

Interaktiv återkoppling mellan laborationer och teori i kemiundervisningen

Christer Elvingson¹ och Emad Mukhtar²

¹Institutionen för fysikalisk och analytisk kemi, fysikalisk kemi,
Uppsala universitet, Box 259, 752 37 Uppsala

²Institutionen för fotokemi och molekylärvetenskap, kemisk fysik,
Uppsala universitet, Box 523, 751 20 Uppsala

Christer.Elvingson@fki.uu.se
Emad.Mukhtar@fotomol.uu.se

Abstract

The purpose of the project was to strengthen the connection between the theoretical and practical part of the teaching in physical chemistry, and at the same time give the students a possibility to be better prepared for the laboratory classes. To achieve this, we introduced questions, at varying levels of difficulty, before and after the laboratory exercises in a number of courses in physical chemistry. We also put instructive pictures and film sequences on the webpages of the corresponding courses. The result for the courses where this was tried was very encouraging. The students are more confident in their practical work, and their questions are on a more advanced level compared to earlier, since they had the possibility to think about the theoretical base for the experiments, while answering the questions related to the theory for the laboratory work. This possibility for individual preparation is also useful to help international students with varying background to begin each laboratory class at much the same level.

Key words

Laboratory classes; practicals; physical chemistry; interactive feedback; web-based questions; films of laboratory exercises.

Sammanfattning

Målet med projektet var att förstärka kopplingen mellan den teoretiska och laborativa delen av undervisningen i fysikalisk kemi och samtidigt ge studenterna möjlighet till bättre förberedelse även inför de praktiska momenten. För att uppnå detta införde vi nivågrupperade frågor före och efter utvalda laborationer på ett antal kurser i fysikalisk kemi, samtidigt som vi lade bild- eller filmsekvenser av centrala praktiska moment på kursernas websidor. Resultatet på de kurser där detta hittills genomförts har varit mycket uppmuntrande. Studenterna är säkrare i det praktiska arbetet och frågorna ligger i allmänhet på en ”högre nivå” än tidigare, eftersom de, med hjälp av utvalda frågor, kunnat reflektera över den teoretiska grunden för experimenten. Denna möjlighet till individuell förberedelse i sin egen takt är även ett viktigt verktyg för att hjälpa internationella studenter med olika experimentell och teoretisk bakgrund, att starta varje laboration från ungefär samma nivå.

Nyckelord

Laborationer; fysikalisk kemi; interaktiv återkoppling; webbaserade frågor; filmade laborationsmoment;

Innehållsförteckning

Abstract.....	2
Key words	2
Sammanfattning	2
Nyckelord.....	2
Innehållsförteckning.....	3
Introduktion.....	4
Metod.....	5
Resultat.....	6
Diskussion.....	9
Referenser.....	11

Introduktion

I kemiämnet, liksom för de naturvetenskapliga ämnena i allmänhet, är laborationerna en mycket viktig del av undervisningen. Under dessa övas dels det praktiska handhavandet av allmän laboratorieutrustning, men även användningen av avancerad mätapparatur. I en internationell jämförelse är svenska kemistudenter goda experimentalister. Laborationerna skall även fungera som en illustration till den teori som diskuteras på föreläsningar och under lektioner och seminarier. I praktiken vet vi dock att många studenter ej hunnit läsa in laborationshandledningen på ett önskvärt sätt och även om så skett, kan de ha en alltför rudimentär och ibland felaktig bild av de bakomliggande mekanismerna till de observationer man gör under experimenten. Detta kan naturligtvis variera mellan olika studentgrupper och mellan olika laborationer, men för mindre kurser där man ibland kunnat hålla mer detaljerade diskussioner i form av laborationsseminarier, har det framgått att även om läraren erhållit en välformulerad laborationsrapport, har frågan ”varför” kunnat ge upphov till spekulationer i olika riktningar. Detta gäller inte minst kurser i fysikalisk kemi som betraktas som ’svåra’ av de flesta kemistudenter, både vad avser innehåll och kopplingen mellan laborationer och teori.

