma årskurs ökar 1,4 poäng. Det är möjligt att detta också avspeglar en lärareffekt. En skillnad att ha i åtanke är att det var manliga lärare i åk 8 där pojkarnas attityd förbättrades mer än flickornas, och det var kvinnliga lärare i åk 6 där kontrollgruppens flickor stod för den största ökningen.

En signifikansprövning av dessa skillnader med Paired-Samples t-test finns i tabell 16 nedan. Medelvärdena skiljer sig något från värdena ovan då både pre- och postenkät måste finnas för varje individ som ingår i jämförelserna, och den ena enkäten saknas i några fall.

**Tabell 16.** Signifikanstestning mellan flickors och pojkars attityder och mellan årskurser

*Paired Samples Test<sup>a</sup>*

Kön	Årskurs	Experiment- eller kontrollgrupp		Paired Differences								
				Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)	
							Lower	Upper				
Flicka	Åk 6	Kontroll	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-12,786	12,286	3,284	-19,880	-5,692	-3,894	13	0,002
		Experiment	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	2,625	11,581	2,895	-3,546	8,796	0,907	15	0,379
	Åk 8	Experiment	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-2,429	9,253	3,497	-10,986	6,129	-0,694	6	0,513
Pojke	Åk 6	Kontroll	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-5,250	4,541	1,436	-8,499	-2,001	-3,656	9	0,005
		Experiment	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-0,357	12,320	3,293	-7,471	6,756	-0,108	13	0,915
	Åk 8	Experiment	Pair 1	Attitydindex Före - Attitydindex Efter	-5,050	10,101	3,194	-12,276	2,176	-1,581	9	0,148

a. No statistics are computed for one or more split files

Resultatet visar att förändringarna i attityd är signifikanta i två av grupperna, flickor respektive pojkar i kontrollgruppen i åk 6.

## 6. RESULTAT DELSTUDIE 2 – DIGITAL VISUALISERINGSTEKNIK

### 6.1 Seminarier

Förstudien bjöd in två talare som sedan tidigare forskat kring *informationsvisualisering* respektive *visualisering för lärande*. Nedan följer korta sammanfattningar av deras presentationer vid Mittuniversitetet under hösten 2017.

#### 6.1.1 Informationsvisualisering

Rafael Martins har en doktorsexamen (2016) som erhållits i ett internationellt samarbete mellan University of São Paulo och University of Groningen, Nederländerna. Sedan 2016 är han postdoktor i forskargruppen Informations- och mjukvaruvisualisering som leds av Prof. Andreas Kerren. Gruppens forskningsfokus ligger på Informationsvisualisering, visuell analys, nätverksvisualisering, ”digital humanities,” samt mjukvaruvisualisering. Titeln på Rafaels presentation var ”*Interactive Visual Analytics for Multidimensional Data – Challenges and Opportunities*”.

I presentationen talade Rafael om definitionen av visualisering som en process som skapar grafik, ett diagram eller en bild, vilket är en kognitiv process som skapar en mental bild i vår mänskliga hjärna, med syftet att skapa insikt och förståelse. Målsättningen är alltså att upptäcka och förklara. Visualisering är en mycket gammal företeelse, där Minards kartor från 1800-talets slut gavs som exempel. Man behöver alltså inte datorer för att skapa visualiseringar utan idéer för hur insikt kan skapas genom grafik, diagram eller bilder. Giorgia Liupi menar att data kan vara ögonblicksbilder av världen, på samma sätt som bilder kan vara det.

Visualisering delas in i två huvudsakliga grupper: **Vetenskaplig visualisering** och **informations-visualisering**. Informationsvisualisering använder visuella representationer av abstrakt data för att förstärka uppfattningen kring underliggande data. I motsats till vetenskaplig visualisering, har data i informationsvisualisering ingen koppling till spatiala koordinater, varför de inte kan kopplas till den fysiska världen. Data är oftast också multidimensionell, dvs de har fler dimensioner än 2 och 3. Rafael demonstrerade hur grafer snabbt och tydligt skapar insikt om data, speciellt i jämförelse med presentation av numerisk data i tabeller.

**Visuell analys** är vetenskapen om analytiskt resonemang som stöds av interaktiva, visuella gränssnitt (Thomas and Cook, 2005). Den är tillämplig i de fall automatisk analys inte är möjlig eller då del-resultat är viktiga, exempelvis då stora datamängder (Big Data) ska analyseras. Inom visuell analys kombineras visualisering med databrytningsalgoritmer (eng. *data mining algorithms*), där data visualiseras innan, efter eller integrerat med algoritmerna.

**Visualiseringen av multidimensionell data** kan ske i förlustfria visualiseringar med alla data. Sådana visualiseringar sker t.ex. i parallella koordinater eller stjärndiagram. I så kallade förlusts-visualiseringar (eng. *lossy visualizations*) har först dimensionen hos data reducerats med metoder såsom principalkomponentanalys och multidimensionell skalning. Vid en dimensionsreducering är relationen mellan komponenter viktigare än deras exakta attribut. Forskningsfrågor blir därmed tolkning av vad som visualiseras och hur trovärdig visualiseringen är.

Visualiseringar **utvärderas** normalt med globala mått. Fördelen är att jämförelser lätt kan göras, men de tillåter inte att identifiera var problem finns.

Rafael tog upp några tillämpningsområden och han menar att informationsvisualisering och visuella analystekniker kan underlätta data-exploatering and leda till intressanta upptäckter. Exempel på tillämpningar inom digital humaniora är textanalys med olika visualiseringsformer som skapar fingeravtryck för att jämföra författares texter, men även åsikter, attityder och känslor i stora textmassor på sociala medier. Även visuell analys av vetenskaplig litteratur undersöks och blir viktig, eftersom vetenskapliga publikationer blir allt fler. Citeringsmönster, visuell analys kan användas som hjälpmedel i vetenskapliga litteraturstudier för att säkerställa att relevanta studier inte missas.

Rafael gav några länkar till webbplatser där praktiska tips kan erhållas.

### 6.1.2 Visualisering för lärande

Andreas Göransson är doktorand i visuell inlärning och kommunikation vid Linköpings universitet, Campus Norrköping. Hans bakgrund är civil-ingenjör i biologi med fokus på cellbiologi och fysiologi. Utöver detta har han också studerat datavetenskap, datorassisterad lärande och matematik. Under det senaste decenniet har han arbetat som lärare på gymnasiet med biologi, kemi, datavetenskap och multimedia. Parallellt med detta har han också studerat pedagogik och didaktik på Linköpings universitet. Han har ett starkt intresse för datorstödd inlärning samt visualiseringar inom naturvetenskapliga ämnen. Titeln på Andreas presentation var ”*Why visualizations matter for learning*”.

Andreas började presentationen med att tala om orsaker till att visualisering används i lärande, och hur det kan vara av avgörande betydelse. Digitalisering är idag en del av läroplanen och speciellt har visualisering föreslagits kunna omdana vetenskaplig utbildning, speciellt som teknikutvecklingen går starkt framåt inom visualisering.

Andreas tog upp att mänsklig perception är begränsad, och att extern representation därför kan förstärka våra intryck och möjliggöra nya idéer och insikter. Visualiseringstekniker öppnar upp för att kunna se inuti, förstora, snabba på eller sakta ned saker eller förlopp. Även om visuell kommunikation har funnits mycket länge, har ny teknik öppnat för nya datakällor och högre beräkningskapacitet så att nya former av visuell presentation kan skapas, varibland vi idag ser nya visualiseringsformer som virtuell verklighet (VR) förstärkt verklighet (AR). Tekniken kan också underlätta insamling av data, vilket ger mer tid och fokus till analys och förståelse av betraktad process.

Andreas talade om att begreppet visualisering kan vara mångtydig; det kan t.ex. både avse objektet som presenteras och processen för att skapa den visuella representationen och presentationen. För att skapa bra visualiseringar behövs kunskap om visuell perception och om mentala modeller. Visualiseringen kan då bli en beräkningsmässig avlastning då informationen blir lättare att tolka än att betrakta data direkt, exempelvis i grafer i stället för tabeller. Grafer ger tre nivåer av förståelse: grundläggande (datapunkter), identifiering av trender och förhållanden, samt förutsägelser (extrapolering) av data. Andreas gav handfasta tips på användning av grafer i undervisning. Exempelvis är hierarkiska relationer väl lämpade att presenteras i grafer.

Andreas tog upp vad som kallas *Visuell kompetens (Visual literacy)*, d.v.s. att kunna avläsa och tolka visualiseringar. Det finns fyra retoriska stilar: beskrivande, berättande, förklarande och

argumenterande representationer. En diskussion fördes kring vad som gör en visualisering effektiv. Elever ska lära kring ett fenomen. Fenomenet behöver då en modell som kan representeras på flera sätt. Därmed kan elever tolka och förstå fenomenet olika. Diskussion fördes kring modeller och deras ändamål: kopior av verkligheten, att de har ett syfte, att de är ett sätt att testa och utveckla idéer, samt att det finns olika uttryckssätt för modeller: konkreta, metaforer, matematiska, visuella (ex. grafer), samt gester. Vidare nämndes digitala modelleringsverktyg, vilka kan användas i undervisning och lärandeprocesser, exempelvis molekylstrukturer, *Geogebra* för grafitning, geometri, 3D och mer inom matematik. Modeller av kunskap, datalogisk modellering för programmering nämndes också. Seminariet behandlade också interaktion med modeller av olika slag. Konkreta (fysiska) modeller möjliggör konkret betraktande av objektet och fysiskt interagera med modellen. Digitala modeller och spel möjliggör också interaktion, som kan vara av olika grader beroende på använd teknik (mus, spelkonsol, beröringsskärm, etc.). Simuleringar möjliggör ytterligare interaktion genom matematiska modeller, dynamiska eller interaktiva visualiseringar där samband kan upptäckas via olika variabelvärden m.m., vilket har evidens att skapa begreppsmässig förståelse. Spel har också introducerats för lärande. Viss evidens finns men forskningen spretar gällande spelifiering för lärande. De kan skapa motivation och intresse, men spelen måste då ha en lämplig stegningsgrad ("flow") för att varken stressa eller tråka ut eleven. Spel kan ge god återkoppling till eleven om hur denne ligger till i förhållande till lärandemålen, och de möjliggör även dold utvärdering av eleven genom att data samlas och presenteras till läraren så att denne får kunskap om vad som behöver repeteras mer.

## 6.2 Visuellt lärande och tekniska utmaningar

### 6.2.1 Introduktion till visuellt lärande

Att använda visuella tekniker för att bidra till bättre lärande är troligast lika gammalt som lärandet själv. Människans visuella system är en av de viktigare komponenterna med vilket vi förstår vår omgivning och relaterar till situationer i dåtid, nutid och framtid. Att anpassa läroprocessen till att utnyttja fler av de visuella analysverktyg vi besitter medför en potential i att lärandet kan förbättras. Psykologis- och kognitionstudier visar att genom att koppla tanke- eller beteendemönster (schemes) till visuella komponenter så kan minnesbehållning och lärande förbättras (Lord, (1980)). **Fel! Hittar inte referenskälla.** Över tid har representationer såsom figurer, modeller, grafer använts för att ex. representera något abstrakt, förtydliga relationer i ett till synes komplext nät av begrepp, eller göra trender i processer synliga på ett tydligare sätt. Figurer, grafer och andra sorters bildillustrationer befinner sig i samma domän som det skrivna ordet, vilket gör att text kunnat kompletteras med material för visuellt lärande i böcker sedan hundra tals år. För koncept som kräver fler dimensioner för att illustreras blir papperets yta begränsande. Ju mer komplicerad kunskap som läroprocessen har att hantera, desto fler dimensioner behövs i presentationsmediet. Praktiska övningar med fysiska modeller är ex. ett sätt att kunna skapa en snabb intuitiv koppling mellan ett träklot och en matematiskt definierad sfär, och på så sätt accelerera och stärka lärandet.

