

Ta inte de grundläggande begreppen inom naturvetenskapen för givna

Att träna begreppet massans bevarande och hur man skiljer rent ämnen från en blandning

Gunilla Åkesson Nilsson, Blekinges tekniska högskola, Karlskrona

Sammanfattning

Förståelsen för att materia och organismer består av mindre partiklar samt massans bevarande är grunden för att lära sig naturvetenskap. Vidare är det inom naturvetenskapen betydelsefullt att förstå hur de olika fysikaliska egenskaperna kan uppkomma och förändras i en produkt. Det är därför viktigt att känna till skillnaden mellan begreppen rena ämne och blandningar, eftersom rena substanser har ofta precisa och beständiga fysikaliska egenskaper, vilket en blandning inte har. Men att lära sig dessa begrepp har visat sig vara besvärligt.

Syftet med denna studie var att låta studenter som läser kemi 1 på Tekniskt basår genomföra olika praktiska övningar om materiens partikelnatur för att se om denna undervisningsform skulle kunna öka deras förståelse för massans bevarande. Vidare utvecklades en modell "Produkternas rotsystem av ämnen" för att träna på att särskilja begreppen rent ämne från blandning. Övningar gjordes i början av kursen. I slutet av kursen fick de svara på fem frågor om massans bevarande med vardaglig koppling.

Det var ungefär hälften som fick alla rätt på de fem frågorna, vilket är något bättre än 34 procent i gruppen som inte fick någon särskild undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande. En viss ökning i förståelse för skillnaden mellan begreppen rent ämne och blandning kunde urskiljas i deras tentamenssvar, men detta behöver undersökas i större omfattning för att kunna bekräftas.

Det är viktigt att undervisa studenter inom natur- och ingenjörsvetenskapliga utbildningar om begreppen materiens partikelnatur, massans bevarande, rent ämne och blandning. Annars kan dessa kunskapsbrister begränsa deras möjligheter att kunna lära sig mer avancerade koncept inom naturvetenskapen. Detta är särskilt viktigt för lärosäten som satsar på breddad rekrytering eftersom undervisningen inom naturvetenskap kan begränsas eller prioriteras bort för elever i grundskolan som följer en anpassad timplan till förmån för ämnen som krävs för gymnasiebehörighet.

Abstract

The understanding that matter and organisms consists of small particles and the conservation of mass is the basis for learning science. Furthermore, in the sciences it is important to understand how various physical properties can arise and change in a product. It is therefore important to know the difference between the concepts of pure substance and mixtures, since pure substances often have precise and durable physical properties, which mixture does not have. But learning these concepts has proven to be difficult.

The purpose of this study was to let students, studying chemistry 1 in the Technical base year, to carry out various practical exercises on the particle nature of matter to see if this form of teaching could increase their understanding of mass conservation. Furthermore, a model "The product's root system of substances" was developed to practice distinguishing the concepts of pure substance and mixture. Exercises were done at the beginning of the course. At the end of the course, they answered five questions about the preservation of the mass with everyday connection.

It was about 50% who answered correct on all five questions, which is slightly better than 34% of the group who did not receive any special education about the particle nature of matter

and the conservation of the mass. A certain increase in understanding the difference between the concepts of pure substance and mixture could be discerned in their examination answers, but this needs to be examined to a greater extent in order to be confirmed.

It is important to teach students in natural- and engineering sciences about the concepts of the particle nature of matter, mass conservation, pure substance and mixture. Otherwise, these knowledge gaps may limit their ability to learn more advanced concepts in science. This is especially important for higher education institutions that focus on broadened recruitment, as teaching in science can be limited because it is not prioritized for pupils in primary and lower secondary school. In purpose to follow an adapted timetable in favor of subjects required for upper secondary school.

Introduktion

Grunden för naturvetenskaplig kunskap är förståelsen för materiens partikelnatur (Çalik, 2005; García Franco & Taber, 2009; Harrison & Treagust, 2002). Men att lära sig detta har visat sig vara besvärligt och bristande förståelse om detta tycks hålla i sig upp på universitetsnivå (Flores-Camacho et al., 2007; Nicoll, 2001; Novick & Nussbaum, 1981). Detta gäller även förmågan att kunna göra matematiska beräkningar inom naturvetenskapen som rör energins och massans bevarande (Agung & Schwartz, 2007; Goldring & Osborne, 1994; Tatar & Oktay, 2007; Trumper, 1997; Özmen & Ayas, 2003; Åkesson-Nilsson, 2019). Studenter har även visat sig ha problem med att hålla isär storheterna massa och densitet. Detta förklaras bland annat genom att de inte ser kopplingen mellan den matematiska formeln som används för att beräkna densiteten ($\rho = m/V$) och begreppet densitet som beskriver kompaktheten (Arons, 1997; Bodner, 1991; Hawkes, 2004). Något som kan ställa till stora problem för ingenjörstudenter i deras fysikkurs.

