Stockholms universitet

Ämnesspecifik instruktion i kemi för grundskolan

Dokumentdatum: 2025-10-15
Diarienummer Skolverket: 2025:871
Diarienummer Stockholms universitet: dnr SU-130-0641-25

Stockholm 2025

Förord

Dessa ämnesspecifika instruktioner är framtagna på uppdrag av Skolverket i samband med de läroplansreformer som planerades under 2025. De ska tjäna som underlag för utarbetande av kursplaner i kemiämnet i grundskolan, anpassade grundskolan, specialskolan och sameskolan.

Texterna är skrivna av Carl-Johan Rundgren, professor i didaktik med inriktning mot naturvetenskapliga ämnen vid Stockholms universitet och har tagits fram i samarbete med Helena Danielsson Thorell, lektor i kemi vid Anna Whitlocks gymnasium, Stockholm och Sofie Stenlund, universitetsadjunkt i naturvetenskapsämnenas didaktik vid Stockholms universitet.

Arbetsgruppen har haft ett möte med experter i kemididaktik, där Torodd Lunde, Jesper Sjöström och Michal Drechsler deltagit. Emelie Svahn och Anna-Karin Fridolfsson har bidragit med synpunkter från lärarhåll. Jonas Nycander har bidragit med en systematisk genomgång av svenska kemiläromedel. Jenny Olander, Cecilia Stenberg och Maria Rocksén har givit bidrag till texten om säkerhet. Stort tack för dessa bidrag. Vi vill också tacka Karim Hamza, Charlotta Billing, Jakob Gyllenpalm, Zeynep Ünsal för värdefulla synpunkter under arbetets gång. Vi vill också betona att ingen av de här nämnda ansvarar för textens innehåll. Ansvaret för textens slutliga utformning vilar på huvudförfattaren.

Innehåll

Förord **3**

Utgångspunkter för den ämnesspecifika instruktionen **5**

1. En övergripande beskrivning av kemiämnet **6**

1.1 Naturvetenskap som medborgarbildning 7

2. Ämnets mål och innehåll **10**

2.1 Den kemididaktiska triangeln 10

2.2 Modeller, modelltänkande och modellering 11

2.3 Didaktisk analys 12

2.4 Kemins bärande idéer - tankar kring progression 13

2.5 Progression mellan olika stadier 14

2.6 Årskurs 1-4 14

2.7 Årskurs 5-7 18

2.8 Årskurs 8–10 22

2.9 Säkerhet - utvecklande av förhållningssätt visavi säkerhet genom hela grundskolan 30

3. Lärande i kemiämnet **31**

3.1 Olika kunskapsformer 31

3.2 Några relevanta resultat från begreppsforskning i kemi 33

3.3 Naturvetenskap som språk – kemins symbolspråk 38

3.4 Naturvetenskapliga undersökningar som kunskapsinnehåll 39

3.5 Naturvetenskapernas karaktär 42

4. Centrala undervisningsstrategier **44**

4.1 Undersökande arbete som undervisningsmetod 44

4.2 Laborationer 46

4.3 Vetenskapshistoria och vetenskapsfilosofi i undervisningen 49

4.4 Kontextbaserat lärande 50

4.5 SNI - Samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll 51

4.6 Visualiseringar, drama, fältstudier 52

4.7 Undervisning för hållbar utveckling och grön kemi 54

Slutsatser **54**

Referenser **57**

Utgångspunkter för den ämnesspecifika instruktionen

Denna ämnesspecifika instruktion för kemiämnet bygger på forskning med relevans för elevers lärande i kemi. Den baserar sig också på beprövad erfarenhet, främst i den meningen att den bygger vidare på ämnestraditioner i kemi som bl a gestaltats i tidigare kursplaner men också i t ex läromedel. Det har varit ambition i skrivandet av instruktionen att lärare ska känna igen sig i kemiämnet. Samtidigt som vi inte finner skäl till några stora förändringar av kemiämnets innehåll, lägger vi fram vissa förslag till revidering, dels utifrån läroplansutredningens (SOU 2025:19) instruktioner att skapa en tydligare progression mellan grundskolans stadier och dels utifrån forskningsresultat. Den tydligaste förändringen är att vi definierar en ämneskärna för kemiämnet, utifrån att kemi utgör studiet av ämnen och deras egenskaper samt bygger på en modell av den materiella världen som uppbyggd av beständiga partiklar i rörelse som interagerar med varandra, och föreslår att man kan skapa en progression mellan grundskolans stadier utifrån denna ämneskärna.

Den ämnesspecifika instruktionen inleds med en övergripande beskrivning av kemiämnet som syftar till att behandla frågan om kemiämnets relevans i dagens samhälle och varför kunskaper i kemi är viktiga. Sedan följer avsnittet Ämnets mål och innehåll. För att skapa tydlighet och inte överbelasta texten med referenser inleds texten under avsnittet med en enkel beskrivning av ämnets kärna och våra förslag kring hur man kan skapa progression mellan stadierna utifrån denna. Efter denna del följer en mer reflekterande del där olika aspekter av innehållet och lärande i kemi dryftas med mer omfattande referenser till forskningen. Slutligen följer ett avslutande avsnitt om undervisningsstrategier med utblickar på forskning kring detta.

När det gäller forskningen i kemididaktik kan man konstatera att den internationellt sett är tämligen omfattande. Det finns ett antal internationella forskningstidskrifter i kemididaktik såsom exempelvis *Chemistry Education Research and Practice* och *Journal of Chemical Education*. Dessutom publiceras en stor andel kemididaktisk forskning i mer generella naturvetenskapsdidaktiska (*science education*) tidskrifter såsom *Science Education* och *International Journal of Science Education*. Det finns en kraftig övervikt i forskningen mot skolans senare år och högre utbildning, medan forskning kring kemi i grundskolans yngre år är relativt sällsynt, ca 4 % av forskningen publicerad 2003-2014 (Teo *et al.,* 2014). Detta kan till stor del vara en följd av att elever i många länder inte studerar kemi som ett självständigt ämne förrän i högstadiet eller motsvarande, men detta förhållande motsäger inte det faktum att det finns ett behov av ytterligare forskning om yngre elevers lärande av kemi. De dominerande typerna av forskning är studier av elevers begreppsförståelse i kemi och studier av undervisning. Forskningen domineras av fallstudier, där man

exempelvis prövar ett visst sätt att undervisa och utvärderar detta (Teo *et al.,* 2014). Randomiserade storskaliga studier, som t ex jämförande studier som undersöker lärandeutfall hos större populationer med olika sätt att undervisa är relativt ovanliga. I den mån storskaliga studier förekommer, fokuserar de övergripande aspekter av naturvetenskap, som t ex undersökande arbete, snarare än lärande av ett visst kemiinnehåll. Denna typ av storskaliga studier är inte sällan kopplade till jämförande internationella studier som PISA (Chi *et al.*, 2018; Sjøberg, 2018). Man kan dock tillägga att bristen på randomiserade storskaliga studier i hög grad kan förklaras av de kunskapsteoretiska och metodologiska svårigheter som följer av att beforska ett så komplext och kontextbundet fenomen som olika individers lärande utifrån ett visst sätt att undervisa, något som oundvikligen innehåller viss variation och kontingenta faktorer.

1. En övergripande beskrivning av kemiämnet

Kemiämnet har, liksom övriga grenar av naturvetenskapen, sin grund i människans nyfikenhet på sin omvärld. Kemi hjälper oss att förstå den materiella världens uppbyggnad, struktur och sätt att fungera och hjälper oss att ta kontroll över denna. Kunskaper i kemi spelar en mycket viktig roll i dagens samhälle och utgör grunden för en stor del av de tekniska och medicinska tillämpningar som utgör en grund för det moderna samhället. Grundskolans kemiämne ska ge alla elever kunskaper i kemi så att de har möjlighet att förstå grundläggande kemiska samband i sin omvärld, från livets processer i kroppen till utvecklingen av material och miljöteknik, oavsett om de kommer att fortsätta studera naturvetenskap efter grundskolan eller inte. Att den övervägande majoriteten av eleverna inte kommer att fortsätta att studera naturvetenskap efter grundskolan ger en riktningsvisare för grundskolans kemiundervisning att tillhandahålla en medborgarbildande undervisning som upplevs som relevant, meningsfull och som kan väcka nyfikenhet på kemi.

Tillgång till kunskaper i kemi och möjligheter att studera vidare i yrken där naturvetenskapliga kunskaper behövs kan sägas vara en demokratisk rättighet. En välfungerande undervisning i kemi på grundskolan kan bidra till att stärka elevers möjligheter till olika livsval och yrkesval. Det finns i dagens samhälle en mängd yrken där kunskaper i kemi är nödvändiga, t ex inom läkemedelsindustrin och *Life Science*-sektorn, inom miljö- och energiområdet, etc. Det finns ett framtida behov av en breddad rekrytering till dessa områden, där grundskolans kemiämne kan spela en viktig roll. Ur ett samhällsperspektiv har Sverige ett behov både av att grundskolans kemi ger en kunskaps- och intressegrund för framtida naturvetare

och ingenjörer, men också en grundläggande medborgarbildning för alla i kemi som visar kemins betydelse och tillämpningar i samhället.

Kemiämnet har idag fått en annorlunda roll än den som ämnet traditionellt haft under decennierna närmast efter andra världskriget. Skolans kemiämne under efterkrigstiden kan sägas ha haft som främsta målsättning att dels lägga en relevant kunskapsgrund för de elever som senare skulle verka i yrken med koppling till kemi, t ex inom kemiindustrin eller läkemedelsindustrin, och dels skapa en förståelse och acceptans för kemins möjligheter att bygga det moderna industrisamhället hos den majoritet av eleverna som inte skulle läsa vidare inom kemi. I dagens samhälle har kunskaper i kemi fått en delvis annan roll i ljuset av de globala hållbarhetsutmaningar som dagens samhälle står inför (Beck, 1992). En viktig del av detta är att få elever att inse värdet av kunskaper i kemi för att bidra med lösningar på dessa storskaliga utmaningar för mänskligheten. Samhället idag har ett minst lika stort behov av välutbildade naturvetare och ingenjörer som under decennierna närmast efter andra världskriget, men vi har också ett behov av att skapa naturvetenskapligt bildade medborgare som verkar inom alla sektorer i samhället. Det finns dock risk att kemiämnet, om det presenteras i en liknande form som det gjordes exempelvis på 1950-talet, uppfattas på ett negativt sätt av eleverna, och som en bidragare till de hållbarhetsutmaningar vi möter, snarare än som en källa till lösningar för dessa. Forskning har visat att naturvetenskaplig undervisning i industrialiserade länder återkommande upplevs sakna relevans för elever i tonåren (Jidesjö *et al.*, 2009). Stuckey och kollegor (2013) har analyserat begreppet relevans i naturvetenskaplig undervisning och skiljer mellan individuella, samhälleliga och yrkesmässiga dimensioner av relevans. Hofstein och Kesner (2006) efterfrågar större autenticitet i kemiundervisningen och visar på möjligheten att göra kopplingar till olika tillämpningar med koppling till kemisk industri för att göra undervisningen mer relevant för eleverna. Zeidler och kollegor (2005) lyfter fram samhälls- och hållbarhetsfrågor som ett annat sätt att göra undervisningen relevant för dagens unga.

1.1 Naturvetenskap som medborgarbildning

Begreppet *Scientific Literacy* präglades i USA på 1950-talet (DeBoer, 2000). Det finns ett flertal olika definitioner av vad scientific literacy innebär, men en gemensam nämnare är att scientific literacy betyder mer än att enbart lära sig naturvetenskapliga begrepp och teorier. Enligt en definition av Miller (1983) innebär scientific literacy 1) en förståelse för naturvetenskapens karaktär (normer och metoder för naturvetenskaplig kunskapsproduktion); 2) kunskaper om centrala termer och begrepp inom naturvetenskap och 3) en förståelse för naturvetenskapens roll i samhället. Shen (1975) identifierar tre huvudaspekter av scientific literacy: a) praktisk scientific literacy (för att lösa vardagliga problem); b) medborgarbildande scientific literacy (att använda i samhällsfrågor som kopplar till naturvetenskap) och c) kulturell scientific literacy (som innebär en förståelse för naturvetenskapens roll i vår kultur). Scientific literacy har översatts

både som naturvetenskaplig allmänbildning och naturvetenskaplig medborgarbildning. Vi väljer att använda den senare översättningen i denna text på grund av att vi vill betona kemiämnets medborgarbildande uppdrag och betydelse för demokratiskt deltagande.

Den kanadensiske nv-didaktikern Douglas Roberts har (2007) har formulerat två olika visioner för naturvetenskaplig medborgarbildning. I undervisning utifrån vision I är det ämnet och ämnets egen struktur som ligger till grund för urval och planering av undervisning. Undervisningen utgår då vanligen från centrala delar av ämnet, i kemins fall exempelvis med materiens uppbyggnad i form av atomer och molekyler, och utgår sen från de centrala delarna till mer komplexa fenomen. Undervisningen enligt vision I utgår i första hand från behoven hos den framtida studenten i naturvetenskap eller ingenjörsvetenskap. I motsats till detta utgår undervisning utifrån vision II från behoven hos elever som inte nödvändigtvis kommer att fortsätta att studera naturvetenskap eller teknik. I stället för att utgå från ämnets centrala delar, utgår undervisning enligt vision II från sammanhang där naturvetenskaplig kunskap blir viktig, exempelvis samhällsfrågor, hälso- och livsstilsfrågor eller vardagssammanhang. Ett huvudsyfte med undervisning enligt vision II är att ge eleverna en förståelse för i vilka sammanhang naturvetenskaplig kunskap är central, och också att skapa ett behov och en motivation för lärande i naturvetenskap. Sjöström och Eilks (2018) har också formulerat en vision III för naturvetenskaplig medborgarbildning som kan sägas vara en utvidgning av vision II, där undervisningen ska syfta till att stärka elevers kritiska reflektion och handlingskompetens som aktiva samhällsmedborgare. Vision III har formulerats med en särskild bäring på kemiämnet (Sjöström, 2024) och hur kunskaper i kemi är av avgörande betydelse för att förstå och påverka de hållbarhetsutmaningar som våra samhällen står inför. Även om vision III diskuteras allt mer inom kemididaktiska sammanhang, är fortfarande begreppen vision I och vision II de dominerande sätten att beskriva undervisningen.

Ur ett övergripande perspektiv på kemididaktisk forskning och debatt är det svårt att identifiera några stora stridsfrågor kring kemiämnets innehåll när det gäller vilka teorier och begrepp som undervisningen ska omfatta. Däremot kan man identifiera olika traditioner när det gäller om undervisningens tyngdpunkt ska ligga på ett vision I-perspektiv eller ett vision II-perspektiv. Något förenklat skulle man kunna påstå att fokus i en vision I-tradition ligger på att ge blivande naturvetare och ingenjörer en tillräcklig grund av kunskaper och förmågor för att kunna fortsätta med naturvetenskapliga studier. Fokus i vision II-traditionen ligger snarare på samtliga elevers behov av kunskaper i och om kemi för deras fortsatta liv i ett nutida och framtida samhälle där kemi och kunskaper i kemi har stor betydelse. Sjöström (2013) påpekar att det finns en koppling mellan vision I-traditionen och filosofiska och vetenskapsteoretiska perspektiv av objektivism, reduktionism och rationalism. Vision I-baserad undervisning kan enligt Sjöström kopplas till en tradition av modernism och industrialism, medan en vision II-baserad undervisning i högre grad kopplar till bildnings- och metaperspektiv på kemi och även till kritiska samhällsperspektiv. Man kan dock identifiera

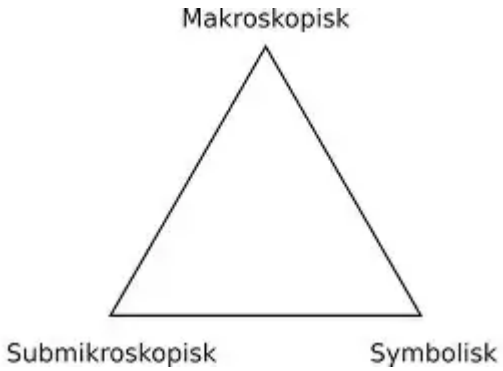
potentiella problem med båda sätten att undervisa. En vision I-baserad undervisning kan göra att eleverna inte får förståelse för hur kunskapen kan kopplas till vardagsfrågor och samhällsfrågor, eller för hur de kan använda sin kunskap. En vision II-baserad undervisning kan å andra sidan göra ämnesinnehållet otydligt och att undervisningens fokus hamnar på samhällsfrågorna eller kontexterna snarare än på kunskaper i kemi och hur dessa kan användas. Kopplingarna mellan kontexten och kemiämnet behöver göras tydlig, liksom hur kemiska begrepp och principer kan tillämpas i just det aktuella fallet. Medan en vision I-baserad undervisning kan riskera att göra tillämpningarna otydliga, kan en vision II-baserad undervisning göra kemiinnehållet vagt. Därför behöver exempel och tillämpningar väljas så att det finns ett tydligt samband mellan kemiska principer och de kontexter eller exempel som väljs. Exempelvis utgår Broman och Parchmann (2014) från en vardagskontext (smärtstillande läkemedel) för att illustrera kemiska principer om löslighet och lät gymnasieelever tillämpa sina kunskaper på detta exempel. Exemplet illustrerar också det faktum att många vardagsexempel, som exempelvis läkemedel, ofta ställer krav på relativt avancerade kemikunskaper (inte minst utifrån ett grundskoleperspektiv).

Osborne och Allchin (2024) konstaterar att vision I är och fortsätter att vara den huvudsakliga undervisningsformen i det naturvetenskapliga klassrummet internationellt sett. I hög grad beror detta på tradition, och att de naturvetenskapliga ämnena i den obligatoriska skolan historiskt sett vuxit fram ur ämnen från mer specialiserade skolformer, men kan också ha att göra med en oro att skolans naturvetenskap inte tillräckligt ska förbereda de blivande naturvetarna och ingenjörerna. Enligt Osborne och Allchin (2024) kan detta paradoxalt nog få effekten att rekrytering till naturvetenskapliga och tekniska utbildningar minskar. De menar att en undervisning som fokuserar på lärande av begrepp och procedurer ofta resulterar i att eleverna aldrig får en meningsfull helhetsbild av naturvetenskapen och dess bidrag till kultur, samhälle och liv. Många elever upplever skolans naturvetenskap som en oformlig hög med stenar som de får i uppgift att göra fyrkantiga, snarare än att de får träda in i den mäktiga intellektuella katedral stenarna bildar - och som de får chansen att bygga vidare på -, vilket minskar många elevers vilja att studera vidare och motverkar en breddad rekrytering till naturvetenskap och teknik. Syftet att ge eleverna en glimt av denna intellektuella katedral är en anledning till att det under senare decennier funnits en rörelse som hävdar vikten av att skolans naturvetenskap ska bibringa eleverna en uppfattning om de stora idéerna inom naturvetenskapen, som t ex Daltons atomteori och Darwins evolutionsteori, och dess bidrag till mänsklig kultur (Harlen, 2010).

2. Ämnets mål och innehåll

Kemi innebär studiet av ämnen och deras egenskaper. Kemi bygger teoretiskt på en modell av världen som beständiga partiklar i rörelse som interagerar med varandra. Denna ämneskärna kan utgöra en grund för progression genom hela grundskolan. Ur denna kärna kan centrala kemiska begrepp som atomer, molekyler, löslighet, kemisk bindning, kretslopp, etc. härledas. Kemins empiriska kärna tar sig uttryck i studiet av material och ämnen och deras egenskaper, och i de högre årskurserna, i ett allt större fokus på studiet av reaktioner mellan ämnen. Nedanstående avsnitt presenterar några centrala idéer inom kemiämnet. Sedan följer ett avsnitt där en möjlig progression mellan grundskolans stadier tecknas utifrån dessa centrala idéer.

2.1 Den kemididaktiska triangeln



Figur 1. Den kemididaktiska triangeln med tre nivåerna makroskopisk, submikroskopisk och symbolisk nivå (Efter Johnstone, 1991).

En av de idéer som har fått störst genomslag inom kemididaktik är Johnstones (1982) iakttagelse att kemi simultant utspelar sig på tre olika nivåer: makroskopisk, submikroskopisk och symbolisk nivå (Figur 1.). Makronivån refererar till det som kan erfaras av våra sinnen, exempelvis färgförändringar eller kondensation. Submikronivån refererar till den atomära och molekylära nivån, medan den symboliska nivån refererar till vårt sätt att representera kemiska substanser och processer, exempelvis med hjälp av formler. Johnstone konstaterar (1982) att erfarna kemister inte har några problem att hålla dessa tre nivåer i huvudet samtidigt, och ständigt tenderar att hoppa fram och tillbaka mellan dem i sina förklaringar. Däremot är detta svårt för nybörjare, och Johnstone menar att växlandet mellan de olika nivåerna är en lärandeutmaning för elever i kemi, och att det ofta tar tid för eleverna att kunna hantera de olika nivåerna för att “knäcka koden” i kemiämnet.

Den främsta anledningen till att Johnstone formulerade den kemididaktiska triangeln var att han misstänkte att hanteringen av de tre nivåerna skapade kognitiv överbelastning hos eleverna (Taber, 2013). Kognitiv överbelastning

skapas när den lärande inte har tidigare kunskaper i ett område och inte har förmågan att sammanföra information (*chunking*), utan måste använda arbetsminnet för att processa informationen. Arbetsminnet är begränsat, antalet informationsenheter (*chunks*) som vi kan hålla i arbetsminnet brukar vanligen begränsas till 5-7 (Paas, Renkl & Sweller, 2003; Taber 2013). För att ge exempel på chunking: När en erfaren kemist ser en kemisk reaktionsformel är det lätt att relatera denna till tidigare kunskaper. De kemiska formlerna översätts omedelbart till välkända ämnen och föreningar som reagerar med varandra enligt ett välkänt mönster. Men en nybörjare har inte förmågan till denna chunking. Novisen som ser en reaktionsformel måste aktivt sätta igång en översättningsprocess för att avkoda de kemiska beteckningarna till (förhoppningsvis) betydelsebärande enheter. Bokstäver måste översättas till beteckningar för ämnen och föreningar, pilar till kemiska reaktioner, siffror som indikerar proportionalitet och molförhållanden måste begripas innan den reaktionsformel som är omedelbart och intuitivt meningsfull för kemisten säger något meningsfullt för nybörjaren.

