

Analogiövning som stöd för elevers lärande om kemisk beräkning

Niklas Jeppsson

Österänggymnasiet

Hanterandet av komplexa frågeställningar inom kemi, såsom kemisk beräkning, kräver en sammansatt förståelse av kemiämnets tre olika kunskapsformer: den makroskopiska, den symboliska och den submikroskopiska. För att bemästra kemiska beräkningar behöver eleverna alltså uppnå större förståelse för abstrakta begrepp som substansmängd men även för hur detta förhåller sig till de symboliska och makroskopiska perspektiven. Ett sätt att stödja lärande av abstrakta fenomen inom naturvetenskap är att använda analogier. I denna artikel presenterar jag en undersökning av huruvida en övning med en partikelanalogi kan stödja eleverna i lärandeprocessen för kemisk beräkning. Resultatet tyder på att analogiövningen gynnade lärandet, och jag diskuterar utifrån detta möjligheten att inkludera den submikroskopiska kunskapsformen inom undervisningen av kemisk beräkning.

Kemisk beräkning ur ett lärandeperspektiv

Under mina tjugo år som undervisande kemilärare har jag lagt märke till att mina gymnasieelever upplever problem i processen att lära sig kemisk beräkning, stökiometri, även om detta givetvis inte är oövervinnligt. När de sedan närmar sig avslutningen på kursen och traditionellt kursprov brukar de själva ha svårt att förstå varför det var så svårt i början. När man väl har nått slutet på kursen är själva hantverket alltså hanterbart men att ta sig över tröskeln till förståelse är uppenbarligen svårt. En av de absolut vanligaste frågorna som jag får från eleverna är *“Vad är egentligen mol för något?”*. Detta handlar ju om substansmängd som ytterst bottnar i de allra minsta partiklarna, atomer och molekyler.

Som lärarkandidat undervisade jag en gång en klass i kursen som då betecknades kemi A. Det blev lite tid över i slutet på lektionen och för att *“fylla ut med något”* så slängde jag ut en snabb uppgift till dem: *“Rita på ett papper hur luft ser ut på atom/molekylnivå”*. Jag samlade in deras alster och blev förvånad över att åtminstone några av eleverna presenterade teckningar som föreställde kompakta kristallstrukturer, vilket är långt ifrån den sanna bilden av en gas. Det andra som slog mig var att några använde enhetliga symboler (cirklar) som om luft bestod av endast ett slags atomer eller molekyler, vilket ju inte heller stämmer. Det var en nyttig erfarenhet för mig och fick mig att få upp ögonen för glappet mellan deras och min föreställningsvärld, ifråga om hur det ser ut nere på partikelnivå. Det som för mig var självklart var inte alls självklart för eleverna som ju befann sig relativt tidigt i lärandeprocessen, någonstans under sin första kurs i kemi på gymnasiet.

Kan jag kanske som lärare använda alternativa förklaringsmodeller eller övningar med mer inslag av partikeldimensionen för att hjälpa eleverna i inledningen av momentet kemisk beräkning? I denna artikel presenterar jag en övning som jag genomfört med mina elevgrupper då de skall lära sig grunderna. I övningen fick eleverna arbeta praktiskt med en partikelanalogi kopplad till kemisk beräkning. För att ta reda på effekten på elevernas färdigheter i kemisk beräkning lät jag dem göra test före och efter övningen. I artikeln reflekterar jag vidare över vad i övningen som kan ha påverkat utfallet utifrån en didaktisk modell.

