

Simuleringar i naturvetenskaplig undervisning

Madelen Bodin, Umeå universitet

Digitala verktyg ger möjlighet till nya sätt att jobba med undersökande arbetssätt i undervisning i naturvetenskapliga ämnen. Att jobba med simuleringar är ett naturligt sätt för naturvetare att arbeta. Att simulera innebär att återskapa verkligheten, en händelse, eller ett fenomen eller en process. Med en datorsimulering använder vi datorkraften för att göra de beräkningar som behövs för att återskapa verkligheten. För en naturvetare handlar arbetet ofta om att göra datorsimuleringar med hjälp av matematiska modeller av det data man samlar in vid olika experiment eller observationer. Datorers ökade prestanda att göra många beräkningar och nya numeriska metoder att göra dessa beräkningar har lett till allt bättre möjligheter att simulera den verkliga världen. Digitala miljöer ger möjlighet att med digitala verktyg bygga och undersöka virtuella lösningar till olika typer av problemlösning och konstruktion, till exempel bygga modeller av hus, undersöka matematiska egenskaper eller skapa modeller av naturvetenskapliga fenomen som molekyler eller planetsystem.

Inom klimatforskning används simuleringar för att kunna förutsäga vad som kan hända vid olika situationer, till exempel vid utsläpp av koldioxid eller andra växthusgaser. Sådana modeller byggs upp med hjälp av riktiga data som är insamlad vid olika forskningsstationer. I simuleringsmodellerna kan olika samband mellan, till exempel temperatur och halter av olika utsläpp, undersökas. På SMHI sker mycket forskning om klimat och väder och där simulerade datormodeller är centralt för att kunna förutsäga skeenden (SMHI, 2022).

Kunskapen kring att bestämma DNA i skelettdelar genom den mänskliga historien har revolutionerats de senaste åren. Genom att skapa simulerade modeller av hur mänskligheten rört sig genom kontinenter kan vi förstå hur människor förflyttat sig och hur mänskligheten utvecklats (Silva et al. 2017).

Nobelpriset i kemi 2013 gick till tre forskare, Martin Karplus, Michael Levitt och Arieh Warshel, som lyckats hitta metoder att simulera kemiska reaktioner (Nobelpriset, 2013). Detta har tidigare inte kunnat göras eftersom beräkningar på kemiska reaktioner behöver använda både Newtons fysik och kvantfysik. Newtons fysik är de vanliga rörelselagarna som beskriver det vi observerar runt omkring oss och dessa används för att beräkna hur stora molekyler rör sig. För att undersöka det som händer i de supersnabba processer som kemiska reaktioner är behövs också ett sätt att beskriva hur energin omvandlas i atomer och molekyler och till detta behövs kvantfysik. Detta kräver enormt mycket

datorer med enorm kapacitet och endast enkla kemiska reaktioner hade tidigare kunnat simuleras. De avancerade metoder som Karplus, Levitt och Warshel utvecklade, kombinerat med datorers ökade prestanda, har gjort det möjligt att i datorn experimentera och undersöka mycket mer komplicerade kemiska reaktioner, till exempel i levande material eller i solceller.

De flesta möter simulerade specialeffekter i film och datorspel. Detta är ett område som växt explosionsartat de senaste åren då datorkraft blivit alltmer tillgängligt och billigt. Här handlar det om fysikaliska simuleringar där tid och rum är uppdelat i små delar. Genom att beräkna positionen för varje partikel vid varje tidpunkt och rita upp det på datorskärm skapas sekvenser av till exempel, rök, eld och vatten som är helt simulerade men väldigt verklighetstroga. Det är därigenom möjligt att visa scener som skulle vara omöjliga att göra i verkligheten, till exempel en jättevåg som sveper in över New York eller en planet som exploderar.

Allt fler lärare använder simulering i undervisning i naturvetenskap på alla nivåer. I en studie där 5-åringar fick utforska naturvetenskapliga begrepp visade det sig att simuleringar kan vara en effektiv väg till förståelse om rätt pedagogisk vägledning ges (Falloon 2016). I en annan studie fick universitetsstudenter använda simuleringar vid studier i fysik, kemi och biologi (Almasri 2022). Studien visade att studenter uppvisade ett högt engagemang vid utforskande av fenomen och processer genom simuleringar vilket indikerar att ett motiverande arbetssätt stimuleras.