Eftersom studentgrupperna har alltmer varierande förkunskaper, speciellt teoretiska men även praktiska, och grupperna dessutom i många fall blivit större beroende t.ex. på samläsning mellan olika program, ökar även behovet av en starkare återkoppling mellan laborationskursens praktiska moment och det teoretiska innehållet i kursen. Detta kan naturligtvis delvis åstadkommas med hjälp av labseminarier eller annan ’tutorial-liknande’ undervisning i smågrupper, men för större studentgrupper blir detta kostsamt, dels på grund av att den direkta undervisningstiden ökar, men också eftersom läraren helst i förväg bör pröva studenternas insikter och kunskaper t.ex. genom att först gå igenom svaren på i förväg utdelade frågor. För att åstadkomma något av denna situation, men även för att utveckla en metod direkt tillämplig för distanskurser, där man vid några tillfällen under kursen samlas för gemensamma laborationer, önskade vi genomföra en webbaserad metod för att förbättra återkopplingen mellan teori- och laborationsundervisning. Syftet var även att finna en modell för hur laborationsundervisningen kan behöva modifieras i takt med en ökande internationalisering vilket innebär nya studenter med inte bara varierande teoribakgrund utan även med mycket skiftande erfarenhet av laboratoriearbete. Dessa behöver individuellt testa sin förmåga och repetera eller stifta bekantskap med nya praktiska moment.

I ett internationellt perspektiv har en del försök gjorts under senare år med att låta kemiundervisningen bli mer lab-centrerad, bl.a. efter rekommendationer från NSF. Andra undersökningar visar dock att laborationsundervisningen har en relativt begränsad inlärningseffekt av teoretiska begrepp, eftersom studenterna har svårigheter med att sätta in resultat och metoder i ett konceptuellt sammanhang. Ett sätt att förbättra detta är ”virtuella laborationer” där studenterna sätter ihop sin utrustning och gör experiment på datorn. Med genomtänkta frågor i samband med detta har man sett en god effekt, framför allt bland de svagare studenterna samt för dem som presterade väl men ej för de allra högsta resultaten. Ett renodlat ”virtuellt” labprojekt ansåg vi dock vara mindre lämpligt eftersom svenska kemistudenters och svensk kemiutbildnings främsta konkurrensfördel (under nuvarande förhållanden) är den goda färdigheten i praktiskt laboratoriearbete. Projektet syftar alltså inte till att minska den laborativa verksamheten (förhoppningsvis till motsatsen), utan till att förbättra studenternas utbyte av de laborativa momenten både vad gäller praktiskt handlag och teoretisk insikt. Förhoppningen var också att förbättra konkurrenskraften i kemiutbildningen vid svenska universitet och högskolor då Bologna-modellen ger ökande möjligheter för studerande att byta lärosäte under en del av sin utbildning.

Metod

Utgångspunkten för vårt arbete har varit att finna en metod som dels ger tillfälle för studenterna till reflexion över vad som behandlats på föreläsningar och övningar och en möjlighet att själva dra slutsatser om hur detta hänger ihop med innehållet i en viss laboration. Ett randvillkor har också varit att finna ett arbetssätt som möjliggör för ansvarig lärare att hantera större studentgrupper på ett rationellt sätt. Med dessa premisser framstod en webbaserad metod som det bästa alternativet, eftersom det möjliggör automatisk rättning av (flervals)frågor samtidigt som studenterna har möjlighet att gå igenom frågorna i sin egen takt. Genom att formulera ett antal frågor specifika för olika laborationer och förse var och en av dessa frågor med ett antal olika svarsalternativ, där det korrekta svaret inte är självklart, var syftet att studenterna skulle behöva använda en syntes av sina kunskaper från tidigare undervisningstillfällen för att besvara frågorna. För att möjliggöra för studenterna att inte bara koppla teorin till den aktuella laborationen på ett bättre sätt, utan även få bättre förberedda studenter i den experimentella situationen när de kommer till lablokalen, skulle de också få möjlighet att via filmsekvenser i förväg gå igenom speciellt viktiga moment. Med en webbaserad lösning, kan varje student gå tillbaka till dessa filmer ett godtyckligt antal gånger beroende på vilken bakgrundskunskap studenten har. Detsamma gäller i princip även labseminariefrågorna, eftersom studenten kan titta på frågorna, fundera över svaren och komma tillbaka när denne tycker sig ha svar på alla frågor. För att detta skall ge utbyte för alla studenter fordras alltså att vissa av frågorna är av den karaktär som kräver eftertanke och viss syntes och inte enbart faktabaserad kunskap.

