



UPPSALA
UNIVERSITET

Rapport IBG-LP 18-002

Kognitiv neurovetenskap i skolan

Sofia Forngren

Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet
Ämneslärarprogrammet 330 hp
Lärarexamensarbete 15 hp, ht 2018
Handledare: Brita Svensson
Examinator: Elisabeth Långström

Kognitiv neurovetenskap i skolan

Sofia Forngren

Ämnesdidaktiskt projekt i naturkunskap 2018

Sammandrag

Utvecklingen av nya metoder för att studera hjärnans struktur och funktion har lett till ny förståelse om kognition. Inom kognitiv neurovetenskap studeras sambandet mellan hjärnan och tänkandet, där inläring ingår. Hur inläring fungerar är väsentligt för att utbildning tillgodogörs. Denna litteraturstudie är baserad på delar av den kognitiva neurovetenskapen som berör olika aspekter av vad skolan och lärare kan ha nytta av för att främja elevers inläring.

Hjärnans olika funktioner kan ofta kopplas till olika regioner i hjärnan, och hippocampus samt främre hjärnbarken är två viktiga regioner för både minnesbildning samt framplockning av minnen. Främre hjärnbarken är dessutom den del av hjärnan där de exekutiva funktionerna som har stor betydelse för inläring är lokaliserade. En viktig förutsättning för inläring är att hjärnan är plastisk, den kan förändras både strukturellt och biokemiskt. Hjärnan är plastisk hela livet, men fram tills 25-årsåldern då hjärnan fortfarande utvecklas sker större förändringar, vilket har betydelse för såväl inläring som beteende.

Stress kan genom bland annat synaptisk plasticitet påverka inläring på ett negativt sätt över tid, samtidigt som det även direkt hämmar vår förmåga både att lära oss och att minnas. Till exempel kan stress hämma våra exekutiva funktioner, varav arbetsminnet är en sådan funktion som är betydande för inläring. Många ungdomar idag lider av psykisk ohälsa, och upplevelser av negativa emotioner bidrar till att hjärnan och kroppen upplever stress.

För att öka elevers uppmärksamhet är det därför viktigt med ett klassrum där det är lugnt och alla känner sig trygga. Elevers uppmärksamhet och inläring kan även påverkas genom motivation, som i hjärnan är lokaliserat i en del av belöningssystemet. Det är även förmågan att lära sig genom återkoppling, som är ett effektivt sätt att skapa inläring. Hjärnan lär sig genom att associera ny information till tidigare lagrad kunskap, vilket är bra att tänka på framförallt när ny kunskap ska presenteras.

Bra sömn och fysisk aktivitet är två faktorer som är viktiga för minnesbildningen men som kan kännas svåra att påverka som lärare, samtidigt som det inte är helt omöjligt. Även mindfulness kan implementeras och bidra till både bättre välmående och inläring. Den kognitiva neurovetenskapen kan på flera sätt tillämpas i skolan för att främja elevers inläring.

Inledning

Som blivande naturkunskaps- och biologilärare har jag sedan jag påbörjade utbildningen haft en vision om att kunna förena naturvetenskap och den pedagogiska vetenskapen. Tyvärr finns det inget sådant givet inslag i utbildningen, men jag är tacksam för att jag som valbar kurs i biologi kunde läsa neurobiologi, och därefter fick skriva mitt självständiga arbete i biologi om motivationens betydelse för inläring. När det nu var dags för mig att skriva ytterligare en uppsats har jag valt att fortsätta på det spåret för att se vad det, utöver motivation, finns för neurovetenskaplig forskning som jag kan ha nytta av i mitt kommande yrke.

Syftet med denna uppsats var att genom en litteraturstudie få en överblick över vad det finns forskning inom kognitiv neurovetenskap som berör olika aspekter av vad skolan och lärare kan ha nytta av för att främja elevers inläring. För att begränsa mig har jag valt att fokusera på litteratur som berör inläring samt undervisning generellt, och uteslutit litteratur som berör specialpedagogik och mer specifika förmågor, som till exempel matematik.

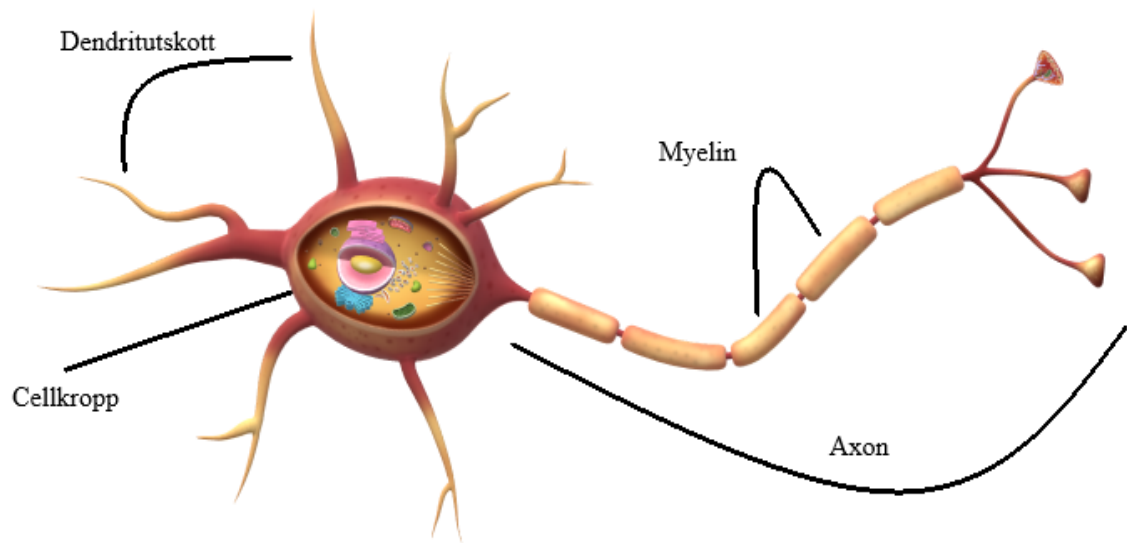
Kognitiv neurovetenskap är ett tvärvetenskapligt forskningsfält för studier som på biologiska grunder undersöker komplex kognition, ”tänkandet”. Framförallt studeras sambandet mellan strukturella och fysiologiska mekanismer hos nervsystemet och psykologi, enklare uttryckt sambandet mellan hjärnan och tänkandet (Gazzaniga 2004).

Ofta används olika hjärnabbildningsmetoder där mänskliga hjärnor skannas för att studera hjärnans struktur och funktion. Genom en visualisering av hjärnan kan dess olika regioner kartläggas utifrån funktion. Magnetisk resonanstomografi/magnetic resonance imaging (MRI) började användas på 1970-talet för att skanna hjärnor och studera deras struktur (Nyberg 2009).

På 1990-talet kom sedan funktionell MRI (fMRI) i bruk, som genom att titta på hjärnans aktivitet kan användas för att studera dess funktion. Denna teknik har inneburit ett genombrott för den kognitiva neurovetenskapen, där fMRI under 2000-talet har dominerat, samtidigt som flera andra metoder också använts, till exempel elektroencefalografi (EEG) (Nyberg 2009). För en utförligare förklaring samt diskussion av hjärnabbildningsmetoder hänvisar jag till min tidigare uppsats ”Vad säger neurobiologisk forskning om motivationens betydelse för inläring?” (Forngren 2018).

Hjärnan

Hjärnan består av nervceller, även kallade neuroner, samt olika stödjeceller vid namn gliaceller. En nervcell består av en cellkropp, dendriter och ett axon (figur 1). Mellan en nervcells axons ändpunkt och en annan nervcells dendritskott uppstår kontaktpunkter som kallas synapser, där signalöverföringen sker genom elektriska signaler (Olson 2007).