Det finns olika effekter av att arbeta med digitala verktyg och simuleringar i det naturvetenskapliga klassrummet (Rutten et al. 2012). En värdefull effekt av att arbeta med interaktiva simuleringar i undervisning är den visuella feedback som eleverna omedelbart får från sin simulering. Om simuleringen inte uppför sig som förväntat, det vill säga att man valt felaktig strategi, så ser användaren det och kan agera direkt. Om förloppet i simuleringen definieras av de fysikaliska interaktionerna mellan föremålen så skapas nya möjligheter att förstå de naturvetenskapliga modellerna. En annan viktig aspekt av att arbeta med interaktiva simuleringar är att det finns möjlighet att upprepa undersökningar, eller undersöka en process från flera möjliga synvinklar. Genom att variera parametrar kan ett förlopp testas och ge insikt i vilka begränsningar en modell har. Att göra egna simuleringar är ett effektivt sätt att nå förståelse för hur de modeller vi använder, för att förstå vår omvärld, är uppbyggda. En simulerings ramar bestäms av de modeller som ligger till grund för vår förståelse av världen. När man bygger en simulering måste vi, till exempel, sätta kriterier att den inte kan strida mot, t ex, energiprincipen eller gravitationens lagar.

Med simuleringar ges dessutom möjligheten att upprepa undersökandet, testa olika saker, ändra förutsättningar, och därmed stimulera ett undersökande arbetssätt utan att använda resurser som material och utrustning.

TPACK och simuleringar

Precis som med allt annat pedagogiskt material kan inte simuleringar ensamma skapa förståelse. De behöver användas i ett pedagogiskt sammanhang där innehållet sätts i en kontext och där möjligheter till fördjupning och interaktion ges.

Tillsammans med didaktiska metoder som används för att skapa förståelse inom specifika ämnesområden, pedagogisk ämneskunskap, alltså PCK i TPACK-modellen, kan simuleringar bli ett kraftfullt verktyg för ökad förståelse för naturvetenskapliga sammanhang och metoder. Vid genomgångar av olika områden kan en väl vald simulering som visualiserar ett fenomen eller förlopp, vara ett bra komplement till annat material som används i undervisningen.

Den tekniska kompetens som är värdefull när simuleringar används i undervisningen, det som kallas TK i TPACK-modellen, är hur simuleringar tas fram och vad en dators begränsningar och möjligheter är när det gäller de beräkningar som görs. Simuleringen görs genom att en matematisk beskrivning av situationen programmeras till datorn och kompletteras med värden och villkor. En simulering har en tidsskala vilket innebär att man behöver bestämma hur ofta beräkningarna ska göras, vilket tidssteg som ska användas. Beroende på ämnesområde och situation behöver tidssteget vara tillräckligt litet för att få med det som händer i den naturvetenskapliga processen. Är tidssteget för stort kan viktiga skeenden bli förlorade men är tidssteget för litet kan det bli onödigt många beräkningar vilket gör att simuleringen blir långsam. Att förstå hur simuleringar görs inom olika ämnesområden är en teknisk ämneskompetens, det vi kallar TCK i TPACK-modellen. Denna kan också vara viktig för att förstå varför simuleringen inte uppför sig som förväntat och vilka begränsningar som kan finnas för att göra vissa saker. Att som lärare undervisa med simuleringar och därmed kombinera sin tekniska ämneskompetens med den pedagogiska, dvs befinna sig i TPACK-skärningen, kan verka utmanande. Med stöd av de verktyg för simulering som särskilt är anpassade för skolan är det ett intressant och spännande sätt att stimulera och utmana elever i naturvetenskap på alla nivåer.

Vad är en simulering?

Simulering är ett sätt att återskapa verkligheten med kunskapen om hur den observerbara naturen beskrivs. Genom att använda naturlagar och sammanhang kan naturvetenskapliga processer och fenomen matematiskt modelleras och visualiseras digitalt. En simulering behöver inte generera en visualisering men är oftast förknippad med ett visuellt förlopp som kan studeras och utforskas på olika sätt.

Visualisering, animering och simulering används ibland alla för att beskriva en rörlig sekvens av naturvetenskapliga förlopp och skillnaden mellan dessa är inte alltid

självklar. Visualisering är en allmän benämning på en illustration av ett förlopp eller fenomen och såväl animering som simulering är visualiseringar. Det finns dock en viktig skillnad mellan animering och simulering. Ta exemplet med en satellits omloppsbana runt jorden. En animering är en rörlig illustration av detta förlopp och kan vara, t ex en tecknad eller animerad film som visar satellitbanans rörelse. Den baseras inte på faktiska data eller på de naturlagar som beskriver rörelsen och kan därför innehålla fel som kan leda till missuppfattningar. En simulering av samma satellitbana visar istället den numeriska lösningen till de fysikaliska ekvationerna som beskriver rörelsen. För att simuleringen ska bli tillgänglig så visualiseras beräkningarna genom att rörelsen ritas upp på skärmen. En fysikalisk simulering av en satellits bana baseras alltså på matematiska modeller som har sin grund i fysikens lagar.

En interaktiv simulering ger dessutom möjlighet att växelverka med modellen genom att t ex ändra parametrar och undersöka vad som händer. Simuleringen blir då en virtuell experimentmiljö som kan användas för att systematiskt göra undersökningar i den simulerade modellen.

