UPPSALA
UNIVERSITET

U.U.D.M. Project Report 2019:26

Hur matematik tillämpas i läromedel för kemi 1 & 2

Eric Kjellerstedt

Examensarbete i matematikdidaktik, ämneslärarprogrammet, 15 hp
Handledare: Magnus Jacobsson
Ämnesgranskare: Anders Öberg
Examinator: Veronica Crispin Quinonez
Juni 2019

Department of Mathematics
Uppsala University

Sammanfattning

I denna studie har en komparativ undersökning gjorts för att undersöka hur matematik redovisas och används i läromedel för kurserna kemi 1 och kemi 2. Likheter och skillnader har analyserats i syfte att se hur de olika böckerna tillämpar matematik i samband med de två områden pH och kemisk jämvikt. Studien har även undersökt vilka de vanligaste matematiska representationsformerna är.

Resultaten visade att de studerade läromedlen i stor utsträckning använde liknande strukturer men att hur matematiken används för att till exempel motivera vissa typer av uträkningar skiljer sig. Symbolisk matematisk representation var mest förekommande på ett övergripande plan för de båda undersökningsområdena och gemensamt för samtliga studerade läromedel. Noterbart är att numerisk och grafisk representation utgjorde en betydande del för pH-området respektive jämviktsområdet. Andelen verbal representation förekom också i betydande andel i vissa läromedelsserier oberoende av undersökningsområde.

Innehåll

Inledning

Ända sedan min tid som elev på grundskola och gymnasium samt en tid som lärarstudent har jag uppfattat matematikämnet som delvis isolerat från andra områden. Matematik var bara något som studerades i klassrummet eller föreläsningssalen och beräkningar gjordes endast i samband med uppgifter från boken eller läraren. Det var inte förren jag valde kemi som mitt biämne inom ämneslärarprogrammet som jag fick upp ögonen för matematikens möjligheter och användning.

I syftesbeskrivningen för ämnet matematik beskriver Skolverket hur undervisningen ska bidra till en ökad förståelse av matematikens roll för både individer och samhället. Undervisningen ska även utveckla elevernas förmåga att placera matematiken i olika kontexter och inse dess inverkan på individ och samhälle.

> *”Undervisningen ska innehålla varierade arbetsformer och arbetssätt, där undersökande aktiviteter utgör en del. När så är lämpligt ska undervisningen ske i relevant praxisnära miljö och med verktyg som används inom karaktärsämnena.[…] Vidare ska den bidra till att eleverna utvecklar förmåga att sätta in matematiken i olika sammanhang och se dess betydelse för individ och samhälle.” (Skolverket 2019, s. 1).*

I mitt framtida yrke som lärare blir det alltså min uppgift att vidga elevernas vyer och sätta in matematiken i ett sammanhang utanför klassrummet och om lämpligt i anknytning till karaktärsämnena. För elever på det naturvetenskapliga programmet är ett av dessa karaktärsämnen kemi. Inom ämnet förekommer en hel del matematik som lägger grunden hur världen runt omkring oss beskrivs. Som blivande matematik- och kemilärare ser jag här ett tillfälle att introducera matematikens breda användning genom kemiundervisningen och erbjuda ett svar på frågan vad man har matematik till. Det är med denna bakgrund som jag har intresserat mig för att studera mitt biämne utifrån ett matematikdidaktiskt perspektiv.

Bakgrund

Läromedlets inverkan

Flertalet studier pekar på att läromedlet för matematikämnet har stor inverkan på lärares undervisning i Sverige. En stor del av eleverna i grundskolan kommunicerar i högre grad med matematikläromedlet än med sina kamrater eller sin lärare (NCM, 2001; Skolverket, 2003; Bentley, 2003; Peng & Nyroos 2012). Ett exempel är Jablonka och Johansson (2010) som styrker denna tes genom beskrivning av en studie som genomförts på elever i årskurs 8 på grundskolan. Där konstaterades det att över 50 % av lektionstiden ägnades åt att eleverna självständigt arbetade i matematikboken. Vidare visade studien att läroboken hade en styrande faktor på undervisningens upplägg. Det som togs upp under lektioner i form av exempel, begrepp och definitioner reflekterade bokens upplägg och struktur. I rapporten *Lusten att lära - med fokus på matematik* från skolverket kan man läsa följande.

> *”Såväl innehåll, uppläggning som undervisningens organisering styrs av boken i påfallande hög grad. Matematik är både för elever och lärare kort och gott det som står i läroboken” (Skolverket, 2003, s. 39).*

Läromedlet för matematik är således en starkt styrande faktor när det kommer till undervisningen och planeringen.
Peacock och Gates (2000) för ett liknande argument för hur lärare använder läromedlet inom NO (Science class) som en del av planeringen. De menar att textboken används som en källa för att förbereda lektioner samt som utgångspunkt vid introduktion av nya undervisningsområden. Läromedlet har även beskrivits som ett verktyg i läraryrket samt utgör även en central roll som medel för att sprida kunskap (Kamm & Taylor, 1966). Ade-Riddler (1992) går så långt som att påstå att lärare är beroende av innehållet i läroböckerna. Gottfried och Kyle (1992) menar genom sin studie att läromedlet även styr hur eleverna uppfattar läroplanen samt utgör den främsta kunskapskällan för majoriteten av eleverna. Ade-Riddler (1992) poängterar detta vidare genom att eleverna använder en betydande andel tid till att läsa och bearbeta informationen som finns i läromedlet.

Matematik i kemin

I matematikämnets syftesbeskrivning belyses vikten av att undervisningen ser till elevens utveckling av förmågan att placera matematiken i olika sammanhang utöver ämnet i sig (Skolverket, 2019). Vidare poängteras, när det är lämpligt, att undervisning ska ske i praxisnära miljö och i anknytning till karaktärsämnena. För gymnasielever på det naturvetenskapliga programmet är kemi ett av dessa karaktärsämnen, där matematiken utgör ett viktigt verktyg för att förstå den fysiska omvärlden.

”The use of mathematics as a tool to understand the physical world – mathematical modeling – is essential to the study of chemistry.” (Bain et al., 2018, s. 618).

Bain et al. (2018) menar här att matematisk modellering är avgörande för elever för att förstå kemiämnet. Vidare måste elever ha kunskap om matematiska symboler och operationer samt dess fysiska inverkan som de representerar (Becker & Towns, 2012). På grund av matematikens grundläggande funktion inom de naturvetenskapliga disciplinerna har därför ett flertal studier gjorts på hur elever förstår och använder matematik. Till exempel finns det starka belägg för att matematisk förståelse är viktigt för att lyckas inom kemiämnet (House, 1995; Spencer, 1996; Nicoll & Francisco, 2001; Derrick & Derrick, 2002; Wagner et al., 2002; Hahn & Polik, 2004; Tsaparlis, 2007; Bain et al., 2014). En annan typ av studie som undersökte matematiska uttryck genomfördes av Becker och Towns (2012). Deras resultat visade att majoriteten av de deltagande universitetsstudenterna kunde tolka och redovisa en korrekt fysisk betydelse av den presenterade matematiken. Dock uppstod svårigheter när de skulle göra det omvända, att redovisa ett korrekt matematiskt uttryck eller tolkning av en verklig situation. Detta är i linje med studier som gjorts inom utbildningsforskning inom fysik, där elever också hade svårigheter med att koppla an matematiken till verkliga situationer (Thompson et al., 2006; Bucy et al., 2007). Bain et al. (2018) genomförde relativt nyligen en kvalitativ studie som undersökte hur universitetsstudenter integrerade sina kemiska och matematikkunskaper. Använde studenterna matematiska och kemiska resonemang i samverkan vid problemlösning inom kemisk kinetik noterades att de använde sig av *blending*. Begreppet *blending process* kommer från kognitionsvetenskapen och syftar på hur flera kunskapskonstruktioner interagerar med varandra eller ”*blend*” (Fauconnier & Turner, 1998; Coulson & Oakley, 2000). I detta fall användes det som det som ett teoretiskt ramverk för att kunna studera samverkan mellan deltagarnas matematik- och kemikunskaper. Resultatet visade att fem studenter klassificerades som ”high-frequency blenders”, deltagare som använde sig av *blending* vid fler än fem tillfällen. Tolv deltagare klassandes som ”non-blenders” eftersom den använde sig av *blending* vid färre än fem tillfällen. På grund av det låga antalet deltagare i studien är det svårt att dra några avgörande slutsatser men författarna till studien belyser vikten av modellering i samband med matematiska verktyg (Bain et al., 2018). Vidare menar de att matematiken kan göras mindre abstrakt genom att sammanföra matematiska uttrycksformer med fenomen som modelleras av eleverna. Resultaten från studien antyder även att *blending* kan främjas genom laborativt arbete som belyser matematiska instrument som grund till kemiska företeelser.

Matematiska representationer

Matematiska begrepp kan uttryckas på flera olika sätt och dess funktion kan variera brett beroende på vilket syfte som efterfrågas. I regel kan dessa uttrycksformer delas in i fem olika representationer: fysisk, bildlig eller grafisk, verbal, numerisk och symbolisk (Gustafsson, Jakobsson, Nilsson & Zippert, 2011). Valet av vilken/ vilka representationsformer bör anpassas efter elevens matematiska förmåga samt vilken typ av uppgift som ska bearbetas (Lester 2007). För att en elev vidare ska kunna fördjupa sin matematiska förståelse bör undervisningen växla mellan olika representationsformer. Duval (2006) menar att denna variation är fördelaktig i lektionssammanhang och att transformationen mellan representationsformer ska utgöra en central roll.

Fysiska representation

Bergsten et al. (2001) menar att jobba med beräkningar av olika slag i vardagen motsvarar fysisk representation av matematik. Det kan till exempel illustreras av att mäta upp en mängd gryn och vatten beroende på antalet portioner som ska tillagas.

Verbal representation

I denna studie kommer begreppet verbal representation hänvisa till matematisk kommunikation som sker genom skriftliga beskrivningar. Till exempel: *”värdet av funktion ökar då riktningskoefficienten är positiv”*.

