

Naturvetenskapliga mätningar med digitala verktyg

Mattias Rundberg och Annette Johnsson, Högskolan i Halmstad

Att mäta för att samla information om vår omvärld är ett grundläggande arbetssätt inom naturvetenskapligt arbete. Enkla, traditionella mätredskap som, t ex, tidur, skjutmått, och vågar är viktiga verktyg för att genomföra laborationer. De är också viktiga för att förstå mätningens betydelse och hur noggrant man kan mäta med olika redskap.

Med digitaliseringen har mätverktygen utvecklats och fler situationer kan undersökas för att samla mätdata. Mikrodatorbaserade laborationer (MBL) introducerades i fysikundervisningen för mer än tjugo år sedan (Tinker 1996). Genom att koppla en sensor till en dator kan elever och studenter mäta fysikaliska förlopp och företeelser vilket ger ett effektivt verktyg för insamling, analys och visualisering av experimentdata (Bernhard 2003).

Datalogger är en vanlig benämning på den enhet som med hjälp av olika sensorer samlar mätdata. Mätvärdesinsamlare är en annan benämning. Digitala verktyg för naturvetenskapliga mätningar kan vara många olika slags utrustning, till exempel digitala termometrar eller appar som utnyttjar mobiltelefonens sensorer. Mätdata som sensorn registrerar kan åskådliggöras i grafisk form kontinuerligt och i realtid, det vill säga samtidigt med att det fysikaliska förloppet utvecklas och mätningen sker. Användning av digitala mätvärdesinsamlare är alltså ett mycket praktiskt sätt att göra mätningar och samla in data. Dessutom ger det digitala formatet stora möjligheter att direkt visualisera mätdata genom grafer eller diagram. Detta sparar tid och skapar utrymme för meningsskapande i samband med en laboration. Förståelse kring osäkerhet i mätningar behöver fortfarande finnas med även då digitala mätverktyg används.

Elever ska enligt Läroplanen för grundskolan (Lgr22) ges förutsättningar att utveckla kunskaper om naturvetenskapens förklaringsmodeller och förmågor att genomföra systematiska undersökningar med stöd av digitala verktyg. Att arbeta med digitala mätverktyg och dataloggers utifrån ett naturvetenskapligt arbetssätt kan ge nya dimensioner till förståelsen av begrepp och sammanhang. Tillsammans med traditionella laborationer så kan de olika arbetsättens styrkor och svagheter lyftas och problematiseras.

TPACK och mätningar med digitala verktyg

Att genomföra mätningar sammanfattar vad naturvetenskap handlar om. Genom att använda digital utrustning kan en ytterligare en kompetens hos läraren behöva uppmärksammas som handlar om kompetens att hantera utrustning och programvaror.

Den tekniska kunskapen ligger här i att förstå den mätutrustning man använder och hur man samlar in data. I Venn-diagrammets TCK-skärning möts de kompetenser som handlar om att förstå vad som ska mätas, alltså ämneskunskap, och hur utrustningen ska hanteras. Lärares utmaning består här i att pedagogiskt hantera ämnesinnehållet och hur mätningar ska genomföras praktiskt. Eftersom naturvetenskap bygger på systematiskt genomförda mätningar med utrustning som är optimerad för det man ska mäta så erbjuder detta en utmärkt möjlighet till att behandla den vetenskapliga metoden och vikten av att vara säker på att man mäter rätt sak och att man mäter på rätt sätt. Själva mätutrustningen kan i sig vara en bra källa till kunskap då den behöver vara utformad att kunna fånga det vi vill mäta, t ex en koldioxidmätare eller en tryckmätare. Hur mätutrustning fungerar kan alltså ge pedagogiskt mervärde genom att använda de tekniska funktionerna i undervisningen. Att mätutrustningen möjliggör att, genom programvaror, snabbt och smidigt ge tillgång till mätvärden skapar utrymme att förstå vad det är man mäter.

