

Fotosyntesundervisning 2.0: Kraftfull kunskap och en vidgad syn på fotosyntesundervisning

ORIGINALARTIKEL

Anders Eriksson, Niklas Gericke & Daniel Olsson

ABSTRACT

This article argues for a broader and more socially relevant photosynthesis instruction in compulsory science education. Presently, the predominant practice is traditional instruction, focusing on students' conceptual understanding of photosynthesis based on molecular and energy-related principles. Views of what is referred to as scientific literacy change in line with the new values and demands of a globalised society. Scientific literacy has evolved from a narrow conception of natural sciences to a broader teaching approach, addressing science from a whole society perspective. The article discusses how photosynthesis instruction can be redirected to future issues such as societal and sustainability and argues for a wider approach to scientific literacy involving active citizenship to address present and future sustainability challenges. A scientific literacy model is presented, along with its relation to the concept of powerful knowledge, defined as the kind of knowledge students need to have control and agency in their own lives. Powerful knowledge is discussed in terms of how photosynthesis instruction could be used to address societal and sustainability issues such as climate change, food chains, energy issues and food production. The need for a new and updated *photosynthesis education 2.0* is presented.

Keywords: photosynthesis education, future issues, scientific literacy, powerful knowledge, sustainability issues

ANDERS ERIKSSON

*PhD Student Biology Education
Department of Environmental
and Life Sciences
Karlstad University
anders.eriksson@kau.se*

NIKLAS GERICKE

*Dr. Prof. Science Education
Department of Environmental and Life
Sciences
Karlstad University
niklas.gericke@kau.se*

DANIEL OLSSON

*Dr. Senior Lecturer Biology Education
Department of Environmental and Life
Sciences
Karlstad University
daniel.olsson@kau.se*

INLEDNING

“Fotosyntesen sticker tydligt ut som den mest betydelsefulla biokemiska processen på jorden” (Barker & Carr, 1989, s. 41, översatt av författarna). Vilka associationer väcks av detta citat? Antagligen förstår man att fotosyntes anses viktigt. Men *varför* är det viktigt? I den nuvarande svenska läroplanen för grundskolan nämns fotosyntes som centralt innehåll i åk 3-6 och 7-9, men inte varför det är ett viktigt kunskapsinnehåll att undervisa om eller mer specifikt vilka kunskapsmål som skall uppnås (Skolverket, 2022). Det är dessa frågor denna positioneringsartikel adresserar.

Naturvetenskaplig undervisning har under 1900-talet i första hand varit inriktad på att frambringa fler naturvetare. Avsidor med detta utvecklingsorienterade och teknikoptimistiska synsätt kan idag ses exempelvis i form av beroende av fossila bränslen och global uppvärmning. Det är därför väsentligt med en förändrad naturvetenskaplig undervisning som också tar upp etik, värderingar och samhällsinriktade frågeställningar.

Ämnesdidaktisk forskning visar att fotosyntesundervisning kan leda till problem och missuppfattningar hos eleverna (Simmie et al, 2021; Svandova, 2014). En förklaringsmodell till att detta problem uppstår är att fotosyntesundervisningen ofta ignorerar att sätta innehållet i vidare kontextuella sammanhang, som exempelvis hållbarhetsfrågor, för att ge fotosyntesundervisningen mening och svar på varför den behövs (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Näs, 2010; Sangprasert et al., 2021). Förstår inte eleverna sammanhanget i vilka de osynliga biokemiska processerna ingår, så blir det svårt att finna något konkret att hänga upp kunskaperna på. Lärare brukar också anse att fotosyntesen är svår att undervisa om eftersom eleverna ofta har svårigheter med de många abstrakta begrepp som eleverna förväntas förstå och placera i rätt sammanhang (Simmie et al., 2021). Missuppfattningarna om fotosyntesprocessen är vanliga och finns spridda bland befolkningar över hela världen (Jančaříková & Jančařík, 2022; Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Svandova, 2014). Eleverna tror ofta felaktigt att fotosyntes är växternas cellandning och att beståndsdelarna till fotosyntesen tas upp från marken via rötterna (Marmaroti & Galanopoulou, 2006). Dessa identifierade problem leder till frågor om fotosyntesundervisningens innehåll och vilka kunskaper som ska prioriteras som mål med undervisningen. I denna positioneringsartikel kommer dessa frågor att behandlas.

Frågor om undervisningens innehåll och kunskapsmål adresseras inom ramen för begreppet kraftfull kunskap (eng. powerful knowledge). Betydelsen av kraftfull kunskap diskuteras vida inom utbildningsvetenskaplig forskning (ex. Deng, 2022; Gericke et al., 2018; Hudson et al., 2023; Muller & Young, 2019; Young, 2008). Det av Young (2007) myntade begreppet kraftfull kunskap definieras i denna studie som den specialiserade ämneskunskap som möjliggör för eleverna att använda kunskap och agera i samhället. Det vill säga sådan kunskap som också ger eleverna agens och handlingsberedskap. I denna artikel diskuterar vi kopplingar mellan kraftfull kunskap och elevers naturvetenskapliga allmänbildning, på engelska kallad scientific literacy (Roberts, 2013; Sjöström, 2010; Sjöström et al 2017; Sjöström & Eilks, 2018). Diskussionen görs med fotosyntesundervisning som utgångspunkt.

Syftet med artikeln är att diskutera och argumentera för varför det inom grundskolan behövs en ny bredare och mer samhällsanpassad fotosyntesundervisning med undervisningsmål som svarar upp mot vår tids hållbarhetsutmaningar, snarare än de mera traditionella kunskapsmålen för fotosyntesundervisning. Utifrån denna diskussion presenteras sedan ett förslag på uppdaterade

kunskapsmål för fotosyntesundervisning. Vi benämner denna nya inriktning *fotosyntesundervisning 2.0* och beskriver den med hjälp av en ny modell av scientific literacy relaterad till kraftfull kunskap.

UNDERVISNING I FOTOSYNTES

Undervisning har enligt Biesta (2009; 2020) tre olika funktioner; (1) kvalifikation – att förmedla kunskap, förmågor och förståelse, (2) socialisering – att överföra vissa värden och normer, och (3) subjektifiering – att skapa oberoende egentänkande kritiska elever. Inom naturvetenskap handlar dessa tre funktioner om vår omvärld och att kunna förklara den begripligt för sig själv och andra så ett personligt förhållande till omvärldskunskapen kan integreras i egna erfarenheter och eget tänkande (Nilsson, 2010). Traditionellt ses dock naturvetenskapen ofta som universell, beroende på dess hierarkiska kunskapsstruktur (Bernstein, 1999).

Fotosyntesundervisning kan här ses som ett typexempel på ett kunskapsområde inom naturvetenskapen. Det råder konsensus kring fotosyntesens naturvetenskapliga kunskapsinnehåll kopplat till biokemiska omvandlingar av materia som bygger på energiomvandlingar (Eberhard et al., 2008; Ward & Shih, 2019). Kontexten för fotosyntesundervisningen är ofta växtfysiologi, biokemi och kretslopp. Dessa naturvetenskapliga processers mekanismer relaterat till att materia och energiomvandlingar sker på olika systemnivåer från molekylnivå till planetärnivå. Undervisningen har idag som mål att förmedla kunskaper om sådana mekanismer och länkas till kvalificeringsmålet med undervisningen.

Forskning har visat att denna traditionella undervisning om fotosyntes ofta leder till att eleverna har svårt att förstå och ta till sig kunskapsinnehållet (Marmaroti & Galanopoulou 2006). För framgångsrik fotosyntesundervisning räcker det inte med en given metod eller innehåll. En kombination av undervisningsstrategier kombinerat med fortbildning för lärare eftersöks (Simmie et al., 2021). Samhällsrelaterade frågeställningar kan också vara ett sätt att motivera och väcka intresse hos elever för att på så sätt öka möjligheten till lärande (Ke et al., 2020). Därför menar vi att fotosyntesundervisningen mer bör länkas till socialiserings, och framförallt subjektifieringsmålet (Biesta, 2009; 2010). Då skulle fotosyntesundervisningen bidra till att utveckla handlingskraftiga individer som kan använda sin kunskap som samhällsmedborgare.

