



Spejlneuronsystemets rolle i spædbørns udvikling af handlingsforståelse

Bachelorprojekt forår 2020

Af: Helena-Céline Arøe Stevelt

Vejleder: Jesper Mogensen

Dato: 25. maj 2020

Antal anslag: 60.000 (25 normalsider)

Abstract

The mirror neuron system (MNS) consists of fronto-parietal neurons active during both the execution and observation of actions. In the mirror neuron theory of action understanding, activation of the MNS facilitates an understanding of action goals. The aim of this bachelor thesis is to explore whether infants' development of action understanding can be understood within this theoretical framework. I first review empirical findings on the emergence of the MNS and action understanding in infancy. Then, I derive two assumptions about action understanding from the direct-matching hypothesis, based on which I discuss empirical findings on infants' developing action understanding. These findings are consistent with, but do not provide direct evidence for, the mirror neuron theory of action understanding. Meanwhile, alternative interpretations of the findings are possible due to methodological issues concerning the study of the MNS and action understanding in infants. For that reason, this thesis also considers explanations in terms of a conceptual knowledge theory, which emphasizes statistical learning in the development of action understanding. The overall empirical evidence suggests that the mirror neuron theory of action understanding offers one developmental approach to a wider system for action understanding. This wider system could involve both reasoning based on conceptual knowledge and MNS activation as a situational, individually developed strategy.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	4
1.2 Problemformulering	5
1.3 Begrebsafklaring	6
1.4 Relationen mellem det neurale og kognitive.....	6
2. Spædbørns udvikling af både spejlneuronsystem og handlingsforståelse.....	6
2.1 Spejlneuronsystemet (MNS)	7
2.1.1 Måling af MNS i spædbørn	7
2.1.2 Fremkomst af et MNS i spædbarnets umodne hjerne.....	8
2.2 Handlingsforståelse	9
2.2.2 Måling af spædbørns handlingsforståelse.....	10
2.2.3 Fremkomst af handlingsforståelse	11
2.3 Sammenstilling.....	12
3. Spejlneuronteorien om handlingsforståelse	13
3.1 Direkte-match hypotesen og dens implikationer.....	14
3.1.1 Tilstedeværelsen af en menneskelig aktør	14
3.1.2 Egen handlingserfaring.....	16
3.2 Opsamling	18
4. Udfordringer for spejlneuronteorien om handlingsforståelse	18
4.1 Operationalisering af MNS og handlingsforståelse	19
4.1.1 EEG som mål for MNS	19
4.1.2 Blikadfærd som mål for handlingsforståelse	20
4.1.3 Delkonklusion.....	21
4.2 Handlingsforståelse som bottom-up eller top-down process	21
4.2.1 Top-down fortolkning af empiri i tråd med direkte-match hypotesen	22

4.2.2 Top-down fortolkning af metoder til måling af handlingsforståelse	22
4.2.3 Top-down forklaring på det neurale niveau og relationen til det kognitive	23
4.2.4 Delkonklusion.....	24
4.3 MNS' rolle i udviklingen af handlingsforståelse	24
4.3.1 Handlingsforståelse gennem konvergerende udvikling af MNS og konceptuel viden	25
4.3.2 Handlingsforståelse gennem situationelt bestemte, individuelt udviklede strategier	26
4.3.3 Delkonklusion.....	26
5. Konklusion.....	27
6. Litteraturliste	28
6.1 Selvvalgt litteratur	28
6.2 Supplerende litteratur	36

1. Indledning

I 1990'erne blev der med enkeltcellestudier i makakaber ved et tilfælde opdaget neuroner, der var aktive både, når aben udførte en mål-orienteret handling, og når den observerede en anden udføre samme handling (di Pellegrino et al., 1992). Disse neuroner blev døbt spejlneuroner ("*mirror neurons*") (Gallese et al., 1996) – et passende navn, da de 'spejler' den observerede handling, som om aben udførte den selv. Opfølgende studier har vist, at disse neuroner eksisterer i hjernens frontale og parietale områder. Tilsammen omtales disse områder som spejlneuronsystemet. Systemets aktivitet forklares med, at den observerede handling matches over på en direkte tilsvarende repræsentation af den handling i observatørens motoriske system (Rizzolatti et al., 1996, 2001).

Lige så længe man har kendt til spejlneuroner i makakaber, har der været spekulation om et lignende system i mennesker. Der er adfærdsmæssig evidens for et overlap mellem handlingsudførelse og observation (Kilner et al., 2003), samtidig med at billeddannelsesstudier har vist overlappende aktivering af fronto-parietale områder i mennesker for handlingsudførelse og -observation (Avenanti et al., 2007; Becchio et al., 2012; Van Overwalle & Baetens, 2009). Derfor omhandlede litteraturen længe udelukkende et spejlneuronsystem i mennesker, frem for enkelte spejlneuroner. Dermed var der også længe diskussion om, hvorvidt fund fra enkeltcellestudier i abe kunne overføres til områder hos mennesker (Keysers & Gazzola, 2009). Imidlertid blev der for 10 år siden, med et enkeltcellestudie i kliniske patienter, fundet evidens for egentlige spejlneuroner i mennesker (Mukamel et al., 2010).

Sideløbende med forskning i spejlneuronsystemets egenskaber og tilstedeværelse i mennesker, har der været diskussion om dets mulige funktion. Der er ikke én samlet spejlneuronteori (Woodward & Gerson, 2014), men i stedet en række forskellige teorier om spejlneuronsystemets rolle. Disse omhandler f.eks. sprogudvikling (se f.eks. Rizzolatti & Arbib, 1998) eller autisme (se f.eks. Oberman et al., 2005). Den dominerende tradition er dog spejlneuronteorien om handlingsforståelse (Hickok, 2009), der omhandler betydningen af spejlneuronsystemets aktivitet for forståelse af andres mål-orienterede handlinger. Dette da spejlneuroner ikke aktiveres for alle bevægelser, men kun handlinger rettet mod et mål (Gallese et al., 1996). Det er denne spejlneuronteori, der undersøges i denne opgave.

Teorien har affødt forskning i voksne mennesker, som viser, at spejlneuronsystemet er aktivt i perceptionen og forudsigelsen af andres handlinger (Cattaneo et al., 2010; Krol et al., 2020). Men allerede tidligt i livet begynder vi mennesker at observere andres handlinger. Disse handlinger består af komplekse, kontinuerte bevægelser. Hvordan begynder spædbørn at skabe mening i de handlinger, de ser? Er spejlneuronsystemet en del af de neurokognitive mekanismer, der er på spil, når vi som små udvikler en evne til at forstå andres handlinger?

Denne bacheloropgave vil undersøge det psykologiske fænomen, der er spædbørns udvikling af en forståelse af andres mål-orienterede handlinger. Det vil ske ud fra et neuropsykologisk perspektiv, idet der tages udgangspunkt i spejlneuronteorien om handlingsforståelse. Opgaven starter med en gennemgang af empirisk evidens for både eksistensen af et spejlneuronsystem og udviklingen af handlingsforståelse i spædbørn. Idet opgaven undersøger spejlneuronsystemet som forklaringsmodel, vil ud fra denne udledes påstande om forståelsen af andres mål-orienterede handlinger. Disse vil undersøges i et udviklingsperspektiv.

Der tages udgangspunkt i spejlneuronteorien om handlingsforståelse, da det er en dominerende teori indenfor forskningen i forståelse af andres handlinger. I de diskuterende afsnit vil jeg også inddrage en teori om betydningen af konceptuel viden, der lægger vægt på forventninger og generel viden i stedet for på spejlneuronsystemet. Disse teorier er udvalgt, da de repræsenterer forskellige syn på de processer, der ligger bag spædbørns udvikling af en forståelse af andres mål-orienterede handlinger. Udvælgelsen er foretaget med henblik på at skabe en bredere forståelse for de syn på fænomenet, der eksisterer i litteraturen. De empiriske undersøgelser, som jeg vil inddrage i forbindelse med min undersøgelse og diskussion af teorierne, er primært fundet gennem systematisk litteratursøgning i psykologiske databaser og gennem kædesøgning. Som følge af variation i empiriske studiers operationalisering af handlingsforståelse inddrages undersøgelser af både spædbørns evne til at forudsige og evaluere målene for andres handlinger.

Bacheloropgaven tager udgangspunkt i følgende:

1.2 Problemformulering

Kan man forstå spædbørns udvikling af evnen til at forstå andres mål-orienterede handlinger indenfor rammerne af spejlneuronteorien om handlingsforståelse?

1.3 Begrebsafklaring

Det bør afklares, at jeg arbejder med spejling og ikke mentalisering, jf. Van Overwalle & Baetens' (2009) opdeling. Spejlneuronsystemet, som det benyttes i spejlneuronteorien om handlingsforståelse, arbejder med forståelse af mål på baggrund af lavere-ordens ("low-level") adfærdsinformation. På den anden side involverer mentaliseringssystemet andre hjerneområder i en relativt højere-ordens ("high-level") kognitiv proces, som faciliterer forståelse af andres tanker og overbevisninger (Van Overwalle & Baetens, 2009). Sidstnævnte vurderes at ligge udenfor opgavens rækkevidde. Dog bør nævnes, at nogle forskere argumenterer for, at mentalisering understøttes af output fra spejlneuronsystemet (Van Overwalle & Baetens, 2009).

1.4 Relationen mellem det neurale og kognitive

Denne opgaves neuropsykologiske tilgang søger at forklare det kognitive fænomen handlingsforståelse med det neurale spejlneuronsystem. Hermed støder jeg på det psykofysiske problem (også kaldet '*mind-brain problem*'), et klassisk videnskabsteoretisk fænomen. Dette omhandler forholdet mellem det neurale og det mentale, nemlig spørgsmålet om, *hvad* det er, der ligger bag vores kognitive processer (Bunge, 1980).

Her opstår et centralt erkendelsesmæssigt problem, der er relevant uanset ens perspektiv på det psykofysiske problem. Nemlig, at det neurale og kognitive bør anses som adskilte niveauer i vores videnskabelige tilgang. Der findes (endnu) ikke en fælles metode til at tilgå både det neurale og det kognitive, hvorfor man bør arbejde med dem hver for sig, og så undersøge deres relationer (Mogensen & Overgaard, 2018a; Overgaard & Mogensen, 2011). Derfor forholder jeg mig i denne opgave adskilt til spejlneuronsystemet på det neurale niveau og handlingsforståelse på det kognitive niveau. Derudover søger jeg med spejlneuronteorien om handlingsforståelse, jf. min problemformulering, at undersøge relationen mellem de to.