Graf som naturvetenskaplig representation

Att använda grafen som en representation av naturvetenskapliga händelser medför att eleverna behöver besitta kunskaper kring bl.a. grafers uppbyggnad, avläsning av grafer och tolkning av grafer. Mer om hur man som lärare kan förhålla sig till undervisning som innefattar visualiseringar med hjälp av grafer och vad läraren då bör ta hänsyn till finns i modulen Modeller och representationer del 7 som finns på Skolverkets lärportal. Där beskrivs olika aspekter att ta hänsyn till vid undervisningen samt vad forskningen visar kring detta representationssätt. En del som dock kan vara viktig att vara medveten om som lärare, men även en viktig aspekt att lyfta med eleverna före, under och efter undersökningarna är att titta på tillförlitligheten i mätningarna som är gjorda. Här handlar det om att precis som i traditionella naturvetenskapliga försök ha ett systematiskt arbetssätt och inta ett reflekterande och kritiskt förhållningssätt till den data som samlas in. Hur skapar man största möjliga tillförlitlighet är en fråga som måste vara i fokus vid alla systematiska undersökningar.

Tidigare forskning på användning av MBL och dataloggers i laborationer har identifierat flera fördelaktiga egenskaper hos dessa instrument. En viktig funktion är att det skapas ett realtidsdiagram vid mätningen, det vill säga att mätvärden registreras i ett diagram i realtid. Betydelsen av denna funktion påvisas i forskning av till exempel Brassell (1987) Nicolaou et al., (2007) samt Pierri, Karatrantou, & Panagiotakopoulos (2008). I Brassells (1987) studie delades 75 gymnasieelever slumpmässigt upp på fyra grupper i

fysik: en grupp vars skärm visade grafen i realtid; en grupp vars skärm visade grafen efter en 20 sekunders fördröjning; en grupp som gjorde en penna-och-pappersaktivitet; och en grupp som gjorde en traditionell laboratorieaktivitet. För- och eftertest visade ett signifikant högre poängresultat hos gruppen där data visades grafiskt på en skärm i realtid i jämförelse med de andra tre grupperna. Vad som enligt Brassell kan ha försämrat resultatet hos gruppen med 20-sekunders fördröjning är att dessa elever, i jämförelse med realtidsgruppen, belastar sitt korttidsminne genom att de måste fundera kring vad de behöver minnas från laborationen.

MBL/dataloggers kan också stärka elevernas förmåga att tolka grafer. Adams och Shrums (1990) visade att de elever i årskurs 10 (ungefär första året på gymnasiet) som gjorde traditionella laborationer var bättre på att konstruera grafer men sämre på att tolka grafer än de som använde dataloggers. Tid som annars går åt till datainsamling, rita grafen och avläsa den kan istället användas till att förstå och tolka grafen och eleverna uppnår därför en större färdighet inom det. Chen et al. (2012) menar att genom att använda dataloggers kan man lösa flera av de svårigheter som uppkommer i traditionellt laboriearbete, inklusive låg mätfrekvens och mätinstrumentens låga precision, tidsbrist vid laboration i naturvetenskap och bristen på undervisningsresurser. Genom små och mobila dataloggers med inbyggda mikroprocessorer, minskar man tidsåtgången för datainsamling och grafitning och ökar tiden för analys och diskussion av resultat och datavariablernas inbördes relationer (Kelly & Crawford, 1996; Srisawasdi, 2012; Tortosa, 2012; Russell, Lucas, och McRobbie, 2004). Den sparade tiden kan också användas för abstrakt kognitivt tänkande menar Hucke & Fischer (2002).

Programmering och digitala mätningar

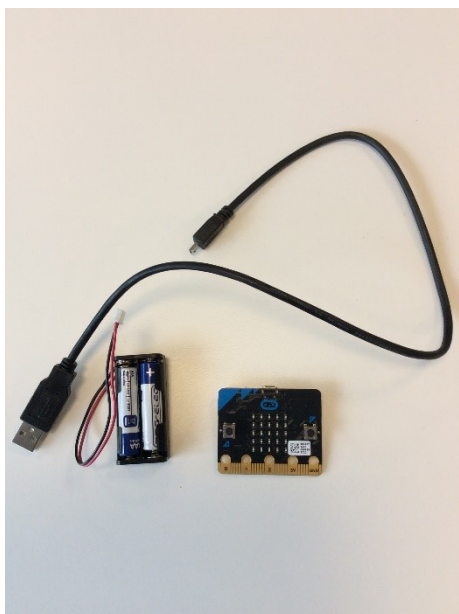
I läroplanen för grundskolan (Lgr22) och gymnasieskolan framskrivs tydligt vikten av att stärka kompetensen av programmering i såväl grundskolan som gymnasieskolan och då framförallt genom ämnena matematik och teknik i grundskolan. Programmering är inte centralt i denna läromodul men inom digitala mätningar finns förutsättningar att använda programmering för att ytterligare komplettera den digitala mättekniken. Lyfta tanken med samarbeten mellan lärare i matematik, naturvetenskap och teknik och därigenom skapa synergieffekter som kan skapa ett mervärde för såväl elevernas lärande som för lärarnas arbete mot elevernas förmågor i respektive ämne.