2.2 Modeller, modelltänkande och modellering

En annan central aspekt av kemi är modeller och modellering (Gilbert & Justi, 2016). Det är viktigt att betona att modeller alltid konstrueras utifrån vissa syften, alltid har vissa begränsningar och aldrig kan utgöra en komplett beskrivning av det som modelleras (exempelvis ett naturfenomen eller ett naturvetenskapligt begrepp). Harrison och Treagust (2000) har utforskat och klassificerat modeller som förekommer i skolans naturvetenskap. Enligt Harrison och Treagust förekommer modeller som 1) skalmodeller (t ex en flygplansmodell eller en modell av en växtcell); 2) pedagogiska analogimodeller (som molekylbyggsatser); 3) ikoniska och symboliska modeller (som kemiska formler); 4) matematiska modeller (som allmänna gaslagen); 5) teoretiska modeller (som den kinetiska teori som beskriver gaser); 6) kartor, diagram och tabeller; 7) processbegrepp (som t ex modeller av syra-bas, redox-reaktioner och kemisk jämvikt, i vilka flera vetenskapliga modeller används för att beskriva en kemisk process); 8) simuleringar; 9) mentala modeller (som vi bygger upp i vårt medvetande och visualiserar för vår inre syn); och slutligen 10) syntesmodeller (som är en form av resulterande modell som elever konstruerar utifrån de modeller av ett fenomen som de kommit i kontakt med i sin undervisning).

Modeller kan i sin enklaste form utgöra avbildningar av makrovärlden. Exempelvis kan en gestaltning av ett föremål i lera utgöra en form av modell, liksom en skalmodell av ett skepp utgör ett konkret exempel på en modell (Harrison & Treagust, 2000). Denna enkla form av modellering kan användas som estetiska inslag i NO-undervisning i de yngre åren och kan vara ett sätt att introducera termen “modell” och att träna modellering och modelltänkande. I högstadiets kemiundervisning kan man medvetandegöra elever kring kemins sätt att arbeta med modeller och att explicit visa exempel på att ett och samma fenomen kan modelleras på flera olika sätt.

2.3 Didaktisk analys

Det sätt som vi traditionellt organiserar skolundervisning i Sverige kan sägas ligga nära den kontinentala europeiska *didaktik*-traditionen (Riquarts & Hopmann, 1995; Westbury *et al.*, 2012). I didaktiktraditionen har läraren rollen som den aktör som fattar professionella beslut om undervisningens uppläggning. Detta skiljer sig från den anglosaxiska *curriculum*- traditionen där undervisningens uppläggning styrs i långt högre grad av styrdokument på olika nivåer, och där läraren snarare är en verkställare eller utförare (*implementer of the curriculum*). I curriculumtraditionen avgörs de didaktiska övervägandena på en högre organisatorisk nivå utifrån forskningsresultat från exempelvis psykologi, sociologi och utbildningsvetenskap. I didaktiktraditionen är det läraren som avgör de didaktiska valen utifrån behoven hos de elever som ska undervisas (Riquarts & Hopmann, 1995; Wickman, 2014). I den tyska didaktiktradition kopplas i allmänhet de didaktiska valen till teorier om *Bildung* (bildning) och *Allgemeinebildung*, det senare har en dubbel betydelse av bildning för alla och av en bildning som inbegriper alla slags områden. Det tyska bildningsbegreppet innebär att individer utvecklas, förändras och växer genom bildning, och att de genom sin bildning kan verka som självständiga och ansvarstagande individer som kan bidra till samhället.

Utifrån den tyska traditionen kring *Allgemeinebildun*g presenterar Klafki (2006) fem centrala frågor för didaktisk analys som syftar till att tydliggöra det aktuella ämnesinnehållets relevans och struktur och hur läraren kan begripliggöra detta för eleverna:

1. Vilka mer generella perspektiv öppnar detta innehåll för eleverna? Vilka grundläggande fenomen eller fundamentala principer, lagar, kriterier, problem, metoder, tekniker eller attityder kan begripliggöras genom att undervisa om detta innehåll?
2. Vilken betydelse har innehållet ifråga eller de erfarenheter, kunskaper eller färdigheter som kan läras genom detta för eleverna? Och vilken betydelse borde det ha från ett pedagogiskt perspektiv?
3. Vilken betydelse har innehållet för elevernas framtid?
4. Hur kan innehållet struktureras?
5. Vilken kunskap måste eleverna minst ha uppnått för att man ska kunna betrakta innehållet som en integrerad kunskap hos eleverna?

Dessa frågor kan användas av lärare för att tänka kring och planera undervisning kring ett visst innehåll i kemi.

2.4 Kemins bärande idéer - tankar kring progression

I syfte att skapa en överskådlighet i framställningen presenterar vi här några bärande idéer inom kemi som används för att skapa en progression för ämnet mellan stadierna. Den vetenskapliga grunden för denna framställning finns beskriven under det påföljande avsnittet Lärande i kemiämnet.

Kemi utgör studiet av ämnen och deras egenskaper

Kemi innebär studiet av olika material och ämnen och deras egenskaper. Kemin har uppstått genom studiet av material och ämnen i vår omgivning, och hur dessa kan fås att bilda nya föreningar och material. Undervisningen bör göra eleverna bekanta med denna empiriska tradition genom att lära sig undersöka olika material och ämnen och reaktioner mellan ämnen. Elever behöver bekanta sig med både blandningar och rena ämnen (föreningar och grundämnen).

Materia består av partiklar

Vad som utgör partiklar beror på i vilken kontext de förekommer. När exempelvis faser, fasövergångar, tryck, volym, densitet och temperatur ska åskådliggöras, utgörs partiklarna av atomer och molekyler. Det kan också handla om större partiklar, exempelvis sand och saltkorn, som vi kan se med ögonen, och som kan användas för att åskådliggöra partikelbegreppet, något som det kan finnas behov av, i synnerhet i lågstadiet. Man kan också låta eleverna diskutera frågan om materia (t ex en lerklump) kan delas i all oändlighet (=materian är kontinuerlig) eller om man till slut kommer ner till en minsta odelbar enhet (=materian är diskontinuerlig). Forskning kring elevers uppfattningar om materiens byggnad tyder på att detta är någonting som tar tid för eleverna att utveckla en mer naturvetenskaplig uppfattning om.

Materiens oförstörbarhet, cyklicitet, kretslopp

Materiens oförstörbarhet är en grundläggande idé inom kemin och grunden för kretsloppstänkande, vilket i sin tur är fundamentalt för att förstå hållbarhetsfrågor. Cyklicitet används ofta för att beteckna mindre kretslopp, t ex cykliska reaktionsförlopp, medan kretslopp refererar till storskaliga biogeokemiska kretslopp. Begreppsforskning om cyklicitet och kretslopp visar att detta, i likhet med partikelbegreppet, är någonting som tar tid för eleverna att utveckla en mer naturvetenskaplig uppfattning om.

Partiklar är i rörelse och interagerar med varandra

Kemididaktisk forskning om bl a elevers uppfattningar om kemisk bindning (se avsnitt om detta nedan) har pekat på att elever i senare delen av sin utbildning (och även kemistudenter på högskolan) uppfattar den submikroskopiska nivån som statisk och att de har svårt att förstå och tillämpa energibegreppet och hur kemiska bindningar innebär energimässigt stabila elektronkonfigurationer. Detta pekar mot att skolan redan tidigare bör ge eleverna en uppfattning om dynamiken

och den ständiga interaktionen mellan partiklar som kan utgöra en grund för att de med tiden ska utveckla sin förståelse av kemisk bindning och energibegreppet. En annan aspekt som är svår för elever att få ett grepp om är den stora mängd partiklar som alltid finns i olika substanser och som är inblandade i kemiska reaktioner.

2.5 Progression mellan olika stadier

I det följande avsnittet tecknar vi en möjlig progression av innehåll utifrån kemins bärande idéer så som vi skisserat dem ovan. Innehållet har utgått från det centrala innehållet i den nuvarande läroplanen, men med vissa mindre revideringar och omstruktureringar, exempelvis att vattnets kretslopp kan diskuteras redan i år 1-4 och kolets kretslopp i år 5-7. I enlighet med läroplansutredningens (SOU 2025:19) instruktioner ska de nya kursplanerna få en högre detaljnivå och konkretion när det gäller vad eleverna ska kunna.

Texten under respektive innehåll har utgått från de didaktiska grundfrågorna: vad?; hur? och varför? Tyngdpunkten i avsnittet ligger på vad?- och i viss utsträckning hur?-frågorna, medan varför-frågan utvecklas djupare i följande avsnitt. Hur-frågan är mer i fokus i beskrivningen för år 1-4 och år 5-7, medan vad-frågan diskuteras på ett djupare vis i beskrivningen av innehållet för år 8-10. Ambitionen har varit att utgå från enkla beskrivningar utifrån kemiämnets bärande idéer, och hur dessa kan tillämpas i förhållande till olika innehåll. De förslag på tillämpningar och undervisningssätt som diskuteras i texten har valts utifrån en strävan att hitta enkla sätt att gestalta grundläggande principer.

2.6 Årskurs 1-4

Genom undervisningen på lågstadiet ska eleverna undersöka naturen och börja närma sig den grundläggande idén att allt är uppbyggt av mindre delar. Eleverna ska få erfarenhet att genomföra enklare naturvetenskapliga undersökningar och förstå något om vad som kännetecknar dessa. En grund ska läggas för en förståelse av kretslopp och materiens oförstörbarhet.

Materia består av partiklar; Materiens oförstörbarhet, cyklicitet, kretslopp

Vattnets olika former: fast, flytande och gas.
Fasövergångar: Avdunstning, kokning, kondensering, smältning och stelning.
Olika typer av partiklar.
Vattnets kretslopp i naturen.

Att undervisa om vattnets olika faser och fasövergångar anknyter till elevernas erfarenheter från vardagliga sammanhang. Det är även en ingång till den bärande idén om att allt är uppbyggt av små delar.

Alla elever ska genom undervisningen få erfara, samtala om och utveckla kunskaper om fasförändringar och vatten i olika form. Utifrån det här innehållet ska eleverna ges möjlighet att utveckla kunskap om att ämnen kan ha olika (aggregations-) form, vilket är ett exempel på egenskaper hos ämnen. En central aspekt av fasförändringar är att det handlar om en (fysikalisk) förändring där man har samma ämne kvar hela tiden, men i olika form. Eleverna ska även få erfara och utveckla kunskaper om de övergångar som kan ske mellan de olika faserna, en av grunderna till att förstå vattnets kretslopp i naturen. Eleverna kan få erfarenhet av fasövergångar exempelvis genom att frysa in is i olika former och smälta is eller snö med olika metoder. Utifrån kokning, avdunstning, kondensering och gasform kan ett behov av en enkel partikelmodell uppstå, eftersom ämnen i gasform kan upplevas abstrakta i och med att vi inte kan se dem med blotta ögat. Det kan i det här sammanhanget handla om att prata om vattnets minsta delar och att de finns där trots att vi inte kan se dem. Vad tar vattnet i en vattenpöl vägen? Varifrån kommer vattnet på utsidan av en kall flaska?

Eleverna behöver få exempel på olika partiklar. Det kan handla om större partiklar, exempelvis sand, snöflingor och saltkorn, som vi kan se med ögonen. För att göra abstrakta partiklar som inte kan se mer konkreta kan man i undervisningen gestalta dessa med till exempel bilder, animeringar, tredimensionella modeller, berättelser och dramatiseringar. Pilar kan användas för att visa en riktning i processen, till exempel från fast form till flytande form när isen smälter.

Det är lämpligt att göra kopplingar till vattnets kretslopp i syfte att eleverna ska erfara, samtala om och utveckla kunskaper om faser och fasövergångar. Ett annat mål är att eleverna ska förstå vattnets kretslopp som kunskapsinnehåll. Med vattnets kretslopp i naturen som exempel kan man närma sig en förståelse för att ingenting försvinner utan sprider sig, m a o en förståelse för materiens oförstörbarhet.

Detta innehåll lägger en första grund för en partikelmodell av materien och ger eleverna insikten att ämnen kan förändras.

Kemi utgör studiet av ämnen och deras egenskaper; Materiens oförstörbarhet, cyklicitet, kretslopp

Egenskaper hos material och ämnen, samt hur material kan återvinnas.

Syftet med att undervisa kring detta innehåll är att eleverna ska erfara och beskriva olika egenskaper hos material för att få en förståelse för att olika material kan ha olika egenskaper. I detta syfte ingår att utveckla språket för att kunna beskriva egenskaper, liksom att träna ett naturvetenskapligt förhållningssätt genom att observera detaljer samt att få en uppfattning om vad som kan vara av intresse att observera i naturvetenskapen.

Med detta innehåll får eleverna erfara att olika material har olika egenskaper och koppla det till tidigare erfarenheter. Det handlar framför allt om egenskaper hos

fasta och flytande ämnen. Egenskaper som kan observeras och undersökas kan handla om färg, form, lukt och smak. Eleverna kan även beskriva hur ytan känns, slät sträv, mjuk, hård, varm, kall, med mera. Materialets hårdhet, böjlighet och vad som händer när man värmer och kyler dem. Är vätskan lätt- eller trögflytande? Läraren har en viktig roll att hjälpa eleverna att sätta ord på sina erfarenheter. Ett sätt att närma sig materiens egenskaper är att låta eleverna genomföra olika slags sorterings- eller kategoriseringsövningar. Genom detta tränar sig eleverna på att observera, jämföra och beskriva.

Ett sätt att uppmärksamma egenskaper hos olika material är att synliggöra att de återvinns på olika sätt. Här handlar det om egenskaper hos olika material som papper, kartong, plast, metall och glas. Materialens partiklar finns kvar och kan till exempel ingå i nya föremål.

Detta innehåll ger eleverna erfarenhet av och en grund för förståelse av naturvetenskapliga undersökningar. Vidare lägger det en grund för att eleverna ska utveckla en uppfattning av grundämnen och föreningar. Det lägger också en grund för förståelse kring materiens oförstörbarhet och kretslopp.

Några blandningar och hur de kan delas upp i sina olika beståndsdelar, till exempel genom avdunstning och filtrering.

De flesta barn har varit med om att blanda olika saker och skapa en blandning, därför kan blandningar vara en bra ingång till att diskutera och undersöka egenskaper hos olika föremål och ämnen. Utifrån denna ingång kan man gå vidare med hur det ser ut och vad som kan hända när man blandar olika ämnen. I Lgr11 står det “lösningar och blandningar” i det centrala innehållet (Skolverket, 2011) men i Lgr22 har man endast skrivit blandningar och hänvisar till att lösningar är en typ av blandning (Skolverket, 2022). Löslighet är ett centralt begrepp inom kemin och genom att eleverna på olika sätt får erfara att ämnen kan lösa sig i vatten eller andra ämnen kan man koppla makronivån till submikronivån. På submikronivå handlar det om att partiklarna finns där trots att vi inte kan se dem i en lösning. Saltlösningen smakar salt och de små saltpartiklarna finns i vattnet trots att vi inte kan se dem. Detta kan vi koppla till att allt är uppbyggt av små delar och att materien är oförstörbar och inte kan försvinna. Vill man sätta fokus på just löslighet finns det en poäng att prata om lösningar och blandningar för att tydliggöra att det sker en kemisk förändring av ämnet när det löser sig, till skillnad mot en blandning där man kan urskilja de olika beståndsdelarna. Om man istället vill sätta fokus på att ämnen kan blanda sig på olika sätt kan man diskutera olika typer av blandningar, men att fokusera på begreppen lösningar och blandningar ger en kontrast som kan utgöra en grund för att bygga en förståelse för den kemiska skillnaden mellan dessa. Att undersöka blandningar kan ha ett värde i och med att de flesta ämnen och material som elever stöter på i vardagslivet vanligen utgör olika former av blandningar. Detta är också en utgångspunkt för att eleverna ska pröva olika separeringsmetoder, vilket är en del av kemiämnets verksamhet. Här kan det handla om att sila, avdunsta och dekantera.

Detta innehåll lägger en grund för en förståelse för löslighet och kemiska metoder. Det lägger också en grund för förståelse kring materiens oförstörbarhet och kretslopp.

Naturvetenskapliga undersökningar

Ett mål med att genomföra naturvetenskapliga undersökningar är dels att ge eleverna erfarenhet av att genomföra praktiska undersökningar. Men ett annat mål är också att ge eleverna förståelse av naturvetenskapliga undersökningar som kunskapsinnehåll. Man kan urskilja tre aspekter som centrala: eleverna ska förstå att en undersökning börjar med någon form av fråga, undran eller problem; eleverna ska också förstå att det finns olika metoder för att genomföra undersökningar; eleverna sedan få möjlighet att fundera över och på olika sätt bearbeta och diskutera sina resultat. I samband med bearbetningen av resultaten kan eleverna få möjligheter att pröva olika former av dokumentation. Läraren behöver fungera som riktningsgivare för vad eleverna ska fokusera på i sina undersökningar, och olika dokumentationsformer (t ex att rita, skriva, filma) kan vara ett sätt för eleverna att få syn på viktiga aspekter i undersökningen. Eleverna bör också få erfarenhet av enklare jämförande undersökningar (experiment, där en variabel undersöks, medan övriga variabler hålls konstanta). Exempel på genomförbara experiment kan exempelvis vara att undersöka hur trögflytande olika vätskor är.

Några berättelser om hur naturvetenskaplig kunskap vuxit fram.

Vetenskapshistoria kan i år 1-4 tas upp genom att eleverna får stifta bekantskap med någon forskare i historien (och möjligen också nutida forskare). Fokus behöver inte ligga på någon viss del av vetenskapshistorien, utan fokus kan snarare ligga på vad en forskare gör, vad som kännetecknar forskare och vad som är gemensamt för forskare genom historien. En viktig aspekt är att eleverna kan känna igen sin egen undran över naturen och sina egna frågor i forskarnas arbete. En annan viktig aspekt är att eleverna får möta en viss variation av människor som ägnat sig åt forskning och att undervisningen inte förstärker en bild av forskare som enbart döda vita män och som oåtkomliga genier som eleverna kan ha svårt att identifiera sig med.

Kritisk granskning och användning av information som rör kemi.

Genom internet och sociala medier gör sig frågor om trovärdighet och källkritik aktuella även för så unga elever som i lågstadiet. Påståenden som har koppling till naturvetenskap är ofta en del av detta. I de fall då sådana frågor är aktuella för eleverna kan lärare diskutera aspekter av källkritik så som vad påståendet innebär, vem som står bakom påståendet och varför detta påstående formuleras och sprids. Trovärdighet kan också diskuteras i anslutning till frågor som: Går detta att undersöka? Skulle vi kunna själva hitta en metod att undersöka detta påstående? Skulle vi kunna genomföra en undersökning?

2.7 Årskurs 5-7

Genom undervisningen på mellanstadiet ska eleverna undersöka material och ämnen, och utveckla den grundläggande idén att allt är uppbyggt av partiklar (enkla partikelmodeller) som är beständiga och interagerar med varandra. Grunden ska läggas för att utveckla ett modelltänkande. Eleverna ska vidareutveckla sin förmåga att genomföra naturvetenskapliga undersökningar och få en fördjupad förståelse för vad som kännetecknar dessa. Eleverna ska få en fördjupad förståelse för förståelse av kretslopp och materiens oförstörbarhet.

Materia består av partiklar

Materiens uppbyggnad visualiserad med hjälp av enkla partikelmodeller.

Det är viktigt att uppmärksamma att vad som menas med en partikel varierar beroende på sammanhanget. Om man ska prata om vattnets faser är partiklarna vattenmolekyler, men det kan även handla om laddade partiklar (joner) när det gäller lösningar, och atomer i samband med metaller. Med hjälp av att använda begreppet partikel kan det bli lättare att fokusera på själva processen, till exempel fasförändring, löslighet eller ledningsförmåga utan att hamna i en diskussion om begreppsdefinitioner.

Genom visualiseringar kan eleverna utveckla förståelse för att partikelmodeller är ett sätt att symbolisera och gestalta det vi annars har svårt att bilda oss en uppfattning om. Kemins teoretiska modeller kan gestaltas genom olika uttrycksformer, som exempelvis byggsatser, lera eller drama, när eleverna funderar kring hur partiklarna förhåller sig till varandra.

Detta innehåll lägger en grund för en uppfattning av all materia som uppbyggd av partiklar och en grund för modelltänkande.

Kemi utgör studiet av ämnen och deras egenskaper; Partiklar är i ständig rörelse och interagerar med varandra

Egenskaper hos luft, vatten och andra ämnen och material – löslighet, ledningsförmåga samt surt eller basiskt.

Här återkommer vatten som undervisningsinnehåll och utvecklas med att vattnets fasförändringar och kretslopp visualiseras med hjälp av en enkel partikelmodell. Det som är centralt när det gäller luftens egenskaper är att den består av gaser, en (homogen) gasblandning. Genom det här innehållet får eleverna möjlighet att erfara och utveckla djupare kunskaper om att gaser består av partiklar och att de tar plats. Detta kan illustreras exempelvis genom att fylla en ballong med luft eller att en plastpåse med vatten expanderar om man släpper ner en brustablett och sluter till. Det här innehållet kan kopplas ihop med faser och fasförändringar och, med hjälp av en enkel partikelmodell, bredda erfarenheterna och fördjupa förståelsen för just gasformen.

Här vidgas innehållet “Egenskaper hos material och ämnen” med fler egenskaper. Från att i årskurs 1-4 ha studerat lösningar och blandningar fokuseras nu löslighet, framför allt i vatten. Vattnet är det viktigaste lösningsmedlet i levande organismer, i naturen och i olika vardagliga situationer. På *makronivå* handlar det om att erfara att vissa ämnen kan lösa sig i vatten medan andra inte kan det. Man kan påskynda lösningshastigheten genom att finfördela, värma och röra om. Eleverna ska uppmärksammas på att olika slags ämnen kan lösa sig i olika lösningsmedel. Fetter kan inte lösas i vatten, men i andra opolära ämnen. På *submikronivå* kopplar även detta innehåll till att allt är uppbyggt av partiklar som interagerar med varandra. När det bildas en lösning innebär det att ämnena har blandats väl ända ner på partikelnivå. Vattenpartiklarna (vattenmolekylerna) interagerar med till exempel saltpartiklarna (jonerna) och på så sätt löser sig koksalt i vatten. Det kan bland annat handla om vattenlösliga och “vattenfasta” pennor, fläckborttagning och matlagning.