Genom att använda datorvisualisering öppnas ytterligare flexibilitet upp kring hur ett multidimensionellt kunskapsstoff kan presenteras så att det blir lättare att förstå och lära sig. De traditionella representationerna som tidigare varit begränsade till en statisk form i en bok kan därmed bli både dynamiska och interaktiva.

- Dynamiska i det att de kan ges egenskaper som förändras över tid. Tidsvariation är ett kraftfullt verktyg som människan i många sammanhang använder sig av för att skapa förståelse. Genom att föra över vissa aspekter av kunskapsstoffet till en tidstolkning

öppnas möjligheten att använda den intuitiva förståelsen för tid till att underlätta läroprocessen. Det oavsett om det som ska läras har en uttrycklig koppling till tid eller inte. Till exempel går det att illustrera förhållandet mellan en cirkels omkrets och pi på flera olika sätt. Ett sätt som är att låta en cirkel med diameter = 1 rulla på en linjal där omkretsen får färg linjalens markeringar, och därigenom göra problemet kopplat till en tidsvariation. Efter att cirkeln rullat ett helt varv så har den samtidigt färgat av sig på linjalen från 0 till 3,14. En visuell illustration av förhållandet  $D = 2\pi r$  som använder tiden för att konkretisera det som kan ses som något abstrakt, och på så sätt underlätta läroprocessen.

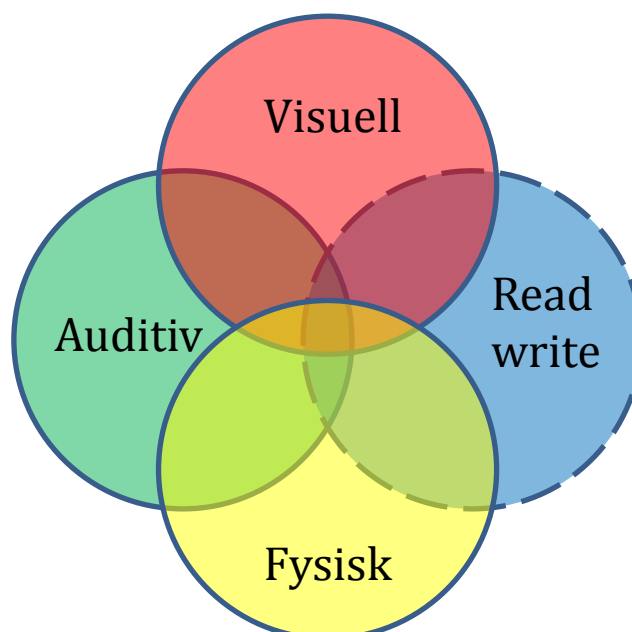
- Interaktiviteten innebär sedan att användaren ges möjlighet att påverka hur valda aspekter av den kunskap som visualiseras ska presenteras. Genom att erbjuda flera olika perspektiv (antingen bokstavligen eller bildligt) kan en bredare förståelse skapas och möjligheten att överföra sin kunskap till fler sammanhang ökar. I exemplet med cirkelns omkrets skulle ex. radien kunna vara en parameter som användaren får förändra och därmed också förändra hur visualiseringsresultatet blir. När diametern sätts till 2 ( $r = 1$ ) och det går att observera hur linjalen färgas från 0 till 6,28 ger det möjlighet att få en djupare förståelse för cirkelns geometriska egenskaper.

### 6.2.2 Sätt att lära sig

I litteraturen finns ett stort antal modeller som syftar till att beskriva hur läroprocessen bäst anpassas till individens behov. Flertalet av modellerna har ansatsen att klassificera individer i en handfull kategorier och på så sätt kunna anpassa undervisningen så att det får störst effekt på det individuella lärandet. Vilken modell som är mest lämpad att använda beror på vad syftet med modelleringen är. I fallet visuellt lärande är det speciellt intressant att studera modeller som mer explicit separerar en visuell komponent i läroprocessen. Neil Flemming presenterade 2010 VARK-modellen, där följande inlärningskategorier används för att beskriva hur en person föredrar att lära sig ny kunskap:

- *Visuell*  
tolka andra grafiska representationer än ord text, såsom symboler, figurer, bilder etc.
- *Auditiv*  
lyssna till berättande, inläst material eller samtal
- *Fysisk*  
praktiskt skapa, flytta, röra vid saker som på något sätt representerar den aktuella kunskapen
- *Läs & skriv*  
ta till sig och bearbeta kunskap genom att på traditionellt vis läsa och skriva





**Figur11.** Neil Flemmings VARK-modell som illustrerar olika föredragna inlärningsmetoder

En relativt väl spridd populärtolkning av VARK-modellen är att varje individ skulle uteslutande tillhöra en av de fyra grupperna och att ett studiematerial som hittar rätt presentationsform för rätt grupp skulle bidra på bästa sätt till lärprocessen för just den individen. För detta finns det däremot inget vetenskapligt stöd (Pashler, McDaniel, Rohrer & Bjork, 2009). Istället visar studier att det är när flera modaliteter används parallellt så skapas en dynamik som främjar lärandet (Coffield, Moseley, Hall & Ecclestone, 2004). En viktig komponent i det är att detta engagerar personen på ett mer omfattande sätt då ett engagerat lärande tenderar resultera i en framgångsrik lärprocess.

### 6.2.3 Framgång i lärandet

Vad utgör då en framgångsrik lärprocess? Att kvantitativt beskriva hur väl en lärprocess faller ut som konsekvens av olika strategier är ett pedagogiskt forskningsproblem som både sträcker sig långt tillbaka i tiden och fortfarande är aktivt i allra högsta grad. Forskningsfrågan ”Hur påverkar metod X läranderesultatet i grupp A?” är omfattande, komplex och svårfaktoriserad. Faktorerna är många, förhåller sig tillvarandra på ibland okända sätt och tillåter sig sällan att kontrolleras på samma explicita sätt som inom olika tekniska forskningsområden. Att gå på djupet i den problematiken är utanför ramen för det här stycket. Däremot för den med sig en insikt om att den experimentella uppställningen i en studie om hur visualisering påverkar lärprocessen är väldigt viktig för att skapa generaliserbara resultat.

Genom att försöka bryta ner läranderesultatet i mindre delområden kan effektmätningen av diverse introducerade metoder underlättas något. Viktiga delområden är:

- *Retention*  
Hur länge minnet av den erhållna kunskapen finns kvar
- *Transfer*  
I vilken utsträckning kunskapen kan omvandlas och appliceras i andra sammanhang

- *Reading comprehension*  
Läsförståelse kopplat till det speciella kunskapsområdet
- *Complex and critical thinking*  
Högre kognitiva färdigheter som bygger på den underliggande kunskapen

Pre- och posttest, kontrollgrupp, slumpmässigt urval ur en tillräckligt stor population, enbart förändra en metod i taget är några av de traditionella verktyg som används för att bidra till generaliserbara resultat av hög kvalitet. Men i sociala studier i allmänhet och pedagogiska studier i skolmiljön i synnerhet är det inte enkelt att optimalt uppfylla alla kriterier i den experimentella uppställningen. Detta bl.a. pga att interventionen i sig ändrar förutsättningarna och tillstånden i det system av elevklasser som ska studeras.

Flera studier visar dock att genom en väl genomtänkt användning av visuella komponenter, tillsammans med andra modaliteter i VARK-modellen, så finns en möjlighet att se statistiskt signifikant förbättrade lärresultaten inom matematik (Pilli & Aksu, 2012; Kushwaha, Chaurasia, Singhal, 2014; Chang & Slavin, 2013). En slutsats som visar att förbättrade resultat kan uppnås, men dessvärre inte entydigt *hur*.

#### 6.2.4 Grundkomponenter i ett visuellt lärandesystem

Som följd av vetenskapen om att ett ”korrekt” konstruerat visuellt lärandesystem har positiv effekt är det av intresse att identifiera vilka olika komponenter som bygger upp ett sådant system. I detalj blir en sådan uppdelning väldigt omfattande men generella rubriker kan användas för att identifiera viktiga

##### **Grafik**

I VARK-modellens visuella del ryms en mängd olika typer av visuella representationssätt och -former. Enkla symboler eller figurer som enbart har frihetsgrader nog i sina uttryck för att illustrera information av låg dimensionalitet. Mer omfattande grafiska organiserare i olika kart- och diagramformer som syftar till att visuellt illustrera mer komplexa förhållanden ex. mellan diverse fakta, koncept och/eller idéer. När fysiska modeller används för att överföra abstrakta begrepp till en mer intuitiv tolkningsvärld blir det naturligt att utnyttja diverse komponenter från datorgrafikområdet. Projicering av 3D-modeller kan antingen ske på med varierande komplexitet, ända till den form som syftar till att ge en fotorealistic presentation. I och med överlappet mellan högkvalitativ visualisering i ett visuellt lärandesystem och den grafikrendering som sker inom spelområdet kan omfattande 3D-bilder och 3D-video skapas i interaktiva hastigheter enbart med hjälp av konsumentdatorer eller till och med smartphones och surfplattor.

##### **Video**

Det kan handla om olika typer av videoklipp. Beroende på hur klippen är gjorda kan de också adressera andra modaliteter utöver den visuella. Ett videoklipp som spelar in en föreläsningssituation innefattar ofta också en röstkomponent när läraren förklarar vilket ger ett auditivt inslag. Ett videoklipp som syftar till att visa hur en kunskap används i form av en handledning kopplar mot ett mer socialt lärande, anpassat för kognitivt inriktade individer med som föredrar att betrakta hur någon annan utför fysiska moment. Studier har visat att introducerande av video har en positiv effekt i att förstärka läranderesultat, förutsatt att den kompletteras med interaktivitet så användaren själv kan välja vilja delar att se och se om (Zhang et al. 2005). Utan interaktivitet fyller video däremot enbart en marginell roll i att effektivisera lärandeprocessen. För att video ska vara en produktiv komponent i läroprocessen krävs att den också skapas med hänsyn till tre

grundläggande element: balanserad kognitiv belastning, inkluderande av icke-kognitiva element för att skapa engagemang, och regelbundet förespråkande av nödvändigheten av aktiv inläring.

### ***Interaktivitet***

En individuell möjlighet att påverka det sätt på vilket det visuella lärandet tar sig uttryck är en återkommande faktor för framgångsrika visuella lärandesystem. Interaktiviteten skapar frihetsgrader som tillåter att lärandet sker på flera olika sätt och i olika utsträckning kopplat till varje individs ambitionsnivå och förutsättningar. De två ovanstående komponenterna grafik och video vilar båda tungt i tillgången på interaktivitet för att deras styrkor som komponenter ska komma till sin rätt fullt ut.

### ***Dynamik***

Begreppet dynamik kan i det här sammanhanget förklaras som ytterligheten när interaktivitet dras till sin spets. När nästintill allt i det som det visuella lärandesystemet presenterar går att förändra. Att göra själv jämfört med att se läraren göra. Den omfattande flexibilitet i läroprocessen som detta ger upphov till har både för och nackdelar. Att få tillgång till ett verktyg som på ett enkelt sätt tillåter utforskning av det multidimensionella parameterutrymmet som ett nytt kunskapsområde ofta utgör är väldigt kraftfullt. Den väg genom kunskapsstoffet som varje individ kan ta exponerar denne för fler lärsituationer och därmed också ett potentiellt bättre läroresultat. Samtidigt finns risken att vägen leder kunskapsinhämtningen vilse och snarare skapar frustration än engagemang. Genomtänkta berättelser (stories) framtagna för att leda läroprocessen via väl valda hållpunkter kan överbrygga de två ytterligheterna och ge möjlighet att både följa en mer konventionell kunskapsöverföring och ha friheten att på egen hand utforska andra aspekter och delområden.