Svårigheter i undervisning om fotosyntes

Undervisningen om fotosyntes är ofta traditionell och likartad i hela världen (Svandova, 2014). Flera olika svårigheter med att förstå fotosyntes som en biokemisk energimässig process har identifierats i ämnesdidaktisk forskning. Fotosyntesprocessen i sig anses komplex, abstrakt och relaterar till olika systemnivåer (Harms & Bertsch, 2018). Här följer de viktigaste problemområdena när det gäller elevförståelsen i traditionell undervisning om fotosyntes. Dessa problemområden är identifierade i studier från olika länder och kulturer (Svandova, 2014), däribland Sverige (Näs, 2010). Därför kommer vi här inte att göra skillnad mellan resultat från olika länder och kulturer.

De i fotosyntesprocessen inblandade begreppen är så abstrakta att de kan vara svåra att relatera till sina tidigare kunskaper inhämtade från vardagslivet. Vanligt är problem med att förstå varifrån växter hämtar sin livsenergi. Eleverna associerar ofta växterna till djur och jämför med djurens sätt att tillägna sig föda (Yenilmez & Tekkaya, 2006). Vid elevsvar på frågan om vad växterna äter ger eleverna därför ofta svaret att växterna äter något som kommer utifrån och förstår inte att växterna

tillverkar sin egen födotillgång under fotosyntesen. Rötterna ses ofta felaktigt av eleverna som munnar för födointag (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Yenilmez & Tekkaya, 2006). Felaktiga uppfattningar om fotosyntes är vanliga bland barn och ungdomar, men finns också hos vuxna (Svandova, 2014).

Historiskt har också filosofer som Aristoteles missförstått fotosyntesen. Han trodde, felaktigt, att den biomassa växterna består av kommer från omvandlad jord. Först under 1600-talet visade van Helmont att det inte var så som Aristoteles trodde. Detta skedde genom ett femårigt experiment med odling av en trädplanta i en hink. Vikten på hinken ökade drastiskt under de fem åren trots att Van Helmont bara tillförde vatten till hinken. Han kände inte till att gaser innehåller massa och drog därför den felaktiga slutsatsen att biomassan i trädet enbart bildats av vatten, och inte till största delen från koldioxiden i luften såsom vi numer vet (Métoui et al., 2016).

Osynliga gaser som ingår i fotosyntesprocessen kan vara svåra att uppfatta. Dels förståelsen av att gaser har massa och dels att det finns olika sorters gaser inblandade (Andersson & Bach, 1995). Detta bidrar också till att endast en liten andel av eleverna förstår att koldioxid är största källan till biomassa (Ebert-May et al., 2003; Eisen & Stavy, 1988; Smith et al., 2021). Förvirringen gällande gaserna märks också i en vanligt förekommande sammanblandning mellan cellandning och fotosyntes. Vanligt är också problem med att förstå vad som sker i mörker och vad som sker i ljus. Eleverna tror exempelvis ofta att cellandning hos växter bara sker i mörker (Marmaroti & Galanopoulou, 2006).

Fotosyntesreaktionens ingående molekyler samt deras funktioner kan också vara svåra för elever att förstå sig på och sätta in i rätt sammanhang. Glukosmolekylernas dubbla roller blandas ofta ihop, dels som byggmaterial för tillväxt och dels som energilagringmolekyl där energin finns i de kemiska bindningarna (Parker et al., 2015). Det är också därför som missuppfattningen att fotosyntesen ger energi direkt till växten är vanlig (Köse, 2008).

Även vilken organisationsnivå, det vill säga vilken biologisk storleksskala, som undervisningen adresserar kan bli en källa till förvirring och missförstånd om inte läraren är tydlig med på vilken organisationsnivå resonemangen i undervisningen för tillfället riktar sig mot (Parker et al., 2015). Det är också viktigt att länka förklaringar på de olika organisationsnivåerna till varandra. Begrepp och ord som eleverna ännu inte behärskar kan vara svåra att placera i storleksförhållanden. Befinner sig undervisningen på vardaglig fenomennivå med för ögat synliga delar såsom rötter, blad, stam eller på mer generella populationsnivåer som exempelvis inkluderande hela skogar? Alternativt kan undervisningen befinna sig på en mindre storleksnivå som exempelvis cellnivå med kloroplaster, som endast kan ses i mikroskop, eller rentav på en submikroskopisk molekylnivå med biokemiska molekyler som inte kan ses i mikroskop (Asshoff et al., 2020).

Trots stora ansträngningar med undervisningen om fotosyntes i grundskolorna kan ovanstående nämnda utmaningar med fotosyntesundervisningen vara några av skälen till att många elever lämnar skolsystemet med starkt begränsad förståelse av fotosyntesens processer (Mohan et al., 2009; Näs, 2010; Parker et al., 2015). I Sverige finns fotosyntes med i kursplanerna dels i biologi åk 4-6 och 7-9 och dels berörs fotosyntes i kemi åk 7-9 vid genomgång av kolets naturliga kretslopp (Skolverket, 2022). Givet vår tids utmaningar och behov och med anledning av den blygsamma framgången i elevernas förståelse av fotosyntesen kan det ifrågasättas om undervisningen om fotosyntes i grundskolan verkligen har rätt fokus. Kan det vara så att undervisningen hittills varit allt för

mekanistiskt inriktad och delvis har börjat i fel ände? Fokus har mest legat på att lära eleverna om själva fotosyntesprocessen och inte dess betydelse i vidare mening, från växten till ekosystemen och vidare in i samhällslivet och dess hållbarhetsproblematik. Ska mänskligheten kunna möta vår tids hållbarhetsutmaningar räcker det inte med att endast veta att problemen existerar. Eleverna behöver i undervisningen också tränas i förmågan att gå från ord till handling (Sass et al., 2020). Vi argumenterar därför för en undervisning som också ger eleverna kunskaper att förstå fotosyntesen i ett sammanhang och kunna agera utefter kunskap om fotosyntesens funktion och betydelse för vår tids samhällsutmaningar.

Fotosyntesens indirekta betydelse för hållbarhetsmål

Världen och samhället förändras ständigt. Människans aktiviteter har påverkat jordens biosfär så kraftigt sedan industrialismens intåg att vi nu anses ha inträtt i en ny geologisk tidsålder kallad antropocen. Människan har blivit den största geologiska omvandlaren på jorden genom att omvandla stora mängder energi och förflytta mängder av materia (Lewis & Maslin, 2015). Den mänskliga aktiviteten under antropocen ses som ett hot mot mänsklighetens möjligheter till fortsatt överlevnad genom den negativa påverkan av ekosystemens biodiversitet och klimat som skett och fortfarande sker (Folke et al., 2021). Utifrån detta perspektiv har också naturvetenskapliga undervisningens inriktning börjat ifrågasättas (Jeong et al., 2021). Vilka är de naturvetenskapliga kunskaperna om exempelvis fotosyntes som vi i tidsåldern antropocen ser som väsentliga att eleverna ska uppnå?

Vi menar att mera kunskaper i fotosyntesens indirekta betydelse för hållbarhetsfrågor behöver inkluderas i undervisningen, så att möjligheterna för eleverna att möta framtidens utmaningar förbättras. Exempelvis är fyra av de i Agenda 2030 utpekade globala målen påverkbara av fotosyntesprocesser: ingen hunger (mål 2), hållbar energi för alla (mål 7), bekämpa klimatuppvärmningen (mål 13) och bevarande av biologisk mångfald (mål 15) (Colglazier, 2015).

Fotosyntesen ger upphov till de energirika kolhydrater som kan omvandlas och bli till föda för både djur och människor. Genom klokt utnyttjande av växternas fotosyntes skulle en del av hungern i världen kunna avhjälpas (Ort et al., 2015; Waldron et al., 2017). Fotosyntesens effektiva energiomvandling skulle kunna inspirera till utvecklande av effektivare solpaneler (Gong et al., 2019). Bindandet av växthusgasen koldioxid under fotosyntesen kan bidra till mildrad global uppvärmning genom produktionen av ökad mängd biomassa (Ringsmuth et al., 2016). Även variation i fotosyntetiserande organismer kan underlätta bevarandet av biologisk mångfald (Sage & Stata, 2015). Om skolans fotosyntesundervisning ska bidra till kunskaper som kan adressera ovanstående hållbarhetsmål behöver den förändras.