Vi började med att välja ut två laborationer som finns både på grundkursen i fysikalisk kemi på naturvetarprogrammet och på kursen i fysikalisk kemi för teknologerna på civilingenjörsprogrammet i kemiteknik. Speciellt en av dessa laborationer som handlar om mätning med en ytvåg, innehåller många olika delar som skall monteras ihop under laborationens gång. Trots den skriftliga instruktionen, resulterar detta ofta i felaktigheter och frågor, vilket riskerar att skymma det verkliga innehållet och syftet med laborationen. Den andra laborationen vi startade med handlar, liksom ytvågen, om ytkemi och det var en problembaserad laboration, där studenterna får i uppgift att bestämma en viss egenskap för ett system innehållande en tensid, men de får själva fundera över och presentera ett förslag till metod innan de får börja laborera. För denna senare laboration gjordes ingen instruktionsfilm, utan enbart en bildsekvens som visade kalibreringen av mätutrustningen.

För att producera detta bildmaterial anlätades en filmare som själv hade studerat kemi och förutom belysning och kamerateknik, även kunde diskutera med projektledarna hur studenterna kunde uppfatta vissa avsnitt och hur de doktorander som medverkade i filmerna skulle agera för att tydliggöra olika moment. Samtidigt konstruerades relevanta instuderingsfrågor till de två laborationerna. Vi valde att ha en uppsättning på fyra till sex ”för-frågor” respektive ”efter-frågor” till varje laboration. Detta för att det inte skulle bli så få frågor att det skulle upplevas som marginellt, men inte så många att det majoriteten skulle tycka det blev för jobbigt. Vi bestämde oss från början för att ha lite mer ”handfasta” frågor direkt relaterade till laborationen som ”för-frågor” medan några av ”efter-frågorna” kunde vara mer av synteskaraktär, där svaret krävde en insikt i vad laborationen egentligen illustrerade och hur man kunde förklara resultaten på en mera grundläggande nivå.

Den webbplats vi bestämde oss för var Ping Pong eftersom den fanns gratis att tillgå inom Uppsala universitet och t.ex. Göteborgs universitet och Chalmers planerade att införa denna (vilket nu skett). Detta skulle underlätta en eventuell spridning av vårt projekt. Ping Pong innehåller bland annat en möjlighet till automaträttning av flervalsfrågor och att få statistik över studenternas resultat. Ytterligare en fördel var att det är möjligt att lägga in en direktlänk

från den Studentportal som alla studenter har tillgång till för varje kurs och där redan mycket av kursens material finns att hämta.

Efter att ha genomfört en första omgång av dessa laborationer med vidhängande frågor och filmer, hade vi ett antal möten med en referensgrupp bestående av studenter som varit med på kurserna, samt doktorander som deltagit i undervisningen som laborationslärare och även medverkat vid filminspelningen. Utifrån dessa diskussioner gjorde vi ett antal förändringar i vår planering innan vi fortsatte med resten av de laborationer vi ville ha med i projektet för att kunna göra en ordentlig undersökning av vilken effekt filmerna och labfrågorna haft. Bland annat diskuterade gruppen när de korrekta svaren på frågorna skulle presenteras (direkt, efter hela labkursen, eller efter varje laboration) samt tydligheten i frågor och svar och vikten av att allt helst skall fungera smärtfritt från början. För att kunna göra både en kvalitativ och kvantitativ undersökning genomfördes också en speciell skriftlig enkät med första omgången studenter, där alla kunde vara med och delge oss sina åsikter.