Kunskap om materiens partikelnatur och massans bevarande är även betydelsefullt för att kunna förstå begreppet materiens omvandling (Bucat & Mocerino, 2009; van Berkel et al., 2009). Detta i sin tur kräver kunskaper om att kunna särskilja begrepp som rent ämne och blandning. Rena ämnen har fysikaliska egenskaper som är precisa och beständiga såsom smält- och kokpunkt, medan blandningar saknar dessa egenskaper. Men att förstå skillnaden mellan rent ämne och blandning är också det något som har visat sig vara besvärligt och detta försvårar på så sätt förståelse för materiens omvandling (Johnson, 2000, 2002; Papageorgiou & Johnson, 2005). Att lära sig att materiens består av partiklar, att massan bevaras vid fysikalisk och kemisk omvandling samt skillnaden mellan rent ämne och blandning är något som elever ska bekantas med i grundskolan (Skolverket, 2019a, 2019b, 2019c). Därmed förväntas eleverna känna till dessa begrepp när de slutar grundskolan. Men så är inte fallet och det är därför olyckligt om man tar dessa kunskaper för givet. På så sätt missar man betydelsen av att repetera dessa begrepp när eleverna ska fördjupa sina naturvetenskapliga kunskaper i gymnasiet eller i en eftergymnasial utbildning. Det är även särskilt olyckligt för elever som under grundskolan har följt en anpassad timplan för att kunna prioritera ämnen som krävs för gymnasiebehörighet. Detta gäller då särskilt nyanlända elever. Undervisning i naturvetenskap begränsas ofta för dessa elever och därmed missar de flera års möjlighet att träna på de abstrakta naturvetenskapliga begreppen. Dessa kunskapsluckor riskerar att följa med dessa elever när de börja läsa en eftergymnasial utbildning inom natur- och ingenjörsvetenskap.

Visualisering är betydelsefullt för att hjälpa studenter när de lär sig kemi (Gilbert & Treagust, 2009, s 9). Syftet med denna undersökning är därför att utveckla några enkla visuella övningar

som särskilt betonar begreppet materiens partikelnatur och undersöka om dessa övningar kan användas för att fördjupa studenters kunskaper om massans bevarande. Vidare syftar studien till att fram en modell som kan användas för att stötta lärandet om rena ämnen och blandningar. Det finns åtskilliga studier där olika visuella metoder har undersökts för att stötta elever, i olika åldrar, i deras lärande av materiens partikelnatur. De flesta av dessa metoder visar att elevernas lärande mer eller mindre förbättras med hjälp av dessa övningar. I denna studie ska därför ett paket av olika visuella övningar i kombination med praktiskt arbete undersökas. De visuella övningarna handlar i detta fall om att studenterna ska forma modeller med hjälp av lera, träna på att rita partikelmodeller, bygga modeller med hjälp av molekylbyggsatser och genomföra praktiska laborativa moment. Studier om metoder som kan användas för att träna elever och studenter om materiens partikelnatur är begränsade i Sverige. De få studier som finns gäller framför allt yngre elever i grundskolan. Motsvarande studier för studenter i eftergymnasial utbildning i Sverige är nästan obefintlig. Denna studie är därför intressant för att få en uppfattning om dessa enklare övningar kan vara till hjälp för att stötta studenternas lärande om massans bevarande. Förhoppningsvis kanske övningarna även kan användas för elever i grund- och gymnasieskolan när de ska lära sig kemi.