### ***Gamification***

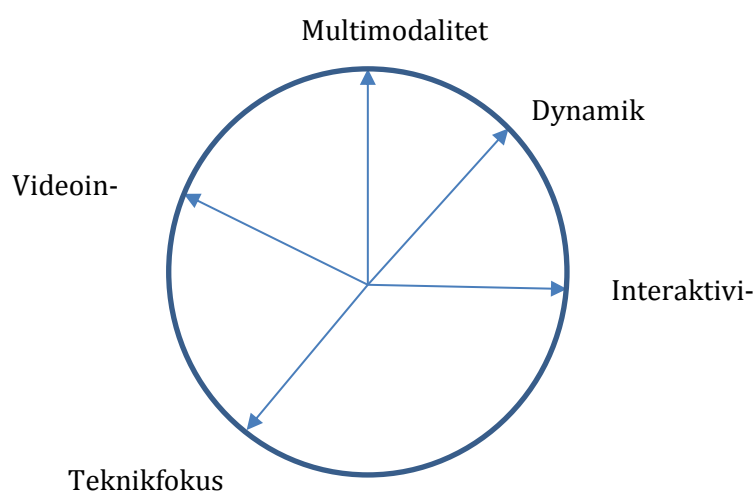
Att introducera en spelkomponent i lärandesystem har visat sig vara effektivt inom olika områden såsom musik, medicin och kemi (Ma & Oikonomou, 2017). Syftet är att komplettera läroprocessen med scenarior som inkluderar explicita utmaningar och inspirerande utmaningar för att öka engagemanget inför lärandet. Att lösa delproblem med hjälp av den hittills erhållna kunskapen inom biomedicin har exempelvis uppmuntrat till större kreativitet och därmed bidragit högre kognitiva färdigheter utifrån en given kunskapsbas (Taylor, Rivale, & Diller, 2007). Användandet av gamification inom matematiska visuella lärandesystem är däremot ännu rätt sparsamt använt, om man exkluderar den uppsjö av rudimentära appar som syftar till att lära ut de fyra räknesätten eller motsvarande grundläggande matematiska begrepp. En sökning i början av maj 2018 via App Annie med sökordet mathematics ger ca 1700 stycken appar på Apples AppStore för IOS telefoner och surfplattor ([www.appannie.com](http://www.appannie.com)). Det är däremot relativt nyligen som forskning tagit sig an utmaningen att kombinera spelkomponenter med mer komplicerad matematik för att undersöka i vilken utsträckning gamification också kan bidra till lärandet på en högre nivå (Faghihi, et al. 2017).

## **6.2.5 Klassificeringsmodell**

Det kan konstateras att det finns ett brett spektrum av ansatser för visuella lärandesystem med matematisk inriktning. Likaså vilken hård- och mjukvaruplattform de är tänkta att användas på. Detta gör det komplicerat att jämföra på vilket sätt de uppfyller olika grundkomponenterna som har identifierats. För att komma runt detta har en enkel klassificeringsmodell använts baserat på

en vanlig visualiseringsform: spindel- eller radardiagrammet. Den multidimensionella modellen tillåter att ett antal egenskaper hos lärandesystemet kan graderas och underlättar därmed jämförelsen dem emellan. Egenskaperna som inkluderats initialt är:

- Multimodalitet
- Dynamik
- Interaktivitet
- Teknikfokus
- Videoinslag



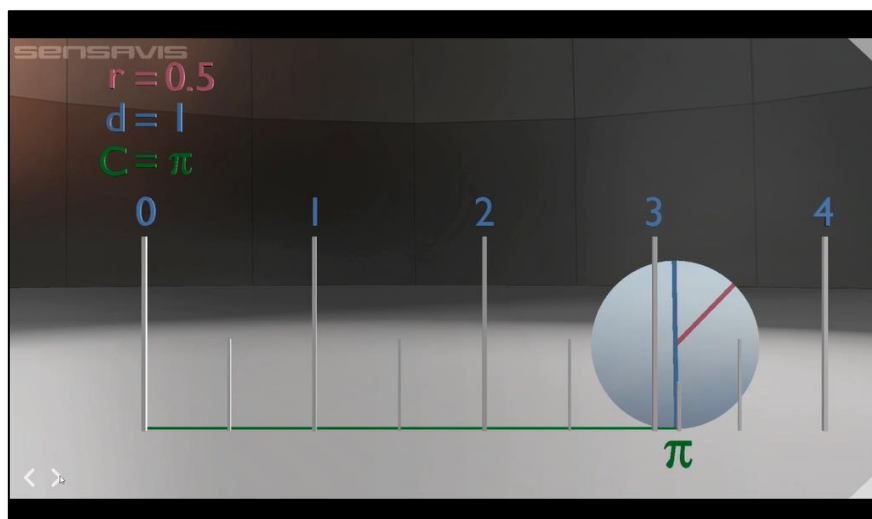
**Figur 12.** Illustration av klassificeringsmodell

### 6.2.6 Exempel på lärandesystem

Antalet och diversiteten tillåter inte någon mer uttömmande genomgång av de ansatser till visuella lärandesystem som går att hitta. Istället har tre stycken olika typer plockats ut för att illustrera hur olika lösningarna blir beroende på hur egenskaperna i klassificeringsmodellen prioriteras.

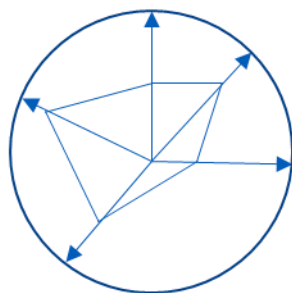
#### *Sensavis Visual Learning Tool*

Detta lärandesystem täcker in en mängd olika ämnen och delmoment ([www.sensavis.com](http://www.sensavis.com)). Systemet använder berättelser med färdiganimerat material och tillåter viss interaktivitet, bl.a. ändring av kameravinkel och mätning i det presenterade materialet. Genom att använda text, bilder, video och ljud är systemet multimodalt. Frihetsgraderna i att förändra valfria egenskaper hos de presenterade grafiska komponenterna är begränsat, varför dynamiken hos systemet är lågt.



**Figur 13.** Visualisering av förhållandet mellan omkrets och  $\pi$

Sammantaget kan Sensavis Visual Learning Tool sammanfattas i följande klassificeringsgraf.



**Figur 14.** Klassificeringsmodell representerande Sensavis

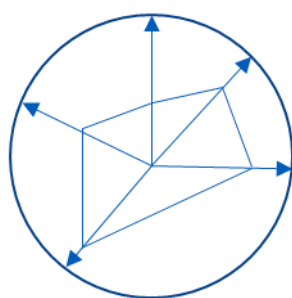
### **Construct3D**

Till skillnad mot de andra systemen som använder sig av konventionella skärmar för sin presentation använder Construct3D glasögon för augmented reality (AR) för att visualisera geometri i allmänhet och 3D-geometri i synnerhet ([www.ims.tuwien.ac.at](http://www.ims.tuwien.ac.at)). Utifrån hypotesen “*complex spatial problems and spatial relationships may be comprehended better and faster when working directly in 3D*” har ett omfattande och tekniskt komplicerat system arbetats fram.



**Figur 15.** AR glasögonen i Construct3D som tillåter att 3D-geometrin visualiseras i rummet.

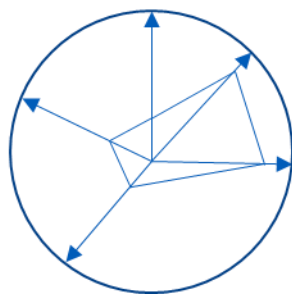
Detta tar sig uttryck att teknikfokus har tillåtit att överskuggar en mer pedagogisk ansats för att påvisa vilken effekt tekniken i systemet har på lärresultaten. Lärresultaten har i de väl citerade artiklarna om systemet inte givits så stor uppmärksamhet utan man har nöjt sig med att konstatera systemets positiva påverkan på elevers entusiasm och engagemang. Därifrån har man sedan dragit slutsatsen att engagemangökningen även i det här sammanhanget kommer att leda till förbättrade lärresultat. Att undvika det komplicerade problemet med att mäta effekt på läroprocessen givet en insats är inget unikt för Construct3D utan flertalet ansatser mot visualisering för lärande har liknande upplägg med ett starkt fokus på teknik och teknikutveckling. I vilken utsträckning en sådan omdefinition av den övergripande problemformuleringen fortfarande låter resultatet av teknikutvecklingen vara relevant som lärandesystem kan diskuteras. Systemet har hög interaktivitet som konsekvens av att den 3D-geometri som presenteras kan påverkas i stor utsträckning. Figuren här under presenterar Construct3D i den föreslagna klassificeringsmodellen.



**Figur 16.** *Klassificeringsmodell representerande Construct3D*

### **Geogebra**

Av de presenterade lärandesystemen är Geogebra det i särklass mest dynamiska alternativet ([www.geogebra.org](http://www.geogebra.org)). Graden av interaktivitet och hur flexibelt det går att studera ett specifikt geometriskt förhållande eller problem gör att programvaran mer kan ses som ett geometriverktyg snarare än ett lärandesystem som enbart syftar till att bistå läroprocessen. Förutsatt ett större antal berättelser som skulle kunna leda läroprocessen på ett snävare sätt så skulle Geogebra vara ett ytterst potent alternativ, framförallt inom visualisering av 2D-geometri. Figuren här under presenterar Geogebra i den föreslagna klassificeringsmodellen.



**Figur 17.** *Klassificeringsmodell representerande Geogebra*

### **6.2.7 Slutsats**

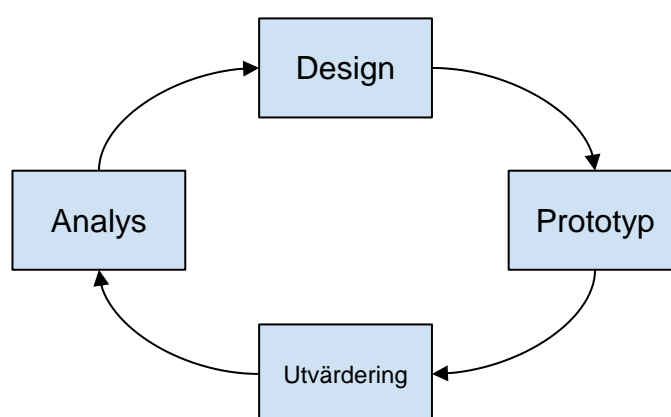
De nuvarande formerna av lärandesystem tillåter inte att de ersätter konventionella läromedel, men kan genom genomtänkt bruk fungera som ett kraftfullt komplement. Rätt använt reducerar

de den kognitiva belastningen associerad med lärprocessen och förbättrar läranderesultaten. Genom att enbart applicera en godtycklig applikation för matematisk visualisering i klassrummet är det fullt möjligt att det inte går att påvisa några som helst statistiskt säkerställda effekter. Hur de olika grundkomponenterna ska balansera för att ge ett optimalt resultat kräver noggrann planering och design. Att sedan kunna uppmäta vilket faktiskt effekt detta ger på lärprocessen kräver ytterligare en väl kontrollerad experimentell uppställning.

### 6.3 Utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse ur ett ingenjörsperspektiv

Det finns två huvudsakliga perspektiv på utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse: Det vetenskapliga och det ingenjörsmässiga. Det senare framhävs i litteratur som *The UX Book: Process and guidelines for ensuring a quality user experience* av Rex Hartson och Pardha S. Pyla. Nyckelskillnaden mellan perspektiven ligger i vilka mål utvärderingen har.