För att få ytterligare synpunkter och för att underlätta en spridning av idéerna, har vi också haft löpande kontakter med fysikalisk kemi vid Göteborgs universitet och en studentrepresentant från Uppsala deltog, tillsammans med projektledarna, i ett seminarium i Göteborg där både lärare och doktorander var samlade för att få en demonstration och kunna diskutera möjligheter och eventuella svårigheter. Vi har även haft besök av lärare från Göteborg som deltagit i referensgruppsmöten.

Efter denna första omgång gjorde vi även en presentation för dem som accepterat att fungera som externa utvärderare för vårt projekt. Dessa medverkar i kemididaktisk utbildning vid universitetet i Umeå. Personerna valdes eftersom projektledaren inte hade någon koppling till de externa utvärderarna sedan tidigare och de var väl förtrogna med och aktiva inom didaktiskt arbete rörande kemiutbildning.

Baserat på resultatet från den första utvärderingen och diskussionerna med de externa utvärderarna samt referensgruppen, gjordes så en ny omgång med filmer för ytterligare ett antal laborationer där några var på grundnivå och några på avancerad nivå. Vidare konstruerades ytterligare frågor till den frågebank som nu börjat växa fram. En av de insikter som gjordes under detta arbete var att det tar längre tid än planerat, både att konstruera frågor och att formulera trovärdiga (men felaktiga) svarsalternativ. Ytterligare ett antal studentgrupper på olika program medverkade i uttestningen av de nya frågorna och svaren. Frågor om detta moment lades också in som en speciell punkt i de ordinarie kursvärderingarna. Från att under första kurserna ha varit ett obligatoriskt moment, gjorde vi även om detta till att bli ett frivilligt inslag i kursen, men där ett gott resultat kunde ge bonuspoäng på den avslutande examinationen. Detta underlättade administrationen väsentligt.

Resultat

Det konkreta resultatet är en frågebank med frågor till ett urval av laborationerna i fysikalisk kemi framför allt på grundnivå, men även för några på avancerad nivå, tillsammans med ett antal instruerande filmsekvenser för varje laboration. En annat viktigt resultat är också att dessa frågor och filmer tillsammans nu utgör en integrerad del av laborationsmomentet på kurserna inom alla program där respektive laboration förekommer.

Vi testade först metoden på de laborationer vars material var klart att användas i februari 2007. Det gällde grundkursen i fysikalisk kemi i årskurs 2 för civilingenjörsstudenterna i kemiteknik (K2), samt grundkursen i fysikalisk kemi för naturvetarprogrammet (MN1). Några

av resultaten för de två pilotgrupperna visas i följande tabeller.
Den översta raden är omdömet och den undre raden är svaren uttryckt som antal studenter.

Vad tyckte du om undervisningsmoment via internet?

K2				MN1			
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
2	3	12	13	0	8	12	1

En övervägande del av studenterna tyckte att internet var ett bra komplement, speciellt hos teknologerna.

Vad tycker du om "för-frågor" innan laborationen?

K2				MN1			
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
1	8	10	11	0	5	13	3

En stor majoritet tyckte att för-frågorna var en god förberedelse inför laborationerna och även här uppskattades detta mer hos teknologerna.

Var "efter-testen" till hjälp för förståelsen av laborationens innehåll?

K2					MN1				
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
2	5	13	8	2	0	4	9	5	1

Några av frågorna i den första omgången upplevdes som svåra/otydliga, vilket drog ner omdömet något. Detta kunde tydligt avläsas ur de skriftliga kommentarerna.

Var filmsekvenserna till hjälp för det praktiska utförandet?

K2					MN1				
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
4	4	26	37	26	0	10	18	31	15

För utvärderingen av filmerna fick studenterna svara på en uppsättning frågor för varje film men i tabellen ovan är svaren för alla filmer summerade.