Det argumenteras även för andra positiva sidoeffekter av fotosynteskunskaper i litteraturen. Genom utveckling av artificiell härmning av fotosyntes skulle man i framtiden kunna bidra både till hållbarare energitillgång och bättre tillgång till värdefulla organiska ämnen (Kim et al., 2015). Ringsmuth et al. (2016) ser fotosyntesen som en möjlighet att via optimeringar av system lösa framtida problem för mänskligheten, från globala klimatfrågor via ekonomi- och energisystem ner till den för ögat osynliga nanotekniken för koldioxidfixering och ljusfotonskördande.

Mänskligheten har under den korta tidsåldern som utgör antropocen i stor hast förbrukat under geologiska tidsepoker ansamlade fotosyntesprodukter i form av naturgas, kol och olja. Detta och

andra sammanlänkande problem är orsaker till globala hållbarhetsutmaningar som mänskligheten står inför (Cohen et al., 2016; Hou et al., 2023). För att mänskligheten ska kunna lämna denna ohållbara livsstil och finna nya lösningar behövs kunskaper om fotosyntesprocesserna och hur de kan brukas på ett hållbart sätt. En uppdaterad undervisning i fotosyntes kallad fotosyntesundervisning 2.0, som också låter eleverna se de möjligheter fotosyntesprocesserna ger för ett hållbart samhälle, är därför av största vikt. Nedan följer presentation av en ny målinriktning för fotosyntesundervisningen kopplat till begreppet kraftfull kunskap som är tänkt att ge eleverna goda kunskapsverktyg inför framtiden.

KRAFTFULL KUNSKAP

Ett kunskapsbegrepp som diskuteras och där det efterfrågas mera forskning är begreppet kraftfull kunskap (Deng, 2022; Gericke et al., 2018; 2023; Hordern, 2021). Med socialrealism som teoretisk grund myntade Young (2007) begreppet *powerful knowledge*, här översatt till kraftfull kunskap. Han menar att kraftfull kunskap skall vara en urvalsprincip när kunskapsinnehåll från en ämnesdisciplin skall selekteras och utgöra underlag till undervisning inom ungdomsskolan. Den urvalsprincip som förespråkas är att kunskapen skall vara vetenskapligt förankrad och framtagen inom universitetsdisciplinerna (inte komma från elevernas vardagsliv) och att den skall ge eleverna agens i deras egna liv, dvs. ”power” (Young, 2008; Young & Muller, 2010). Kraftfull kunskap som urvalsprincip har kritiserats av exempelvis Carlgren (2020) och Deng (2022). De menar att kraftfull kunskap i för stor utsträckning fokuserar på akademisk kunskap, och inte tillräckligt tydligt tar fasta på att kunskap också är ett medel för att utveckla elevers värderingar och motivation. Carlgren (2020) ser risker för att ett fokus på kraftfull kunskap kan komma att leda till en för snävt rationellt teoretiskt inriktad undervisning. Hon menar att även den tysta kunskapen som via upplevelser och praktiska övning skapas hos eleven måste värdesättas. Young och Muller (2010) tar också upp en del av dessa risker genom att varna för en återgång till traditionell undervisning där skolämnet ses som en miniatyr av ett akademiskt ämne. Vi menar att kraftfull kunskap är ett användbart begrepp om fokus på kunskap kombineras med, och balanseras mot, att kunskapen ska vara kraftfull, det vill säga ge eleverna agens i deras egna liv. Om båda dessa perspektiv inkluderas menar vi att kraftfull kunskap inte bara inbegriper kvalificeringsmålet, utan också socialiserings- och subjektifieringsmålet (se Biesta, 2009; 2020). Nedan presenteras hur vi ser på kraftfull kunskaps roll i hållbarhetsfrågor kopplat till fotosyntesundervisning.

Kraftfull kunskap – Koppling till fotosyntesundervisning

Som tidigare påpekats överensstämmer vår syn på kraftfull kunskap med den syn som Muller och Young (2019) ger uttryck för. Kraftfull kunskap anser vi vara en rättighet för varje elev att erbjudas i skolan, och som bygger på vetenskapligt förankrad kunskap vilken eleverna inte enkelt kan erhålla i sina vardagsliv, men som ger dem agens i vardagslivet. Kraftfull kunskap kommer till olika uttryck inom skilda ämnesområden (Gericke et al., 2022). Inom fotosyntesundervisning ser vi kraftfull kunskap starkt förknippad med hantering av hållbarhetsfrågor såsom exempelvis matproduktion och klimatpåverkan. Tanken är att individen själv genom att tillägna sig kraftfull kunskap om fotosyntesen kan hantera komplexa frågor kopplade till hållbarhet, men där naturvetenskapen utgör en grund.

Young och Muller (2010) varnar, som tidigare nämnts, för att synen på kraftfull kunskap i undervisningspraktiken kan misstolkas så att undervisningen får en för stor slagsida mot intellektuell konceptualisering av olika begrepp. En sådan betoning av intellektuella konceptualiseringar kan vara bra för fortsatta ämnesstudier för en mindre grupp elever, men riskerar att göra undervisningen ointressant och otillgänglig för större delen av eleverna. Sådan fotosyntesundervisning kan leda till att många elever inte utvecklar insikter om fotosyntesens betydelse för lösningar av hållbarhetsproblem. Tidigare ämnesdidaktiska forskningen om fotosyntesundervisningen visar att undervisningen traditionellt dominerats av ett fokus på intellektuell konceptualisering av mekanismer och biokemiska processer på molekylnivå som varit svåra att förstå av eleverna (Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Simmie et al., 2021). Fotosyntesundervisningen kopplas därmed inte till frågor med betydelse för elevernas egna liv eller samhället i stort, dvs. till socialiserings- och subjektifieringsmålen med undervisningen.

Undervisning generellt i ungdomsskolan har under senare åren byggts utifrån en socialkonstruktivistisk syn på kunskap. Riskerna med ett socialkonstruktivistiskt fokus i undervisningen kan vara att lärarens roll tonas ned för mycket, och att vardagsföreställningar inte utmanas av mer vetenskapliga begrepp i undervisningen (Young, 2007). Förutfattade meningar är svåra att överge. Kamratdiskussioner räcker oftast inte för att överge redan etablerade missförstånd (Asterhan & Resnick, 2020). Inom fotosyntesundervisningen skulle exempelvis missförståndet att biomassan i ekosystemen bara är omvandlade partiklar från marken vara en vardagsföreställning som är viktig att utmana. Annars kan eleverna missförstå det faktum att växterna genom fotosyntesen bidrar till en minskning av koldioxidhalten i atmosfären.

Det finns med andra ord två sorters risker med fotosyntesundervisning som behöver tas i beaktande utifrån ett perspektiv från begreppet kraftfull kunskap. För det första att en undervisning med en för stark betoning av begrepp och ämnesinnehåll för kommande studier riskerar att ge en upplevd svårtillgänglig och meningslös undervisning. För det andra den översocialiserade undervisningen där eleverna själva diskuterar sig fram utan tillräcklig vägledning av ämneskunniga undervisande lärare. Utan utmanade frågeställningar från lärare är risken stor att elevers vardagsföreställningar och missuppfattningar om fotosyntesprocesserna inte förändras. Vi argumenterar därför för en fotosyntesundervisning som fokuserar både på kunskapen och dess kraftfullhet, det vill säga potentialen hos kunskapen att generera agens i elevernas egna liv. Det är en sådan fotosyntesundervisning vi förespråkar i den här artikeln.

Enligt Biesta (2020) skiljer sig lärande via skolundervisning från lärande i andra sammanhang genom att eleverna i skolan ska lära sig någonting av ett skäl. Fotosyntesen ingår i läroplanens innehåll men för elevernas engagemang är det viktigaste skälet till att lära sig om fotosyntesen troligen inte vad som står i läroplaner utan hur det relaterar till deras egen verklighet, deras livsvärld. Fotosyntesens vidare betydelse länkat till de hållbarhetsfrågor som fyller medias budskap kan ge eleverna en vidare innebörd och relevans av fotosyntesen än de mål vi idag kan hitta i läroplanen om fotosyntesen. Eleverna kan därmed länka den kraftfulla kunskapen till sin egen livsvärld för att agera och ta beslut i olika valsituationer i livet (Sass et al., 2020). I följande avsnitt tar vi upp begreppet scientific literacy och hur den nya fotosyntesundervisningen kan förstås utifrån detta literacyperspektiv.