Det har kommit ut många produkter på marknaden som kan användas i undervisningen i programmering. Produkterna kan med fördel programmeras så att de kan utnyttjas som mätare vid naturvetenskapliga undersökningar. Ett exempel på detta är mikrokontroller som finns i olika utföranden och som kan byggas i allt från enkla system (se figur 1) där man bara använder själva mikrokontrollern som har inbyggda system som mäter till

exempel ljus, temperatur och acceleration till mer komplicerade där det går att koppla in olika komponenter till mikrokontrollern. Fördelen med dessa programmeringssystem är att det går att öka svårighetsgraden genom programmeringsspråket. Detta möjliggör anpassningar till olika nivåer av lärande och åldrar.

Figur 1.

Mikrokontroller som kan användas som mätare av olika parametrar i experiment.



Således kan undervisning planeras på sådant sätt att det man tränar på till exempel under programmeringsmomenten i matematiken kan leda till konstruktioner som skulle kunna användas som en digital mätare vid en naturvetenskaplig undersökning i fysik. Den programmerade mätaren skulle då kunna användas istället för dataloggers eller som ett komplement till de dataloggers man har som undervisningsmaterial sedan tidigare. Även här skulle en undersökning som syftar till att kontrastera traditionella och digitala undersökningar kunna skapas, likt det som beskrivits i tidigare avsnitt av denna text.

På Youtube finns många filmer som visar hur mikrokontrollers fungerar och hur dessa kan programmeras för olika ändamål.

Mätning med dataloggers

Ett systematiskt arbetssätt med dataloggers kan användas för att träna såväl elevers förmåga att kommunicera, granska och använda information som förmåga att planera, genomföra, tolka och redovisa experiment och observationer. Idag kan man köpa dataloggers som portabla enheter utan skärm, men som med hjälp av tillhörande

programvara går att ansluta trådlöst för projicering av datan på en skärm tillhörande till exempel en surfplatta, mobiltelefon eller en dator. Dataloggers finns från flera olika leverantörer och med dessa kan mätdata insamlas och behandlas för att sedan användas för analys av det som studeras. Det finns en uppsjö av sensorer och dessa kan användas såväl i biologi, fysik och kemi var för sig som i ämnesövergripande studier i naturvetenskap. Koldioxid, syrgas, tryck, kraft, puls, temperatur, pH-värde, ljud och ljus är exempel på vad sensorerna kan mäta. Då de olika sensorerna kostar en del att införskaffa är det viktigt att först fundera över vilken budget man har till inköp och sedan grundligt prioritera sensorer som kan ge störst möjligheter till variation och flexibilitet i laborationer.