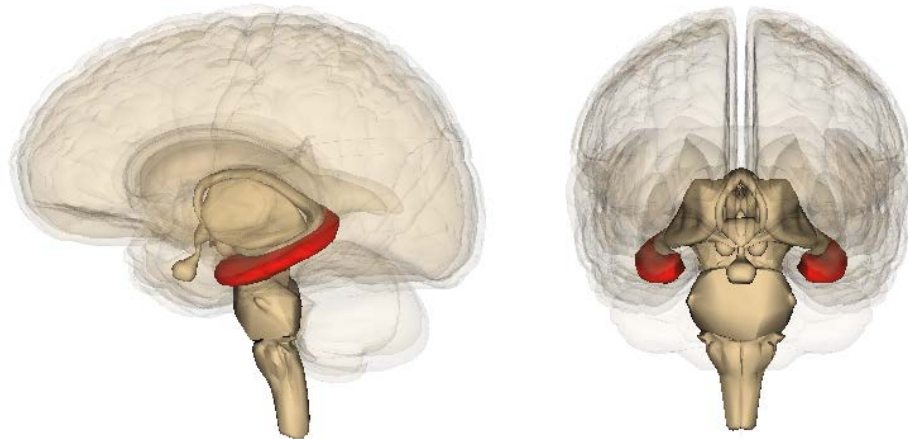


Figur 1. En nervcell, även kallat neuron, som består av en cellkropp, dendriter och ett axon. Runt axonet på bilden finns myelin, som är uppbyggt av fett och isolerar axonet så att signalerna går snabbare.

Från cellkroppen går signalerna ut via axonet, som kan vara myeliniserat eller omyeliniserat. Myelin består av fett som fungerar som isolering (figur 1) och gör att signalerna går snabbare. Utrymmet mellan axon och dendrit, ett cirka 20 nanometer brett mellanrum, kallas för synapsklyftan. Om en signal är tillräckligt stark frigörs signalsubstanser från änden på axonet, som diffunderar genom synapsklyftan och tas emot av receptorer på dendriterna hos den mottagande neuronen. När receptorerna på dendriterna stimuleras leder det till att den mottagande neuronens aktivitet påverkas (Olson 2007).

De olika delarna av neuronerna kan på grund av myelinet delas in i vit och grå substans. De myeliniserade axonen utgör vit substans och den grå substansen utgörs främst av cellkroppar. Axonerna formar nervbanor mellan olika cellkärnor (Olson 2007).

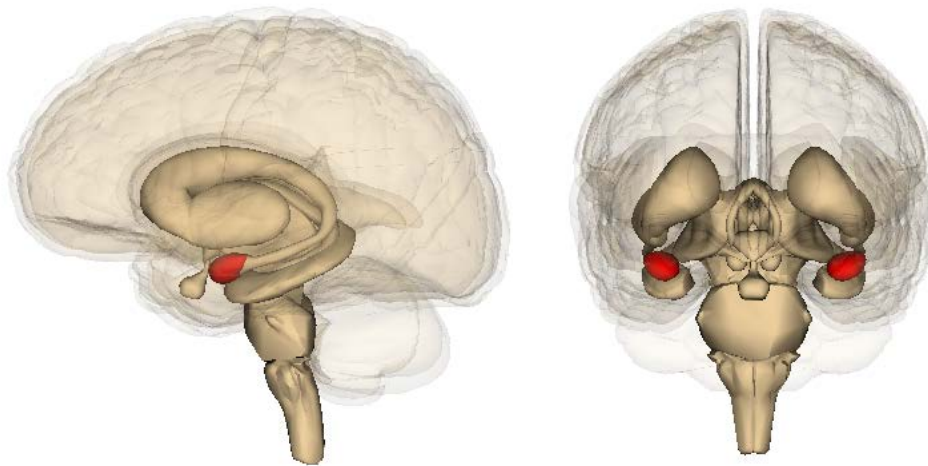
Hjärnans yttersta skikt kallas hjärnbarken eller kortex och är bland annat säte för vår medvetna tankeverksamhet. Tillsammans med hippocampus (figur 2) är hjärnbarken viktig för minnesbildning av kunskap och upplevelser. Hjärnbarken utgörs främst av grå substans (Olson 2007). Hippocampus är två strukturer som ligger innanför hjärnbarken, en i varje tinninglob. Förutom att bilda minnen är hippocampus även delaktig i framplockning av minnen, som lagras i hjärnbarken (Olson 2007).



Figur 2. Hippocampus position i hjärnan markerat med rött, bild till vänster sedd från sidan, bild till höger sedd framifrån. Bild från Wikimedia Commons (2009), med tillstånd av upphovsrättsinnehavaren (Wikimedia Commons, 2009).

Länge trodde man att nervceller inte kunde nybildas hos vuxna, men den svenske forskaren Peter Eriksson och hans forskarteam kom med banbrytande forskning som visade att det inte stämmer. De kunde påvisa nybildning av neuroner i hippocampus (Eriksson m.fl. 1998). Nybildning av neuroner kallas neurogenes, och kunskapen om neurogenes har bidragit till ett nytt sätt att se på inlärning (Aimone m.fl. 2010).

Samtidigt är inte neurogenes den viktigaste mekanismen för inlärning, utan det faktum att synapser förändras och kan bli förstärkta eller försvagade, vilket kallas synaptisk plasticitet. Korttidsplasticitet är förändringar som varar från ett par sekunder upp till någon minut. Förändringen beror på aktivitetsmönster från elektriska signaler mellan nervceller. Synaptisk plasticitet som varar längre kallas långtidspotentiering (LTP) när synapserna förstärks och långtidsdepression (LTD) när de försvagas. LTP och LTD är de mekanismer som utgör grunden för vår minnesbildning (Olson 2007). LTP kan uppstå cirka 30 minuter efter att ett aktivitetsmönster initierat processen (Taube & Schwartzkroin 1988).



Figur 3. Amygdalans position i hjärnan markerat med rött, bild till vänster sedd från sidan, bild till höger sedd framifrån. Bild från Wikimedia Commons (2009), med tillstånd av upphovsrättsinnehavaren (Wikimedia Commons, 2009).

Amygdala (se figur 3) är två mandelformade nervcellsstrukturer, en i varje hjärnhalva, som är förknippade med emotioner och ligger intill hippocampus. Tillsammans med några andra regioner (thalamus, hypotalamus, gördelvindlingen, basala ganglierna och främre hjärnbarken) utgör hippocampus och amygdala det limbiska systemet, som främst är förknippat med emotioner (Nyberg 2009). Basala ganglierna är samlingar av nervcellskroppar och utgörs av striatum (figur 4), globus pallidus och substantia nigra (Nyberg 2009). I substantia nigra bildas dopamin (Olson 2007).



Figur 4. Striatums position i hjärnan markerat med rött, bild till vänster sedd från sidan, bild till höger sedd framifrån. Bild från Wikimedia Commons (2009), med tillstånd av upphovsrättsinnehavaren (Wikimedia Commons, 2009).

Spiegelneuron

Ett av våra neurobiologiska system för att lära oss genom att observera andra är våra spegelneuroner (Rizzolatti & Craighero 2004). När vi observerar andra aktiveras de på samma sätt som om vi själva utförde beteendet. Det ligger till grund för imitationsinlärning men också för att vårt sociala samspel ska fungera (Rizzolatti & Craighero 2004, Gallese 2005). Med hjälp av spegelneuroner kan vi lättare förstå och även förutse andras beteenden. De hjälper oss även att känna empati (Gallese 2005).

Spiegelneuroner bidrar också till affektsmitta, vilket innebär att vi påverkas av varandras emotioner bland annat genom ansiktsuttryck som genom våra spegelneuroner upplever vi det vi ser hos andra (Rizzolatti & Craighero 2004, Gallese 2005).

Minnessystem, minnesbildning och hippocampus

För att utifrån ett neurovetenskapligt perspektiv förstå inlärning är förståelsen av minnessystem och minnesbildning grundläggande. Arbetsminnet hanterar det som sker i nuet, medan långtidsminnet hanterar det som har hänt. En viktig cellulär skillnad är att långtidsminnen uppstår genom LTP, vilket kräver aktivering av vissa gener, som kodar för proteiner som bidrar till att förstärka synaptiska förbindelser. Arbetsminnet, som i denna uppsats behandlas mer i senare avsnitt, uppstår istället genom snabbare modifieringar av redan befintliga kopplingar mellan neuronerna (Nyberg 2009).