Det är utmanande för elever att växla upp från grundskolans till gymnasiets kemi

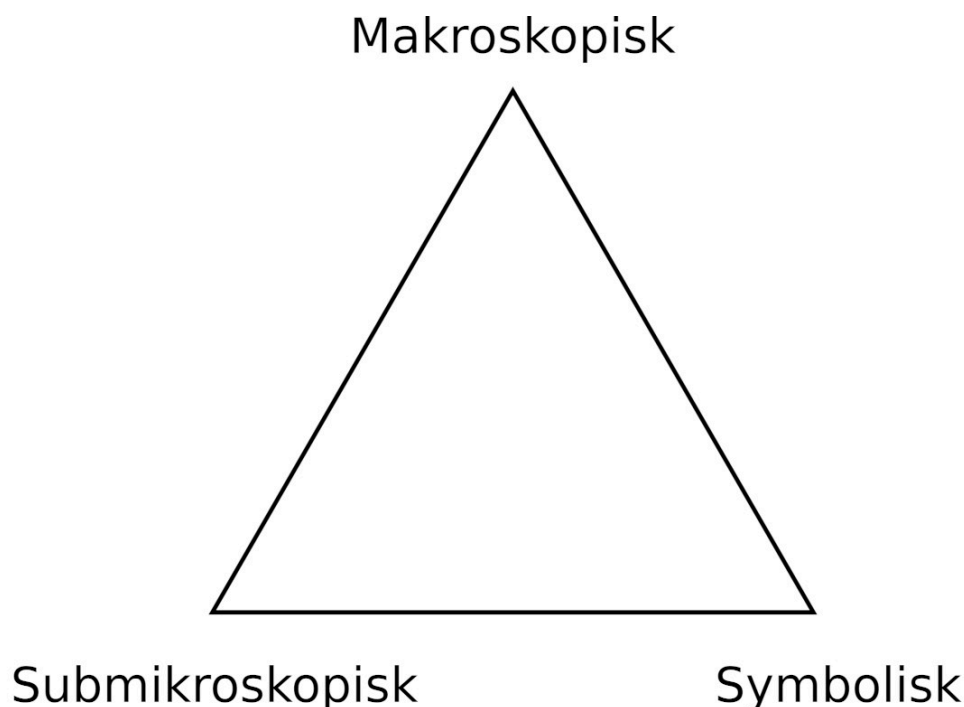
Förmågan att förvärva ny kunskap är beroende av vilka förkunskaper man har. Från grundskolans kemiundervisning har mina gymnasieelever på naturvetenskapsprogrammet med sig värdefulla ämneskunskaper. Dels i form av centrala begrepp, dels i hur man skriver och tolkar kemiska symboler, var för sig såväl som kombinerade i reaktionsformler. I grundskolan har de i matematikundervisningen även lärt sig att hantera algebra.

I början av gymnasiets Kemi 1-kurs möter de sedan kemisk beräkning, vilket de upplever som svårt trots att det rör sig om algebra som ligger på en nivå som är fullt jämförbar med vad de redan har mött i grundskolan. Svårigheten beror snarare på att kontexten är ny. Till exempel introduceras det nya storheter, med tillhörande enheter. Det ställs även högre krav på att kunna skriva kemiska reaktionsformler, och i och med detta förstå skillnaden mellan grundämnen och kemiska föreningar.

Vidare krävs det nu, i större utsträckning, att eleverna ska förstå att partikelnaturen hos atomer och molekyler påverkar materians makroskopiska särdrag och egenskaper. Till exempel behöver dessa partiklars relativa antal tas i beaktande vid kemiska beräkningar. På det hela taget alltså en högre komplexitet än på grundskolan. Hur skall jag rent konkret hantera detta i undervisningen? Vilka didaktiska modeller kan jag använda mig av?

Kemins abstraktion och komplexitet kräver flera perspektiv

Kemin som skolämne eller disciplin omfattas av kemins kunskapsformer vilka brukar presenteras som Johnstones triangel [1]. Dess tre hörn representerar de tre kunskapsformerna; symboliskt, makroskopiskt och submikroskopiskt [2] (Figur 1).



Figur 1. Kemins kunskapsformer presenterade som Johnstones triangel [1].

De laborationer som jag genomför med mina elever räknas till den makroskopiska kunskapsformen medan den symboliska inbegriper kemiska beteckningar, kemiska reaktionsformler och beräkningar som vi arbetar med under lektionerna. Slutligen handlar den submikroskopiska om materians partikelnatur som däremot är svår att studera med skolans utrustning. De tre kunskapsformerna är så beroende av varandra att man inte kan behärska kemiska fenomen utifrån endast en eller två av dessa. För full förståelse krävs att alla tre kunskapsformerna samverkar [1].