Numerisk representation

Numerisk matematisk representation motsvarar ett resonemang som kan utläsas med siffror i form av tabeller eller diagram. Numerisk representation kan även illustreras genom beräkningar med exakta mätvärden.

Grafisk representation

Med grafisk representation innebär en uttrycksform där matematik förmedlas genom ett visuellt hjälpmedel. Det kan till exempel vara en graf som beskriver en bilresa där färdsträckan anges på y-axeln och restiden anges på x-axeln.

Symbolisk representation

Symbolisk matematisk representation är till exempel variabler som används i allmänna ekvationer för att påvisa ett generellt resonemang. $a < b$ är en symbolisk representation som innebär att värdet på b är större än a.

Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka vilken matematik som används och hur den beskrivs inom utvalda områden i läromedel för kemi 1 och 2. Likheter och skillnader mellan de studerade böckerna kommer att studeras för att ge en bild av hur de olika författarna använder matematiken för att motivera kemiska resonemang. Studien ämnar således att besvara följande frågeställningar.

- Vilka likheter och skillnader finns mellan de studerade läromedlen?
- Vilka matematiska representationsformer förekommer mest i de studerade läromedlen?

Metod

Metodval

För att besvara frågeställningarna i linje med studiens syfte har en komparativ studie genomförts. Stukat (2011) beskriver en komparativ studie som en metod för att skildra och tydliggöra innehåll men även skillnader i de undersökta texterna. I denna studie kommer områdena pH och kemisk jämvikt undersökas. Områdesvalet gjordes utifrån att de båda är centrala delar för kurserna kemi 1 respektive kemi 2 samt att matematiken som används är grundläggande för den kemiska förståelsen inom dessa områden. Fokus har legat vid hur matematiken presenteras och hur den används på olika sätt för att motivera kemiska resonemang.
För att identifiera olika matematiska representationer har den kategorisering som presenteras i bakgrunden används för att studera vilken form som är mest förekommande. Fysisk representation har uteslutits.

Urval av litteratur

Litteraturen valdes utifrån två aspekter: att den används i undervisningen samt tillgängligheten. Majoriteten av böckerna används i nuvarande kursplaner i flera gymnasieskolor och kan därför ge en representativ bild av läromedel för kemiämnet. Läromedlen fick jag tillgång till genom mina tidigare VFU-handledare som erbjöd exemplar av aktuell litteratur som användes samt tidigare använda exemplar.
Nedan presenteras de läromedel som användes i studien samt några av författarna till böckerna.

Serien Modell och verklighet.
Serien *Modell och verklighet* är skriven för kurserna kemi 1 och kemi 2 och är anpassad efter det centrala innehållet i GY2011. Boken finns även som digitalversion, där materialet även finns tillgänglig i uppläst form.
Flera av författarna jobbar vid Stockholms Universitet, däribland docent i organisk kemi Björn Lüning och professor Stefan Nordlund vid institutionen för biokemi och biofysik. Professor emeritus Lars-Johan Norrby, också från Stockholms universitet, som tidigare

arbetade vid avdelningen för oorganisk kemi och strukturkemi har även varit med och skrivit detta läromedel.

Serien Reaktion

Serien *Reaktion* är skriven för kurserna kemi 1 och kemi 2 och är anpassad för läroplanen i kemi i GY2011. I digitalversion finns samma kvalitetssäkrade material som i boken med tillägget av bland annat uppläsningsfunktion samt extra webbövningar.
Författarna Helena Danielsson Thorell och Emma Johansson är båda anställda som kemilektorer på Whitlocks respektive Rosendalsgymnasiet. De undervisar även på deltid vid kemiska institutionen på Stockholms universitet respektive Uppsala universitet. Nämnvärt är också att Emma Johansson 2012 fick Uppsala kommuns pedagogiska pris för sin förmåga att förena goda ämneskunskaper med pedagogiska och metodisk praktik.

Serien Syntes

Serien *Syntes* är kurslitteratur för kemi 1 och kemi 2 och anpassad för GY2011. En digital licens ger tillgång till läromedlet samt kompletterande filmer och övningsuppgifter.
Författaren till *Syntes 1* och *Syntes 2* Anders Henriksson har över 20 års erfarenhet av undervisning på gymnasienivån i ämnena kemi, biologi och naturkunskap. Sedan 1994 har Anders samarbetat med Gleerup och jobbat med läromedel. Boken *Syntes 1* har Anders skrivit tillsammans med Annika Johansson och Erik Zetterberg som båda har flera års erfarenhet av kemiundervisning på gymnasienivå.

Serien Kemi

Boken *Kemi 1* är baserad på Gy2011 och anpassad för kursen kemi 1. Boken har valt exkludera området om buffertar och pOH eftersom det återkommer i kemi 2 och tas upp mer i detalj i *Kemi 2*. I onlineversionen ingår instuderingsfrågor, övningsprov och förslag på laborationer samt videogenomgångar.
Författaren till boken *Kemi 1* är Magnus Ehinger som arbetar som gymnasielektor i kemi och biologi på Spyken i Lund. Han har även gjort flertalet videoklipp med kemigenomgångar på youtube som har fått stor spridning bland elever och lärare. 2019 tilldelades han den prestigefyllda Gunnar Starck-medaljen för sitt pedagogiska arbete, bland annat genom användandet av flipped classroom.

Serien Kemiboken

Kemiboken 2 är anpassad efter GY2011 och skriven för kursen kemi 2, boken är även tillgänglig som digitalversion. En webbaserad app finns även tillgänglig i koppling till boken där eleven kan träna på begrepp och basfakta.
Samtliga författare till boken är erfarna kemilärare från Stockholmsområdet. Huvudförfattaren Hans Borén är pensionerad professor i organisk kemi och har även arbetat som lärarutbildare vid Linköpings universitet.

Serien Gymnasiekemi

Serien *Gymnasiekemi* är anpassad efter GY2011 och omfattar kurserna kemi 1 och 2. Det finns även möjlighet att komplettera läromedlet med *Plusswebb* som är ett interaktivt träningsverktyg och resultatrapportering.

Bakom boken *Gymnasiekemi 1* står flera författare men bred akademisk bakgrund. Aina Tullberg och Artur Sonesson har vid sidan lärarbanan disputera i kemididaktik respektive fysikalisk kemi. Artur Sonesson har även fått Gunnar Strack-medaljen för framstående pedagogisk verksamhet inom kemi. Till sist är innehar Lars Rydén titeln professor emeritus i biokemi. I den uppföljande *Gymnasiekemi 2* inkluderas Ulf Ellervik som 2011 fick pris för sin bok *Ond Kemi*.

Validitet och reliabilitet

Denna studie har baserats på observationer av läromedel där likheter och skillnader antecknats och jämförts. Typen av representationsformer samt dess utsträckning har även antecknats och jämförts mellan läromedlen. Valet att studera fem olika bokserier inom varje undersökningsområde grundar sig i att jag ville få en bred bild över hur matematik presenteras. Alternativet skulle vara att välja ut en eller två bokserie(r) och studera samtligt innehåll.

Analys

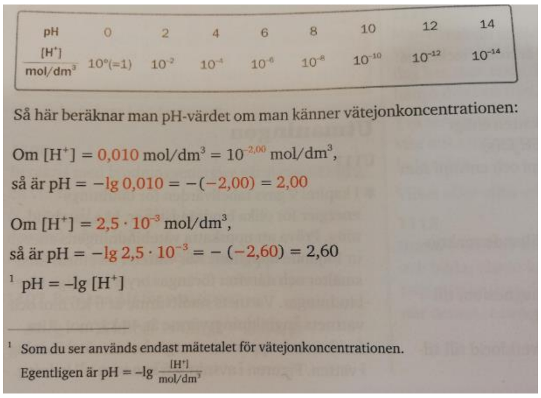
Analys av pH-begreppet läromedel för kemi 1.

Modell och verklighet kemi A

I kapitlet *Syror, baser och salter* beskriver boken att man använder pH för att avgöra om en lösning är sur eller basisk. Inom parentes belyser författarna att p i pH är en matematisk symbol, utan att gå in på detta mer i detalj. pH-skalan sägs sträcka sig ungefär mellan -1 och 15 men att man vanligen anger värden mellan 0 och 14. Vidare beskrivs att det är oxoniumjonerna som ger en lösning dess sura egenskaper, ju högre koncentration oxoniumjoner desto surare blir lösningen. Läromedlet förklarar att en lösning med pH 1 är tio gånger surare än lösningen med pH 2 och skriver uttryckligen ”en tiopotens” inom parentes i meningen för att poängtera detta. Motsvarande beskrivning används för beskrivning av en lösning som är basisk där en lösning med pH 12 är tio gånger mer basisk än en lösning med pH 11.