Vattenlösningar kan vara sura, basiska eller neutrala. Sur smak känner vi eftersom det finns receptorer i munnen och på huden som registrerar de sura partiklarna. De basiska kan vi inte känna på grund av att vi inte har några receptorer för det. Om man blandar en basisk med en sur lösning i rätt proportioner kan man få en neutral lösning. I både sura och basiska lösningar finns det partiklar som fräter. Om det finns många sura eller basiska partiklar i lösningen är det en större risk att den är frätande.

Vissa ämnen och lösningar kan leda elektrisk ström. Här kan man exempelvis undersöka om man kan få en lampa att lysa genom att koppla en elektrisk ledare och strömkälla till ämnet eller lösningen. På submikronivå kan man koppla det till partiklar som interagerar. Beroende på vilket ämne man har interagerar partiklarna som bygger upp ämnet på olika sätt. Partiklarna i metaller interagerar på ett sådant sätt att de leder ström. Här kan man koppla ihop innehållet med fysiken och prata om ledare och isolatorer. Det kan även handla om att laddade partiklar kan finnas lösta i vatten vilket gör att lösningen kan leda ström.

Detta innehåll lägger en grund för en förståelse av de centrala kemiska begreppen löslighet, surt och basiskt och dessa fenomens uppkomst genom partiklar som interagerar. Det lägger också en första grund för att utveckla en förståelse för elektrokemi.

Kemiska reaktioner och förbränning

I undervisningen i årskurs 5-7 är det centrala när det gäller kemiska reaktioner att det handlar om en kemisk förändring. Det innebär att det skapas nya ämnen med andra egenskaper än de ämnen man hade från början. Det sker till exempel när en spik rostar, när ett silversmycke blir mörkt eller när man har bakpulver i sockerkaksdegen. På makronivå kan eleverna få erfara det genom olika laborationer och bland annat observera egenskaper hos de ursprungliga ämnena och de som bildas i reaktionen. Det kan ge underlag för en diskussion utifrån de gemensamma erfarenheterna. Beskrivningen på submikronivå visar att materien är oförstörbar, men kan omvandlas. Partiklarna interagerar med varandra på ett

sätt från början, men när man tillsätter andra ämnen kommer partiklarna att reagera och ett nytt ämne eller nya ämnen bildas och de nya ämnena interagerar på nya sätt. På symbolnivå kan pilar användas för att ange riktning när det gäller den kemiska reaktionen. Man kan även visa eleverna kemisternas sätt att använda kemiska beteckningar för att ange ämnen. Det handlar inte om att eleverna ska lära sig de kemiska beteckningarna, utan snarare om att de får en inblick i kemiämnets sätt att uttrycka sig.

Förbränning innebär att ett ämne reagerar med syre och energi frigörs. Om ämnet som reagerar med syre innehåller kol och väte bildas oftast koldioxid och vatten. Exempel på förbränningsreaktioner är när vi eldar ett stearinljus eller olika fossila och förnybara bränslen.

Detta innehåll ger en grundläggande erfarenhet av och kunskaper om kemiska reaktioner och fördjupar elevernas förståelse för att all materia som uppbyggd av partiklar i rörelse som interagerar med varandra. Innehållet bidrar också till att eleverna utvecklar ett enkelt modelltänkande.

Materiens oförstörbarhet, cyklicitet, kretslopp

Fotosyntes, cellandning. Fossila och förnybara bränslen och deras påverkan på klimatet. En enkel modell av kolets kretslopp.

Fotosyntesen är egentligen en process som innebär flera kemiska reaktioner som sker i en viss följd. Formeln koldioxid + vatten + solenergi → glukos + syrgas är en övergripande formel som beskriver de ursprungliga ämnena och vad som till slut bildas. En av de centrala delarna av fotosyntesen är att de gröna växterna har förmåga att fånga solenergi, som omvandlas och lagras som kemisk energi i form av glukos. Energin vandrar sedan vidare i ekosystemet. Cellandning handlar, på samma sätt som fotosyntes, om ett stort antal kemiska reaktioner. Utgångsämnena är glukos och syre och slutprodukten är koldioxid och vatten. Samtidigt frigörs även energi, som till exempel omvandlas till rörelseenergi och värmeenergi (termisk energi). Fotosyntes, cellandning är centrala begrepp för att förstå levande organismer och kolets kretslopp. Här finns en tydlig koppling till biologiämnet.

Kolets kretslopp är en central process för att förstå flöden mellan atmosfär och biosfär. Syftet med att ta upp de övergripande reaktionsformlerna för fotosyntes och cellandning är att visa hur kol går från ämnen i gasform till ämnen i fast form och tillbaka igen. Materiens oförstörbarhet och energins bevarande genom olika energiomvandlingar bör betonas. Det är lämpligt att låta eleverna framställa egna bilder eller modeller av kolets kretslopp. Det är också lämpligt att undervisa om fossila bränslen och biobränslen med koppling till kolets kretslopp och till betydelsen av koldioxid i atmosfären för klimatet och människans klimatpåverkan.

Detta innehåll fördjupar elevernas förståelse för materiens oförstörbarhet, cyklicitet och kretslopp samt ger en första förståelse för kolets kretslopp och dess centrala betydelse för livet på jorden och för klimatet.

Kemi utgör studiet av ämnen och deras egenskaper; Materiens oförstörbarhet, cyklicitet, kretslopp

Material i vår omgivning – Råvarors förädling till produkter, till exempel metaller, papper och plast. Hur materialet kan återvinnas. Hur ämnen är märkta och bör hanteras.

Det här innehållet handlar dels om en kunskap och förståelse för hur vi på ett säkert sätt kan hantera ämnen vi har omkring oss i vardagen. En del av det är att känna till vanliga märkningar (piktogram) och deras innebörd.

En annan aspekt av att utveckla kunskaper om material i vår omgivning handlar om att en förståelse för var material och produkter kommer ifrån. Vilka material består produkten av? Vilka egenskaper har materialet? Liksom under år 1-4 kan eleverna på olika sätt undersöka egenskaper hos material. Viktiga perspektiv blir också varifrån olika material och produkter kommer och hur de framställs och från vilka råvaror. Frågor om hur materialet kan återvinnas blir också centrala - hur kan man få materialet att gå i ett kretslopp? Det här är grunden för att börja tänka kring enkla livscykelanalyser för produkter.

Material i vår omgivning är något som kan ligga nära elevernas vardag och vilka material man väljer kan styras av produkter som eleverna använder samt var i landet man befinner sig med tanke på material och produkter som kan vara aktuella i elevernas vardag.

Detta innehåll fördjupar elevernas förståelse kring materiens oförstörbarhet och kretslopp, hur några vanliga produkter och material framställs och hur de kan återvinnas.

Naturvetenskapliga undersökningar

När det gäller att undervisning om naturvetenskapliga undersökningar som ett kunskapsområde är det i likhet med i år 1-4 tre aspekter som centrala: eleverna ska förstå att en undersökning börjar med någon form av fråga, undran eller problem; eleverna ska också förstå att det finns olika metoder för att genomföra undersökningar; eleverna sedan få möjlighet att fundera över och på olika sätt bearbeta och diskutera sina resultat. Elever i år 5-7 ska få erfarenhet av olika undersökningsmetoder, de ska få erfarenhet av att observera, mäta och väga samt olika separationsmetoder. De ska också genomföra jämförande undersökningar (experiment, där en variabel undersöks, medan övriga variabler hålls konstanta). Undersökande arbete i kemi på mellanstadiet syftar till att utveckla grunden för eleverna ska få en förståelse för vad ett naturvetenskapligt förhållningssätt innebär i termer av objektivitet, mätnoggrannhet och man kan också diskutera möjligheten att upprepa experiment. I samband med bearbetningen av resultaten ska eleverna genomföra olika former av systematisk dokumentation.

Några upptäckter inom kemiområdet och deras betydelse för människans levnadsvillkor och syn på naturen.

I år 5-7 kan vissa upptäckter eller uppfinningar tas upp i syfte att illustrera vad kemi är och vad kemister gör. Elever bör ges tillfälle att stifta bekantskap med någon kemist ur historien och eventuellt också någon nu levande. Liksom i lågstadiet kan detta illustrera vad en forskare gör, vad som kännetecknar forskare och vad som är gemensamt för forskare genom historien. I likhet med under lågstadiet är en viktig aspekt att eleverna kan känna igen sin egen undran över naturen och sina egna frågor och idéer om att lösa problem i forskarnas arbete. En annan viktig aspekt är, liksom i år 1-4, att eleverna i NO-ämnena får möta en viss variation av människor som ägnat sig åt forskning och kan få möjligheter att relatera till forskarna.

Kritisk granskning och användning av information som rör kemi.

Olika former av mediainslag (i traditionella och sociala medier) med koppling till naturvetenskap gör frågor om trovärdighet och källkritik aktuella för elever i mellanstadiet. Detta gör aspekter av källkritik, så som vad påståendet innebär, vem som står bakom påståendet och varför detta påstående formuleras och sprids, aktuella i undervisningen. Trovärdighet bör också diskuteras i anslutning till frågor som: Går detta att undersöka naturvetenskapligt? Skulle vi kunna själva formulera en metod för att undersöka detta påstående? Skulle vi kunna genomföra en undersökning?

2.8 Årskurs 8–10

Genom undervisningen på högstadiet ska eleverna undersöka ämnen och utveckla sin förmåga att laborera och genomföra undersökande arbete. De ska även utveckla sin förmåga till modelltänkande och få en fördjupad förståelse för den grundläggande idén att allt är uppbyggt av partiklar som är beständiga och interagerar med varandra. Utifrån detta ska de tillägna sig en grundförståelse för materiens beståndsdelar i form av atomer, joner och molekyler samt tillägna sig en grundläggande förståelse för kemisk bindning. Vidare ska eleverna introduceras till enkel formelskrivning och balansering av reaktioner samt bli bekanta med enkla strukturformler.

Materia består av partiklar

Atomens uppbyggnad samt ursprung.

Begreppen atom och molekyl är grundläggande för att lära sig kemi. En sådan förståelse är avgörande för att lära sig andra begrepp som kemisk bindning, kemiska reaktioner, joner och aggregationstillstånd hos olika ämnen. Atomens struktur hjälper oss att förklara varför grundämnen beter sig som de gör och varför de bildar olika ämnen. Det är lämpligt att ta upp att alla atomer egentligen är “stjärnstoft”, rester från gamla stjärnor som en gång fanns långt ute i rymden. På högstadiet ska eleverna utveckla en mer avancerad partikelmodell på submikronivå och förstå att atomen är den grundläggande byggstenen i all materia och att atomer kan kombineras med andra atomer för att bilda molekyler, men

inte delas upp i mindre delar genom vanliga kemiska processer. En viktig aspekt är att större delen av atomen består av tomrum, medan den i övrigt består av tre grundläggande typer av subatomära partiklar: protoner, neutroner och elektroner. Det är viktigt att eleverna bibringas en uppfattning om att atomer alltid förekommer i ett stort antal och i en tredimensionell rymd, är i ständig rörelse oavsett om den ingår i en kemisk förening eller är ett grundämne, och att atomer i ett givet grundämne är identiska i storlek, massa och andra egenskaper. Detta kan göras exempelvis med olika former av visualiseringar (exempelvis datorgrafik och animeringar).

Elever kan bli förvirrade av den mångfald av termer som används för att beskriva materiens uppbyggnad (som partiklar, atomer, molekyler och atomkärnor), och det kan vara svårt att förstå deras inbördes samband. Pendlingen mellan submikro- och makronivå (och symbolspråk) är något elever ständigt måste träna på, det gäller inte minst vetenskapliga modeller av atomen som är abstrakta och knappast, om alls, är relaterbara till vardagliga erfarenheter.

Begreppet elektrostatisk kraft innebär att partiklar attraherar eller repellerar varandra på grund av deras elektriska laddning. Två lika elektriska laddningar, båda positiva eller båda negativa, repellerar varandra. Två olika laddningar, en positiv och en negativ, attraherar varandra. Detta begrepp kan utgöra en grund för att undervisa om hur partiklar interagerar och hur kemiska bindningar uppstår.

· Modeller av atomen - exempelvis Daltons partikelmodell, Thompsons atommodell, Rutherfords atommodell, Bohrs atommodell och den kvantmekaniska modellen

Syftet med att undervisa om olika atommodeller är inte att eleverna ska memorera namn och årtal utan att de ska få uppfattning om vad som är skillnaden mellan de olika modellerna samt få inblick i hur ny kunskap leder till förändrade modeller. Tyngdpunkten kan ligga på Bohrs atommodell, eftersom modellen ger en lättförståelig bild av atomen vilket hjälper elever att förstå grundläggande atomstruktur. Bohrs atommodell fungerar bra som utgångspunkt för att introducera periodiska systemet samt för att förklara varför olika joner bildas i grupperna 1, 2 och 13–17 i periodiska systemet.

Dalton föreslog att all materia består av atomer, vilka är odelbara och oförstörbara partiklar, och motsvarar den enkla partikelmodell som introducerats i år 5-7. Thomsons viktigaste bidrag var upptäckten av elektronen och Thompsons atommodell var den första teoretiska beskrivningen av atomers inre struktur. Thompsons atommodell, med negativt laddade elektroner inbäddade i en positivt laddad sfär, föreslog att atomer inte är de minsta partiklarna och kan delas. Rutherford upptäckte atomkärnan och lade grunden för den moderna förståelsen av atomstrukturen. Rutherfords atommodell beskriver att atomen består av ett litet, tätt, positivt laddat centrum som innehåller större delen av atomens massa, med negativt laddade elektroner på ett stort avstånd, vilket lämnar större delen av atomen som tomrum. Bohrs atommodell var ett radikalt brott med klassisk atomteori genom att kvantteoretiska principer delvis tillämpades. I Bohrs

atommodell har elektronerna i en atom en bestämd mängd energi och kan bara finnas i en bestämd ”bana” på ett visst avstånd från atomkärnan (elektronens energi är kvantiserad). När elektroner flyttar sig mellan dessa banor tar atomen antingen upp eller avger energi. Modellen utgjorde därmed ett viktigt steg mot den moderna kvantmekaniska atommodellen. Kvantteoretiska principer skiljer sig från den klassiska fysiken (som till exempel Newtons lagar), eftersom saker på mikroskopisk nivå inte följer samma regler som i vår vardagsvärld. I den kvantmekaniska atommodellen rör sig inte elektroner i bestämda banor, utan i så kallade orbital, områden med hög sannolikhet att hitta en elektron. Bohrs modell fungerar bra för väteatomen men den är för enkel för att beskriva atomer med flera elektroner. Kvantmekaniken kan hantera mer komplexa atomstrukturer. Den kvantmekaniska modellen visar var elektroner troligen finns i en tredimensionell struktur, vilket hjälper oss att förstå varför molekyler får sina specifika former.

Detta innehåll utvecklar elevernas modelltänkande liksom deras uppfattning av all materia som uppbyggd av partiklar i rörelse som interagerar.

Periodiska systemets uppbyggnad samt begreppet valenselektroner och olika atomslags förmåga att attrahera andra atomers elektroner.

Begreppet kemiska grundämnen, deras egenskaper och periodicitet betraktas som hörnstenar inom högstadiets kemiundervisning. Valenselektroner är de elektroner som är inblandade när atomer reagerar, för grupp 1, 2 och grupp 13–18 är antalet valenselektroner det samma som antalet elektroner i det yttersta skalet i Bohrs atommodell. För övriga grupper är antalet valenselektroner lite mer komplicerat att identifiera (men den kvantmekaniska atommodellen kan användas om eleverna bedöms vara mottagliga för introduktionen av en sådan modell).

Olika atomslag har olika förmåga att attrahera andra atomers valenselektroner. Denna förmåga beror på antalet protoner i atomkärnan samt valenselektronernas avstånd till atomkärnan. Man kan använda koksalt som ett principexempel: natrium har 11 protoner i sin atomkärna och elva elektroner i sin elektronstruktur, varav en valenselektron som sitter relativt långt från kärnan. Eftersom valenselektronen är långt bort och skärmas av de inre elektronerna, attraheras den inte så mycket av atomkärnan och attraheras därför lätt till en annan atom. Klor, däremot, har 17 protoner i sin kärna och 17 elektroner i sin elektronstruktur varav sju valenselektroner. Dessa ligger närmare kärnan än valenselektronen hos natrium. Den starkare positiva laddningen (fler protoner) och det kortare avståndet gör att klor har hög förmåga att attrahera elektroner. När natrium och klor reagerar bildas positiva natriumjoner (Na^+) och negativa kloridjoner (Cl^-). Ett vanligt missförstånd är att det här gäller endast en atom av varje atomslag, men en jonförening består alltid av en stor mängd joner som ligger i en ordnad kristallstruktur där varje jon omges av joner av motsatt laddning. Det här missförståndet leder till att eleverna har lätt att blanda ihop jonföreningar med molekyler.

Atomer i grupp 3–12 i periodiska systemet (metaller) har 1–3 valenselektroner som relativt lätt attraheras till närliggande atomers atomkärnor. I metaller rör sig

valenselektroner mellan de positiva metallatomerna. De rörliga elektronerna gör att metaller kan leda elektricitet och värme och att de är formbara.

När atomer har få valenselektroner attraheras valenselektronerna lätt till atomer som har många valenselektroner. Det bildas laddade partiklar som kallas joner. Eftersom olika laddningar attraherar varandra, dras de positiva och negativa jonerna till varandra. Men det är inte endast två joner som attraherar varandra, utan det bildas ett stort regelbundet mönster av joner som håller ihop hela ämnet, en kristall. Det är den elektrostatiska kraften mellan alla joner som håller ihop ämnet och det är det som kallas för jonbindning. I vanligt bordssalt (NaCl) finns det ett mycket stort antal natrium- och kloridjoner som bildar en ordnad kristall.

När två atomer kan dela på elektroner så att båda atomerna får en elektronstruktur som är likadan som närmaste ädelgas i det periodiska systemet, har elektrostatisk attraktion mellan atomkärnorna och de delade elektronerna uppstått och detta kallas för en kovalent bindning. En kovalent bindning bildas när de bundna atomerna tillsammans får lägre total energi än om de vore åtskilda. Det gör att molekylen är stabil. Atomer som bildar kovalenta bindningar är relativt små atomer såsom väte (H), kol (C), kväve (N), syre (O) med flera.

- *Kemiska beteckningar för grundämnen och enkla kemiska föreningar*

Eleverna bör lära sig de kemiska beteckningarna för de ämnen som är vanligast i människokroppen och i vår omgivning. Dessutom bör de lära sig beteckningarna för några viktiga föreningar såsom vatten, koksalt etc. Det är också viktigt att elever får möjlighet att på makronivå få erfarenhet med sina sinnen av ett antal grundämnen och deras egenskaper.

Detta innehåll utvecklar elevernas förståelse för ämnens egenskaper samt materiens uppbyggnad och att all materia som uppbyggd av partiklar i rörelse som interagerar.

Partiklar är i ständig rörelse och interagerar med varandra

Att partiklar är i ständig rörelse och interagerar med varandra är en grundläggande idé inom kemin och grunden för att förstå kemisk bindning och kemiska reaktioner.

Kemisk bindning baserat på elektrostatiska krafter med hjälp av elektronstrukturen hos metallatomer, joner och atomer som bildar molekyler.

Olika typer av kemisk bindning kan undervisas med koppling till olika typer av ämnen: salter (som hålls ihop av jonbindning), metaller (med metallbindningar) och icke-metaller (som hålls ihop av kovalenta bindningar). Det är centralt att framhålla kontinuiteten hos de olika typerna av bindning som elektrostatisk interaktion mellan partiklarna, och presentera dem som olika olika områden på en kontinuerlig skala av kemisk bindning.

Kemisk bindning mellan molekyler samt mellan molekyler och joner.

Elektrostatiska krafter mellan molekyler (eller mellan molekyler och joner) är tillfälliga men de är centrala för att till exempel förklara exempelvis varför vatten kokar vid 100 °C, varför vissa ämnen är gaser eller varför vissa ämnen löser sig eller inte löser sig i varandra. En förståelse för löslighetsbegreppet kan i sin tur utveckla förståelsen för kemisk bindning. Interaktionen mellan olika partiklar kan exempelvis gestaltas i klassrummet genom olika former av visualiseringar eller dramatiseringar.

Mellan molekyler som har en ojämn laddningsfördelning (polära molekyler) attraheras den positiva delen av en molekyl till den negativa delen av en annan. De kallas för dipol-dipolbindningar. (exempelvis mellan ammoniakmolekyler (NH_3)). Vätebindning är ett specialfall av dipol-dipolbindning. Molekyler som innehåller väte bundet till fluor (F), syre (O) eller kväve (N) har en tydlig positiv respektive negativ del delvis på grund av att vätet endast har en proton i kärnan vilket gör att vätet har låg förmåga att attrahera de delade elektronerna. Den tydliga positiva respektive negativa delen av molekylen gör att de elektrostatiska krafterna blir starka.

Van der Waals-krafter (Dispersionskrafter, Londonkrafter) finns mellan allt från ädelgaser till stora organiska molekyler såsom till exempel lipider, men är särskilt viktiga för opolära molekyler (som inte har någon tydlig positiv respektive negativ del). Van der Waals-krafter uppstår när elektronerna i molekylen tillfälligt fördelas ojämnt, vilket skapar en tillfällig dipol som kan påverka andra molekyler. Ju större molekylen är, desto starkare blir dessa krafter.

När en jon kommer nära en polär molekyl kan jonen om den är positiv attraheras till den polära molekylens negativa del medan om jonen är negativ attraheras den till den polära molekylens positiva del. Ett exempel på detta är när natriumklorid löses i vatten. Natriumjonen (Na^+) attraheras till syresidan av vatten och kloridjonen (Cl^-) attraheras till vätesidan av vatten. Vattenmolekylerna omger på så sätt jonerna när de är lösta i vattnet men de omgivande vattenmolekylerna är ständig rörelse och byter hela tiden plats. Detta kallas för jon-dipolbindning och det är därför många salter löser sig så bra i vatten. Vatten är det vanligaste lösningsmedlet i naturen och transportör av ämnen, till exempel i mark, växter och människokroppen

- *Vatten som lösningsmedel och transportör av ämnen*

Det är viktigt att elever får en uppfattning om den centrala roll som vattnet har som lösningsmedel och transportör av ämnen i levande organismer och i biogeokemiska kretslopp.