Utvärderingar av produkter och interaktiva system sker sällan i isolation utan handlar oftare om ett delsteg i en mer övergripande iterativ utvecklingsprocess, generellt kallad designprocessen, se figur 18. Målet i produktutveckling och designprocessen är alltid att förbättra produkter, bland annat genom att förbättra produktens användbarhet och användarupplevelse. Det är alltså annorlunda än det vetenskapliga perspektivet där målet är att förklara och förstå.



**Figur 18.** Designprocessens fyra steg.

Användbarhet definieras i ISO 9241-210 som följande:

*“Extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use.”* (ISO 9241-210 s. 3.)

Användbarhet handlar alltså till stor del om effektivitet - att användaren kan slutföra de mål och uppnå det resultat som önskas på ett så effektivt sätt som möjligt. Stor vikt läggs vid hänsynen till att det gäller *specifika* användare, med *specifika* mål, i en *specifik* kontext för användandet. Användbarheten varierar alltså om dessa förutsättningar ändras.

Användarupplevelse definieras i ISO 9241-210 som följande:

*“Person’s perceptions and responses resulting from the use and/or anticipated use of a product, system or service.” (ISO 9241-210 s. 3.)*

Den noterbara skillnaden är alltså att användbarhet omfattar mer objektivt mätbara egenskaper som effektivitet och produktivitet medan användarupplevelse omfattar subjektivt mätbara egenskaper som emotioner. Utöver skillnaden i definition så noterar ISO 9241-210 även att användbarhet med perspektivet av användarens personliga mål kan inkludera de emotionella aspekterna som typiskt sett associeras med användarupplevelsen. Samtidigt nämner de att användbarhetskriterier kan användas för att fastställa olika aspekter av användarupplevelse. Det innebär i effekt att användarupplevelse kan ses som en del av användbarhet. Då metoderna rent praktiskt ofta skiljer sig, även om kriterierna delvis överlappar, finns det ändå ett värde i att särskilja termerna.

### 6.3.1 Kategorisering av utvärderingsmetoder

Ett sätt att kategorisera utvärderingsmetoder är att se på metoderna som antingen formativa eller summativa. Formativa metoder är formgivande i sin natur och hjälper designers att ändra designen löpande. Av den anledningen är de primärt diagnostiska och i huvudsak kopplade till kvalitativ data. Summativa metoder fastställer istället den kvalitetsnivå som en design uppnått, i synnerhet den förbättring tidigare formativ utvärdering gett, och utgår ifrån kvantitativ data. Ett passande citat från Robert E. Stake om skillnaden mellan de två:

When the cook tastes the soup, that’s formative; when the guests taste the soup, that’s summative. (Stake, 2004, s.17)

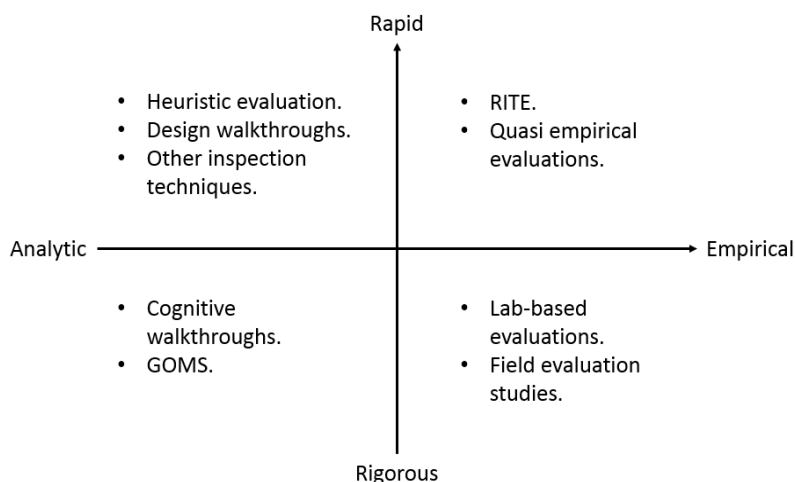
Det är möjligt att vidare kategorisera summativ utvärdering som antingen formell eller informell. Formell summativ utvärdering karaktäriseras av empiriska studier med en rigorös experimentell design som involverar hypotesprövning med oberoende variabler och ett resultat som utsätts för signifikanstester. Hartson menar i *The UX Book* att det är en viktig kompetens bland de som utövar människa-datorinteraktion, men säger samtidigt att det faller utanför det som han menar omfattas av utvärdering av användarupplevelse. Anledningen är att målet inte är att utöka gränserna av mänsklig kunskap, som i vetenskaplig forskning, utan att förbättra produkter och system. Kraven på våra metoder bör helt enkelt se annorlunda ut med detta i åtanke.

Informell summativ utvärdering används för att kvantitativt summera och fastställa nivån av användbarhet och användarupplevelse genom att mäta olika prestandamått som tiden för en användare att slutföra en uppgift, antalet fel som uppstår, eller antalet musklick. Detta ställs i relation med tidigare etablerade användbarhets- och användarupplevelsemål. I informell summativ utvärdering används endast summerande, beskrivande statistik som medelvärde och median. Det kan användas som en form av acceptanstest i slutet av en utvecklingscykel.

Tillsammans med formativ utvärdering utgör informell summativ utvärdering det som i *The UX Book* kallas för användarupplevelseutvärdering (eng. *UX Evaluation*). Termen omfattar då både användbarhets- och användarupplevelseutvärderingar.

Metoderna kan indelas beroende på var de faller in mellan två ortogonala skalor, se figur 19.





**Figur 19.** Olika metoder faller inom kvadranterna för snabba gentemot rigorösa metoder och empiriska gentemot analytiska metoder.

### ***Snabba och rigorösa metoder***

Att välja mellan snabba och rigorösa metoder kan förenklas till ett avvägande mellan kostnad och validiteten av resultaten. Rigorösa metoder omfattar en helomslutande process bestående av förberedelser, datainsamling, dataanalys och resultatrapportering. De minimerar antalet fel i utvärderingen men till en tidskostnad. I praktiska termer utförs ofta rigorösa utvärderingar i användbarhetslab. Rigorösa empiriska metoder, om än inte perfekta, som labbaserad utvärdering är den måttstock som andra metoder jämförs mot. De är användbara när kvantitativa mått som tiden för att slutföra uppgifter, antalet fel, med flera, är av intresse. Det vill säga hur väl användaren kan använda produkten ur ett prestandaorienterat sammanhang. Användbarhetslab ger en kontrollerad miljö som minimerar distraktioner och därmed ger mer pålitliga resultat. Ibland kan det emellertid vara av större intresse att se hur produkten används i en mer realistisk miljö för användaren. I dessa fall kan empiriska tester i fält också tillämpas.

Snabba metoder används istället hellre i de tidiga faserna av produktutveckling där produkten fortfarande förändras mycket. I de fallen är det ofta inte ekonomiskt försvarbart att utföra rigorösa tester. Det finns snabba empiriska tester som RITE (*Rapid Iterative Testing and Evaluation*), men i huvudsak faller snabba metoder under den analytiska delen av skalan.

### ***Empiriska och analytiska metoder***

De empiriska rigorösa metoderna är, som tidigare nämnts, de metoder mot vilka andra metoder ofta jämförs. Det finns emellertid också rigorösa analytiska metoder. Dessa introspektiva metoder är ofta kopplade till kognitiva modeller. Exempelvis finns specialiserade modeller där människan ses som en informationsprocessor. Genom att uppskatta tiden det tar för en användare att förflytta ögonen, att ta hänsyn till användarens minneskapacitet, med mera, så kan en uppskattning av prestandan för designen tas fram. Modellerna är mycket komplicerade och beskrivs därför inte i *The UX Book*.

Analytiska metoder är oftast inte rigorösa. Det finns många exempel på metoder inom den snabba analytiska delen av skalan, bland annat designgenomgångar och heuristiska utvärderingar. Gemensamt för dessa metoder är att de oftast har ett simpelt ramverk som utvärderare kan följa för att bedöma olika delar av användbarheten och användarupplevelsen. I exempelvis heuristiska utvärderingar nyttjas ett antal heuristiker där ett antal frågor beskrivs utifrån varje heuristik. Genom att utvärderare besvarar frågorna erhålls insikter i designens användbarhet.

### 6.3.2 Datainsamlingsmetoder

Det finns många olika sätt att samla den data som krävs för att utvärdera användbarheten. Exempel inkluderar kritiska incidenter, tänka-högt, enkäter och biometri.

### 6.3.3 Standarder i litteraturen - ISO 9241

I litteratur som The UX Book och Interaction Design: Beyond human-computer interaction omnämns aldrig standarder som ISO 9241, ISOs standard för ergonomi inom människa-datorinteraktion. I den senare omnämns ISO endast som ett standardiseringsinstitut som arbetar med att ta fram denna typ av standarder. ISOs standarder citeras emellertid ofta för deras definitioner av användbarhet och användarupplevelse i 9241-11 Guidance on usability och 9241-210 Human-centred design for interactive systems, respektive, utanför litteraturen.

### 6.3.4 Slutsatser från utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse ur ett ingenjörsperspektiv

Det är lätt att hamna i situationen som utvärderare där den metod som är *bäst* eftersöks. Ur ett ingenjörsperspektiv är dock inte det viktigaste att använda den bästa metoden - det är att använda en metod som fungerar. Hartson menar att vi ska välja den metod som hjälper oss möta våra mål och att vara flexibla och adaptiva i valet av metod.

## 6.4 Utvärderingar i forskningslitteratur: Utvärderingsmetoder för användbarhet och användarupplevelse

Visualiseringar har i sin nuvarande användning i mångt och mycket praktiserats som ett hantverk. Ett stort antal metoder för datavisualisering har utvecklats under senare år och utvärderingen av dess funktion eller värde har i stort sett av utgjorts informella utlåtanden från potentiella användare. Hur effektiv en visualiseringsmetod än må vara eller hur väl uppbyggd den är ur ett teoretiskt perspektiv spelar emellertid ingen roll om den inte förmår att överföra önskad information på ett effektivt sätt.

Utvärdering innebär att på olika sätt testa hur väl en visualisering fungerar, att på något sätt mäta dess värde eller den effekt den ger. Med ursprung i datavetenskap och annan teknisk/naturvetenskaplig forskning låg i begynnelsen mycket fokus på etablerade metoder för utvärdering av bildkvalitet eller prestanda för algoritmer. Då dessa inte på ett tillräckligt sätt kunde mäta effekten eller värdet av en utvärdering började man titta mer på de utvärderingsmetoder som används inom designområdet då de har ett tydligt användarperspektiv. Användarstudier erbjuder vetenskapligt underbyggda metoder för att mäta funktion och prestanda hos visualiseringar. Med utgångspunkt i designmetodik och människa-system-interaktion har metoder utvecklats för att utvärdera visualiseringars användbarhet och de användarupplevelser de ger[1].

Detta kan ses som en naturlig följd av att syftet med visualisering är att skapa tekniker och metoder som med data från simuleringar, mätningar eller databaser genererar en klar mental bild av väsentlig data och möjliggör en snabb och precis tolkning. Vidare syftar visualisering till att skapa förståelse, göra dold information synlig, åskådliggöra det tänkta och förenkla och

förtydliga för användaren. Visualisering är en användar-centrerad process, detta medför att användare bör användas i utvärderingen vilket gör att både objektiva och subjektiva, kvantitativa och kvalitativa metoder används. Som nämnts tidigare definieras användbarhet enligt ISO (2010) som :

The extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use. (ISO 9241-210, s.3)

Detta låter sig inte på ett smidigt sätt översättas till svenska men med ”effectiveness” syftar man på den noggrannhet eller fullständighet med vilken användare kan uppnå ett visst mål. Med ”efficiency” syftar man på den insats i form av resursanvändning som krävs för att uppnå en viss noggrannhet eller fullständighet. ”satisfaction” sammanfattar vad användaren tycker om produkten och mäter åsikter, attityder, preferenser, komfort, förtroende etc.