Långtidsminnet kan delas in i explicit deklarativt minne och implicit icke deklarativt minne. Det deklarativa minnet används för lagring av fakta samt specifika händelser, vilket ger oss minnen som vi medvetet kan använda. Det består i sin tur av episodiskt minne och semantiskt minne. Episodiskt minne utgörs av personligt upplevda händelser som är bundna till tid och rum. Det semantiska minnet lagrar våra faktakunskaper samt applicering av dessa (Nyberg 2009).

Det icke deklarativa minnet används för till exempel olika färdigheter och procedurer som vi inte medvetet tänker på hur vi ska genomföra. En annan form av implicit minne är priming som genom associationer till tidigare minnen omedvetet påverkar hur vi hanterar, tar in och agerar på ny information (Schacter m.fl. 2004, Nyberg 2009). Även om minnet delas in i olika system betonar Nyberg (2009) att dessa minnessystem samverkar, det är inte så att endast ett i taget är aktivt (Nyberg 2009).

Minnet kan även delas in i olika faser. Först kommer en inlärningsfas då informationen förvärfas. Det följs av en lagringsfas och sist en framplockningsfas. De explicita minnesfunktionerna är beroende av hippocampus men det är däremot inte de implicita (Nyberg 2009). Hippocampus är viktig för både episodisk och semantisk minnesbildning. Genom att avbilda aktiviteten i hippocampus och se sambandet mellan den aktiviteten och minnesbildningen visade det sig att det krävs aktivitet i hippocampus för långtidsminnesbildning. Aktivitet i hippocampus under inlärning är viktigt för att saker ska bli ihågkomna (Davachi & Wagner 2002, Davachi & Dobbins 2008).

Dessutom är hippocampus även aktivt vid framplockning av deklarativa minnen, tillsammans med främre hjärnbarken (figur 5). Långtidsminnena lagras i stora nätverk i hela hjärnbarken. Ju mer information som associeras till ett minne desto tjockare nätverk, och därmed också lättare att återkalla minnet. Hippocampus är aktivt när vi skapar dessa associationer (Davachi & Dobbins 2008). För att skapa optimala förutsättningar för inläring är det mycket viktigt att skapa förutsättningar för hippocampus att göra sitt jobb på bästa sätt (Balda & Rock 2014).

Främre hjärnbarken och exekutiva funktioner

Främre hjärnbarken benämns även som vårt beslutsfattarcentrum, då den är aktiv vid medvetna beslut som till exempel berör mål, önskningar, värderingar och konsekvenser. Dock är det inte alltid så att främre hjärnbarken står som överordnad över hjärnans andra regioner (Prehn 2018). Främre hjärnbarken är ett område som är viktigt för att vi ska kunna associera och det är där de exekutiva funktionerna hanteras (Olson 2007).



Figur 5. Främre hjärnbarkens position i hjärnan markerat med rött, sett från sidan. Bild från Wikimedia Commons (2009), med tillstånd av upphovsrättsinnehavaren (Wikimedia Commons, 2009).

Exekutiva funktioner är ett samlingsbegrepp för processer som ligger till grund för utförande av komplexa kognitiva aktiviteter. Exempel på exekutiva funktioner är arbetsminne, planering, problemlösning, uppmärksamhet och beslutsfattande (Nyberg 2009). Exekutiva funktioner ger oss också förutsättningar för att kunna skifta perspektiv, vilket är viktigt för bland annat kommunikation och konflikthantering, impuls kontroll, konsekvensbedömning, empati och viljestyrka. Främre hjärnbarken är energikrävande och känslig för stress, hunger, syrebrist, blodsocker och sömnbrist (Prehn 2018).

Frontallobens hjärnbark har dopaminrika nervtrådar (Olson 2007). Uppgifter som ställer krav på exekutiva funktioner har visat sig leda till ökad dopaminaktivitet i både de främre regionerna i hjärnbarken samt i hippocampus, amygdala och basala ganglierna, vilket ger stöd för att dopamin modulerar olika typer av exekutiva processer (Nyberg 2009).

Hjärnans utveckling

När vi föds är hjärnan mer eller mindre omyeliniserad (Olivestam & Ott 2010). Mer myelinisering indikerar att hjärnans signaler går snabbare vilket ger en högre kapacitet (Klingberg m.fl. 2009). Kognitiv träning har visat sig kunna öka kopplingar mellan olika hjärnstrukturer hos barn (Astle m.fl. 2015).

Med hjälp av MRI följde Giedd m.fl. (1999) hjärnans utveckling på barn i åldern 4-20 år. För vit substans kunde de se en linjär ökning, samma samband gällde dock inte för grå substans, utan den kurvan liknade mer ett U. Regioner i främre hjärnbarken som är viktiga för impulskontroll var bland de sista att mogna, det skedde inte förrän ungefär i 20-årsåldern (Giedd m.fl. 1999).

Samtidigt som främre hjärnbarken ligger efter i utvecklingskurvan är det limbiska systemet extra aktivt, vilket gör att tonåringars belöningsystem är extra känsligt (Giedd & Rapoport 2010, Giedd 2015). Tonåringar är extra risktagande och har lättare att bli drogberoende på grund av tonårshjärnans strukturella och biokemiska förändringar. Deras beteende blir mer belöningsdrivet, och eftersom motivation hänger ihop med belöningsystemet är det en extra viktig faktor hos tonåringar (Wahlstrom m.fl. 2010).

Tonårshjärnan är varken en äldre version av barnhjärnan eller en halvfärdig vuxenhjärna, den särskiljer sig då det blir ett annat förhållande för utvecklingen och aktiviteten i framförallt främre hjärnbarken och det limbiska systemet. Inte förrän i 25-årsåldern är hjärnan biologiskt färdigutvecklad (Giedd & Rapoport 2010, Giedd 2015).

Arbetsminnet

Arbetsminnet utgör vår medvetna förmåga att registrera, hantera och bearbeta aktuell information (Olson 2007). Det är avgörande för komplicerade kognitiva uppgifter som till exempel inläring, läsförståelse och logiskt tänkande (Klingberg m.fl. 2009). Det är lokaliserat i främre hjärnbarken samt hjärnbarken vid hjässloberna (Klingberg 2011).

Arbetsminnet hanterar det vi är uppmärksamma på och hjälper oss hålla aktuell information i huvudet i några sekunder. För att koncentration ska kunna uppstå måste arbetsminnet veta vad det ska fokusera på. Uppmärksamheten är som en portal mellan informationsflöden och hjärnan, om vi inte uppmärksammar något kan vi inte heller minnas det (Klingberg m.fl. 2009).

Hjärnan och därmed också arbetsminnet har sina begränsningar, och studier indikerar att vi endast kan hålla tre till sju informationsbitar i arbetsminnet samtidigt (Cowan 2001, Linden m.fl. 2003). Arbetsminnets begränsningar innebär också per automatik att vår koncentrationsförmåga begränsas (Klingberg 2016). Arbetsminnets förutsättningar innebär också att multitasking är väldigt kontraproduktivt när det gäller inläring. Istället är det bättre att fokusera på en sak i taget (Balda & Rock 2014, Davis m.fl. 2014).

Arbetsminne skulle även kunna kallas arbetskoncentration (Klingberg 2011). Koncentration kan delas in i två anatomiskt och funktionellt skilda system. Det ena hanterar stimulusdriven uppmärksamhet och styrs spontant av externa sinnesintryck och är lokaliserat lite längre ner i hjärnbarken. Det andra är vår kontrollerade uppmärksamhet som är lokaliserat lite högre upp i hjärnbarken. Det regleras av vår beslutsamhet, medveten fokusering och drivs av mål och intentioner (Klingberg 2011, Balda & Rock 2014). De två systemen samspelar med varandra och genom att aktivera det ena kan det ge återhämtning åt det andra. Till exempel om något oväntat händer så får vår kontrollerade uppmärksamhet en chans att återhämta sig, vilket behövs efter cirka 20 minuters bibehållen uppmärksamhet (Balda & Rock 2014).