Dessa innehåll vidareutvecklar elevernas förståelse för ämnens egenskaper, kemisk bindning, samt materiens uppbyggnad och att all materia som uppbyggd av partiklar i rörelse som interagerar.

Kemiska reaktioner med fokus på materiens oförstörbarhet samt förståelse för energiomvandlingar i samband med att kemiska bindningar bryts och bildas.

För att kunna resonera om kemiska reaktioner måste elever kunna navigera mellan makroskopiska, submikroskopiska och symboliska representationsnivåer samtidigt. Från observationer av förändringar som sker på makroskopisk nivå måste eleverna för att förklara dessa förändringar ha en föreställning om vad som händer på submikronivå (partikelnivå). Symbolnivån representeras i sin tur av kemiska beteckningar och formler. Som ett resultat av att elever måste hantera tre representationsnivåer samtidigt, upplever de i allmänhet svårigheter att förklara kemiska reaktioner.

Centrala aspekter av kemiska reaktioner är att atomer kan inte skapas eller förstöras under kemiska reaktioner; de kombineras, separeras eller omorganiseras för att bilda nya ämnen.I en kemisk reaktion omvandlas ett eller flera ämnen (reaktanter) till ett eller flera nya ämnen (produkter), genom att kemiska bindningar bryts och nya bildas, vilket resulterar i nya föreningar med andra egenskaper. Det krävs energi för att bryta bindningar (upphäva de elektrostatiska krafterna) medan energi avges när nya bindningar bildas. Atomerna som ingår i reaktionen försvinner inte, utan binder till andra atomer på andra sätt.

Många kemiska reaktioner som sker i mark, luft och vatten kan kopplas till frågor om miljö och hälsa, till exempel växthuseffekten, vattenrening och spridning av miljögifter. Kemiska reaktioner är en central del av hur vi kan lösa flera av de stora utmaningarna i framtiden – som klimatförändringar, energibrist, matförsörjning och miljöproblem.

- *Reaktionsformler*

Det finns inget behov av att träna beräkningar i grundskolans kemi, men träning i att läsa, avkoda och skriva enkla kemiska formler kan betraktas som en viktig del av högstadiets kemi. Proportionalitet i kemiska reaktioner, exempelvis att två vätgasmolekyler reagerar med en syremolekyl och bildar två vattenmolekyler, ger en grund för att utveckla en förståelse för molförhållanden, vilket är viktigt för de elever som kommer att studera kemi på gymnasiet.

- *Syra-bas - exempel på kemiska reaktioner*

Eleverna bör få erfarenheter av några vanliga syror, t ex saltsyra, svavelsyra och salpetersyra och några vanliga baser, t ex natriumhydroxid och ammoniak. De ska genomföra mätning av pH i olika lösningar och med olika mätmetoder och pH-skalan ska introduceras. Om eleverna bedöms vara mottagliga så kan olika modeller av syra-bas introduceras och diskuteras som exempel på modelltänkande.

- *Korrosionsprocesser och batterier - exempel på redoxprocesser*

Korrosion kan beskrivas med vardagliga exempel som t ex en rostande spik. Korrosionsprocesser kan utgöra en lämplig introduktion till elektrokemi och

galvaniska element. Detta kan utgöra en grund för att de elever som fortsätter att läsa kemi kan utveckla en förståelse för redoxprocesser, vilket har visat sig vara ett svårt område att greppa för många elever.

Bränsleceller kan vara ett exempel som kopplar till energiproduktion och hållbarhetsfrågor. I en bränslecell reagerar ett bränsle, ofta vätgas, med luftens syre och bildar vatten. Delreaktionerna separeras så att kemisk energi omvandlas till elektrisk energi.

Detta innehåll vidareutvecklar elevernas förståelse för ämnens egenskaper, kemiska reaktioner, samt materiens uppbyggnad och att all materia som uppbyggd av partiklar i rörelse som interagerar.

Materiens oförstörbarhet, cyklicitet, kretslopp

Materiens oförstörbarhet är en grundläggande idé inom kemin och grunden för kretsloppstänkande, vilket i sin tur är fundamentalt för att förstå hållbarhetsfrågor.

Materiens kretslopp med fokus på materiens oförstörbarhet samt en förståelse för att det behövs energi för att bygga och återanvända produkter (energi för att bryta kemiska bindningar).

All materia (allt som väger något och tar plats) cirkulerar. Atomer och molekyler försvinner inte, utan återfinns om och om igen i olika former i luften, i vattnet, i jorden och i levande organismer.

· Kolatomens egenskaper och kretslopp. Kolhydrater, proteiner och fetter samt deras funktioner i människokroppen.

Det är viktigt att eleverna får en grundläggande förståelse för kolatomens bindningsförmåga som ger upphov till ett mycket stort antal molekyler, liksom dess avgörande betydelse för livet. Eleverna bör undervisas om kolföreningar, såsom enklare kolväten och alkoholer. De bör lära sig att konstruera enkla strukturformler. Molekylbyggsatser lämpar sig ofta för att illustrera enkla organiska föreningar och ge en uppfattning om molekylers tredimensionalitet.

Eleverna behöver också lära känna mer komplexa organiska föreningar, som kolhydrater, proteiner och fetter samt deras funktioner i människokroppen. Den kemiska strukturen hos dessa kan förklaras på en mer övergripande nivå, som att kolhydrater utgörs av kedjor av sockermolekyler; att proteiner består av aminosyror (utan att man behöver gå in på aminosyrornas struktur), och att fetter byggs upp av bl a fettsyror som är långa opolära kolvätekedjor.

Kolets kretslopp innebär den process där kolatomer befinner sig i olika molekyler i jord, luft, vatten och levande organismer. Koldioxid i luften tas upp av växter genom fotosyntesen. I fotosyntesen omvandlas vatten och koldioxid till de mer energirika molekylerna syrgas och kolhydraten glukos. Fotosyntesen sker i många delsteg och processen drivs av energi från solen. Djur äter växterna och får på så sätt i sig kol. Vid cellandningen hos växter och djur frigörs energi som används

för att bygga nya celler. Cellandningen sker, liksom fotosyntesen, i många steg men på ett annat sätt än i fotosyntesen. Vid cellandningen omvandlas syrgas och kol i olika typer av molekyler, som till exempel kolhydrater eller fetter, till vatten och koldioxid som då åter går ut i luften. När växter och djur dör, bryts de ner av mikroorganismer, vilket också frigör energi, vatten och kol som finns i olika gasmolekyler såsom metan och koldioxid. Nedbrytningen kan också leda till att kol lagras i marken som fossila bränslen. Kol kan även lagras i havet, där koldioxid löses upp i vattnet och ingår i organismer eller sediment. Eleverna bör kunna rita upp och diskutera kolets kretslopp och ange enkla reaktionsformler för fotosyntes och cellandning.

· *Produkters utveckling, livscykel och miljöpåverkan*

Kunskaper i kemi är avgörande för att utveckla nya produkter och material. Det är av värde att elever bibringas en förståelse för hur kunskaper i kemi kan omsättas i utveckling av nya produkter och material. Nya material kan bidra till att spara resurser. Forskare utvecklar nya material som är starkare, lättare, nedbrytbara eller återvinningsbara – allt genom kontrollerade kemiska reaktioner. Det kan handla om t ex bioplaster som är nedbrytningsbara och inte bidrar till klimatförändringarna. Vissa material som kan återvinnas hur många gånger som helst.

En produkts livscykel är hela resan från råvara → tillverkning → användning → avfall Exempel: En plastpåse börjar som olja → tillverkas i en fabrik → används i några minuter → blir ofta skräp i naturen

En livscykelanalys (LCA) visar hur mycket energi som går åt, hur mycket utsläpp som sker och hur stor påverkan det har på miljön. För att minska påverkan kan vi exempelvis återvinna, använda hållbara material, köpa färre engångsprodukter. Att utgå från specifika produkter som eleverna känner igen från sitt vardagsliv och låta dem genomföra LCA på dessa kan vara ett sätt att konkretisera kunskapsinnehållet.

Dessa innehåll utvecklar elevernas förståelse för materiens oförstörbarhet, kretslopp, material- och energiflöden. Dessutom utvecklar eleverna en uppfattning om den viktiga roll som ämnet kol spelar i för levande organismer *och i biogeokemiska kretslopp.*

Naturvetenskapliga undersökningar

När det gäller att undervisning om naturvetenskapliga undersökningar som ett kunskapsområde är det i likhet med i år 5-7 tre aspekter som centrala: eleverna ska förstå att en undersökning börjar med någon form av fråga, undran eller problem; eleverna ska också förstå att det finns olika metoder för att genomföra undersökningar; eleverna sedan få möjlighet att fundera över och på olika sätt bearbeta och diskutera sina resultat.

På högstadiet ska elever få erfarenhet av att använda laborationsutrustning och av att genomföra laborationer. Laborativt arbete är en central del av att utveckla en

fördjupad förståelse för vad ett naturvetenskapligt förhållningssätt innebär i termer av objektivitet, mätnoggrannhet och upprepbarhet. Elever ska genomföra jämförande undersökningar (experiment, där en variabel undersöks, medan övriga variabler hålls konstanta). Eleverna ska pröva olika separations- och analysmetoder, till exempel filtrering, fällning, pH-mätning och identifiering av ämnen.

Några upptäckter inom kemiområdet och deras betydelse för människans levnadsvillkor och syn på naturen.

I år 8-10 ska vissa exempel på betydelsefulla upptäckter inom kemin och exempel på viktiga kemister tas upp i syfte att illustrera kemins roll i samhället och i historien. Kemins historia kan med fördel användas för att illustrera ämnesinnehåll i form av begrepp, teorier och modeller. En annan betydelsefull aspekt är, liksom i år 1-7, att eleverna får möta en viss variation av människor som ägnat sig åt kemi och kan få möjligheter att relatera till forskarna.

Kritisk granskning och användning av information som rör kemi.

Olika former av mediainslag (i traditionella och sociala medier) med koppling till kemi gör frågor om trovärdighet och källkritik relevanta för elever i högstadiet. Detta gör aspekter av källkritik, så som vad påståendet innebär, vem som står bakom påståendet och varför detta påstående formuleras och sprids, aktuella i undervisningen. På högstadiet kan man i högre grad än på tidigare stadier diskutera trovärdigheten utifrån en naturvetenskaplig kunskapsgrund. Trovärdighet kan diskuteras i anslutning till frågor som: Går detta att undersöka naturvetenskapligt? Går det att formulera en metod för att undersöka detta påstående? Skulle vi kunna genomföra en undersökning?

2.9 Säkerhet - utvecklande av förhållningssätt visavi säkerhet genom hela grundskolan

Vid laborationer ska elever lära sig att hantera kemikalier, utrustning och avfall på ett säkert sätt. Det innebär att eleverna i varje praktisk aktivitet övar på åtgärder för att skydda sig själva och läraren, men även för att skydda utrustningen som används och miljön. För yngre elever handlar det huvudsakligen om att följa instruktioner för genomförande och använda skyddsutrustningen. Lite senare innebär det även att lära sig om kemikaliers egenskaper och i årskurs 7 ska eleverna kunna läsa och förstå faropiktogram och reflektera över deras innebörd. I årskurs 10 ska eleverna ha fått erfarenhet av att delta i riskbedömningar kopplade till enkla laborationer och ge förslag på säkerhetsåtgärder.

3. Lärande i kemiämnet

3.1 Olika kunskapsformer

Innan vi kan behandla olika sätt att undervisa i kemi och olika aspekter av lärande i kemi behöver vi reflektera över vad som menas med kunskap och vad det innebär att kunna någonting. Läroplansutredningen (SOU 2025:19) påpekar att termen kunskap har en vardagsbetydelse som konnoterar vetande, insikt och kännedom, vilken kan osynliggöra andra former av kunskap som är väsentliga för skolan, som exempelvis handlingsorienterade färdigheter. Det är därför viktigt att använda ett mer reflekterat kunskapsbegrepp. Den mest klassiska och långlivade indelningen av kunskap härstammar från Aristoteles. Aristoteles delade in kunskap i tre typer: *episteme*, vilket innebär olika former av teoretisk kunskap, t ex att veta vid vilken temperatur som vatten kokar eller en förståelse för att lufttryck och lösta salter kan påverka vattnets kokpunkt; *techne*, vilket avser färdighetskunskap, t ex att kunna hantera en brännare eller att kunna genomföra en fältundersökning eller titrering; *fronesis*, även kallat praktisk visdom, som innebär förmågan att kunna använda sig av kunskaper och erfarenheter för att fatta goda beslut i en viss situation. Aristoteles framhöll den etiska dimensionen av *fronesis* och att ett visst beslut inte enbart bör vara rätt för den enskilde individen, utan också för andra. I undervisning i NO och kemi förekommer fronesis exempelvis i undervisningsupplägg kring samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll (mer om detta under avsnittet Centrala undervisningsstrategier), där elever behöver sammanväga olika aspekter och kunskap från flera områden för att fatta etiskt riktiga beslut.

Till Aristoteles tre former av kunskap kan vi också lägga erfarenhet och det som kan kallas förtrogenhet. En icke oväsentlig del av ämnestraditionen i kemi, i synnerhet i grundskolans tidigare år, är att elever ska få erfarenhet av naturliga fenomen, som t ex olika faser och fasövergångar. Det är inte nödvändigt att hävda att erfarenhet är en annan form av kunskap än de tidigare tre nämnda kunskapsformerna. Erfarenhet är snarare något som ingår i dessa. För att nå teoretisk kunskap behöver eleven skaffa sig erfarenhet av teoretiskt innehåll, vilket de får genom att läsa, lyssna och diskutera teori. När det gäller techne, är också detta kunskap som elever skapar genom att få erfarenhet av den verksamhet eller teknik det gäller, t ex genom att laborera. Fronesis är en kunskapsform som är nära knuten till erfarenhet av olika sociala och praktiska situationer, och är vanligen ett slags kunskap som kräver viss livserfarenhet. Samtidigt betyder inte detta förhållande att elever inte kan träna sig i att uppöva fronesis genom undervisning eller annan verksamhet. I vissa sammanhang kan det finnas ett värde av att framhålla att ge erfarenhet och förtrogenhet som särskilda mål för undervisningen. I synnerhet i de tidigare åren kan det ha ett särskilt värde att ge elever chansen att erfara naturfenomen och att uppleva samband mellan fenomen i naturen, som kan skapa motivation för ytterligare lärande. Att elever genom sina erfarenheter får en viss förtrogenhet med t ex av att genomföra

fältundersökningar, av att laborera eller av i vilka former och aggregationstillstånd som olika grundämnen förekommer i naturen har också ett värde som i förlängningen kan ha betydelse för t ex yrkesval och omvärldsuppfattning. Den kanadensiske nv-didaktikern Glen Aikenhead har jämfört NO-läraren med en guide som ska ge eleverna vissa erfarenheter av naturvetenskapen. I likhet med en guide som låter besökarna smaka på lokala maträtter och ta del av lokala kulturaktiviteter i främmande länder ska NO-läraren i enlighet med denna analogi ge eleverna upplevelser av olika aspekter av naturvetenskaplig verksamhet som att läsa, diskutera, skriva och teckna samt genomföra laborationer och göra fältstudier för att utifrån egna data försöka dra slutsatser.

Läroplansutredningen skriver: *När Lgr 11 infördes uttrycktes målen i kursplanerna i termer av förmågor som också skulle omfatta de fyra kunskapsformerna* [fakta, förståelse, färdighet och förtrogenhet som infördes i samband med läroplansreformen 1994]. *Förmågebegreppet kom uteslutande att användas i målen medan det centrala innehållet fick inrymma ämneskunskaperna. Konstruktionen med mål och innehåll beskrevs som att man skulle arbeta med innehållet för att utveckla förmågorna. Det kunde alltså uppfattas som att det inte var ämneskunskaperna i sig som eleverna skulle lära sig.* (SOU 2025:19, 278). Även om vi i denna ämnesspecifika instruktion för kemiämnet beskriver vissa kunskaper som mer generiska för alla grenar av naturvetenskaperna (exempelvis kunskaper om naturvetenskapernas karaktär och naturvetenskapliga undersökningar) och vissa kunskaper som eleverna lär sig från kemiämnet som mer generella (t ex att utveckla problemlösningsförmåga) är vår utgångspunkt att allt lärande utgår från ett specifikt innehåll. Läroplansutredningen föreslår vidare att de fyra kunskapsformerna fakta, förståelse, färdighet och förtrogenhet ska ersättas med tre kunskapsuttryck i form av kunskaper, färdigheter och förhållningssätt (SOU 2025:19). Kunskaper definieras som *fakta, begrepp, idéer, teorier och modeller som är beständiga och bidrar till förståelsen av olika områden och ämnen* (SOU 2025:19, 280). Detta stämmer väl ihop med Aristoteles episteme. Färdigheter definieras som både kognitiva och praktiska. De *präglas av att de är träningsberoende och definieras som möjligheten att genomföra olika processer och att använda kunskaper för att nå resultat* (SOU 2025:19, 280). Detta går väl ihop med Aristoteles techne. Förhållningssätt definieras *som att förhålla sig till innehållet i ett kunskapsområde på ett reflekterande och engagerat sätt* (SOU 2025:19, 280). Detta går till viss del att koppla till Aristoteles fronesis, i synnerhet i det avseendet att både fronesis och förhållningssätt (som det här definieras) handlar om tillämpandet av kunskaper och erfarenheter på ett reflekterat vis. Läroplansutredningens förslag om att introducera kunskapsformen förhållningssätt har sin grund i olika internationella ramverk där attityder och förhållningssätt är del av de kompetenser man strävar efter att eleverna ska uppnå (SOU 2025:19).

Läroplansutredningen betonar vidare att ämnesdisciplinära kunskaper inte bara omfattar det som kanske traditionellt uppfattas som ämneskunskaper, deklarativa

kunskaper, som t ex kunskaper om teorier, modeller och begrepp, utan också procedurala kunskaper om tillvägagångssätt och principer som behövs för att lösa uppgifter, det vill säga – att veta hur – om processer, tekniker och metoder som är specifika för ämnet (SOU 2025:19, 280).

Begrepp, begreppsord och uppfattning

Eftersom en central aspekt av kemiämnet utgörs av begrepp vill vi här reflektera över vad begreppsligt lärande innebär. Det är vanligen missvisande att behandla naturvetenskapliga begrepp som enbart "fakta". Detta osynliggör de naturvetenskapliga begreppens förhållande till naturvetenskapliga teorier i ett komplext samspel. Den amerikanske kognitive psykologen David Ausubel (1968) framhåller skillnaden mellan ett *begrepp* (*concept*), vilket utgör ett begreppsligt nätverk av betydelser, där olika begrepp kopplas till varandra i ett teoretiskt kunskapsbygge, och *begreppsord* (*concept word*), vilket innebär den term eller symbol som betecknar begreppet. Att en elev, exempelvis på ett skriftligt prov, kan svara genom att använda ett korrekt begreppsord betyder dock inte att eleven har djupare kunskaper om det naturvetenskapliga begreppet. Ausubel (1968) lyfter fram risken att elevernas lärande i hög grad sker som utantillinlärning utan meningsfulla sammanhang och utan koppling till elevens egen livsvärld, tidigare kunskaper och erfarenheter. Ausubel gör en distinktion mellan utantillinlärning (*rote learning*) och meningsfullt lärande (*meaningful learning*). Vid utantillinlärning skapas små kunskapsöar utan koppling till tidigare kunskaper och erfarenheter som finns i långtidsminnet. Dessa kunskapsöar har ett mycket snävt användningsområde och kan vanligen bara användas av eleven i specifika skolsammanhang. Meningsfullt lärande kopplar istället till andra kunskaper som eleven har, och får ett bredare användningsområde, genom att de kan förstärka tidigare kunskaper och lättare kan tillämpas i skiftande sammanhang (Ausubel, 1968). Flera forskare har påpekat att bedömning av korta svar på skriftliga prov snarare testar elevers förmåga att använda korrekta begreppsord snarare än deras förståelse för de vetenskapliga begreppen (Levy Nahum *et al.,* 2007). Vinner (1997) föreslår termen *pseudobegrepp* (*pseudoconceptions*) när elever kan använda det förväntade begreppsordet i rätt kontext, men i själva verket saknar förståelse för själva begreppet. Perkins (1998) menar att man för att kunna påstå att någon har förstått ett visst begrepp, så måste vederbörande kunna utföra vissa handlingar (*understanding performances*), dessa kan vara kognitiva eller praktiska men visar att eleven har förmåga att tillämpa begreppet på rätt sätt.

3.2 Några relevanta resultat från begreppsforskning i kemi

Den naturvetenskapligt didaktiska forskningen har under flera decennier påvisat skillnader mellan de naturvetenskapliga begrepp som lärs ut i skolan och de *uppfattningar* (*conceptions* eller, i de allmänt förekommande fall som dessa uppfattningar skiljer sig väsentligt från naturvetenskapliga begrepp, *alternative conceptions*) som eleverna ger uttryck för. Begreppsforskning är ett betydande

forskningsområde inom naturvetenskapernas didaktik internationellt och i Sverige har inte minst Björn Anderssons forskargrupp vid Göteborgs universitet under många år studerat elevers uppfattningar av olika naturvetenskapliga fenomen och begrepp. Den internationella forskningen kring elevers begreppsbildning i naturvetenskap har dominerats av den så kallade *conceptual change*-traditionen (Posner et al., 1982). Enligt denna finns det likheter mellan hur elever tillägnar sig naturvetenskapliga begrepp och hur dessa begrepp har utvecklats genom vetenskapshistorien. Forskningen har påvisat överensstämmelser mellan elevers alternativa uppfattningar om förbränning och tidigare vetenskapliga eller förvetenskapliga begrepp som exempelvis *flogiston* (som skulle vara ett ämne med negativ vikt som lämnade ett föremål vid förbränning) (BouJaoude, 1991). Strävan inom conceptual change-traditionen är att man först ska identifiera elevers alternativa uppfattningar (eller vardagsföreställningar) och sedan att förändra denna uppfattning till en naturvetenskaplig begreppsuppfattning genom exempelvis att ställa eleven inför en situation där deras tidigare begreppsuppfattning inte fungerar och därigenom skapa behov av att ersätta denna med en ny. Conceptual change-traditionen har kritiserats av socio-kulturellt inriktade forskare för att fokusera på elevernas osynliga kognitiva processer och att man tagit otillräcklig hänsyn till kontexten i vilket lärandet sker och de olika språkliga verktyg eller fysiska artefakter som är del av denna lärandekontext (Schoultz et al., 2001). Forskare med sociokulturell inriktning betonar också att naturvetenskapligt språkbruk inte är giltiga i alla sociala sammanhang, och att man kan behöva beskriva fenomen på ett vardagligt vis i sammanhang utanför det naturvetenskapliga klassrummet. Man har också visat att elever kan ge uttryck för olika begreppsuppfattningar i olika sammanhang och med olika former av stöd. En lärdom från begreppsforskningen är dock att det står klart att elevers begreppsuppfattningar till stor del skiljer sig från de naturvetenskapliga begrepp som de undervisats om i skolan.