I kapitlet *Från surt till basiskt – en jämviktsfråga* där läromedlet belyser den praktiska användningen av pH. Eftersom koncentrationen oxoniumjoner varierar inom vida gränser och samtidigt antar väldigt små mätvärden är det mer praktiskt att använda pH-värden för att beskriva surhetsgraden. Därefter presenteras en tabell över pH-värden och motsvarande koncentration med hjälp av tiopotenser, se fig. 1. Någon motivering till tiopotensens användning ges inte och någon generell formel som kan motivera tabellens värde anges inte heller. Detta sker istället genom efterföljande exempel där oxoniumjonskoncentrationen är känd och pH-värdet beräknas. I räkneexemplet är även utvalda siffror skriva med röd färg för att tydliggöra kopplingen genom beräkningen, se fig. 1. Värt att notera i första räkneexemplet är att 0,010 är rödmarkerat i vänsterledet men endast exponenten -2,00 och inte basen tio i högerledet. Någon textbaserad förklaring till den matematiska användningen av den negativa logaritmen till oxoniumjonskoncentrationen ges inte utan motiveras endast med att det är så pH beräknas. Efter de två korta exemplen anges första gången formeln för hur pH beräknas ut

tillsammans med en fotnot som förtydligar att det är mätetalet är med i beräkningarna och att själva enheten inte logaritmeras.
På efterföljande sida följer ett exempel med omvänd frågeställning där istället oxoniumjonskoncentrationen ska beräknas utifrån givet pH-värde. På samma sätt som tidigare skrivs mätetalet med röd färg, se fig. 1, och likaså själva exponenten. Men då slutgiltigt svar anges i form av en koncentration används vanlig svart textfärg.
Återigen benämns att pH-värden kan förekomma utanför det vanliga intervallet 0-14, om en sällan. I anknytning till detta uppmanar boken till eftertanke till vilka pH-värden som är rimliga vid känd oxoniumjonskoncentration samt omvänt vid känt pH.
Ett resonemang för användning av värdesiffror förs även men i termer av gällande siffor. Antalet decimaler i pH-värdet bestämmer antalet gällande siffror följt av exempel som illustrerar detta. Ett pH-värde för en koncentration med två gällande siffror ska således skrivas med två decimalers noggrannhet. I grundfallet då man inte har några decimaler i pH-värdet redovisas inte i resonemanget eller exemplen.



pH	0	2	4	6	8	10	12	14
$\frac{[H^+]}{mol/dm^3}$	$10^0(=1)$	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}	10^{-14}

Så här beräknar man pH-värdet om man känner vätejonkoncentrationen:

Om $[H^+] = 0{,}010$ mol/dm^3 = $10^{-2{,}00}$ mol/dm^3,
så är $pH = -\lg 0{,}010 = -(-2{,}00) = 2{,}00$

Om $[H^+] = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ mol/dm^3,
så är $pH = -\lg 2{,}5 \cdot 10^{-3} = -(-2{,}60) = 2{,}60$
[1] $pH = -\lg [H^+]$

[1] Som du ser används endast mätetalet för vätejonkoncentrationen.
Egentligen är $pH = -\lg \frac{[H^+]}{mol/dm^3}$

Figur 1 visar en tabell över pH samt räkneexempel kopplade till denna (Modell och verklighet kemi A, 2011, s. 198).

Reaktion 1
Reaktion 1 börjar med att beskriva begreppet pH med att det är ett mått på oxoniumjonskoncentrationen i en lösning. En lösning klassas som sur om den har ett pH-värde mindre än 7, basisk om värdet är över 7 och neutral om pH-värdet är lika med 7.
Efter detta följer ett förtydligande att definitionen för pH är den negativa logaritmen av oxoniumjonskoncentrationen, se övre del av fig. 2. Boken motiverar uttryckligen att användningen av pH underlättar och gör koncentrationen av oxoniumjoner mer hanterbar i sammanhanget, seg fig. 2. Vidare förklaras att pH-begreppet är definierat så att pH-värdet ofta hamnar mellan 0-14, men tydliggör inte att undantag kan förekomma.
Formeln för pH redovisas sedan matematiskt. Logaritmanvändningen förklaras med att man inte behöver hantera tiopotensen och att det negativa tecknet framför gör att pH då oftast blir ett positivt värde. P:et i pH står för den negativa 10-logaritmen och hakparenteserna används för att symbolisera koncentration, i detta fall oxoniumjonskoncentrationen.
På efterföljande sida illustreras olika vardagliga ting, så som kaffe och läsk, samt deras ungefärliga pH värde från 0-14 i en liggande tabell. Under respektive steg i pH-skalan redovisas koncentrationen för oxoniumjoner och hydroxidjoner i tiopotensform. Trots att ett steg ”uppåt” i skalan motsvarar en tiofaldig koncentrationsminskning så redogörs detta förhållande inte i något textstycke.

Två stycken räkneexempel redovisas för att beskriva hur man explicit använder formeln vid given oxoniumjonskoncentration. Det första beskriver en saltsyra med koncentration av oxoniumjoner på 2,0 mol/dm^3 där pH blir -0,3. Detta illustrerar att värden utanför skalan kan förekomma och kompletterar den tidigare beskrivningen som endast hänvisar till att pH-värden ofta hamnar mellan 0-14.

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

De flesta vätskor som finns i naturen har mycket låga koncentrationer av oxoniumjoner. Till exempel är koncentrationen av oxoniumjoner i havsvatten cirka $1 \cdot 10^{-8}$ mol/dm^3. Den här koncentrationen av oxoniumjoner blir mer hanterbar om vi istället anger den som ett pH-värde:

$$pH = -\log[H_3O^+] = -\log[1 \cdot 10^{-8}] = 8$$

Figur 2 visar hur författarna motiverar användning av pH-skalan (Reaktion 1, 2016, s. 28).

Syntes 1

I detta läromedel introduceras pH-begreppet med beskrivningen att oxoniumjonskoncentrationen är den som ger en lösning dess sura egenskaper. Men på grund av att koncentrationen kan vara så hög som 10 mol/dm^3 eller så låg som $1 * 10^{-15} mol/dm^3$ har en logaritmisk pH-skala införts. Vidare motiveras användningen med att pH-skalan ger ett mer överskådligt mätetal som kan beskriva lösningens surhetsgrad. Någon vidare matematisk förklaring eller motivering till varför pH-skalan är logaritmisk ges inte vid något tillfälle i boken. Formeln som används för att beräkna pH redovisas som ett samband mellan pH-värdet och koncentrationen istället för som en definition. Dock förtydligar en fotnot hur sambandet bör skrivas ut, med inverterad enhet efter hakparenteserna, som därmed tar ut enheten och gör pH enhetslös. Därefter följer en illustrerande tabell över oxoniumjonskoncentration, skriven i grundpotensform och dess korresponderande pH-värde. Genom tabellen framgår det att varje steg motsvarar en tiofaldig förändring men är inget som förtydligas för läsaren i textform.

Vidare i läromedlet redovisas några räkneexempel där antingen oxoniumjonskoncentration eller pH ska beräknas med hjälp av det tidigare nämnda sambandet mellan de två entiteterna. Den första uppgiften går ut på att beräkna oxoniumjonskoncentrationen i pressad apelsinsaft, pH för saften uppmäts till 3,7. I samband med lösningen beskrivs att svaret som erhålls måste anges med en värdesiffra då pH är angivet med en siffras noggrannhet. Detta motiveras matematiskt genom att omskrivning av potensen $10^{3,7}$, se ekvation 1. Faktorn $10^{0,3}$ innehåller endast en värdesiffra, 3:an samtidigt som 10^{-4} inte har någon värdesiffra utan anger endast decimaltecknets plats.

$$[H_3O^+] = 10^{3,7} = 10^{0,3} * 10^{-4}$$

Ekvation 1 visar omskrivning av uttrycket för oxoniumjonskoncentrationen

I det efterföljande exemplet ska pH istället beräknas för en lösning med oxoniumjonskoncentrationen $0{,}0015\ mol/dm^3$. Eftersom koncentrationen anges med två värdesiffror förtydligas det igen att pH-värdet således ska anges med två decimalers noggrannhet. Resonemang som vägleder antalet värdesiffror respektive antalet decimalers noggrannhet som ska användas beskrivs endast i samband med dessa två exempel. Resterande exempel som redovisas använder samma resonemang implicit men uttrycks inte formellt i den beskrivande texten tillhörande uppgifterna.

Kemi 1

Begreppet pH förekommer först som ett mått för att klassificera en lösning som neutral vid pH 7, sur för värden under 7 och basiskt för värden över 7. Beskrivningen till den ”märkliga” pH-skalans uppbyggnad har överlåtits till läromedlet i samma serie för kursen kemi 2 och visar bara en direkt användning av skala utan motivering. Vidare beskrivs skalans införande i början på 1900-talet som ett verktyg för att enklare kunna räkna på lösningar med väldigt låg koncentration av oxoniumjoner. Detta följs upp med att explicit definiera pH som den negativa logaritmen av koncentrationen av oxoniumjoner, se ekvation 2.

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

Ekvation 2 visar definitionen av pH.

Författaren förtydligar ytterligare att den egentliga definitionen består av en kvot av den negativa logaritmen för oxoniumjonskoncentrationen och enheten mol/dm^3 men för att på grund av att enheter inte kan logaritmeras och i syfte att inte göra det mer komplicerat används den förstnämnda definitionen. I de efterföljande exemplen löses två uppgifter där pH beräknas med hjälp av formeln för pH givet en kända oxoniumjonskoncentration. Därefter kommer en exempeluppgift där pH istället är givet och koncentrationen ska beräknas. För detta krävs en omskrivning av tidigare nämnda formel för pH, se ekvation 3, något som läsaren inte tidigare stött på.
Någon matematisk motivering i form av regler eller definition av logaritmen ges inte till varför ekvation 2 kan skrivas om till ekvation 3 utan används istället rakt av.
Genomgående för samtliga räkneexempel används konventionen att antalet värdesiffror för given koncentration är lika med antalet decimaler i pH-värdet som anges som svar, och vice versa då frågeställningen är omvänd. Inget resonemang för användningen av värdesiffror eller pH-värdets noggrannhet för inte utan används istället implicit.

$$[H_3O^+] = 10^{-pH}$$

Ekvation 3 visar en omskrivning av definitionen av pH

Gymnasiekemi 1

Avsnittet om pH inleds med att redogöra för att koncentrationen i naturligt förekommande lösningar vanligtvis är väldigt låg. Det är så låga värden att det är svårt att greppa och jämföra trots att det kan skilja flera tiopotenser. Lösningen på detta problem blev pH-skalan. Den anger koncentrationen av oxoniumjoner i form av en logaritmisk skala. Läromedlet illustrerar därefter hur skalan fungerar utifrån ett exempel med destillerat vatten i rumstemperatur där koncentrationen oxoniumjoner är $1 * 10^{-7} mol/dm^3$.

”När man anger koncentrationen med hjälp av pH-skalan säger man i stället att vattnets pH= 7,0, dvs. pH är lika med 10-potensens exponent med motsatt tecken. pH är alltså 7,0 i en neutral lösning (vid 25 °C)” (Gymnasiekemi 1, 2013, s. 203).