I skolan är arbetsminnet mycket viktigt. Det används för att minnas instruktioner och fungerar som en temporär kunskapszon (Klingberg 2011). Rätt uppmärksamhet är en förutsättning för inläring, och det bör därför inte förekomma distraktioner i skolan. Det ska vara lugn och ro i klassrummet. Repetition kan också vara ett sätt att avlasta arbetsminnet, ju mer automatiserade kunskaper och förmågor blir desto mindre plats tar de i arbetsminnet. En väldigt viktig sådan förmåga är läsförståelse (Henrekson m.fl. 2017).

Om det går att träna arbetsminnet eller inte genom speciell träning är omdiskuterat. Metastudier visar dock att det inte ger någon överföringseffekt, vilket innebär att även om vissa studier kunde visa förbättringar av arbetsminnet för de uppgifter försökspersonerna fick träna på, kunde inga förbättringar påvisas för arbetsminnet i uppgifter av annan karaktär. Dessutom var resultatförbättringarna för arbetsminnesuppgifterna inte bestående (Melby-Lervåg & Hulme 2013). Specifika studier i skolmiljö visar på samma resultat (Rode m.fl. 2014). Minnesstrategier fungerar inte heller generellt utan bara för en viss typ av information, minnesmästare blir bara bra på att tävla i minnestävlingar (Klingberg 2011).

Association

Framställning av nya minnen sker genom nya kopplingar till tidigare kunskap (Balda & Rock 2014). Uppifrån-och-ned-process är en kortare väg än nedifrån-och-upp till förståelse, för då kan hjärnan associera, sälla samt förstå det väsentliga i sammanhanget. Därför är det lättare att lära sig mer om det man redan kan än att ta in helt ny information. Att lära sig enligt principen nedifrån-och-upp är svårt, tar tid och innebär en hög belastning av arbetsminnet (Henrekson m.fl. 2017).

Förståelse och insikt, till exempel det där ögonblicket när vi omedvetet löser ett problem är en sorts associationskoppling av minnen. Genom det skapas inte bara minnen utan även förståelse, vilket leder till bättre inläring. Som lärare kan man hjälpa eleverna att skapa förståelse genom att låta eleverna börja jobba med ett olöst problem som de får ta sig tid att reflektera över. Som lärare tar du reda på hur eleven har tänkt kring lösningar och ger återkoppling. Att skapa förståelse leder till bättre inläring än att bara säga svaret, och återkoppling har visat sig vara mer tideffektivt än att bara läsa in kunskap (Balda & Rock 2014).

För att kunna associera och förbättra inläringen har också metakognitionsfärdigheter betydelse. Metakognition betyder tänka på att tänka. Dels gör det dig medveten om vad du vet och inte vet. Dels hjälper det dig att avgöra relevansen i ny information (Balda & Rock 2014). Metakognition sker i främre hjärnbarken (Fleming & Dolan 2012).

Genom att hjälpa eleven att tänka på sig själv i en kontext av ett större sammanhang kan man utnyttja och utveckla metakognitionen. Som lärare kan man göra det genom till exempel grupparbete och historieberättande. Ett annat exempel är att låta eleverna ta position som lärare. Inläringen blir då också automatiskt mindre passiv (Balda & Rock 2014).

Att hjärnan aktivt glömmer bort information är också viktigt för inläringen, skulle vi inte glömma sådant som ej längre är relevant skulle vi inte heller kunna lära oss så mycket nytt. Därför är det också viktigt att vi repeterar för att inte glömma det vi lärt oss (Ingvar & Eldh 2014). Att dela upp inläringen och repetera kallas spacing eller distribuerat lärande och bidrar till bättre långtidsminne (Klingberg 2011). Det kan också uttryckas som motsatsen till korvstopning, som jämfört med spacing är sämre för inläringen (Balda & Rock 2014).

En förklaring till det är att inläring utöver arbetsminnet också har andra begränsningar. För att skapa långtidsminnen behövs förändring av synaptiska kopplingar vilket tar tid. Använder vi inte det vi lärt oss kommer dessutom synaptiska kopplingar att försvagas. För att skapa nya bestående synaptiska kopplingar krävs både tid och sömn (Balda & Rock 2014, Davis m.fl. 2014). Sömn är en mycket viktig faktor för minnesbildning (Balda & Rock 2014, Davis m.fl. 2014, Benedict m.fl. 2018). Som lärare är det svårt att påverka elevernas sömn vilket gör att det inte tas upp så mycket i denna uppsats, däremot kan vi påverka hur vi distribuerar undervisningen.

Ett problem är att det som värdesätts i skolan ofta är resultat på prov och inte den egentliga inläringen. Vid försök har det visat sig att om ett stoff med samma inläringstid ges vid ett tillfälle eller delas upp på två tillfällen (spacing) spelar roll. Vid kunskapstest efter en vecka gav de de två uppläggen liknande resultat men fyra veckor senare visade sig spacing ha bättre effekt (Balda & Rock 2014).

Att hinna med en natts sömn mellan inläringstillfällena är bra. Samtidigt kan även kortare pauser under inläringstillfället ha både kortsiktiga och långsiktiga effekter på inläring (Balda & Rock 2014). Korta pauser låter nervbanorna vila och tillåter att mer ny information kan tas in (Davis m.fl. 2014). En studie av Tambini m.fl. (2010) studerade effekterna av vaken vila mellan uppgifter med hjälp av fMRI. Upplägget bestod av två sessioner med 21 minuters uppgift följt av drygt 8 minuters vila. Under vilan kunde forskarna se aktivitet mellan hippocampus och hjärnbarken vilket tyder på bättre associativt minne (Tambini m.fl. 2010).

Eller skulle skolan faktiskt kunna påverka elevernas sömn? En idé är att ta upp det på utvecklingssamtal (Ingvar & Eldh 2014). En annan möjlighet är att under skoldagen påverka elevernas dagsljusintag, då sömnregleringen är beroende av ljus. För att somna i tid bör man

helst få dagsljus på förmiddagen. Detta kan uppnås genom att vara utomhus, sitta nära fönster och installera smarta lampor (Benedict m.fl. 2018).

Motivation och återkoppling

I min tidigare uppsats ”Vad säger neurobiologisk forskning om motivationens betydelse för inläring?” fann jag att det finns neurobiologiskt stöd för att motivation underlättar inläring. I samband med det fann jag även flera intressanta studier som berörde återkoppling, dess samspel med motivation och dess påverkan på inläringen. En anledning till att jag valde att skriva om motivation var för att det är något som en lärare kan påverka i klassrummet. Från neurovetenskapliga studier har det kunnat påvisas att motivation kan ha stor betydelse för inläring (Forngren 2018).

Motivation kan delas in i inre och yttre motivation. Yttre motivation som till exempel pengar, mat och droger har tidigare visat sig påverka vår minnesbildning. Jag valde att undersöka motivationen till att lära sig oberoende av belöning i sådan form (Forngren 2018).

Ur ett neurobiologiskt perspektiv ses motivation som en del av belöningsystemet, som kan påverka vår minnesbildning (Forngren 2018). Genom att studera tillverkningen av proteiner som ger upphov till LTP i hippocampus fann Smith m.fl. (2005) att dopamin har en påverkan på den processen. Nervceller som signalerar med hjälp av dopamin har synaptiska kopplingar till hippocampus, och aktivering av dopaminreceptorer visade sig öka nybildningen av proteiner i dendriter hos neuroner i hippocampus (Smith m.fl. 2005).

I min tidigare uppsats fann jag att högre motivation visade sig korrelera med bättre bildning av deklarativa minnen. Personer som hade högre nivåer av motivation uppvisade i flera studier ökad aktivitet i delar av hjärnans belöningsystem som producerar signalsubstansen dopamin. Dessa regioner har kopplingar till hippocampus vars minnesbildning underlättas av dopaminutsöndring (Forngren 2018).