Forskningen kring elevers begreppsuppfattningar i kemi har varit omfattande under de senaste decennierna. Det skulle spränga ramarna för denna ämnesspecifika instruktion att försöka gå igenom denna forskning som helhet. Däremot vill vi belysa några resultat som kan vara av vikt för didaktiska överväganden när det gäller några centrala delar av kemiämnet.

Materians uppbyggnad

Forskning kring elevers begreppsuppfattningar om materiens byggnad har visat att vanliga missförstånd är att materien är statisk och kontinuerlig, och att partiklar av ett ämne har samma egenskaper som ämnet har på makronivå (Vikström, 2014). Till exempel föreslog elever i en studie av Griffiths och Preston (1992) att partiklar kan bli varma och kalla eller till och med smälta. Det finns forskning som pekar på att undervisning utifrån en partikelmodell av materia kan starta tidigare än i årskurs 7 (Papageorgiou & Johnson 2005; Tytler *et al*., 2007; Vikström, 2008; Löfgren & Helldén, 2009). Med rätt stöttning kan även barn i lågstadieåldern tänka i termer av en enkel partikelmodell. Till skillnad mot tidigare dominerande Piaget-inspirerade perspektiv tyder dessa studier på att det

inte finns fundamentala kognitiva hinder för yngre barn att utveckla vissa former av abstrakt tänkande kring materiens uppbyggnad om kontexten för lärandet stöder detta och eleven visar sig vara mottaglig; studierna pekar också på individuella skillnader (Löfgren & Helldén 2009). En möjlig slutsats av dessa forskningsresultat är att det är möjligt att lägga en grund för beskrivningen av *materien som uppbyggd av partiklar redan i yngre år.*

Grundämnen

Det periodiska systemet är avgörande för att förstå materiens sammansättning (Schmidt *et al.*, 2003). Men en av de största svårigheterna med begreppet grundämne ligger i termens tvetydiga natur. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) har två definitioner av "kemiskt grundämne": Den ena definitionen uppfattas som en sorts atom, med ett visst antal protoner i atomkärnan (som ibland kallas atomslag). Den andra definitionen förstås som en verklig substans som finns i det dagliga livet och/eller i laboratorier, då som ett stort antal atomer med samma antal protoner (McNaught & Wilkinson, 1997). På grund av denna tvetydighet betraktas det periodiska systemet både som en tabell över grundämnen som substanser och som en tabell över atomer i grundämnena. Denna dubbla funktion kan förvirra eleverna och leda till att termen ”grundämne” används som en synonym för begreppet ”atom” (Schmidt, 2000). Ett atomslag används för att beskriva en atom i ett grundämne, samtidigt som ett grundämne alltid består av en stor mängd atomer av samma atomslag. En möjlig slutsats av dessa forskningsresultat är att betydelsen av begreppet grundämne inte får tas för självklart, och att elever behöver explicit undervisning om grundämnen och det periodiska systemet.

Kemisk bindning

Ett återkommande resultat från i forskning kring elevers lärande i kemi på de högre årskurserna är problem med att förstå kemisk bindning. Nicoll (2001) har visat att kemistudenter har svårigheter att förstå varför bindningar bildas och att de uppfattar atomer och molekyler som orörliga. Broman och Parchmann (2014) har påvisat svårigheter att skilja mellan inter- och intramolekylära bindningar hos svenska gymnasieelever. Enligt Taber och Coll (2002) beror en del av svårigheterna på att elever tenderar att övergeneralisera oktettregeln, vilket kan förstärkas av användningen av antropomorfa beskrivningar, som att atomer *vill* fylla sina skal. Detta kan göra att elever får uppfattningen att de enda slags bindningar som förekommer antingen innebär elektronparbindning eller fullständig överflyttning av elektroner. Intermolekylära bindningar som vätebindning och Van der Waals-bindning blir svåra för eleverna att förstå utifrån oktettregeln (Taber & Coll, 2002). Forskare föreslagit att man ska undervisa kemisk bindning som ett kontinuum av bindningar, snarare än att presentera kemiska bindningar som separata typer av bindningar (jonbindning, kovalent bindning, metallbindning, samt intermolekylära bindningar (vätebindning och Van der Waals-bindning)). Man menar att undervisningen bör utgå från den fundamentala naturen hos kemisk bindning som elektrostatiska interaktioner

(Levy Nahum *et al., 2007;* Kronik *et al.,* 2008). Att undervisa om kemisk bindning utifrån diskreta typer av bindningar kan kopplas till en pedagogisk ambition att koppla de olika typerna av bindningar till olika typer av föreningar, salter (som hålls ihop av jonbindning, metaller (med metallbindningar) och icke-metaller (som hålls ihop av kovalenta bindningar). Detta kan ha ett didaktiskt värde, liksom att undervisning om de olika typerna av bindning skapar begrepp och kategorier som gör att eleverna kan få ett grepp om kemisk bindning. Dock pekar forskningen mot att det kan vara viktigt att också betona kontinuiteten mellan de olika typerna av bindning, deras gemensamma uppkomst genom attraktions- och repulsionskrafter mellan partiklar, samt visa att man som Kronik *et al.* (2008) kan presentera dem som olika områden på en kontinuerlig skala av kemisk bindning.

Löslighet

Löslighet är ett centralt kemiskt begrepp, som det tar tid för många elever att utveckla en djupare kemisk förståelse för. En sammanställning av forskningen kring elevers uppfattningar av begreppet löslighet visar att elevers tänkande präglas av vardagserfarenheter, t ex av sådana processer som när ett stearinljus smälter (Çalýk, Ayas & Ebenezer, 2005). Exempelvis beskriver eleverna i en studie av Ebenezer och Erickson (1996) hur socker smälter när det övergår i löst form. I en parallell till vissa antika grekiska tänkare föreställde sig eleverna att de egenskaper som ett ämne har på makronivå också gäller på mikronivå, exempelvis genom beskrivningar som att "is smälter därför att *partiklarna* blir varmare" (Ebenezer och Erickson, 1996, s. 196). Longden, Black och Solomon (1991) jämförde i en studie 11-12-åringars och 13-14-åringars uppfattningar om löslighetsbegreppet och fann att de äldre elevernas uppfattningar låg närmare den vetenskapliga beskrivningen. I motsats till detta, fann Blanco och Prieto (1997), som undersökte 12-18-åringars uppfattningar om löslighet, en låg grad av progression i utvecklandet av mer vetenskapliga beskrivningar i sin studie. Den kemiska skillnaden mellan blandningar, emulsioner och lösningar var inte tydlig för många elever. Forskningsresultaten tyder på att elever i högre årskurser behöver bli explicit undervisade om kemins beskrivning om vad som händer på submikronivå när ämnen löser sig. En annan möjlig slutsats är - i syfte att lägga en grund för ovanstående - att det är lämpligt att elever i yngre år skaffar sig erfarenhet av skillnaden mellan blandningar och lösningar.

Redoxreaktioner

Intervjustudier med lärare har lyft fram redoxreaktioner som ett av de svåraste avsnitten att undervisa om i kemi (de Jong *et al.*, 1995). Flera olika skäl har angivits som förklaring till elevers svårigheter att förstå redoxreaktioner. Schmidt (1997) har funnit att många elever har föreställningen att syre alltid deltar i alla redoxreaktioner, och härleder detta från förekomsten av stavelsen "ox" i redoxprocesser. De Jong och Treagust (2002) menar att elever har en tendens att betrakta oxidation och reduktion som oberoende reaktioner. Österlund och Ekborg (2009) har i en intervjustudie påvisat liknande svårigheter hos svenska

gymnasieelever. Lu och kollegor (2018) har genomfört en jämförande studie kring undervisning om redoxreaktioner med 15-17-åriga elever, och funnit att undersökande arbete (i en en form där eleverna får argumentera för slutsatser utifrån data) kan underlätta elevers förståelse för redoxreaktioner. En möjlig slutsats från de svårigheter som påvisats på gymnasienivå är att en grund för att förstå redoxprocesser skulle kunna läggas redan på högstadiet i form av enkla beskrivningar med vardagsnära exempel av exempelvis korrosionsprocesser.

Cyklicitet och kretslopp

Cyklicitet och kretslopp är en konsekvens av materiens oförstörbarhet. Att elever skapar sig en förståelse för en naturvetenskaplig beskrivning av cyklicitet och kretslopp, flöden av energi och materia, är en grundförutsättning för att få en naturvetenskaplig förståelse för de hållbarhetsutmaningar vi idag står inför och hur vi ska kunna lösa dessa. Lee och kollegor (2019) har framhållit att undervisning om kretslopp och biogeokemiska flöden kan vara ett sätt att träna systemtänkande från tidiga år. Den enklaste och mest vardagsnära cykeln är vattnets kretslopp. Flera studier (t ex Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010; Vo *et al.,* 2015; Forbes *et al.*, 2015) pekar på att elever i årskurs tre eller fyra kan förstå vattnets kretslopp på ett meningsfullt vis, men pekar också på att lärares stöd är avgörande för att meningsfullt lärande ska kunna ske. Kolets kretslopp är mer komplext, men avgörande för att förstå flera fundamentala principer. Mohan och kollegor (2009) har genom en design-baserad studie under tre år genomfört studier med lärare och elever i motsvarande grundskolans mellan- och högstadium samt gymnasiet (år 4-12), och utifrån denna formulerat en lärandeprogression för lärande om kolets kretslopp. Denna lärandeprogression inbegriper fyra nivåer, där den första nivån innebär en beskrivning av kolcykeln utifrån ett makronivå-perspektiv, där samband mellan växter, djur, döda organismer, nedbrytare etc. beskrivs på en grundläggande nivå. Nivå två innebär en beskrivning av förändringar av material genom dolda processer, medan en beskrivning på nivå tre innebär att dessa processer beskrivs som kemiska processer, men med vissa inkongruenser i hur dessa tillämpas. En mer avancerad beskrivning (nivå fyra) innebär att eleven använder modeller för att förklara flöden av materia genom hierarkiskt ordnade system som inbegriper levande organismer och icke-levande materia. Elever i årskurs fyra beskriver i allmänhet kolets kretslopp på nivå ett eller två, medan elever i årskurs sex till åtta i allmänhet beskriver kolets kretslopp på nivå två (Mohan *et al.*, 2009). Düsing och kollegor (2019a; 2019b) har undersökt högstadieelevers (13-16 år) uppfattningar om kolets kretslopp genom intervjuer och skrivna svar, och identifierade flera svårigheter och missförstånd i elevernas resonemang, i synnerhet i relation till övergångar mellan fasta och gasformiga föreningar. Forskningsresultaten tyder på att det är möjligt att undervisa kring vattnets kretslopp redan i år 1-4, medan kolets kretslopp kan introduceras i år 5-7, i form av enkla beskrivningar utan formelspråk.

Modeller av syra-bas

Det finns flera vetenskapliga modeller av syra-bas. Arrhenius definierade en syra som ett ämne som avger vätejoner i vattenlösning, medan baser producerar hydroxidjoner. I en mer generell definition beskrev Brønsted och Lowry syror som partiklar som ger ifrån sig protoner och baser som partiklar som tar upp protoner (oxoniumjoner). När en syra givit ifrån sig en proton blir den en bas. Brønsted och Lowrys definition av syra-bas kan i sin tur betraktas som ett specialfall av Lewis definition, där syror definieras som partiklar som accepterar elektronpar, medan baser donerar elektronpar (Drechsler & Schmidt, 2005). Enligt Harrison och Treagust (2000) utgör syra-bas-modeller exempel på processmodeller (se nedan) där flera olika modeller kan behövas för att gestalta en process. Drechsler & Schmidt (2005) visar i en studie att svenska läroböcker inte tydligt skiljer mellan de olika modellerna för att beskriva syra-bas, något som också visade sig när de intervjuade lärare om deras undervisning om syror och baser. Användning av hybridmodeller och har visat sig vara en källa till svårigheter och missförstånd hos elever (Justi & Gilbert, 2000). Bergqvist *et al.* (2013) hävdar att lärande i kemi underlättas om det tydliggörs att flera modeller används, och man beskriver hur de skiljer sig åt och vilka modellernas begränsningar är. En möjlig slutsats av dessa forskningsresultat är att det i högre årskurser är lämpligt att undervisa om syror och baser explicit i relation till olika modeller (och möjligen också relaterat till deras historiska framväxt).

3.3 Naturvetenskap som språk – kemins symbolspråk

Nära kopplat till utvecklingen av naturvetenskapliga begrepp är utvecklingen av ett naturvetenskapligt språk. I sin uppmärksammade bok *Talking Science* har Lemke (1990) framhållit att språket inte enbart ska ses som ett passivt medium genom vilket tankar uttrycks, utan att språket aktivt formar vår förmåga att observera, beskriva och jämföra. Att lära sig naturvetenskap innebär också att lära sig delta i en kommunikativ praktik. Kognitionsvetenskaplig forskning har påvisat en stark koppling mellan utvecklingen av språk och utvecklingen av kognitiv förmåga och begreppsliga kategorier hos barn (Perzyk & Waxman, 2018; Ferguson & Waxman, 2017). NV-didaktisk forskning har visat betydelsen av att elever aktivt får träna sig i att 'tala naturvetenskap', att tala om naturvetenskapliga fenomen och öva sig att använda naturvetenskapliga begreppsord. Forskning av exempelvis Mercer (2019) har visat på den positiva betydelse som olika former av klassrumsdiskussioner har för lärande i naturvetenskap och att elever behöver träna sig i att uttrycka sina kunskaper i naturvetenskap. Forskning om undervisning i naturvetenskap för flerspråkiga elever (t ex Ünsal *et al.*, 2020) och forskning med utgångspunkt i andra språkliga perspektiv på lärande i naturvetenskap (t ex Brown & Ryoo, 2008; Jahic Pettersson *et al.*, 2020) pekar på vikten av att elever får möjlighet att bearbeta nya fenomen och begrepp med de språkliga och teckenskapande resurser som de behärskar. Det är viktigt att eleverna får chans att lära sig de naturvetenskapliga termerna, men

undervisningen bör inte fokusera på inlärning av begreppsord, utan på inlärning av begrepp.

Utmärkande för kemiämnet är dess symbol- och formelspråk. Johnstone (1991) betonar symbolspråket som en oundgänglig del av kemi. Redan att man använder en pil för att visa att någonting händer innebär användning av ett symbolspråk och används i låg- och mellanstadieundervisningen. I högstadiet tillkommer kemins formelspråk, och även strukturformler. En förlängning av detta är olika former av modeller och representationer av molekyler inom exempelvis biokemi.

Utöver symbol- och formelspråk använder sig kemin av olika metaforer, analogier och antropomorfa uttryck. Forskningen visar att dessa uttryck både kan vara till hjälp för eleverna att bygga en förståelse av ett nytt och okänt fält genom att göra kopplingar till någonting bekant, men i vissa fall också utgöra ett hinder för utvecklandet av en mer naturvetenskaplig beskrivning av ett visst innehåll (Taber & Coll, 2002). Alla metaforiska uttryck har en viss räckvidd och bryter samman om parallellerna dras ut för långt. Som Haglund (2013) påpekar innebär en analogi mellan atomen och solsystemet inte att atomkärnan värmer elektronerna eller att elektronerna har månar. En mer vanligt förekommande risk är att eleverna drar en parallell med gravitationskrafterna mellan planeter och uttrycker den felaktiga uppfattningen att elektroner attraherar varandra (Nicoll, 2001). En speciell form av metaforiska uttryck är *antropomorfismer* som innebär att fenomen i naturen tillskrivs mänskliga egenskaper, exempelvis att joner *strävar* efter att uppnå ädelgasstruktur (Jahic Pettersson *et al.*, 2020). Antropomorfismer kan ha en betydelse som en dörröppnare till naturvetenskaplig kunskap och som heuristiska tankeverktyg för att eleverna ska kunna strukturera sina kunskaper om kemi. Men antropomorfismer kan också leda till missuppfattningar och problem när elever ska utveckla mer avancerade naturvetenskapliga beskrivningar.

3.4 Naturvetenskapliga undersökningar som kunskapsinnehåll

En central aspekt av undervisningen i naturvetenskap är naturvetenskapliga undersökningar. Naturvetenskapliga undersökningar innebär de processer och metoder som naturvetenskapen använder för att undersöka naturen (Lederman *et al.*, 2014; Gyllenpalm *et al.*, 2022; Ünsal *et al.*, 2025). Medan termen undersökande arbete vanligen innebär en undervisningsstrategi (se avsnitt om detta nedan), syftar termen naturvetenskapliga undersökningar på ett kunskapsinnehåll i skolan (Abd-El-Khalick et al., 2004; Gyllenpalm & Wickman, 2011). På engelska benämns undersökande arbete *inquiry* eller *inquiry-based education*, medan naturvetenskapliga undersökningar som kunskapsinnehåll benämns *scientific inquiry* (Lederman *et al.*, 2019). Det engelska ordet inquiry kan på svenska översättas som *undersökande* eller *undersökande arbete*, men det finns ingen exakt motsvarighet till den breda betydelse som *inquiry* har på engelska. I svenska styrdokument används termen *systematiska undersökningar* som en motsvarighet till *scientific inquiry*. Dessvärre finns en glidning i hur

termen systematiska undersökningar uppfattas, den kan dels uppfattas som ett kunskapsinnehåll (naturvetenskapliga undersökningar) och dels som ett arbetssätt eller undervisningsstrategi (undersökande arbete). Eftersom termen systematiska undersökningar inte har någon tydlig motsvarighet i den internationella forskningslitteraturen väljer vi här att avstå från att använda den, och använder i stället termen naturvetenskapliga undersökningar. Termen systematiska undersökningar har dock stötts och blötts under senare år av lärarkåren och Skolverket (bl a i form av framtagande av stödmaterial) och det har formats en praktik kring användningen av termen. Det är därför inte omöjligt att termen systematiska undersökningar har ett värde i skolan. Man ska dock vara medveten om att det är en svensk läroplansterm och inte en term som har hämtats från den internationella forskningen. Det är emellertid fullt möjligt att använda systematiska undersökningar som en synonym till *scientific inquiry*, bara man klargör om det är ett kunskapsinnehåll eller ett arbetssätt i skolan som avses.

Naturvetenskapliga undersökningar utgör ett centralt tema i läroplaner över hela världen (Abd-El-Khalick et al., 2004). Att stötta elever i att tillägna sig kunskaper om naturvetenskapliga undersökningar utgör en viktig aspekt av naturvetenskaplig medborgarbildning och är ett viktigt mål för utbildning i naturvetenskapliga ämnen (Roberts, 2007). Forskning har dock visat att det finns en skillnad mellan att göra undersökningar och att lära sig om naturvetenskapliga undersökningar (Bybee, 2000). Att lära sig om naturvetenskapliga undersökningar kräver förmåga att kunna beskriva, motivera och jämföra olika sätt att genomföra naturvetenskapliga undersökningar – exempelvis om det är möjligt att genomföra en jämförande undersökning (ett experiment där en variabel studeras medan andra variabler hålls konstanta), eller om det är lämpligare med t ex en observationsstudie för att besvara den aktuella frågan.

Forskning har återkommande visat att det är en missuppfattning att elever automatiskt skulle lära sig om naturvetenskapliga undersökningar bara genom att utföra undersökningar, för detta krävs att undervisningen explicit fokuserar på naturvetenskapliga undersökningar som ett kunskapsinnehåll (Wong & Hodson, 2009, 2010; Lederman *et al.*, 2014; Lederman *et al.*, 2019). Däremot utgör undersökande arbete ett lämpligt sammanhang för undervisning om naturvetenskapliga undersökningar som kunskapsinnehåll, men detta kräver att läraren sätter ord på det som eleverna gör praktiskt, och kopplar detta till hur kunskap tas fram (Lager Nyqvist *et al.*, 2011; Gyllenpalm *et al.*, 2022).

Men vad ska svenska grundskoleelever lära sig om naturvetenskapliga undersökningar? Det finns inget tydligt konsensus om detta i den didaktiska forskningen. Det kan finnas olika vetenskapsfilosofiska uppfattningar kring vad som utgör kärnan i naturvetenskapliga undersökningar. Till detta kommer att en sådan kärna behöver genomgå en didaktisk transformation till ett innehåll som fungerar i undervisningen på skolans olika stadier. Den forskning som hittills är genomförd i Sverige tyder på att undervisningen behöver fokusera mer på att arbeta med resultaten från de genomförda undersökningarna, och hur man drar slutsatser från data och argumenterar för ett resultat (Gyllenpalm *et al.*, 2022;

Björnhammer, 2025). Detta har också uppmärksammats i internationell forskning (Jegstad, 2023; Lu *et al.*, 2018). Det finns en risk att undervisningen fokuserar för mycket på formella aspekter av undersökningarna, t ex att dokumentationens form tar alltför mycket tid, eller att elevernas tänkande fastnar i formulerandet av hypoteser (Gyllenpalm & Wickman, 2011). Snarare pekar forskningen på att man som lärare ska lägga tid på vad som ska undersökas (en fråga eller undran), hur undersökningen ska gå till (undersökningsmetod, design), och vad resultaten betyder (hur eleverna ska tolka sina data och vilka slutsatser man ska argumentera för). Den hittills största internationella undersökningen av elevers uppfattningar kring naturvetenskapliga undersökningar, VASI (*Views About Scientific Inquiry*)-studien utgick från åtta aspekter av naturvetenskapliga undersökningar som forskargruppen bedömde som centrala (Lederman *et al.*, 2019). Vi vill betona att detta är *en* modell för hur man kan tänka och undervisa kring naturvetenskapliga undersökningar, och att det finns andra sätt att beskriva och undervisa kring naturvetenskapliga undersökningar:

1. Naturvetenskapliga undersökningar inleds med någon form av fråga, och behöver inte nödvändigtvis testa en hypotes.
2. Det finns inte en unik uppsättning eller sekvens av steg som följs i alla undersökningar (det vill säga det finns inte en enda vetenskaplig metod).
3. Alla forskare som gör samma procedur behöver inte nödvändigtvis få samma resultat.
4. Undersökningsprocedurer kan påverka resultaten.
5. Slutsatser i forskningen måste stämma överens med de data som samlats in.
6. Hur man väljer att utforma en studie vägleds av frågan som ställts.
7. Vetenskapliga data är inte samma sak som vetenskaplig evidens.
8. Förklaringar utvecklas från en kombination av insamlade data och vad som redan är känt.