För denna första enkät använde vi en 4-gradig skala för de inledande frågorna, så att studenterna skulle behöva ta ställning till om de var övervägande positiva eller negativa. För att undersöka om det övervägande positiva omdömet om de undersökta momenten skulle kvarstå om man använde 5-gradig skala, tillämpades en sådan skala för "efter-testet" och för omdömet om de filmer som varit tillgängliga vid förberedelsen.

Den första slutsatsen man kan dra är att en stor majoritet av studenterna tyckte att undervisningsmoment via internet kan vara bra. Detta gällde speciellt för teknologerna. Det var också en övertygande majoritet som uppskattade möjligheten att förbereda sig inför laborationerna både med teorifrågor och med hjälp av filmsekvenser av de praktiska delarna. En genomgång av teorin med hjälp av frågor efter laborationen fick något lägre betyg. Detta berodde, enligt de skriftliga kommentarerna, dels på att tekniken inte hade fungerat så väl då vissa studenter hade behövt göra om frågorna, att några av frågorna uppfattades som svåra och vissa tyckte att det var jobbigt att gå tillbaka och börja svara på frågor efteråt "när man hade klarat av labben". Även med dessa kommentarer inräknade och med tanke att det var ett pilotförsök, tyckte vi att responsen var över förväntan. En stor majoritet av kommentarerna handlade om "Bra. Tvingas tänka till lite innan lab", " Bra att sitta ner och verkligen tänka igenom vad man skall göra och lite runtom.", eller "Man förstår laborationen". Man hade alltså möjlighet att fundera över frågor kring laborationen och dess innehåll, men också möjlighet att känna igen de praktiska momenten och på så sätt vara bättre förberedd. Det fanns en antydning till större spridning i svaren för naturvetarna vilket också framgick av de personliga kommentarerna. Detta verkade till att börja med förvånande, eftersom teknologerna läste två andra kurser parallellt och kunde möjligen ha varit mer känsliga för ytterligare undervisningsmoment, men vid diskussioner i de grupper som organiserats inom projektet, framkom att teknologerna haft obligatoriska programmeringskurser innan kursen i fysikalisk kemi, medan naturvetarstudenterna väljer kursen mer fritt i sitt utbildningsprogram och de flesta hade väsentligt mindre vana av datorer i olika kurser. På naturvetarkursen deltog heller inte enbart kemistudenter, utan även lärarstudenter och studenter i biologi. Dessa faktorer tillsammans verkade alltså påverka inställningen till de aktuella momenten. Det är säkert så att den nya generationens studenter blir mer och mer vana vid och även förväntar sig att en del av undervisningen är datorbaserad, men det kan också vara så, beroende på träning och bakgrund, att det finns en skillnad i inställning till olika moment såsom att "leta information" jämfört med att utföra mer omfattande moment som även ingår i en examination. (Vid en genomgång av den senaste kursvärderingen för årskurs 1 från höstterminen 2008 då teknologer och naturvetarstudenter läste samma kurser, verkar det ej heller finnas någon skillnad mellan programmen.)

Det som kan sägas vara vår utgångspunkt för projektet var att förstärka den teoretiska kopplingen till laborationernas innehåll och för att inte enbart testa studenterna inställning utan även det faktiska utfallet, hade vi en fråga på den tentamen som fanns i slutet på kursen, som tidigare funnits som en labseminariefråga då vi haft "tutorial"-liknande övningar där studenterna i förväg fått svara på frågor som sedan diskuterades i mindre grupper. Medan mycket få studenter tidigare kunnat ge ett uttömmande svar (på frågan om varför ledningsförmågan vid micellbildning ändras på ett visst sätt) blev resultatet på samma fråga nu ett medelvärde på 40% av maxpoängen, vilket var en kraftig förbättring.

