

Door veel onderzoekers, coaches en trainers wordt aangenomen dat motorisch leren gebaat is bij variatie in het oefenproces. De theoretische onderbouwing hiervan verschilt echter sterk. Na een beknopt overzicht van de belangrijkste theorieën, bespreek ik hier de schematheorie van Richard Schmidt, het bewijs daarvoor en de toepassing ervan in de sportpraktijk.

## Motorisch leren, een update

### Deel 4: Variabel oefenen volgens de schematheorie

---

**Peter J. Beek**

Tijdens trainingen in de sport worden allerhande vormen van variatie toegepast bij het oefenen van motorische vaardigheden. De veronderstelling daarbij is dat variatie in het oefenproces het leerproces en daarmee de sportprestatie ten goede komt. Aan die veronderstelling liggen verschillende, al dan niet uitgesproken, ideeën ten grondslag. Soms berusten die op wetenschappelijke inzichten en soms op persoonlijke intuïties en overtuigingen van wat wel en niet werkt in de praktijk. Het komt ook voor dat er geen onderliggend idee is. Dan is het variëren een doel op zich en maakt het niet uit hoe of wat er gevarieerd wordt; alle variatie wordt gezien als gunstig voor het leerproces. Het is voor de coach of trainer echter wel van belang om een concreet idee te hebben van het doel van de variatie en de wijze waarop variatie verondersteld wordt het leerproces te bevorderen. Uit een concreet idee volgt immers niet alleen waarom het aanbrengen van variatie in het oefenproces wenselijk is, maar ook wat en hoe er gevarieerd moet worden.

#### Te bespreken theorieën

Niets is zo praktisch als een goede theorie, zo luidt het adagium. Dat vereist echter wel dat de implicaties van de theorie voor de praktijk helder

zijn en vertaald (kunnen) worden in concrete toepassingen. Deze serie artikelen is erop gericht theorieën over motorisch leren te ontsluiten voor coaches, trainers en sporters, zodat zij hier in de praktijk hun voordeel mee kunnen doen. Daarbij komen steeds drie vragen aan bod: wat zijn die theorieën, wat is het bewijs ervoor en hoe kunnen ze in de sport worden toegepast?

Dit deel van de serie is het eerste in een reeks van zes die betrekking hebben op theorieën over motorisch leren waaruit volgt dat variatie aanbrengen in het oefenen motorisch leren bevordert. Voor de geselecteerde theorieën geldt dat ze expliciet voorspellen dat het aanbrengen van variatie in het oefenproces tot een beter leerresultaat leidt dan oefenen met weinig of geen variatie en dat er voldoende experimentele studies zijn gedaan waarin deze voorspellingen worden getoetst. Ik behandel achtereenvolgens de schematheorie (in dit artikel), het contextuele interferentie-model, de dynamische systeemtheorie, de theorie over differentieel leren, de 'constraints-led approach' en het challenge-point model. Deze selectie komt grofweg overeen met die in een recent overzichtsartikel over het toepassen van variatie in de sportpraktijk.<sup>1</sup> In het betreffende overzicht is ook



de theorie opgenomen die de Sovjet-Russische neurofysioloog Nikolai Bernstein (1896-1966) in de eerste helft van de vorige eeuw ontwikkelde. Terecht, want Bernstein onderkende als eerste het belang van variabiliteit in zowel de sturing als het leren van bewegingen. Hij wees erop dat bewegingen intrinsiek variabel zijn en nooit exact herhaald kunnen worden. Daar toch op inzetten tijdens trainingen achtte hij dan ook geen productief idee. Motorische vaardigheden worden verworven door herhaald hetzelfde bewegingsprobleem op te lossen onder verschillende omstandigheden, niet door herhaald dezelfde beweging uit te (willen) voeren. Deze belangrijke inzichten hebben later, nadat in 1967 meerdere van zijn essays<sup>2</sup> in het Engels waren verschenen, de ontwikkeling van moderne theorieën over motorisch leren beïnvloed, waaronder met name de dynamische systeemtheorie en, in het verlengde daarvan, de theorie over differentieel leren en de 'constraints-led approach'. Ik heb er daarom voor gekozen de theoretische inzichten van Bernstein als achtergrond mee te nemen in de bespreking van de genoemde theorieën en te starten met de schematheorie van Richard Schmidt (1941-2015). Deze theorie liet hij in 1975 het licht zien in een invloedrijk artikel, dat een

omvangrijke hoeveelheid onderzoek naar de rol van variatie in motorische leerprocessen initieerde. Met inmiddels bijna 1900 citaties is het artikel een klassieker in het onderzoeksveld van motorisch leren.<sup>3</sup>