I Sverige genomfördes VASI-undersökningen i årskurs 7 och på gymnasiet (Gyllenpalm *et al.*, 2022). Svenska elever visade varken bättre eller sämre kunskaper om naturvetenskapliga undersökningar än elever från jämförbara länder (Gyllenpalm *et al.*, 2022). De svenska eleverna hade en relativt god uppfattning om att naturvetare använder sig av flera olika metoder för att besvara sina forskningsfrågor, men hade svårt att skilja mellan begreppen data och evidens jämfört med elever i exempelvis USA. En reviderad version av denna undersökning (VASI-E) genomfördes också i årskurs 3; denna visade bl a att svenska elever har en relativt god uppfattning om att slutsatser måste stämma överens med de data som samlats in, men pekade också mot att undervisningen i yngre år ofta fokuserar det praktiska undersökandet (själva görandet) snarare än att skapa en förståelse för hur undersökningsprocessen är ett sätt att skapa kunskap (Ünsal *et al.*, 2025). En nyutkommen avhandling har pekat på betydelsen av att lärare hjälper elever med att formulera undersökningsbara frågor för att genomföra undersökningar (Björnhammer, 2025).

3.5 Naturvetenskapernas karaktär

Kunskaper om naturvetenskapernas karaktär (*Nature of Science*, *NOS*) innebär kunskaper om hur naturvetenskaplig kunskap tas fram och vad som karaktäriserar naturvetenskaplig kunskapsproduktion (Lederman et al., 2002). Detta begrepp är således närliggande naturvetenskapliga undersökningar, men fokuserar i högre grad på epistemologiska snarare än metodologiska aspekter, och utgör ett svar på vad som karaktäriserar naturvetenskaplig kunskapsproduktion jämfört med andra ämnen. För undervisning i grundskolan är en central aspekt av undervisningen kring naturvetenskapernas karaktär frågan vad vi vill att eleverna ska förstå kring naturvetenskapens sätt att ta fram kunskap.

Men vad innebär naturvetenskapernas karaktär i skolan och vilka aspekter av naturvetenskapens sätt att producera kunskap behöver eleverna lära sig? Den mest spridda modellen av naturvetenskapernas karaktär är den så kallade *Konsensusmodellen* (Lederman, 2013), som lyfter fram den empiriska grunden för naturvetenskaplig kunskap, dess tentativa karaktär (den kan alltid omprövas), de kreativa, sociala och kulturella aspekterna av naturvetenskaplig kunskapsproduktion, liksom dess grund i teori. Konsensusmodellen betonar också att elever bör utveckla kännedom om centrala begrepp som observation, slutledning, experiment, lag och teori samt att det inte finns en enda vetenskaplig metod, utan en mångfald av metoder för att producera data. Den mer nyligen utvecklade *Family Resemblance*-modellen för naturvetenskapernas karaktär (efter Ludwig Wittgensteins begrepp *familjelikhet* som beskriver holistiska mönsterlikheter) erbjuder en mer komplex beskrivning av naturvetenskapernas karaktär, som inbegriper institutionella och sociala aspekter av naturvetenskap (Irzik & Nola, 2014). Forskning visar att den didaktiska huvudfrågan och utmaningen när det gäller att undervisa om naturvetenskapernas karaktär återkommande är att anpassa innehållet på ett meningsfullt sätt till elevgruppen (Allchin, 2011). Det finns studier som pekar på att elever utvecklar naiva eller felaktiga uppfattningar om naturvetenskapernas karaktär om undervisningen kring detta saknar en relevant kontextualisering med konkreta exempel (Herman, 2018; Allchin, 2011).

I ljuset av dagens diskussioner om faktaresistens, *fake news* och informationsbubblor blir det av särskild vikt att skolans naturvetenskap kan bidra till att utveckla elevers förståelse för hur naturvetenskaplig kunskap växer fram. Höttecke och Allchin (2020) framhåller behovet av att reflektera över vad det betyder för skolans naturvetenskap att individer i dag i allt högre grad förlitar sig på sociala medier som sin primära källa till vetenskaplig information. Att kritiskt kunna granska frågor relaterade till naturvetenskap som t ex förekommer i media, blir en viktig förmåga att utveckla, och handlar inte bara om att granska om påståenden är sanna eller inte, utan också om att avgöra relevansen av information, bedöma osäkerheter och att kunna skilja mellan vetenskapliga och icke-vetenskapliga frågor (Bromme & Goldman, 2014). Osborne och Allchin (2024) menar i detta sammanhang att undervisning i naturvetenskap i högre grad ska ge eleverna möjlighet att växa till *competent outsiders* där fokus i

undervisningen ska riktas mot naturvetenskapens institutionella processer (som *peer review* och *konsensus*) och att ge eleverna verktyg att bedöma vilka källor som är trovärdiga. De menar att undervisningen ska skapa vad de kallar *epistemic trust* för naturvetenskapen. Detta innebär att skapa ett förtroende för naturvetenskapliga kunskapens systematiska och rigorösa natur, genom att lära eleverna om dess processer och kontrollfunktioner. Potvin *et al.* (2025) har kritiserat denna vision, som de menar kan missförstås. Även om Osborne och Allchin (2024) avser att undervisningen ska minska gapet mellan experter och icke-experter menar Potvin *et al.* (2025) att avståndet i stället kan öka genom att undervisningen i naturvetenskap kan bli mer auktoritär genom att undervisa *om* naturvetenskapens sätt att producera kunskap, snarare än att eleverna ska få pröva att ställa frågor och undersöka. De hävdar att förtroende för naturvetenskap inte är något man kan undervisa om, utan att det snarare är något som växer fram genom att undervisningen ger eleverna egna möjligheter att undersöka och erfara.

Läroplansutredningen (SOU 2025:19) betonar att grundskolans undervisning ska fokusera på grundläggande och beständiga kunskaper och undvika i onödan problematisera den grundläggande kunskapsgrunden. I detta perspektiv kan aspekter som naturvetenskaplig kunskaps tentativa karaktär behöva tonas ner i grundskolan. Det kan dock finnas en problematik med detta. Att undervisa om naturvetenskapernas karaktär kan liknas vid att navigera mellan relativismens Skylla och dogmatismens Karybdis. Å ena sidan finns det en problematik om undervisningen om exempelvis naturvetenskaplig kunskaps tentativa natur ger eleverna en upplevelse av att väletablerade teorier är osäkra, i synnerhet om de inte har uppnått en kunskapsmognad som gör dem redo att hantera detta och inte får tillräckligt stöd. Å andra sidan är det en klassisk problematik att naturvetenskap undervisas som om den vore en serie dogmatiska fakta. Om elever upplever att ifrågasättande och eget kunskapssökande inte har någon plats i det naturvetenskapliga klassrummet har vi - måhända utifrån de bästa intentioner - gjort våld på naturvetenskapens själ (Jidesjö *et al.*, 2009; Potvin *et al.*,2025).

Osborne och Allchin (2024) lyfter fram att naturvetenskapernas tentativa natur och diskussioner och oenighet bland forskare ofta missuppfattas som ett problem för naturvetenskapernas trovärdighet. Tvärtom hävdar de att den systematiska skepticism och kritik som är en del av naturvetenskapens sätt att fungera kan vara något som man kan lyfta fram i undervisningen och som kan stärka förtroendet för naturvetenskapens sätt att producera kunskap. Även om tyngdpunkten i grundskolans kemi bör ligga på grundläggande samband finns det en problematik med att helt utesluta undervisning om naturvetenskapernas karaktär och det som utmärker naturvetenskapens sätt att söka efter kunskap. Med rätt stöd från läraren behöver inte detta resultera i att eleverna utvecklar en skepsis mot naturvetenskap.

Kemiämnets karaktär

Vad som utmärker just kemiämnets sätt att skapa kunskap har diskuterats av bland andra Erduran och Scerri (2002) och Erduran och Duschl (2004). Vestereinen och Aksela (2009) har undersökt blivande kemilärares uppfattningar

av vad som utmärker kemiämnets karaktär. Något som utmärker kemiämnet är det nära förhållandet mellan kemiämnets teori och praktik. Utveckling av teori och praktik har historiskt sett gått hand i hand i kemi (Justi & Gilbert, 2000). Sett utifrån Aristoteles kunskapsformer kan man påstå att kemi utmärks av en förening av techne och episteme genom laborativt arbete. Detta understryker det laborativa arbetets centrala roll för att bilda en förståelse för kemiämnets karaktär och hur kunskapsbyggande har skett genom en sammanflätning av teoretiskt och praktiskt arbete (Bensaude-Vincent & Stengers, 1996). Kemiämnet karaktäriseras av en empirisk tradition som skiljer sig från den inom biologi och fysik. Till skillnad från fysiker använder sig kemister exempelvis gärna av tabellverk, i vilka man empiriskt har kategoriserat olika ämnens egenskaper. Detta är nödvändigt eftersom kemiska ämnen är ofta så komplexa att det är svårt att förutsäga deras egenskaper vid olika tryck och temperatur utifrån teoretiska kvantfysikaliska modeller (Chang, 2017). Inom kemin är det inte lika ofta som i fysiken meningsfullt att göra idealiseringar. Historiskt har kemin haft en mer problemlösande och teknisk eller ingenjörsmässig karaktär, vilket skiljer sig från fysikens mer teoretiska intresse (Sjöström, 2007; Sevian & Talanquer, 2014). Kemins fokus är att analysera, syntetisera och omvandla olika substanser (Sevian & Talanquer, 2014). Denna empiriska och praktiska tradition gör kemiämnet lämpligt för att utveckla ett naturvetenskapligt förhållningssätt hos eleverna. Genom laborativt arbete lär de sig att observera, mäta, väga och behovet av noggrannhet och en objektiv beskrivning av data.

4. Centrala undervisningsstrategier

4.1 Undersökande arbete som undervisningsmetod

Undersökande arbete som ett sätt att undervisa (*inquiry-based science education IBSE*) pekas i en EU-rapport (Rocard et al., 2007) ut som en framgångsrik strategi för att lära elever naturvetenskap. En utgångspunkt för detta är att elevens eget sökande efter kunskap kan fungera motiverande och fördjupa lärandet. Sjøberg (2018) identifierar tre huvudsakliga skäl till undersökande arbete som undervisningsmetod: 1) elever kan lära sig naturvetenskapligt innehåll; 2) eleverna kan lära sig viktiga aspekter av naturvetenskapernas karaktär; och 3) undersökande arbete kan öka elevers intresse och motivation för naturvetenskap.

En del storskaliga internationella studier pekar dock på en negativ koppling mellan undersökande arbete som undervisningsmetod och elevers prestationer i naturvetenskap på internationella test som t ex PISA (Chi *et al.*, 2018; Sjøberg, 2018). Denna slutsats har dock ifrågasatts. Aditomo och Klieme (2020) gör exempelvis en en fördjupad analys av PISA-data och kommer till slutsatsen att

det finns en positiv korrelation mellan strukturerat undersökande arbete med guidning från lärare och elevers prestationer i naturvetenskap på PISA. Deras slutsats är att PISA-resultaten tyder på att strukturerat undersökande arbete generellt innebär ett bättre lärande av naturvetenskap än en ren förmedlingspedagogik.

Kirschner *et al.* (2006) drar slutsatsen att forskningen tyder på att undervisning som bygger på öppna undersökningsformer (*minimal guidance*) leder till sämre lärande än undervisning som är mer lärarstyrd. Särskilt elever med svagare prestationer i ämnet har enligt Kirschner och medarbetare sämre förmåga att ta till sig innehållet i kontextrika undervisningsmiljöer. Kirschner och kollegor ser förklaringen till detta i att det uppstår kognitiv överbelastning hos eleverna (2006). Hmelo-Silver *et al.* (2007) menar dock i ett svar på dessa slutsatser att Kirschner och medarbetare har dragit olika didaktiska och pedagogiska metoder över en kam och behandlar dem alla som *discovery learning*. Exempelvis innebär undersökande eller problembaserat arbete mycket mer av lärarlett stöd än vad Kirschner och kollegors forskningsanalys ger vid handen (Hmelo-Silver *et al.* 2007; Furtak *et al.*, 2012). Dock kan man konstatera att det finns belägg för att öppna, ostrukturerade undersökningar med låg grad av lärarstöd återkommande har visat bristande resultat när det gäller elevers lärande (Mayer, 2004). I en svensk kontext har detta bl a visats av Bergkvist och Säljö (1994). Furtak *et al.* (2012) har gjort en metaanalys över studier av undersökande arbete med olika grad av lärarstöd på en skala från mer traditionell, lärarledd undervisning, över lärarstött undersökande arbete (*teacher guided inquiry*) till elevdrivet undersökande arbete (*discovery learning*). Slutsatserna från den systematiska analysen av Furtak och kollegor är att lärarstött undersökande arbete ger de bästa läranderesultaten i förhållande till begreppsliga, epistemiska och sociala dimensioner av naturvetenskap (Duschl, 2008).

Behovet av lärares stöd är något som lyfts fram i Läroplansutredningen (SOU 2025:19). Läroplansutredningen skriver: *Kursplanerna bör konstrueras så att de endast i begränsad omfattning och mot högstadiets slut innehåller uppgifter som ställer krav på eleverna att självständigt driva, genomföra och utvärdera sitt arbete. Moment som kräver det kan vara motiverade i vissa ämnen som förberedelse för den gymnasiala nivån. I dessa fall behöver uppgifterna genomföras under tydliga och väldefinierade former för att minska risken för kognitiv överbelastning* (SOU 2025:19, 288).

Det finns emellertid en risk att detta tolkas som ett argument för att införa en alltför starkt lärarstyrd undervisning. Forskningen kring undersökande arbete betonar vikten av att elever får erfarenhet av öppna, utforskande undersökningar där deras egna frågor är en viktig del. Styrda och kontrollerade undersökningar (t ex i form av så kallade receptlaborationer) har visat sig ha en negativ inverkan på elevers motivation (Wallin *et al.*, 2020). Slutsatserna från de mer storskaliga analyser som gjorts av Furtak och medarbetare (2012) och Aditomo och Klieme (2020) är att lärarstött undersökande arbete är den mest framgångsrika metoden för lärande i naturvetenskap, snarare än mer traditionell lärarstyrd undervisning.

Som Sjøberg (2018) poängterar kan undersökande arbete motiveras av andra syften än t ex begreppsinlärning. Undersökande arbete kan dels ha en motiverande effekt och kan också öppna elevernas ögon för vissa aspekter av naturvetenskapernas karaktär och arbetssätt (exempelvis att kreativa aspekter lyfts fram, liksom möjligheten att låta egna genuina frågor driva undersökningen). Ett syfte som lyfts fram av Potvin *et al.* (2025) är att det mest effektiva sättet att ge eleverna en känsla för vad som är ett trovärdigt sätt att undersöka någonting är genom att de får erfara naturvetenskapliga undersökningar själva.

Nyligen har en forskningsöversikt över studier av undersökande arbete specifik inom kemi publicerats (Jegstad, 2023). Jegstad har undersökt 102 artiklar publicerade 2000-2020 och konstaterar att forskningen domineras av småskaliga kvantitativa studier. Hon efterlyser fler storskaliga studier som studerar elevers lärande under längre tid. Jegstads (2023) slutsatser kring elevers lärande från undersökande arbete överensstämmer i hög grad med tidigare forskningsresultat och rapporterar övervägande positiva effekter på lärandet av undersökande arbete i kemi, men resultatet pekar också på att studier av det konceptuella (främst inriktat mot begreppsligt lärande) och affektiva (intresse och motivation) området dominerar forskningen, medan det finns få studier av den epistemiska domänen, som inriktar sig på lärande kring naturvetenskapliga undersökningar och naturvetenskapernas karaktär.

Sammantaget kan man konstatera att det finns starkt stöd i forskningen för att använda undersökande arbete som undervisningsmetod, att undersökande arbete kan vara ett sätt att uppnå flera olika syften, men att läraren har en viktig roll att strukturera det undersökande arbetet och guida eleverna så att utmaningen hamnar på rätt nivå. Undersökande arbete framstår som en central och omistlig del av undervisning i naturvetenskap. I det följande avsnittet om laborationer fördjupar vi diskussionen kring olika sätt att genomföra undersökande arbete i form av laborationer.

4.2 Laborationer

En vanlig form av undersökande arbete är laborationer. Laborativt arbete är en central del av kemi som akademiskt ämne, kemi som samhällsverksamhet och ämnestraditionen i skolämnet kemi (Hofstein, 2017). Kursplanen för kemi i Lgr62 framhåller vikten av att laborationer ska ha en central plats i kemiundervisningen i syfte att vidmakthålla elevernas intresse och samtidigt ge kunskaper i ämnet. Man påpekar också att det experimentella arbetssättet ger eleverna kännedom om kemikalier och vana att handskas varsamt med dem (Skolöverstyrelsen, 1962). Situationen i svenska skolor ser idag annorlunda ut än den gjorde när den allmänna grundskolan infördes i början av 1960-talet. En förändring är att tillgången på laborationssalar och laborationsutrustning skiljer sig mellan olika skolor. En annan förändring är att striktare kemikaliehanteringsrutiner har medfört att vissa kemikalier rensats ut från skolor och att man har upphört att genomföra vissa laborationer. Även om de striktare säkerhetsrutinerna är

nödvändiga och positiva kan de oavsiktligt ha bidragit till ett minskat inslag av laborationer i undervisningen. Om man studerar svenska läroplaner och även läroböcker i kemi från 1960-talet till idag så ser man en gradvis minskad tonvikt på laborationer. Den internationella kemididaktiska forskningen betonar betydelsen av att elever genomför laborationer för lärande i naturvetenskap och specifikt för att få en förståelse för kemiämnets karaktär och arbetssätt (Tobin, 1990; Hofstein, 2004; Hofstein & Lunetta, 2004). Laboratoriet är, enligt Lazarowitz och Tamir (1994), den enda plats där elever kan utveckla vissa färdigheter och kunskaper i naturvetenskap. En grundförutsättning för möjligheten för elever att laborera är naturligtvis tillgången på laborationsutrustning och ändamålsanpassade lokaler där laborativt arbete kan bedrivas på ett meningsfullt sätt. Detta måste tillhandahållas av skolan. Nedan diskuterar vi vad den didaktiska forskningen har kommit fram till när det gäller elevers lärande vid laborativt arbete i relation till olika syften.

Hofstein (2017) listar sex syften med att genomföra laborationer:

1. Lärande av naturvetenskapliga begrepp
2. Ökat intresse och motivation
3. Eleverna utvecklar positiva attityder till naturvetenskap
4. Eleverna utvecklar praktiska färdigheter och problemlösningsförmåga
5. Eleverna utvecklar en förståelse för naturvetenskapernas karaktär
6. Eleverna får en möjlighet att *göra* naturvetenskap

Ett sätt att beskriva olika grader av lärarstyrning vid laborationer är begreppet frihetsgrader. Begreppet frihetsgrader har sin grund i Schwabs (1960) tredelade klassifikation i 1) strukturerade undersökningar, där läraren ger både fråga och metod; 2) guidade undersökningar, där läraren ger frågan men inte metoden; och 3) öppna undersökningar där eleverna ges möjlighet att välja både fråga och metod. Laborationer med lägre frihetsgrad innebär alltså att laborationen är mer styrd, medan en högre frihetsgrad ger eleverna större möjlighet att påverka laborationens förlopp. Vid laborationer med frihetsgrad 0 är både fråga/problem, undersökningsmetod och förväntat resultat bestämda i förväg. Laborationer med frihetsgrad 1 innebär att antingen resultatet eller metoden är öppna. Frihetsgrad 2 innebär att både metod och resultat är öppna, medan laborationer med frihetsgrad 3 är helt öppna med avseende på både problemställning, metod och resultat (Gyllenpalm, Wickman & Holmgren, 2010). Man kan tillägga att en laboration med frihetsgrad 3 inte automatiskt innebär att läraren kan inta en passiv roll. Öppna laborationer ställer höga krav på planering och utformning från lärarens sida för att nå ett lyckat resultat, och läraren behöver i allmänhet finnas tillgänglig som resurs för att stötta och svara på frågor.

I en systematisk forskningssammanställning över laborativt arbete i grundskolans högstadium och gymnasiet gjord av Skolforskningsinstitutet (Wallin *et al.*, 2020) konstateras att det inte sällan är en utmaning för elever att utveckla sin

begreppsförståelse inom ramen för laborationer, men att det stöd som eleverna får i mötet med ämnesinnehållet är avgörande för deras lärande. Hur väl en viss laboration fyller sitt syfte påverkas av hur den integreras i den övriga undervisningen. Laborationerna gör det möjligt för eleverna att öva på hur de kan synliggöra eller omsätta begreppsliga kunskaper i praktisk handling. En lyckad laboration kan tydliggöra sambanden mellan det som händer på de olika nivåerna i den kemididaktiska triangeln, och det laborativa arbetet innebär också att eleverna tränas i att koppla ihop de tre nivåerna. Laborationer har en central roll när det gäller att utveckla techne, färdighetskunskaper i kemi, som att hantera laborationsutrustning och att planera och genomföra undersökningar. När det gäller tillägnande av episteme, teoretiska kunskaper, har forskning sedan länge påpekat att det inte finns något automatiskt samband mellan att genomföra laborationer och uppnå teoretiska kunskaper (Gunstone, 1991). Huruvida de laborativa aktiviteterna ska resultera i relevant episteme beror på laborationernas uppläggning och det stöd som läraren kan ge eleverna för att koppla de laborativa aktiviteterna till teoretiskt kunskapsinnehåll. Som Sjøberg (2000) har påpekat kan eleverna rulla kulor tills de blir blå i ansiktet utan att upptäcka Newtons lagar, vilket visar på risker med att utforma laborationer utifrån *discovery learning*, med otydlig struktur och otillräcklig stöttning. Skolforskningsinstitutets forskningssammanställning (Wallin et al., 2020) visar dock att laborationer kan bidra till att utveckla elevers begreppsliga ämneskunskaper. Sammantaget tyder Skolforskningsinstitutets forskningssammanställning på att guidade undersökningar med en frihetsgrad på mellannivå ofta ger elever bättre möjligheter att utveckla ämneskunskaper än bekräftande undersökningar, d v s mer slutna undersökningar, främst så kallade receptlaborationer (Wallin, et al., 2020). Den guidade undersökningen kan främja elevers begreppsförståelse genom att läraren vägleder eleverna framåt, men samtidigt gör det på ett sätt som uppmuntrar till att de regelbundet reflekterar över relevansen för ämnesinnehållet och målen.

