



Nederlandse samenvatting

[Dutch summary]

Nederlandse Samenvatting

Het doel van mijn proefschrift is beter begrijpen hoe cognitieve ontwikkeling gerelateerd is aan hoe kinderen hun *handen bewegen* en hoe ze *spreken* tijdens cognitieve taken. Als volwassenen en kinderen praten dan bewegen ze ook vaak hun handen. Spraak en handbewegingen zijn dus gekoppeld. Een interessante bevinding uit eerdere studies is dat handbewegingen van kinderen de cognitieve ontwikkeling lijken te leiden, en daarmee vooruit lijken te lopen op spraak. Zo gebruiken kinderen bijvoorbeeld hun handen om te verkennen en te exploreren, en laten ze begrip in gebaren zien, nog voordat ze dit begrip onder woorden kunnen brengen.

Eerdere verklaringen voor de leidende rol van de handbewegingen van kinderen in cognitieve ontwikkeling gingen er vanuit dat begrip iets is wat “in het hoofd” plaatsvindt. Een duidelijke metafoor hiervoor is dat de menselijke cognitie vergelijkbaar is met hoe computers werken. Een computer gebruikt input die wordt verwerkt in de processor. Dit zou dan vergelijkbaar zijn met hoe visuele informatie of een rekensom bij mensen door het brein wordt verwerkt. Na een verwerking geeft een computer een uitkomst of een mooie visualisatie. Volgens de computer-metafoor geeft het brein na verwerking ook output, in de vorm van spraak en gebaren of iets anders, waarmee het ‘snappen’ van het probleem wordt getoond. We weten echter dat menselijk gedrag niet zo begrepen kan worden als we computers begrijpen. De uitdaging voor de Psychologie is dan ook: Laten zien hoe menselijk gedrag en begrip van de wereld dan wél tot stand komt.

Het perspectief waar ik in dit proefschrift vanuit ben gegaan, is dat kinderen *complex dynamische systemen* zijn. Complex betekent dat ze uit veel verschillende onderdelen bestaan op verschillende niveaus, zoals cellen, spieren, bloedvaten, het centrale zenuwstelsel, het skelet, etc. Tevens zijn kinderen zelf ook weer onderdeel van systemen, zoals hun gezin, klas, etc. Al deze verschillende onderdelen op al die verschillende niveaus interacteren met elkaar. Daardoor *organiseren zij zichzelf* tot patronen, zoals lopen, praten, of handbewegingen maken. Dynamisch betekent dat kinderen veranderen. Hierbij zijn de veranderingen op verschillende tijdschalen, bijvoorbeeld de veranderingen van seconde tot seconde, van minuut tot minuut, van uur tot uur, en van jaar tot jaar, aan elkaar gerelateerd. Hoe veranderingen op die verschillende tijdschalen aan elkaar gerelateerd zijn, is te zien aan de variabiliteit van een systeem. Grote veranderingen (ook wel transities genoemd), zoals leren lopen, een verhuizing, of een cognitief inzicht, gaan vaak samen met een grote toename in variabiliteit op allerlei tijdschalen en gebieden.

Verder zijn kinderen voortdurend in interactie met hun omgeving. Deze omgeving beslaat zowel fysieke aspecten, zoals objecten en taakeigenschappen, als sociale aspecten, zoals

Dutch summary

andere mensen, kinderen, of cultuur. Kinderen hun handbewegingen, spraak, maar ook cognitieve ontwikkeling, ontstaan uit deze voortdurende interactie met hun fysieke en sociale omgeving.

Gebaseerd op dit perspectief heb ik daarom onderzocht hoe de handbewegingen, gebaren en spraak van kinderen zich verhouden tot elkaar en tot de fysieke en sociale omgeving, wanneer kinderen zich bezighouden met wetenschap-en-techniek-taken. Op die manier hoopte ik mijn doel, namelijk beter begrijpen hoe cognitieve ontwikkeling gerelateerd is aan hoe kinderen hun *handen bewegen* en hoe ze *spreken* tijdens cognitieve taken, te bereiken. Hierna volgt een samenvatting van de studies die ik heb uitgevoerd. Tenslotte beschrijf ik kort de conclusies en implicaties van de bevindingen uit het proefschrift.