En skriftlig förklaring till den matematiska operationen ges således utan att skriva ut formeln för pH för läsaren. Den redovisas, tillsammans med den omskrivna formeln (se ekvation 3), istället på den efterföljande sidan som en slutsats av exemplet. Här återges även samma resonemang med 10-potensens exponent med motsatt tecken igen för läsaren. Här inkluderas även en fotnot som refererar till en notation i sidmarginalen som förtydligar att definitionen inte är formellt korrekt då mätetal kan logaritmeras men inte enheter. I en figur i sidmarginalen redovisas en illustration som visar att med ökande pH-värde avtar oxoniumjonskoncentrationen, utskriven i grundpotensform. Beskrivning till att varje steg i skalan motsvarar en tiofaldig koncentrationsförändring ges endast i denna figur, genom användningen av tiopotenser, utan att kommenteras skriftligt.
För att visa hur pH beräknas ges en exempeluppgift där oxoniumjonskoncentrationen är angiven och löses med hjälp av tidigare redovisad formel. I uppgiften anges koncentrationen med en värdesiffra vilket gör att pH-värde skrivs med en decimals noggrannhet. En konvention som litteraturen belyser ytterligare genom en skriftlig förklaring inom parentes i samband med uträkningen. Vidare redovisas fler exempelberäkningar med omvänd problemställning och den omskrivna formeln för pH används. Här inkluderas även samma resonemang angående antalet värdesiffror och antalet decimaler för pH-värdets noggrannhet. Något förtydligande eller matematiskt resonemang för hur pH-definieras eller hur formeln kan skrivas om och användas anges inte i läromedlet.

Representationsformer för pH

De representationsformer för matematiska begrepp som dominerar i *Modell och verklighet kemi A*, *Syntes 1, Kemiboken 1* och *Gymnasiekemi 1* är numerisk och symbolisk. Genom beskrivningar av koncentrationer och pH-värden i generella kemiska resonemang används symboliska matematiska representationer. Den numeriska representationen förekommer som tabellerade värden och i diagram.
I *Reaktion 1* används numerisk, symbolisk och verbal matematisk representation i samma utsträckning.

Analys av jämvikt i läromedel för kemi 2

Modell och verklighet kemi B

Introduktionen av jämviktsekvationen och jämviktskonstanten sker i *Modell och verklighet kemi B* genom ett exempel som beskriver bildning av ammoniak från vätgas och ammoniak. Reaktionen illustreras genom en graf som visar hur koncentrationen förändras över tiden för de olika ämnena tills jämvikt uppnåtts och koncentrationen för de tre komponenterna inte förändras längre. Några mätvärden skrivs inte ut men figurbeskrivningen redovisar ett matematiskt resonemang för hur de olika ämnenas koncentrationsförändring förhåller sig till varandra. Till exempel beskrivs det att vätgaskoncentrationen sjunker 3 gånger så fort som kvävgasen samt att ammoniakkoncentrationen ökar snabbt för att sedan avta. Vidare beskrivs

jämvikt som något som ställer in sig då reaktionshastigheten för bildandet och sönderfallet av ammoniak är lika.
Det tidigare nämnda exemplet används sedan för att beskriva koncentrationsförhållandet mellan reaktanterna och erhållen produkt som ett samband och skrivs ut som kvot, se ekvation 4.

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[H_2]^3 * [N_2]}$$

Ekvation 4 beskriver koncentrationsförhållandet mellan ämnena vid jämvikt.

Kvoten värde benämns med ett " K" och representerar jämviktskonstanten, ett värde som är bestämt för varje temperatur och anges vanligtvis i tabeller för 25 °C. Litteraturen påpekar även att exponenterna är de samma som reaktionsformelns koefficienter men ger inte någon bakgrund till detta. Vidare presenteras den allmänna formeln för ett system i jämvikt och preciserar att produkterna ska stå i täljaren och reaktanterna i nämnaren. I en kommentar i sidmarginalen förtydligas att koncentrationerna kan vara olika för olika reaktioner men att jämviktsvillkoret alltid kommer att uppfyllas efter en viss tid.
Det nästkommande stycket beskriver vilken enhet som används för jämviktskonstanten, vilket beror på reaktionen som beaktas. En enhetsanalys görs med hjälp av det tidigare exemplet med ammoniak och ställer upp samma kvot men med skillnaden att mätvärdena är utbytta mot enheten (mol/dm^3). Boken beskriver även fallet då ammoniak sönderfaller vilket ger det motsatta förhållandet, jämviktekvationen blir då inverterad och lika så K inklusive dess enhet. Detta illustreras genom uppställning av jämviktsekvationen och en vidare härledning att produkten mellan de två K-värdena blir 1.
Jämviktskonstantens värde indikerar som tidigare nämnt förhållandet mellan reaktanter och produkter. $K < 1$ indikerar en majoritet av reaktanter och $K > 0$ motsvarar en majoritet av produkt samt fallet då $K = 1$ och man har lika mycket av både reaktant och produkt. Detta presenteras genom en tabell med intervallet $10^{-30} < K < 10^{30}$ och förtydligar att reaktioner med jämviktskonstanter i extremfallen knappt bildar någon produkt respektive bildar i stort sett bara produkt. Resonemanget i tabellen kompletteras med en bildserie som visar två bägare med vatten, där den vänstra representerar reaktantsidan och den högra produktsidan. Molekylerna som deltar i reaktionen illustreras av guldfiskar som hoppar mellan de två bägarna. Beroende på bägarnas placering höjdmässigt i förhållande till varandra underlättas eller motverkas fiskarnas förmåga att hoppa emellan vilket resulterar i de tre olika fördelningarna av.
På den efterföljande sidan introduceras begreppet jämviktskvot Q som symboliserar en reaktion som inte är i jämvikt, det vill säga då koncentrationerna fortfarande förändras. Q är fortfarande kvoten mellan reaktanter och produkter men beskrivs som ett mätvärde för att kunna avgöra i vilken riktning nettoreaktionen går. Författarna redovisar i textform att om $Q > K$ är täljaren större i förhållande till nämnaren vilket gör nettoreaktionen går åt vänster. Reaktionskvoten minskar tills $Q = K$ och jämvikt har uppnåtts.
Exempel som berör jämviktsekvationer förekommer med olika typer av frågeställning där antingen koncentrationen av ett ämne ska beräknas eller jämviktkvoten alternativt jämviktskonstanten ska beräknas. Gemensamt för dessa exempel är att det ofta resulterar i en andragradsekvation som ska lösas. Före beräkningarna i en del av exemplen genomförs en uppskattning av inom vilket intervall svaret kan förekomma. Till exempel när koncentrationen av en reaktant är 0,25 mol/dm^3 och koncentrationen av produkten ska beräknas. Det möjliga

intervallet blir således $0 \leq x \leq 0{,}25$ (om 1:1 förhållande råder mellan reaktant och produkt i reaktionsformeln). Det korrekta svaret redovisas med en beskrivning inom parentes som säger att ekvationen ger två lösningar men att bara den ena innefattas i intervallet. För andra typer av exempel med andragradsekvationer som består av endast en x^2-term skrivs inte den negativa roten ut. Man drar roten ur i både vänsterled och högerled och skriver endast ut det positiva svaret avrundat tillsammans med lämplig tiopotens. När det gäller själva beräkningarna som redovisas är de i regel kortfattade. Uttrycket från jämviktsekvationen ställs upp och en förenklande omskrivning görs följt av det korrekta svaret. Någon motivering till lösningsmetod i form av pq-formeln eller faktorisering formuleras eller beskrivs inte på något sätt.

Reaktion 2

Kapitlet som berör jämviktskonstanten och jämviktsekvationen börjar med ett vardagsexempel om två grannar som kastar plommon över till den andres angränsande tomt. Problemet är att den ene har skadat armen och kan bara kasta tillbaka plommon med en hand vilket gör att det efter en tid ansamlas mer plommon på dennes trädgård. Om kastande fortsätter skulle förhållandet mellan plommonfördelningen fortsätta vara oförändrad då tillgängligheten av plommon tas i beaktande. Vidare ges ett exempel där jämvikten mellan N_2O_4 och $2NO_2$ presenteras i energidiagram som redovisar hur jämvikt ställer in sig som en följd av vilket koncentrationsförhållande mellan reaktant och produkt som är mest energetiskt gynnsamt. För att kunna räkna på detta förhållande beskrivs den allmänna jämviktsekvationen baserad på en generell reaktionsformel, se ekvation 5. Författarna beskriver ekvationens komponenter genom att förtydliga att exponenterna motsvarar koefficienterna i reaktionsformeln, men förklarar inte varför, samt att [ ] beskriver ett ämnes koncentration. Vidare beskrivs det att produkten ska anges i täljaren och reaktanterna i nämnaren samt att kvotens värde noteras med ett K som står för jämviktskonstanten. Ytterligare förtydligande görs för att beskriva att värdet på K är fast och anger koncentrationsförhållandet för en specifik reaktion i en viss temperatur och är ofta angiva i tabeller.

$$aA + bB \rightleftarrows cC + dD \qquad\qquad K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

Ekvation 5 visar den allmänna ekvationen för jämviktsekvationen baserat på en generell reaktion. Versalerna utgör kemiska ämnen och gemenerna dess koefficienter i reaktionsformeln.