En simulering har alltid begränsningar. Dessa kan utgöras av man sätter ramar inom vilka simuleringen ska gälla men inte utanför, till exempel, inom en viss tid eller ett visst rum. Begränsningar kan också utgöras av datorns kapacitet att utföra de beräkningar som krävs. En processor kan utföra ett visst antal operationer varje sekund och försöker man överstiga det så uppför sig inte simuleringen som det är tänkt att göra. Den kan till exempel gå långsammare eller inte alls. Ofta finns förväntningar att en simulering ska återspegla verkligheten exakt men det är just det som är svårigheten. Verkligheten är mycket komplex för en dator att återskapa men snabbare processorer och bättre beräkningsalgoritmer gör att de simulerade modellerna blir bättre och bättre och hantera större och större mängder data vilket gör att vi förstår vår omvärld allt bättre.

Många digitala interaktiva övningar som kan används i undervisning, kallas för simulering men är inte alltid baserade på riktiga beräkningar. En simulering baseras på en matematisk modell men även andra interaktiva applikationer, till exempel virtuella laborationer, kan kallas för simulering. Kännetecknande för användningsområdet inom undervisning är att en interaktiv simulering är en utmärkt miljö att testa sin kunskap i och att undersöka hur utfallet blir i olika situationer.

Simuleringar som visuellt verktyg

- **Simulering som virtuell laborationsmiljö**

Simulering kan vara ett verktyg för att interaktivt undersöka processer och fenomen och fungera som en laborationsmiljö

- **Simulering som problemlösningsverktyg**
Simulering kan vara ett resultat av elevernas problemlösning, dvs elever gör egna simuleringar
- **Simulering som visualisering**
Simuleringar kan användas för att illustrera och utforska processer och fenomen

Simuleringar i undervisning i naturvetenskap har alltså många förutsättningar att tillsammans med olika pedagogiska verktyg skapa möjligheter för hållbar kunskap i naturvetenskap för ett livslångt lärande.

Simulering som virtuell laborationsmiljö

Med simuleringsverktyg som virtuell laborationsmiljö kan laborationen ge möjlighet till fler perspektiv på laborationen. Att göra laborationer är en viktig del av att lära sig naturvetenskap och att arbeta med ett vetenskapligt förhållningssätt. Tidigare forskning visar att virtuella laborationer i naturvetenskap kan till och med ge mervärde jämfört med vanliga laborationer (Sullivan et al 2017) medan andra studier visar att det fysiska handhavandet vid en laboration är svårt att uppnå med en virtuell laboration, t ex laborationer i kemi.

Exempel PhET

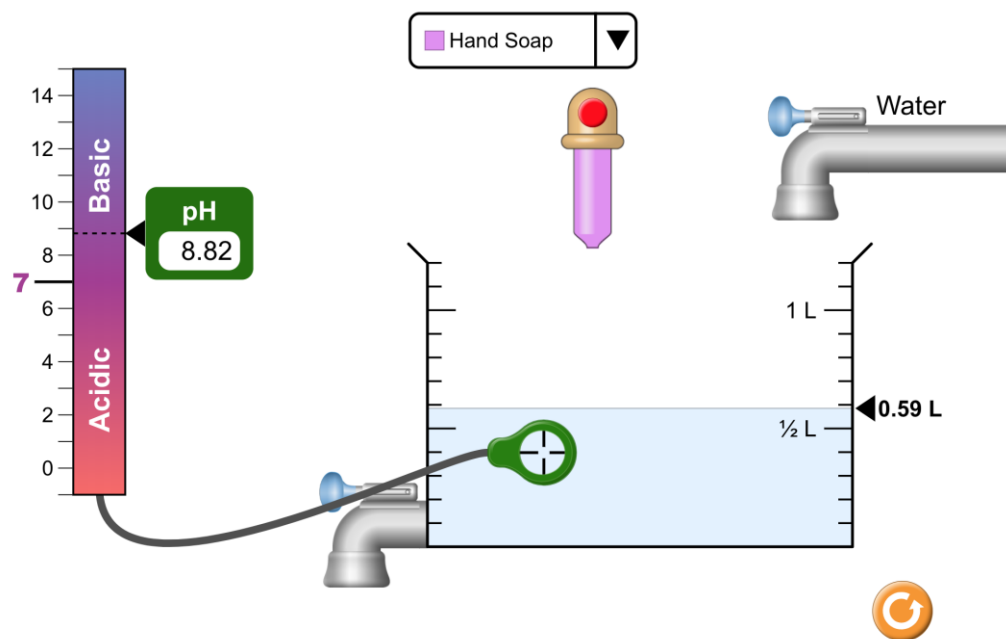
PhET Simulations (PhET, 2022) är ett bibliotek för små interaktiva applikationer, som här kallas simuleringar, i naturvetenskapliga ämnen. PhET startades av Carl Wieman, Nobelpristagare i fysik 2001, som har engagerat sig extra mycket kring frågor som rör utbildning i naturvetenskap. Biblioteket finns kostnadsfritt tillgängligt på webben och används över hela världen. Simuleringarna i PhET täcker ett stort antal fenomen och processer och ger möjlighet att med enkla interaktioner undersöka både grundläggande och mer avancerade fenomen i naturvetenskap (Perkins et al. 2006). Simuleringarna är framtagna genom forskningsbaserade metoder inom didaktikforskning och producerade i samarbete mellan ämnesexpertis och programmerare. Simuleringarna finns för olika nivåer och har genomgått redaktionella granskningar och användartester. Just nu finns drygt 100 simuleringar inom olika ämnen och olika nivåer, från förskolan till universitet, att utforska. Det finns en lärarhandledning till varje simulering och många är översatta till andra språk, dock inte svenska. På webbsidan finns ett arkiv med exempel på hur lärare över hela världen använder PhET-simuleringar i undervisningen och det finns också olika typer av introduktionsmaterial och videor.