2. Spædbørns udvikling af både spejlneuronsystem og handlingsforståelse

En grundlæggende forudsætning for at kunne forklare spædbørns udvikling af handlingsforståelse ud fra spejlneuronsystemet, er eksistensen af et funktionelt spejlneuronsystem inden, eller samtidig med, deres udvikling af den forståelse. Derfor vil jeg i det følgende undersøge spejlneuronsystemet og dets eksistens i spædbørn, samt deres udvikling af en forståelse af andres mål-orienterede handlinger.

2.1 Spejlneuronsystemet (MNS)

Før jeg kan beskæftige mig med udvikling af spejlneuronsystemet (*mirror neuron system*, MNS) (Rizzolatti & Craighero, 2004), er det nødvendigt at undersøge definitionen på dette centrale koncept. I mennesker beskæftiger man sig med spejlneuronsystemer over spejlneuroner, altså hele områder, der er aktive både for handlingsobservation og -udførelse. Dette gør man, da det ikke på samme måde er muligt at lave invasive enkeltcellestudier i mennesker (Marshall & Meltzoff, 2011). I makakaber er de fronto-parietale områder i MNS nærmere bestemt områderne PF og præmotorisk F5 (Rizzolatti et al., 2001). MNS hos mennesker består i homologe områder i inferior parietallap, særligt anteriore områder, og i inferior frontalcortex, herunder ventrale dele af præmotorisk cortex (Caspers et al., 2010; Urgesi et al., 2014). Mens disse fronto-parietale områder er kritiske for MNS' funktion, så inkluderes også bredere sensomotoriske områder i udførelse og repræsentation af handlinger i MNS (Urgesi et al., 2014).

Derudover er der både for aber og mennesker set aktivitet i temporale områder, specifikt superior temporal sulcus (STS) (Rizzolatti et al., 2001; Urgesi et al., 2014). Dog tyder det på, at STS er mere involveret i den visuelle identifikation af bevægelse fra biologiske organismer (Van Overwalle & Baetens, 2009) – der ses nemlig ikke aktivitet her, når aber handler med lukkede øjne (Keysers & Gazzola, 2009). Derfor inkluderes STS ikke som del af MNS i denne opgave. Dog kan det ses som del af et større netværk inkluderende MNS, hvor visuel info sendes fra lavere visuelle områder til temporale regioner, hvorfra det videreføres til MNS' parietale og frontale områder (C. Elsner et al., 2013).

2.1.1 Måling af MNS i spædbørn

MNS involverer, per definition, aktivitet i de samme neuroner for egne og observerede handlinger. Dermed er det relevant at se på delt aktivering for handlingsudførelse og -observation som indikation på dets tilstedeværelse (Bertenthal & Longo, 2007). Til måling af dette bruger man ofte EEG (*elektroencefalografi*), hvor den elektriske aktivitet i hjernen måles med elektroder på kraniets overflade (Purves et al., 2013). Specifikt måles motorisk aktivering via de centrale elektroder over sensomotorisk cortex (Stapel et al., 2010). Den motoriske aktivering anses som en god indikator for aktivitet i MNS som helhed (C. Elsner et al., 2013). Nogle har benyttet ERP (*event-related potential*), altså små ændringer i EEG signalet over relevante områder efter en begivenhed (Purves et al., 2013), her for observationen af handlinger. Dog er den gængse metode for måling af MNS "*mu rhythm desynchronization*"

(MRD). Dette består i en reduktion af EEG murytmen over centrale fronto-parietale områder, som man antager afspejler sensomotorisk aktivering (Hobson & Bishop, 2017). Fælles MRD for observation og tilsvarende handling tolkes som aktivering af MNS (Lepage & Théoret, 2007). I voksne har kombination af EEG og funktionel billeddannelse vist, at MRD under handling og observation korrelerer med aktivitet i de specifikke hjerneområder, der antages at udgøre MNS (de Klerk, Johnson, Heyes, et al., 2015). Samtidig ligner murytmen hos 6-12 måneder gamle spædbørn den voksne hjernes murytme (Marshall et al., 2011). Dette tyder på, at MRD kan benyttes til måling af MNS i spædbørn.

2.1.2 Fremkomst af et MNS i spædbarnets umodne hjerne

Over de første leveår foregår en betydelig udvikling i hjernen, særligt med myelinisering af neuroner (Deoni et al., 2016). Dette spiller sandsynligvis en rolle i, hvordan MNS udvikles (Bertenthal & Longo, 2007). Sammenligning af 1-6-årige viser, at myelinisering af cortex er til stede tidligst i bl.a. de primære sensomotoriske områder (Deoni et al., 2015), altså fronto-parietale områder associeret med MNS. Forskerne kunne grundet metodiske udfordringer ikke måle yngre end 1-års-alderen, men myeliniseringen af områderne var i den alder høj (Deoni et al., 2015). Derved tyder det på, at spædbørn har neural modning i områder associeret med MNS.

Et myeliniseret MNS er dog ikke ensbetydende med et funktionelt MNS. Til måling af dette benyttes EEG. I EEG MRD-studier bør der inddrages både handlingsudførsel og handlingsobservation, idet man ikke kan afgøre, om MNS-aktivitet faktisk er til stede, hvis man kun måler under observation (Marshall & Meltzoff, 2011). Derfor inddrages ikke den betragtelige del af MRD-litteraturen, der kun benytter observationsforsøg i undersøgelsen af MNS i spædbørn (f.eks. Nyström et al., 2011; Virji-Babul et al., 2012). I stedet fokuseres på delt MRD for handling og observation, hvilket er set i spædbørn på 14 måneder (Marshall et al., 2011) og 9 måneder (Southgate et al., 2010). Samtidig vil jeg fremhæve empiri, der viser MRD hos spædbørn på 9 måneder under observation og udførsel af handlinger, og hvor aktiveringen set under observation faktisk var et direkte match for aktiveringen under egen handling (Southgate et al., 2009; von Hofsten & Rosander, 2015). Dette tyder på, at et funktionelt MNS er udviklet ved 9-måneders-alderen. Samtidig er MRD målt i spædbørn generelt mere diffus end i voksne, hvilket kan tolkes som, at der sker en underliggende intensivering af MNS med alderen (Quadrelli & Turati, 2016). Mens der ikke er målt MRD i spædbørn på 6 måneder, så er der observeret ERP over centrale elektroder for observation af

mål-orienterede handlinger (Nyström, 2008). Altså ses tegn på aktivitet i de relevante områder i spædbørn på 6 måneder, hvilket kan tyde på et muligt funktionelt MNS. Derudover viser lokaliserede målinger, at spædbørn på 6, men ikke 3 måneder, har øget aktivitet i muskler omkring munden ved observation af en aktør, der bringer et objekt til sin mund (Natale et al., 2014; Turati et al., 2013). Dette antyder, at spædbørnene aktiverede en motorisk repræsentation af handlingen helt ud i deres muskler, og understøtter muligheden for et MNS fra 6-måneders-alderen.

Samlet set synes et MNS at være til stede tidligt i spædbørn, da den præsenterede empiri tyder på, at de fra 6-9-måneders-alderen matcher udførsel og observation af handlinger på et neuralt niveau. Således mødes en forudsætning for at benytte spejlneuronteorien om handlingsforståelse til at forstå kognitive fænomener i spædbørn.

2.2 Handlingsforståelse

Hvis MNS spiller en rolle i udviklingen af forståelsen af andres handlinger, må spædbørns udvikling af den forståelse ske samtidig med, eller efter, deres udvikling af et MNS i 6-9-måneders-alderen. I det følgende vil jeg derfor redegøre for spædbørns udvikling af en forståelse af andres mål-orienterede handlinger.

Først er det nødvendigt at definere begrebet handlingsforståelse. I litteraturen findes forskellige versioner, men i denne opgave benyttes en definition som beskæftiger sig med at genkende målet bag en handling. Dette gøres, da der kan argumenteres for, at menneskelig handling bedst forstås som bevægelse i forhold til noget, og ikke som isolerede bevægelser gennem rummet (Woodward et al., 2009). Dermed bliver en forståelse af andres handlinger, at man repræsenterer handlingen med hensyn til relationen mellem aktør og mål (Woodward, 2005). Denne relation kan overvejes på flere analyseniveauer, fra nære mål (som at en person rækker ud og griber en pose mel) og til fjernere, mere overordnede mål eller intentioner (som at bage en kage; lave dessert til en middag) (Sommerville & Woodward, 2005; Woodward & Gerson, 2014). Dermed bør man ifølge nogle beskæftige sig med et system af forståelser på forskellige analyseniveauer, der tilsammen bliver til en moden forståelse af andre (Woodward, 2005).

I dette bachelorprojekt beskæftiger jeg mig ikke med handlingsforståelse som en samling af flere forståelser, da det er udenfor opgavens emnemæssige rækkevidde. I stedet vil jeg arbejde med og undersøge forståelse af nære mål, idet det generelt er dette, der fokuseres på i kognitiv og neurovidenskabelig forskning (Uithol & Paulus, 2014). Når jeg refererer til

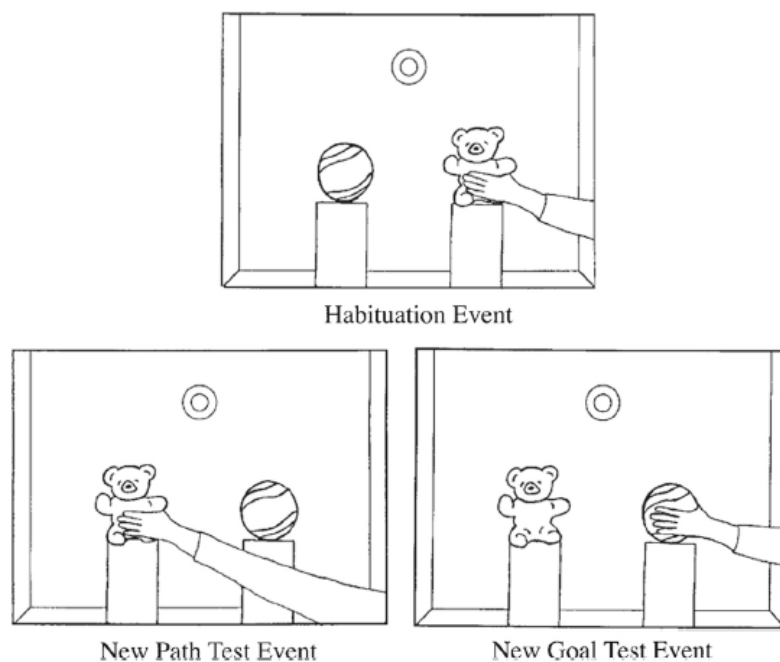
handlingsforståelse, refererer jeg altså til en evne til at repræsentere mål-orienterede motoriske handlinger som en relation mellem en aktør og dennes nære mål.