På efterföljande sida används det tidigare exemplet med N_2O_4 och $2NO_2$ för att beräkna jämviktskonstanten vid 200 °C då jämvikt har ställt in sig och koncentrationerna är kända. Den allmänna formeln redovisas och används för det aktuella exemplet och K beräknas med en kort uträkning där enheterna inkluderas. Ytterligare ett exempel redovisas där det tidigare beräknade K-värdet används för att räkna ut koncentrationen av N_2O_4 givet koncentrationen för NO_2. Samma formel används igen men skrivs om med motivationen att koncentrationen för NO_2 kan lösas ut och där av beräknas. Den efterföljande texten summerar exemplen och poängterar att jämviktskonstanten i sig inte säger något om hur mycket man har av ett visst ämne utan ger en fingervisning till förhållandet mellan koncentrationerna. Om det koncentrationen ökar på ena sidan kommer det även öka på den andra tills reaktionshastigheten är lika stor åt båda hållen. När det gäller enheterna för svaren från

exemplen framgår inte något längre resonemang till varför jämviktskonstanten får den redovisade enheten mer än att det är reaktionen genom reaktionsformeln som avgör.
För att beskriva en reaktion som man inte vet står jämvikt eller inte introduceras begreppet reaktionskvot och betecknas med Q. Reaktionskvoten beskrivs kort på liknande vis som jämviktskonstanten med en generell formel baserad på en generell reaktionsformel. Fokus läggs istället vid värdet på Q och om dess förhållande till K för en reaktion. För $Q < K$ är koncentrationen av reaktanter större än produkt och går reaktionen mot mer framställning av produkt för att nå jämvikt. För det motsatta förhållandet $Q > K$ går reaktionen mot att att framställa mer reaktant och vid $Q = K$ har jämvikt inställt sig. Det första fallet där $Q < K$ förtydligas genom matematematiskt resonemang där nämnaren är ”för stor” och det finns ”för mycket” av reaktanterna. Samtidigt som täljaren beskrivs som ”för liten” och det finns ”för lite” av produkten. Detta motverkas av reaktionen genom att öka täljaren tills Q får samma värde som K.
Ett mer utförligt räkneexempel baserat den tidigare jämvikten mellan N_2O_4 och $2NO_2$ presenteras med en ny frågeställning där lösningen initieras med att resonera kring vilken riktning reaktionen går mot. Baserat på reaktionskvotens värde, som är mindre än jämviktskonstanten, förs resonemanget mot att koncentrationen för produkten kommer att öka samtidigt som reaktanten kommer minska. Lösningen på problemet resulterar i en andragradsekvation som löses genom användning av pq-formeln, se fig. 3. Exemplet redovisar ett kort resonemang varför den positiva roten, i detta fall, används genom att en koncentration inte kan vara negativ.

Om vi kan lösa ut x i den här ekvationen så kommer vi kunna få ut koncentrationerna vid jämvikt.

Vi börjar med att förenkla ekvationen.

$$10{,}4 = \frac{(0{,}193 + 2x)^2}{0{,}05357 - x} \Rightarrow$$

$$10{,}4 \cdot (0{,}05357 - x) = (0{,}193 + 2x)^2 \Rightarrow$$

$$0{,}55718 - 10{,}4x = 0{,}37249 + 0{,}772x + 4x^2 \Rightarrow$$

$$4x^2 + 11{,}172x - 0{,}519879 = 0 \Rightarrow$$

$$x^2 + 2{,}793x - 0{,}12996975 = 0 \Rightarrow$$

$$x = -\frac{2{,}793}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2{,}793}{2}\right)^2 + 0{,}12996975} \Rightarrow$$

$$x = 1{,}3965 \pm 1{,}442283 \Rightarrow$$

$$x_1 = 0{,}04578$$

$$x_2 = -2{,}838$$

Eftersom en koncentration inte kan vara negativ så är x_2 ett orimligt svar.

Figur 3 visar hur en lösning av en andragradsekvation ser ut (Reaktion 2. 2016, s. 28).

Syntes 2

Syntes 2 inleder jämviktskapitlet med ett resonemang som berör den svaga syran ättiksyra som löses i vatten. En del av ättiksyramolekylerna reagerar med vattenmolekylerna och avger en proton till vattnet och oxoniumjoner bildas tillsammans med acetatjoner. De två nybildade jonerna kan sedan reagera med varandra och bilda vatten och ättiksyra igen. Denna typ av reaktion kallas reversibla reaktioner, vilket betyder att den kan gå fram och tillbaka under reaktionsförloppet och förändra koncentrationsfördelningen under en viss tid. Då förhållandet mellan ämnena inte förändras längre, det vill säga när reaktionshastigheten är lika stora i båda

riktningar, beskrivs reaktionen vara i jämvikt. En allmän reversibel reaktionsformel presenteras där ämnena A och B bildar produkten C och D och en jämviktsekvation baserat på denna. Vidare beskrivs ekvationen som ett resultat av en internationell överenskommelse där täljaren består av reaktionens produkt och nämnaren av reaktionens reaktanter. Det preciseras även att koncentrationsförhållandet alltid är konstant för en viss reaktion vid en viss temperatur, en kvot som noteras med K och kallas jämviktskonstanten.
För att exemplifiera hur jämviktsekvationen ställs upp då koefficienterna i reaktion inte är 1 (till skillnad från det allmänna fallet) redovisas ett fall då vätgas och jodgas reagerar och bildar vätejodid. I reaktionsformeln har produkten vätejodid koefficienten 2 och får således en 2a som exponent vid uppställning av jämviktsekvationen. Någon vidare motivering till detta redovisas inte mer än att detta samband gäller för samtliga jämviktsreaktioner. I anknytning till exemplet, där jämviktskonstanten är dimensionslös, förs även ett kort resonemang kring enheten för konstanten K. Jämviktskonstantens enhet beror på reaktionen och kan skilja sig från reaktion till reaktion och måste därför beräknas varje gång.
När det är oklart om ett system står i jämvikt eller inte kan reaktionskvoten beräknas med hjälp av ämnenas koncentrationer. Reaktionskvotens värde betecknas med Q och dess relation till reaktionens jämviktskonstant K avgör om systemet står i jämvikt eller inte. Ett exempel illustrerar detta genom att reaktionskvoten värde beräknas till $Q = 1{,}0$ vilket i jämförelse med den givna reaktionens jämviktskonstant $K = 5{,}9$. Förhållandet mellan de två blir således $Q < K$ vilket betyder att reaktionen fortfarande strävar mot jämvikt. Det förklaras genom att värdet på Q kommer att växa i takt med att reaktionen kommer gå mot att producera mer produkt. Täljarens värde kommer att öka samtidigt som nämnarens kommer att sjuka, kvoten får således ett högre värde tills det att $Q = 5{,}9 = K$ och reaktionen står i jämvikt. För att redovisa resterande fall anges en mindre sammanfattning i sidmarginalen. Där beskrivs det åt vilket håll nettoreaktionen går mot beroende på vilket förhållande som gäller mellan Q och K.
Ett flertal räkneexempel redovisas där antingen jämviktskonstanten ska beräknas givet koncentrationerna alternativt en komponents koncentration på jämviktskonstantens värde. De redovisar uppställningar utifrån den givna jämviktsekvationen och numeriska uträkningar inkluderas. I de fall där andragradsekvationer uppstår varierar redovisningen en aning. I det första exemplet söks substansförändringen då reaktionen står i jämvikt, vilket är den samma som produktens substansmängd i detta fall. I början av lösningen observeras att antagna värdet v för volymen försvinner ur ekvationen vid uppställning och gör uträkningen oberoende av volymen på systemet. Därefter fortsätter uträkningen och tar kvadratroten ur båda led, något som redovisas skriftligen i textform och inte genom symbolisk representation. Den positiva roten används sedan för att beräkna den slutgiltiga koncentrationen av både reaktanter och produkter. Det negativa svaret förkastas med den korta motiveringen att x måste vara positivt. I den andra typen av lösningsredovisning där beräkning av andragradsekvationer inkluderas illustreras en liknande problemställning. Detta exempel skiljer sig genom att den okända koncentrationen x antas vara så liten att den är försumbar. Genom denna motivering skrivs därför uttrycket om och förenklar uträkningen till en ekvation med endast en x^2-term där den positiva roten används för vidare beräkning. Den negativa roten ignoreras och benämns inte.

Genomgående för samtliga räkneexempel använder man konventionen för värdesiffror, där det lägsta antalet värdesiffor styr antalet värdesiffror för svaret. Undantaget sker vid beräkning av pH med hjälp av syrakonstanten där antalet värdesiffror styr antalet decimaler i det erhållna pH-värdet. Författarna inkluderar inget resonemang för detta utan båda konventioner används implicit.

Kemiboken 2

Kemiboken 2 inleder jämviktskapitlet genom att presentera ett praktiskt experiment som eleverna kan utföra för att illustrera jämviktsbegreppet som kallas akvarieanalogin. Två elever får varsin balja där den ena är fylld med vatten och den andra är tom initialt. De får sedan instruktionen att samtidigt ösa vatten från sin balja till kamratens med identiska kärl i syfte att symbolisera hur en reaktion verkar mot jämvikt.

För att exemplifiera kemisk jämvikt redovisas jämvikten som ställer in sig då vätgas och kvävgas får reagera i ett slutet kärl och bildar då ammoniak, som in sin tur sönderfaller till vätgas och kvävgas. För att illustrera denna jämvikt som uppstår mellan reaktanter och produkter presenteras en graf innehållande två linjer, en som beskriver produktionen av ammoniak och en som beskriver sönderfall av ammoniak. De två linjerna speglar varandra till en början tills de möts och samma reaktionshastighet erhålls och är konstant. Några mätvärden markeras inte men resonemanget som beskrivs i grafen återges i textform.

Vid introduktion av jämviktsekvationen presenteras den som ett resultat av fyra upprepade experiment där vätgas och koldioxid reagerar med varandra och bildar vatten och kolmonoxid. Jämvikten som ställer in sig vid de fyra olika experimenten visar sig då vara väldigt lika, oberoende av vilka startkoncentrationer som används. På grund av att denna fördelning ungefär är lika konstateras att den därmed kan antas vara konstant. Denna konstant introduceras som jämviktskonstanten K och representerar koncentrationsförhållandet mellan en reaktions produkt och reaktant, se ekvation 5. Här förtydligas att täljaren utgörs av produkten och nämnaren av reaktanter samt att samtliga ämnens koefficienter återfinns som exponenter i jämviktsekvationen. Författarna poängterar även att K-värdet är specifikt för en viss reaktionsformel vid en viss temperatur och gäller endast för ett system i jämvikt.