I figur 1 visas en skärmdump av en enkel simulering där man kan undersöka begreppet pH i olika lösningar. Lösningen kan spädas med den övre kranen och med den nedre kan volymen minskas samtidigt som indikatorn mäter pH. I PhET-simuleringen i figur 2 kan

användaren bygga atomer. Applikationen tränar kunskap om atomens uppbyggnad från olika synvinklar.

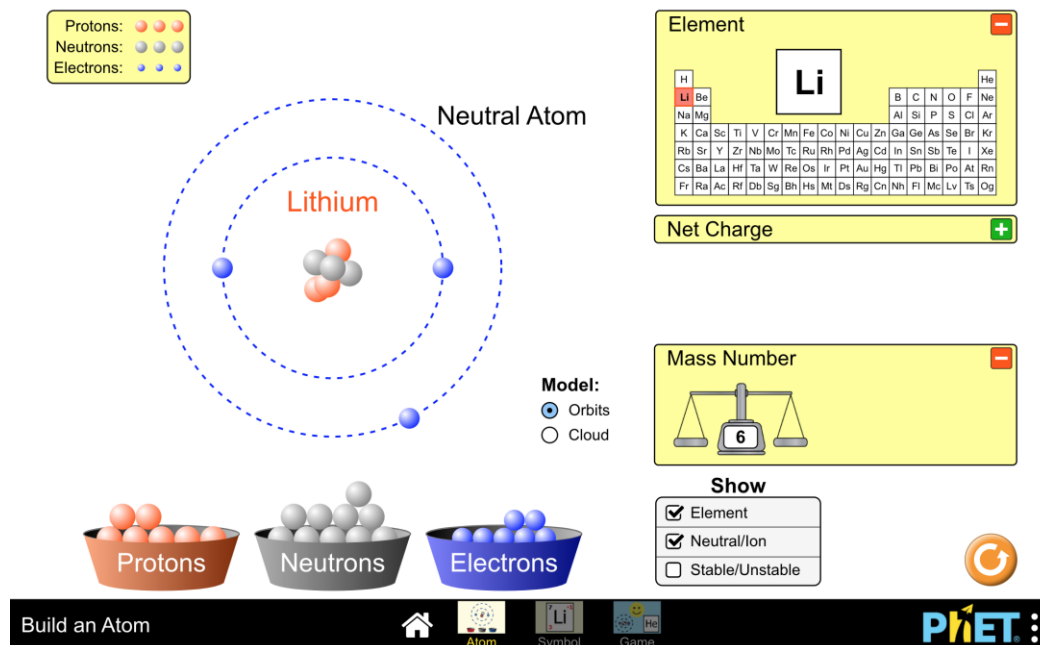
Figur 1.

Skärmdump av en PhET-simulering i vilken man kan undersöka begreppet pH i olika typer av lösningar.



Figur 2.

Skärmdump från PhET-simulering där eleven kan bygga atomer för att få kunskap om samband mellan t ex masstal och antalet partiklar i atomkärnan.



Simulering som problemlösningssverktyg

Elever kan också göra egna simuleringar genom att göra uppgifter som genererar numeriska eller visuella lösningar till ett problem. En simuleringsmiljö kan då innehålla mer eller mindre färdiga verktyg för att beräkna och generera en lösning. Simuleringsmiljön fungerar då som en miniräknare, eller programmeringsmiljö, där villkor och förutsättningar kring problemet ges till verktyget varefter ett visuellt resultat kan erhållas som en lösning till problemet.

Att göra egna simuleringar kan skapa förståelse för de förutsättningar som gäller vid simuleringen, både naturvetenskapliga såväl som tekniska. Det ger också möjlighet till mer verklighetsanknutna situationer än de problem som traditionellt presenteras i läroböcker.