2.2.2 Måling af spædbørns handlingsforståelse

Metoder til at undersøge spædbørns handlingsforståelse kan ifgl. B. Elsner og Adam (2020) inddeles i hhv. adfærdsmæssige og ”*eye tracking*” (øjenbevægelsesmåling) metoder. Hvor adfærdsmetoder måler, hvor længe barnet ser på et handlingsdisplay efter handlingsfuldførelse, altså *offline* mål-evaluering, så måler *eye tracking*-metoder øjenbevægelser under handlingens udførelse, altså *online* mål-forudsigelse (B. Elsner & Adam, 2020). Evidens fra empiriske studier, der benytter begge disse metoder, vil benyttes i opgaven.

I måling af *online* målforudsigelse med *eye tracking* ser spædbørn gentagelser af simple mål-orienterede handlinger. Øjenbevægelser inddeles i prædiktive, sporende eller reaktive, afhængigt af, om spædbarnets blik lander på målobjektet før, samtidig med, eller efter aktøren har fået kontakt med objektet. Det antages, at prædiktive øjenbevægelser afspejler, at spædbørnene har forudset handlingens mål (B. Elsner & Adam, 2020).

I måling af *offline* målevaluering er en central metode et habitueringsparadigme præsenteret af Woodward (1998). Idéen bag er at habituere spædbørn til en hændelse, der kan beskrives langs to dimensioner - altså gentage den, til de ser mindre og mindre på den. I dette tilfælde viser man dem et visuelt display, hvor en hånd gentagne gange rækker ud og tager ét af to stykker legetøj. Derefter præsenteres de for to tests, som hver hhv. bibeholder én dimension og ændrer den anden. I dette tilfælde byttes der bag et forhæng rundt på de to stykker legetøj, hvorefter børnene ser ”*new path*”-tests (ny vej), hvor hånden rækker ud efter samme legetøj på en ny placering, og ”*new object*”-tests (nyt objekt), hvor hånden rækker samme sted hen og dermed får fat i et andet legetøj (se figur 1). Børnene vil se i længere tid på en hændelse, der virker ukendt for dem efter habituering. Så hvis de ser på én testtype i længere tid, vil det indikere, at de selektivt har indkodet den dimension, der er ændret i den test. Man antager dermed, at når de ser i længere tid på *new goal*-tests, hvor handlingen visuelt er den samme, så afspejler det, at de har indkodet handlingens målobjekt (Woodward, 1998). Da præverbale spædbørn ikke eksplicit kan udtale sig om deres forståelse af andre personers mål, tolkes denne adfærd altså som handlingsforståelse (Woodward, 2005).



Figur 1: Eksempler på habituering og test stimuli fra Woodward (1998)'s habitueringsparadigme.

Kilde: Butterfill (2019, fig. 1)

2.2.3 Fremkomst af handlingsforståelse

I forbindelse med præsentationen af habitueringsparadigmet benyttede Woodward (1998) det til at undersøge handlingsforståelse hos spædbørn i forskellige aldre. Først fandt man, at spædbørn på 9 måneder så signifikant længere på *new goal*-tests end på *new path*-tests. Spædbørn på 5 måneder havde en ikke-signifikant tendens til at se længere på *new goal*-tests. Dette blev tolket som, at de udviste et mønster, der lignede, men var svagere end, de på 9 måneders. Derudover så spædbørn på 6 måneder signifikant længere på *new goal*-tests. Her viste en yderligere analyse, at på tværs af spædbørnene på 5- og 6-måneders varierede reaktionen på *new goal* og *new path* tests som funktion af alder. Dette blev tolket som, at spædbørns forståelse af gribe-handlinger er under forandring i den alder (Woodward, 1998). Tilsammen indikerer disse adfærdsmæssige fund, at børn fra 6-måneders-alderen begynder at analysere og evaluere handlingsmål.

Derudover har man undersøgt spædbørns evne til *online* at forudsige handlingsmål. I en gennemgang af flere studier konkluderer Ní Choisdealbha og Reid (2014), at spædbørn ved 12-måneders-alderen har veludviklede evner til at forudsige aktørers handlinger. Dette er altså senere end de 6-9 måneder, der ovenfor var tegn på for *offline* evalueringer. Dette understøttes også af en sammenligning af 6 og 12 måneder gamle spædbørn, hvor de på 12 måneder udviste

prædiktive øjenbevægelser for en video af en flytte-handling, hvor en hånd flytter bolde ned i en spand, mens de på 6 måneder udviste reaktive øjenbevægelser (Falck-Ytter et al., 2006).

Dog tyder en række andre studier på, at spædbørn yngre end 12 måneder godt kan forudsige handlingsmål. Et lignende forsøg med 10 måneder gamle spædbørn har vist, at disse udviste prædiktive øjenbevægelser for en igangværende gribe-handling 100-200ms før hånden nåede sit mål (Rosander & von Hofsten, 2011). Cannon og Woodward (2012) brugte en variation af habitueringsparadigmet med *eye tracking*, hvor spædbørn på 11 måneder så video af en gribe-handling, hvor en hånd rakte ud *mellem* to objekter og så tog det ene. Herefter så de en video, hvor objekterne havde byttet plads og hånden rakte ud mellem dem og stoppede. Her flyttede spædbørnene konsekvent deres første blik fra hånden og til det velkendte målobjekt, hvilket indikerer, at de forstod handlingens mål.

For at opsummere ses altså forskellige aldre for *online* målforudsigelse i forskellige empiriske studier, men der er også benyttet forskellige handlinger, nemlig gribe- og flytte-handlinger. Her bør inddrages, at von Hofsten og Rosander (2015) argumenterer for, at netop handlingen har en betydning: Målet for flytte-handlinger vil ikke forstås af børn under 10 måneder (som set i Falck-Ytter et al. (2006)), mens gribe-handlinger bør forstås fra 5 måneder. Ift. dette har en sammenligning af 4, 6, 8 og 10 måneder gamle spædbørns øjenbevægelser for videoer af gribe-handlinger netop vist, at de på 6 måneder og over udviste prædiktive øjenbevægelser (Kanakogi & Itakura, 2011). Sammenlagt indikerer disse *eye tracking*-studier, at spædbørn omkring 6-måneders-alderen begynder at forstå handlingsmål og bruge dem til forudsigelser, omend typen af handling kan have en betydning. Denne variation i forståelse afhængig af observeret handling vendes der tilbage til nedenfor i en undersøgelse af *direkte-match* hypotesen.

Altså tyder det på, at spædbørn i hvert fald fra 1-års-alderen, med en udvikling fra 6 måneder, forstår andres handlinger og bruger den viden til at forudsige og evaluere udfaldene af dem.

2.3 Sammenstilling

Ved ovenstående gennemgang kan vi se, at fremkomsten af et målbart og funktionelt MNS i spædbørn tidligt falder sammen med udviklingen af handlingsforståelse. Mens nogle argumenterer for, at MNS medierer spædbørns udvikling af evnen til at forstå andres handlingsmål (Falck-Ytter et al., 2006), så beviser et tidligt sammenfald ikke en funktionel relation mellem MNS og handlingsforståelse. Det åbner dog muligheden for, at de to er

relaterede i udviklingsforløbet. For at komme nærmere et svar på spørgsmålet om deres mulige relation, vil jeg i derfor i det følgende se nærmere på spejlneuronteorien om handlingsforståelse og undersøge de tendenser for spædbørns udvikling, der kan afledes deraf.

3. Spejlneuronteorien om handlingsforståelse

Selvom spejlneuronteorien om handlingsforståelse ikke eksplicit omtaler udvikling, vil jeg argumentere for, at den kan have forklaringskraft i den sammenhæng. Dette begrundes jeg med evidensen for et funktionelt MNS i spædbørn. Jeg vil derfor i det følgende redegøre for teorien.

Teorien går ud på, at spejlneuroner ikke har en motorisk funktion, men i stedet en semantisk funktion: Forståelse (Rizzolatti et al., 2001). Således er MNS det neurale grundlag for handlingsforståelse. Helt konkret indebærer det, at hver gang man ser en handling udført af et andet individ, vil neuroner, der repræsenterer den handling, aktiveres i observatørens eget neurale motoriske system. Denne motoriske repræsentation svarer til den, der aktiveres under egen handling, og hvis udfald er kendt for observatøren. Da man kender resultatet af egen handling, forstås målet for en andens handling således gennem repræsentationens lighed med egen handling (Rizzolatti et al., 2001). På den måde transformerer MNS indkommende visuel information til viden om handlingen (Rizzolatti & Craighero, 2004). Et centralt belæg for teorien kommer af forsøg, der viser aktivitet i motoriske områder i tilfælde, hvor aber ikke ser en hel handling, men kun en del af den (Umiltà et al., 2001) – hvilket også er set i spædbørn (Southgate et al., 2010). Dette tolkes af spejlneuronteoretikere som, at den delvise handling har haft tilstrækkelig information (f.eks. bevægelseskarakteristika, håndens form) til, at observatøren kan skabe en mental repræsentation af handlingen (Rizzolatti & Craighero, 2004). Med andre ord ses MNS-aktiveringen som en simulation af den observerede handling.

Dermed kan spejlneuronteorien om handlingsforståelse betragtes som en bottom-up teori. Bottom-up processering er drevet af indkommende information, som optages på lavere niveauer og processeres på højere niveauer, indtil den genkendes af en mekanisme på øverste niveau (Ashcraft & Radvansky, 2014). På baggrund af dette bottom-up perspektiv kan man overveje relationen mellem det neurale og kognitive indenfor denne teori. I lyset af den ovenstående definition på MNS forstås det sådan, at det sensoriske indtryk af en aktørs handling først passerer gennem hjernens visuelle områder, hvorefter en biologisk aktør identificeres i STS i de temporale områder. Derefter processeres det sensoriske indtryk i inferior parietale og frontale sensomotoriske områder, hvor det fortolkes og afføder en

tilsvarende motorisk repræsentation, der bidrager til handlingsforståelse (C. Elsner et al., 2013; Urgesi et al., 2014; Van Overwalle & Baetens, 2009).

Altså afhænger forståelse af at matche en observeret handling med en tilsvarende motorisk repræsentation af egen handling. Dette kaldes direkte-match hypotesen (*'direct-matching hypothesis'*) (Rizzolatti et al., 2001), et centralt begreb i spejlneuronteorien om handlingsforståelse. I denne opgave er direkte-match hypotesen udvalgt som primært begrebsapparat og benyttes derfor i den følgende analyse. For at forstå teorien i et udviklingsperspektiv, finder jeg det nødvendigt at analysere direkte-match-hypotesens implicitte antagelser og deres konsekvenser for spædbørns handlingsforståelse.