Systemen kopplas trådlöst till en systemapp i telefon, surfplatta eller dator och där datan presenteras som tabell eller diagram. Ett stort antal fördelar finns i användningen av dataloggrar och sensorer vid laborationer. Dels sker insamlingen av data i realtid, insamlingen sker snabbt och dels går det därigenom att observera och mäta både långsamma och snabba förändringar. I flera av systemen går det att samla in data från flera sensorer samtidigt, vilket möjliggör insamling av data från flera variabler samtidigt. Detta ökar komplexiteten och flexibiliteten i laborationerna, då eleverna både kan analysera variablerna var för sig och hur de olika variablerna förhåller sig till varandra. Utvecklingen går nu snabbt i riktning mot att sensorerna dessutom blir trådlösa, vilket ökar möjligheterna ytterligare, då mätningar kan göras på ställen där det tidigare var svårt att utföra mätningar. Allt detta sammantaget skapar möjlighet till fler frihetsgrader i studierna av fenomen vid naturvetenskapliga undersökningar. Begreppet frihetsgrader används för att beskriva hur styrd eller öppen en undersökning är. Vid låga frihetsgrader har läraren formulerat problemet och hur undersökningen ska genomföras och resultatet är givet. Vid höga frihetsgrader är såväl frågorna, hur undersökningen ska genomföras och vilka svar som kan erhållas öppna. Trots fler frihetsgrader kan det vara enklare för eleverna eftersom de genom den grafiska representationen har ett gemensamt perspektiv och fokus på laborationen. Genom diskussioner prövar de och värderar olika tolkningar av graferna, experimentet och ämnesinnehållet. Argumentation blir till en viktig komponent för att lösa uppgifterna (Bernhard, 2003).

Exempel på laborationer där digitala mätverktyg används

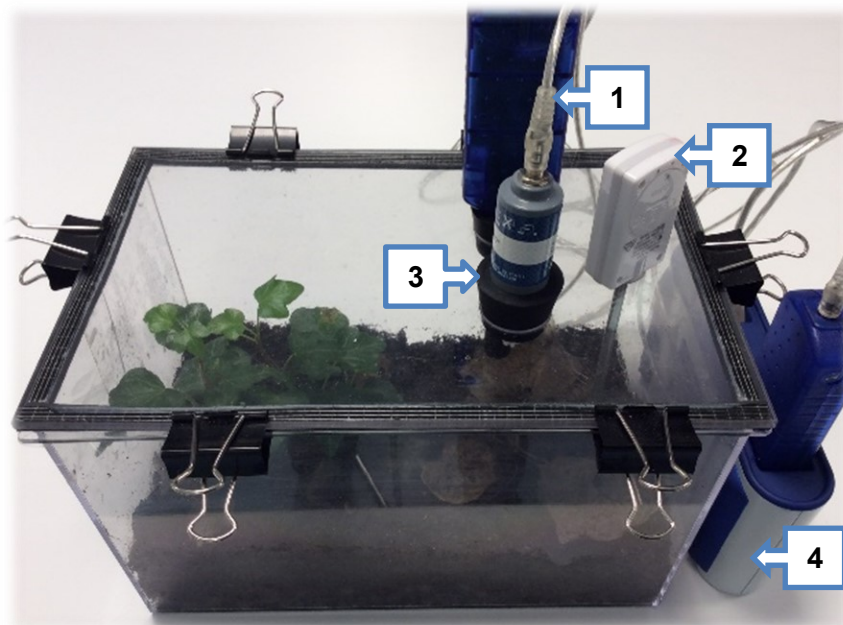
Här följer några exempel på hur sensorer och digitala mätverktyg kan användas vid laborationer.

Slutet ekosystem

Slutna ekosystem (biosfärer) går att köpa färdiga och har kan då ha förberedda anslutningar där sensorer kan monteras.

Figur 2.

En biosfär med inkopplade sensorer. 1. Koldioxidsensor 2. Temperatursensor (trådlös) 3 Syresensor. 4. Datalogger med koppling för sensorer.



Till ekosystemet i figur 2 finns sensorer kopplade som mäter koldioxidhalt, syrehalt och temperatur. Mätningar kan varieras utifrån vad man vill belysa i uppgiften, hur lång tid man vill mäta, under olika ljusförhållanden och eventuell inverkan av värmekälla. De olika förhållandena kommer bl.a. påverka fotosyntesen och celledningen hos växten och förbränningen hos mikroorganismerna i jorden. Sensorerna ger mätdata i form av grafer som ger eleverna möjlighet att undersöka förklaringsmodellerna för ekosystemet samtidigt som de kan träna sig i att tolka och analysera. Uppgiften kan också arrangeras för att ge eleverna träning i att resonera kring kopplingen mellan observationer och teori.