Studie 1 – Asymmetrische afstemming tussen kinderen hun spraak en gebaren (Hoofdstuk 2)

In de eerste studie (Hoofdstuk 2) heb ik onderzocht of de leidende rol van handbewegingen en gebaren (hierna: gebaren) in de cognitieve ontwikkeling van kinderen ook *binnen* een taak zelf aanwezig is. Eerdere studies hebben namelijk aangetoond dat de leidende rol van gebaren met name naar voren komt *tussen* taken die enige tijd na elkaar afgenomen worden. Ik heb onderzocht hoe 12 kinderen samen met een volwassene een wetenschap-en-techniek-taak uitvoerden. Ik codeerde de gebaren en spraak van kinderen en kende begripsniveaus toe aan zowel hun gebaren als spraak.

Vervolgens heb ik de koppeling tussen het begripsniveau in gebaren en het begripsniveau in spraak geanalyseerd. Hiermee kon ik onderzoeken of begrip in één van de modaliteiten (gebaren of spraak) voorliep in de tijd. Een manier om dit voorlopen voor te kunnen stellen is als twee paarden die, achter elkaar, voor een wagen gespannen zijn. Het paard dat vooraan loopt, loopt ook voor in de tijd en is (iets) eerder op de plaats van bestemming. Tevens kon ik op basis van de koppeling tussen gebaren en spraak onderzoeken of het begrip in één modaliteit het begrip in de andere modaliteit sterker aantrok dan andersom. Zo kan een groot en sterk paard een kleiner en zwakker paard makkelijker meetrekken dan andersom, ongeacht positie in de span (vooraan of achteraan).

De resultaten toonden aan dat voor kleuters het begrip in gebaren gemiddeld 18 seconden voorliep op het begrip in spraak. Voor kinderen uit groep 3 was het begrip in gebaren en spraak meer gesynchroniseerd, waarbij begrip in spraak enigszins voorliep op gebaren (gemiddeld met 0.71 seconden). Ik vond dus enkel bij jongere kinderen dat begrip in gebaren voorliep op spraak. Verder vond ik voor alle kinderen, ongeacht leeftijd, dat begrip in spraak het begrip in gebaren meer aantrok dan andersom. Dit betekent dat het begrip in spraak meer bepalend is

voor het begrip in gebaren, dan omgekeerd. Opvallend was dat deze asymmetrie in aantrekking tussen spraak en gebaren meer uitgesproken was voor kinderen die hoger scoorden op een gestandaardiseerde (CITO) taaltest. Bij kinderen die hoger scoorden op een gestandaardiseerde (CITO) rekentest, of op voorgaande wetenschap-en-techniek-taken, was deze asymmetrie minder uitgesproken, en waren spraak en gebaren dus meer in balans. Deze laatste bevinding zou mogelijk kunnen betekenen dat spraak gebaren relatief minder bepaalt bij deze kinderen, en dat kinderen hiervan profiteren tijdens wiskunde- of wetenschap-en-techniek-taken.

Studie 2 – Hoe de moeilijkheid van een taak beïnvloedt hoe gebaren en spraak op elkaar afstemmen (Hoofdstuk 3)

In de tweede studie (Hoofdstuk 3) heb ik onderzocht of de moeilijkheid van een taak de afstemming tussen gebaren en spraak beïnvloedt. Ik koos hierbij voor bachelorstudenten, omdat zij het vol zouden kunnen houden om ergens 1100 keer naar te wijzen en daarbij woorden te zeggen, terwijl dit voor jonge kinderen lastig zou zijn. Elfhonderd was het minimaal benodigde aantal voor het kunnen uitvoeren van de specifieke analyses.

In het experiment werd de moeilijkheid van de taak gemanipuleerd met behulp van een tablet-taak (zie ook Figuur 4, Hoofdstuk 3, p. 106). In de makkelijke conditie moesten de deelnemers staafjes en ringen van dezelfde kleur in een regelmatige volgorde matchen, door naar de locaties (links, midden of rechts) van de staafjes en ringen op een tablet-scherm te wijzen en het woord van de locaties (“links”, “midden”, of “rechts”) uit te spreken. In de moeilijke conditie moesten de deelnemers op eenzelfde wijze staafjes en ringen van dezelfde kleur matchen, maar nu was de volgorde willekeurig in plaats van regelmatig.