SCIENTIFIC LITERACY

Den kraftfulla kunskap som generellt eftersöks att eleverna tillägnar sig i skolans olika ämnen varierar med ämnenas karaktärer (Gericke et al., 2022). Inom naturvetenskapernas didaktik har man ofta diskuterat om naturvetenskap som allmänbildning eller naturvetenskaplig orientering från ett Skandinaviskt perspektiv (Almén, 2001; Jidesjö, 2005; Sjöberg, 2005). När frågor om vad eleverna behöver tillägna sig för specifika naturvetenskapliga kunskaper för naturvetenskaplig allmänbildning så kallas det internationellt för *scientific literacy* (Sjöström et al., 2017). Begreppet används vanligtvis också inom den svenska kontexten (Gustafsson, 2007; Serder, 2015), vilket också är den benämning vi använder i denna text.

Vad är scientific literacy?

Vilka kunskaper och färdigheter inom naturvetenskap ska eleverna ha tillägnat sig efter att ha gått ur det allmänna skolsystemet? Som tidigare diskuterats i denna artikel har Biesta (2009; 2020) gett tre överordnade funktioner i generell utbildningsvetenskaplig forskning. Men även inom naturvetenskapernas didaktik har denna fråga diskuterats sedan 1960-talet och har i den anglosaxisk litteraturen relaterats till begreppet *scientific literacy*. Någon klar entydig definition med allmän konsensus om vad *scientific literacy* är svår att finna. Roberts (2013) menar att *science literacy* är benämningen på de kunskaper och förmågor som man kan förvänta sig att en medborgare i ett samhälle behöver. *Scientific literacy* handlar om alla aspekter av literacy relaterat till det vi i Sverige kallat naturvetenskaplig allmänbildning och kan därmed förutom kunskapsmassan även innehålla de språkliga och teknologiska förmågor som krävs för att tillgodogöra sig naturvetenskapligt kunnande (Roberts, 2013). I denna artikel används *scientific literacy* i den breda meningen såsom Roberts (2013) avser. Som framgår av vår definition inbegriper begreppet *scientific literacy* också ämneskompetens inom ett visst område. Av det skälet föredrar vi att använda ordet literacy i stället för den svenska termen litteracitet, eftersom ordet litteracitet mer förknippas med språkligt kunnande. En kort genomgång av synen på *scientific literacy* och dess utveckling under de senaste decennierna följer i kommande avsnitt.

Utvecklingen av scientific literacy

Den snabba tekniska utvecklingen efter månfärdskapplöpningen under 1960-talet och önskan om en större förståelse för relationen mellan naturvetenskap och samhällsutveckling gjorde att det under 1970-talet ansågs vara önskvärt att alla elever från det obligatoriska skolsystemet motsvarande grundskola i Sverige, ska tillgodogöra sig en grundläggande *scientific literacy*, oberoende av social bakgrund, förmåga eller intresse (DeBoer, 2000). Denna tendens ökade globalt i slutet av 1900-talet. Huvudskälen var två. Det första var ett pragmatiskt skäl, att den teknologiska utvecklingen krävde att medborgarna kunde mera naturvetenskap för att bli anställningsbara. Det andra, ett demokratiskt skäl, gällde hur naturvetenskapen påverkar medborgarnas liv på gott och ont i allt större utsträckning via nya teknologier och miljöproblem (Fensham, 2004).

Utvecklingen över tid i skola och forskning har gått mer från ett fokus på det första perspektivet till att allt mer omfatta det andra perspektivet att hantera ny teknik och miljöproblem som utgångspunkt för *scientific literacy*. Tendensen har varit att mer ta in naturvetenskapen eleverna möter, eller tros möta, i sina kommande vardagsliv. Utan tvivel ses *scientific literacy* som ett viktigt mål att eftersträva och anses i de flesta länder vara mycket önskvärt att eleverna når, för både elevens

och samhällets bästa (Liu, 2009). I Sverige har hållbarhetsfrågor såsom exempelvis klimatförändringen också tagits upp i relation till scientific literacy (Sjöström, 2018).

Programme for International Student Assessment (PISA) definierar scientific literacy som kapaciteten att engagera sig i samhällsfrågor frågor med anknytning till naturvetenskapen, samt naturvetenskapliga produkter och processer som en reflekterande medborgare (OECD, 2019). I senaste PISA undersökningen (2018) inriktade man sig på att mäta denna scientific literacy genom att undersöka tre kompetenser. Dessa tre kompetenser anses av PISA nödvändiga för ett deltagande i samhällsdebatten om naturvetenskapliga och teknologiska frågor. De tre kompetenserna är:

- Kunna förklara fenomen naturvetenskapligt.
- Kunna tolka data och evidens vetenskapligt.
- Kunna utforma och utvärdera naturvetenskapliga frågeställningar.

De tre kompetenserna ovan kräver kunskaper av olika typer (Sholikah & Pertiwi, 2021). Förklaringar av naturvetenskapliga fenomen kräver kunskaper om det naturvetenskapliga innehållet, så kallad innehållskunskap. Kunskap om teorier, data och hypoteser behövs för att kunna tolka data och evidens vetenskapligt. Kunnande om metoder och naturvetenskapliga praktiker som till exempel experiment och varför de genomförs kallas procedurkunnande. Alla dessa kompetenser anknyter tätt till aspekter av den akademiska disciplinen och därmed kraftfull kunskap.

Översatt till fotosyntesundervisning så är själva fotosyntesprocessen en delförklaring till hur biomassa skapas i växter och alger. Det rör sig alltså om innehållskunskapen. Att tolka data och förstå evidens handlar mera om granskandet av vardagsföreställningar för att undanröja vardagliga missförstånd, såsom exempelvis föreställningen att biomassan i växter i första hand kommer från marken. Procedurkunnandet handlar om utförandet av olika experiment förknippade med fotosyntetiserande organismer.

Detta menar Hodson (2014) är en för snäv syn på scientific literacy och han inkluderar en fjärde kompetens till de tre kompetenserna nämnda ovan som handlar om att förklara samhällsfrågor med ett naturvetenskapligt innehåll. En viktig aspekt av denna kompetens är hur det naturvetenskapliga kunskapsinnehållet används och appliceras i samhället, ofta kopplat till hållbarhetsfrågor. Detta är också det perspektiv vi utgår från i denna artikel där kunskapens potential till agens ses som en viktig aspekt av kraftfull kunskap.

Den definition på scientific literacy som kanske genom sin enkelhet i formuleringarna haft mest genomslag senaste årtiondet är de två så kallade visioner (Vision I och Vision II), som föreslogs av Roberts (2007). Roberts (2007) utgår från två målformuleringar av undervisningen. Den första innebär att förbereda eleverna för högre studier för att kunna tillfredsställa samhällets behov av skolade ingenjörer, läkare och andra naturvetare. Undervisningens innehåll fokuserar i denna vision på naturvetenskapens egna begrepp och metoder. Roberts kallade denna undervisning för *vision I*. Inom fotosyntesundervisningen menar vi att vision I handlar om de begrepp och mekanismerna som är involverade i de kemiska reaktionerna inblandade i fotosyntesprocessen, det vill säga den undervisning vi kan se dominerar undervisningen idag. De tre tidigare nämnda kompetenserna från PISA-undersökningen (2018) ser vi också huvudsakligen inkluderade i vision I såsom förberedande kunskaper för högre studier.

Den andra av Roberts (2007) föreslagna scientific literacy visionen fokuserar på de samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll som elever kan möta i sina egna livsvärldar. Genom vision II kunskaper är målet att eleverna som framtida medborgare ska kunna bli mera ansvarstagande (Ke et al., 2020). Vision II undervisning kan även innebära att man först plockar in identifierade naturvetenskapliga vardagsfenomen i lektionsinnehållet, innan de konceptuella förklaringarna ges, vilket även kan ha en motivationsdrivande fördel genom elevernas igenkännanden från vardagslivet. I fotosyntesundervisningen menar vi att vision II exempelvis handlar om hur vår mat från början bildas eller vad det är som gör att träd och andra växter växer, och hur man kan gynna odling och skogsbruk via fotosyntesen.