En dator har enorma möjligheter till beräkningar och att generera grafik men det finns också begränsningar i vad en dator kan göra.

För äldre elever som har erfarenhet av programmering finns många möjligheter att själva bygga interaktiva simuleringar utifrån de kunskaper de har i matematik och

programmering. Matlab eller Python är exempel på miljöer som lämpar sig för egen problemlösning av mer avancerade problem inom naturvetenskap.

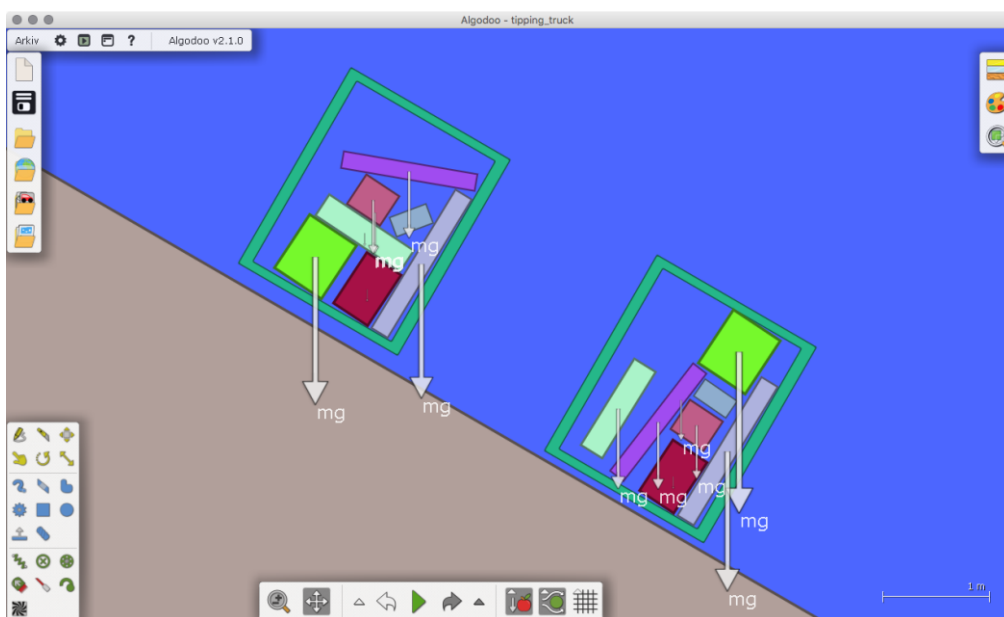
Exempel Algodoo

Algodoo (Algodoo, 2022) är en gratis programvara för fysikalisk simulering i två dimensioner som kan användas för att lösa och visualisera problem inom i första hand fysik. Genom att rita upp problemet som en scen i programmet, ungefär som i ett ritprogram, simuleras den fysikaliska situationen och information om krafter, hastigheter, mm, kan fås visuellt, som pilar, värden, eller grafer. Den teknik som finns i programmet är optimerad för att klara extremt många beräkningar vilket innebär att fysikaliska scener ritas upp och interageras med i realtid. Samtidigt som simuleringen körs kan man göra förändringar, t ex flytta objekt, ändra material eller lägga till föremål.

En simuleringsmiljö som Algodoo ger enormt många möjligheter men har också en viss inlärningströskel för att kunna användas som undervisningsverktyg. Antalet möjligheter att arbeta med programmet gör också att det kan ställas högre krav på pedagogisk vägledning genom de områden som ska behandlas. Genom att från början använda förberedda scener, antingen sådana som man gjort själv eller som andra tillhandahållit, kan verktyget med fördel användas som demonstrationsverktyg vid genomgångar. Några exempel på lätta scener att bygga själv och som också finns som förberedda scener visas i figur 3 och 4.

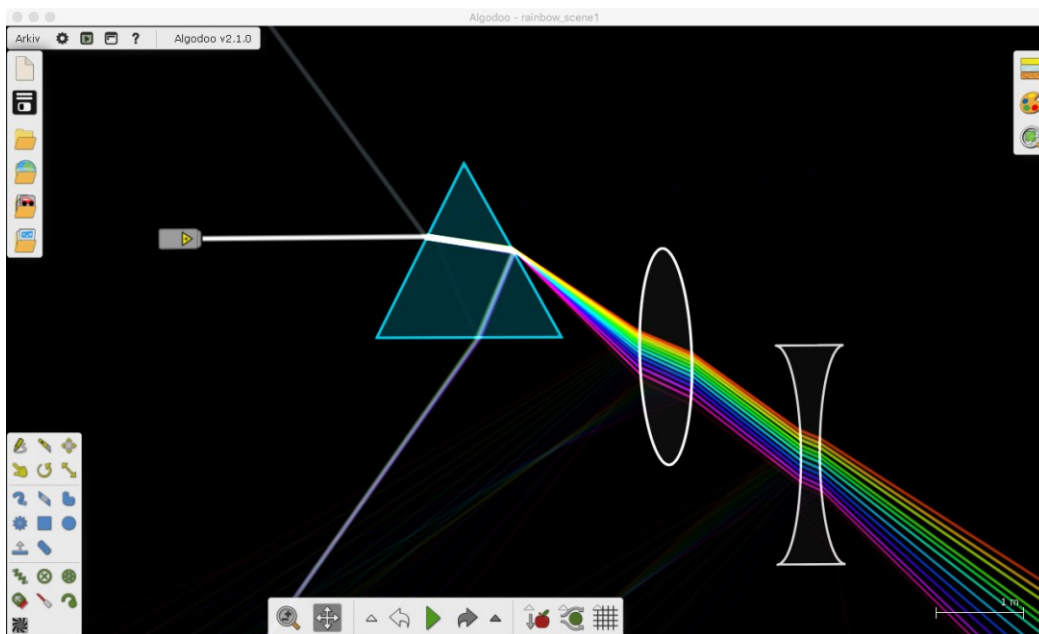
Figur 3.