Bekräftande laborationer med låg frihetsgrad kan enligt Skolforskningsinstitutets forskningssammanställning (Wallin, et al., 2020) fungera väl om laborationen är kort och har ett avgränsat innehåll, men undersökningar med låg frihetsgrad har inte sällan en negativ påverkan på elevernas motivation, i synnerhet om de inte varvas med mer öppna undersökningar. Ifall syftet med en laboration t ex är att träna att handha en viss laborationsutrustning eller att helt enkelt ge eleverna en första erfarenhet av ett visst fenomen, t ex att mäta pH-värden eller dylikt, kan en laboration med frihetsgrad ett eller noll fungera väl. När det gäller öppna undersökningar, där elever har allra mest eget handlingsutrymme, antyder resultaten att det kan vara svårare att få eleverna att lyckas om målet är att de ska utveckla ämneskunskaper. Samtidigt ger öppna undersökningar möjligheter för eleverna att utveckla insikter om naturvetenskapernas karaktär som inte på samma sätt är möjliga med laborationer med lägre frihetsgrad (Wallin et al., 2020).

Man kan också nämna att inom kemiämnet behöver elever ha uppnått förhållningssätt i relation till säkerhet som gör det möjligt för dem att genomföra öppna undersökningar som involverar någon form av riskmoment.

När det gäller att genomföra en undersökning visar Skolforskningsinstitutets forskningssammanställning (Wallin, et al., 2020) att även när eleverna har en teoretisk förståelse av utrustningen kan det vara en utmaning för dem att omsätta kunskaperna i praktisk handling. Enbart att läsa skriftliga instruktioner är inte tillräckligt för att elever ska förstå hur de ska använda laborationsmaterial och genomföra undersökningar. Elever behöver också förstå syftet med att använda viss laborationsutrustning. För att eleverna ska kunna genomföra undersökningar behöver de återkommande praktisk träning att genomföra undersökningar och hantera utrustning. De färdigheter som eleverna behöver för att genomföra en viss procedur är ofta specifika och måste övas in (Wallin et al., 2020).

När det gäller att värdera resultat tyder forskningen på att elever behöver stöd för att kunna möta kravet på att eftersträva objektivitet för att undvika att förväntningar och fördomar får genomslag när de ska värdera sina observationsresultat. Elever behöver också stöd från lärare med att göra kopplingar mellan egna observationsresultat och vedertagen naturvetenskaplig kunskap. Elever behöver träning i att kunna konstruera giltiga argument utifrån sina resultat. Lärarens förklaringar till elevers frågor under laborationerna blir betydelsefulla för att de ska lyckas med detta. Det kan gynna elevernas förståelse för naturvetenskapliga undersökningar om man kan uppmärksamma eleverna på att observationer sällan är perfekta. Utan tydligt stöd från läraren finns en risk att eleverna stannar vid enkla beskrivningar av vad som sker och exempelvis bortser från avvikelser i data (Wallin et al., 2020).

4.3 Vetenskapshistoria och vetenskapsfilosofi i undervisningen

Vetenskapshistoria kan utgöra en kontext eller utgångspunkt för undervisningen, t ex kan man illustrera förbränning genom att ta upp det vetenskapshistoriska sammanhang i vilket syret upptäcktes av Lavoisier, Priestley och Scheele och vilka frågor de försökte lösa vid denna tid. En annan möjlighet är att beskriva tillkomsten av det periodiska systemet och det samband mellan grundämnena som Mendelejev lyckades påvisa. Vetenskapshistoria kan också utgöra ett innehåll i undervisningen som elever bör lära sig något om utifrån en uppfattning om naturvetenskap som en viktig del av vår kultur och historia (Shen, 1975). Vetenskapshistoria och vetenskapsfilosofi kan också användas i undervisningsdesign som syftar till att elever ska lära sig om naturvetenskapernas karaktär och naturvetenskapliga undersökningar. Den internationella forskningstidskriften *Science & Education* har sin utgångspunkt i fältet *History and Philosophy of Science* (*HPS*) och publicerar didaktisk forskning som använder vetenskapshistoria och vetenskapsfilosofi i undervisningen i naturvetenskap. Exempelvis har Justi och Gilbert (2000) presenterat ett HPS-

grundad vis att undervisa kring atomen, utifrån olika atommodeller som har presenterats under vetenskapshistorien. Genom detta kan eleverna bibringas kunskaper om modellering och modellers roll i kemin (naturvetenskapernas karaktär), de kan lära sig vetenskapshistoria, samt de kan få en mer välförankrad förståelse för det begreppsliga kemiinnehållet genom att de får en förståelse för vilka frågor som kemisterna försökte lösa historiskt och att de begrepp, teorier och modeller de undervisas om är svar på dessa frågor.

4.4 Kontextbaserat lärande

Att låta naturvetenskaplig undervisning utgå från kontextbaserat lärande är en inriktning som har utvecklats under flera decennier (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007). Syftet med att använda en kontextbaserad utgångspunkt är att överbrygga klyftan mellan lärande i skolan och vardagslivet (Stuckey, Hofstein, Mamlok-Naaman & Eilks, 2013). Exempelvis har erfarenheterna från kontextbaserad undervisning i kemi utifrån den så kallade Salters-modellen visat framgångsrika resultat i Storbritannien (Pilling *et al.*, 2001). En genomgång av forskning om kontextbaserat lärande i kemi (King, 2012), visar tydligt positiva effekter på elevers motivation. Dock är bilden av kontextbaserad undervisnings effekt när det gäller naturvetenskapligt lärande mer splittrad (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007), även om den kan sägas vara övervägande positiv (Bennett, 2003). Sevian och Talanquer (2014) påpekar exempelvis risken att de kemiska begreppen kommer i skymundan när fokus hamnar på en specifik kontext som ska driva elevernas motivation. Såväl King (2012) som Bennett (2003) konstaterar dock i sina forskningsgenomgångar att elever lär sig kemiska begrepp minst lika väl genom kontextbaserade kurser som genom mer traditionell undervisning.

Men vad innebär då kontextbaserat lärande? Eftersom det finns en närmast outtömlig mångfald av möjliga kontexter som kan användas i kemiundervisning kan det vara svårt att hitta en enkel definition. Nentwig *et al.*, (2007) definierar kontexten som den röda tråden utefter vilken frågan och undersökningen utvecklas, vilket tydligt skiljer kontextbaserat lärande från en inledande kontext som endast fungerar som ingång till ett visst tema. Gilbert (2006) framhåller att termen “kontext” i kemiundervisningen kan användas med olika innebörd i olika sammanhang och att kontexten exempelvis kan utgöra ett exempel på tillämpning av ett kemiskt begrepp, eller en situerad ram för undervisningen där eleverna tillämpa sina kemiska kunskaper och kompetenser. Syftet med en kontext är generellt att vara en utgångspunkt för frågor som skapar ett behov av lärande hos eleverna och ett behov av att kunna behärska kemiska begrepp. Kontexten innebär ofta någon form av vardagssammanhang som eleverna är bekanta med, men det kan också innebära att eleverna får gå in i någon form av professionell kontext, för att därigenom få nya perspektiv på hur kunskaper i kemi kan användas och också öka motivationen att lära. Det finns ett flertal studier av kontextbaserat lärande i kemi. Exempelvis har Broman och Parchmann (2014) undersökt kontextbaserad undervisning kring välbekanta smärtstillande medel och de kemiska egenskaperna hos deras verksamma substanser. Broman och Parchmann

påpekar att det är vanligt att kontextbaserad undervisning examineras traditionellt med skriftliga prov med vag eller ingen kontext. I denna undervisningsdesign gavs därför också examinationen en kontextbaserad form. Resultaten visade att eleverna hade förmåga att tillämpa kemiska begrepp kring substansernas kemiska egenskaper (t ex löslighet) men att de också uppvisade svårigheter med vissa begrepp, främst relaterade till kemisk bindning (Broman och Parchmann, 2014). I en annan studie av Parchmann *et al.* (2006) inom ramen för det tyska projektet *Chemie im Kontext* designades undervisningen för att fokusera elevernas begreppsliga lärande och användande av kemiska begrepp, i syfte att undvika ett alltför starkt fokus på kontexten snarare än de ingående kemiska begreppen.

I flera europeiska länder, som exempelvis Tyskland, Nederländerna och Storbritannien, finns exempel på kursplaner som har en explicit inriktning mot kontextbaserad undervisning i kemi (Broman och Parchmann, 2014). Kontextbaserat lärande utgår liksom undervisning baserad på SNI (se nedan) utifrån ett vision II (eller möjligen vision III)-perspektiv på naturvetenskaplig medborgarbildning. Fokus ligger inte bara på att eleverna ska lära sig kemiska begrepp, utan också på att de ska kunna *använda* dessa begrepp i för dem meningsfulla sammanhang. En viktig poäng är också att ge eleverna insikten att de kan använda sina kemikunskaper utanför skolan. Jesper Sjöström (2013) beskriver hur skolans kemiundervisning bör utgå från ett bildnings- (*Bildung*)-orienterat synsätt, där elevernas kunskaper i kemi ska få dem att växa som individer och därigenom bidra till ett demokratiskt samhälle.

4.5 SNI - Samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll

Till skillnad från kontextbaserat lärande som vanligen utgår från någon form av vardagssammanhang, utgår undervisning baserad på samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll (SNI) från någon form av samhällsfråga som har en dimension av dilemma som behöver lösas. SNI är den svenska beteckningen för det som internationellt kallas *SSI* (*socio-scientific issues*). Samhällsfrågor har under lång tid använts som en kontext för naturvetenskaplig undervisning. På 1970- och 80-talen växte sig internationellt den så kallade STS (*Science-Technology-Society*)-traditionen fram som ett sätt att göra undervisningen i naturvetenskapliga ämnen mer relevant för eleverna genom att koppla aktuell teknik till naturvetenskap och samhällsfrågor (Aikenhead, 1994). SNI kan sägas utgöra en fortsättning på STS-traditionen och har karaktären av öppna problem, utan något givet rätt svar. Vidare har SNI en tvärvetenskaplig karaktär och eleverna behöver kunskaper från flera olika områden för att kunna förstå problemet och argumentera för ett ställningstagande (Zeidler *et al.*, 2005). Ställningstaganden i SNI innebär i de flesta fall någon form av ”cost-benefit”-analys, där alla möjliga lösningar innebär någon form av nackdel. Användningen av SNI i undervisningen syftar till att träna eleverna på att hantera den typ av problem som de kommer att behöva hantera senare i livet, vilka till skillnad från traditionella skoluppgifter saknar facit och rätta svar. En viktig dimension av SNI-

baserad undervisning är att ge eleverna träning för att utveckla fronesis, något som brukar vara svårt att uppnå i skolans undervisning. Ratcliffe och Grace (2003) har definierat SNI som aktuella frågor, vilka är viktiga för samhället och som har en grund i naturvetenskap. SNI innebär ställningstaganden och olika val på personlig och social nivå, ofta förekommer i media, innehåller ofullständig och motsägande information på grund av intressekonflikter och ofta ofullständiga vetenskapliga bevis, verkar på lokal, nationell och global nivå med viktiga politiska och sociala effekter, kan kräva viss användning av riskanalyser, kan innehålla frågor om hållbar utveckling, innehåller värderingar och har i princip alltid en etisk dimension (Ratcliffe & Grace, 2003). Dana Zeidler, som kan sägas vara den som inom den internationella didaktiska forskningen har formulerat SNI-begreppet, betonar den etiska karaktären hos SNI och har i en nyutkommen bok argumenterat för att SNI-undervisning innebär en kombination av naturvetenskapligt undersökande och moraliskt undersökande (*scientific inquiry and moral inquiry*) (Zeidler, 2024).

4.6 Visualiseringar, drama, fältstudier

Visualiseringar

Ett sätt att representera naturvetenskapliga modeller är genom olika former av visuella representationer. Visuella representationer utgör tillsammans med olika slags fysiska modeller ett sätt att göra kemins abstrakta submikronivå tillgänglig för elever (Ryoo *et al.*, 2018). Visualiseringar kan exempelvis utgöras av stillbilder (t ex grafer eller olika slags figurer), vridbar datorgrafik eller andra dynamiska visualiseringar som animationer. Forskning visar att det ofta tar tid för elever att utveckla förmågan att tolka visuella representationer inom kemi (Schönborn & Anderson, 2010). Inom kemi och biokemi är visualiseringar ett fält som har expanderat kraftigt under senare år, och det finns nu en rik flora av olika former av visuella representationer som lärare potentiellt skulle kunna ha nytta av (inte minst olika slags animeringar och filmer som finns fritt tillgängliga på internet). Forskning kring elevers lärande kring visuella representationer visar att elevers föreställningar ofta är bundna till de visuella representationer som har presenterats för dem i undervisningen (Kozma & Russell, 2005). Utifrån ett perspektiv av att naturvetenskapen arbetar med modeller och modellering har man därför pekat på behovet av att använda flera olika typer av visuella representationer för att gestalta ett visst kemiinnehåll (Ainsworth, 1999). Elever kan dock ha svårigheter att på egen hand applicera det begreppsliga innehåll som de lärt sig utifrån en viss visuell representation på en annan typ av representation (så kallad *transfer of knowledge*), utan behöver stöd för detta av läraren (Schönborn & Bögeholz, 2009). Olika former av visualiseringar kan understödja olika aspekter av lärande. Enkla, schematiska representationer i form av t ex stillbilder kan tydliggöra begrepp och hur dessa kopplar till varandra, men de kan också vara en källa till oavsiktliga missuppfattningar eftersom elever kan läsa in oavsedda budskap i dessa (t ex Menger *et al.*, 1998). Värdet av animationer för lärande har i viss utsträckning varit omdebatterat i forskningen. Forskning av bl a

Lewalter (2003) och Tversky och kollegor (2002) har visat att animationer kan ge upphov till kognitiv överbelastning hos elever på grund av att de innehåller för mycket information. Annan forskning specifikt inom kemiområdet har visat att att animationer kan ha ett värde om de används på ett välintegrerat sätt i kemiundervisningen, t ex när det gäller att dynamiska och komplexa aspekter av interaktion mellan partiklar och att gå från två till tre dimensioner (Wu *et al.*, 2001; Rundgren & Tibell, 2010; Ryoo & Linn, 2012). En annan aspekt av visualiseringar är att elever kan skapa olika former av visualiseringar för att på så sätt uttrycka sina tankar i naturvetenskap (Ainsworth *et al.*, 2011). Visualiseringar kan användas för dokumentation av undersökningar, eller som estetiska uttrycksformer i syfte att gestalta naturvetenskap, exempelvis genom att låta elever teckna eller tillverka andra former av representationer. Detta kan bland annat vara ett stöd för lärandet i ämnet och ett sätt att öka elevernas deltagande och engagemang i kemiundervisningen.

Drama i kemiundervisningen

Danckwardt-Lillieström (2024) visar i en avhandling att drama kan användas på olika sätt i undervisning i kemi. Dels finns olika former av rollspel där elever kan förstärka lärandet av kemiska begrepp genom att exempelvis ikläda sig rollen som partiklar och illustrera elektrostatisk interaktion genom rörelse (Danckwardt-Lillieström *et al.*, 2020). En poäng med detta slags drama är dels att ge en multimodal variation i sättet att bearbeta begreppen, men också att ett kroppsligt deltagande kan förstärka långtidsminnet på ett annat sätt än om eleverna enbart läser eller hör läraren förklara begreppen. Ødegaard (2023) skiljer mellan mer strukturerade former av drama i naturvetenskaplig undervisning och mer explorativa. Drama av mer explorativ karaktär kan exempelvis behandla SNI-frågor eller hållbarhetsfrågor, i vilka eleverna får genomleva frågor av mer komplex karaktär och exempelvis argumentera utifrån en viss roll eller ett visst perspektiv. Ødegaard (2023) framhåller möjligheten att använda drama i undervisning för hållbar utveckling i syfte att ge elever en djupare förståelse för frågornas komplexa karaktär. Drama kan också användas för undervisning kring naturvetenskapernas karaktär. En vanlig form av drama i naturvetenskaplig undervisning sker utifrån ett HPS-perspektiv, där elever får ikläda sig rollen som historiska naturvetare.

Fältstudier

I jämförelse med biologiämnet har fältstudier inte en lika framträdande roll i kemi. Dock är det väsentligt att kemiska aspekter och kemiska undersökningsmetoder inte tappas bort i samband med att man gör fältstudier. I de yngre åren kan kemiska aspekter av naturfenomen som eleverna träffar på, t ex observationer av olika aggregationstillstånd och exempel på fasförändringar, eller meteorologiska fenomen vara en del av fältstudier. I äldre år kan kemiska mätningar av t ex pH i vattendrag utgöra exempel på kemiska undersökningsmetoder som man kan göra i fält. Det finns en rik litteratur om de

olika syften man kan uppnå med utomhusdidaktik i naturvetenskapliga ämnen (Szczepanski, 2025).

4.7 Undervisning för hållbar utveckling och grön kemi

Undervisning för hållbar utveckling är ett fält som globalt har växt kraftigt under de senaste decennierna. UNESCO utlyste *Decade of Education for Sustainable Development* 2005-2015, vilket understryker den viktiga roll som utbildning har att fylla för att skapa en hållbar framtid. Kemiämnet kan på ett avgörande sätt bidra till detta. Grön kemi (hållbar kemi och cyklisk kemi är i princip synonyma beteckningar) är ett område som finns nämnt i allt fler läroplaner på senare år och har blivit ett sätt att beskriva hur alla aspekter av kemi (undervisning är naturligtvis en central del av detta) kan bidra till hållbar utveckling. Begreppet grön kemi utvecklades under 1990-talet och har som ett av sina huvudsyften att minska omloppet av skadliga och potentiellt skadliga substanser redan i produktionsledet, snarare än att fokusera på rening av de utsläpp som redan skett. Fokus inom grön kemi ligger på ny design av ämnen, nya material och cyklicitet. Grön kemi kan sägas representera en annan, mer samtida, kemi än den bild av kemi och kemiindustri som växte fram under decennierna närmast efter andra världskriget.

Slutsatser

Kemiämnet bör undervisas på ett varierat sätt för att ge möjlighet för så många elever som möjligt att ha utbyte av undervisningen. Undervisningen bör utgå från att majoriteten av eleverna i grundskolan inte ska fortsätta att läsa naturvetenskap, men den ska också ge en god grund för de elever som vill fortsätta med naturvetenskapliga studier och med kemi. För båda grupperna av elever är det viktigt att göra kopplingar mellan kemiinnehållet och deras vardagserfarenheter och med det omgivande samhället. I synnerhet för den senare gruppen är det viktigt att kemiämnets karaktär inte tappas bort, utan att de under grundskolan kan få en “smak” för vad kemi innebär och om detta är något som passar för dem och deras livsval.

Forskningen pekar på vikten av att eleverna genomför laborationer för att uppnå flera olika lärandemål. Tillhandahållandet av adekvat utrustning för att genomföra undersökande arbete och specifikt laborationer blir därför grundläggande för kemiundervisningen. På högstadiet innebär detta utrustad labbsal, medan det på låg- och mellanstadiet kan innebära tillgång till rinnande vatten; dessutom behöver laborativt arbete genomföras i mindre konstellationer än helklassundervisning. Kemiämnet spelar en viktig roll för att elever ska utveckla

ett naturvetenskapligt förhållningssätt. Laborationer i kemi utgör en viktig träning i noggrannhet när det gäller att samla in data. Att utveckla färdigheter som att mäta, väga och observera är centrala delar av lärandet i kemi.

Undervisningen i låg- och mellanstadiet bör utgå från olika former av undersökande och praktiskt arbete. NO-undervisningen i de tidigare åren har en viktig roll för att knyta elevers vardagserfarenheter till naturvetenskapliga beskrivningar av världen. Det är värdefullt att fånga upp elevernas nyfikenhet på världen omkring dem. Läraren har en viktig roll som riktningsgivare för undersökningarna och för att hjälpa eleverna att sätta ord på sina upplevelser. Låg- och mellanstadiets undervisning ska ge eleverna en grund till utvecklingen av naturvetenskapliga begrepp. Naturvetenskapliga termer kan införas, men forskningen pekar på vikten av att elever får bearbeta nya fenomen och begrepp med de språkliga och teckenskapande resurser som de behärskar.

Under grundskolans senare år är det lämpligt att i högre grad än tidigare knyta kemin till samhälleliga aspekter för att skapa relevans för eleverna. Samtidigt visar forskningen att kemiinnehållet tenderar att snabbt bli komplext när man utgår från samhällsfrågor eller vardagskontexter. Läraren bör därför välja ut exempel där man kan finna enkla samband i vilka eleverna kan uppleva att de kan använda sina kemikunskaper. Det finns en risk att kemiinnehållet endast behandlas ytligt om den ämnesmässiga komplexiteten blir för stor för eleverna att hantera. Parallellt med undervisning som utgår från vardagskontexter eller samhällsfrågor är det därför lämpligt att också använda enkla och tydliga inomvetenskapliga exempel som illustrerar grundläggande kemisk teori och centrala begrepp. Enkla, bekräftande laborationer kan fylla en sådan roll. Laborationerna bör dock inte bara ha denna karaktär, utan eleverna behöver också genomföra laborationer med högre frihetsgrad. En balans mellan en vision 1- och en vision 2-baserad undervisning är något vi förespråkar, särskilt när det gäller högstadiets kemi. Undervisningen bör undvika ett alltför starkt fokus på träning av procedurer, vars sammanhang och mening är otydlig för eleverna. Högstadiets kemiundervisning bör introducera kemisk formelskrivning och enkla strukturformler. Det finns inget behov av att träna beräkningar i grundskolan, men träning i att läsa, avkoda och skriva enkla kemiska formler kan betraktas som en central del av högstadiets kemi. Genom undervisningen ska eleverna ges en ökad förståelse för naturvetenskapliga undersökningar och naturvetenskapernas karaktär.