Ik heb de afstemming tussen gebaren en spraak op drie manieren geanalyseerd. De eerste maat betrof de *tijd* tussen het wijzen naar een staafje of ring en het uitspreken van het woord. De tweede maat had betrekking op de *semantische overeenkomst* tussen de locatie waarnaar gewezen werd en het woord dat gezegd werd. Zo is het wijzen naar links en het zeggen van “links” een semantische overeenkomst, terwijl het wijzen naar links en het zeggen van “midden” een semantisch verschil is. De derde maat van afstemming had tenslotte betrekking op de organisatie op verschillende tijdschalen van gebaren en spraak. Als de organisatie van een systeem, zoals gebaren en spraak, over veel tijdschalen samenhangt, dan noemen we het systeem ‘complex’. Indien de mate van complexiteit van gebaren en spraak overeenkomt, en de tijdschalen waarop beide systemen zich organiseren dus op elkaar lijken, dan interpreteren we dit als een hoge *complexiteits-afstemming*. Als de mate van complexiteit van gebaren en spraak niet overeenkomt, dan zien we dit als een lage complexiteits-afstemming.

Dutch summary

Ik vond dat de moeilijkheid van een taak inderdaad de afstemming tussen gebaren en spraak beïnvloedt. Verder vond ik een groter verschil in tijd tussen het wijzen en uitspreken van het woord, minder semantische overeenkomsten en meer complexiteits-afstemming tussen gebaren en spraak in de moeilijke conditie, in vergelijking met de makkelijke conditie. Deze laatste bevinding van meer complexiteits-afstemming in de moeilijke conditie suggereert dat gebaren en spraak niet enkel afstemden, maar als-het-ware samensmolten tot één geheel in de moeilijke conditie.

Studie 3 – De relatie tussen taakeigenschappen en de variabiliteit van kinderen hun handbewegingen en spraak (Hoofdstuk 4)

Eerdere studies hebben aangetoond dat een overgang van 'oud' naar 'nieuw' begrip een reorganisatie van het systeem is, waarbij het systeem zichzelf dus opnieuw organiseert. Zo'n reorganisatie gaat samen met een toename van variabiliteit. Daarnaast heeft de leidende rol van handbewegingen in de cognitieve ontwikkeling mogelijk te maken met een sterke koppeling van handbewegingen met ruimtelijke taakeigenschappen. Spraak is dan weer sterker gekoppeld met geluid. Als dit zo is, dan zou men een verschil verwachten in de variabiliteit van de handbewegingen als de relevante ruimtelijke taakeigenschappen veranderen, maar geen of minder verschil in de variabiliteit van spraak. In de derde studie (Hoofdstuk 4) heb ik dit onderzocht bij kinderen tussen 4 en 7 jaar oud. Dit is de leeftijd waarop ze vaak beginnen te begrijpen dat niet alleen de massa van de gewichten relevant is voor het oplossen van balanstak-problemen, maar ook de afstand van de gewichten tot het midden van de balansschaal.

Kinderen werden door een experimentleider gevraagd om de uitkomsten van balanstak-problemen te voorspellen en uit te leggen. Kinderen namen hierbij deel aan één van de twee experimenten, met elk twee condities. In het eerste experiment werkten kinderen met een lange balansschaal in de eerste helft van de taak en met een korte balansschaal in de tweede helft (Lang-Kort-conditie), of omgekeerd (Kort-Lang-conditie). Het verschil in lengte van de balansschaal was gerelateerd aan de afstand tot het midden van de balansschaal, wat een relevante dimensie is voor het oplossen van balanstak-problemen. In het tweede experiment werkten kinderen in de eerste helft van de taak met een groot verschil in massa tussen de gewichten en met een klein verschil in massa in de tweede helft van de taak (Groot-Klein-conditie), of omgekeerd (Klein-Groot-conditie). Het verschil in massa tussen de gewichten was gerelateerd aan de gewichts-dimensie, die tevens relevant is voor het oplossen van balanstak-problemen. Ik heb op twee manieren naar variabiliteit gekeken: Diversiteit betrof de verscheidenheid van spraak of handbewegingen, en Complexiteit had betrekking op hoe spraak of handbewegingen over de tijd georganiseerd waren. Voor zowel handbewegingen als

spraak vond ik een verschil in Complexiteit na een verandering in taakeigenschappen (bijvoorbeeld van een lange naar een korte balans, en van een groot naar een klein verschil in massa), behalve in de Lang-Kort-conditie. Ik vond geen verschillen in Diversiteit. Verder was de grootte van de verandering in Complexiteit (en Diversiteit) van handbewegingen en spraak aan elkaar gerelateerd in de Groot-Klein conditie. Samengevat beïnvloeden veranderingen in relevante ruimtelijke taakeigenschappen de flexibiliteit van zowel handbewegingen als spraak, maar niet het aanpassingsvermogen.