Utöver att eleverna som medborgare ska förberedas för vardagslivets kontakter med naturvetenskap via vision II-undervisningen finns också en bakomliggande tanke att eleverna via sin undervisning ska kunna påverka samhällsutvecklingen som aktiva och kunniga medborgare (Santos, 2009; Yore, 2012; Zeidler & Sadler, 2010). Denna expansion av målet för undervisningen från vision II har av Sjöström (2017), namngivits till *vision III*. Vision III har större samhällsfokus inriktat mot progressiv förändring av samhällsutvecklingen för att adressera bl. a. hållbarhetsfrågor (Haglund & Hultén, 2017; Sjöström & Eilks, 2018). Inom fotosyntesundervisningens vision III menar vi att det handlar om vad varje enskild medborgare kan göra, direkt eller indirekt, för att vara delaktig i lösandet av hållbarhetsproblem med hjälp av kunskap om fotosyntesen. Det skulle exempelvis kunna vara förmåga att odla lokalproducerad mat eller engagera sig i konsumtionsmönster som utgår från att maximera energianvändningen som genereras via fotosyntesen.

Vision III-perspektivets innehåll och betydelse beskrivs också lite olika av olika forskare. Yore (2012) ser vision III mest utifrån en rättvisaspekt där alla socialgrupper kan göra sin röst hörd och därmed vara en scientific literacy för alla elever (Yore, 2012). Liu (2013) däremot ser i stället vision III huvudsakligen som ett livslångt engagemang i naturvetenskapliga frågor.

De tre visionerna kan sammanfattas enligt följande; vision I - naturvetenskapslärande, vision II - naturvetenskapsförespråkande och vision III - progressivt, naturvetenskapsanvändande. Balans och samspel mellan de tre visionerna är enligt Liu (2013) centralt för att uppnå en framgångsrik undervisning. Detta är ett synsätt som vi också förespråkar då vi argumenterar för att alla tre visionernas mål behöver beaktas för att utveckla kraftfull kunskap som kan utveckla scientific literacy. I nästa avsnitt kommer vi belysa denna fråga mer på djupet.

KRAFTFULL KUNSKAP I RELATION TILL SCIENTIFIC LITERACY

Kraftfull kunskap är enligt Young och Muller (2010) ämnesspecifik och måste därmed förstås och definieras utifrån sin specifika ämnestradition. Därför blir scientific literacy viktigt då den är utvecklad utifrån en naturvetenskaplig ämnestradition. Inom naturvetenskaplig kunskapsutveckling och undervisning läggs oftast en grund från vilken man vertikalt bygger vidare begreppsmässigt på kunskapen, medan man i exempelvis samhällsvetenskaperna tenderar att addera mera kunskaper horisontellt där nya begrepp inte nödvändigtvis bygger på tidigare införda begrepp. Naturvetenskap skiljer sig därför i sin karaktär från till exempel samhällsvetenskap genom denna sin vertikala uppbyggnad av kunskapsstrukturen (Bernstein, 1999). Begreppsmängden blir därför stor, de relaterar till varandra på ett specifikt sätt, och de måste läras in i en viss ordning, samtidigt som de representerar fenomen som ofta inte kan ses i vardagslivet. Detta gör att naturvetenskaplig

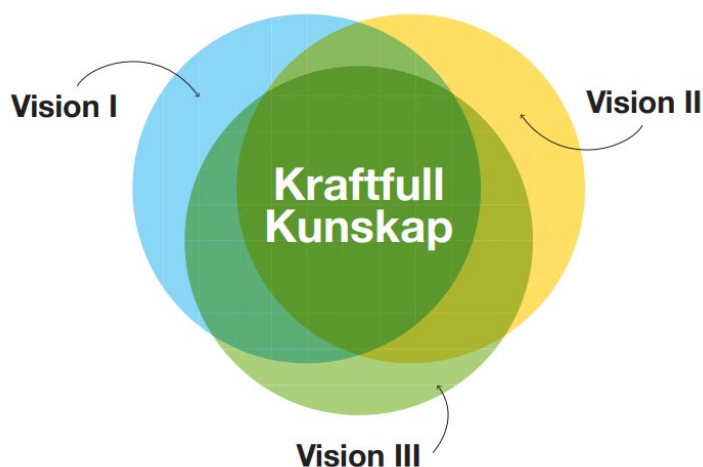
undervisning traditionellt tenderat att bli konceptuellt fokuserad och saknat anknytning till elevernas egen livsvärld, så som fotosyntesundervisningen ofta beskrivs i litteraturen (se tidigare avsnitt om undervisning i fotosyntes). Detta fokus åskådliggörs genom att scientific literacy vision I handlar om naturvetenskapens grundläggande begrepp och teorier. En undervisning som enbart fokuserar på vision I riskerar att bli den nykonservativa fälla som Young och Muller (2010) varnat för. Men samtidigt är begreppen och den naturvetenskapliga grundförståelsen viktig för att kunna applicera och agera på hållbarhetsfrågor kopplat till fotosyntes. Bättre förutsättning ges eleverna om, såsom Roberts (2007) ansåg, en vision II läggs till där eleverna lär sig använda kunskaperna på adekvat sätt i de vardagliga sammanhangen utanför skolan, dvs. i elevernas egen livsvärld. Scientific literacy vision III menar vi ska ses som en undervisning för stärkande av elevers demokratiska påverkansmöjligheter, där målet är att eleverna aktivt ska kunna bidra till förändringar som bidrar till lösningar av mänskligens både sociala- och miljömässiga problem genom att påverka sin omgivning till det gemensammas bästa.

Vi menar att för att kraftfull kunskap ska kunna utvecklas hos eleven behöver de tre scientific literacy visionerna kopplas till varandra i undervisningen så att både kunskapsperspektivet liksom kraftfullhetsaspekten av kraftfull kunskap kommer till uttryck i undervisningen. Dels för att ge naturvetenskaplig ämnesmässig bakgrundsförståelse för de fenomen som människan möter och hur man utför naturvetenskapliga arbetssätt (vision I) och dels för att förstå naturvetenskapens roll i de vardagliga sammanhang vi människor möter (vision II), samt slutligen för att förstå hur vi människor genom eget agerande och handlingskompetens kan påverka företeelser i det demokratiska samhällslivet (vision III). Detta gäller också för fotosyntesundervisningen som tidigare främst utgått från vision I perspektiv.

Modell för kraftfull kunskap i relation till scientific literacy

För att tydliggöra relationen mellan kraftfull kunskap och scientific literacy har vi tagit fram en modell som representerar de tre scientific literacy visionernas inbördes relation och hur de tillsammans bidrar till en undervisning som kan generera kraftfull kunskap (Se figur 1). De tre cirklarna med vertikalt överlappande sektorer visar scientific literacy med dess tre olika visioner. Vi ser de tre visionerna som likvärdiga, men att de tillsammans skapar ett mervärde i undervisningen som är större än summan av delarna. I gränssnittet där de tre visionerna överlappar finns kopplingar mellan visionerna och därmed potential att utveckla kraftfull kunskap hos eleverna som deltar i undervisningen. Överlappen mellan vision I och vision II gäller begrepp och fakta som möts både i traditionell faktabaserad skolundervisning och i den naturvetenskap som eleverna möter i vardagslivet. Vision I och III länkar till varandra vid beslutsfattande som utförs med naturvetenskapliga begrepp som grund. Kopplingarna mellan visionerna II och III relaterar till kunskaperna om naturvetenskap i samhället som skall leda till handlingsberedskap och beslutsfattande.

I figurens inre område, där alla tre visionerna överlappar varandra återfinns den kraftfulla kunskapen. I detta område har eleven kraftfull kunskap inom ett ämnesområde som bygger på alla de tre visionerna. Eleven har inom aktuellt ämnesområde tillgodogjort sig tillräckliga baskunskaper (vision I), förståelse av vardagslivets naturvetenskap (vision II) samt förmåga att agera konstruktivt både för egen del och samhällets del (vision III). Naturvetenskaplig kraftfull kunskap menar vi innehåller alla de tre scientific literacy visionerna starkt kopplade och komplementära till varandra.



Figur 1. Modell för kraftfull kunskap i relation till scientific literacy.