Viktigt är naturligtvis att allt sker med god planering kring vilket lärande som ska komma ut ur övningen och att ha ett naturvetenskapligt arbetssätt i fokus under de olika delarna av laborationen. Här kan med fördel en T-CoRe fyllas i för att reflektera över temat som ska läras och vilka Big Ideas som ska belysas och hur dessa ska mötas ur ett tekniskt, pedagogiskt och ämnesperspektiv, se del 2 i denna modul. Dataloggers som verktyg vid systematiska undersökningar skrivs även fram i modulen: *Förmåga att genomföra systematiska undersökningar; del 7: Digitala resurser i undersökningar.* (Skolverket 2022)

Kontrastera traditionella laborationer mot digitala mätningar

En annan aspekt som kan belysas i arbetet med digitala mätningar är att kontrastera det digitala arbetssättet och den digitala representationen mot dess traditionella motsvarighet. Det kräver en del planering att skapa laborationer med naturvetenskapliga prövningar som bygger på analoga metoder och iakttagelser och som dessutom kan appliceras in i en motsvarande laboration där de naturvetenskapliga händelserna kan mätas med sensorer. Här kan med fördel även frågeställningar kring vilka aspekter som blir synliga i de olika formerna (traditionell och digital) av laborationen. Även vilka fördelar och nackdelar kopplat till förståelsen av vad eleverna lär sig genom att de olika förhållningssätten lyftes fram och problematiserades kan synliggöras.

För att ge stöd i hur en sådan laboration skulle kunna arrangeras så följer här tre olika exempel på laborationer; ”Ljuset i glaset” (biologi, kemi och fysik), ”Palla trycket” (fysik och kemi) samt ”molekylrörelse” (fysik och kemi).

Ljuset i glaset

Det första exemplet på en laboration av denna karaktär är den klassiska laborationen med ”Ljuset i glaset”.

Figur 3.

Material för ”Ljuset i glaset”.



Analog uppställning

I den analoga experimentuppställningen använder vi enbart ett värmeljus, tändstickor och ett glas (figur 3). Frågan blir vad som händer när vi ställer glaset över det tända ljuset.

När laborationen genomförs ser man att det bildas kondens på glasets insida och ljuset kommer efter en liten stund att slockna.

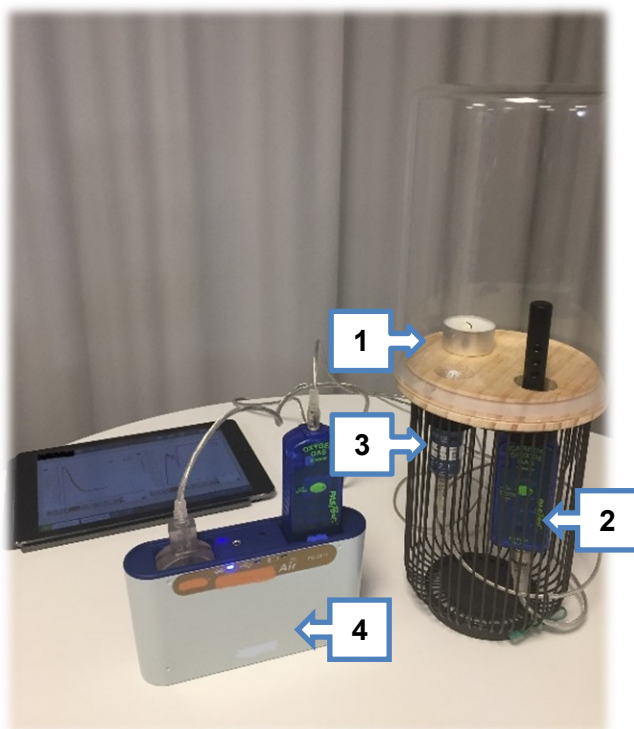
Eleverna kan här arbeta med sina synintryck av det som händer. Vår erfarenhet från denna typ av laboration är att elever har en föreställning om att syret kommer att ta slut genom förbränningen och därigenom kommer ljuset att slockna.

Digital uppställning

Här kan man då ta steget till den digitala delen av laborationen. Beroende på vilken grupp man möter kan man som lärare välja att antingen arbeta med en öppen fråga kring ”hur kan vi testa om syret tagit slut?” där eleverna får i uppdrag att bygga upp systemet. Alternativt leder läraren in arbetet mot ett planerat försök där eleverna utför mätning med syresensorn för att testa hypotesen om att syret tar slut. Det eleverna får syn på när de gör mätningen är att ljuset slocknar när det finns ca 17 procent (volymprocent) syre kvar i systemet. Syret tar således inte slut!