Skärmdump från Algodoo som visar en simulering av tyngdpunkt. Vad avgör om lastbilen kommer att välta eller inte?



Figur 4.

Skärmdump från Algodoo som visar simulering av vitt ljus som passerar genom olika genomskinliga föremål.

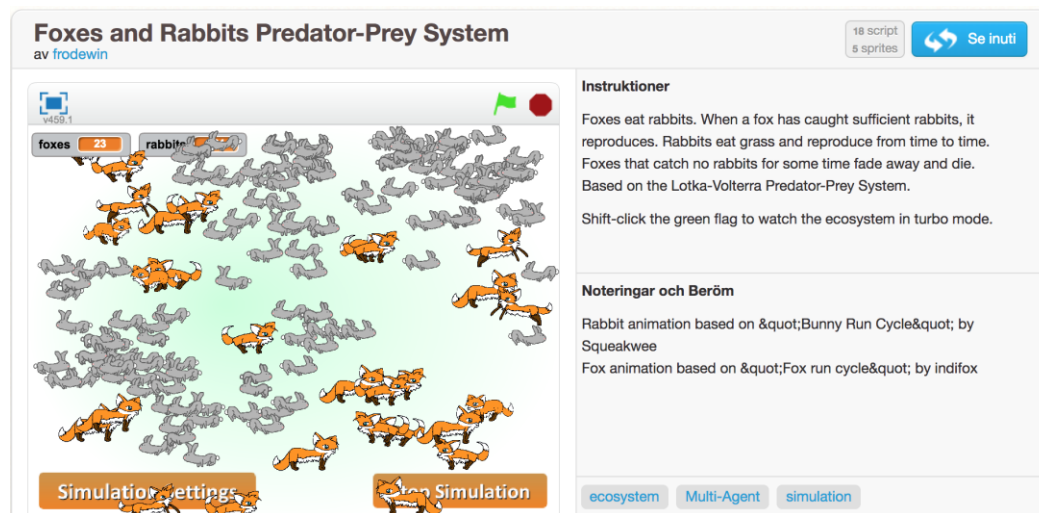


Exempel Scratch

Scratch är ett programmeringsverktyg som genom block gör programmering tillgängligt också för de som ännu inte lärt sig koda (Scratch, 2022). Scratch kan användas för att göra egna simuleringar baserade på en matematisk modell. I biblioteket till Scratch finns många olika simuleringar och andra applikationer som användare gjort. Block-koden ligger lätt tillgänglig så att det går att se hur olika programmeringslösningar har använts för att göra applikationerna. I figur 6 visar en simulering av det klassiska problemet om hur tillgången på kaniner påverkar populationen av rävar. Många kaniner ger god tillgång till byten för rävarna som då blir fler men blir rävarna för många minskar kaninpopulationen vilken leder till att rävarna får slut på mat och därmed minskar också rävpopulationen vilket betyder att kaninerna blir fler och så vidare.

Figur 5.

Skärmdump från Scratch. Simuleringen, som är programmerad genom blockprogrammering, ger en visuell beskrivning hur populationen av rävar och kaniner samverkar med varandra.



Att programmera sina egna simuleringar kräver att man använder kunskap om de processer man vill visualisera. Man tvingas alltså att ta reda på vilken kunskap som simuleringen behöver för att kunna visa processen. Detta betyder att eleven tvingas förstå de underliggande naturvetenskapliga och matematiska mekanismer och samband som bygger upp modellen. Med en lagom anpassad uppgift stimuleras elevens lärande till hög grad. Detta sätt fungerar för många elever men inte alla. En del elever behöver stöd och guidning i hur de ska bygga upp sin lösning.