I början av 2000-talet när visualisering på riktigt började etablera sig som ett vetenskapligt fält kunde man identifiera ett stort problem i det faktum att de utvärderingar som utfördes inte var övertygande nog för att gagna en bred acceptans vare sig för kommersiella visualiseringsverktyg eller för visualisering som ett vetenskapligt område. Detta har lett till att vi under senare år kunnat se ett väsentligt ökat användande av utvärderingsmetoder, ett tydligare ramverk och en utveckling av metodiken för utvärdering av visualiseringar. Idag är det nödvändigt att inkludera någon form av utvärdering i vetenskapliga publikationer som presenterar någon ny idé inom visualiseringsteknik. Idag ser vi också en ökning i antalet vetenskapliga studier inom visualiseringsområdet kring användbarhet, användarupplevelse och användarprestation (Isenberg, Isenberg, Chen, Sedlmair, & Möller, T. 2013). Hur man åstadkommer vetenskapliga, evidensbaserade och reproducerbara metoder för användar-centrerad utvärdering är fortfarande idag en av de stora utmaningarna inom visualiseringsforskning.

#### **6.4.1 Vad är nödvändigt för att kunna genomföra en bra utvärdering?**

För att genomföra en bra utvärdering som håller för vetenskaplig publicering krävs; en god och genomtänkt experimentdesign, urval av data, experimentell metod, analys och beskrivning av utförandet. Värt att notera är också att användar-centrerade utvärderingar ofta kräver stora resurser i form av personal och tid (Johansson & Forsell, 2016). När det gäller forskning kring utvärdering av visualiseringar så är utmaningarna i stort de samma som i all empirisk forskning; att hitta rätt fokus, ställa de rätta frågorna, välja rätt metodik, vara noggrann i genomförande, datainsamling och analys och relatera resultaten till tidigare forskning och existerande teorier. Användar-centrerad utvärdering spänner sig över flera vetenskapliga områden och involverar t.ex. både människa-dator-interaktion (typiskt användbarhet, gränssnitt mm), perceptionspsykologi (begriplighet, tydlighet, läsbarhet mm) och kognitiv psykologi speciellt kring de delar som rör resonemang och beslutsfattande (typisk ett mycket stort spann från enkla uppgifter som att jämföra, ranka eller urskilja till komplexa uppgifter eller koncept som att utveckla en insikt eller testa en hypotes). En nyckelfråga när det gäller utvärdering av visualiseringar är naturligtvis huruvida en visualisering lyckas förklara eller förtydliga data och i förlängningen bidrar till att skapa insikt. Frågeställningen kompliceras ytterligare av att visualiseringar genererar informationsbearbetning och analytiska uppgifter att lösa hos användaren. Dessa kan vara komplexa, otydliga och tidskrävande problem, t.ex. att upptäcka det oväntade i underliggande data. Vad insikt egentligen är varierar också från person till person (Carpendale, 2008).

### 6.4.2 Metodik

Man kan fråga deltagarna i en utvärdering vad de har lärt sig, förstått eller vunnit i insikt genom att använda en visualisering och ur deras svar få fram resultat. Men, man måste vara medveten om att det kommer att vara beroende av deltagarnas motivation, tidigare erfarenheter, personliga preferenser och intresse av det aktuella problemet etc. (North, 2006). Trots detta är användar-centrerad utvärdering fortfarande ett bra verktyg för att kunna mäta användbarhet och användarupplevelse. Dessa typer av subjektiva utvärderingar är idag väl utvecklade, vida spridda och vetenskapligt vedertagna.

Att utvärdera visualiseringar kan jämföras med annan forskning som syftar till att förstå hur komplexa adaptiva system fungerar. Ett exempel på komplexa adaptiva system är ekologiska system som typiskt definieras av att de är icke-linjära, nästlade och ömsesidigt beroende och ofta på något sätt självorganiserande vilket medför att det är nödvändigt att ha ett mer holistiskt angreppssätt för att utvärdera visualiseringar (Carpendale, 2008). Vidare gäller det för utvärderingar av visualiseringar i likhet med studier inom t.ex. beteende- och samhällsvetenskaplig forskning ofta stävar efter att uppnå tre mål, en hög generaliserbarhet, en hög precision och en hög grad av realism. För att uppnå detta krävs ofta att man kombinerar flera utvärderingsmetoder (Mcgrath, 1995).

### 6.4.3 Metoder

Metoder för utvärderingar av visualiseringar kan indelas i olika klasser, vanligen använda klassificeringar är till exempel kvalitativa metoder eller kvantitativa metoder, kontroll (till vilken grad), om utvärderingen är utförd av oerfarna användare eller experter. Vidare klassificerar man ofta om utvärderingen syftar till att vara utforskande, formativ eller summativ. Förutom olika kvantitativa mått på användarprestationen så är följande metoder frekvent använda:

- Observation
- Intervju
- Think aloud (även Talk aloud)
- Enkät eller frågeformulär (fritext eller Likertskala)
- Inspektion

Ofta används en kombination av kvantitativa och kvalitativa metoder. Kvantitativa för att mäta tex. Den tid som krävs för att användaren skall ösa en uppgift, andelen korrekta/önskade svar eller utvärdering av en Likert-enkät. Bland de kvalitativa metoder som används finns bland annat observation, intervjuer, ”think-aloud” eller inspektion. Typiskt så syftar de kvalitativa metoderna till att ge en rikare och mer fyllig bild av upplevelse och användbarhet än den statistik som de kvantitativa metoderna ger. Vad gäller utvärdering av visualiseringar inom forskning så gäller det i likhet med mer yrkes- eller ingenjörsmässiga utvärderingar att metoden skall vara anpassad till syftet dvs. den aktuella forskningsfrågan för att åstadkomma ett gott resultat. Vidare måste den också vara anpassad till tillgängliga resurser i form av tidsåtgång, deltagare, utrustning m.m. och att utföraren behärskar de metoder som används och utför dem noggrant<sup>4</sup>.

Den aktuella forskningsfrågan bör utgöra startpunkten och även vara drivande för utvärderingsprocessen. Olika frågor kräver olika metoder, vad är syftet med utvärderingen?

- Att utvärdera styrkor och svagheter hos en visualiseringsteknik?
- Är visualiseringstekniken praktiskt användbar?
- Att jämföra olika tekniker, är A bättre än B? På vilket sätt?
- Att visa varför är en viss teknik effektiv för att lösa en uppgift och en annan inte.
- Visa att ett visst teoretiskt antagande är tillämpligt under vissa förhållanden.

Ett stort antal metoder och kombinationer av metoder har tillämpats i vetenskapliga publikationer inom visualiseringsområdet. Lam, Bertini, Isenberg, Plaisant och Carpendale (2012). har presenterat en scenario-baserad klassificering av studier för utvärdering av olika visualiseringar. De presenterar sju scenarion inom visualisering och beskriver vilka forskningsmål kan uppnås, vilken typ av frågor som kan undersökas samt möjliga utkomster i form av data och resultat. För varje scenario ger de riktlinjer och förslag på vilka metoder som är lämpliga att använda för att angripa olika typer av forskningsfrågor och problem med referenser till vetenskapliga publikationer som använt just dessa. De sju beskrivna scenarierna är utvärdering av:

- Data-analys och resonemang
- Arbetsmiljö och arbetssätt
- Kommunikation genom visualisering
- Data-analys genom samarbete
- Användarprestation
- Användarupplevelse
- Visualiseringstekniker

Studien har fokus mot informationsvisualisering och baserat på denna presenterade Isenberg et.al.<sup>3</sup> en utökad undersökning som syftade till att inkludera samtliga grenar inom visualiseringsforskningen. Båda dessa publikationer rekommenderas som läsning för de som önskar en introduktion till området.

## 7. RESULTAT INTERVJUER

Resultaten från intervjuer och dagböcker visar på vissa skillnader mellan skolorna men huvudsakligen är resultaten likartade. I Sundsvall användes appen tillsammans med egenkonstruerade läromedel. I Härnösand användes appen mer som ett komplement till de läromedel som redan användes på skolan, Glerups digitala läromedel. I Sundsvall har datorer inte använts i undervisningen i lika hög utsträckning som i Härnösand där man använt sig av digitala läromedel sedan en tid tillbaka. Läraren i Sundsvall hade ingen vana vid att använda datorer i undervisning då datorer tidigare saknats på skolan. I detta fall skiljer sig skolorna åt då man i Härnösand använt datorer i undervisningen sedan tidigare. Med andra ord fanns det en skillnad mellan skolorna när det gäller lärarnas och elevernas erfarenheter av att använda datorer i undervisningen. Trots olika vana bland de inblandade och variationen i användandet av Sensavis app kan troligen de skillnader i resultat som framkommer mellan skolorna huvudsakligen förklaras av skillnaden i årskurser.

### 7.1 Bidrag

Lärarna på skolorna är samstämmiga när det gäller synen på det bidrag som Sensavis app ger till undervisningen. En viktig punkt är möjligheten till interaktivitet. I Sundsvall användes möjligheten att spela in egna presentationer i appen i hög utsträckning och det betraktas som en viktig möjlighet till interaktion. På båda skolorna framkommer att kommunikationen mellan elever om innehållet ökade i förhållande till arbetet med mer traditionella läromedel. Just den ökade kommunikationen och interaktionen mellan eleverna beskrivs av lärarna på båda skolorna som en positiv effekt av appen. Resultatet visar alltså att eleverna samarbetade i högre utsträckning när de använde appen. Lärarna beskriver också att eleverna var positiva till användandet av datorer och appen i undervisningen. Detta visar sig också i de beskrivningar som eleverna gjorde på skolan i Sundsvall. Den elevgrupp som använde appen i Sundsvall ger precis som läraren med vissa undantag en positiv beskrivning av arbetet med appen. Lärarna pekar också ut möjligheten att stimulera fler sinnen som en positiv effekt av att använda appen.

### 7.2 Problem

På båda skolorna förekom problem av teknisk art som inte är direkt kopplat till Sensavis app. Problemen bestod i att installationen av Windows 10 inte fungerade optimalt, detta gäller båda skolorna. Operativsystemet Windows 10 användes inte på skolorna och inte i kommunen vilket innebar att nya installationer krävdes på samtliga datorer. Detta innebar problem som i Härnösand ledde till att undervisningen fördröjdes tidsmässigt. Andra problem som förekom hade mer att göra med skolornas nätverk. Till exempel ställde brandväggar till med vissa problem. I Sundsvall blev lagringen av de filer som eleverna skapade ett problem. De var tvungna att lagra filerna på skolans server och de kunde inte lagras i de datorer som eleverna använde. Detta ställde till problem när eleverna i vissa fall blev utloggade ur systemet och inte kunde logga in igen på ett tag. Det blev alltså problem med åtkomsten av de filer som de arbetade med.

När det gäller Sensavis app framkom också vissa brister i relation till geometri som innehåll i skolan. Några av de saker som framkom i Sundsvall var kopplade till 3-dimensionell visualisering, skalor och geometriska benämningar, sammansatta figurer och trianglar. När det gäller den tredimensionella visualiseringen nämns avsaknaden av streckade linjer i figurerna som skulle visa "baksidan" av figurerna. Denna avsaknad minskar känslan av att figurerna är tredimensionella. Läraren saknade också enheter på skalorna, något som upplevdes som en brist.