Metod

Bakgrund om studenterna som ingick i studien

I studien deltog 125 studenter från Tekniskt basår. Förkunskapskraven för detta program är grundläggande behörighet samt Matematik 2a alt. 2b alt. 2c. Varje år brukar det vara en del studenter på programmet som har läst kemi 1 på gymnasiet. För att särskilja dessa studenter från de övriga fick respondenterna svara på frågor angående om de som mest har läst naturkunskap 1, naturkunskap 2 eller kemi 1. Innan studenterna läste kemikursen på Tekniskt basår hade de läst en termin fysik och matematik. Dessa kurser motsvarar fysik 1 och matematik 3c på gymnasienivån. Fysikkursen går igenom begrepp såsom rörelser, krafter, beskrivning av materiens minsta beståndsdel, energi i olika former, strålning, ideala gaslagen, klimat och väderprognoser. Dessa begrepp baseras på materiens partikelnatur samt massan och energins bevarande.

Studien om studenternas svar på frågor om massans bevarande

Studien inleddes med att 29 studenter fick en "traditionell" kemiundervisning som baseras på kemilitteraturen som brukar användas i Kemi 1 på gymnasienivå. I slutet av kursen fick studenterna enskilt svara på fem flervalsfrågor som handlade om massans bevarande, samt förklara sitt svar på varje fråga. Frågorna presenterades med bilder. Det var samma frågor som Andersson et al. (2003) presenterar i artikeln "Att förstå naturen -från vardagsbegrepp till kemi "sex work shops"". Dessa frågor har även använts i en studie för ingenjörstudenter som handlade om deras tankar kring fenomen om massans bevarande (Åkesson-Nilsson, 2019).

Frågorna som studenterna fick svara på

Den första frågan var: "En burk fylls med iskuber. Ett tättslutande lock sätts på, varefter burken med innehåll vägs. Resultatet är 630 gram. Burken får sedan stå tills all is har smält. Den vägs så igen. Vad blir resultatet nu? Mycket mer än 630 g. Lite mer än 630 g. Fortfarande 630 g. Lite mindre än 630 g. Mycket mindre än 630 g. Förklara sitt svar!"

Den andra frågan var: "I en tät kolv av kraftigt glas och med en gummikork ordentligt isatt finns en viss mängd freon i vätskeform. Kolven med innehåll vägs på en känslig våg. Freonet

avdunstar mycket lätt i rumstemperatur, så det dröjer inte länge förrän all freon har övergått till gasform. Då vägs kolven igen. Vad visar vågen nu? Mer än vid första vägningen. Samma som vid första vägningen. Mindre än vid första vägningen? Förklara ditt svar!”

Den tredje frågan var: ”I en kastrull finns 1000 g vatten. Eva håller 200 g socker i vattnet och vickar sakta på kastrullen tills allt sockret har löst sig. Vad väger nu innehållet i kastrullen? Mindre än 1000 g, precis 1000 g, mellan 1000 g och 1200 g, precis 1200 g, mer än 1200 g. Förklara ditt svar!”

Den fjärde frågan var: En bit fosfor lades i en glasflaska så som figuren visar. Flaskan med innehåll vägde 205 g. Fosfor antändes sedan med hjälp av ett brännglas. Den brann en liten stund. Då bildades en vit rök, som sakta löste sig i vattnet. Efter avsvälning vägdes flaskan med sitt innehåll på nytt. Vad väger den nu? Mer än 205 g, 205 g, Mindre än 205 g. Förklara ditt svar!”

Den femte frågan var: ”En halvdrucken läskedrycksflaska vägs med en mycket noggrann våg. Flaskan skakas utan att drycken skvätter ut. Det bildas då många bubblor, som stiger upp genom drycken och spricker vid dess yta. Skakningen upprepas flera gånger. Till slut blir det nästan inga bubblor längre. Då vägs flaskan med sitt innehåll igen. Vad blir resultatet? Flaskan med sitt innehåll väger nu mer än förut, lika mycket som förut, mindre än förut. Förklara ditt svar!”

Svaren på frågor sammanställdes i kategorier som: vikten ökar, vikten förblir oförändrad, vikten minskar, vet inte och fel svar. I kategorin vet ej sammanställdes de som skrev vet ej. De som hade kryssat för korrekt svarsalternativ men förklaringen var fel placerades i kategorin fel svar.

Studenterna som svarade på frågorna informerades om vad svaren på frågorna skulle användas till, att deras svar hanterades anonymt och att det var frivilligt att delta enligt GDPR (General Data Protection Regulation).

Utvecklandet av några enkla visuella övningar som särskilt betonar begreppet materiens partikelnatur och massans bevarande

Olika visuella övningar om materiens partikelnatur och massans bevarande togs fram och testades på olika målgrupper. Övningarna reviderades innan de tillämpades på studenterna på Tekniskt basår.