I situationer då det är okänt om viss reaktion är i jämvikt eller inte införs begreppet koncentrationskvot och betecknas med Q. Beräkningen av Q sker på samma vis som jämviktskonstanten, med givna eller uppmätta koncentrationer av de delaktiga ämnena. Värdet på Q jämförs sedan med reaktionens K-värde för att undersöka i vilken riktning nettoreaktionen går. Ett resonemang förs för fallet då $Q > K$ där jämvikt nås genom att täljarens värde måste minska samtidigt som nämnarens värde ökar, detta sänker kvotens värde tills de att K-värdet uppnåtts och jämvikt inställt sig. På ett likande sätt redovisas fallet då $Q < K$. I syfte att erbjuda läsaren ett lämpligt tillvägagångssätt vid problemlösning av jämviktskaraktär redovisas en mall som består av tre steg.

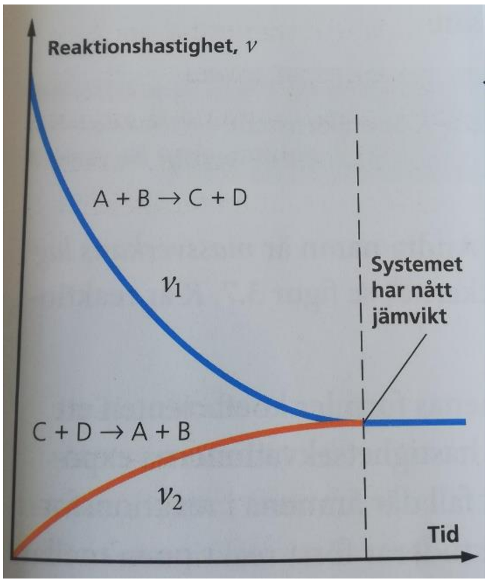
Steg 1: Skriv reaktionsformeln.
Steg 2: Gör en tabell och för in de kända substansmängderna.
Steg 3: Beräkna koncentrationerna och för in dem i tabellen.

Denna mall används sedan genomgående och färgläggs i blått och grönt för att framhäva värden och förenkla beräkningarna. Då koncentrationen söks betecknas denna med x i samma tabell för att poängtera att den är den okända kvantiteten som ska beräknas.

När det gäller redovisning av uträkningar är den genomgående trenden att värdena från tabellen sätts in i jämviktsekvationen för att visa hur uppställningen av beräkningen ser ut, följt av det beräknade svaret. I fall då andragradsekvationer förekommer förs resonemang som belyser att det ena värdet är orimligt genom att det överstiger startvärdet, det vill säga att det då skulle skapas från tomma intet, och därför förkastas.

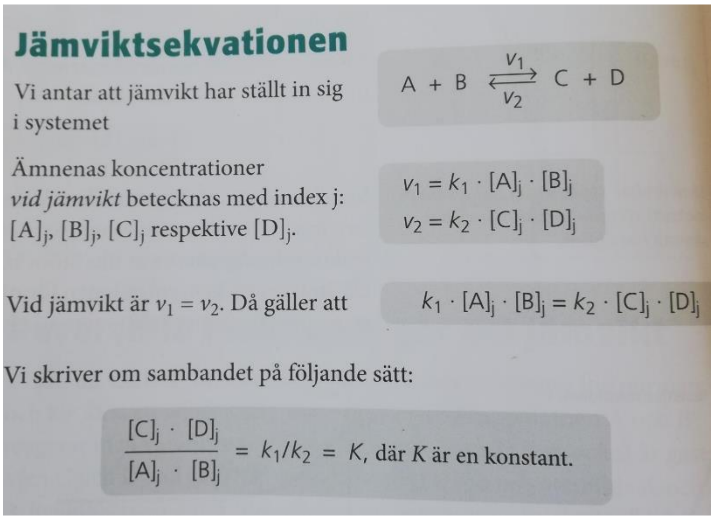
Gymnasiekemi 2

Jämviktskapitlet inleds med ett laborativt experiment med väte, kväve och ammoniak för att illustrera ett industriellt exempel på hur jämvikt kan användas. En generell reaktionsformel redovisas för att sedan teckna hastighetsuttryck i båda riktningar av reaktionen. Dessa uttryck används sedan i en beskrivning om hur jämvikt uppstår, det förtydligas genom en graf, se fig. 4. Hastigheterna beskrivs genom att $v_1$minskar och v_2 ökar tills de nått en konstant nivå då systemet står i jämvikt.



Figur 4 visar jämvikten som ställer in sig för den allmänna reaktionen A +B ⇄C+D (Gymnasiekemi 2, 2013, s. 35).

Vid introduktion av jämviktsekvationen används relativt lite verbal kommunikation och mer av symbolisk kommunikation. Ett matematiskt resonemang byggs upp med hjälp av de tidigare redovisade hastighetsuttrycken, se fig. 5. Vidare exempel för hur ekvationen ställs upp för givna reaktionsformler redovisas med liknande motivering. Korta beskrivningar i punktform kompletterar de symboliska redovisningarna.
I det fall jämviktskonstanten K har ett ”stort värde” förklaras detta med att bråkets täljare är stor i förhållande till dess nämnare och det omvända för ett ”litet värde” på K. Vilket värde på K som definieras som litet eller stort förtydligas inte.
För att observera en reaktion där det inte är känt om jämvikt har ställt in sig införs begreppet reaktionskvot och betecknas med Q. Kvoten beräknas på samma sätt och jämför sedan mot reaktionens tabellerade K-värde. Det är förhållandet mellan dessa två som indikerar vilket håll reaktionen går mot, vilket litteraturen motiverar med att beskriva förhållandet mellan täljare och nämnare. Då $Q < K$ kommer täljaren att ”växa” samtidigt som nämnaren ”minskar” till dess att kvotens värde $Q = K$ och jämvikt uppnåtts.



Jämviktsekvationen

Vi antar att jämvikt har ställt in sig i systemet

$$A + B \underset{v_2}{\overset{v_1}{\rightleftarrows}} C + D$$

Ämnenas koncentrationer *vid jämvikt* betecknas med index j: $[A]_j$, $[B]_j$, $[C]_j$ respektive $[D]_j$.

$$v_1 = k_1 \cdot [A]_j \cdot [B]_j$$
$$v_2 = k_2 \cdot [C]_j \cdot [D]_j$$

Vid jämvikt är $v_1 = v_2$. Då gäller att

$$k_1 \cdot [A]_j \cdot [B]_j = k_2 \cdot [C]_j \cdot [D]_j$$

Vi skriver om sambandet på följande sätt:

$$\frac{[C]_j \cdot [D]_j}{[A]_j \cdot [B]_j} = k_1/k_2 = K, \text{ där } K \text{ är en konstant.}$$

Figur 5 Visar hur boken kommer fram till jämviktsekvationen genom uttryck för reaktionshastighet (Gymnasiekemi 2, 2013, s.36).

I syfte att visa hur beräkningar ser ut då antingen jämviktskonstanten eller ett visst ämnes koncentration söks redovisas fyra räkneexempel. Samtliga följer samma trend där uppställning av jämviktsekvationen redovisas för aktuell reaktion med symbolisk representation. Nödvändiga uträkningar anges i näst intill flytande text med numeriska värden som sedan summeras i en tabell för att poängtera vilka mätvärden som motsvarar vilka ämnen. Värdena sätts sedan i den tidigare uppställda ekvationen och det som efterfrågas beräknas, här inkluderas även enheten. Samtliga exempel följer konventionen att lägsta antalet värdesiffror i uppgiften styr antalet värdesiffror som anges i svaret, någon förklaring till detta anges inte vilket gör användningen implicit.
För att observera en reaktion där det inte är känt om jämvikt har ställt in sig införs begreppet reaktionskvot och betecknas med Q. Kvoten beräknas på samma sätt och jämförs sedan mot reaktionens tabellerade K-värde. Det är förhållandet mellan dessa som indikerar vilket håll reaktionen går mot, vilket motiveras med att beskriva förhållandet mellan täljare och nämnare. Då $Q < K$ kommer täljaren att ”växa” samtidigt som nämnaren ”minskar” till dess att kvotens värde $Q = K$ och jämvikt uppnåtts.

Representationsformer för jämvikt

För *Modell och verklighet kemi B*, *Kemiboken 2* och *Gymnasiekemi 2* är symboliska matematiska representationer mest förekommande. Grafiska och verbala matematiska representationer utgör en betydande del vid beskrivning av reaktionsförlopp och hur olika entiteter förhåller sig till varandra
I *Reaktion 2* och *Syntes 2* är den mest förekommande matematiska representationsformen den symboliska. De båda läromedlen innehåller även en noterbar andel verbal matematisk representation.

Diskussion

I denna del redovisas en diskussion kring analysens resultat.