Figur 4.

Experimentuppställning för "Ljuset i glaset" med digitala mätningar. 1. Sluten glasbehållare med ljus 2. Koldioxidsensor, 3. Syresensor 4. Datalogger med mottagning för sensorer.



Detta kan föra laborationen in i nästa fas, där mätning av koldioxid i systemet kan leda till en djupare förståelse av hur halten koldioxid ökar i samband med förbränningen. Figur 4 visar två grafer som visar på förändringen av syre (till vänster) och koldioxid (till höger) i systemet. Dessa mätningar är från ett och samma tillfälle. Notera dock att skalorna är olika på de två graferna samt att syret anges i procent och koldioxiden i ppm (parts per million). När mätningen startar är koldioxidnivån ca 400 ppm och syrenivån ca 21 procent. När ljuset slocknar är koldioxidnivån på ca 7000 ppm och syret på ca 17 procent.

Figur 5.

Grafer som visar på förändringen av syre (till vänster) och koldioxid (till höger) i systemet.



Vår erfarenhet av att göra denna laboration är att det finns många diskussioner som kan uppstå. Dessa tränar elevernas förmåga att tolka kurvornas utseende och resonera om varför de ser ut som de gör. Se figur 5, varför har vi till exempel en kraftig sänkning av koldioxid till ca 4000 ppm, direkt när ljuset slocknar, följt av en kraftig ökning till ca 9000 ppm och sedan en relativt stabil kurva på ca 9000 ppm? Hur påverkar de olika densitetsförhållnaden som uppstår under laborationen kurvans utseende? Hur mycket syre krävs för en öppen låga? Vilka kopplingar kan göras till vår omvärld som till exempel vikten av en balanserad nivå av syre och koldioxid i luften och hur det kan påverka skogsbränder, ökad växthuseffekt etc.

Palla trycket

Det andra exemplet har vi låtit kalla ”Palla trycket”. Här har vi använt två 1,5-liters PET-flaskor som rengjorts och sedan fyllts med marshmallows. Båda flaskornas korkar har fått en cykelventil ditmonterad och infästningen kring ventilen har blivit noggrant tätad med superlim för att motverka läckage.

Figur 6.

Palla Trycket: Petflaska fylld med marshmallows. Korken är försedd med cykelventil där en trycksensor kan monteras



Till den flaska som ska användas vid den digitala delen av laborationen har en ”Dual pressure”-sensor (en sensor som kan mäta trycket inne i ett system samtidigt som referensvärdet utanför behållaren mäts) kopplats med slang in i botten för att kunna mäta trycket i flaskan. Dessutom har en snabbtemperatur-sensor monterats in i flaskhalsen (se figur 5).

Här skulle laborationsupplägget kunna se ut som följer:

Analog uppställning

1. Ta PET-flaskan med marshmallows i. Vrid på pumpen på ventilen!
2. En person pumpar sedan i luft i flaskan medan en andra person håller i flaskan med ena handen i botten och den andra handen runt flaskhalsen. Pumpa gärna så fort du kan.
3. Notera vad du observerar. Känn, kläm och titta. (Vrid bort pumpen från ventilen!)
4. Avsluta med att vrida på flaskans kork och observera vad som händer.
5. Vad är det som laborationen kan visa? Beskriv de olika fysikaliska fenomenen/händelserna under laborationens gång.

Exempel på utfall som kan diskuteras och uppmärksammas i samtalet med eleverna:

- Marshmallow sjunker ihop när vi pumpar in luft för att luft tar plats (”att göra det osynliga synligt”).

- Det blir varmt kring flaskhalsen. Varmare ju snabbare vi pumpar p.g.a att luftmolekylerna krockar med varandra och friktionsvärme uppstår.
- Flaskan blir hårdare och hårdare när vi pumpar in mer luft i flaskan. Detta då fler och fler molekyler trycker på insidan av flaskan. Ett övertryck skapas således i flaskan och detta trycker flaskans väggar utåt.
- Det pyser kraftigt när vi skruvar av korken i slutet och luktar marshmallow. Utjämnningen av trycket i flaskan kommer sätta molekylerna i rörelse som skapar en ljudvåg. Denna utjämnning för även med sig doftämnen från marshmallowen.