3.1 Direkte-match hypotesen og dens implikationer

Ifølge direkte-match hypotesen matches en visuel repræsentation af en observeret handling altså med en motorisk repræsentation i observatøren. Det antages, at handling og observation deler én neural repræsentation, medieret af spejlneuroner. Den motoriske repræsentation, der affødes af observation, er nemlig direkte tilsvarende til den repræsentation, der opstår spontant, når man selv aktivt handler (Kanakogi & Itakura, 2010). Med andre ord er der et en-til-en-forhold. Denne proces, hvor den visuelle repræsentation kobles over på den motoriske, er direkte og automatisk, og kræver altså ikke kompliceret perceptuel analyse eller kognitiv processering (Kanakogi & Itakura, 2010).

Direkte-match hypotesen opstiller altså en relation mellem de kognitive og neurale niveauer. Heraf kan afledes to påstande om handlingsforståelse, idet der ellers ikke kan udføres et direkte match: 1) at forståelse kræver, at handlingen udføres af en menneskelig aktør, og 2) at forståelse kræver egen erfaring med en given handling, da erfaring er grundlaget for en motorisk repræsentation. I det følgende vil jeg, med udgangspunkt i disse påstande, undersøge om spædbørns udvikling af handlingsforståelse kan forstås indenfor rammerne af spejlneuronteorien om handlingsforståelse.

3.1.1 Tilstedeværelsen af en menneskelig aktør

I tråd med direkte-match hypotesens en-til-en-forhold må der nødvendigvis være en menneskelig aktør, som spædbarnet kan spejle. Dette skyldes, at kun et andet menneskes handlinger kan projiceres over på ens eget motoriske system (von Hofsten & Rosander, 2015). Dette er også i tråd med den neurale konceptualisering af MNS, da det antages, at informationsstrømmen først går gennem STS, hvor der identificeres bevægelse fra biologiske

organismer. Derved bør MNS ikke være involveret i processering af ikke-biologiske aktørers handlinger, idet informationen herom ikke vil nå dertil. Dermed bliver en central påstand, at spædbørn, når de begynder at udvikle en handlingsforståelse, kun vil forstå andre menneskelige aktører som mål-orienterede. Denne påstand vil jeg nu undersøge.

Woodward (1998) fandt, at 6 måneder gamle spædbørn, der havde set en hånd i habitueringsparadigmet, efterfølgende reagerede på *new path*-tests. Spædbørn, der i stedet havde set en mekanisk klo eller en pind med samme overfladiske kendetegn som en arm og hånd, så lige lang tid på *new goal* og *new path* tests. Dette antyder, at de kun indkodede relationen mellem aktør og målobjekt for menneskelige aktører. Cannon og Woodward (2012), der som nævnt brugte en variation af habitueringsparadigmet med *eye tracking* til at teste *online* målforudsigelse i spædbørn på 11 måneder, havde også en kontrolgruppe. Disse børn så video af en mekanisk klo og udviste efterfølgende det modsatte mønster: Deres prædiktive øjenbevægelser gik til den velkendte lokation i stedet for det velkendte målobjekt. Igen indikerer dette, at spædbørnene kun forstod den menneskelige aktør som mål-orienteret. Af resultaterne i et andet *eye tracking*-forsøg ses, at spædbørn på 6-10 måneder udviste prædiktive øjenbevægelser, mens en menneskehånd rakte ud efter ét af to objekter, men reaktive øjenbevægelser for en mekanisk klo (Kanakogi & Itakura, 2011). Dette illustrerer, at spædbørn selektivt udviser *online* målforudsigelse for menneskelige handlinger - i hvert fald i en eksperimentel opstilling. Tilsammen understøtter resultaterne, at en menneskelig aktør er nødvendig for, at handlingen indkodes i henhold til relationen mellem aktør og objekt.

Den selektive indkodning af menneskelige aktører er blevet undersøgt nærmere. Et studie har vist, at spædbørn på 9 måneder godt kan forvente, at en mekanisk klo vedbliver at gå efter samme målobjekt - hvis de på forhånd har set, at den styres af et menneske (Hofer et al., 2005). Dette er umiddelbart i tråd med påstanden om vigtigheden af en menneskelig aktør. Men samme studie fandt også, at spædbørn på 12 måneder havde den omtalte forventning uden at have set den menneskelige aktør. Dette skyldes dog ifgl. forfatterne, at disse børn selvstændigt genkendte kloen som et værktøj, der benyttes af mennesker. Det skyldes, at anden forskning har vist, at det netop er op til en alder på 12 måneder, at spædbørn begynder at benytte værktøj til at opnå mål (Hofer et al., 2005). Derved har de erfaring med værktøj, der kan have understøttet deres forståelse af klo-værktøjet som menneskestyret. Dermed er deres mål-orienterede indkodning af en mekanisk klo ikke nødvendigvis i strid med direkte-match hypotesens centrale påstande.

3.1.2 Egen handlingserfaring

I kraft af direkte-match hypotesens en til en-forhold mellem observerede handlinger og egne motoriske repræsentationer, vil handlingsforståelse kræve, at spædbarnet allerede har en repræsentation af den aktuelle handling. Dermed vil spædbørns udvikling af handlingsforståelse være drevet af erfaring. Her er det relevant at vende tilbage til en tendens fra afsnittet om fremkomsten af handlingsforståelse: Det så ud til, at udviklingstidspunktet varierede, afhængigt af den undersøgte handling. På samme tid udvikles spædbørns evne til at producere koordinerede, målrettede handlinger, så spædbørn i forskellige aldre vil have forskellige handlinger i deres motor repertoire (Woodward et al., 2009). I tråd med direkte-match hypotesen vil de derved have tilsvarende varierende repræsentationer, som de kan forstå andres handlinger ud fra. I det følgende vil jeg undersøge denne idé om en sammenhæng mellem udvikling af handlingsudførelse og handlingsforståelse.

Her bliver det relevant at vende tilbage til nogle empiriske studier præsenteret ovenfor, der målte handlingsforståelse via *online* målforudsigelse. Kanakogi og Itakura (2011) målte også spædbørns evne til at udføre gribe-handlinger og fandt, at fremkomsten af *online* målforudsigelser omkring 6 måneder var synkroniseret med indtræden af deres egen evne til at udføre den handling. Ifgl. forfatterne understøtter det, at der er en udviklingsmæssig overensstemmelse mellem evnen til at forudsige målet for en handling og til at udføre samme. En konklusion, der dog bør begrænses til håndrelaterede gribe-handlinger.

Derudover er der den mere komplicerede flytte-handling, hvor et objekt flyttes ned i en beholder. Her fandt Falck-Ytter et al. (2006) prædiktive øjenbevægelser hos spædbørn på 12 måneder, men ikke hos spædbørn på 6 måneder. Disse forfattere formodede, at det kunne afspejle manglen på en motorisk repræsentation for flytte-handlingen hos spædbørnene på 6 måneder, idet de ikke selv kan udføre den.

Cannon et al. (2012) gik videre med dette og undersøgte relationen mellem egen handlingsproduktion og *online* målforudsigelser hos spædbørn på 12 måneder for handlingen brugt i Falck-Ytter et al. (2006). Selvom spædbørn på 12 måneder er i stand til at flytte objekter ned i en beholder, så gør de det i varierende grad (Cannon et al., 2012). Derfor testede man spædbørnenes egen spontane udførelse af flytte-handlinger, inden man målte deres øjenbevægelser for observerede flytte-handlinger. Resultaterne viste, at alle spædbørnene var i stand til at forudsige handlingens mål, men der var en positiv korrelation for deres individuelle variation: Højt aktivitetsniveau med egne flytte-handlinger hang sammen med hurtigere tendens til prædiktive øjenbevægelser for andres flytte-handlinger. Det kan antyde, at

spædbørnene med bedre målforudsigelsesevne også havde en bedre motorisk repræsentation af handlingen, idet de i højere grad udførte den. Dermed kan Cannon et al. (2012)s empiriske studie stemme overens med direkte-match hypotesens påstand om, at egen erfaring bidrager til handlingsforståelse gennem opbygning af handlingsrepræsentationer. I tråd med dette er det foreslået, at et mentalt 'bibliotek' af handlinger gradvist skabes over ens udviklingsforløb og så bruges til at tolke andres handlinger (von Hofsten & Rosander, 2015).

Dog er disse blot korrelationsstudier, og f.eks. Southgate (2013) kritiserer sådanne studier for, at de ikke viser specificiteten af forholdet mellem erfaring og forståelse af en handling. Dermed vides ikke, om det faktisk er mere generel motorisk modenhed og mestring, der faciliterer bedre målforudsigelse. Derfor inddrages her et interventionsstudie med *offline* målevaluering, udført af Sommerville et al. (2005).

I interventionen blev spædbørn på 3 måneder udstyret med vanter med Velcrostof, for at hjælpe dem til at gribe fat i objekter dækket af Velcro. Det er her væsentligt, at evnen til at gribe fat i objekter endnu ikke er udviklet i den alder. Derudover så de en tilpasning af habitueringsparadigmet, hvor aktøren var ikklædt en lignende Velcrovante. De spædbørn, der først havde fået gribe-erfaring med Velcrovanter, så i signifikant længere tid på *new goal* end *new path*-tests, mens en anden gruppe, der så habitueringsparadigmet før interventionen, så lige længe på begge tests. Et opfølgende studie har vist, at passiv erfaring med at observere en andens gribe-handlinger med Velcrovanter ikke får spædbørn til at reagere forskelligt på *new path* og *new goal* tests (Gerson & Woodward, 2014). Dette interventionsstudie demonstrerer, ifgl. forfatterne, at egen erfaring med en handling har kausal indvirkning på opfattelsen af andres tilsvarende handlinger. Dette lader til i hvert fald at være tilfældet for gribe-handlinger efter kortvarig træning i eksperimentelle opstillinger. Det er dog i tråd med direkte-match hypotesens påstand om nødvendigheden af egen erfaring for at danne en motorisk repræsentation, der kan benyttes i handlingsforståelse.

Dog opstår der her to centrale problemer. Det første er, at man, som vist i redegørelsen for fremkomsten af handlingsforståelse, ikke ellers har empiri med handlingsforståelse i spædbørn yngre end 6 måneder. Dog kan dette studies tegn på forståelse i spædbørn på 3 måneder forklares med direkte-match hypotesen: Nemlig at spædbørn før ca. 6 måneders-alderen ikke vil have den motoriske modenhed og kontrol til at udføre mål-orienterede handlinger, og dermed ikke motoriske repræsentationer, de kan forstå andres handlinger ud fra. Velcrointerventionen kunne dermed give spædbørnene på 3 måneder en motorisk repræsentation af handlingen og dens målobjekt, der for første gang gjorde dem i stand til at

forstå relationen mellem aktør og målobjekt i andres handlinger. Det andet problem er, at mens resultaterne er i tråd med udviklingen af handlingsforståelse indenfor spejlneuronteorien om handlingsforståelse, så har man, som vist ovenfor, heller ikke kunne måle et funktionelt MNS i spædbørn yngre end 6 måneder. Dermed bliver det problematisk at benytte studiet til at understøtte en teori om MNS' rolle. Dog kan fremkomsten af et målbart MNS mellem 6 og 12 måneder også afspejle en begrænsning ved de metoder, der benyttes. Denne begrænsning kan forstås sådan, at disse metoder blot ikke formår at måle aktiviteten i det gradvist modnende MNS under en vis tærskelværdi.