Denna extra undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande genomfördes i början av kemikursen på Tekniskt basår. Undervisningen innehöll föreläsningar och praktiska övningar. Vid föreläsningarna fick de en genomgång i hur partiklar illustreras på olika nivåer, hur de ingående partiklarna beter sig i olika sammanhang och de fick en genomgång av partikelmodellen (De Vos & Verdonk, 1996). Studenterna undervisades även om massans bevarande. Efter föreläsningarna gjorde de övningar som handlade om att bygga atomkärnor med hjälp av Play Doh. De fick genomföra laborationer med luft. De använde där partikelmodellen för att illustrera luftens sammansättning före och efter att den komprimerats i en spruta och vad som finns i luften när de känner att något luktar. Därefter fick göra laborationer med vatten. Där skulle de med hjälp av partikelmodellen illustrera de olika observerade fasomvandlingarna. De fick under denna övning också studera massans bevarande när is smälter. Detta gjorde de genom att väga systemet före och efter att all is hade smält. När

de byggde atomkärnor i Play Doh beräknade de atomkärnornas vikt genom att utgå ifrån att 1 proton respektive 1 neutron väger 1 u. De hade ytterligare en övning om massans bevarande som baserades på att de illustrerade förbränning av metan i syre med hjälp av molekylmodeller som de skulle bygga. I denna övning fick de studera antalet av respektive atomslag före och efter reaktionen samt beräkna massan före och efter reaktionen. Efter denna övning fick de svara på frågor som handlade om förbränning av bränsle och järn som rostar. De skulle utifrån detta avgöra massan hos de bildade ämnena, alltså avgaserna och rosten.

I slutet av kemikursen fick dessa studenter svara på samma frågor som studentgruppen som inte fick någon extra undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande. Totalt var de 96 studenter fördelade på tre år som fick extra undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande och som svarade på frågorna i slutet av kemikursen.

Ta fram en modell för att underlätta lärandet om rena ämnen och blandningar

Här skissades olika modeller med olika nivåer för att illustrera vad olika material, livsmedel, blandningar är uppbyggda av för ämnen och grundämnen. Modellen testades i olika undervisningssammanhang med olika målgrupper exempelvis förskollärare, studenter på Tekniskt basår och maskiningenjörsstudenter. Deras användning av modellen för att lösa uppgifter med frågor som handlar om att de ska beskriva och illustrera byggstenarna i ett material, livsmedel eller i någon annan blandning kunde användas för att förbättra modellerna för olika typer av blandningar. Modellen kallas för ”*Produktens rotsystem av ämnen*”. Den används **även** i en inlämningsuppgift i kemikursen på Tekniskt basår där studenterna skriver ett arbete om ett modernt material. I den uppgiften ingår det att de ska illustrera produktens ”rotsystem”. Utifrån hur studenterna tillämpade modellen i sin uppgift utarbetades de olika modellerna.

Resultat

Massans bevarande

Vilka som hade flest rätt på de olika frågorna varierade mellan de olika studentgrupperna och mellan de olika läsåren. Alltså, under det ena året var det en grupp som hade flest rätt medan ett annat år var det en annan grupp som hade flest rätt. Därför slogs alla svaren ihop.

Andel korrekta svar ökade för samtliga frågor i gruppen som fick extra undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande. Störst förändring i antal korrekta svar blev det på frågan som handlade om vad som händer med vikten när freon avdunstar i en sluten behållare. I gruppen som inte fick någon extra undervisning var det 38 % som hade korrekt svar på den frågan (Tabell 1). I gruppen som hade fått extra undervisningen var det 72 % som hade rätt på den frågan. Men för de övriga frågorna var ökningen inte särskilt stor. I gruppen som inte fick någon extra undervisning låg andelen korrekta svar på de övriga frågorna mellan 66–76 %. För motsvarande frågor i gruppen som hade fått extra undervisning låg andelen rätt svar mellan 72–80 % (Tabell 1). I gruppen som fick extra undervisning var det 50 % som hade alla rätt på de fem frågorna. Detta kan jämföras med 34 % av dem som inte fick någon extra undervisning.