Samtidigt kan det vara problematiskt för kemielever som just börjat studera kemi på gymnasiet att hantera de tre kunskapsformerna på en och samma gång [2]. Eleverna bör istället ges möjlighet att befästa sina kunskaper inom respektive kunskapsform var för sig. Målet är emellertid att de tre kunskapsformerna slutligen skall mötas och stötta varandra för att eleven skall uppnå en djupförståelse inom kemiämnet. Den undervisande kemiläraren måste alltså gå en balansgång ifråga om progressionen i undervisningen.

Kemiska beräkningar utförs med hjälp av algebra, som hör till den symboliska kunskapsformen. Dessa beräkningar inkluderar nästan alltid substansmängd som ytterst representerar antalet partiklar (atomer, joner) och därmed har en stark koppling till det submikroskopiska. Substansmängden kan inte mätas på laboratoriet men knyts samman med massa och molmassa enligt ekvationen nedan. Massan som kan mätas på laboratoriets våg tillhör det makroskopiska. Molmassan, slutligen, binder samman massan med substansmängden. Genom att med vågen mäta massan av ämnet samt slå upp värdet på ämnets molmassa i en formelsamling kan eleverna sedan beräkna substansmängden.

$n = m / M$, där n är substansmängd (enheten mol), m är massa (enheten gram) och M är molmassa (enheten gram/mol).

Denna ekvation behöver eleverna behärska för att klara de absolut grundläggande beräkningarna i kemi. Längre fram kommer de att stöta på mer komplexa frågeställningar som de skall lösa med algoritmiska förfaringssätt som bygger på denna ekvation i kombination med andra liknande i serie samt ofta även kopplat till kemiska reaktionsformler. De kan inte lära sig alla tänkbara seriella varianter utantill utan måste kunna navigera sig fram till rätt lösning med hjälp av de verktyg, ekvationer och samband som de har tillgång till. Substansmängden är ofta central och förståelsen av denna är fundamental för att kunna få ihop helheten och kunna behärska de kemiska beräkningarna [3].

Analogier låter elever bekanta sig med det submikroskopiska perspektivet

Vari består då det problematiska vid starten av lärandet inom kemisk beräkning? Andra typer av problem som kräver algebraiska räkneoperationer med tre variabler tycks inte ställa till något problem för mina elever, såsom "Hur många kilo äpplen kan jag köpa om jag har 90 kr i plånboken och äpplena kostar 30 kr/kg?". Den symboliska kunskapsformen verkar därmed inte vara ett hinder, åtminstone inte när det handlar om en vardagskontext. Jag upplever heller inte att de har problem med det makroskopiska, som till exempel att mäta massan av en bit magnesium genom att lägga biten på en digital våg och läsa av displayen.

Då återstår bara det submikroskopiska perspektivet, vilket är abstrakt. För att stödja lärandet om naturvetenskapens abstrakta fenomen används ofta analoga modeller [4]. Då utgår man från en källdomän som är bekant för den lärande individen och som har en analog likhet med den så kallade måldomänen, det vill säga det fenomen som skall förstås och behärskas. De båda domänerna innehåller olika objekt men är ändå uppbyggda likadant rent strukturellt. I kemin används ofta analogier med målet att underlätta för eleverna att bekanta sig med nya obekanta storheter eller processer.

Jag, liksom många kollegor, använder till exempel ofta matlagning som analogi för att lära ut balanserade reaktionsformler samt begränsande reaktant. Här låter man emellertid inte eleverna hantera de enskilda partiklarna utan snarare portioner av ingredienser vilket alltså mer har inslag av makroskopisk karaktär, vilket rent matematiskt är kontinuerligt. Till den submikroskopiska kunskapsformen hör partiklarna som istället är av diskontinuerlig natur, och därför mäts i termer av ett antal. Partiklarna, till exempel atomer, kan dock inte ses för blotta ögat.