Dette rejser nogle generelle spørgsmål om, hvordan spejlneuronsystemet og handlingsforståelse operationaliseres og måles i empiriske studier. Det vil jeg komme nærmere ind på nedenfor.

3.2 Opsamling

Samlet set er der betragtelig empiri i tråd med de konsekvenser for spædbørns udvikling af handlingsforståelse, der afledes af direkte-match hypotesens påstande. Der ser nemlig ud til at være en selektiv indkodning af menneskelige aktører samt en forståelse formet af egne handlingserfaringer. Sammen med det tidlige sammenfald mellem udviklingen af et målbart MNS og handlingsforståelse tyder det derfor på, at spædbørns udvikling af evnen til at forstå andres mål-orienterede handlinger kan forstås indenfor rammerne af spejlneuronteorien om handlingsforståelse. Det er dog vigtigt at huske, at selvom de præsenterede studier stemmer overens med teorien, så implicerer de ikke nogen bagvedliggende neurale mekanismer, som f.eks. MNS. Dermed er den præsenterede empiri med spædbørn samlet set forenelig med, men giver ikke direkte evidens for, spejlneuronteorien om handlingsforståelse.

4. Udfordringer for spejlneuronteorien om handlingsforståelse

Dermed vender jeg tilbage til opgavens centrale spørgsmål: Om man kan forstå spædbørns udvikling af handlingsforståelse indenfor rammerne af spejlneuronteorien om handlingsforståelse? Ovenfor er præsenteret empiri i overensstemmelse med de påstande, der afledes af teoriens direkte-match hypotese. I det følgende vil jeg diskutere centrale udfordringer, der samtidig opstår for teorien. Først diskuteres metodiske og teoretiske udfordringer ved studiet af hhv. MNS og handlingsforståelse i spædbørn. Derefter vil jeg se nærmere på alternative forklaringer affødt af en udfordrende teori om konceptuel viden, der modsat spejlneuronteorien rammesætter handlingsforståelse som en top-down proces. Baseret

på dette forsøger jeg til sidst at nå nærmere et svar på, hvilken rolle MNS spiller i udviklingen af handlingsforståelse.

4.1 Operationalisering af MNS og handlingsforståelse

Som det også har fremgået af opgaven hidtil, så er blik-baserede metoder vigtige kognitive tilgange til handlingsforståelse. Samtidig tilbyder EEG-metoder en tilgang til det mulige underliggende neurale system, i form af MNS. I det følgende vil jeg kort undersøge, hvilke udfordringer disse neurale og kognitive tilgange har, når man kigger nærmere på deres operationaliseringer.

4.1.1 EEG som mål for MNS

EEG benyttes som tilgang til det neurale niveau, da den muliggør at undersøge MNS på en ikke-invasiv måde. I den forbindelse er der dog nogle vigtige overvejelser, ift. at drage konklusioner om, at EEG-fund er analoge til fund i aber. Da EEG har en mangel på rumlig præcision, indikerer delt aktivering for handling og observation ikke nødvendigvis, at samme neurale system er aktivt (Marshall et al., 2011). Samtidig har EEG-forsøg med spædbørn små sample-størrelser med deraf følgende lav statistisk power (Hobson & Bishop, 2017). For eksempel analyserede Southgate et al. (2009), fremhævet ovenfor, brugbare data fra kun 15 spædbørn. Lav statistisk power øger sandsynligheden for falske positive resultater ("*false positives*"), altså at målte effekter ikke afspejler sande effekter (Hobson & Bishop, 2017). Dermed risikerer man at overfortolke tilstedeværelsen af et MNS baseret på EEG data.

Yderligere står det ikke klart, om der med EEG murymten og MRD måles på samme MNS som oprindeligt identificeret i aber (Vanderwert et al., 2013). På den ene side er der empiri, der understøtter, at MRD kan betragtes som et neuralt kendetegn for menneskets MNS (Braadbaart et al., 2013; Fox et al., 2016). Men samtidig er der fundet MRD i spædbørn ved observation af ikke-mål-orienterede handlinger, som f.eks. at træde (de Klerk, Johnson, Heyes, et al., 2015), hvilket går imod de oprindelige fund i aber (Fogassi et al., 2005; Gallese et al., 1996). Dette rejser spørgsmål om, hvorvidt det er MNS aktivitet, der måles med MRD. Andre har foreslået, at MRD i stedet måler motorisk aktivering uafhængigt af et MNS (Southgate et al., 2010). Dertil kommer, at MRD-studier benytter forskellige konceptualiseringer af, hvilke EEG-frekvenser, der udgør mu-rytmen målt i MRD. Dermed kan forskere i et givent studie vælge den frekvens, hvor resultaterne bedst passer deres hypotese, hvilket gør analysen

cirkulær (Hobson & Bishop, 2017). Dermed kan det variere mellem studier, hvad der analyseres som et funktionelt MNS.

Tilsammen udfordrer disse metodiske problemer muligheden for at drage robuste konklusioner om karakteren af MNS ud fra EEG-data.

4.1.2 Blikadfærd som mål for handlingsforståelse

Dertil kommer tilgange på det kognitive niveau, i denne opgave *eye tracking* og habitueringsparadigmet. Fælles for de to er, at de begge afhænger af antagelsen om, at en særlig adfærd afspejler målforståelse, mens manglen på samme adfærd afspejler manglende målforståelse (Southgate, 2013). Empirien præsenteret i afsnittet om direkte-match hypotesens påstande og de afledte udviklingstendenser hviler på disse antagelser. Det er derfor vigtigt at undersøge, om det, der tages som evidens for handlingsforståelse, virkelig er det.

For at starte med *eye tracking*-tilgange: Her anses evnen til at frigøre blikket fra hånden og rette det prædiktivt mod målet som, at spædbarnet succesfuldt har forudset handlingsmålet. Dermed kan evnen til indre opmærksomhedskontrol også spille en stor rolle. En evne, der netop også udvikles over det første leveår (Southgate, 2013). Forstået på den måde, at det i stedet kan være evnen til at frigøre sit blik og opmærksomhed fra en stimulus og rette det mod en anden lokation, der er afgørende. Så i stedet for at afspejle forståelsen af relationen mellem aktør-mål, vil spædbørns adfærd i denne tilgang afspejle deres evne til at frigøre deres opmærksomhed (Southgate, 2013). Altså behøver de manglende prædiktive øjenbevægelser hos spædbørn på 6 måneder i Falck-Ytter et al. (2006) og 4 måneder i Kanakogi og Itakura (2011) ikke at afspejle en manglende handlingsforståelse, men kan i stedet afspejle en manglende evne til at koble deres opmærksomhed fra den visuelt medrivende hånd i bevægelse. Det er derved uklart, om prædiktive blik i *eye tracking*-tilgangen afspejler handlingsforståelse.

På samme måde kan der rejses spørgsmål om habitueringsparadigmet, hvor spædbørn ser en aktør række ud efter et af to objekter gentagne gange, hvorefter deres målforståelse testes. Først og fremmest kræver dette paradigme, at spædbørnene besidder evner til at bemærke kendetegn ved objekterne for at kunne skelne dem, skabe en mental repræsentation af målobjektet og bibeholde den på tværs af habituering og test. Altså skal spædbørnene ikke kun tillægge et mål til en aktør, men også huske identiteten af mindst et objekt (Robson & Kuhlmeier, 2016). Derudover består den primære information, som er til rådighed for spædbørnene, i aktørens tidligere handlinger. Dermed vil de i dette paradigme ikke blot overveje, hvad aktøren foretager sig lige nu, men også, hvad aktøren har gjort i fortiden

(Robson & Kuhlmeier, 2016). Tilsammen gør disse faktorer, at der ikke blot testes, om spædbørnene kan repræsentere handlingen som relation mellem aktør og objekt, men som relation mellem aktøren og *et særligt objekt*. Hermed kan der argumenteres for, at det er tilstedeværelsen af et gentaget valg i paradigmet, der gør spædbarnet i stand til at skabe en forventning om aktørens mål. I så fald bliver dette paradigme mere en test af spædbarnets evne til at repræsentere og bruge aktørens præferencer, end en evne til forstå en handling som mål-orienteret (jf. Southgate, 2013).

4.1.3 Delkonklusion

Som det fremgår af opgavens foregående afsnit, består det præsenterede argument for spejlneuronteorien om handlingsforståelse i en sammenfletning af neural og kognitiv evidens. Disse hviler på antagelser om, at EEG-aktivitet afspejler aktivitet i MNS, mens adfærd i *eye tracking*-forsøg og habituateringsparadigmet afspejler målforståelse. Dog er der en række grunde til at sætte spørgsmålstegn ved, om det, der bliver taget som evidens for spejlneuronteorien om handlingsforståelse, faktisk er det.

4.2 Handlingsforståelse som bottom-up eller top-down process

I spejlneuronteorien om handlingsforståelse konceptualiseres handlingsforståelsen som en bottom-up proces. Det visuelle indtryk af handlingen genkendes først som en menneskelig aktør, sandsynligvis i STS. Derefter aktiverer det sensoriske indtryk en tilsvarende repræsentation i observatørens eget motoriske repertoire, formodentlig i de sensomotoriske områder. Det giver så adgang til et sandsynligt mål. Derved skabes handlingsforståelsen af en bottom-up analyse af det visuelle indtryk, der foregår på tiltagende komplekse kognitive niveauer.

Andre argumenterer for, at det ikke er et match med egne motoriske repræsentationer, der har betydning. I stedet fremhæves en teori om konceptuel viden. Her lægges vægt på spædbarnets viden om handlinger og deres virkninger, hvormed handlingsforståelse ses som en top-down proces. I top-down processering påvirker kontekst og forventninger på højere niveauer informationsbearbejdningen på lavere niveauer (Ashcraft & Radvansky, 2014). Denne alternative teori lyder på, at spædbørn besidder effektive associative og statistiske indlæringssevner, samtidig med at de løbende har rig mulighed for at samle viden om statistiske regelmæssigheder hos andre, deres handlinger og de situationer, de forekommer i. Denne støt voksende viden påvirker så deres perception af andres handlinger, og spædbørnene bliver i

stand til at forudsige, hvordan de vil forløbe. Dermed udvikles handlingsforståelse gennem observationsindlæring (Hunnius & Bekkering, 2014).