Motivationens effekt syntes främst genom aktivitet i belöningsregionerna innan själva inläringstesterna, vilket tyder på att själva förväntan om belöning och inte belöningen i sig är det som gynnar inläringen (Swanson & Tricomi 2014, Gruber m.fl. 2014, DePasque & Tricomi 2015). Högre motivation visade sig även spela roll för att orka hålla koncentrationen uppe över tid (DePasque & Tricomi 2015). Motivation kan också beskrivas som nyfikenhet, vilket speglar den inre motivationen till att lära sig (Gruber m.fl. 2014).

I belöningsystemet är det framförallt regionen striatum som genom sin aktivitet visat sig ha en viktig funktion för kognitiv återkoppling och dess påverkan på inläring och motivation (Swanson & Tricomi 2014). Återkoppling underlättar inläring, framförallt när återkopplingen var positiv. En förklaring till det skulle kunna vara att positiv återkoppling ger en belönande effekt (Forngren 2018). Benägenheten att lära sig genom återkoppling har även visat sig korrelera med motivationsgraden, då högre motivation visade sig förbättra förmågan att lära sig mer av negativ återkoppling (Bengtsson m.fl. 2009).

Hjärnans utveckling under tonåren innebär förutsättningar som kan anses vara nackdelar för inläring, men det är även möjligt att utnyttja tonårstidens fördelar för inläring. Jämfört med vuxna så har tonåringar visat sig vara bättre på att lära sig genom återkoppling, något som skulle kunna förklaras med tonåringars ökade känslighet i belöningssystemet (Davidow m.fl. 2016).

Amygdala, uppmärksamhet, emotioner och stress

Amygdala är en del av limbiska systemet, där även hippocampus ingår. Amygdala har länge varit förknippad med emotioner och rädsla, och emotioner är viktigt för att vi ska kunna värdera situationer (Olson 2007). Nu finns dessutom stöd för att amygdala också är aktivt vid relevansavgörande, även för icke-emotionellt stimuli (Ousdal m.fl. 2008). Amygdala kan både underlätta och försvåra inläring (Prehn 2018). Rädslsystemet prioriteras före inläring, så negativa emotioner är viktiga att förebygga i skolan (Henrekson m.fl. 2017).

Främre hjärnbarken har neurala kopplingar till amygdala, vilket gäller för både positiva och negativa emotioner (Kim & Hamann 2007). Amygdala kan genom aktivitet och input till främre hjärnbarken reglera exekutiva funktioner, som till exempel beslut och impulskontroll (Olson 2007, Gupta m.fl. 2011). Dock kan även främre hjärnbarken reglera aktiviteten i amygdala och därmed upplevelser av emotioner (Ochsner m.fl. 2002). Högre aktivitet i främre hjärnbarken har visat sig nedreglera både positiva och negativa känslor, vilket också visar på kopplingen mellan kognition och emotioner (Ochsner m.fl. 2004).

En fMRI-studie som undersökte sambandet mellan amygdala och arbetsminnet visade att aktiviteten i amygdala påverkade resultatet för arbetsminnesuppgifter som var oberoende av affekt-relaterade variabler. Individer som hade högre aktivitet i amygdala under arbetsminnestester presterade också bättre resultatmässigt. Aktiviteten i amygdala korrelerade dessutom med nivån på testet. Ju mer krävande för arbetsminnet testet var, desto högre aktivitet påvisades i amygdala, vilket tyder på att aktivitetsnivån amygdala har betydelse för arbetsminnet (Schaefer m.fl. 2006).

Nivån av emotionell aktivitet påverkar också hippocampus. För hög aktivitetsnivå i amygdala reducerar hippocampus förmåga att bilda långtidsminnen. Blir det för hög aktivitet i amygdala, till exempel på grund av starka emotioner kan det bli för distraherande och ta all uppmärksamhet. Det gäller framförallt negativa men även positiva emotioner om de blir väldigt starka (Balda & Rock 2014).

Det är svårt att få ner amygdalaaktiviteten när den blivit för hög, så det är därför bättre att jobba förebyggande och hålla amygdala på rätt nivå genom lågaffektivt bemötande (Prehn 2018). Om man hamnar i för hög affekt kan det räcka att sätta ord på sina känslor för att sänka affektnivån (Lieberman m.fl. 2007). Att som lärare be eleverna beskriva vad de känner skulle därför kunna vara en bra strategi för att hjälpa dem lugna ner sig och sedan lösa eventuella konflikter.

Måttliga nivåer av emotionell aktivitet vid inläring främjar istället minnesbildningen, där både positiva och negativa känslor kan ge den fördelen. Positiva emotioner har dock även andra effekter, och det är svårare att hamna alldeles för högt i affekt jämfört med negativa emotioner. Dessutom underlättar positiva emotioner andra inlärningsfaktorer som socialt samarbete och bildandet av insikter (Balda & Rock 2014).

Stress

Amygdala är känsligt för stress. Stresshormoner kan påverka amygdala och bland annat ge upphov till mer oro och ångest (Mitra m.fl. 2005). Sambandet mellan stress i hjärnan och aktivitet i hippocampus kan liknas vid ett inverterat U. En optimal stressnivå inträffar där man upplever sig vara skärpt, pigg, engagerad, stimulerad och lekfull. Hippocampus har receptorer för stresshormoner. Stress kan via dem avbryta aktiviteten i hippocampus och även påverka beteende och inläring genom att hämma exekutiva funktioner (Sapolsky 2015). Förutom att hämma inläringen gör för mycket stress också att vi får svårare att återkalla minnen (Roosendaal m.fl. 2009).

Över tid påverkar nivåerna av stresshormoner även hjärnans plasticitet (Radley m.fl. 2005, Sapolsky 2015). I flera delar av hjärnan leder för hög kontinuerlig stress till tillbakabildning av dendriter och minskning av grå hjärnsubstans. I främre hjärnbarken leder det till bland annat försämrat arbetsminne och emotionskontroll (Sapolsky 2015).

Tillbakabildningen av dendriter i främre hjärnbarken till följd av perioder av stress kunde dock motverkas om det sedan gavs möjlighet till perioder av återhämtning (Radley m.fl. 2005). Ett undantag från övriga delar av hjärnan som kan krympa av stress är amygdala, där ökade stresshormoner istället leder till att amygdala växer. Det i sin tur kan göra oss extra sårbara för negativa emotioner som rädsla, oro och i förlängningen kan det leda till depression (Sapolsky 2015).

Känslor av oro och otrygghet ger också upphov till stresspåslag. Barn som mer eller mindre konstant upplever dessa känslor kan därför få svårare med inläringen (Ingvar & Eldh 2014, Prehn 2018). Psykosocial stress har precis som annan stress visat sig hämma exekutiva funktioner (Liston m.fl. 2009). Det är viktigt att eleverna känner sig trygga både i skolan och i klassrummet. Ett tryggt klassrum vågar man misslyckas i, och då krävs goda relationer både mellan lärare och elever samt elever emellan (Ingvar & Eldh 2014, Prehn 2018).

En studie på högstadielever visade att självförtroendet påverkade stressnivåerna under prov. De elever som hade lägre självförtroende hade högre nivåer av stresshormonet kortisol under prov och fick även sämre resultat (Lindahl m.fl. 2005). En annan form av stress är känslan av att inte ha kontroll över sin situation. Det kan bero på för hög arbetsbelastning, men det kan också bero på att man inte vet hur mycket arbete man faktiskt har. Skolarbetet måste därför vara överskådligt (Henrekson m.fl. 2017, Prehn 2018).

Meditation

Meditation kan beskrivas som en form av mental träning med syftet att utveckla mentala förmågor, till exempel uppmärksamhet och känsloreglering. Meditation innefattar olika praktiker som till exempel mindfulness-meditation och yoga. Den typ av meditation som undersökts mest genom neurovetenskap är mindfulness-meditation. Mindfulness kallas medveten närvaro, där en icke-dömande uppmärksamhet är riktad till nuet genom självmedvetenhet, uppmärksamhetskontroll och känsloreglering (Tang m.fl. 2015).