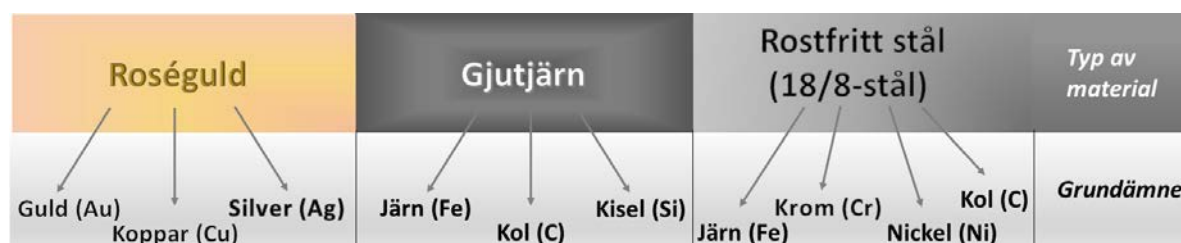
Tabell 1. Studenter som läser kemi på Tekniskt basår. Deras svar på frågor handlar om massans bevarande i 1) öppna system och 2) slutna system. Svaren anges i andel rätt i procent. Grupp som fick traditionell kemiundervisning / grupp som fick extra undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande.

Ändring av vikt	Isen som smälter ¹ (%)	Freon som avdunstar ¹ (%)	Socket som löser sig i vatten ² (%)	Förbränning och det bildas gas. ¹ (%)	Avkolsyrat vatten ² (%)
Ökar	21/14	3/2	0/1	3/4	3/4
Oförändrad	69/78	38/72	69/75	66/74	14/14
Minskar	10/8	48/22	31/23	17/17	76/80
Vet ej	0/0	7/1	0/1	3/1	7/1
Fel svar	0/0	3/3	0/0	7/1	0/1

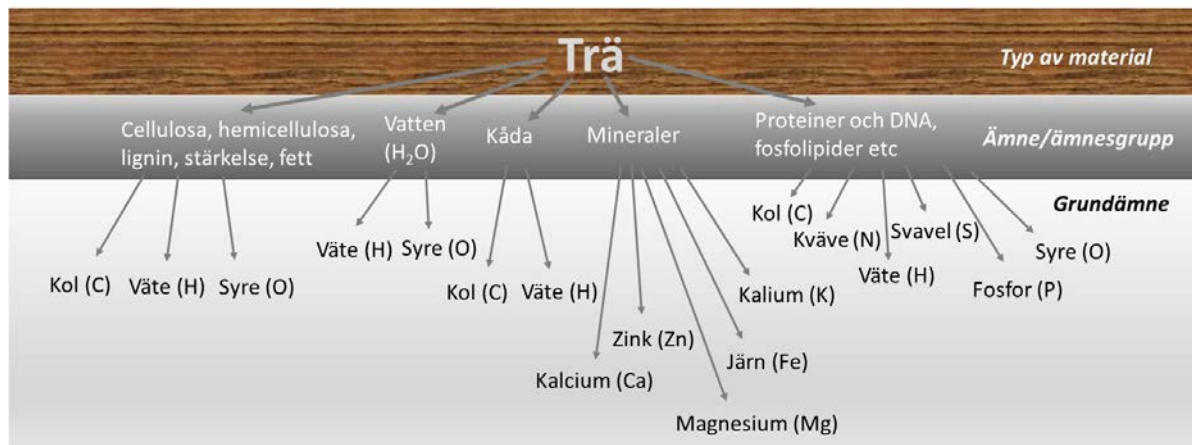
I de felaktiga svaren till varför vikten ändras användes framför allt svar som *massa försvinner*, *massa uppkommer* och *densiteten ändras* som förklaring. Andelen som använde att massa försvinner eller uppkommer var högre i gruppen som inte hade fått någon extra undervisning. Medan andelen som använde ändring av densitet som förklaring till viktändring var större i gruppen som fick extra undervisning om materiens partikelnatur och massans bevarande.