pH-begreppet

Vid introduktionen av pH-begreppet motiveras dess matematiska användning på lite olika sätt ibland de studerade läromedlen. Konsensus verkar vara att införandet av skalan används för att göra det mer enkelt för läsaren att förstå. I *Reaktion 1* uttrycks detta explicit genom att beskriva pH-värden som mer hanterbara än att skriva ut mätvärden med hög negativ exponent. I *Syntes 1* motiveras införandet med att mätvärden blir enklare att överblicka. Man kan således argumentera för att läromedlen presenterar en likartad motivering i detta fall och utgör en likhet för samtliga böcker. Men bara för att pH-skalans användning motiveras genom att den ger mer hanterbara värden och där av enklare att hantera betyder inte det att det är så. Argument för att skalan adderar ett abstraktionslager kan föras genom att ett högt pH-värde motsvarar en låg koncentration. Det ”enklare” värdet representerar ett mer abstrakt begrepp logaritmisk storleksordning som kan försvåra förståelsen av pH-begreppet från själva början. Ytterligare en iakttagen likhet läromedlen emellan är att pH-skalan presenteras genom tabeller. För att redovisa koncentrationsspannet används numerisk representation i form av grundpotenser. Genom att observera tabellerna som redovisats kan man urskilja att ett steg i någon riktning motsvarar en tiofaldig förändring. Dock är detta något som en minoritet av läromedlen förtydligar i textform. I *Reaktion 1* belyser de att pH-skalan är logaritmisk och att en förändring från 4 till 3 motsvarar en tiofaldig koncentrationsförändring. Syntes 1 uttrycker även att skalan är logaritmisk men går inte hela vägen och poängterar dess inverkan. Detta kan ses som en indikation från författarnas sida att de förväntar sig att läsaren själv besitter den matematiska förståelsen som krävs för att tolka begreppet logaritmisk skala.
I fallet för de läromedel som inte beskriver den logaritmiska skalans inverkan och betydelse kan det argumenteras för att den typen av förståelse inte prioriteras. Istället förmedlas en underliggande mening om att eleverna bara behöver kunna beräkna pH genom att använda en formel. Utan någon förklaring som förtydligar resultatets inverkan och dess förhållande till pH-skalans logaritmiska värde kan man argumentera för att delar av den matematiska förståelsen går förlorad. Denna aspekt är värd att ta i beaktning då läromedlet anses vara den primära källan för kunskap (Gottfried & Kyle, 1992). Samtliga studerade läromedlen använder sig av grundpotensform vid beskrivning av koncentrationsförändringen men skiljer sig i den efterföljande beskrivningen. Vissa tydliggör förändringen verbalt medens andra utesluter detta och överlåter denna slutsats till läsaren.
Vid jämförelse av läromedlens presenterade räkneexempel påträffades fler skillnader, bland annat utformningen men också vilken del av beräkningarna som belystes. *Modell och verklighet kemi A* skiljde sig från övriga läromedel genom att i det första redovisade räkneexemplet färglägga vissa delar av uträkningarna röda, se fig. 1. Läsaren kan lätt följa ”potensens väg” genom beräkningen samt hur formeln används. Denna typ av färgläggning underlättar även för läsaren att se kopplingen i uträkningen mellan mätvärdet och det resulterande pH-värdet. Man kan därför tolka denna användning av färg som en ansats till att assistera läsaren genom beräkningen och att författarna inte förutsätter att läsaren har goda kunskaper inom området logaritmer. Dock används denna typ av färgläggning i det första exemplet och inte genom alla räkneexempel. Detta kan tolkas som en ansats från bokens sida att repetera hur beräkningar med logaritmer genomförs för att sedan anta att läsaren besitter

dessa kunskaper och hoppar över den övertydliga förklaringen. *Reaktion 1* använder sig också av färgläggning i samband med räkneexempel men på ett annat sätt jämfört med *Modell och verklighet kemi A*. Istället för att belysa vissa värden eller delar av uträkningen färgläggs istället hela beräkningen. Syftet med denna typ av färganvändning kan grundas i att särskilja beräkningar från vanlig text och därigenom underlätta läsningen.

I samband med räkneexemplen används konventionen att antalet värdesiffror för koncentrationen är den samma som antalet decimaler i pH-värdet. *Reaktion 1*, *Kemi 1* och *Gymnasiekemi 1* belyser inte denna aspekt alls i sina böcker, konventionsanvändningen observeras endast genom de exempel som presenteras. I *Modell och verklighet kemi A* förs resonemang för hur värdesiffror ska anges genom exempel och presenteras med hjälp av både numerisk och verbal representation. Den röda används återigen här i syfte att styra fokus mot vilka delar som är betydande i sammanhanget. *Syntes 1* väljer istället att förmedla denna konvention i textform i samband med räkneexemplen.
Sammanfattningsvis kan det argumenteras för att *Modell och verklighet kemi A* och *Syntes 1* gör en ansats för ge läsaren en tydligare matematisk hjälp när det gäller presenterade räkneexempel i högre grad än övrig litteratur. De har möjligtvis en tanke om att stötta läsarens existerande matematiska kunskaper i samband med detta arbetsområde. Man kan även resonera för att Reaktion erbjuder läsaren en mer utvecklad förståelse för hur logaritmer fungerar jämfört med andra läromedel.

Jämvikt

I majoriteten av de studerade läromedlen introduceras begreppet jämvikt i samband med illustrationer bestående av olika grafer med linjer som beskriver en viss förändring. Beskrivningen av dessa grafer är relativt likt mellan de läromedel som inkluderar dessa grafer. De redogör för hur olika linjer ökar eller minskar i relation till vilket kemiskt resonemang som förs. Ett exempel är *Modell och verklighet kemi B* som beskriver vid ett tillfälle att en viss entitet minskar tre gånger snabbare i förhållande till en annan som kompletterande figurtext. En trend som verkar vara gemensam för samtliga böcker är hur jämviktsekvationen beskrivs och vilket matematiskt resonemang som förs i samband med introduktionen av ekvationens resulterande K-värde. Majoriteten av de studerade läromedlen presenterar att förhållandet mellan reaktanter och produkter alltid är konstant och att uppställningen är ett resultat av internationell konvention. Man använder ekvationen sedan som ett verktyg till beräkningar av olika kvantiteter. *Kemiboken 2* använder ekvationen på samma vis men introducerar den på ett annorlunda sätt. Genom att presentera fyra upprepade experiment med samma komponenter men med olika startkoncentrationer redovisas att förhållandet vid jämvikt, dvs jämviktskonstanten, blir ungefär det samma. Eftersom denna fördelning är så lik i samtliga fall antas den därför vara konstant. Jämviktsekvationen blir således en empirisk verifierad lag som kan användas för samtliga reaktioner i jämvikt. *Kemiboken 2* motiverar där av på ett tydligare sätt varför ekvationen kan användas och tydliggör varför fördelningen alltid är konstant vid jämvikt. Denna motivering till att fördelningen alltid är konstant görs även av övriga läromedel men inte lika tydligt och numeriskt vis som *Kemiboken 2*.
När det gäller användningen av matematiskt språk vid introduktion av jämviktsekvationen används adekvat språk av samtliga studerade läromedel. De använder genomgående begrepp

som täljare, nämnare, kvot, produkt, koefficient och exponent. Ett exempel på detta återfinns i *Kemiboken 2* som skriver på följande vis.

”I täljaren står produkten av koncentrationerna av de ämnen som står till höger i formeln. I nämnaren står produkten av koncentrationerna av de ämnen som står till vänster i formeln. Koefficienterna i reaktionsformeln återfinns som exponenter i jämviktsekvationen” (Kemiboken 2, 2012, s.42).

Det matematiska språk som används inom matematikundervisningen återfinns således i läromedlen för kemi. Dessa termer används sedan även i samband med resonemang som berör värdet på reaktionskvoten Q. Flera av läromedlen använder även här adekvat matematisk terminologi vid beskrivning av koncentrationsförhållandet mellan vänster och höger sida om reaktionspilarna. Vid redogörelse av fallet då $Q < K$ används liknande formuleringar för att beskriva hur täljarens värde är ”för litet” och måste öka. På samma är nämnaren ”för stor” och måste minska för att Q närmar sig värdet på K. *Reaktion 2* formulerar detta på följande sätt.

”Man kan också betrakta uttrycket matematiskt, då ser man att nämnaren är ”för stor”, att det finns ”för mycket” av A och/eller B (reaktanterna). På samma sätt kan man se att täljaren är ”för liten”, att det finns ”för lite” av C och/eller D (produkterna)” (Reaktion 2, 2016, s. 31).

Här kan man önska att resonemanget knyts ihop med en formulering om att *kvotens värde* minskar och då närmar sig K men genom att Q står för begreppet reaktionskvot är det möjligt att det antas vara underförstått.

Undantaget från de övriga böckerna utgörs av *Modell och verklighet kemi B* som kort beskriver vilka kemiska implikationer som följer då $Q \neq K$ utan att använda matematiska termer eller resonemang.
Vid jämförelse av hur räkneexempel redovisas kan man notera att samtliga läromedel har likartad syn på strukturen. Först används numeriska representationer i form av tabeller där mätvärden och okända entiteter redovisas. Därefter följer uppställning av beräkningen som krävs följt av ett svar. Det är endast författarna till *Reaktion 2* som, vid ett tillfälle, valt att inkludera en mer utförlig beskrivning av de beräkningar som görs. Men på det stora hela redovisas inga detaljerade beräkningar inom jämviktsområdet. Ett möjligt motiv kan vara att läromedelsförfattarna förväntar sig att läsaren besitter de nödvändiga matematiska färdigheterna som krävs för att lösa de ekvationer som uppstår och vill inte lägga allt för stort fokus vid detta. Ett annat kan vara att mätvärdena från uppgifterna ofta resulterar i beräkningar av andragradsekvationer med långa decimaltal som koefficienter och konstanter, vilket enklast beräknas med miniräknare. Dessa till synes mer ”krånglig” utryck kan resultera i att läsaren fastnar vid beräkningen och missar poängen med resonemanget som man försöker förmedla. Vidare har skillnader vid svarsangivelsen av andragradsekvationer noterats, mer specifikt vilken motivation som ges vid avfärdandet av ogiltiga eller orimliga svar. *Modell och verklighet kemi B* redovisar i samband med ekvationsuppställningen att det sökta värdet på x måste uppfylla ett visst villkor, till exempel $0 < x \leq 0{,}20$. För att sedan ange att ekvationen ger två svar men att bara det ena uppfyller det tidigare presenterade villkoret och är därför det korrekta svaret. Läromedlen *Reaktion 2*, *Syntes 2* och *Kemiboken 2* för istället verbala resonemang där de motiverar avfärdandet av det negativa värdet till de presenterade exemplen som orimliga då en koncentration inte kan vara negativ. Dessa fyra böcker för således olika typer av kemiska resonemang byggda på matematik som motiverar nödvändiga slutsatser. Likheten mellan dessa blir alltså **att** motivering förkommer men skiljer sig i vilken

typ av motivering som används. *Modell och verklighet kemi B* använder således mer symbolisk och numerisk matematisk representation för att dra kemiska slutsatser. Noterbart i samband med detta är att *Gymnasiekemi 2* inte presenterar några räkneexempel som innehåller andragradsekvationer och kan därför inte jämföras med övriga böcker.

Slutsatser för matematiska representationsformer

Analysen visar att den mest förekommande matematiska representationsformen inom pH-området var symbolisk och numerisk för de studerade läromedlen. Den verbala representationsformen utgjorde även en betydande del i en av böckerna men inte i samma utsträckning som symbolisk och numerisk. Anledningen till att den symboliska och numeriska representationsformen var dominant kan vara att läromedlen i kemi försöker efterlikna läromedel för matematik. Ett nytt begrepp eller arbetsområde introduceras ofta i matematikläromedel antingen med en allmän formel baserad på symbolisk representation eller ett numeriskt exempel. När ett kemiskt begrepp som bygger på matematik introduceras kan det vara så att man vill efterlikna matematikböckernas struktur och representationsformer. Genom att göra det nya materialet mer igenkännbart för eleverna sänks möjligtvis kunskapströskeln.