4.2.1 Top-down fortolkning af empiri i tråd med direkte-match hypotesen

Her vil jeg vende tilbage til de præsenterede tendenser i overensstemmelse med direkte-match hypotesen, specifikt betydningerne af en menneskelig aktør og af egen erfaring. Indenfor teorien om konceptuel viden rammesættes de i stedet som et resultat af barnets kendskab og viden. I den forbindelse kan den selektive handlingsforståelse for menneskelige aktører altså tolkes alternativt: Gennem deres liv har spædbørnene samlet stor erfaring med menneskelige aktører og hænder, men minimal erfaring med mekaniske klør eller pinde. Dermed er deres målforventninger begrænset til menneskelige aktører i *eye tracking*-forsøg (Kanakogi & Itakura, 2011) og habitueringsparadigmet (Woodward, 1998) – simpelthen fordi de har en større statistisk viden om, hvad der er mest sandsynligt for den menneskelige aktør (de Klerk et al., 2016; Southgate, 2013). På samme måde kan effekten af egen handlingserfaring bortforklares: Spædbørn får både motorisk og visuel feedback fra egne handlinger. Derfor er de mere velkendte end dem, de ikke selv kan producere (Southgate, 2013). Dermed kan effekten af Sommerville et al. (2005)'s forsøg med Velcrovanter alternativt forstås som, at træningsperioden gav spædbørnene en rig information om, hvordan de handlinger typisk forløber. En central udfordring er altså, at det i de gængse handlingsforståelsesmetoder er uklart, om spædbørnenes målforudsigelser og -evalueringer afhænger af visuel eller motorisk erfaring (jf. Southgate, 2013).

4.2.2 Top-down fortolkning af metoder til måling af handlingsforståelse

Det klassiske habitueringsparadigme kan yderligere udfordres ud fra et forsøg af Kim og Song (2015). Her blev en *eye tracking*-variation af paradigmet benyttet, hvor det ene objekt i nogle tilfælde var skjult for aktøren, men ikke spædbarnet, under habituering. Resultaterne viste, at spædbørn på 6 måneder under test kun udviste prædiktive blik, hvis aktøren havde kendt til begge objekter under habituering (Kim & Song, 2015).

Dette medfører to udfordringer. For det første var en direkte gribe-handling efter et enkelt objekt, som spejlneuronteorien oprindeligt er defineret ud fra i makakaber (Gallese et al., 1996), altså ikke nok til, at spædbørnene udviste tegn på at have indkodet relationen mellem aktør og mål. For det andet var det nødvendigt, at aktøren selektivt rakte ud efter et objekt, hvor to objekter var til stede, før spædbørnene viste indkodning af relationen mellem aktør-mål.

Dette kan indenfor teorien om konceptuel viden tolkes som, at tests, hvor det var første gang aktøren så det andet objekt, udgjorde en ny situation for spædbørnene. Dermed havde de ikke nogen statistiske regelmæssigheder at trække på, ift. hvad aktøren ville foretage sig i denne situation. Altså kan handlingsforståelse i habitueringsparadigmet forstås som medieret af aktørens tidligere valg.

Samtidig kan *eye tracking*-tilgange også udfordres. En undersøgelse viser, at en træningsperiode, hvor et særligt hånd-stimulus efterfølges af et målobjekt på en særlig position, signifikant kan påvirke 7 måneder gamle spædbørns opmærksomhed og prædiktive øjenbevægelser (Daum et al., 2016). Dette antyder, at når man måler handlingsforståelse som skift i blikretning, så afspejler spædbørnenes øjenbevægelser også observerede, kontekst-specifikke regelmæssigheder.

I sådanne processer, hvor handlingsforståelse medieres af observerede regelmæssigheder, pointerer Southgate (2013), at det kan være svært at se, hvordan et MNS skulle spille en rolle.

4.2.3 Top-down forklaring på det neurale niveau og relationen til det kognitive

Der er dog betragtelig evidens for, at det motoriske system aktiveres, når spædbørn observerer andres handlinger (Lepage & Théoret, 2007; Marshall et al., 2011; Nyström et al., 2011; Southgate et al., 2009, 2010). Dermed må en alternativ kognitiv forklaring nødvendigvis afføde en alternativ neural forklaring. Der er empiri, der viser at egen handlingserfaring (Gerson et al., 2015), men også både kortvarig (Bryant & Cuevas, 2019) og længerevarende hverdagsrelateret observationserfaring (Stapel et al., 2010), påvirker motorisk aktivering under handlingsobservation i spædbørn. Dette skaber et åbent spørgsmål om den motoriske aktiverings oprindelse.

Et interessant fund i den sammenhæng er prædiktiv MRD for forudsigelige handlinger. Det består i sensomotorisk aktivering lige *inden* observation af handlinger, der kan forudsiges på baggrund af omgivelserne. Dette demonstrerer en motorisk aktivitet uden tilstedeværelsen af en handling, der kan matches i ens motoriske repertoire, og er observeret både i spædbørn (Southgate et al., 2009) og voksne (Krol et al., 2020). Af nogle tolkes dette som evidens for en top-down modulering af MNS-aktivering, så egen viden resulterer i en foregribende motorisk repræsentation af den andens handling (Krol et al., 2020). Andre foreslår, at den motoriske aktivering slet ikke er relateret til MNS, men i stedet afspejler en simulering af, *hvordan* et konceptuelt identificeret mål sandsynligvis vil opnås (de Klerk, Johnson, & Southgate, 2015;

Southgate et al., 2010). Dermed anses motorisk aktivering ikke som en forudsætning for forståelse, som det gør i spejlneuronteorien om handlingsforståelse (Rizzolatti & Craighero, 2004). I stedet er den motoriske aktivering en konsekvens af handlingsforståelse: Spædbarnet kan på grund af kendskab til handlingen udlede, hvad der sandsynligvis vil være dens mål. Derefter afspejler den motoriske aktivering en proces med at forudse en sandsynlig måde, hvorpå det mål vil opnås (Southgate et al., 2010).

Southgate og Begus (2013) undersøgte denne prædiktive motoriske aktivering i 9 måneder gamle spædbørn, hvor de enten blev habitueret til, at et af to objekter bevægede sig frem, eller til en mere klassisk version, hvor en hånd rakte ud og flyttede et af dem frem. Derefter målte MRD for et statisk billede af hhv. objektet alene eller en hånd foran objektet. De, der havde set et selvbevægende objekt, udviste MRD for et billede af objektet, der ikke var signifikant forskellig for MRD hos de, der havde set en hånd, og derefter så billedet af en hånd foran objektet. Den prædiktive motoriske aktivering afhang altså ikke af, om spædbørnene var i stand til at matche det observerede med en motorisk repræsentation. Dette blev tolket som, at den motoriske aktivering ikke afspejlede en direkte-match proces i MNS, men nærmere en handlingsforventning (Southgate & Begus, 2013).

4.2.4 Delkonklusion

For at opsummere, så betragter teorien om konceptuel viden således handlingsforståelse som udviklet gennem visuel erfaring med handlinger og deres konsekvenser. Derved spiller indlærte statistiske regelmæssigheder en vigtigere rolle end egen erfaring som aktør. Samtidig bliver den motoriske aktivitet ikke en forudsætning for handlingsforståelse, men en effekt deraf.

4.3 MNS' rolle i udviklingen af handlingsforståelse

Samlet set kan man ikke komme udenom, at observationen af andres handlinger involverer en form for motorisk aktivering (f.eks. Natale et al., 2014; Turati et al., 2013). Det, der endnu ikke er kendt, er præcis hvilke slutninger hjernen drager fra motorisk aktivering eller hvilke mekanismer, der er involverede i aktiveringen til at starte med (Southgate & Begus, 2013). Nogle argumenterer for, at MNS ingen rolle spiller i handlingsforståelse (Hickok, 2013). Dog ser det ud til, ud fra opgavens samlede argumentation, at både egen voksende motorisk erfaring og observation af andres handlinger kan lede til handlingsforståelse i spædbarnsalderen. Dog er der mangel på studier, der undersøger hvilken af de to typer af erfaring, egen eller observeret,

der har størst indvirkning på spædbørns udvikling af handlingsforståelse (Hunnius & Bekkering, 2014).

4.3.1 Handlingsforståelse gennem konvergerende udvikling af MNS og konceptuel viden

I den forbindelse kan spædbørns udvikling af handlingsforståelse forstås som involverende både bottom-up og top-down processer. Således kan handlingsforståelse ske parallelt og konvergerende på flere niveauer, så top-down slutningsprocesser og bottom-up matching forener information for at forstå en given handling (Quadrelli & Turati, 2016).

Dermed kan effekten af handlingserfaring i udviklingen af handlingsforståelse ses som en prædiktiv, sensomotorisk indlæring. Dette indebærer at sensorisk og motorisk information indlæres gennem en prædikator, altså en indre model for handling, under udviklingen af egen handlingsudførelse. Når man så observerer andre handle, kan prædiktoren rekonstruere manglende sensomotorisk information associeret med de handlinger, baseret på den information, som er indlært under egen handlingsudførelse. Dermed kan spædbørn genkende andres handlinger og forudsige, hvilke sensomotoriske signaler, de vil resultere i (Copete et al., 2016). Med andre ord kan de forudsige handlingens udfald.

I tråd med dette kan udviklingsforløbet forstås som en specialisering, hvor en direkte-match mekanisme i MNS opstår gradvist ud fra sensomotoriske signaler i takt med barnets voksende handlingserfaring (Quadrelli & Turati, 2016). På den måde spiller en bottom-up, sensomotorisk simulation en rolle i udviklingen af at kunne forudsige andres handlingsmål. Derudover er det foreslået, at konceptuel viden parallelt spiller en rolle ved at opdatere de sensomotoriske forudsigelser løbende, mens handlingen foregår (Gerson et al., 2017). Altså vil der over spædbarnets udvikling ske det, at øget egen erfaring med forskellige handlinger, gennem en prædikator, fører til mere detaljerede sensomotoriske forudsigelser af andres handlinger i MNS. Samtidig vil længere tid som individ i verden have medført større viden, ud fra hvilken de sensomotoriske forudsigelser tilpasses baseret på input fra omgivelserne. Samtidig vil disse forudsigelser koble tilbage ind i spædbarnets interne prædikator, så prædiktoren i løbet af spædbarnets udvikling tilpasses ud fra både 1) resultaterne af de forudsigelser, de skaber ud fra egen motorisk erfaring og MNS, og 2) deres tilpasninger til de forudsigelser baseret på konceptuel viden (Gerson et al., 2017).