Appen bedömdes också ha brister då det gällde att bearbeta sammansatta figurer och andra typer av trianglar än rätvinkliga.

## 8. SLUTSATSER

### 8.1 Sammanfattande resultat

Genom projektet önskade vi få svar på frågan om och hur lärande via 3D-visualisering i matematikmomentet geometri skiljer sig från traditionellt lärande i matematik med avseende på resultat, attityder och förståelse. En annan fråga vi också ville veta mer om var huruvida det föreligger skillnader i pojkars och flickors resultat i jämförelse mellan de två lärometoderna.

Det första vi kan konstatera är att *provkonstruktionen* inte var optimal. Vi skulle ha haft bättre kontroll över provfrågorna därför att svårighetsgraden inte var lämplig för klass 8. Det saknades också frågor på vissa nyckelområden som Sensavis tränande, exempelvis cirkelgeometri (mycket på kvadrater)- saknades en hel del. Ingen tredimensionell geometri. 3D används inte inom geometri-avsnittet, varken åk 6 eller 8. Provfrågorna handlade inte heller om de delar som Sensavis har sin styrka, 3D, om att exempelvis förklara förhållande mellan omkrets och radie i en cirkel. Eleverna fick inga sådana frågor provet så det mätte inte direkt det digitala programmets specifika styrka.

Det andra vi har lärt oss om är tiden för *provgenomförande*. Det har stor betydelse när på dagen det genomfördes. Många elever var tröttare efter lunch (post-test) än före när pre-testet genomfördes. Elever med ADHD-mediciner presterade sämre på eftermiddagen då medicinens effekter klingade av. Några elever mätte inte så bra vid provtillfället med påföljden av kraftfullt försämrade resultat.

När det gäller *elevernas resultat*, en av de stora forskningsfrågorna i studien, så fann vi inga signifikanta skillnader. Detta kan hänga ihop med konstruktionsproblem med studien. Svårighetsgrad var ej tillräckligt hög i åk 8, vilket gjorde att förbättringar inte helt kunde mätas då maximalt antal poäng slog i taket.

Beträffande elevers *attityder* till matematikmomentet kan konstateras att i kontrollgruppen för åk 6 förbättrades attityden signifikant, dvs. elever i kontrollgruppen var mer positiva till vald lärometod än elever i experimentgruppen. När det gäller åk 8 kunde dessa resultat inte mätas därför att pre-enkäten kom bort.

Frågan om *flickors och pojkars resultat och attityder* kan vi för det första konstatera att flickorna i båda klasserna hade bättre förkunskaper än pojkarna. I åk 8 var flickornas pre-resultat i stort sett lika med pojkarnas post-resultat. Trots att provet var för enkelt uppmättes ändå en större förbättring bland flickorna. I åk 6 var flickorna mer positiva än pojkarna i kontrollgruppen. Det kan inte uteslutas att detta beror på skillnader i upplägg, till exempel att det helt saknades ett traditionellt läromedel i experimentgruppen åk 6. Därutöver kan vi inte skönja några signifikanta skillnader.

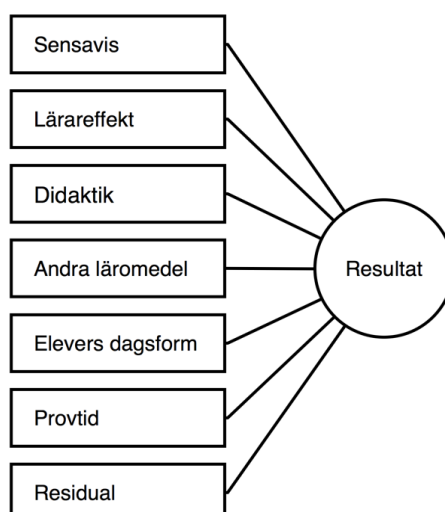
Dock framkommer i de kvalitativa resultaten positiva attityder och beteenden från eleverna vid arbetet av det visuella läromedlet. Elevernas *samarbete och kommunikation förbättrades* under lektionerna. Vidare pekade lärarna på att med 3D-läromedlet gavs större möjligheter till att *stimulera flera sinnen* under lärprocessen. Ytterligare en positiv effekt av det digitala läromedlet var att eleverna gavs mer tillfällen till att arbeta med datorer. En tydlig slutsats är att 3D-läromedlet är ett viktigt komplement i undervisningen men kan inte användas helt självt. Sammanfattningsvis kan sägas att resultatet visar att lärarna ser Sensavis app som ett möjligt komplement till andra läromedel. Lärarna betraktar också appen som en positiv faktor för elevernas



interaktion och kommunikation i klassrummet. Trots att appen hade vissa brister när det gäller visualisering av geometri betraktas den av lärarna som ett kompletterande läromedel som stimulerar till samarbete och dialog. På skolan i Sundsvall där man inte använt datorer i undervisningen i så hög utsträckning gav också användandet av appen en möjlighet för vissa av eleverna att utveckla datorvana. Variationen av kunskaper när det gäller datoranvändning i allmänhet visade sig i undervisningssituationerna. Användningen av dator och app gav alltså som bieffekt en möjlighet att ge mer generella erfarenheter av digitala verktyg till elever med liten datorvana.

## 8.2 Svårigheter med att mäta effekter av undervisning

Lärande kan inte observeras direkt. Istället får vi försöka observera lärande indirekt, till exempel genom olika typer av prov. Problemet med detta är att det finns många andra bakomliggande faktorer som har stor påverkan på provresultat. Att mäta effekterna av undervisning hamnar ytterligare ett steg längre bort ifrån det faktiska lärandet, och ytterligare faktorer utöver de som är önskvärda att studera har en stor inverkan på det provresultat som blir måttet på undervisningsinsatsen (se figur 20).



**Figur 20.** Exempel på bakomliggande faktorer till den uppmätta faktorn, resultat på geometriprovet. Ytterligare (okända) faktorer och mätfel representeras av residualen.

För att komma åt den önskvärda faktorn måste effekterna av de faktorer som inte är föremål för undersökningen elimineras så långt det är möjligt. De flesta faktorernas inverkan kan dels reduceras genom ett stort urval vilket jämnar ut individuella skillnader, dels genom strikta instruktioner för genomförandet av både interventions- och kontrollbetingelserna. Vissa saker kan förhållandevis enkelt konstanthållas, som tidpunkt på dagen för genomförande av provtillfällena eller vilka läromedel som används.

## 9. DISKUSSION

Den här förstudien gav egentligen inga entydiga svar på frågan om och hur lärande via 3D-visualisering i matematikmomentet geometri skiljer sig från traditionellt lärande i matematik med avseende på resultat och attityder, både allmänt och mer specifikt mellan flickor och pojkar. Åtminstone gav inte den statistiska undersökningen ett tydligt svar, medan de kvalitativa resultaten gav oss några ledtrådar.

För det första kan vi varken sälla oss till de forskare som anser att 3D-visualisering är överlägset som läromedel för elevers resultat (exempelvis Bamford, 2011; Weng, 2011) eller till de forskare som varnar för dess effekter för elevers kognitiva överbelastning (exempelvis Gerjets & Scheiter, 2003). Våra resultat ligger mer i linje med de slutsatser Skolforskningsinstitutet (2017) drar, att undervisning med digitala läromedel i matematik kan ha positiva effekter, men en lika effektiv undervisning kan möjligen designas på andra sätt. Däremot pekar resultaten i vår studie på ett flertal störningsmoment som kan ha påverkat möjliga resultat (Hylén, 2013) och behovet av god teknologin och välutvecklade programvaror (Cheung & Slavin, 2011). Några "störningsmoment" och som kan utgöra förbättringsområden för inför framtida studier är följande:

- Goda kunskaper om hur denna typ av studie skall genomföras för att kunna få mätbara skillnader. Provkonstruktionen bör dels vara baserad på IRT, dvs provfrågor som kan mäta elevernas hela kompetensnivåer, dels frågor om rätt saker. Det får gärna vara utprovade provfrågor. Ett förslag är att undersöka om det finns lämpliga frisläppta uppgifter från nationella prov som är testade och man vet fungerar.
- Genomförandet av provtillfällena behöver kontrolleras så att det är likvärdiga förhållanden i grupperna och vid pre- och post-tillfällena.
- Genomförande av interventionen behöver mer riktlinjer så att insatserna blir jämförbara.
- Större urval kan utjämna många av de olikheter som uppstod i förstudien.
- Lärareffekter kan ha spelat en viss roll i denna studie därför att det var olika upplägg i åk 6 och åk 8. Att åk 6-eleverna uppvisade en negativ attitydförändring i experimentgruppen, kan ha att göra med att i åk 6 producerade läraren själv tilläggsmaterial. Detta kan ha uppfattas vara rörigare och därmed en risk för mindre överblickbarhet för elever i åk 6. I åk 8 användes Sensavis som tilläggsmaterial. Därmed var designen olika på upplägget.

För det andra bekräftar vår studie Elentaris resultat (2017), dvs. att Sensavis programvara inte gav ett positivt resultat på elevers lärande, snarare tvärtom. Hon pekar också på några av de problem vi sett, nämligen tekniska svårigheter, interventionens design och instruktioner till arbetet med programvaran.

För det tredje gav den här studien inte heller något svar på skillnader mellan flickors och pojkars lärande med 3D-visualisering. Vi fick bekräftat att flickornas hade bättre kunskaper inom momentet geometri. Pojkars högre förmåga till spatial visualisering (Ben-Chaim et al.; 1988. Battista, 1990) eller deras högre spatiala intelligens (Gardner, 1985) fann vi inga belägg för i studien, men det var också en mycket liten del i själva kunskapsmätningen.

För det fjärde gav de kvalitativa analyserna dock en djupare förståelse för upplevelsen av Sensavis app. Lärarna på båda skolorna betraktade appen som ett möjligt kompletterande läromedel. De beskriver visualiseringen i sig, trots brister, som en positiv faktor i undervisningen. Lärarna är också samstämmiga om att Sensavis app hade en positiv effekt genom att kommunikationen

om innehållet geometri ökade bland eleverna. Beskrivningen i dagböckerna av utsagor från eleverna i årskurs 6 ger intrycket att eleverna upplevde arbetet med appen som något positivt. Detta är något som delvis motsäger resultaten från attitydtestet.

För det femte har vi i denna studie analyserat resultaten med hjälp av två övergripande ramverk för integrering av teknikstöd i lärande, SAMR (Puentedura, 2013) och TPACK (Koehler & Mishra, 2009). Det förra ramverket bidrog med en taxonomi vid diskussionen av hur väl teknikens möjligheter tagits tillvara av läromedel och i läraktiviteter, det senare för en diskussion om de didaktiska frågeställningarna med fokus på teknikens roll. Båda delarna är högaktuella med tanke på den ökande digitaliseringen av skolan, särskilt i samband med att läroplanen just reviderats med utökade skrivningar avseende digital kompetens (Skolverket, 2017). Vad som framkommit är att de förlagsproducerade läromedel som förekom i förstudien till stor del var exempel på de lägre nivåerna i SAMR-modellen och har alltså inte designats till sin fulla potential med avseende på vad den digitala tekniken möjliggör. I förstudien kom inte TPACK-modellen in förrän i analysfasen. I en framtida studie bör den dels användas i designfasen av interventionen för att säkerställa ett didaktiskt upplägg som inkluderar tekniken på ett bra sätt, dels under genomförandet som ett diskussionsunderlag och till hjälp vid klassrumsobservationer. TPACK är också användbar i aktionsforskning (se t.ex Tee & Lee, 2011) som genom sin cykliska natur är värdefull i utvecklingen av undervisningsmetoder (Van den Akker, Gravemeijer, McKenney, & Nieveen, 2006).