I min kemiundervisning använder jag även de välkända kulmodellerna, som finns på de flesta skolor, som en till storleken större källdomän för måldomänen enskilda partiklar. Detta för att låta mina elever studera hur atomer genom kemiska bindningar bygger upp molekyler eller jonkristaller. De får en bra bild av hur atomerna geometriskt fördelar sig inom en molekyl. På detta vis får de handgripligen titta på molekylen från olika vinklar, som komplement till tvådimensionella bilder i en lärobok. Genom geometrin i källdomänen kulmodellen kan mina elever få en bättre förståelse för hur laddningar fördelas över måldomänen molekylen. Att på detta sätt förstora upp något till en nivå där det blir hanterbart kallas av vissa forskare för makrofiering [5].

Eftersom partiklarna i den submikroskopiska kunskapsformen är så små att eleverna inte kan hantera dem enskilt måste partiklarna alltså visualiseras genom analogi med något bekant och handfast. Genom en liknande analogi skulle jag kunna inkludera den submikroskopiska kunskapsformen i beräkningarna.

Ärtor kan användas som analogi till atomer inom kemisk beräkning

När jag undervisar kemisk beräkning brukar den symboliska kunskapsformen, genom traditionella beräkningsövningar med algebra, få mest utrymme. Detta varvar jag med laborationer som bidrar med det makroskopiska perspektivet. Därmed får eleverna erfarenhet av kopplingen mellan dessa två kunskapsformer, vilket kan ses som den högra sidan i Johnstones triangel ([Figur 1](#)). Däremot behöver den submikroskopiska kunskapsformen få mer utrymme i undervisningen.

I min kemiundervisning har jag ofta låtit eleverna arbeta med en mindre övning där de får räkna och väga ärtor. Denna övning har jag rent intuitivt alltid tyckt varit givande utan att kunna sätta fingret på varför. Eftersom det kan ses som en analogi som kopplar ihop det submikroskopiska med det symboliska (den undre sidan i Johnstones triangel i [Figur 1](#)) så ville jag undersöka om det går att se någon effekt av övningen på elevernas lärande om kemisk beräkning.

Förutom det som krävs för att räkna uppgifter ur läroboken behöver eleverna i denna övning även bli varse partiklarna som det i grunden handlar om. Dessutom uppfyller jag även Skolverkets krav i Kemi 1-kursens centrala innehåll på att arbete med modeller skall ingå [6]. I min övning sker detta genom att eleverna rent handgripligen får arbeta med en analogi för partiklar.

Analogiövningen introducerades tidigt i momentet kemisk beräkning

Jag valde att upprepa denna övning för att utvärdera effekten på elevgrupper med ett upplägg som är inspirerat av design-baserad forskning [7]. En sådan kan utgå ifrån att man studerar elevgrupper i en undervisningssituation och utifrån resultatet dels inhämta didaktisk kunskap som är viktig för lärandet av momentet, dels kunna gå vidare och förbättra själva undervisningen.

Min övning bygger på att ärtor skall vägas och räknas för att åskådliggöra hur man skulle ha gjort med de verkliga partiklarna, atomerna och molekylerna ifall detta hade varit möjligt. Tanken är då att som ett komplement till det symboliska perspektivet helt enkelt visualisera att "Fem myror är fler än fyra elefanter", det vill säga att antal är oberoende av storheterna storlek eller massa men

att det finns matematiska samband mellan massa, antal enheter och massa per enhet. Jag brukar redan ganska tidigt i momentet kemisk beräkning inom Kemi 1-kursen låta eleverna arbeta med övningen med ärtor som en analogi till partiklar. Eleverna hanterar i detta inledande skede av kemin på gymnasiet endast ekvationen $n = m / M$.