Meditation har både kortsiktiga och långsiktiga effekter. Flera studier har visat att meditation leder till strukturella förändringar i hjärnan över tid. Meditation har även visat sig kunna nedreglera aktiviteten i amygdala och öka aktiviteten i främre hjärnbarken. Genom olika mekanismer finns det neurobiologiskt stöd för att meditation leder till bättre självmedvetenhet, uppmärksamhetskontroll och känsloreglering (Tang m.fl. 2015).

Längre perioder av meditation har visat sig korrelera med större grå substansvolym i hippocampus och främre hjärnbarken (Luders m.fl. 2009). Så lite som fem dagar med 20 minuters meditationsträning har visat sig ha effekt på självreglering och arbetsminne. Dessutom uppvisade deltagarna lägre orosnivåer, mindre symtom av depression, ilska och trötthet. Signifikanta minskningar av stresshormonet uppmättes och immunförsvaret uppvisade en ökad aktivitet (Tang m.fl. 2007).

Ett koncept som involverade mindfulness och att bry sig om andra testades på grundskoleelever i årskurs 4–5 under tolv veckor. De elever som fick följa programmet visade skillnader jämfört med kontrollgruppen. De uppvisade förbättrad kognitiv kontroll, empatisk förmåga, perspektivtagande, känsloreglering, optimism och närvaro. Fysiologiska mätningar visade på lägre stressmarkörer. Dessutom minskade deras symtom på depression och aggression riktad till andra elever, och de fick högre social acceptans bland sina klasskamrater (Schonert-Reichl m.fl. 2015). Högre social acceptans kan mer vardagligt översättas till att de ansågs mer populära bland sina klasskamrater.

En annan studie som tittade på effekten av ett skolbaserat mindfulnessprogram hos äldre elever, i åldern 16–18 år fann också liknande effekter. Mindfulnessprogrammet ledde till ökat välmående, sänkta stressnivåer, bättre känsloregleringsförmåga och bättre koncentrationsförmåga (Sanger m.fl. 2018).

Meditation har även visat sig påverka belöningssystemet och förmågan att lära sig genom återkoppling. En studie har visat att de som mediterar har en bättre förmåga att lära sig genom återkoppling jämfört med de som inte mediterade. Störst skillnad sågs för negativ återkoppling där de som mediterade tenderade att lära sig bättre av det än de andra (Knytl & Optiz 2018). Enligt Knytl och Optiz (2018) skulle denna effekt kunna bero på att meditation ger generellt förhöjda dopaminnivåer och därmed bättre uppmärksamhet.

Fysisk aktivitet och inläring

Motion är en annan viktig faktor för inläring (Ingvar & Eldh 2014) som också kan vara svår att påverka som lärare. Att det är svårt betyder dock inte att det är omöjligt, och det har visat sig att lågintensiv träning, i form av en promenad, förbättrar kreativt tänkande både medan man går och direkt efter. Extra stor effekt gav promenader om de var förlagda utomhus (Opezzo & Schwartz 2014).

Att röra sig direkt i anslutning till inläring är också något som kan implementeras i skolan. En metastudie av Roig m.fl. (2013) visade att konditionsträning i anslutning till inläringstillfället underlättar inläring genom att lägga en grund för molekylära processer som är involverade i lagring av ny information. Detta var genom ämnen som BDNF (brain-derived neurotrophic factor), dopamin och adrenalin (Roig m.fl. 2013). BDNF är ett protein som är en tillväxtfaktor som är essentiellt för att hippocampus ska kunna skapa långtidsminnen (Bekinschtein m.fl. 2008). En annan metastudie visade att fysisk aktivitet direkt leder till snabbare kognition. Detta tros bero på ökade nivåer av dopamin (McMorris & Hale 2015).

Högre nivåer av BDNF är sedan tidigare associerat med konditionsträning, och en intressant studie har nu visat att så lite som 10 minuters högintensiv konditionsträning leder ökade nivåer av BDNF. Dessutom testade de annat hos deltagarna direkt efter och såg kognitiva förbättringar, ökat blodflöde samt ökade nivåer av signalsubstanser (Hwang m.fl. 2016).

En annan potentiell åtgärd för att öka den fysiska aktiviteten är att införa ståbord i skolan. En studie av Mehta m.fl. (2015) fick resultat som visar på att ståbord förbättrade kapaciteten i främre hjärnbarken och därmed exekutiva funktioner som till exempel arbetsminne (Mehta m.fl. 2015).

Diskussion

Hur minnen bildas genom biologiska mekanismer är välstuderat, där hjärnans plasticitet ligger till grund både för vad vi minns och vad vi glömmer bort. För explicita minnen har framförallt hippocampus en viktig roll. För att inläringen ska ge någon nytta måste också dessa minnen kunna plockas fram, och även där är hippocampus tillsammans med främre hjärnbarken betydelsefulla regioner (Nyberg 2009, Olson 2007).

Det implicita minnet påverkar också vår inläring, till exempel genom priming då vi omedvetet skapar associationer (Nyberg 2009). Det finns även speciella nervceller, spegelneuroner som också påverkar vår inläring av färdigheter och beteenden mer eller mindre omedvetet. Dessutom hjälper de oss att förstå varandra, och utgör en mekanism för affektsmitta (Rizzolatti & Craighero 2004, Gallese 2005).

Hjärnans förmåga att skapa associationer är viktigt inte bara för att skapa samt återkalla minnen, utan också för att skapa förståelse av de fakta vi lär oss. Det är lättare att lära sig mer om något som sedan tidigare är bekant och går att relatera till. Därför är det en fördel när man

undervisar att börja med helheten och samtidigt koppla ny information till tidigare kunskaper, innan man presenterar detaljer och nya fakta (Balda & Rock 2014, Ingvar & Eldh 2014, Henrekson m.fl. 2017). Av den orsaken är det också viktigt med en pedagog som instruerar, istället för att låta eleverna leta själva (Henrekson m.fl. 2017).

Att associera tidigare kunskap till ny underlättar även för vårt arbetsminne, som har sina begränsningar, och bidrar då till att vi lättare kan koncentrera oss på att lära oss nya saker. Arbetsminnets begränsningar handlar både om mängden information vi kan hålla i huvudet samtidigt och hur länge vi orkar koncentrera oss (Klingberg m.fl. 2009, Balda & Rock 2014, Ingvar & Eldh 2014). Efter cirka 20 minuter av bibehållen uppmärksamhet behövs återhämtning, och därför är det bra att efter 15–20 minuter erbjuda eleverna återhämtning. Det kan ske antingen i form av vila eller genom att ändra inlärningsformat för att skifta uppmärksamheten inåt eller utåt. Den kan riktas utåt genom att något nytt och oväntat händer, eller inåt genom att erbjuda uppgifter som leder till reflektion (Balda & Rock 2014).

Ett annat sätt att avlasta arbetsminnet är genom repetition och att se till att det är lugn och ro i klassrummet (Henrekson m.fl. 2017). Arbetsminnet är känsligt för distraktioner, och för att optimera inläringen är det bäst att fokusera på en sak i taget och undvika multitasking (Balda & Rock 2014, Davis m.fl. 2014). Att hjälpa eleverna att styra uppmärksamheten rätt är en del av lärarens roll (Prehn 2018). Förutom lugn och ro är det även viktigt att skapa ett klassrumsklimat där eleverna känner sig trygga både med sina klasskamrater och sin lärare (Ingvar & Eldh 2014, Prehn 2018). Stress är skadligt både kortsiktigt och långsiktigt för bland annat kognition, minnesbildning och välmående (Sapolsky 2015), vilket har negativa konsekvenser för inläringen.

En rapport från socialstyrelsen 2017 visade att psykisk ohälsa hos barn och unga vuxna i åldern 10–24 år har ökat i Sverige år 2006-2016 (Borg 2017). Omkring 10% av flickor, pojkar och unga män, samt 15% av kvinnorna lider av någon form av kliniskt fastställd psykisk ohälsa. De två vanligast förekommande diagnoserna är depressioner och olika ångestsyndrom (Borg 2017). Barn och unga vuxna som diagnosticerats med psykisk ohälsa visade vid senare uppföljning en lägre utbildningsnivå än de som saknar sådana diagnoser. Det indikerar att psykisk ohälsa kan påverka förmågan att tillgodogöra sig studier, vilket dessutom senare när de ska in i arbetslivet kan medföra ytterligare svårigheter (Borg 2017).