Produktens rotsystem av ämnen

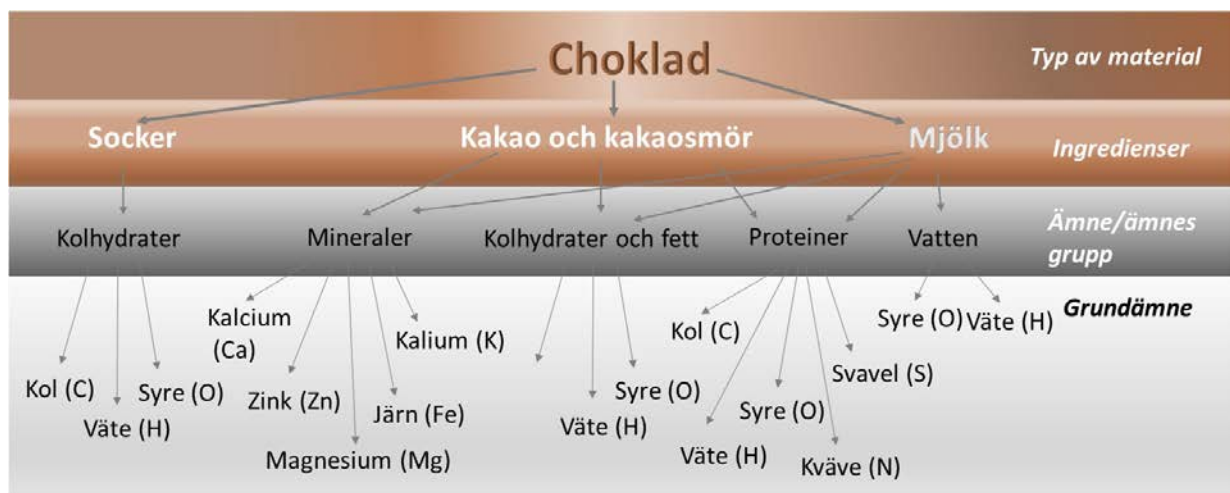
I utvecklandet av modellen produktens rotsystem togs flera olika modeller fram beroende av om det skulle tillämpas på en legering av grundämnen, ett komplext material eller en ingrediens. Högst upp i systemet placeras materialet som ska undersökas (nivå 1) och längst ner placeras grundämnena. Beroende av materialets komplexitet så kan antalet nivåer mellan den högsta och lägsta nivån variera. I legering av grundämnen presenteras två olika nivåer såsom Nivå 1: Typ av material; Nivå 2: Grundämne (se figur 1). I ett komplext material tillämpas tre nivåer såsom Nivå 1: Typ av material, Nivå 2: Ämne/Ämnesgrupp och Nivå 3 Grundämne (se figur 2). För en ingrediens används fyra nivåer. Nivå 1: Val av material, Nivå 2: Ingredienser, Nivå 3: Ämnen/ämnesgrupper och Nivå 4: Grundämnena (se figur 3). Dessa modeller används numera även i kurslitteratur inom kemi (Åkesson-Nilsson, 2020a-d).



Figur 1. Några metallegeringars "rotsystem". Överst anges namnet på legeringen (typ av material), underst anges vilka metaller som ingår i legeringen (grundämne). Inom parentes anges de kemiska symbolerna för respektive metall.



Figur 2. "Rotsystemet" för trä. Överst anges materialet trä. Nästa nivå är ämnen/ämnesgrupper och för trä är dessa bl.a. cellulosa, stärke, vatten, kåda, diverse mineraler, proteiner. I den understa nivå presenteras grundämnena (inbyggda som kemiska föreningar eller i jonform) som respektive ämne eller ämnesgrupp är uppbyggda av.



Figur 3. "Rotsystemet för choklad". Överst anges materialet choklad. Nästa nivå är ingrediensen och några av ingredienserna i choklad är socker, kakao, kakaosmör och mjölk. Ingredienserna består av olika ämnen eller ämnesgrupper som kolhydrater, mineraler, fett, proteiner och vatten och dessa skrives i nivån under. I den understa nivå presenteras grundämnena (inbyggda som kemiska föreningar eller i jonform) som respektive ämne eller ämnesgrupp är uppbyggda av.

Undervisningens effekt på studenternas tentamenssvar

Efter införande av dessa övningsuppgifter har studenterna haft mindre problem med att komma igång med att lösa enklare stökiometriskas uppgifter. Men att utvärdera genomströmningen på tentamen före och efter införandet av dessa övningar har varit svårt eftersom även andra insatser i kursen har använts för att öka genomströmningen. När det gäller studenternas förmåga att svara rätt på frågor som handlar om rent ämne och blandning brukar merparten av studenterna som har jobbat med dessa modeller ha rätt på denna typ av frågor på tentamen. Tidigare var det cirka hälften som hade rätt på dessa frågor. Detta är dock inte statistiskt säkerställt och även

införandet av de extra övningarna om materiens partikelnatur och massans bevarande kan ha påverkat dessa resultat.