### Interne modellen

Om de herkomst en inhoud van de schematheorie te duiden, is het nuttig te schetsen hoe in het stadium van theorievorming dat aan de schematheorie voorafging interne modellen een rol gingen spelen. Mede dankzij de opmars van de digitale computer na WO II maakte het behaviorisme, waarin de aandacht was gericht op uiterlijk waarneembaar (bewegings-) gedrag, geleidelijk plaats voor de informatieverwerkingsbenadering. Deze benadering richt zich op het doorgronden van de wijze waarop informatie wordt verwerkt door het centrale zenuwstelsel tijdens het verrichten van allerhande perceptuele, cognitieve en motorische taken. Hierdoor verschoof de aandacht van het uiterlijk waarneembare gedrag naar de processen in het organisme die aan dat gedrag ten grondslag liggen. In de studie van de menselijke motoriek ontstond door deze ontwikkeling onder meer belangstelling voor de wijze waarop bewegingsvaardigheden zouden zijn gerepresenteerd

in het brein. Ook voor de sport is dat een uiterst relevant onderwerp. Neem bijvoorbeeld een tennisspeler met een solide service. Zo'n service kan met een hoge betrouwbaarheid op een individueel kenmerkende wijze worden geproduceerd, ook als de tennisspeler enige tijd niet heeft gespeeld. Er moet dus wel 'iets' in het brein van de tennisspeler aanwezig zijn dat diens service representeert. De vraag is hoe dat 'iets' eruit ziet, hoe het daar is gekomen, hoe het zich verder ontwikkelt door training, en welke rol het speelt bij het daadwerkelijk produceren van een service. In de informatieverwerkingsbenadering worden dergelijke vragen beantwoord aan de hand van zogenoemde interne modellen of interne representaties. In het onderzoek naar de sturing en het leren van bewegingen heeft dat geleid tot zogenoemde open-loop- en closed-loop-theorieën.

### Open-loop-theorieën

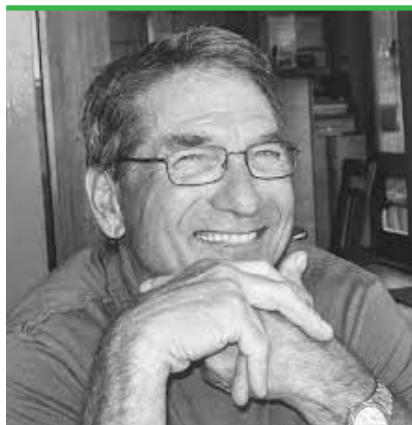
Een pionier in de studie van de menselijke motoriek was Franklin Henry, die in 1960 samen met Donald Rogers de *memory drum*-theorie introduceerde.<sup>4</sup> De *drum* of trommel in deze theorie is te vergelijken met de harde schijf van een computer, waarop de programma's zijn opgeslagen die afgespeeld worden zodra hiertoe opdracht wordt gegeven, hetzij door een stimulus van buiten, hetzij door de eigen intentie. Henry en Rogers toonden aan dat de reactietijd op een stimulus toeneemt naarmate de beweging die moet worden uitgevoerd complexer is. Met de complexiteit neemt ook de mate van neurale informatieoverdracht binnen het brein toe en daarmee de reactietijd. Er moet langer 'getrommeld' worden, waardoor het meer tijd kost om de beweging voor te bereiden. De *memory drum*-theorie komt neer op een vorm van open-loop-sturing, dat wil zeggen een vorm van sturing waarbij de opdrachtsignalen vanuit het brein volstaan om de beweging uit te voeren zonder sensorische

feedback. Een vergelijkbare visie op bewegingssturing vinden we terug bij Keele<sup>5</sup> (p. 387), die een bewegingsprogramma definieerde als *'a set of muscle commands that are structured before a movement sequence begins and that allows the entire sequence to be carried out uninfluenced by peripheral feedback'*. Traditioneel worden bewegingen die korter duren dan 200 ms gedefinieerd als snelle bewegingen die open-loop-sturing vergen, omdat er niet voldoende tijd zou zijn om de beweging bij te sturen op basis van afferente informatie.<sup>6</sup> In veel sporten komen bewegingen voor die aan dit criterium voldoen, denk bijvoorbeeld aan boksen, tafeltennis en darten. Zowel Henry en Rogers als Keele veronderstelden dat voor dergelijke bewegingen interne representaties bestaan, die 1-op-1 met de beweging corresponderen, wat de vraag oproept hoe die representaties überhaupt zijn ontstaan en opgeslagen.