Själva undervisningskontexten innebär att elever utför kemiska beräkningar vid ett antal stationer med utrustning och kemikalier som de kan arbeta handgripligen med. Vid en station möts eleverna av en bit kol och en digital våg åtföljd av frågan "Vilken substansmängd finns i kolbiten?". Detta innebär att de symboliska (algebran) och makroskopiska (kolbiten) perspektiven samverkar på ett ganska traditionellt sätt vid laborativt arbete (den högra sidan i Johnstones triangel, [Figur 1](#)). Eleverna arbetar parvis ([Figur 2](#)) och när de är klara med uppgifterna vid de olika stationerna får de fortsätta lösa lärobokens uppgifter på vanligt sätt.



Figur 2. Förutom kemiska beräkningar (den symboliska kunskapsformen) vägde eleverna kolbitar, och arbetade alltså även med den makroskopiska kunskapsformen. Här ses två elever i färd med att räkna och väga ärtor som var källdomän för att förstå måldomänen atomer/molekyler, det vill säga ett arbete med inslag av den submikroskopiska kunskapsformen.

Effekten av analogiövningen studerades i en autentisk undervisningssituation

Jag ville alltså testa om analogiövningen med ärtor kunde stödja lärandet. Därför lät jag, i samband med stationslaborationen, hälften av eleverna dessutom få räkna och väga ärtor på ett sätt som skulle efterlikna det som görs när man via substansmängden beräknar antalet sockermolekyler i en sockerbit ([Figur 3](#)). De fick alltså på ett konkret sätt arbeta med den submikroskopiska kunskapsformen. Denna grupp kallas framöver "Analogigruppen".

Analogiövningen innebär att vägning i det makroskopiska perspektivet sammanbinds med det submikroskopiska perspektivet (den vänstra sidan i Johnstones triangel, [Figur 1](#)) som representeras av partikelanalogin. Arbetet med att väga och räkna ärtor är lätt att förstå för eleverna och

uppfyller därmed det viktiga kriteriet på en allmänt bekant källdomän [8]. Proceduren med formuläret (Figur 3) kan dessutom också ses som ett sätt att sammanlänka det symboliska och det submikroskopiska perspektivet i och med den analoga likheten mellan beräkningarna som inbegriper "dussinmassan" för ärtorna respektive molmassan för sockermolekylerna (den undre sidan i Johnstones triangel, Figur 1). Båda länkningarna kopplar till den submikroskopiska kunskapsformen, just det jag var ute efter.

Exempel med ärtor	Exempel med sockermolekyler
<p>Steg 1. Räkna 12 ärtor och bestäm massan!</p> <p>Resultat: _____ g / dussin</p> <p>Steg 2. Ta ett prov med ett antal ärtor ("en näve") och bestäm massan för dessa.</p> <p>Resultat: _____ g</p>	<p>Steg 1. Beräkna molmassan för $C_{12}H_{22}O_{11}$ (socker)</p> <p>Resultat: _____ g / mol</p> <p>Steg 2. Ta en sockerbit och bestäm massan.</p> <p>Resultat: _____ g</p>

Figur 3. Hälften av eleverna fick göra denna analogiövning, där räkning och vägning av ärtor liknade arbetssättet vid bestämning av substansmängd för sockermolekyler.

För jämförelsens skull var andra halvan av elevgruppen en kontrollgrupp som framöver kallas "Räknegruppen". Istället för att arbeta med analogiövningen enligt ovan fick de under motsvarande tid istället arbeta med traditionella räkneuppgifter i läroboken. Dessa elever arbetade alltså enbart med det makroskopiska och det symboliska, men i övrigt med samma upplägg i undervisningen såväl före som efter interventionen. Jag delade även upp eleverna enligt Tabell 1 för att minska påverkan av skillnader i undervisning mellan de två deltagande klasserna samt av tiderna då förtestet skulle utföras.