Sammanfattningsvis kan vi instämma i den kör som efterfrågar empiriskt grundad forskning på 3D-visuella läromedel. Här finns många aspekter att ta hänsyn till och många utvecklingsområden. För att kunna jobba med multimodala arbetsätt i klassrummen behövs nya vägar att tänka och undervisa vis nyttjande av de digitala resurserna (Grönlund et.al 2017). Vi ser även behovet av mera forskning om matematikdidaktik, könsskillnader och användning av bilder (Presmeg, 2006) samt vikten av förenade teorier i matematikens digitalisering vilket har efterfrågats av flera forskare (exempelvis Presmeg, 2006) och praktiker.

## **9.1 Tekniska implikationer**

### **9.1.1 Användning av visualiseringsverktyg i skolsituationen**

Visualiseringsverktyget som användes i studien krävde en del anpassning av befintlig teknisk utrustning. Verktyget är utvecklat för operativsystemet Windows 10, vilket inte användes på någon skola, eller inom respektive kommun. Utvalda datorer måste därför installeras med detta operativsystem. Visualiseringsverktyget kommunicerar med en server under användandet, men skolans brandvägg stoppade den datatrafiken. Lokala installationer eller åtgärder i brandvägg är därför nödvändiga. Eleverna fick lov att lagra filer på skolans server för att kunna komma åt dem vid nästa arbetstillfälle. Problemet var då att en del elever blev utloggade och fick vänta innan de åter kunde logga in och komma åt filerna. En lösning på det problemet var att eleverna sparade filerna lokalt på datorn och man såg till att varje elev fick samma dator vid alla tillfällen.

Lärarnas erfarenhet av datorer påverkade också tiden för att lösa problem med handhavandet. En god planering är därför nödvändig för att utbilda lärare och se till att hela systemet fungerar problemfritt i undervisningen.

### 9.1.2 Anpassning av verktyg till frågeställningar

Många forskningsfrågor kopplade till visualisering och interaktivitet diskuterades i ett tidigt skede av förstudien. Sådana gällde elevindividuella anpassningar, spelifiering, interaktivitet med geometriska objekt, etc. För att kunna genomföra studier som beaktar sådana variabler, skulle hård- och mjukvara behöva vidareutvecklas och anpassas. Den kommersiella mjukvara som nyttjades i studien tillät inte sådana ändringar att utföras av forskarna, utan mjukvaran skulle behöva omarbetas av företaget som tillhandahöll verktyget. Då tiden för sådan utveckling är svår att förutse, beslöts att verktyget skulle användas som det var. Med mer öppna mjukvarulösningar kan alternativa förfaranden och uttryck enklare skapas och ytterligare kunskap om lärandeprocessen med interaktiv visualisering kan genomföras i framtida studier.

Avsnitt 9.2.4 Verktygsbeskriver närmare de forskningsidéer kring visualiseringsverktyg som framkom under förstudien.

## 9.2 Framtida forskning

Förstudien har haft som delmål att identifiera möjliga forskningsfrågor för framtida projekt. Under förstudietiden noterades idéer enligt nedan. De gäller både direkta forskningsfrågor, men även idéer kring hur forskningsmetoden kan förfinas för att bäst svara på forskningsfrågorna. Utifrån dessa idéer kommer sedan forskningsprojekt att formuleras där fokus kommer att vara på den forskning som bedöms ha störst effekt för målgruppen. Det bedöms även ha störst möjlighet att generera tillräcklig finansiering. De idéer kring forskningsfrågor som framkommit i förstudien har delats upp i områdena Didaktik, Effekter för lärande, Effekter för undervisning, samt Verktyg.

### 9.2.1 Didaktik

Inom didaktiken samverkar lärare, elever samt stoffet, där frågan *hur?* är central. En tanke är att visualisering kan utgöra *hur* i denna triangel. Samverkan mellan dessa enheter är mycket komplex och det finns många delar som både kan hjälpa och stjälpa inläringen.

Ett fokus på forskning kan också vara att studera skillnaden mellan att använda digital teknik jämfört med analogt genomförande, exempelvis den sociala och kontextuella mobiliteten. Tidsaspekter för användande av digital visualisering är av intresse då de kan ge kortare ställtider med rätt förutsättningar, under förutsättning att tekniken fungerar. Det tar troligen längre tid att sätta sig in i läromedlet eftersom lärare och elever måste anpassa sig till olika verktyg som är specialiserade på olika detaljer i lärandet. En annan aspekt är ekonomi; är digitalt läromedel billigare? En individualisering av läromedel är troligen enklare (bör undersökas), vilket kan ge lägre kostnader.

Jämfört med förstudien har konstaterats att en större studie är av vikt. En längre och mer omfattande studie ger bättre statistisk signifikans hos resultaten, en bättre förståelse av processer, och dessutom kan minnesbehållningen studeras. I en större studie kan även lärarens kompetens- och anpassningsförmåga beaktas.

Spelifiering och visualisering kan vara intressant att studera. Dels är uppbyggnad av handling (*storyline*) något som kan undersökas, dels hur yttre och inre motivering påverkar läranderesultatet, speciellt hur spelet kan både under- och överstimulera dess användning. Motivering av inbyggd nivåanpassning i spelifieringen kan möjligen ge rätt lärmiljö för elever på olika kunskapsnivåer. Digitaliserade verktyg som lärmiljö möjliggör även automatisk rapportering av

elevernas progression, vilket ger återkoppling till läraren om moment som behöver undervisas mindre eller större utsträckning för att nå lärandemålen. En tanke som uppkommit är om man kan utgå från läroplanen och skapa en LGR11-säkrad visualisering?

Lämpliga ämnen för dessa forskningsidéer har bedömts vara Matematik (ex. geometri), pedagogiklärande teorier och historiska förlopp. Andra ämnen såsom språkgrammatik har bedömts alltför komplexa.

### 9.2.2 Effekter för lärande

Ett fokus på förstudien har varit elevers lärande och vilken effekt introducerandet av visualiseringsverktyg har på lärandet. En tanke som uppkommit är att det skrivna ordet blir av mindre betydelse när visualiseringar används för lärandet. Visualiseringar kan därför ge lässvaga elever ett alternativt lärosätt. Det kan vara till fördel för att lära sig vissa ämnen, men samtidigt skulle det behöva undersöka om den långsiktiga minnesbehållningen blir annorlunda.

Frågor kring processer för lärandet har uppkommit, bland annat att teknikstött lärande kan ha både positiva och negativa effekter beroende på processens utformning. Exempelvis vilken effekt kan man få av en viss intervention (ex. alla former av undervisning, genomgång, berättande, etc.) och hur kan visualisering stödja detta? Och hur mycket lärande krävs av nyttjandet av datorer och användargränssnitt krävs för att i sin tur lära sig ämnet?

Ett fokus för framtida forskning kring digital visualisering för lärande bör ha en samhällsnytta. Grundskolan där alla barn passerar blir därför viktig då en förbättring ger mest effekt för samhället. Förstudien fokuserade på skillnader mellan flickor och pojkar, vilket skulle kunna utvecklas ytterligare. Skillnader i intressen och tycke kan möjligen ge skillnader i lärande så att val av färger och strukturer i visualiseringar skulle kunna ha en effekt.

### 9.2.3 Effekter för undervisning

Det är möjligt att forskning av visualiseringen i en lärandekontext snarare ska fokusera på hur den kan vara ett stöd för läraren i undervisningen istället för på effekter för lärandet. En av vinsterna här är att en lärandeprocess är mycket komplex och därför mycket svår att mäta, medan vinsten för undervisningen kan mätas med mer tillgängliga undersökningsinstrument. Sådan forskning skall då studera lärarna istället för eleverna. Framtida forskning kan bland annat identifiera kognitiv belastning, såsom vad som gör tekniken svår att använda.

Visualisering för undervisning kan identifiera koncept som är svåra att förmedla och där visualisering kan underlätta den uppgiften. En behovsanalys av sådana koncept behöver då genomföras. En tanke är att man kan utgå från Booms taxonomi för att skapa visualiseringar som möjliggör lärande på olika nivåer: Fakta, Förståelse, Färdighet, Förtrogenhet, vilka möjligen också kopplas till spelifiering. Visualiseringarna skulle också kunna kopplas till elevers lärtilar (jfr Kolbs lärtyper).

### 9.2.4 Verktyg

En naturlig del i en forskning kring visualisering, undervisning och lärande blir att beakta tekniska aspekter i skapandet och presentationen av visualisering. Digitala läromedel blir allt mer populära men en fråga är om de är digitala versioner av statiska pappersböcker eller om den digitala tekniken utnyttjas till mer multimediala, interaktiva och multimodala presentationer, där visualisering är en del. Viktigt för ny teknik är att den fungerar och inte blir en distraktion,

varvid andra program kan vara intressantare för lärsituationen. Användandet måste vara uppenbart, så att det ökar produktiviteten i lärandet och effektiviteten i undervisningen.

Framtida undersökningar kan också beakta hur man skapar bra visualiseringar för lärande. Är viss färgkodning fördelaktig även i lärandesituationen och finns där speciella designkrav för olika tillämpningar? Kvaliteten på renderingen blir allt bättre och mer lik verkligheten, men är detta kanske snarare en distraktion från själva lärandet? Andra frågor finns relaterade till hårdvara såsom om vanlig skärm eller huvudmonterad skärm är att föredra i vissa situationer. På vilket sätt bidrar interaktivitet?

En utgångspunkt i framtida undersökningar kan vara existerande visualiseringsverktyg för lärande såsom *3D-klassrummet* som används i förstudien, *GeoGebra* som är ett verktyg för att "leka" med geometri, eller *Mathetopia* som är nytt verktyg baserat på spelifiering. Dessa kan vara del av en studie, enskild eller ställda mot varandra, eller ligga som grund för nya verktyg.

### 9.3 Metod

Förstudien har tillämpat kvantitativ forskningsansats för att besvara studiens frågor. I arbetet med utformningen av genomförandet och analysen av data har idéer till kommit som kan vara tillämpliga i framtida forskning.

Idag är utveckling till stor del teknikdriven. Man utgår då ofta från mycket enkla kvalitativa kriterier som inte alltid är kopplade till lärandet. Exempelvis konstaterar man i studier teknik är engagerande bland elever och drar därmed slutsatsen att den också leder till bättre lärande. En så enkel slutsats kan inte dras utan vidare undersökning. Istället är det viktigt att identifiera vad som ska mätas och vad som är rimligt att mäta. Exempelvis går inte lärarens effekt att frikoppla från resultaten; forskning visar på att läraren är en av de viktigaste faktorerna för elevers lärande.

Utifrån exemplen förstår vi att det är viktigt att designa forskningsmetoderna noggrant. En randomisering av grupper vore önskvärt, en som arbetar med digital visualisering och en annan grupp med linjal och passare, men det kan av praktiska skäl i skolan vara svårt att genomföra. Prestandamått kan också vara svåra att välja. Tester där personer får utvärdera användbarhet (usability) och användarupplevelse (user experience, UX) baserade på både kvalitativa och kvantitativa metoder blir viktiga för själva användandet av tekniken, men det måste till ytterligare utvärderingar för att koppla tekniken och visualiseringen till kvaliteten i lärandet och undervisningen. Flera metoder behövs således och det blir viktigt med samarbete mellan olika ämnen och discipliner.