Sammantaget ger digitala miljöer möjlighet att arbeta med simuleringar av naturvetenskapliga fenomen och förlopp på ett sätt som inte är möjligt utan digitala verktyg. Genom att använda kraften i de digitala verktygen ges möjlighet att utforska fenomen som inte kan synliggöras på andra sätt. Det är viktigt att se var det digitala materialet har för ursprung och hur det är framtaget. Simuleringsverktyg som används i pedagogiskt syfte bör ha utvecklats genom tester med elever men detta är inte alltid lätt att utröna och många verktyg utvecklas inte utifrån ett forskningsperspektiv.

Simulering som visualisering

En visuell representation underlättar oftast tolkningen av komplex information, under förutsättning att visualiseringen möter målgruppens förutsättningar i form av förståelse. Simulering som ett visuellt verktyg kan användas i undervisningen i naturvetenskap för att illustrera fenomen och processer och göra abstrakta idéer mer begripliga och lättförståeliga för eleverna.

De exempel ovan, som beskriver simuleringar som virtuell laborationsmiljö och som problemlösningssverktyg, går förstås att använda i undervisningen på olika sätt, såväl låta eleverna arbeta med uppgifter som att lärare går igenom moment med elever och använder simuleringar som visuellt verktyg för att stärka undervisningen. Som med allt didaktiskt material som används i undervisning är det stödet från läraren som är avgörande när det gäller hur eleven tillgodogör sig kunskap.

Simuleringar kan också utgå från experimentella data. Olika experimentella miljöer kan hantera stora mängder data och visualisera det så att informationen blir tillgänglig och olika naturvetenskapliga processer synliggörs. Genom att generera datormodeller från mätdata kan förloppet visualiseras och jämföras med riktiga data. Simuleringar som baseras på riktiga data, och inte enbart är teoretiska och matematiska modeller, kan användas för att visa hur olika fenomen, som t ex väder och geologiska processer, fungerar i verkligheten. Dessa simuleringar kan också användas för att visualisera hur olika faktorer påverkar ett system eller en process, vilket kan hjälpa eleverna att förstå de underliggande modellerna, förstå komplexa samband och kan också stärka deras förmåga att problemlösa. Detta beskrivs mer ingående i texten *Databaser* i denna modul.

I modulen *Modeller och representationer* Skolverket (2017), i avsnittet *Visualisering som verktyg*, finns ytterligare beskrivningar av hur simuleringar kan användas för att förstå och jämföra insamlad data.

Digitala miljöer för simuleringar och visualiseringar

Visuella representationer kan upplevas på olika sätt. Den vanligaste formen är på den dator eller surfplatta som eleverna har tillgång till genom skolan. Beroende på lärandesituation eller innehåll kan olika hårdvara ge olika lärande upplevelser. En stor interaktiv skärm med touch-funktion, t ex Smartboard eller interaktiv whiteboard, kan ge förutsättningar för samarbete kring simuleringen och lämpar sig också väl för presentationer för andra.

En mobiltelefon eller surfplatta är lättillgänglig och kan användas för att enkelt få tillgång till simuleringar, t ex vid utomhusundervisning eller vid studiebesök. Skolans egna principer kring användning av mobiltelefoner kan här skilja sig åt men bärbara enheter är praktiskt om programvaran har applikationer för bärbara enheter.

Exempel på T-CoRe som stöd i undervisning med simuleringar

Med stöd av T-Core som reflektionsverktyg ges här ett exempel på förutsättningarna för undervisningen kan utvecklas när ett simuleringsverktyg används. I avsnitt 1 finns beskrivningar över vad de olika reflektionsfrågorna kan bidra till.

Exemplet handlar om en lektion i mekanik där Algodoo används som simuleringsverktyg för att undersöka hur en hävstång fungerar och kan användas. ”Big idea” i detta fall handlar om att en hävstång kan användas för att överföra kraft. Reflektionerna i exemplet beror förstås på lärares egna erfarenheter kring undervisning inom området.