Något som kan förebygga samt minska psykisk ohälsa, sänka stressnivåer och öka inläringen genom både kortsiktiga och långsiktiga effekter är mindfulness. Det leder till ökad självmedvetenhet, uppmärksamhetskontroll, känsloreglering och högre kognitiva förmågor (Tang m.fl. 2015). I skolan skulle mindfulness kunna implementeras som en praktik i sig, i början av lektioner eller i form av pauser.

Mindfulness kan utföras stilla eller i rörelse (Tang m.fl. 2015), och rörelse i direkt anslutning till inläringstillfället underlättar minnesbildningen (Roig m.fl. 2013, McMorris & Hale 2015, Hwang m.fl. 2016). Att promenera, framförallt utomhus ökar vårt kreativa tänkande (Oppezzo & Schwartz 2014). Genom att ge eleverna möjlighet till dagsljus under skoldagen kan även

deras sömn förbättras vilket i sin tur förbättrar minnesbildningen (Benedict m.fl. 2018). Ett sätt att applicera detta i skolan detta är ”walk and talk”, där man låter eleverna gå i par eller grupp samtidigt som de diskuterar en uppgift eller frågor.

Ett annat sätt som lärare kan påverka elevers minnesbildning är genom återkoppling, som bidrar till bättre förståelse än att bara läsa in kunskap (Balda & Rock 2014). Motivationen och återkoppling hänger ihop med belöningsystemet, som under tonåren är extra känsligt. Det tros förklara det resultat som visar att tonåringar är bättre än vuxna på att lära sig genom återkoppling (Davidow m.fl. 2016).

Att motivation, återkoppling och belöningsystemet hänger ihop kan också förklara varför positiv återkoppling kan ha en större effekt på inläring än negativ (Forngren 2018), samt att en högre grad av motivation gör en mer benägen att lära sig av negativ återkoppling (Bengtsson m.fl. 2009), vilket intressant nog även meditation visat sig göra (Knytl & Opitz 2018).

En stor utmaning i skolan är det sätt som skolprestationer mäts på inte alltid speglar vad eleverna har lärt sig (Balda & Rock 2014, Henrekson m.fl. 2017). Stress har dessutom inte bara en negativ påverkan vid inkodning av minnen utan även vid återkallning av minnen (Roosendaal m.fl. 2009). Då kunskapsbedömning trots allt är en viktig del av lärarens uppdrag tillsammans med inläring kan det vara värt att fundera över hur kunskapen mäts, så att det görs på ett sätt som även främjar inläring.

Slutsats

Syftet med denna litteraturstudie var att skapa en överblick över forskning inom kognitiv neurovetenskap som kan främja elevers inläring i skolan. Tillsammans visar dessa studier på faktorer som är viktiga för att skapa inläring och hur den sedan består. För att främja inläringen finns flera olika strategier som kan appliceras i själva undervisningsupplägget och i bemötandet av eleverna. Dessutom bidrar den kognitiva neurovetenskapen med strategier som traditionellt inte är associerade med undervisning men som har positiva effekter på inläring och skulle kunna tillämpas i skolan, som till exempel mindfulness och fysisk aktivitet.

Tack

Jag vill tacka min handledare Brita Svensson, mina övriga kurslärare samt kurskamrater för värdefull återkoppling och hjälp med denna uppsats.

Referenser

Aimone JB, Deng W, Gage FH. 2010. Adult neurogenesis: integrating theories and separating functions. *Trends in Cognitive Sciences* 14: 325–337.

Astle DE, Barnes JJ, Baker K, Colclough GL, Woolrich MW. 2015. Cognitive Training

- Enhances Intrinsic Brain Connectivity in Childhood. *Journal of Neuroscience* 35: 6277–6283.
- Balda M, Rock D. 2014. The NeuroLeadership Institute Corresponding author: joshdavis@neuroleadership.org. 19.
- Bekinschtein P, Cammarota M, Katche C, Slipczuk L, Rossato JI, Goldin A, Izquierdo I, Medina JH. 2008. BDNF is essential to promote persistence of long-term memory storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 2711–2716.
- Benedict C, Tunberger M. 2018. Sömn, sömn, sömn: hur minne, immunförsvar, vikt, koncentration och dina känslor hör ihop med din sömn. *Bonnier Fakta, Stockholm*.
- Bengtsson SL, Lau HC, Passingham RE. 2009. Motivation to do well enhances responses to errors and self-monitoring. *Cerebral Cortex (New York, NY: 1991)* 19: 797–804.
- Borg N. 2017. Utvecklingen av psykisk ohälsa bland barn och unga vuxna. *Socialstyrelsen*.
- Cowan N. 2001. The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences* 24: 87–114.
- Davachi L, Dobbins IG. 2008. Declarative Memory. *Current Directions in Psychological Science* 17: 112–118.
- Davachi L, Wagner AD. 2002. Hippocampal Contributions to Episodic Encoding: Insights From Relational and Item-Based Learning. *Journal of Neurophysiology* 88: 982–990.
- Davidow JY, Foerde K, Galván A, Shohamy D. 2016. An Upside to Reward Sensitivity: The Hippocampus Supports Enhanced Reinforcement Learning in Adolescence. *Neuron* 92: 93–99.
- Davis J, Balda MJ, Rock D. 2014. keep an eye on the time. *T + D; Alexandria* 68: 50–53.
- DePasque S, Tricomi E. 2015. Effects of intrinsic motivation on feedback processing during learning. *NeuroImage* 119: 175–186.
- Eriksson PS, Perfilieva E, Björk-Eriksson T, Alborn A-M, Nordborg C, Peterson DA, Gage FH. 1998. Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine* 4: 1313–1317.
- Fleming SM, Dolan RJ. 2012. The neural basis of metacognitive ability. *Phil Trans R Soc B* 367: 1338–1349.
- Forngren S. 2018. Vad säger neurobiologisk forskning om motivationens betydelse för inläring? Självständigt arbete i biologi, Uppsala Universitet
- Gallese V. 2005. The Intentional Attunement Hypothesis The Mirror Neuron System and Its

Role in Interpersonal Relations. I: Wermter S, Palm G, Elshaw M (red.). Biomimetic Neural Learning for Intelligent Robots: Intelligent Systems, Cognitive Robotics, and Neuroscience, s. 19–30. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Gazzaniga MS. 2004. The Cognitive Neurosciences. MIT Press, Cambridge, UNITED STATES.

Giedd JN. 2015. The amazing teen brain. *Scientific American* 312: 32–37.

Giedd JN, Blumenthal J, Jeffries NO, Castellanos FX, Liu H, Zijdenbos A, Paus T, Evans AC, Rapoport JL. 1999. Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience* 2: 861–863.

Giedd JN, Rapoport JL. 2010. Structural MRI of Pediatric Brain Development: What Have We Learned and Where Are We Going? *Neuron* 67: 728–734.

Gruber MJ, Gelman BD, Ranganath C. 2014. States of Curiosity Modulate Hippocampus-Dependent Learning via the Dopaminergic Circuit. *Neuron* 84: 486–496.

Gupta R, Koscik TR, Bechara A, Tranel D. 2011. The amygdala and decision-making. *Neuropsychologia* 49: 760–766.

Henrekson M, Enkvist I, Ingvar M, Wållgren I. 2017. Kunskapssynen och pedagogiken. Dialogos förlag, Stockholm.

Hwang J, Brothers RM, Castelli DM, Glowacki EM, Chen YT, Salinas MM, Kim J, Jung Y, Calvert HG. 2016. Acute high-intensity exercise-induced cognitive enhancement and brain-derived neurotrophic factor in young, healthy adults. *Neuroscience Letters* 630: 247–253.