4.3.2 Handlingsforståelse gennem situationelt bestemte, individuelt udviklede strategier

I tråd med ovenstående kan det også variere, under hvilke forhold spædbørnene vil benytte en given kilde til handlingsforståelse. Quadrelli og Turati (2016) argumenterer for, at forståelse af handlinger kendt gennem egen motorisk erfaring kan ske gennem en bottom-up process i MNS, mens forståelse af mindre kendte handlinger kan ske gennem top-down slutninger på baggrund af konceptuel viden. På baggrund af dette inddrager jeg en forståelsesramme, der lægger vægt på kognitive strategier over funktioner. Mens kognitive funktioner i traditionel forstand, her handlingsforståelse, kan identificeres på et overflade-niveau, så bør de underliggende mekanismer analyseres som strategier (Mogensen & Overgaard, 2018b).

Dermed kan tilsyneladende modsatrettede forklaringer – som her med betydningen af egen og observeret erfaring – integreres, hvis fænomenet forstås som medieret af multiple og heterogene neurokognitive strategier, der er situationelt bestemte (Mogensen et al., 2018; Mogensen & Overgaard, 2018b). Dermed kan spædbørns udvikling af handlingsforståelse forstås som medieret af forskellige strategier. Således kan de i nogle situationer benytte en processering baseret på egen motorisk erfaring, som i MNS, og i andre situationer benytte rationalisering baseret på statistisk, konceptuel viden. Sådanne strategier er dynamiske og foranderlige, og afhænger samtidig af erfaring, så forskellige individer har individuelt udviklede strategier (Mogensen et al., 2018). På den måde kan det også forstås som, at forskellige spædbørn vil udvikle forskellige strategier for at opnå samme handlingsforståelse på overfladeniveau. For nogle kan dette have resulteret i en opbygning af en primær strategi, der ligner et MNS, og for andre ikke.

4.3.3 Delkonklusion

Således kan MNS' rolle forstås som en kilde til handlingsforståelse, der udvikles og bruges i fællesskab med en top-down tilgang. Alternativ kan MNS betragtes som én neurokognitiv strategi til handlingsforståelse, der baseret på situationen spiller en rolle i forståelsen af nogle handlinger, eller baseret på et individuelt udviklingsforløb udvikles af nogle og ikke andre. Begge disse tilgange udvider forståelsesrammen for spædbørns handlingsforståelse udover MNS. Samtidig muliggøres integrering af den heterogene, og til tider modsatrettede, tolkning af empiri, der er præsenteret i denne opgave.

5. Konklusion

Ved at se nærmere på de kognitive og neurale mekanismer, har denne bacheloropgave undersøgt, om spædbørns udvikling af en forståelse af andres mål-orienterede handlinger kan forstås indenfor rammerne af spejlneuronteorien om handlingsforståelse. Baseret på et tidsligt sammenfald mellem udviklingen af et funktionelt MNS og handlingsforståelse, analyserede jeg teoriens centrale antagelser. Her identificerede jeg to påstande om handlingsforståelse, der kan udledes af teoriens direkte-match hypotese. En gennemgang viste betragtelig empiri for udviklingstendenser i tråd med disse påstande. Dermed synes det muligt at forstå spædbørns udvikling af handlingsforståelse indenfor rammerne af spejlneuronteorien om handlingsforståelse. Dog hviler den præsenterede empiri på nogle metodiske antagelser, der i vid udstrækning kan udfordres. Samtidig kan empirien også forklares med en alternativ top-down teori om konceptuel viden. Dermed er spejlneuronteorien om handlingsforståelse ikke den eneste mulige forklaring på spædbørns udvikling af handlingsforståelse, men et perspektiv, der i lyset af den præsenterede empiri har en vis forklaringskraft. I betragtning af opgavens samlede argumentation kan forståelsesrammen for spædbørns udvikling af handlingsforståelse udvides. Her kan MNS bidrage til udviklingen af handlingsforståelse som del af et bredere system til forståelse af andres handlinger, enten i fælleskab med top-down processer, eller som en individuelt udviklet, situationsbestemt strategi.

6. Litteraturliste

1252 normalsider selvvalgt litteratur, heraf 596 siders primærlitteratur (markeret med *)

6.1 Selvvalgt litteratur

- Avenanti, A., Bolognini, N., Maravita, A., & Aglioti, S. M. (2007). Somatic and Motor Components of Action Simulation. *Current Biology*, 17(24), 2129–2135.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.11.045>. 11 normalsider*
- Becchio, C., Cavallo, A., Begliomini, C., Sartori, L., Feltrin, G., & Castiello, U. (2012). Social grasping: From mirroring to mentalizing. *NeuroImage*, 61(1), 240–248.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.03.013>. 16 normalsider*
- Bertenthal, B. I., & Longo, M. R. (2007). Is there evidence of a mirror system from birth? *Developmental Science*, 10(5), 526–529. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00633.x>. 4 normalsider.
- Bryant, L. J., & Cuevas, K. (2019). Effects of active and observational experience on EEG activity during early childhood. *Psychophysiology*, 56(7), e13360.
<https://doi.org/10.1111/psyp.13360>. 20 normalsider*
- Braadbaart, L., Williams, J. H. G., & Waiter, G. D. (2013). Do mirror neuron areas mediate mu rhythm suppression during imitation and action observation? *International Journal of Psychophysiology*, 89(1), 99–105.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.019>. 13 normalsider*
- Butterfill, S. A. (2019). Goals and targets: A developmental puzzle about sensitivity to others' actions. *Synthese*. <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02214-9>. 22 normalsider
- Cannon, E. N., & Woodward, A. L. (2012). Infants generate goal-based action predictions. *Developmental Science*, 15(2), 292–298. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01127.x>. 11 normalsider*
- Cannon, E. N., Woodward, A. L., Gredebäck, G., von Hofsten, C., & Turek, C. (2012). Action production influences 12-month-old infants' attention to others' actions. *Developmental Science*, 15(1), 35–42. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01095.x>. 12 normalsider*

- Caspers, S., Zilles, K., Laird, A. R., & Eickhoff, S. B. (2010). ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *NeuroImage*, 50(3), 1148–1167. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.112>. 25 normalsider
- Cattaneo, L., Sandrini, M., & Schwarzbach, J. (2010). State-Dependent TMS Reveals a Hierarchical Representation of Observed Acts in the Temporal, Parietal, and Premotor Cortices. *Cerebral Cortex*, 20(9), 2252–2258. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp291>. 12 normalsider*
- Copete, J. L., Nagai, Y., & Asada, M. (2016). Motor development facilitates the prediction of others' actions through sensorimotor predictive learning. *2016 Joint IEEE International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob)*, 223–229. <https://doi.org/10.1109/DEVLRN.2016.7846823>. 12 normalsider
- Daum, M. M., Wronski, C., Harms, A., & Gredebäck, G. (2016). Action perception in infancy: The plasticity of 7-month-olds' attention to grasping actions. *Experimental Brain Research*, 234(9), 2465–2478. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4651-3>. 21 normalsider*
- de Klerk, C. C. J. M., Johnson, M. H., Heyes, C. M., & Southgate, V. (2015). Baby steps: Investigating the development of perceptual-motor couplings in infancy. *Developmental Science*, 18(2), 270–280. <https://doi.org/10.1111/desc.12226>. 16 normalsider*
- de Klerk, C. C. J. M., Johnson, M. H., & Southgate, V. (2015). An EEG study on the somatotopic organisation of sensorimotor cortex activation during action execution and observation in infancy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 15, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.08.004>. 17 normalsider*
- de Klerk, C. C. J. M., Southgate, V., & Csibra, G. (2016). Predictive action tracking without motor experience in 8-month-old infants. *Brain and Cognition*, 109, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.09.010>. 19 normalsider*
- Deoni, S. C. L., Dean, D. C., Remer, J., Dirks, H., & O'Muircheartaigh, J. (2015). Cortical maturation and myelination in healthy toddlers and young children. *NeuroImage*, 115, 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.04.058>. 13 normalsider*
- Deoni, S. C. L., O'Muircheartaigh, J., Ellison, J. T., Walker, L., Doernberg, E., Waskiewicz, N., Dirks, H., Piryatinsky, I., Dean, D. C., & Jumble, N. L. (2016). White matter maturation profiles through early childhood predict general cognitive ability. *Brain*

- Structure and Function*, 221(2), 1189–1203. <https://doi.org/10.1007/s00429-014-0947-x>. 13 normalsider*
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: A neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>. 6 normalsider*
- Elsner, B., & Adam, M. (2020). Infants' Goal Prediction for Simple Action Events: The Role of Experience and Agency Cues. *Topics in Cognitive Science*, 1–18. <https://doi.org/10.1111/tops.12494>. 17 normalsider
- Elsner, C., D'Ausilio, A., Gredebäck, G., Falck-Ytter, T., & Fadiga, L. (2013). The motor cortex is causally related to predictive eye movements during action observation. *Neuropsychologia*, 51(3), 488–492. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.12.007>. 9 normalsider*
- Falck-Ytter, T., Gredebäck, G., & von Hofsten, C. (2006). Infants predict other people's action goals. *Nature Neuroscience*, 9(7), 878–879. <https://doi.org/10.1038/nn1729>. 4 normalsider*
- Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science*, 308(5722), 662–667. <https://doi.org/10.1126/science.1106138>. 7 normalsider*
- Fox, N. A., Bakermans-Kranenburg, M. J., Yoo, K. H., Bowman, L. C., Cannon, E. N., Vanderwert, R. E., Ferrari, P. F., & van IJzendoorn, M. H. (2016). Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 142(3), 291–313. <https://doi.org/10.1037/bul0000031>. 29 normalsider
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119(2), 593–609. <https://doi.org/10.1093/brain/119.2.593>. 20 normalsider*
- Gerson, S. A., Bekkering, H., & Hunnius, S. (2015). Short-term Motor Training, but Not Observational Training, Alters Neurocognitive Mechanisms of Action Processing in Infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(6), 1207–1214. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00774. 12 normalsider*
- Gerson, S. A., Meyer, M., Hunnius, S., & Bekkering, H. (2017). Unravelling the contributions of motor experience and conceptual knowledge in action perception: A training study. *Scientific Reports*, 7(1), 46761. <https://doi.org/10.1038/srep46761>. 15 normalsider*