Diskussion

Att förstärka undervisningen med visuella övningar om materiens partikelnatur och massans bevarande kan vara betydelsefullt för att stärka studenters lärande om massans bevarande (Flores-Camacho et al., 2007; Nicoll, 2001; Novick & Nussbaum, 1981). Men dessa övningar behöver troligen även kombineras med algoritmisk problemlösningen där de kan förankra egenskaper såsom massa, volym, area och densitet. Detta för att komma tillrätta med problematiken att de förväxlar storheterna massa och densitet (Arons, 1997; Bodner, 1991; Hawkes, 2004). Det räcker exempelvis inte med alla övningar om massans bevarande för att få alla studenter att svara rätt på frågan som handlar om vad som händer med vikten när isen smälter i en burk med lock. Flera väljer likväl att anse att vikten ändras om densiteten ändras.

Att använda modellen ”*Produktens rotsystem av ämnen*” skulle kunna vara till hjälp i lärandet om begreppen rent ämne och blandning, något som i sin tur är viktigt för att förstå omvandlingen som materia kan genomgå. Denna modell föreslås därför användas tillsammans med modellerna som handlar om materiens partikelnatur, massans bevarande och algoritmisk problemlösning för att på så sätt hjälpa studenterna att hålla ihop de olika begreppen. Att ha bristande kunskaper om materia och begrepp som rör volym, massa och matematiska förhållanden samt rent ämne och blandning kan begränsa studenters möjlighet att förstå den mer avancerade teorin inom naturvetenskapen (Çalik, 2005). Med tanke på hur svårt många har för att lära sig och tillämpa materiens partikelnatur och massans bevarande trots undervisning i naturkunskap är det därför viktigt att tänka på svårigheter som de kan ha som inte har fått någon omfattande undervisning inom naturvetenskap under grundskolan. Detta är något som man bör beakta i samband den breddade rekryteringen inom ingenjörsutbildningar, eftersom flera av dessa studenters undervisning i kemi under grundskolan kan ha varit begränsad. Det är därför av betydelse att avsätta tid för att repetera dessa begrepp när de påbörjar sin ingenjörsutbildning. Att använda visuella övningar som baseras på materiens partikelnatur, massans bevarande i kombination med algoritmisk problemlösning skulle kunna vara till hjälp för att stötta studenter att lära sig mer avancerade koncept inom naturvetenskapen.

Referenser

- Agung, S., & Schwartz, M. S. (2007). Students' Understanding of Conservation of Matter, Stoichiometry and Balancing Equations in Indonesia. *International Journal of Science Education*, 29(13), 1679–1702. <https://doi.org/10.1080/09500690601089927>
- Åkesson-Nilsson, G. (2019). *Algorithmic Versus Concept-based Tasks for Engineering Students*. ESERA 2019, Bologna.
- Åkesson-Nilsson, G. (2020a). *Våra Byggstenar Grundläggande kemi*. (pp. 14–16), Gunilla Åkesson Nilsson.
- Åkesson-Nilsson, G. (2020b). *Våra Byggstenar Grundläggande kemi för grundlärare f-3*. (pp.15-18), Gunilla Åkesson Nilsson.
- Åkesson-Nilsson, G. (2020c). *Våra Byggstenar Grundläggande kemi för grundlärare f-6*. (pp.15-18), Gunilla Åkesson Nilsson.
- Åkesson-Nilsson, G. (2020d). *Våra Byggstenar Grundläggande kemi för förskollärare*. (pp.14-17), Gunilla Åkesson Nilsson.