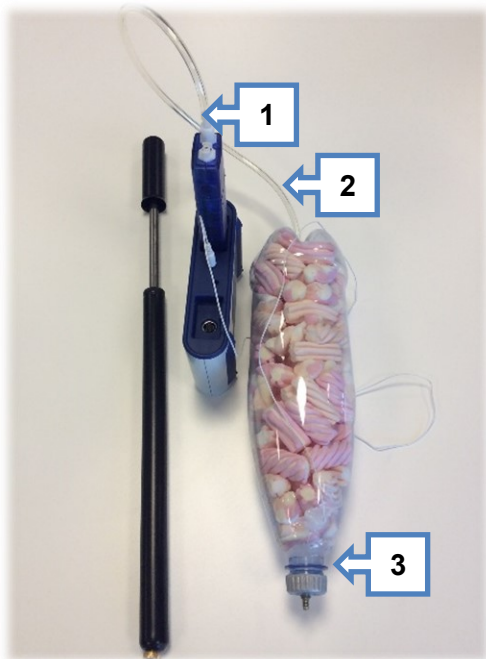
I denna del av laborationen utnyttjas flera av våra sinnen (känsl, syn och hörsel) som medel för observationer av de naturvetenskapliga händelserna.

Digital uppställning

1. Koppla upp dig med den digitala mätutrustningen (Surfplatta, datalogger och PET-flaska med mätutrustning). Ställ in så att du kan se mätvärden på temperatur och tryck.
2. Starta mätningen. Pumpa på samma sätt som i den analoga delen av laborationen. Håll på ett tag och pumpa gärna så fort du förmår. Stanna mätningen. (Skruva på och av pumpen på samma sätt som i den analoga delen av laborationen.)
3. Vad får du syn på här? Funderingar kring det som du kom fram till i försök 1 i förhållande till försök 2?

Figur 7.

1. "Dual pressure"-sensor. 2. Slang in i flaskan för tryckmätning 3. Fästpunkt för snabbtemperatursensor.



Vilka slutsatser kan du dra av försök 1 och 2? Kan dessa processer kopplas till processer i vår omgivning? Exemplifiera.

Här handlar det om att grafen som representation blir utgångspunkten för samtalen med eleverna. Exempel på delar som kan användas som utgångspunkt för diskussioner förutom det som finns i instruktionen ovan:

- Temperaturen
 - Vilka olika parametrar är det som styr vilken temperaturökning som kan uppnås?
 - Vad är temperatur och hur kan den mätas?
 - Hur kan vi använda dessa kunskaper för att till exempel förstå händelser i vår omgivning?
- Trycket
 - Vilka olika parametrar är det som styr vilket tryck som kan uppnås?
 - Hur kan tryck förstås utifrån partikelmodellen (molekylers rörelse och förhållande till varandra)?

- Vilka samband finns mellan trycket i flaskan och att till exempel dyka ner i havet eller att gå ner i en gruva?

Molekylrörelse

Det tredje exemplet som vi valt att kalla ”molekylrörelse” bygger på en klassisk analog laboration där man använder en tom PET-flaska och trär en ballong över flaskans mynning.

Analog uppställning

Laborationen går sedan ut på att studera vad som inträffar om man spolrar (eller på något annat sätt täcker) flaskan med vatten av olika temperatur. Här kan eleverna träna sig i att genomföra systematiska undersökningar och titta på undersökningen utifrån variation av någon variabel i taget och hur det påverkar utfallet. Variationerna kan göras bl.a. utifrån vattnets temperatur, flaskans storlek och material på flaskan. På samma sätt som tidigare bygger iakttagelserna i den analoga delen av laborationen nästan uteslutande på upplevelserna med hjälp av våra sinnen (syn, hörsel, känsel).