## Referenser

- Andersson, A., Hatakka, M., Grönlund, Å. & Matilda Wiklund, M. (2013). Reclaiming the students – coping with social media in 1:1 schools. *Learning, Media and Technology*, Vol. 39, No. 1, 37–52, <http://dx.doi.org/10.1080/17439884.2012.756518>
- Andersson, A., Wiklund, M. & Hatakka, M. (2016). Emerging collaborative and cooperative practices in 1:1 schools. *Technology, Pedagogy and Education*, Vol. 25, No. 4, 413–430, <http://dx.doi.org/10.1080/1475939X.2015.1060896>
- Bamford (2011). The 3D in Education White Paper. <http://www.gaia3d.co.uk/news/the-3d-in-education-whitepaper>
- Battista, M. T. (1990). Spatial visualization and gender differences in high school geometry. *Journal for research in mathematics education*, 47–60.
- Ben-Chaim, D., Lappan, G., & Houang, R. T. (1988). The effect of instruction on spatial visualization skills of middle school boys and girls. *American Educational Research Journal*, 25(1), 51–71.
- Bentley, C. & Bentley, P-O., (2011). *Det beror på hur man räknar. Matematikdidaktik för grundlärare*. Stockholm: Liber.
- Bronack, S., R. Sanders, A. Cheney, R. Riedl, J. Tashner, and N. Matzen. 2008. “Presence Pedagogy: Teaching and Learning in a 3D Virtual Immersive World. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education* 20 (1): 59–69.
- Carpendale, S. (2008). Evaluating information visualizations. *Information visualization*. 19-45.
- Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational research review*, 9, 88–113.
- Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., Ecclestone, K. (2004). *Learning styles and pedagogy in post-16 learning. A systematic and critical review*. London: Learning and Skills Research Centre.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4. ed., intern. student ed). Los Angeles, Calif: SAGE.
- De Jager, T. (2017). Perceived advantages of 3D lessons in constructive learning for South African student teachers encountering learning barriers. *International Journal of Inclusive Education*, 02 January 2017, Vol.21(1), p. 90-102.
- Dyrvold, A. (2016). The role of semiotic resources when reading and solving mathematics tasks. *Nordic Studies in Mathematics Education*, 21(3), 51–72.
- Elentari, A. (2017). *Evaluating the effect of the Sensavis visual learning tool on student performance in a Swedish elementary school* (Magisteruppsats). Umeå Universitet, Umeå. <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1110430>
- Ekelund, R. (2017). Klockan klämtar för digitala läromedel. *OGD-Opinion*. Debattartikel. 2017-05.24
- Faghihi U., Aguilar, D., Chatman, D., Gautier, N., Gholson, J., Gholson, J. & Lipka, M (2017). How to Apply Gamification Techniques to Design a Gaming Environment for Algebra Concepts. In: Vincenti G., Bucciero A., Helfert M., Glowatz M. (eds). *E-Learning, E-Education, and Online Training. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 180. Springer, (pp. 61-70)
- Ferk, V., Vrtacnik, M., Blejec, A., & Gril, A. (2003). Students’ understanding of molecular structure representations. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1227–1245.
- Gardner, H (1985). *Frames of minds. The Theory of Multiple Intelligences*. New York; Basic Books

- Gerjets, P., & Scheiter, K. (2003). Goal configurations and processing strategies as moderators between instructional design and cognitive load: evidence from hypertext-based instruction. *Educational Psychologist*, 38, 33–41.
- Grönlund, Å., Wiklund, M. & Böö, R. (2017). No name, no game: Challenges to use of collaborative digital textbooks. *Education and Information Technologies*.
- Güven, B., & Temel, K. (2008). The effect of dynamic geometry software on student mathematics teachers' spatial visualization skills. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 7(4).
- Huk, T (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 392-404.
- Hylén, K. (2013). Digitalisering i skolan – en kunskapsöversikt. *Ifous rapportserie 2013:1*. Stockholm. Ifous och FoU Skola/Kommunförbundet Skåne.
- IBM Corp. (2017). *IBM SPSS Statistics for Macintosh* (Version 25.0). Armonk, NY: IBM Corp.
- Isenberg, T., Isenberg, P., Chen, J., Member, Sedlmair, M. & Möller, T. (2013). A systematic review on the practice of evaluating visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19.12 (2013): 2818-2827.
- ISO 9241-210:2010 Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centered design for interactive systems.
- Johansson, J. & Forsell, C. (2016). Evaluation of parallel coordinates: Overview, categorization and guidelines for future research. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22.1 (2016): 579-588.
- Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Computers & graphics*, 27(3), 339–345.
- Khalil, M. K., Paas, F., Johnson, T. E., & Payer, A. F. (2005). Interactive and dynamic visualizations in teaching and learning of anatomy: a cognitive load perspective. *The Anatomical Record (Part B, New Anat.)*, 286(1), 8–14. doi: 10.1002/ar.b.20077
- Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70.
- Kurtulus, A., & Uygan, C. (2010). The effects of Google Sketchup based geometry activities and projects on spatial visualization ability of student mathematics teachers. I *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. Vol. 9, (p. 384–389).
- Korakakis, G., Boudouvis, A., Palyvos, A., Pavlatou, E, A. (2012). The impact of 3D visualization types in instructional multimedia applications for teaching science. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 31, 145-149. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.12.032>
- Korakakis, E.A. Pavlatou, J.A. Palyvos, N. Spyrellis (2009). 3D visualization types in multimedia applications for science learning: A case study for 8th grade students in Greece. *Computers & Education* 52 (2009) 390–401
- Kosara, R., Healey, C.G., Interrante, V. D.H. & Ware, C. (2003). Thoughts on user studies: Why, how, and when. *IEEE Computer Graphics and Applications* 23.4 (2003): ss 20-25.
- Kushwaha, R. C., Chaurasia, P. K., & Singhal, A. (2014). Impact on Students' Achievement in Teaching Mathematics Using Geogebra. I *Technology for Education (T4E), 2014 IEEE Sixth International Conference on* (p. 134–137).
- Lam, H., Bertini, E., Isenberg, P., Plaisant, C., & Carpendale S. (2012). Empirical studies in information visualization: Seven scenarios. *IEEE transactions on visualization and computer graphics* 18.9: 1520-1536
- Lord, C. (1980). Schemas and Images as Memory Aids: Two Modes of Processing Social Information". *Journal of Personality and Social Psychology*. 38(2):257–269.
- Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction*, Vol. 14, No 3, (pp 257-274).



- Ma, M., Oikonomou, A. V., & Jain, L. C. *Serious games and edutainment applications*. London: Springer-Verlag London, 2011.
- Mayer, R. E., Hegarty, M., Mayer, S., & Campbell, J. (2005). When Static Media Promote Active Learning: Annotated Illustrations Versus Narrated Animations in Multimedia Instruction. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 11(4), 256-265.
- Mcgrath, E. (1995). Methodology matters: Doing research in the behavioral and social sciences. *Readings in Human-Computer Interaction: Toward the Year 2000* (2nd ed.).
- Narayanan, H.N & Hegarty, M. (2000). Communicating dynamic behaviors: Are interactive multimedia presentations better than static mixed-mode presentations? *Theory and Application of Diagrams*, Springer, Edinburgh, (pp 178-193).
- Nordqvist, M. (2016) *On Mathematical Reasoning: being told or finding out*. Doctoral thesis, Umeå University, Department of Mathematics.
- North, C. (2006). Toward measuring visualization insight. *IEEE computer graphics and applications* 26.3 : 6-9.
- OECD. (2009). *PISA Data Analysis Manual: SPSS, Second Edition* (2:a uppl.). Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Hämtad från [http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-data-analysis-manual-spss-second-edition\\_9789264056275-en](http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-data-analysis-manual-spss-second-edition_9789264056275-en)
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D. & Bjork, R (2009). Learning Styles: Concepts and Evidence. *Psychological Science in the Public Interest*. 9 (3), (pp. 105–119).
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4.
- Pilli, O., & Aksu, M. (2013). The effects of computer-assisted instruction on the achievement, attitudes and retention of fourth grade mathematics students in North Cyprus. *Computers & Education*, 62, 62–71.
- Presmeg, N. C. (2006). Research on visualization in learning and teaching mathematics. I *Handbook of research on the psychology of mathematics education* (s. 205–235).
- Punch, K. F., & Oancea, A. (2014). *Introduction to research methods in education* (2nd edition). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Radford, L. (2001). On the relevance of semiotics in mathematics education. I *Discussion Group on Semiotics in Mathematics Education at the 25th PME International Conference* (pp. 12–17).
- Richards, D., Taylor, M. (2015). A Comparison of learning gains when using a 2D simulation tool versus a 3D virtual world. *Computers & Education*, 86, 157-171. doi: 10.1016/j.compedu.2015.03.009.
- Saha, R. A., Ayub, A. F. M., & Tarmizi, R. A. (2010). The effects of GeoGebra on mathematics achievement: enlightening coordinate geometry learning. I *Procedia-Social and Behavioral Sciences* .Vol. 8, (pp. 686–693).
- Skolforskningsinstitutet (2017). Digitala läresurser i matematikundervisningen. Delrapport skola. Systematisk översikt 2017:2 (1/2)
- Skolverket (2017). <http://siris.skolverket.se/siris/f?p=Siris:1:0>
- Skolverket. (2017). Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet 2011: reviderad2017. Stockholm: Skolverket.
- Stake, Robert E. Standards-based and responsive evaluation. Sage publications, 2004.
- Taylor, M., Rivale, S.D. & Diller, K. (2007). Comparison of Student Learning in Challenge-based and Traditional Instruction in Biomedical Engineering, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 35, No 8, (pp 1312–1323).
- Tee, M. Y., & Lee, S. S. (2011). From socialisation to internalisation: Cultivating technological pedagogical content knowledge through problem-based learning. *Australasian Journal of Educational Technology*, 27(1). doi: 10.14742/ajet.984

- Utbildningsdepartementet (2017a.) U 2017:07 Utredningen bättre möjligheter för elever i obligatoriska skolformerna att nå kunskapskraven som minst ska nås
- Utbildningsdepartementet (2017b) U 2017:03 Utredningen om praktikinrä skolforskning i samverkan (PiS)
- Utbildningsdepartementet, (2017c). Stärkt digital kompetens i läroplaner och kursplaner. <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2017/03/starkt-digital-kompetens-i-laroplaner-och-kursplaner/>
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (Red.). (2006). *Educational design research*. London: Routledge.
- Weng, T. S. 2011. "3D Mathematics – Seeing is Believing." *International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning* 1 (1): 52–56. <http://www.ijeeee.org/Papers/008-E00093.pdf>.
- Wiklund, M. & Andersson, A. (2018). Student-initiated use of technology – Friend and foe. *E-Learning and Digital Media*. Vol. 15(1) 3–16. DOI: 10.1177/2042753017752767
- Winsløw, C. (2004). Semiotics as an analytic tool for the didactics of mathematics. *Nordic Studies in Mathematics Education*, 9(2), 81–100.
- Wu, K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88, 465–492.
- [www.appannie.com](http://www.appannie.com)
- [www.geogebra.org](http://www.geogebra.org)
- [www.ims.tuwien.ac.at](http://www.ims.tuwien.ac.at).
- [www.sensavis.com](http://www.sensavis.com)
- Yang, K.-H. (2014). The WebQuest model effects on mathematics curriculum learning in elementary school students. *Computers & Education*, 72, 158–166.
- Yeh, A., & Nason, R. A. (2004). Toward a semiotic framework for using technology in mathematics education: The case of learning 3D geometry. <http://eprints.qut.edu.au/1380>
- Zhang D., Zhou, L., Briggs, O. & Nunamaker, J. (2005). Instructional video in e-learning: Assessing the impact of interactive video on learning effectiveness. *Journal on Information & Management*, 43: 15–27.