Slutsatsen av denna första utvärdering vi gjorde, både från den skriftliga utvärderingen och de muntliga diskussionerna, var att det är mycket viktigt att vara tydlig med instruktioner och att dessa bör vara detaljerade, så att studenterna kan koncentrera sig på de frågor respektive filmer som ingår som förberedelse till laborationen och ej behöver bekymra sig att hitta rätt i Ping Pong. En klar majoritet tyckte att de hade ett stort utbyte av det material som vi framställt och vi fortsatte därför med viss tillförsikt att utveckla liknande material för fler laborationer på olika kurser. Inför det andra steget i projektet var det också till stor hjälp att de studenter som deltog i referensgruppen skriftligen kommenterade alla filmer (vad som var bra och vad man behövde tänka på) och även läste alla frågor för att se om de, ur studenternas perspektiv, kunde misstolkas eller på annat sätt vara oklara.

Efter pilotomgången under vårterminen 2007, har alltså ytterligare material framställts och detta ingår nu som en naturlig del i de flesta laborationerna i fysikalisk kemi och även på några laborationer i spektroskopi på högre årskurser. För att ha en kontinuerlig uppföljning och utveckling finns nu frågor om dessa moment som en del av kursvärderingarna. Ett annat viktigt utvärderingsinstrument är laborationslärarna och efter att vi (utan att säga något) på en kurs gått tillbaka till den vanliga rutinen med enbart skriftliga labhandledningar, men ej några instuderingsfrågor eller filmer, kom lablärarna självmant och frågade om det hänt något, eftersom studenterna verkade så dåligt förberedda och hade "så många frågor om allt möjligt. Har de inte haft Ping Pong?". Vi tar detta som ett tecken på att inte bara studenterna själva tycker att de har ett gott utbyte, utan att de verkligen är bättre förberedda, både teoretiskt och praktiskt.

Diskussion

Den viktigaste effekten av projektet är att vi kunnat utveckla en metod för att studenterna, på ett systematiskt sätt, kan reflektera både över det teoretiska innehållet i laborationerna och det praktiska genomförandet på lab. Det har varit viktigt för oss att behålla och stärka studenternas laborativa färdighet samtidigt som den teoretiska kopplingen till laborationernas innehåll har varit utgångspunkten för arbetet. Detta är ett generellt problem inom kemiämnet, men speciellt inom fysikalisk kemi som betraktas som teoretiskt svårt av studenterna och där laborationerna ofta upplevts som frikopplade från teoriundervisningen. För studenterna har det allmänna införandet av dessa moduler sammanfallit med övergången till nya studieplaner och nya kurser och även med införandet av graderade betyg på laborationerna på alla kemikurser vid Uppsala universitet. Tack vare de tester och preliminära utvärderingar vi gjorde för den första omgången labmoduler, där vi såg att studenterna inte bara tyckte att det var bra och hjälpte dem i deras studier, utan att man även fick mätbara effekter, lades en del av dessa laborationer under första terminens kurser för att hjälpa dem som kanske inte har så stor laborationsvana från gymnasiet. På så sätt ökar man möjligheten till förberedelse i sitt eget tempo, vilket lett till säkrare och mindre stressade studenter, som dessutom generellt fungerar bättre i grupp. Detta var också den spontana kommentar man fick av många lablärare.

Ett av problemen för att sprida resultaten och metoden, så att fler lärare kan bli ansvariga för just denna del av kurserna, är den sk. lärplattform vi använt (Ping Pong). Det är ganska svårt att komma igång och det är svårt att upprätthålla kunskapen om man inte regelbundet sysslar med programmet. När vi nu har detta moment som en naturlig del i flera kurser, kan vi se i våra kursvärderingar att den kritik som framförs oftast har att göra med att det varit problem med själva proceduren och betydligt mera sällan med innehållet. Detta är naturligtvis inget problem för någon som vill utgå från den metod vi presenterar i rapporten, men man bör tänka igenom vilket program man vill använda som lärplattform. Det bör vara rimligt lättanvänt för att lägga upp frågebanks där olika frågor lätt skall kunna kopplas samman till olika moduler, och där rättningen skall ske automatiskt med lätt tillgänglig statistik. Vi har även, för vissa laborationer, använt oss av en blandning av flervalsfrågor och textbaserade frågor, vilket programmet bör kunna hantera. Slutligen skall det också vara lätt att från programmet länka till filmer i olika format.