Ett sätt att länka visionerna i undervisningen kan vara att öka inslagen av argumentation i undervisningen för att synliggöra de tre visionerna. Detta kan ske genom att eleverna får tillgång till argumentationsmodeller att arbeta utifrån (Chen et al., 2016; Simonneaux, 2007). Elevuppgifter som efterliknar den vetenskapliga kritiskt granskande processen kan erbjuda aspekter från de tre olika visionerna. Gemensamt för dessa olika undervisningsupplägg är att läraren behöver hantera en viss osäkerhet om vart undervisningsprocessen med eleverna tar vägen (Chen et al., 2016). Genom att elever diskuterar och argumenterar med klasskamrater och får lärares vägledande kommentarer finns möjlighet till en utveckling av elevernas helhetsförståelse av naturvetenskapens möjligheter och begränsningar i deras livsvärld (Chen & Qiao, 2020). Eleverna kan exempelvis ha en idé om att förändra något utifrån ett hållbarhetsproblem (vision III) men läraren inser att resonemanget bakom varför förändringen ska ske inte är tillräckligt grundat i naturvetenskapliga fakta (vision I) eller i förståelse av hur naturvetenskapen används i samhället (vision II). Detta gör att eleverna behöver tillgodogöra sig kunskap länkat till de två första visionerna innan de kan återgå till sin egen genererade fråga länkat till vision III. Modellen kan således fungera som en vägledare i en naturvetenskaplig undervisning som inbegriper de tre visionerna av scientific literacy och strävar mot kraftfull kunskap.

Kraftfull kunskap i fotosyntesundervisning blir i naturvetenskapliga sammanhanget med anledning av ovanstående resonemang den kunskap som skapas hos eleverna genom att de tillgodogörs ett balanserat kunnande inom de tre visionerna av scientific literacy, vilket vi utvecklar i nästa avsnitt.

NY MODELL FÖR FOTOSYNTESUNDERVISNING

I relation till modellen i figur 1 föreslår vi på samma sätt en modell för de element av fotosynteskunnande som ingår i de tre visionerna av scientific literacy. De tre visionernas överlapp visar var kraftfull kunskap kan utvecklas länkat till fotosyntesundervisningen.

Från vision I – kunskaper i fotosyntes. Denna vision inbegriper förståelse av olika ord och begrepp som eleverna kan möta i läroböckerna inom ämnesområdet fotosyntes. Förståelse av olika begrepp associerade med fotosyntes är viktigt för att kunna förklara vad som sker i fotosyntesprocesser.

Eleverna behöver förstå att gaser innehåller massa som kan omvandlas och att fotosyntes är en process som innehåller förändring av ingående atomers bindningar till olika molekyler. En föreställning om vad energi, energiomvandlingar och kemiska reaktioner kan vara är också nödvändigt för djupare förståelse. Bakgrundskunskaper inom fysik och kemi kopplat till energibegrepp är därför nödvändiga för en tydlig vision I förståelse av fotosyntesen.

Vilka organismgrupper det är som utför fotosyntes och var i organismerna fotosyntesen sker samt vad som krävs för att upprätthålla fotosyntesen i form av ljus, koldioxid- och vattentillgång är också nödvändiga basförståelser. Att syrgas avges som biprodukt och att koldioxid binds i kolhydrater är ytterligare viktiga exempel på kunskaper i vision I perspektiv på fotosyntesen.

Från vision II – Kontextkunskap om fotosyntes. Denna vision inbegriper förståelse av hur fotosyntesens effekter påverkat och påverkar vårt vardagsliv. Exempelvis har fotosyntesen sedan årmiljoner tillverkat alla fossila bränslen plus den syrgas vi idag andas. Att vi nu förbrukar kol, olja och naturgas som bränsle i oerhört mycket snabbare takt än de nyproduceras är en viktig kunskap från vision II perspektiv. Fotosyntesens roll som matproducent för fotosyntesorganismerna själva, som bas för näringsvävar i ekosystemen och som grundproducent av den mat vi människor äter. Genom stödjande av fotosyntesprocesser på land och i haven kan vi bidra till minskning av koldioxidhalt i atmosfären och därmed minska växthuseffekten som höjer jordens temperatur. Förståelsen av fotosyntesens roll i kolets kretslopp, där även människans aktiviteter ingår, är här av stor betydelse i vision II perspektiv på fotosyntesen.

Från vision III – Handlingskompetens kopplat till fotosyntes. Denna vision inbegriper ett aktivt handlande och demokratisk påverkan för att med hjälp av fotosyntesprocesser minska globala hållbarhetsproblem som klimatförändring, livsmedelstillgång, biodiversitet och energitillgång. Genom att visa på hur fotosyntesen kan bidra till lösningar av dessa problem genom exempelvis regenerativt jord- och skogsbruk (Ickowitz et al., 2022) eller artificiell fotosyntes för energiproduktion (Kim et al., 2015; Ringsmuth et al., 2016). Målet för en vision III perspektiv på fotosyntesen är att stärka elevernas förmåga att kunna bidra positivt till användandet av fotosyntesens möjligheter för både egen och samhällets bästa genom att stärka deras handlingskompetens. I vision III perspektiv på undervisningen är målet att utveckla elevers handlingskompetensen genom att exempelvis låta eleverna involveras i projekt som påverkar närmiljön. Detta kan ske exempelvis genom odling eller trädplantering eller annat som är möjligt att genomföra i den lokala skolkontexten (Chen & Liu, 2020).

Fotosyntesundervisning 2.0

Den ovan beskrivna undervisningsmodellen för en ny fotosyntesundervisning kallar vi för *fotosyntesundervisning 2.0*. Den nya och uppdaterade undervisningen behöver vara framtidsinriktad och utveckla en kraftfull fotosynteskunskap hos eleverna baserad på de tre visionerna av scientific literacy med målet att utveckla elevernas självständighet och ansvarstagande som individer, så att de utifrån kunskaper om fotosyntesen kan bidra positivt i dagens och framtidens värld.

Forskning visar att nuvarande fotosyntesundervisning inte är framgångsrik och dessutom anses fotosyntesundervisning svår både för lärare att genomföra och svår för eleverna att förstå (Sangprasert et al., 2021; Simmie et al., 2021). Fotosyntesundervisning har ofta ett alltför stort fokus på vision I perspektivet på scientific literacy (Valladares, 2021). Detta mera ämnesinriktade

undervisningsperspektiv riskerar göra de abstrakta begreppen svåra för eleverna att konkretisera och koppla till större och mer meningsfulla sammanhang. Vi menar att fotosyntesundervisningen behöver utvecklas så att ämnesinnehållet länkas till samhälls- och hållbarhetsfrågor som klimatfrågor, framtida livsmedelsförsörjning, ekosystembevarande och energiförsörjning utifrån vision II och vision III perspektiv på fotosyntesundervisningen. Den traditionella vision I undervisningen inom fotosyntesområdet behöver därför balanseras upp av ett förhållningssätt i fotosyntesundervisningen som präglas av vision II och III.

I denna artikel har vi gett förslag på vad en kraftfull fotosyntesundervisning 2.0 kan vara. Vi menar att en framkomlig väg är att sätta in fotosyntesen i större kontextuellt sammanhang utan att för den skull tappa bort den systematiskt framtagna ämneskunskapen. Mer ämnesdidaktisk forskning om hur detta kan genomföras praktiskt i samarbete med lärare menar vi behövs för att mer specifikt utveckla undervisningen.

Vi menar att det är först när eleverna bjuds en uppdaterad fotosyntesundervisning som leder till en kraftfull kunskap inom fotosyntesrelaterade området som en fotosyntesundervisning 2.0 sker. Det är då eleven ges möjlighet att fullt ut ta till sig orden från Barker and Carrs (1989, s. 41, översatt av författarna) inledande citat: *“Fotosyntesen sticker tydligt ut som den mest betydelsefulla biokemiska processen på jorden”*.