Fuller (2002) har beskrivit kemi som ett ämne som kan ha tre olika syften: att undersöka naturens hemligheter (modus 1); att lösa problem för industrin eller staten (modus 2); eller att bidra med förståelse för lösningar på globala problem (modus 3). Dessa syften behöver inte stå i motsats till varandra, utan kan integreras och harmoniseras i väldesignad kemiundervisning. Kemiämnet kan på ett unikt sätt bidra till en grundläggande förståelse av många av de samhälls- och hållbarhetsutmaningar vi nu står inför, och ger genom detta ett medborgarbildande bidrag till skolans demokratiuppdrag. Skolans kemi lägger den första ämnesgrunden för de naturvetare och ingenjörer som kommer att ta

fram nya material, metoder, processer, idéer och lösningar som kommer att vara väsentliga för att hantera dessa utmaningar. Kemiämnet kan också ge ett unikt bidrag till att elever utvecklar en förståelse för vad ett naturvetenskapligt förhållningssätt innebär, och därigenom bidra till deras analytiska förmåga, problemlösningsförmåga och beslutsfattande. Väl utförd undervisning i kemi kan få individer att växa i kunskaper, förmågor och förhållningssätt och bidra till deras möjligheter att forma ett meningsfullt liv och bidra till vårt framtida samhälle.

Referenser

Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education, 88* (3), 397–419. https://doi.org/10.1002/sce.10118

Aditomo, A., & Klieme, E. (2020). Forms of inquiry-based science instruction and their relations with learning outcomes: Evidence from high and low-performing education systems. *International Journal of Science Education*, *42*(4), 504-525.

Aikenhead, G. (1994). What is STS in science teaching? In: J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.) *STS education: International perspectives on reform.* New York: Teachers College Press.

Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & education*, *33*(2-3), 131-152.

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, *333*(6046), 1096-1097.

Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, *95*(3), 518-542.

Ausubel, D. 1968. *Educational psychology – a cognitive view.* New York: Holt, Rinehart and Winston INC.

Beck, U. (1992). From industrial society to the risk society: Questions of survival, social structure and ecological enlightenment. *Theory, culture & society*, *9*(1), 97-123.

Bennett, J. (2003). Context-based approaches to the teaching of science. *Teaching and learning science: A guide to recent research and its applications*, 99-122.

Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. Science Education, 91, 347-370.

Bensaude-Vincent, B., & Stengers, I. (1996). *A history of chemistry*. Harvard University Press.

Ben-zvi-Assarf, Assaraf, O. & Orion, N. (2010). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *47*(5), 540-563.

Bergqvist, K., & Säljö, R. (1994). Conceptually blindfolded in the optics laboratory. Dilemmas of inductive learning. European Journal of Psychology of Education, 9, 149–158. doi:10.1007/BF03173550

Bergqvist, A., Drechsler, M., De Jong, O., & Chang Rundgren, S. N. (2013). Representations of chemical bonding models in school textbooks–help or hindrance for understanding?. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(4), 589-606.

Björnhammer, S. (2025). *Naturvetenskapligt undersökande som kunskapsmål för undervisningen på högstadiet och gymnasiet: Kunskapsprodukter ur didaktisk praktiknära forskning* (Doctoral dissertation, Institutionen för ämnesdidaktik, Stockholms universitet).

Blanco, A., and Prieto, T. (1997). Pupils' views on how stirring and temperature affect the dissolution of a solid in a liquid: A cross-age study (12 to 18). *International Journal of Science Education 19*, 303-315

BouJaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of research in science teaching*, *28*(8), 689-704.

Broman, K., & Parchmann, I. (2014). Students' application of chemical concepts when solving chemistry problems in different contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*(4), 516-529.

Bromme, R., and Goldman, S. R. (2014). The public's bounded understanding of science. *Educational Psychologist*, 49, 59–69.

Brown, B. A., & Ryoo, K. (2008). Teaching science as a language: A "content-first" approach to science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(5), 529-553.

Bybee, R. W. (2000). Teaching science as inquiry. In J. Minstrell & E. H. van Zee (Eds.), Inquiry into inquiry learning and teaching in science (pp. 20–46). American Association for the Advancement of Science

Çalýk, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. V. (2005). A review of solution chemistry studies: Insights into students' conceptions. *Journal of Science Education and Technology*, *14*(1), 29-50.

Chang, H. (2017). What history tells us about the distinct nature of chemistry. *Ambix*, *64*(4), 360-374.

Chi, S., Liu, X., Wang, Z., & Won Han, S. (2018). Moderation of the effects of scientific inquiry activities on low SES students' PISA 2015 science achievement by school teacher support and disciplinary climate in science classroom across gender. *International journal of science education*, *40*(11), 1284-1304.

Danckwardt-Lillieström, K. (2024). *Bringing Chemistry to Life: Exploring how drama can support students' learning in upper secondary chemistry education* (Doctoral dissertation, Department of Teaching and Learning, Stockholm University).

Danckwardt-Lillieström, K., Andrée, M., & Enghag, M. (2020). The drama of chemistry–supporting student explorations of electronegativity and chemical

bonding through creative drama in upper secondary school. *International Journal of Science Education*, *42*(11), 1862-1894.

DeBoer G. E. (2000) Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching 37*(6),582–601.

de Jong, O. (2006). Making Chemistry Meaningful. Conditions for Successful Context-based Teaching. Educación Química, 17, 215-221.

de Jong, O., & Treagust, D. (2002). The teaching and learning of electrochemistry. In *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 317-337). Dordrecht: Springer Netherlands.

de Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in teaching the topic of redox reactions: Actions and conceptions of chemistry teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(10), 1097-1110.

Drechsler, M., & Schmidt, H. J. (2005). Textbooks' and teachers' understanding of acid-base models used in chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, *6*(1), 19-35.

Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of research in education*, *32*(1), 268-291.

Düsing, K., Asshoff, R., & Hammann, M. (2019a). Tracing matter in the carbon cycle: Zooming in on high school students' understanding of carbon compounds and their transformations. *International Journal of Science Education*, *41*(17), 2484-2507.

Düsing, K., Asshoff, R., & Hammann, M. (2019b). Students' conceptions of the carbon cycle: Identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *Journal of Biological Education*, *53*(1), 110-125.

Ebenezer, J. V., & Erickson, G. L. (1996). Chemistry students' conceptions of solubility: A phenomenography. *Science education*, *80*(2), 181-201.

Erduran S. and Duschl R., (2004), Interdisciplinary characterizations of models and the nature of chemical knowledge in the classroom, *Studies in Science Education 40*, 111–144.

Erduran S. and Scerri E., (2002), The nature of chemical knowledge and chemical education, in J. Gilbert, O. de Jong. R. Justi, D. Treagust and J. van Driel (eds.), *Chemical education: towards research-based practice,* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 7–27.

Ferguson, B., & Waxman, S. (2017). Linking language and categorization in infancy. *Journal of child language*, *44*(3), 527-552.

Forbes, C., Vo, T., Zangori, L., & Schwarz, C. (2015). Scientific models help students understand the water cycle. *Science and Children*, *53*(2), 42-49.

Fuller, S.: 2002, Knowledge Management Foundations, Boston: Butterworth Heine

Gilbert, J. K. (2006). On the nature of ‘context’ in chemical education. *International Journal of Science Education, 28*(9), 957–976.

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Towards authentic learning in Science Education. In *Modelling-based teaching in science education* (pp. 41-56). Cham: Springer International Publishing.

Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of research in Science Teaching*, *29*(6), 611-628.

Gunstone, R. F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In B. E. Woolnough (Ed.), Practical science (pp. 67–77). Milton Keynes: Open University Press

Gyllenpalm, J., Wickman, P. O., & Holmgren, S. O. (2010). Secondary science teachers’ selective traditions and examples of inquiry-oriented approaches. *Nordic Studies in Science Education*, *6*(1), 44-60.

Gyllenpalm, J., & Wickman, P.-O. (2011). “Experiments” and the inquiry emphasis conflation in science teacher education. Science Education, 95(5), 908–926. https://doi.org/10.1002/sce.20446

Gyllenpalm, J., Rundgren, C.- J., Lederman, J., & Lederman, N. (2022). Views about scientific inquiry: A study of students’ understanding of scientific inquiry in grade 7 and 12 in Sweden. *Scandinavian Journal of Educational Research*, *66*(2), 336-354.

Haglund, J. (2013). Collaborative and self-generated analogies in science education. *Studies in science Education*, *49*(1), 35-68.

Harlen, W. E. (Ed.) (2010). *Principles and big ideas of science education.* Hatfield, Herts: Association for Science Education.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education, 22*(9), 1011-1026.

Herman, B. C. (2018). Students' environmental NOS views, compassion, intent, and action: Impact of place-based socioscientific issues instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, *55*(4), 600-638.

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problembased and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist, 42*(2), 99–107. https://doi.org/10.1080/00461520701263368

Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry education research and practice*, *5*(3), 247-264.

Hofstein, A. (2017). The role of laboratory in science teaching and learning. In *Science Education: An international course companion* (pp. 357-368). Rotterdam: SensePublishers.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, *88*(1), 28-54.

Hofstein, A., & Kesner, M. (2006). Industrial chemistry and school chemistry: Making chemistry studies more relevant. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 1017-1039.

Höttecke, D., & Allchin, D. (2020). Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. *Science Education*, *104*(4), 641-666.

Irzik, G., & Nola, R. (2013). New directions for nature of science research. In *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 999-1021). Dordrecht: Springer Netherlands.

Jahic Pettersson, A., Danielsson, K., & Rundgren, C.- J. (2020). 'Traveling nutrients': how students use metaphorical language to describe digestion and nutritional uptake. *International Journal of Science Education*, *42*(8), 1281-1301.

Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based chemistry education: a systematic review. *Studies in Science Education*, *60*(2), 251-313.

Jidesjö, A., Oscarsson, M., Karlsson, K. G., & Strömdahl, H. (2009). Science for all or science for some: What Swedish students want to learn about in secondary science and technology and their opinions on science lessons. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education*, *5*(2), 213-229.

Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *Chemistry in Britain*, *18*(6), 409-410.

Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning, 7*, 75-83.

Justi, R., & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of'the atom'. *International Journal of Science Education*, *22*(9), 993-1009.

King, D. (2012). New perspectives on context-based chemistry education: using a dialectical sociocultural approach to view teaching and learning. Studies in Science Education, 48(1), 51- 87.

Kirschner, P., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why unguided learning does not work: An analysis of the failure of discovery learning, problem-based learning, experiential learning and inquiry-based learning. Educational Psychologist, 41(2), 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1

Klafki, W. (2006). Didaktik analysis as the core of the preparation of instruction. In *Rethinking schooling* (pp. 126-144). Routledge.

Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. *Visualization in science education*, *1*, 121-146.

Kronik, L., Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., & Hofstein, A. (2008). A new" bottom-up" framework for teaching chemical bonding. *Journal of chemical education*, *85*(12), 1680.

Lager-Nyqvist, L., Wickman, P.-O., Lundegård, I., Lederman, J. S., & Lederman, N. G. (2011). Vad lär sig elever när de gör naturvetenskapliga undersökningar? Att bedöma begreppsligt vetande och praktiskt kunnande. In R. Säljö (Ed.), Lärande och minne som sociala praktik [Learning and remembering as social practice] (pp. 106–125). Norstedts.

Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. *Handbook of research on science teaching and learning*, 94-130.

Lee, T. D., Gail Jones, M., & Chesnutt, K. (2019). Teaching systems thinking in the context of the water cycle. *Research in Science Education*, *49*(1), 137-172.

Lederman, N. G. (2013). Nature of science: Past, present, and future. In *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Routledge.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. Journal of Research in Science Teaching, 39(6), 497–521. https://doi.org/10.1002/tea.10034

Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry— the views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching, 51*(1), 65–83. https://doi.org/10.1002/tea.21125

Lederman, J., Lederman, N., Bartels, S., Jimenez, J., Akubo, M., Aly, S., ... & Zhou, Q. (2019). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry: Establishing a baseline. *Journal of Research in Science Teaching*, *56*(4), 486-515.

Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. Learning and Instruction, 13, 177–189.

Lemke, J. L. (1990). Talking science: language, learning and values. Norwood, New Yersey: Ablex publishing corporation

Levy Nahum, T., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education*, *91*(4), 579-603.

Longden, K., Black, P., and Solomon, J. (1991). Children's inter- pretation of dissolving. *International Journal of Science Edu-cation 13*, 59-68.

Lu, S., Bi, H., & Liu, X. (2018). The effects of explanation-driven inquiry on students' conceptual understanding of redox. *International Journal of Science Education*, *40*(15), 1857-1873.

Löfgren, L., & Helldén, G. (2009). A longitudinal study showing how students use a molecule concept when explaining everyday situations. *International Journal of Science Education*, *31*(12), 1631-1655.

Mayer, R. (2004) Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist, 59*(1), 14-19.

McNaught, A. D., & Wilkinson, A.. (1997). *Compendium of chemical terminology* (Vol. 1669). Oxford: Blackwell Science.

Menger, F. M., Zana, R., & Lindman, B. (1998). Portraying the structure of micelles. *Journal of Chemical Education, 75*(1), 115.

Mercer, N. (2019). *Language and the joint creation of knowledge: The selected works of Neil Mercer*. Routledge.

Miller J. D. (1983) Scientific literacy: A conceptual and empirical overview. *Daedalus 112*(2): 29–48

Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *46*(6), 675-698.

Nentwig, P., Demuth, R., Parchmann, I., Gräsel, C., & Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext: Situated Learning in Relevant Contexts while Systematically Developing Basic Chemical Concepts. *Journal of Chemical Education, 84*(9), 1439-1444.

Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, *23*(7), 707-730.

Osborne, J., & Allchin, D. (2024). Science literacy in the twenty-first century: informed trust and the competent outsider. *International Journal of Science Education*, 1-22.

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational psychologist, 38*(1), 1-4

Papageorgiou, G., & Johnson, P. (2005). Do particle ideas help or hinder pupils' understanding of phenomena? *International Journal of Science Education, 27*(11), 1299–1317.

Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., & Ralle, B. (2006). "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 1041-1062.

Perkins, D. (1998). What is understanding? In M. S. Wiske (Ed.), *Teaching for understanding: Linking research with practice.* San Francisco, CA: Jossey-Bass

Perszyk, D. R., & Waxman, S. R. (2018). Linking language and cognition in infancy. *Annual review of psychology*, *69*(1), 231-250.

Pilling, G., Holman, J., & Waddington, D. (2001). Features-The Salters' experience. *Education in Chemistry*, *38*(5), 131-133.

Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*, 211-227.

Potvin, P., Boissard, B., & Charland, P. (2025). Beyond Blind Trust and Informed Trust: Earned Trust? A Critique of Osborne and Allchin (2024). *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1-9.

Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science Education for Citizenship. Teaching Socio-Scientific Issues.* Maidenhead: Open University Press.

Riquarts, K., & Hopmann, S. (1995). Starting a dialogue: issues in a beginning conversation between Didaktik and the curriculum traditions. *Journal of Curriculum Studies*, *27*(1), 3-12.

Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), Handbook of research on science education (pp. 729–780). Lawrence Erlbaum Associates.

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). Science education now. A renewed pedagogy for the future of Europe. European Commission. http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

Rundgren, C. J., & Tibell, L. A. (2010). Critical Features of Visualizations of Transport through the Cell Membrane – an empirical study of upper secondary and tertiary students' meaning-making of a still image and an animation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *8*(2), 223-246.

Ryoo, K., & Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis?. *Journal of Research in Science Teaching*, *49*(2), 218-243.

Ryoo, K., Bedell, K., & Swearingen, A. (2018). Promoting linguistically diverse students' short-term and long-term understanding of chemical phenomena using visualizations. *Journal of Science Education and Technology*, *27*(6), 508-522.

Schmidt, H. J. (1997). Students' misconceptions—Looking for a pattern. *Science education*, *81*(2), 123-135.

Schmidt, H. J. (2000). Should chemistry lessons be more intellectually challenging?. *Chemistry Education Research and Practice*, *1*(1), 17-26.

Schmidt, H. J., Baumgärtner, T., & Eybe, H. (2003). Changing ideas about the periodic table of elements and students' alternative concepts of isotopes and allotropes. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *40*(3), 257-277.

Schoultz, J., Säljö, R., & Wyndhamn, J. (2001). Heavenly talk: Discourse, artifacts, and children's understanding of elementary astronomy. *Human development*, *44*(2-3), 103-118.

Schwab, J. J. (1960). Inquiry, the science teacher, and the educator. The School Review, 68(2), 176– 195. https://doi.org/10.1086/442536

Schönborn, K. J., & Bögeholz, S. (2009). Knowledge transfer in biology and translation across external representations: experts' views and challenges for learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *7*(5), 931-955.

Schönborn, K. J., & Anderson, T. R. (2010). Bridging the educational research-teaching practice gap: Foundations for assessing and developing biochemistry students' visual literacy. *Biochemistry and molecular biology education*, *38*(5), 347-354.

Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice, 15*(1), 10-23.

Shen, B. S. P. (1975). Science literacy: Public understanding of science is becoming vitally needed in developing and industrialized countries alike. *American Scientist, 63*(3), 265–268.

Sjøberg, S. (2000). *Naturvetenskap som allmänbildning. En kritisk ämnesdidaktik.* Lund: Studentlitteratur.

Sjøberg, S. (2018). The power and paradoxes of PISA: Should Inquiry-Based Science Education be sacrificed to climb on the rankings?. *Nordic Studies in Science Education*, *14*(2), 186-202.

Sjöström, J. (2007). The discourse of chemistry (and beyond). *HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry*, *13*(2), 83-97.

Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-oriented chemistry education. *Science & Education*, *22*(7), 1873-1890.

Sjöström, J. (2024). Vision III of scientific literacy and science education: an alternative vision for science education emphasising the ethico-socio-political and relational-existential. *Studies in Science Education*, 1-36.

Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In *Cognition,*

metacognition, and culture in STEM education: Learning, teaching and assessment (pp. 65-88). Cham: Springer International Publishing.

Skolverket (2011) Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet 2011 (Lgr 11).

Skolverket. 2022. Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet 2022 (Lgr22).

Skolöverstyrelsen, K. (1962). Läroplan för grundskolan. *Stockholm: Kungliga Skolöverstyrelsen*.

SOU 2025:19 *Kunskap för alla - nya läroplaner med fokus på undervisning och lärande.* Utbildningsdepartementet.

Stuckey, M,, Hofstein, A.. Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education, 49*(1), 1-34

Szczepanski, A. (2025). *Kunskap i landskap: Ut (i) från ett utomhuspedagogiskt och didaktiskt sammanhang* (Vol. 265). Linköping University Electronic Press.

Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(2), 156-168.

Taber, K. S., & Coll, R. K. (2002). Bonding. In *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 213-234). Dordrecht: Springer Netherlands.

Teo, T. W., Goh, M. T., & Yeo, L. W. (2014). Chemistry education research trends: 2004–2013. *Chemistry Education Research and Practice*, *15*(4), 470-487.

Tobin, K. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School science and Mathematics*, *90*(5), 403-418.

Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate?. *International journal of human-computer studies*, *57*(4), 247-262.

Tytler, R., Prain, V., & Peterson, S. (2007). Representational issues in students learning about evaporation. *Research in Science Education, 37*, 313–331.

Ünsal, Z., Jakobson, B., Wickman, P.-O., & Molander, B.-O. (2020). Jumping pepper and electrons in the shoe: Using physical artefacts in a multilingual science class. International Journal of Science Education, 42(14), 2387–2406. https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1650399

Ünsal, Z., Rundgren, C. J., & Lederman, J. (2025). 'She asked very much'– primary school students' views about scientific inquiry. *International Journal of Science Education*, 1-20. https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2557603

Vesterinen, V. M., & Aksela, M. (2009). A novel course of chemistry as a scientific discipline: How do prospective teachers perceive nature of chemistry through visits to research groups?. *Chemistry Education Research and Practice*, *10*(2), 132-141.

Vikström, A. (2008). What is intended, what is realized, and what is learned? Teaching and learning biology in the primary school classroom. *Journal of Science Teacher Education*, *19*(3), 211-233.

Vikström, A. (2014). What makes the difference? Teachers explore what must be taught and what must be learned in order to understand the particulate character of matter. *Journal of Science Teacher Education*, *25*(6), 709-727

Vinner, S. (1997). The pseudo-conceptual and the pseudo-analytical thought processes in mathematics learning. Educational Studies in Mathematics, 34, 97 – 129.

Vo, T., Forbes, C. T., Zangori, L., & Schwarz, C. V. (2015). Fostering third-grade students' use of scientific models with the water cycle: Elementary teachers' conceptions and practices. *International Journal of Science Education*, *37*(15), 2411-2432.

Wallin, J., Bergman, E., Bergman, M., Gericke, N., & Högström, P. (2020). Laborationer i naturvetenskapsundervisningen. Stockholm: Skolforskningsinstitutet.

Westbury, I., Hopmann, S., & Riquarts, K. (2012). *Teaching as a reflective practice: The German Didaktik tradition*. Routledge.

Wickman, P.-O. (2014). Teaching learning progressions: An international perspective. In: G. Lederman & S.K. Abell (Eds.). *Handbook of Research on Science Education.* New York: Taylor and Francis Publishing.

Wong, S. L., & Hodson, D. (2009). From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. Science Education, 93(1), 109–130. https://doi.org/10.1002/sce.20290

Wong, S. L., & Hodson, D. (2010). More from the horse's mouth: What scientists say about science as a social practice. International Journal of Science Education, 32(11), 1431–1463. https://doi.org/10.1080/09500690903104465

Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. Journal of Research in Science Teaching, 38(7), 5821–5842.

Zeidler, D. L. (Red.) (2024). *A Moral Inquiry into Epistemic Insights in Science Education: Personal and Global Perspectives of Socioscientific Issues* (Vol. 61). Springer Nature.

Zeidler, D. L., Sadler, D.T., Simmons, M.L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research – based framework for socioscientific issues education. *Science Education, 89* (3), 357-377

Ødegaard, M. (2023). Using drama in science education and for sustainability issues. In *Learning science through drama: Exploring international perspectives* (pp. 69-86). Cham: Springer International Publishing.

Österlund, L. L., & Ekborg, M. (2009). Students' understanding of redox reactions in three situations. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education*, *5*(2), 115-127.