Digital uppställning

När vi istället övergår till den digitala varianten så har en ”Dual-pressure”-sensor kopplats till flaskan genom ett hål i flaskans kork och sedan tätats med lim (se figur 7). Med hjälp av denna kan vi få mätningar på hur mycket trycket ökar i flaskan, då luften i den blir påverkad av den omgivande temperaturförändringen när flaskan spolras med vatten. För att få ytterligare tydlighet kan en temperatursensor anslutas och samtidigt som vi mäter tryckförändringen kan vi även koppla denna till en specifik temperatur. Om temperaturen och trycket kommer i samma graf kan eleverna sedan få analysera och diskutera slutsatser av försöket och hur dessa samband kan relateras till vår vardag.

Figur 8.

Digital labbupställning för att undersöka molekylrörelse.



Laborationsexemplen som presenteras ovan kan precis som i traditionella laborationer varieras och då skapa en riktning i vilket lärande som för tillfället ska vara i fokus. Genom upplägget av laborationen, hur frågor presenteras och vilka frågor som ställs skapar förutsättningar för vilka förmågor i elevernas lärande som kommer i fokus.

Referenser

Adams D. D., & Shrum, J.W. (1990). The effects of microcomputer-based laboratory exercises on the acquisition of line graph construction and interpretation skills by high school biology students. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 777–787.

Beichner, R. J. (1990). The effect of simultaneous motion presentation and graph generation in a kinematics lab. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 803–815.

Bernhard J. (2003) Physics Learning and Microcomputer Based Laboratory (MBL) Learning Effects of Using MBL as a Technological and as a Cognitive Tool. I Psillos D., Kariotoglou P., Tselfes V., Hatzikraniotis E., Fassoulopoulos G., Kallery M. (Red.) *Science Education Research in the Knowledge-Based Society*. Springer, Dordrecht.

Brassell, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 385–395.

- Chen, S., Lo, H.-C., Lin, J.-W., Liang, J.-C., Chang, H.-Y., Huang, F.-K., et al. (2012). Development and implications of technology in reform-based physics laboratories. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 8, 020113.
- Hucke, L. & Fischer, H. E. (2002). The linking of theory and practice in traditional and in computer-based university laboratory experiments. I D. Psillos & H. Niedderer (Red.), *Teaching and learning in the science laboratory* (pp. 205–218). Boston: Kluwer.
- Kelly, G. J., & Crawford, T. (1996). Students' interaction with computer representations: Analysis of discourse in laboratory groups. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), 693-707.
- Liu, C., Wu, C., Wong, W., Lien, Y., & Chao, T. (2017). Scientific modeling with mobile devices in high school physics labs. *Computers & Education*, 10544-56. doi:10.1016/j.compedu.2016.11.004
- Nicolaou, C. T., Nicolaidou, I., Zacharia, Z., & Constantinou, C. P. (2007). Enhancing fourth graders' ability to interpret graphical representations through the use of microcomputer-based labs implemented within an inquiry-based activity sequence. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 26(1), 75 – 99.
- Pierri, E., Karatrantou, A., & Panagiotakopoulos, C. (2008). Exploring the phenomenon of “change of phase” of pure substances using the microcomputer-based-laboratory (MBL) system. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 234 – 239.
- Russell, D. W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2004). Role of the microcomputer-based laboratory display in supporting the construction of new understandings in thermal physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 165 – 185.
- Settlage, J., Jr. (1995). Children's conceptions of light in the context of a technology-based curriculum. *Science Education*, 79, 535–553.
- Skolverket (2022). *Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet – Lgr22*. Skolverket.
- Skolverket. (2022). Systematiska undersökningar. https://larportalen.skolverket.se/#/modul/2-natur/Grundskola/506a-systematiska-undersokningar-ak_7-9
- Srisawasdi, N. (2012). Student teachers' perceptions of computerized laboratory practice for science teaching: A comparative analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46, 4031-4038.

Tinker, R. F. (Red.),(1996). Microcomputer-Based Labs: Educational Research and Standards. *NATO ASI Series F, 156, 1996*. Springer, Berlin.

Tortosa, M. (2012). The use of microcomputer based laboratories in chemistry secondary education: Present state of the art and ideas for research-based practice. *Chemistry Education Research and Practice, 13(3)*, 161-171.