Studie 4 – Samenwerkende kinderen stemmen hun spraak, handbewegingen en hoofdbewegingen op elkaar af (Hoofdstuk 5)

In de laatste studie onderzocht ik hoe kinderen hun spraak, handbewegingen en hoofdbewegingen op elkaar afstemmen, wanneer ze samen een reeks van balanstak-problemen oplossen. Ik verzamelde data bij 25 tweetallen tussen de 6 en 10 jaar oud. De data werden verzameld in het Connecticut Science Center in Hartford in de Verenigde Staten.

Bij elk balanstak-probleem werd de kinderen eerst gevraagd om individueel te voorspellen naar welke kant (links, evenwicht, rechts) een balans, met gewichtjes op bepaalde afstanden tot het midden, zou vallen als deze los werd gelaten. Kinderen deden deze voorspelling door op een knop van een gamecontroller te drukken. Als de kinderen een verschillende en/of verkeerde voorspelling gaven, moesten de kinderen met elkaar bespreken wat hun individuele voorspelling was en waarom ze die hadden gedaan. Na deze bespreking over het balanstak-probleem werd de kinderen gevraagd om een tweede, individuele voorspelling te doen over de uitkomst van hetzelfde probleem. Daarna kregen ze de uitkomst te zien en gingen ze door naar het volgende balanstak-probleem.

Ik heb de hand- en hoofdbewegingen van kinderen tijdens besprekingen geregistreerd en hun spraak opgenomen. Belangrijk om hierbij op te merken is dat bewegingen, maar ook spraak, gezien kunnen worden als een lange golfbeweging. Zo registreerde ik voor elke bespreking over een balansprobleem een golfbeweging van spraak, een golfbeweging van handbewegingen, en een golfbeweging van hoofdbewegingen van elk kind. Elk van deze golfbewegingen bestaat weer uit allerlei sub-golven [~] met verschillende frequenties. De frequentie geeft aan hoeveel golven, of oscillaties, er in één seconde passen, uitgedrukt in Hertz (Hz).

Om de afstemming tussen de kinderen te onderzoeken, heb ik onderzocht in hoeverre de frequenties van hun hand- en hoofdbewegingen en spraak gedurende een bespreking overeenkwamen. Hierbij heb ik een onderscheid gemaakt tussen afstemming op drie tijdschalen: Een snelle tijdschaal (8 - 2 Hz); een gemiddelde tijdschaal (2 - 0.5 Hz), en een langzame tijdschaal (0.5 - 0.25 Hz). Uit eerder onderzoek blijkt dat we gemiddeld 2 tot 8

Dutch summary

lettergrepen per seconde uitspreken, dus met 8 tot 2 Hz. Zinnen duren vaak 2 tot 6 secondes, wat correspondeert met 0.5 tot 16 Hz. Verder duren gebaren vaak 0.5 tot 2 secondes, wat correspondeert met 2 tot 0.5 Hz.

Als de frequenties van oscillaties overeenkomen, kan vervolgens ook geanalyseerd worden of de oscillaties in-fase zijn, wat betekent dat ze dezelfde kant op bewegen. Daarnaast kunnen de oscillaties ook anti-fase zijn, wat betekent dat ze de tegengestelde kant op bewegen. Verder heb ik onderzocht of de mate van afstemming en de fase-relatie (in-fase of anti-fase) tussen de hand- en hoofdbewegingen en spraak van kinderen gerelateerd waren aan hoe goed ze samen de balanstak-problemen konden voorspellen.

Ik ontdekte dat kinderen hun spraak meestal op elkaar afstemden op de snelle tijdschaal (8 - 2 \sim per seconde), terwijl zij hun hand- en hoofdbewegingen meestal op elkaar afstemden op de gemiddelde en langzame tijdschaal van (2 - 0.25 \sim per seconde). Deze resultaten zijn vergelijkbaar met bevindingen over de afstemming tussen volwassenen, zij het minder uitgesproken. Verder ontdekte ik dat de spraak van kinderen op de snelle en gemiddelde tijdschaal (8 - 0.5 \sim per seconde) meestal in een in-fase relatie is. Dat wil zeggen dat de oscillaties op die tijdschalen elkaar dus spiegelen, zij het soms met enige vertraging. Tenslotte vond ik geen verband tussen hoe goed kinderen samen de balanstak-problemen konden voorspellen en de mate van afstemming, dan wel fase-relaties, tussen de hand- en hoofdbewegingen en spraak.