Grupper	Klass		Labbtid		Övning
	1	2	f.m.	e.m.	
1A	X		X		Analogigrupp
1B	X			X	Räknegrupp
2A		X		X	Analogigrupp
2B		X	X		Räknegrupp

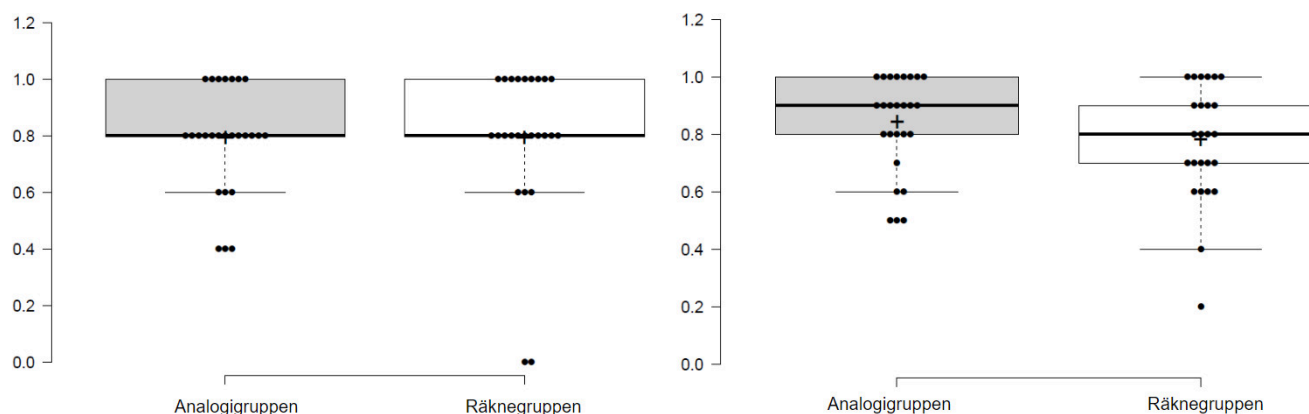
Tabell 1. Schema över hur övningarna fördelades mellan olika klasser och laborationstider. Totalt användes resultat från de 51 elever från två klasser (med en jämn fördelning mellan klasserna) som genomfört båda testen.

Elevernas förmåga att lösa kemiska räkneuppgifter utvärderades dels med ett förtest i halvklass strax före lektionen med analogiövningen, dels med ett eftertest i helklass fem dagar efter övningen. Testen tog 15 minuter att genomföra. För- och eftertesten var inte identiska men låg på liknande svårighetsnivå. I båda testen blandades kemiuppgifter med mattefrågor som innehöll storheter från vardagen (till exempel sträcka, hastighet, tid) för att få ett mått på elevernas kunskapsnivå i algebra i en vardagskontext med bekanta storheter och enheter.

Elever som arbetat med ärtor som analogi till partiklar presterade bättre

Eleverna i de båda försöksgrupperna (d.v.s de som arbetat med respektive utan analogiövningen) visade sig ha ungefär samma resultat på förtestet (Figur 4). När de två gruppernas prestationer däremot mättes genom resultatet på eftertestet, visade det sig att analogigruppen uppnådde ett

bättre resultat än räknegruppen.



Figur 4. Boxplotdiagram som visar resultat på förtestet (till vänster) och eftertestet (till höger) för analogigruppen respektive räknegruppen. Varje punkt motsvarar en elevs medelvärde för samtliga frågor i testet. På varje fråga fick eleverna 1 poäng för rätt svar och 0 poäng för fel svar. Maxresultatet var således 1,0.

Jag tolkar resultatet som att eleverna i analogigruppen överlag presterade bättre efter övningen än eleverna i räknegruppen. Den mest uppenbara skillnaden mellan dessa två grupper var ju att den grupp som hade bättre resultat hade arbetat mer konkret med den submikroskopiska kunskapsformen även om detta fick ske via en analogi. Men man kan ju ändå inte helt utesluta att andra faktorer kan ha spelat in. Skillnaden skulle till exempel även kunna tillskrivas att själva genomförandet av analogiövningen kan ha lett till en motivationshöjning. Det annorlunda arbetssättet kanske ledde till ett större engagemang från elevernas sida än vad det traditionella lösandet av uppgifter i läroboken kunde erbjuda i den aktuella undervisningssituationen.