T-Core	Reflektion
1. Vad förväntar du dig att eleverna skall lära sig om just denna Big Idea?	Att den kraft man får ut från en hävstångs beror på avståndet till vridningspunkten och den kraft man lägger till: det man vinner i kraft förlorar man i väg.
2. Varför är det viktigt att eleverna vet just detta?	Hävstångsprincipen är en grundläggande princip som många mekaniska tillämpningar bygger på. Det är en tillgänglig tillämpning av kraftbegreppet. En hävstång har många vardagstillämpningar, många kan relatera till funktionen, och är ett bra exempel på vad krafter betyder i vardagen.
3. Vad vet du mer om just denna idé (som du inte anser att eleverna behöver nu)?	Hävstång introducerar betydelsen av begreppet ”kraftmoment” som är ett viktigt begrepp i kommande fysikkurser.
4. Vilka svårigheter/ begränsningar kan förekomma i samband med undervisningen av det specifika ämnesområdet, d.v.s. vilka problem kan uppstå i undervisningssituationen?	Kraft är ett abstrakt begrepp som många elever har svårigheter med, särskilt att en kraft ändrar en föremåls fart och/eller rörelseriktning, men att ett föremål som rör sig inte behöver vara utsatt för en kraft. Hävstång innebär att kraft appliceras för att skapa rotation vilken lägger till en dimension. Det kan i vissa fall vara svårt att mäta kraft och rotation.
5. Vilken är din kunskap om elevers begreppsuppfattningar och missuppfattningar i ämnet och hur påverkar dessa din undervisning?	Elever har en vardagsföreställning om kraft-begreppet men kan ofta inte tillämpa det i olika situationer. De ideala situationer som ofta beskrivs kan vara svåra att relatera till då de ofta inte tar hänsyn till t ex luftmotstånd och gravitation, situationer som normalt inte förekommer i vardagen. Hävstångsprincipen har många en uppfattning kring. Det är lätt att hitta vardagsexempel och alla elever har använt den i något sammanhang. Det gör det lättare att relatera begreppet till vardagssituationer, t ex använda verktyg, öppna dörrar mm
6. Andra faktorer som kan påverka din undervisning i det här området?	Hävstång är en princip som också behandlas i teknikämnet. Det kan det var värdefullt att koppla ämnena till varandra och belysa exempel från både teknikämnet och fysikämnet.

7. Vilka digitala undervisningsmetoder ska du använda och av vilken särskild anledning har du valt just dessa metoder?	Algodoo simulerar mekanik i två dimensioner och har ett enkelt gränssnitt som möjliggör eget utforskande. I Algodoo visualiseras, t ex, krafter genom pilar och värden och en situation kan undersökas direkt genom att göra experiment direkt i programmet. Elever kan rita upp, eller välja en färdig scen, med en gungbräda och göra experiment på den genom att välja avstånd och laster och därmed direkt få tillgång till hur det påverkar gungbrädan. Nästa scen kan handla om att rita upp en scen där en hävstång används för att överföra en kraft, t ex lyfta en sten.
8. Vilka möjligheter och utmaningar ser du att användningen av digitala verktyg kan ge för att underlätta elevernas förståelse för det specifika ämnesinnehållet?	Möjligheter ges av att kunna ”se in i” situationen och direkt kunna visualisera vad som händer ur ett fysikaliskt perspektiv genom att få krafter visualiserade. Utmaningar kan vara att elever behöver tid för att förstå programvaran och lära sig hantera verktyget.
9. Vilka specifika aktiviteter och metoder tänker du dig att du skall använda för att ta reda på att eleverna har lärt sig det du förväntat dig att de skall ha gjort?	Att elever kan visa sina simulerade scener och förklara vad som händer. Elever kan spela in en film där de kommenterar sin simulerade Algodoo-scen.

Referenser

Algodoo (2022). <http://www.algodoo.com/>

Almasri, F. Simulations to Teach Science Subjects: Connections Among Students' Engagement, Self-Confidence, Satisfaction, and Learning Styles. *Educ Inf Technol* 27, 7161–7181 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10940-w>

Falloon, G. (2019). "Using simulations to teach young students science concepts: An Experiential Learning theoretical analysis." *Computers & Education* 135: 138-159.

Nobelpriset (2013). De flyttade experimenten till cyberrymden. Hämtad 2022-11-01. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2013/popular-information/>

Perkins, Katherine, Adams, Wendy, Dubson, Michael, Finkelstein, Noah, Reid, Sam, Wieman, Carl, & LeMaster, Ron. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18-23.

PhET Simulations. (2022). <https://phet.colorado.edu/>

Python (2022). <https://www.python.org/>

Rutten, Nico, van Joolingen, Wouter R., & van der Veen, Jan T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>

Scratch (2022). <https://scratch.mit.edu/>

Silva, Nuno Miguel, Rio, Jeremy, & Currat, Mathias. (2017). Investigating population continuity with ancient DNA under a spatially explicit simulation framework. *BMC Genetics*, 18, 114. doi: 10.1186/s12863-017-0575-6

Skolverket (2017). Modeller och representationer.
(<https://larportalen.skolverket.se/#/modul/2-natur/Gymnasieskola/507-Modeller-och-representationer>)

Skolverket. (14 oktober 2020). Virtuella laborationer kan ge samma lärande som fysiska. <https://www.skolverket.se/skolutveckling/forskning-och-utvarderingar/artiklar-om-forskning/virtuella-laborationer-kan-ge-samma-larande-som-fysiska>

SMHI (2022). Hämtad 2022-11-01.
<https://www.smhi.se/forskning/forskningsomraden/klimatforskning>

Sullivan, S., et al. (2017). "Middle school students' learning of mechanics concepts through engagement in different sequences of physical and virtual experiments." *International journal of science education* 39(12): 1573-1600.