- Andersson, B., Bach, F., Frändberg, B., Jansson, I., Kärrqvist, C., Nyberg, E., Wallin, A., & Zetterqvist, A. (2003). *Att förstå naturen—Från vardagsbegrepp till kemi sex 'workshops'* (Ämnesdidaktik i Praktiken - Nya Vägar För Undervisning i Naturvetenskap Projektet NORDLAB-SE Björn Andersson (Red)). Göteborgs universitet, Institutionen för pedagogik och didaktik.
- Arons, A. B. (1997). *Teaching introductory physics* (pp. 1–22). Wiley.
- Bodner, G. M. (1991). I Have Found You an Argument. *Journal of Chemical Education*, 68(5), 385.
- Bucat, J. B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the Sub-micro Level: Structural Representation. In *Multiple Representations in Chemical Education*, John K. Gilbert & David Treagust, Eds. (Vol. 1–4, pp. 11–29). Springer.
- Çalik, M. (2005). A Cross-Age Study of Different Perspectives in Solution Chemistry from Junior to Senior High School. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 671–696. <https://doi.org/10.1007/s10763-005-1591-y>
- De Vos, W., & Verdonk, A. H. (1996). The Particulate Nature of Matter in Science Education and in Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 657–664. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199608\)33:6<657::AID-TEA4>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199608)33:6<657::AID-TEA4>3.0.CO;2-N)
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1996). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas* (pp. 73–78, 92–97, 146–147). Routledge.
- Flores-Camacho, F., Gallegos-Cázares, L., Garritz, A., & García-Franco, A. (2007). Incommensurability and Multiple Models: Representations of the Structure of Matter in Undergraduate Chemistry Students. *Science & Education*, 16(7), 775–800. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9049-3>
- García Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary Students' Thinking about Familiar Phenomena: Learners' explanations from a curriculum context where 'particles' is a key idea for organising teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917–1952. <https://doi.org/10.1080/09500690802307730>
- Gilbert, J., & Treagust, D. F. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education* (pp. 137–150). Springer, Milton Keynes.
- Goldring, H., & Osborne, J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, 29(1), 26–32. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/29/1/006>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J.K. Gilbert, O.De Jong, R. Justi, D.F. Treagust & J.H. Van Driel (pp. 189–212). Kluwer.
- Hawkes, S. J. (2004). The concept of density. *Journal of Chemical Education*, 81(1), 14–15. <https://doi.org/10.1021/ed081p14>
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, part 1: Recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, 22(7), 719–737. <https://doi.org/10.1080/09500690050044062>
- Johnson, P. (2002). Children's understanding of substances, Part 2: Explaining chemical change. *International Journal of Science Education*, 24(10), 1037–1054. <https://doi.org/10.1080/09500690110095339>
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23(7), 707–730. <https://doi.org/10.1080/09500690010025012>
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187–196. <https://doi.org/10.1002/sce.3730650209>
- Özmen, H., & Ayas, A. (2003). Students' difficulties in understanding of the conservation of matter in open and closed-system chemical reactions. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 4(3), 279–290.
- Papageorgiou, G., & Johnson, P. (2005). Do Particle Ideas Help or Hinder Pupils' Understanding of Phenomena? *International Journal of Science Education*, 27(11), 1299–1317. <https://doi.org/10.1080/09500690500102698>
- Skolverket. (2019a). *Kursplan—Biologi*. <https://www.skolverket.se/undervisning/grundskolan/laroplan-och-kursplaner-for-grundskolan/laroplan-lgr11-for-grundskolan-samt-for-forskoleklassen-och-fritidshemmet?url=1530314731%2Fcompulsorycw%2Fjsp%2Fsubject.htm%3FsubjectCode%3DGRGRBIO01%26tos%3Dgr&sv.url=12.5dfce44715d35a5cdfa219f>

- Skolverket. (2019b). *Kursplan—Fysik*. <https://www.skolverket.se/undervisning/grundskolan/laroplan-och-kursplaner-for-grundskolan/laroplan-lgr11-for-grundskolan-samt-for-forskoleklassen-och-fritidshemmet?url=1530314731%2Fcompulsorycw%2Fjsp%2Fsubject.htm%3FsubjectCode%3DGRGRFY01%26tos%3Dgr&sv.url=12.5dfce44715d35a5cdfa219f>
- Skolverket. (2019c). *Kursplan—Kemi*. <https://www.skolverket.se/undervisning/grundskolan/laroplan-och-kursplaner-for-grundskolan/laroplan-lgr11-for-grundskolan-samt-for-forskoleklassen-och-fritidshemmet?url=1530314731%2Fcompulsorycw%2Fjsp%2Fsubject.htm%3FsubjectCode%3DGRGRKEM01%26tos%3Dgr%26p%3Dp&sv.url=12.5dfce44715d35a5cdfa219f>
- Tatar, E., & Oktay, M. (2007). Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. *International Journal of Environmental & Science Education*, 2(3), 79–81.
- Trumper, R. (1997). The need for change in elementary school teacher training: The case of the energy concept as an example. *Educational Research*, 39(2), 157–173.
<https://doi.org/10.1080/0013188970390204>
- van Berkel, B., Pilot, A., & Bulte, A. M. W. (2009). Micro-Macro Thinking in Chemical Education: Why and How to Escape. In *Multiple Representations in Chemical Education*, John K. Gilbert & David Treagust, Eds. (Vol. 1–4, pp. 31–54). Springer.