Ingvar M, Eldh G. 2014. Hjärnkoll på skolan. Natur och kultur, Stockholm.

Kim SH, Hamann S. 2007. Neural Correlates of Positive and Negative Emotion Regulation. *Journal of Cognitive Neuroscience* 19: 776–798.

Klingberg T. 2011. Den lärande hjärnan: om barns minne och utveckling. Natur & kultur, Stockholm.

Klingberg T. 2016. Hjärna, gener & jävlar anamma: hur barn lär, 1:a uppl. Natur & kultur, Stockholm.

Klingberg T, Illiste A, Söderling S. 2009. Den översvämmade hjärnan: en bok om arbetsminne, IQ och den stigande informationsfloden. Natur & kultur, Stockholm.

Knytl P, Opitz B. 2018. Meditation experience predicts negative reinforcement learning and is associated with attenuated FRN amplitude. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, doi 10.3758/s13415-018-00665-0.

- Lindahl M, Theorell T, Lindblad F. 2005. Test performance and self-esteem in relation to experienced stress in Swedish sixth and ninth graders—saliva cortisol levels and psychological reactions to demands. *Acta Paediatrica* 94: 489–495.
- Linden DEJ, Bittner RA, Muckli L, Waltz JA, Kriegeskorte N, Goebel R, Singer W, Munk MHJ. 2003. Cortical capacity constraints for visual working memory: dissociation of fMRI load effects in a fronto-parietal network. *NeuroImage* 20: 1518–1530.
- Liston C, McEwen BS, Casey BJ. 2009. Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106: 912–917.
- Luders E, Toga AW, Lepore N, Gaser C. 2009. The underlying anatomical correlates of long-term meditation: Larger hippocampal and frontal volumes of gray matter. *NeuroImage* 45: 672–678.
- McMorris T, Hale BJ. 2015. Is there an acute exercise-induced physiological/biochemical threshold which triggers increased speed of cognitive functioning? A meta-analytic investigation. *Journal of Sport and Health Science* 4: 4–13.
- Mehta RK, Shortz AE, Benden ME. 2015. Standing Up for Learning: A Pilot Investigation on the Neurocognitive Benefits of Stand-Biased School Desks. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13: 59.
- Melby-Lervåg M, Hulme C. 2013. Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology* 49: 270–291.
- Mitra R, Jadhav S, McEwen BS, Vyas A, Chattarji S. 2005. Stress duration modulates the spatiotemporal patterns of spine formation in the basolateral amygdala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102: 9371–9376.
- Nyberg L. 2009. *Kognitiv neurovetenskap: studier av sambandet mellan hjärnaktivitet och mentala processer*. Studentlitteratur, Lund.
- Ochsner KN, Bunge SA, Gross JJ, Gabrieli JDE. 2002. Rethinking Feelings: An fMRI Study of the Cognitive Regulation of Emotion. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14: 1215–1229.
- Ochsner KN, Ray RD, Cooper JC, Robertson ER, Chopra S, Gabrieli JDE, Gross JJ. 2004. For better or for worse: neural systems supporting the cognitive down- and up-regulation of negative emotion. *NeuroImage* 23: 483–499.
- Olivestam CE, Ott A. 2010. *När hjärnan får bestämma: om undervisning och lärande - inflytelserika didaktiska traditioner - nyorienterande neurodidaktik*. Remus, Örebro.
- Olson L. 2009. *Hjärnan*. Karolinska Institutet University Press, Stockholm.

- Oppezzo M, Schwartz DL. 2014. Give your ideas some legs: The positive effect of walking on creative thinking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 40: 1142–1152.
- Ousdal OT, Jensen J, Server A, Hariri AR, Nakstad PH, Andreassen OA. 2008. The human amygdala is involved in general behavioral relevance detection: Evidence from an event-related functional magnetic resonance imaging Go-NoGo task. *Neuroscience* 156: 450–455.
- Prehn A. 2018. *Hjärnsmart pedagogik: stimulera barns lärande, empati, inre lugn och självkontroll*. Studentlitteratur, Lund.
- Radley JJ, Rocher AB, Janssen WGM, Hof PR, McEwen BS, Morrison JH. 2005. Reversibility of apical dendritic retraction in the rat medial prefrontal cortex following repeated stress. *Experimental Neurology* 196: 199–203.
- Rizzolatti G, Craighero L. 2004. The mirror-neuron system. *Annual Review of Neuroscience* 27: 169–192.
- Rode C, Robson R, Purviance A, Geary DC, Mayr U. 2014. Is Working Memory Training Effective? A Study in a School Setting. *PLoS ONE*, doi 10.1371/journal.pone.0104796.
- Roig M, Nordbrandt S, Geertsen SS, Nielsen JB. 2013. The effects of cardiovascular exercise on human memory: A review with meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 37: 1645–1666.
- Roosendaal B, McEwen BS, Chattarji S. 2009. Stress, memory and the amygdala. *Nature Reviews Neuroscience* 10: 423–433.
- Sanger KL, Thierry G, Dorjee D. 2018. Effects of school-based mindfulness training on emotion processing and well-being in adolescents: evidence from event-related potentials. *Developmental Science* 21: e12646.
- Sapolsky RM. 2015. Stress and the brain: individual variability and the inverted-U. *Nature Neuroscience* 18: 1344–1346.
- Schacter DL, Dobbins IG, Schnyer DM. 2004. Specificity of priming: a cognitive neuroscience perspective. *Nature Reviews Neuroscience* 5: 853–862.
- Schaefer A, Braver TS, Reynolds JR, Burgess GC, Yarkoni T, Gray JR. 2006. Individual Differences in Amygdala Activity Predict Response Speed during Working Memory. *Journal of Neuroscience* 26: 10120–10128.
- Schonert-Reichl KA, Oberle E, Lawlor MS, Abbott D, Thomson K, Oberlander TF, Diamond A. 2015. Enhancing cognitive and social–emotional development through a simple-to-administer mindfulness-based school program for elementary school children: A

- randomized controlled trial. *Developmental Psychology* 51: 52–66.
- Smith WB, Starck SR, Roberts RW, Schuman EM. 2005. Dopaminergic Stimulation of Local Protein Synthesis Enhances Surface Expression of GluR1 and Synaptic Transmission in Hippocampal Neurons. *Neuron* 45: 765–779.
- Swanson SD, Tricomi E. 2014. Goals and task difficulty expectations modulate striatal responses to feedback. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience* 14: 610–620.
- Tambini A, Ketz N, Davachi L. 2010. Enhanced Brain Correlations during Rest Are Related to Memory for Recent Experiences. *Neuron* 65: 280–290.
- Tang Y-Y, Hölzel BK, Posner MI. 2015. The neuroscience of mindfulness meditation. *Nature Reviews Neuroscience* 16: 213–225.
- Tang Y-Y, Ma Y, Wang J, Fan Y, Feng S, Lu Q, Yu Q, Sui D, Rothbart MK, Fan M, Posner MI. 2007. Short-term meditation training improves attention and self-regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 17152–17156.
- Taube JS, Schwartzkroin PA. 1988. Mechanisms of long-term potentiation: EPSP/spike dissociation, intradendritic recordings, and glutamate sensitivity. *Journal of Neuroscience* 8: 1632–1644.
- Wahlstrom D, Collins P, White T, Luciana M. 2010. Developmental changes in dopamine neurotransmission in adolescence: Behavioral implications and issues in assessment. *Brain and Cognition* 72: 146–159.
2009. Amygdala. WWW-dokument 2009-09-25:
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amygdala.png>. Hämtad 2019-01-07.
2009. Hippocampus. WWW-dokument 2009-09-25:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hippocampus_image.png. Hämtad 2019-01-07.
2009. Striatum. WWW-dokument 2009-09-30:
<https://sv.m.wikipedia.org/wiki/Fil:Striatum.png>. Hämtad 2019-01-07.
2010. Prefrontal cortex lateral view. WWW-dokument 2010-02-25:
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prefrontal_cortex_\(left\)_-_lateral_view.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prefrontal_cortex_(left)_-_lateral_view.png). Hämtad 2019-01-07.