Analysen för jämviktsområdet visade att den symboliska representationsformen var mest förekommande för läromedlen inkluderade i studien. Men till skillnad från pH-området förekom grafisk och verbal representationsform i relativt hög grad. Detta kan bero på att jämvikt kan ses som en process över en viss tid som bäst illustreras med hjälp av grafer och kompletterande matematisk beskrivning. Genom grafiskt och verbal representation kan förändringar, av koncentrationer i detta fall, illustreras på ett sätt som symbolisk inte kan. Symbolisk representation i form av jämviktsekvationen eller jämviktskvoter beskriver endast förhållande vid en eller efter en given punkt i reaktionsförloppet.

Sammanfattningsvis kan slutsatsen dras att den matematiska representationsformen som är mest förekommande är symbolisk för samtliga studerade läromedel. Detta är en relativ väntad slutsats eftersom symbolisk representation används för att redovisa generella kemiska formler, ekvationer och förhållande, något som är vanligt förekommande inom de undersökta områdena i samtliga studerade läromedel. Inom pH-området användes representationsformen bland annat för att redovisa definitionen av pH samt illustrera förhållandet mellan oxoniumjoner och hydroxidjoner. En motsvarande användning sker inom jämviktsområdet där representationsformen brukas för att till exempel redovisa uppställningen av jämviktsekvationen och förhållandet mellan Q och K. Den symboliska representationsformen är således en central faktor gemensam för de undersökta områdena samt läromedlen emellan och där av en dominerande representationsform.

Vidare forskning

Under tiden som denna studie fortlöpt har det varit utmanande att hitta forskning eller publikationer som undersökt matematiken i läromedel för kemi. Flera studier har gjort i anknytning till fysik och NO (science class) på ett internationellt plan men ingen som direkt kan jämföras eller likställas med denna studie. Det skulle följaktligen vara intressant att se forskning som vidare undersöker vilken matematik som används i läromedel för kemiämnet samt läromedelsförfattarnas motiv till denna användning. Det skulle även vara intressant att vidare undersöka användningen av olika matematiska representationer och vilken inverkan deras användning har för lärandet.

Referenser

Litteratur

Ade-Ridder, L. (1989). *Textbook decisions: Making an informed choice*. Family Relations, 38(2), 231-240.

Bain, K., Rodriguez, J-M, G., Moon, Alena., & Towns, M H. (2018). *The characterization of cognitive processes involved in chemical kinetics using a blended processing framework*. Chem. Educ. Res. Pract., 2018, 19, 617--628

Bain K., Moon A., Mack M. R. & Towns M. H., (2014), *A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level*, Chem. Educ. Res. Pract., 15(3), 320–335.

Becker N. & Towns M., (2012), *Students' understanding of mathematical expressions in physical chemistry contexts: an analysis using Sherin's symbolic forms*, Chem. Educ. Res. Pract., 13, 209–220.

Bergsten, C., Häggström, J. & Lindberg, L. (2001). *Algebra för alla*. 1. uppl. Göteborg: Nämnaren

Bucy B. R., Thompson J. R. & Mountcastle D. B., (2007), *Student (mis)application of partial differentiation to material properties*. Proceedings of the 2006 Physics Education Research Conference of the American Institute of Physics.

Coulson S. & Oakley T., (2000), *Blending basics, Cogn. Linguist*., 11(3–4), 175–196.

Derrick M. E. & Derrick F. W., (2002), *Predictors of success in physical chemistry*, J. Chem. Educ., 79(8), 1013–1016.

Duval, R. (2006). *A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics*. Educational Studies in Mathematics vol 61 (ss. 103 – 131)

Fauconnier G. & Turner M., (1998), *Conceptual Integration Networks*, Cogn. Sci., 22(2), 1331.

Gustafsson, I-M., Jakobsson, M., Nilsson, I. & Zippert, M. m fl (2011). *Matematiska uttrycksformer och representationer. Nationellt centrum för matematik*. Göteborg. Hämtat 31/9-19 från: http://ncm.gu.se/pdf/namnaren/3645_11_3.pdf

Gottfried, S.S. & Kyle, W.C. (1992). *Textbook use and the biology education desired state*. Journal of Research in Science Teachinq, 29(1), 35-49.

Hahn K. E. & Polik W. F., (2004), *Factors influencing success in physical chemistry*, J. Chem. Educ., 81(4), 567–572.

House J. D., (1995), *Noncognitive predictors of achievement in introductory college chemistry*, Res. High. Educ., 36(4), 473–490.

Jablonka, E. & Johansson, M. (2010). *Using texts and tasks: Swedish studies on mathematics textbooks*. i B Sriraman, C Bergsten, S Goodchild, G Palsdottir, B Dahl Søndergaard & L Haapasalo (red), *The first sourcebook on Nordic research in mathematics education: Norway, Sweden, Iceland, Denmark and contributions from Finland*. Information Age 52 Publishing, Charlotte, NC, s. 363-372. The Montana Mathematics Enthusiast: Monograph series in mathematics education.

Kamm, A & Taylor, B. (1966). *Books and the teacher*. London: University of London.

Löwing, M. (2004). *Matematikundervisningens konkreta gestaltning. En studie av kommunikationen lärare – elev och matematiklektionens didaktiska ramar* (avhandling för doktorsexamen, Göteborgs Universitet).

Lester, F K. (red.) (2007). *Second handbook of research on mathematics teaching and learning: a project of the National Council of Teachers of Mathematics*. Charlotte, NC: Information Age Pub.

NCM. Nationellt centrum för matematikutbildning. (2001). *Hög tid för matematik*. NCM – rapport 2001:1. Göteborg: NCM.

Nicoll G. and Francisco J. S., (2001), *An investigation of the factors influencing student performance in physical chemistry*, J. Chem. Educ., 78(1), 99–102.

Peacock, A., & Gates, S. (2000). *Newly qualified primary teachers' perceptions of the role of text material in teaching science*. Research in Science & Technological Education, 18(2), 155-171.

Peng, A. & Nyroos, M. (2012). *Values in effective mathematics lessons in Sweden: what do they tell us?* Umeå Universitet, Umeå, Sverige.

Skolverket. (2019). *Ämne – Matematik*. Hämtad 20190424 från: https://www.skolverket.se/undervisning/gymnasieskolan/laroplan-program-och-amnen-i-gymnasieskolan/gymnasieprogrammen/amne?url=1530314731%2Fsyllabuscw%2Fjsp%2Fsubject.htm%3FsubjectCode%3DMAT%26tos%3Dgy&sv.url=12.5dfee44715d35a5cdfa92a3

Skolverket. (2019b). *Ämne – Kemi*. Hämtad 20190424 från:

https://www.skolverket.se/undervisning/gymnasieskolan/laroplan-program-och-amnen-i-gymnasieskolan/gymnasieprogrammen/amne?url=1530314731%2Fsyllabuscw%2Fjsp%2Fsubject.htm%3FsubjectCode%3DKEM%26tos%3Dgy%26p%3Dp&sv.url=12.5dfee44715d35a5cdfa92a3

Skolverket. (2018). *Om ämnet matematik*. Hämtat 20190424 från: https://www.skolverket.se/download/18.6011fe501629fd150a2893a/1530187438471/Kommentarmaterial_gymnasieskolan_matematik.pdf

Skolverket. (2003). *Lusten att lära – med fokus på matematik*. Stockholm: Skolverket

Spencer, H., E., (1996), *Mathematical SAT Test Scores and College Chemistry Grades*, J. Chem. Educ., 73(12), 1150–1153.

Stukat, S. (2011). *Att skriva examensarbete inom utbildningsvetenskap*. Lund: Studentlitteratur

Thompson J. R., Bucy B. R. & Mountcastle D. B., (2006), *Assessing student understanding of partial derivatives in thermodynamics*, Proceedings of the 2005 Physics Education Research Conference of the American Institute of Physics.

Tsaparlis G., (2007), *Teaching and learning physical chemistry: a review of educational research*, in Ellison M. D. and Chemistry Education Research and Practice Paper Published on 13 March 2018.

Wagner E. P., Sasser H. & DiBiase W. J., (2002), *Predicting Students at Risk in General Chemistry Using Pre-semester Assessments and Demographic Information*, J. Chem. Educ., 79(6), 749–755.

Studerade läromedel i kemi

Andersson, Ellervik, Rydén, Sonesson, Svahn och TullBerg. (2013). *Gymnasiekemi 1*. Liber

Andersson, Ellervik, Rydén, Sonesson, Svahn och TullBerg. (2013). *Gymnasiekemi 2*. Liber

Borén, H., Boström, A., Börner, M., Larsson, M., Lillieborg, A., Lindh, B., Lundström, J., Ragnarsson, M. och Sundkvist, S-Å. (2012) *Kemiboken 2* Liber.

Ehinger M. (2015) *Kemi 1*. NA Förlag.

Henriksson, A., Johansson, A., Zetterberg, E. (2018) *Syntes kemi 1*. Gleerup Utbildning AB

Henrik, A. (2012) *Syntes kemi 2*. Gleerups Utbildning AB.

Pilström, H., Lüning, B., Wahlström, E., Nordlund, S., Norrby, L J., Viklund, G., Peterson A och Aastrup, L. (2009) *Modell och verklighet kemi B*. Natur och Kultur Stockholm.

Pilström, H., Lüning, B., Wahlström, E., Viklund, G., Peterson A och Aastrup, L. (2011) *Modell och verklighet kemi A*. Natur och Kultur Stockholm.

Thorell, H. & Johansson, E. (2016). *Reaktion 1*. Natur och Kultur Stockholm

Thorell, H. & Johansson, E. (2016). *Reaktion 2*. Natur och Kultur Stockholm