- Gerson, S. A., & Woodward, A. L. (2014). Learning From Their Own Actions: The Unique Effect of Producing Actions on Infants' Action Understanding. *Child Development*, 85(1), 264–277. <https://doi.org/10.1111/cdev.12115>. 20 normalsider*
- Hickok, G. (2009). Eight Problems for the Mirror Neuron Theory of Action Understanding in Monkeys and Humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(7), 1229–1243. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21189>. 28 normalsider
- Hickok, G. (2013). Do mirror neurons subserve action understanding? *Neuroscience Letters*, 540, 56–58. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.11.001>. 4 normalsider
- Hobson, H. M., & Bishop, D. V. M. (2017). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: Past, present and future. *Royal Society Open Science*, 4(3), 160662. <https://doi.org/10.1098/rsos.160662>. 34 normalsider
- Hofer, T., Hauf, P., & Aschersleben, G. (2005). Infant's perception of goal-directed actions performed by a mechanical device. *Infant Behavior and Development*, 28(4), 466–480. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2005.04.002>. 17 normalsider*
- Hunnius, S., & Bekkering, H. (2014). What are you doing? How active and observational experience shape infants' action understanding. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 369, 20130490. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0490>. 14 normalsider*
- Kanakogi, Y., & Itakura, S. (2010). The link between perception and action in early infancy: From the viewpoint of the direct-matching hypothesis. *Japanese Psychological Research*, 52(2), 121–131. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5884.2010.00429.x>. 10 normalsider
- Kanakogi, Y., & Itakura, S. (2011). Developmental correspondence between action prediction and motor ability in early infancy. *Nature Communications*, 2(1), 341. <https://doi.org/10.1038/ncomms1342>. 12 normalsider*
- Keysers, C., & Gazzola, V. (2009). Unifying Social Cognition. I J. A. Pineda (Red.), *Mirror Neuron Systems: The Role of Mirroring Processes in Social Cognition* (s. 1–35). Humana Press. 36 normalsider
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., & Blakemore, S. J. (2003). An Interference Effect of Observed Biological Movement on Action. *Current Biology*, 13(6), 522–525. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(03\)00165-9](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(03)00165-9). 4 normalsider*
- Kim, E. Y., & Song, H. (2015). Six-month-olds actively predict others' goal-directed actions. *Cognitive Development*, 33, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2014.09.003>. 16 normalsider*

- Krol, M. A., Schutter, D. J. L. G., & Jellema, T. (2020). Sensorimotor cortex activation during anticipation of upcoming predictable but not unpredictable actions. *Social Neuroscience*, 15(2), 214–226. <https://doi.org/10.1080/17470919.2019.1674688>. 19 normalsider*
- Lepage, J.-F., & Théoret, H. (2007). The mirror neuron system: Grasping others' actions from birth? *Developmental Science*, 10(5), 513–523. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00631.x>. 17 normalsider
- Marshall, P. J., & Meltzoff, A. N. (2011). Neural mirroring systems: Exploring the EEG mu rhythm in human infancy. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1(2), 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2010.09.001>. 25 normalsider
- Marshall, P. J., Young, T., & Meltzoff, A. N. (2011). Neural correlates of action observation and execution in 14-month-old infants: An event-related EEG desynchronization study. *Developmental Science*, 14(3), 474–480. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00991.x>. 11 normalsider*
- Mogensen, J., Daugaard, N., Kitsios, S., Pedersen, J. E., & Overgaard, M. (2018). Understanding the Neurocognitive Organization as Strategies Rather than Functions: Implications for Neurological Research. *EC Neurology*, 10(11), 1008–1016. 7 normalsider
- Mogensen, J., & Overgaard, M. (2018a). Neural Connections and Mental States: The Need for a Neurocognitive Framework. *EC Neurology*, 10(3), 180–194. 14 normalsider
- Mogensen, J., & Overgaard, M. (2018b). Reorganization of the connectivity between elementary functions as a common mechanism of phenomenal consciousness and working memory: From functions to strategies. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 373, 20170346. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0346>. 13 normalsider
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology*, 20(8), 750–756. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.02.045>. 10 normalsider*
- Natale, E., Senna, I., Bolognini, N., Quadrelli, E., Addabbo, M., Macchi Cassia, V., & Turati, C. (2014). Predicting others' intention involves motor resonance: EMG evidence from 6- and 9-month-old infants. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 7, 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.10.004>. 12 normalsider*
- Ní Choisdealbha, Á., & Reid, V. (2014). The developmental cognitive neuroscience of action: Semantics, motor resonance and social processing. *Experimental Brain*

- Research*, 232(6), 1585–1597. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3924-y>. 20 normalsider
- Nyström, P. (2008). The infant mirror neuron system studied with high density EEG. *Social Neuroscience*, 3(3–4), 334–347. <https://doi.org/10.1080/17470910701563665>. 16 normalsider*
- Nyström, P., Ljunghammar, T., Rosander, K., & von Hofsten, C. (2011). Using mu rhythm desynchronization to measure mirror neuron activity in infants. *Developmental Science*, 14(2), 327–335. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00979.x>. 12 normalsider*
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014>. 13 normalsider*
- Overgaard, M., & Mogensen, J. (2011). A Framework for the Study of Multiple Realizations: The Importance of Levels of Analysis. *Frontiers in Psychology*, 2, 79. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00079>. 22 normalsider
- Quadrelli, E., & Turati, C. (2016). Origins and development of mirroring mechanisms: A neuroconstructivist framework. *British Journal of Developmental Psychology*, 34(1), 6–23. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12110>. 16 normalsider
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in Neurosciences*, 21(5), 188–194. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01260-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01260-0). 11 normalsider
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The Mirror-Neuron System. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27(1), 169–192. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>. 23 normalsider
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and recognition of motor action. *Cognitive Brain Research*, 3, 131–141. 13 normalsider*
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., & Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(9), 661–670. <https://doi.org/10.1038/35090060>. 16 normalsider
- Robson, S. J., & Kuhlmeier, V. A. (2016). Infants' Understanding of Object-Directed Action: An Interdisciplinary Synthesis. *Frontiers in Psychology*, 7(111). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00111>. 26 normalsider

- Rosander, K., & von Hofsten, C. (2011). Predictive gaze shifts elicited during observed and performed actions in 10-month-old infants and adults. *Neuropsychologia*, 49(10), 2911–2917. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.018>. 13 normalsider*
- Sommerville, J. A., & Woodward, A. L. (2005). Pulling out the intentional structure of action: The relation between action processing and action production in infancy. *Cognition*, 95(1), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.12.004>. 31 normalsider*
- Southgate, V. (2013). Do infants provide evidence that the mirror system is involved in action understanding? *Consciousness and Cognition*, 22(3), 1114–1121. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.04.008>. 16 normalsider
- Southgate, V., & Begus, K. (2013). Motor Activation During the Prediction of Nonexecutable Actions in Infants. *Psychological Science*, 24(6), 828–835. <https://doi.org/10.1177/0956797612459766>. 11 normalsider*
- Southgate, V., Johnson, M. H., Karoui, I. E., & Csibra, G. (2010). Motor System Activation Reveals Infants' On-Line Prediction of Others' Goals. *Psychological Science*, 21(3), 355–359. <https://doi.org/10.1177/0956797610362058>. 6 normalsider*
- Southgate, V., Johnson, M. H., Osborne, T., & Csibra, G. (2009). Predictive motor activation during action observation in human infants. *Biology Letters*, 5(6), 769–772. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0474>. 5 normalsider*
- Stapel, J. C., Hunnius, S., van Elk, M., & Bekkering, H. (2010). Motor activation during observation of unusual versus ordinary actions in infancy. *Social Neuroscience*, 5(5–6), 451–460. <https://doi.org/10.1080/17470919.2010.490667>. 12 normalsider*
- Turati, C., Natale, E., Bolognini, N., Senna, I., Picozzi, M., Longhi, E., & Cassia, V. M. (2013). The early development of human mirror mechanisms: Evidence from electromyographic recordings at 3 and 6 months. *Developmental Science*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/desc.12066>. 10 normalsider*
- Uithol, S., & Paulus, M. (2014). What do infants understand of others' action? A theoretical account of early social cognition. *Psychological Research*, 78(5), 609–622. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0519-3>. 22 normalsider
- Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2001). I Know What You Are Doing: A Neurophysiological Study. *Neuron*, 31, 155–165. 21 normalsider*

- Urgesi, C., Candidi, M., & Avenanti, A. (2014). Neuroanatomical substrates of action perception and understanding: An anatomic likelihood estimation meta-analysis of lesion-symptom mapping studies in brain injured patients. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00344>. 25 normalsider
- Van Overwalle, F., & Baetens, K. (2009). Understanding others' actions and goals by mirror and mentalizing systems: A meta-analysis. *NeuroImage*, 48(3), 564–584. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.06.009>. 33 normalsider
- Vanderwert, R. E., Fox, N. A., & Ferrari, P. F. (2013). The mirror mechanism and mu rhythm in social development. *Neuroscience Letters*, 540, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.10.006>. 11 normalsider
- Virji-Babul, N., Rose, A., Moiseeva, N., & Makan, N. (2012). Neural correlates of action understanding in infants: Influence of motor experience. *Brain and Behavior*, 2(3), 237–242. <https://doi.org/10.1002/brb3.50>. 7 normalsider*
- von Hofsten, C., & Rosander, K. (2015). On the development of the mirror neuron system. I P. F. Ferrari & G. Rizzolatti (Red.), *New Frontiers in Mirror Neurons Research* (s. 274–295). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199686155.003.0015>. 22 normalsider
- Woodward, A. L. (1998). Infants selectively encode the goal object of an actor's reach. *Cognition*, 69(1), 1–34. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(98\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(98)00058-4). 36 normalsider
- Woodward, A. L. (2005). The infant origins of intentional understanding. I R. V. Kail (Red.), *Advances in Child Development and Behavior* (Bd. 33, s. 229–262). JAI. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(05\)80009-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(05)80009-6). 33 normalsider
- Woodward, A. L., & Gerson, S. A. (2014). Mirroring and the development of action understanding. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 369, 20130181. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0181>. 15 normalsider
- Woodward, A. L., Sommerville, J. A., Gerson, S., Henderson, A. M. E., & Buresh, J. (2009). Chapter 6 The Emergence of Intention Attribution in Infancy. I B. H. Ross (Red.), *Psychology of Learning and Motivation* (Bd. 51, s. 187–222). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(09\)51006-7](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(09)51006-7). 34 normalsider

6.2 Supplerende litteratur

Ashcraft, M. H., & Radvansky, G. A. (2014). *Cognition* (6. udg., s. 61-100). Pearson Education.

Bunge, M. (1980). *The mind-body problem: A psychobiological approach* (s. 1-32). Pergamon Press.

Purves, D., Cabeza, R., Huettel, S. A., LaBar, K. S., Platt, M. L., & Woldorff, M. G. (2013). *Principles of Cognitive Neuroscience* (2. udg., s. 17-54). Sinauer Associates.

Sommerville, J. A., Woodward, A. L., & Needham, A. (2005). Action experience alters 3-month-old infants' perception of others' actions. *Cognition*, 96(1), B1–B11.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.07.004>