Även om de i projektet utvecklade modulerna används inom flera kurser i dag, kan man spekulera i hur det kommer att se ut på längre sikt. Vi bedömer då att de frågebanks vi nu byggt upp kommer att utvecklas och delvis förnyas, men att de kommer att vara kvar på åtminstone 10-15 års sikt. Frågorna är visserligen utvecklade utifrån en given laboration, men

med det ekonomiska läge som gäller för grundutbildningen i kemi inom universitet och högskolor inom överskådlig framtid, kommer de flesta laborationer att vara kvar i stort sett i nuvarande form, med tanke på det investeringsbehov som i regel krävs i form av apparatur och övrigt material för att förnya eller byta ut en laboration. Att framställa frågorna till frågebanken tog visserligen längre tid än först beräknat (inklusive ändringar efter studenternas utvärdering), men dessa kommer alltså troligen att kunna användas även på längre sikt. Det som är mera osäkert är om det format filmerna finns lagrade på kommer att fungera även om 10 år. För att försäkra oss om en rimlig lång livslängd filmades alla (utom de två första) i HD-TV-format. Vid överföring av filmerna till Ping Pong sparades de emellertid i wmv-format vilket visserligen sänker kvaliteten något, men de blir hanterliga i storlek.

Sammanfattningsvis är vi glada över den respons projektet har mött bland studenterna, att det till stor del verkar ha givit den effekt vi eftersträvade och att det rönt intresse även bland andra lärosäten.

Referenser

- Fazarinc, Z., Divjak, S., Korošec, D., Holobar, A., Divjak, M. & Zazula, D., (2003). Quest for Effective Use of Computer Technology in Education: From Natural Sciences to Medicine. *Computer Applications in Engineering Education*, 11(3), 116-131.
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Hofstein, H. & Lunetta, V. A. (1984). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217.
- Jacob, C. (2004). Critical Thinking in the Chemistry Classroom and Beyond. *Journal of Chemical Education*, 81(8), 1216-1223.
- Lloyd, B. W. & Spencer J.N. (1994). New Directions for General Chemistry- Recommendations of the Task Force on the General Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 71(3), 206-209.
- Martínez-Jeménez, P., Pontes-Pedrajas, A., Paolo, J. & Climent-Bellido, M. S. (2003). Learning in Chemistry with Virtual Laboratories. *Journal of Chemical Education*, 80(3), 346-352.
- Mulford, AD. R., & Robinson, W. R. (2002). An Inventory for Alternative Conceptions among First-Semester General Chemistry Students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- Oliver-Hoyo, M. T., Hunt, W. F., Hutson, J., & Pitts, A. (2004). Effects of an Active Learning Environment: Teaching Innovations at a Research Institution. *Journal of Chemical Education*, 81(3), 441-448.
- Shive, L. E., Bodzin, A. M. & Cates, W. M. (2004). A National Science Standards- Based Study of Web-Based Inquiry in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 81(7), 1066-1072.
- Slocum, L. E., Towns, M. H., & Zielinski, T. J. (2004). Online Chemistry Modules: Interaction and Effective Faculty Facilitation. *Journal of Chemical Education*, 81(7), 1058-1065.
- Winberg, T. (2006). *Simulation in University Chemistry Education*. Thesis, University of Umeå, 2006, Umeå.
- Woodfield, B. F., Catlin, H. R., Waddoups, G. L., Moore, M. S., Swan, R., Allen, R. & Bodily, G. (2004). The *Virtual ChemLab* Project: A Realistic and Sophisticated Simulation of Inorganic Qualitative Analysis. *Journal of Chemical Education*, 81(11), 1672-1678.