REFERENSER

- Almén, M. (2001). Fysik i år 7-9 Styrdokumentens syn på skolämnet 1962-2000.[Examensarbete, Linköpings Universitet]. DiVA. <https://liu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A23449&dswid=3179>
- Andersson, B., & Bach, F. (1995). *Att utveckla naturvetenskaplig undervisning. Exemplet gaser och deras egenskaper.* (Rapport IPD-rapport NA-spektrum 14) Göteborgs universitet, Institutionen för didaktik och pedagogisk profession.
- Asshoff, R., Düsing, K., Winkelmann, T., & Hammann, M. (2020). Considering the Levels of Biological Organisation When Teaching Carbon Flows in a Terrestrial Ecosystem. *Journal of Biological Education*, 54(3), 287-299. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1575263>
- Asterhan, C. S., & Resnick, M. S. (2020). Refutation texts and argumentation for conceptual change: A winning or a redundant combination? *Learning and Instruction*, 65, 101265. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101265>
- Barker, M., & Carr, M. (1989). Photosynthesis: Can our pupils see the wood for the trees? *Journal of Biological Education*, 23(1), 41-44. <https://doi.org/10.1080/00219266.1989.9655022>
- Bernstein, B. (1999). Vertical and horizontal discourse: An essay. *British Journal of Sociology of Education*, 20(2), 157-173. <https://doi.org/10.1080/01425699995380>
- Biesta, G. (2009). Good education in an age of measurement: On the need to reconnect with the question of purpose in education. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 33-46. <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9064-9>
- Biesta, G. (2020). Risking Ourselves in Education: Qualification, socialization, and subjectification revisited. *Educational Theory*, 70(1), 89-104. <https://doi.org/10.1111/edth.12411>
- Carlgren, I. (2020). Powerful knowns and powerful knowings. *Journal of Curriculum Studies*, 52(3), 323-336 <https://doi.org/10.1080/00220272.2020.1717634>
- Chen, S.-Y., & Liu, S.-Y. (2018). Reinforcement of scientific literacy through effective argumentation on an energy-related environmental issue. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(12), Article 1625. <https://doi.org/10.29333/ejmste/95171>
- Chen, S.-Y., & Liu, S.-Y. (2020). Developing students' action competence for a sustainable future: A review of educational research. *Sustainability*, 12(4), Article 1374. <https://doi.org/10.3390/su12041374>
- Chen, Y.-C., Benus, M. J., & Yarker, M. B. (2016). Using models to support argumentation in the science classroom. *The American Biology Teacher*, 78(7), 549-559. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.7.549>
- Chen, Y.-C., & Qiao, X. (2020). Using students' epistemic uncertainty as a pedagogical resource to develop knowledge in argumentation. *International Journal of Science Education*, 42(13), 2145-2180. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1813349>
- Cohen, S. A., DeFrancia, K. L., & Martinez, H. J. (2016). A positive vision of sustainability. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6, 231-238. <https://doi.org/10.1007/s13412-016-0368-7>
- Colglazier, W. (2015). Sustainable development agenda: 2030. *Science*, 349(6252), 1048-1050. <https://doi.org/10.1126/science.aad2333>
- 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. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200008\)37:6<582::AID-TEA5>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200008)37:6<582::AID-TEA5>3.0.CO;2-L)
- Deng, Z. (2022). Powerful knowledge, educational potential and knowledge-rich curriculum: Pushing the boundaries. *Journal of Curriculum Studies*, 54(5), 599-617. <https://doi.org/10.1080/00220272.2022.2089538>
- Eberhard, S., Finazzi, G., & Wollman, F.-A. (2008). The dynamics of photosynthesis. *Annual Review of Genetics*, 42, 463-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.42.110807.091452>

- Ebert-May, D., Batzli, J., & Lim, H. (2003). Disciplinary research strategies for assessment of learning. *BioScience*, 53(12), 1221-1228. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[1221:DRSFAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[1221:DRSFAO]2.0.CO;2)
- Eisen, Y., & Stavy, R. (1988). Students' understanding of photosynthesis. *American Biology Teacher*, 50(4), 208-212. <https://doi.org/10.2307/4448710>
- Fensham, P. J. (2004). Increasing the relevance of science and technology education for all students in the 21st century. *Science Education International*, 15(1), 7-26.
- Florides, G. A., & Christodoulides, P. (2009). Global warming and carbon dioxide through sciences. *Environment International*, 35(2), 390-401. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.07.007>
- Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., Galaz, V., Westley, F., Lamont, M., Scheffer, M., Österblom, H., Carpenter, S. R., & Chapin, F. S. (2021). Our future in the anthropocene biosphere. *Ambio*, 50(4), 834-869. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01544-8>
- Gericke, N., Hudson, B., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2018). Powerful knowledge, transformations and the need for empirical studies across school subjects. *London Review of Education*, 16(3), 428-444. <https://doi.org/10.18546/LRE.16.3.06>
- Gericke, N., Hudson, B., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2022). Trajectories of Epistemic Quality and Powerful Knowledge across School Subjects. In B., Hudson, N., Gericke, N., C., Olin-Scheller, & M. Stolare (Eds.) *International Perspectives on Knowledge and Curriculum: Epistemic Quality Across School Subjects*, 197-221. Bloomsbury Publishing.
- Gong, J., Li, C., & Wasielewski, M. R. (2019). Advances in solar energy conversion. *Chemical Society Reviews*, 48(7), 1862-1864. <https://doi.org/10.1039/C9CS90020A>
- Gustafsson, B. (2007). *Naturvetenskaplig utbildning för demokrati och hållbar utveckling* [Licentiatavhandling]. Högskolan Kalmar.
- Haglund, J., & Hultén, M. (2017). Tension between visions of science education. *Science & Education*, 26(3-4), 323-344. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9895-1>
- Harms, U., & Bertsch, U. (2018). Energy, photosynthesis, and respiration. I K. Kampourakis & M. J. Reiss (Red.), *Teaching Biology in Schools* (ss. 139-152). Routledge.
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>
- Hordern, J. (2021). Specialized, systematic and powerful knowledge. *London Review of Education*, 19(1), Article 6.
- Hou, H., Lu, W., Liu, B., Hassanein, Z., Mahmood, H., & Khalid, S. (2023). Exploring the Role of Fossil Fuels and Renewable Energy in Determining Environmental Sustainability: Evidence from OECD Countries. *Sustainability*, 15(3), 2048. <https://doi.org/10.3390/su15032048>
- Hudson, B., Gericke, N., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2023) Trajectories of powerful knowledge and epistemic quality: analysing the transformations from disciplines across school subjects, *Journal of Curriculum Studies*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2182164>
- Ickowitz, A., McMullin, S., Rosenstock, T., Dawson, I., Rowland, D., Powell, B., Mausch, K., Djoudi, H., Sunderland, T., & Nurhasan, M. (2022). Transforming food systems with trees and forests. *The Lancet Planetary Health*, 6(7), 632-639. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00091-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00091-2)
- Jančaříková, K., & Jančařík, A. (2022). How to Teach Photosynthesis? A Review of Academic Research. *Sustainability*, 14(20), 13529. <https://doi.org/10.3390/su142013529>
- Jeong, S., Sherman, B., & Tippins, D. J. (2021). The anthropocene as we know it: Posthumanism, science education and scientific literacy as a path to sustainability. *Cultural Studies of Science Education*, 16(3), 805-820. <https://doi.org/10.3390/su142013529>

- Jidesjö, A. (2005). *Naturvetenskap som allmänbildning: En kritisk ämnesdidaktik*. In S. Sjøberg, & H. Strömdahl (Eds.) *Naturvetenskap som allmänbildning: En kritisk ämnesdidaktik*, 353-381. Studentlitteratur.
- Johansson, A.-M., & Wickman, P.-O. (2012). Vad ska elever lära sig angående naturvetenskaplig verksamhet?: En analys av svenska läroplaner för grundskolan under 50 år. *Nordina: Nordic Studies in Science Education*, 8(3), 197-212. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:du-11187>
- Ke, L., Sadler, T. D., Zangori, L., & Friedrichsen, P. J. (2020). Students' percept
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1759843>ions of socio-scientific issue-based learning and their appropriation of epistemic tools for systems thinking. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1339-1361. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1759843>
- Kim, D., Sakimoto, K. K., Hong, D., & Yang, P. (2015). Artificial photosynthesis for sustainable fuel and chemical production. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(11), 3259-3266. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1759843>
- Köse, S. (2008). Diagnosing student misconceptions: Using drawings as a research method. *World Applied Sciences Journal*, 3(2), 283-293.
- Lewis, S. L., & Maslin, M. A. (2015). Defining the anthropocene. *Nature*, 519(7542), 171-180. <https://doi.org/10.1038/nature14258>
- Liu, X. (2009). Beyond science literacy: Science and the public. *International Journal of Environmental and Science Education*, 4(3), 301-311.
- Liu, X. (2013). *Expanding notions of scientific literacy: A reconceptualization of aims of science education in the knowledge society*. In N. Mansour, & R. Wegerif (Eds.), *Science education for diversity: Theory and Practice*, 23-39. Springer.
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' understanding of photosynthesis: A questionnaire for the s
<https://doi.org/10.1080/09585176.2019.1570292>imultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403. <https://doi.org/10.1080/09500690500277805>
- Métioui, A., Matoussi, F., & Trudel, L. (2016). The teaching of photosynthesis in secondary school: A history of the science approach. *Journal of Biological Education*, 50(3), 275-289. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1085427>
- Muller, J., & Young, M. (2019). Knowledge, power and powerful knowledge re-visited. *The Curriculum Journal*, 30(2), 196-214. <https://doi.org/10.1080/09585176.2019.1570292>
- Nilsson, S. (Red.). (2010). *Naturvetenskaplig bildning* (Grundtviginstitutet vid Göteborgs universitet, nr. 9). Göteborgs universitet.
- Näs, H. (2010). *Teaching photosynthesis in a compulsory school context: Students' reasoning, understanding and interactions* [Doktorsavhandling]. Umeå universitet.
- Ort, D. R., Merchant, S. S., Alric, J., Barkan, A., Blankenship, R. E., Bock, R., Croce, R., Hanson, M. R., Hibberd, J. M., & Long, S. P. (2015). Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(28), 8529-8536. <https://doi.org/10.1073/pnas.1424031112>
- Parker, J. M., de los Santos, E. X., & Anderson, C. W. (2015). Learning Progressions & Climate Change. *American Biology Teacher*, 77(4), 232-238. <https://doi.org/10.1525/abt.2015.77.4.2>
- Ringsmuth, A. K., Landsberg, M. J., & Hankamer, B. (2016). Can photosynthesis enable a global transition from fossil fuels to solar fuels, to mitigate climate change and fuel-supply limitations? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 134-163. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.016>
- Roberts, D. A. (2007) Scientific literacy/science literacy. In S. K. Abell & N.G. Lederman (Eds.). *Handbook of research on science education*, 729-780. Lawrence Erlbaum.