Analogiövningen kan ge fler positiva effekter

Alla elever i analogigruppen förbättrade inte sina resultat från för- till eftertest. Detta kan man tolka som att de elever som förbättrade sig var mer redo för att hantera de tre olika kunskapsformerna samtidigt. De kan helt enkelt ha varit mer mogna att uppnå en djupare förståelse. Introducerade jag då kanske övningen för tidigt? Som lärare har jag alltid dilemmat med spridningen i elevernas progression. Trots att inte alla förbättrade sig så gav övningen i alla fall en mätbar positiv effekt på lärandet för några. Och i förlängningen vinner troligen hela elevgruppen på att en mindre grupp utvecklar sin förståelse. De som utvecklade sin förståelse kan komma att bli en tillgång i klassen genom att hjälpa de andra och därmed sprida kunskapen när de under lektionstid får arbeta med uppgifter, då de ofta sitter och diskuterar med varandra.

Dessutom kan själva arbetssättet vara bra för eleverna på sikt, eftersom analogin ger dem ett verktyg för att hantera lärandet av det abstrakta. Eleverna kan bli bättre på och ta mer ansvar själva för att hitta så kallade självgenererade analogier [8] och därmed vara bättre rustade att mer självständigt ta itu med framtida abstrakta fenomen inom naturvetenskap. Analogier i olika former är ju väletablerade inom naturvetenskaplig didaktik, och denna undersökning tyder på att man med fördel kan inkludera handfasta analogiövningar i undervisning av kemisk beräkning.

Hur påverkar detta min undervisning?

Denna undersökning av elevernas lärande har gett mig som lärare en fördjupning i kemididaktik, i synnerhet inom kemisk beräkning som är en viktig del i kemiämnet. Vidare har det motiverat mig att fortsätta att utveckla övningar som integrerar de tre kunskapsformerna, särskilt inom just

momentet kemisk beräkning eftersom de tre kunskapsformerna här på ett tydligt sätt möts. Detta är också ett moment där eleverna upplever svårigheter. Dessutom var det både spännande och givande att arbeta mer målmedvetet med att inkludera analogier i undervisningen samt att få fördjupa mig i deras styrkor och begränsningar. Sen gäller det bara att anpassa detta till min egen undervisning i de elevgrupper jag har. Blickar man vidare framåt skulle det dessutom vara intressant att utvärdera insatsen genom elevintervjuer för att skapa mig en bild av hur eleverna själva uppfattade övningen.

Författare



Figur 5. Författaren Niklas Jeppsson.

Niklas Jeppsson är gymnasielärare i Biologi och Kemi på Naturvetenskapsprogrammet på Österängsgymnasiet i Kristianstad. Han har sen tidigare en doktorsexamen i Hortikulturell Växtförädling från Sveriges Lantbruksuniversitet.

Referenser

1. Wickman PO, Olander J. Att undervisa om kemins karaktär. I: Kemi för alla - Bidrag från konferensen, 1-2 oktober 2018 i Stockholm. Linköping electronic press; 2019.
2. Taber KS. Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*. 2013;14(2). <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>
3. Strömdahl H. On mole and amount of substance: A study in the dynamics of concept formation and concept attainment (Doktorsavhandling). Göteborgs universitet; 1996.
4. Haglund J, Jeppsson F. Inledning. I: Jeppsson F, Haglund J, redaktörer. *Modeller, analogier och metaforer i naturvetenskapsundervisning*. Studentlitteratur; 2013.
5. Stadig Degerman M. Molekylära metaforer. I: Jeppsson F, Haglund J, redaktörer. *Modeller, analogier och metaforer i naturvetenskapsundervisning*. Studentlitteratur; 2013.
6. Ämnesplan för kemi. Skolverket; 2022.
7. Cobb P, Confrey J, diSessa A, Lehrer R, Schauble L. Design experiments in educational research. *Educational Researcher*. 2003;32(1). <https://doi.org/10.3102/0013189X032001009>
8. Haglund J. Självgenererade analogier stöder lärande. I: Jeppsson F, Haglund J, redaktörer. *Modeller, analogier och metaforer i naturvetenskapsundervisning*. Studentlitteratur; 2013.