Conclusies en implicaties (Hoofdstuk 6)

Een centrale bevinding in alle studies is dat er een duidelijke koppeling en coördinatie te zien tussen kinderen hun gebaren/handbewegingen en spraak, wanneer ze gevraagd worden om over wetenschap-en-techniek-taken uit te leggen. In geen van de studies heb ik een duidelijke leidende rol van handbewegingen in de cognitieve ontwikkeling gezien. De rol van handbewegingen in cognitieve ontwikkeling lijkt eerder genuanceerd, in tegenstelling tot wat de studies die aan het begin van de Nederlandse samenvatting besproken werden deden vermoeden. Een alternatief perspectief is dat zowel spraak, handbewegingen en de koppeling hiertussen zijn "genest" binnen cognitief begrip. Dat betekent dat cognitief begrip zowel (de koppeling tussen) spraak en handbewegingen begrenst als tot stand brengt. Bovendien wordt cognitief begrip andersom ook begrenst en tot stand gebracht door (de koppeling tussen) spraak en handbewegingen. Daarnaast zijn cognitieve inzichten, spraak, handbewegingen en hun koppeling ook ingebed in de sociale en fysieke aspecten van de omgeving. Met andere woorden: Ze hangen allemaal af van de eigenschappen van de taak en hoe daar vragen over worden gesteld.

Dit alles heeft belangrijke consequenties voor de rol van handbewegingen binnen de cognitieve ontwikkeling. Kinderen leren de fysieke structuur van objecten kennen door ze te manipuleren. Dit doen ze met hun handen, omdat deze nou eenmaal het meest geschikt zijn om objecten te exploreren. De fysieke, ruimtelijke eigenschappen van objecten, zoals de vorm, grootte of het materiaal, zijn lastiger tot niet te ontdekken met behulp van iemands eigen spraak. Ik zou daarom willen suggereren dat het vreemd is om te zeggen dat handbewegingen een "leidende rol" hebben bij het exploreren van (nieuwe) hands-on taken en hun eigenschappen. Door middel van onze eigen spraak kunnen we immers niet direct dezelfde informatie over de fysieke eigenschappen achterhalen of communiceren. Als kinderen echter wordt gevraagd om niet (enkel) te exploreren, maar om vragen te beantwoorden of een taak te beschrijven, dan zorgt dit er natuurlijk voor dat ze gaan spreken, maar het beïnvloedt ook hun handbewegingen. Handbewegingen worden als het ware meegetrokken met de spraak, in de vorm van gebaren. Die gebaren zijn dan zowel aangepast aan het ritme van spraak als aan de fysieke eigenschappen van de taak.

Tijdens het ontstaan van cognitieve inzichten worden handbewegingen en spraak van kinderen meer variabel. Hierbij worden de handbewegingen gestructureerd door de fysieke, ruimtelijke eigenschappen van de taak. Voor spraak is dit echter niet het geval. Hoewel het op dat moment zou kunnen lijken alsof het begrip in handbewegingen voorloopt op spraak, reflecteren zowel handbewegingen als spraak de variabiliteit van het systeem tijdens cognitieve inzichten. Met andere woorden: De cognitieve ontwikkeling wordt door zowel handbewegingen als spraak even sterk voortgestuwd. Cognitieve ontwikkeling komt voort uit de interactie van kinderen, inclusief hun handbewegingen en spraak en hun koppeling, met hun fysieke en sociale omgeving.

Hoofdstuk 6 eindigt met een paar bescheiden aanbevelingen voor de onderwijspraktijk. In de eerste plaats is het van belang om ons bewust te zijn van de koppeling tussen handbewegingen en spraak en om kinderen de gelegenheid te geven om op een multimodale manier te communiceren, en dus niet alleen met spraak. Hierbij is het belangrijk om te beseffen dat cognitieve ontwikkeling vaak onduidelijk is. Een toename in vaagheid, en de ambigue handbewegingen en spraak die daarbij horen, is juist een teken dat een cognitief inzicht ontstaat. Dit is iets waar leerkrachten op zouden kunnen letten, gebruik van zouden kunnen maken, en zelfs zouden kunnen uitlokken. Daarnaast heb ik een verschil gevonden tussen kinderen in de kleuterklas en kinderen in groep 3, wat op een potentieel leeftijdsverschil in multimodale communicatie zou kunnen duiden. Dit potentiële leeftijdsverschil zou mogelijk meegenomen kunnen worden in de lespraktijk. Tenslotte beïnvloeden de specifieke eigenschappen van een taak, zoals de fysieke of sociale structuur, de handbewegingen, gebaren en spraak van kinderen en daarbij hun cognitieve ontwikkeling.