- Roberts, D. A. (2013). Scientific literacy/science literacy. I S. K. Abell & N. G. Lederman (Red.), *Handbook of research on science education*, 743-794. Routledge.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. I N. G. Lederman & S. K. Abell (Red.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II*, 559-572. Routledge.
- Sage, R. F., & Stata, M. (2015). Photosynthetic diversity meets biodiversity: the C4 plant example. *Journal of Plant Physiology*, 172, 104-119. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.07.024>
- Sangprasert, B., Latwong, T., & Chauvatcharin, N. (2021). A study of learning achievement and scientific explanation on photosynthesis of eleventh grade students using inquiry-based instruction (7e) with scientific explanation strategy. *Journal Of Education Naresuan University*, 23(4), 240-252.
- Santos, W. L. D. (2009). Scientific literacy: A Freirean perspective as a radical view of humanistic science education. *Science Education*, 93(2), 361-382. <https://doi.org/10.1002/sc.20301>
- Sass, W., Boeve-de Pauw, J., Olsson, D., Gericke, N., De Maeyer, S., & Van Petegem, P. (2020). Redefining action competence: The case of sustainable development. *The Journal of Environmental Education*, 51(4), 292-305. <https://doi.org/10.1080/00958964.2020.1765132>
- Serder, M. (2015). *Möten med PISA: Kunskapsmätning som samspel mellan elever och provuppgifter i och om naturvetenskap* [Doktorsavhandling]. Malmö högskola.
- Sholikah, L., & Pertiwi, F. N. (2021). Analysis of science literacy ability of junior high school students based on programme for international student assessment (PISA). *INSECTA: Integrative Science Education and Teaching Activity Journal*, 2(1), 95-104. <https://doi.org/10.21154/insecta.v2i1.2922>
- Simmie, G. M., Galvin, E., & O'Grady, A. (2021). Alternative concepts in the teaching of photosynthesis: A Literature Review 2000-2021. *Higher Education of Social Science*, 21(2), 1-11.
- Simonneaux, L. (2007). Argumentation in science education: An overview. *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research*, 179-199. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_9
- Sjøberg, S. (2005). *Naturvetenskap som allmänbildning: En kritisk ämnesdidaktik* (2 uppl.). Studentlitteratur.
- Sjöström, J. (2010). Public understanding of chemicals and chemical risk. *Workshop in Malmö University, Malmö, Sweden (2010)*.
- Sjöström, J. (2017). Vision III: framing stem education with moral-philosophical-existential-political alternatives. The 12th Conference of the European Science Education Research Association-ESERA, Dublin, Ireland (August 21-25, 2017),
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. *Cognition, metacognition, and culture in STEM education: Learning, teaching and assessment*, 65-88.
- Sjöström, J., Frerichs, N., Zuin, V. G., & Eilks, I. (2017). Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 53(2), 165-192. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1384649>
- Skolverket. (2022). *Läroplan för grundskolan, förskoleklass och fritidshem: Lgr22*.
- Smith, M. K., Toth, E., Borges, K., Dastoor, F., Johnston, J., Jones, E. H., Nelson, P., Page, J., Pelletreau, K. N., & Prentiss, N. (2021). Using place-based economically relevant organisms to improve student understanding of the roles of carbon dioxide, sunlight, and nutrients in photosynthetic organisms. *CourseSource*. <https://doi.org/10.24918/cs.2018.1>
- Svandova, K. (2014). Secondary school students' misconceptions about photosynthesis and plant respiration: Preliminary results. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(1), 59-67. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1018a>

- Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation. *Science & Education*, 30(3), 557-587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- Waldron, A., Garrity, D., Malhi, Y., Girardin, C., Miller, D., & Seddon, N. (2017). Agroforestry can enhance food security while meeting other sustainable development goals. *Tropical Conservation Science*, 10, 1-6. <https://doi.org/1940082917720667>
- Ward, L. M., & Shih, P. M. (2019). The evolution and productivity of carbon fixation pathways in response to changes in oxygen concentration over geological time. *Free Radical Biology and Medicine*, 140, 188-199. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.01.049>
- Yenilmez, A., & Tekkaya, C. (2006). Enhancing students' understanding of photosynthesis and respiration in plant through conceptual change approach. *Journal of science Education and Technology*, 15, 81-87. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-0358-8>
- Yore, L. D. (2012). Science literacy for all: More than a slogan, logo, or rally flag! I K. Chwee, D. Tan & M. Kim (Red.), *Issues and challenges in science education research*, 5-23. Springer.
- Young, M. (2007). *Bringing knowledge back in: From social constructivism to social realism in the sociology of education*. Routledge.
- Young, M. (2008). From constructivism to realism in the sociology of the curriculum. *Review of Research in Education*, 32(1), 1-28. <https://doi.org/10.3102/0091732X07308969>
- Young, M., & Muller, J. (2010). Three educational scenarios for the future: Lessons from the sociology of knowledge. *European Journal of Education*, 45(1), 11-27. <https://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2009.01413.x>
- Young, M., & Muller, J. (2013). On the powers of powerful knowledge. *Review of Education*, 1(3), 229-250. <https://doi.org/10.1002/rev3.3017>
- Zeidler, D. L., & Sadler, T. D. (2010). An inclusive view of scientific literacy: Core issues and future directions. I C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Ericksen, & A. MacKinnon (Red.), *Exploring the landscape of scientific literacy*, 176-192. Routledge.

Vol 17, nr 2 2023

Tema: Komparativ ämnesdidaktik: Transformationer som utvecklar kraftfull kunskap

Tema: Komparativ ämnesdidaktik: Transformationer som utvecklar kraftfull kunskap

Martin Stolare, Christina Olin-Scheller & Yvonne Liljekvist

Vad kan en elev som kan prata engelska? Didaktisk transposition av muntlig färdighet i lärares matriser för bedömning av det nationella provet

Liliann Byman Frisén, Erica Sandlund & Pia Sundqvist

Att introducera språklig mångfald och migration som tema på mellanstadiet

Anna Lindholm, Lise Iversen Kulbrandstad & Birgitta Ljung Egeland

Semantiska vågor i undervisningen: Likheter och skillnader i skolämnena matematik och samhällskunskap

Martin Jakobsson, Jorryt van Bommel, Ann-Christin Randahl & Niclas Modig

Fotosyntesundervisning 2.0: Kraftfull kunskap och en vidgad syn på fotosyntesundervisning

Anders Eriksson, Niklas Gericke, & Daniel Olsson

Föreställningar om kunskap och lärande i lärares planeringssamtal i matematik och historia

Ann-Christin Randahl, Yvonne Liljekvist, Martin Jakobsson & Kenneth Nordgren