### Closed-loop-theorieën

Tegenover de open-loop-theorieën van Henry en Keele presenteerde Adams in 1971 een *closed-loop*-theorie voor motorische stuur- en leerprocessen, waarin juist een centrale rol wordt toegedicht aan zintuigelijke (afferente) informatie.<sup>7</sup> In deze theorie worden de opdracht signalen aan de spieren bepaald door de informatie die het centrale zenuwstelsel ontvangt van de zintuigen (vandaar de term *closed-loop*), in plaats van (efferente) informatie die is opgeslagen in het brein. Adams veronderstelde in zijn *closed-loop*-theorie twee interne representaties: het geheugenspoor en het perceptuele spoor. Deze interne representaties zijn betrokken bij het beginnen, bijsturen en beëindigen van de beweging. Het geheugenspoor is een soort van mini-bewegingsprogramma dat de beweging initieert als er nog geen afferente informatie beschikbaar is. Zodra de beweging in gang is gezet en afferente informatie genereert,

is het perceptuele spoor verantwoordelijk voor het bijsturen en beëindigen van de beweging. Het perceptuele spoor bevat daartoe een representatie van de verwachte sensorische gevolgen van de beweging. De feitelijke afferente informatie wordt daarmee vergeleken en als er sprake is van een verschil wordt de beweging bijgestuurd, hetgeen uiteraard tijd kost. Adams' theorie is dan ook van toepassing op langzame bewegingen, met name positioneringsbewegingen. Ook dergelijke bewegingen komen voor in de sport, denk bijvoorbeeld aan het stoten in bilart, de schuifbewegingen in curling of het plaatsen van de hand op de evenwichtsbalk. Het perceptuele spoor ontwikkelt zich op basis van de sensorische gevolgen van eerder uitgevoerde bewegingen. Hierbij is met name de door de beweging veroorzaakte feedback op het eindpunt van de beweging van belang, omdat op basis hiervan kan worden vastgesteld of de beweging is uitgekomen op het gewenste doel. Volgens Adams wordt het perceptuele spoor tijdens het leren van een beweging 'getrokken' door afferente informatie te koppelen aan kennis van het resultaat (KR), waarbij het van belang is de correcte beweging te herhalen zodat een representatie kan worden opgebouwd van de daarmee gepaard gaande afferente informatie.

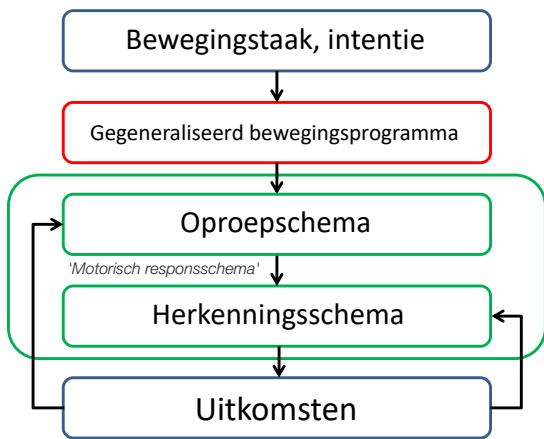


**Figuur 1** | Richard ('Dick') Schmidt, auteur van de schematheorie.

Adams' *closed-loop*-theorie kent, net als overigens de besproken open-loop-theorieën, enkele belangrijke tekortkomingen, die te boek staan als het opslagprobleem en het nieuwheidsprobleem. Beide problemen komen voort uit de veronderstelling dat voor elke mogelijke beweging een aparte interne representatie in de vorm van een perceptueel spoor (of een bewegingsprogramma) zou bestaan. Ondanks de imposante geheugen capaciteit van het menselijke brein zou deze toch rap overschreden worden als elke mogelijke beweging afzonderlijk in het brein gerepresenteerd zou zijn. Het aantal mogelijke bewegingen is immers nagenoeg oneindig. In deze voorstelling van zaken is het bovendien onmogelijk te verklaren waar de interne representaties voor geheel nieuwe bewegingen vandaan komen. Dit is het nieuwheidsprobleem.

### Bartletts schemabegrip

Om het opslagprobleem en het nieuwheidsprobleem van een oplossing te voorzien, vond Schmidt inspiratie in het werk van onder anderen de Engelse psycholoog Sir Frederick Bartlett (1886-1969). Bartlett gebruikte de term *schema* in 1932 om de resultaten van zijn onderzoek naar het verbale geheugen te verklaren.<sup>8</sup> Mensen die een kort verhaal moesten onthouden, bleken zich alleen het algemene idee van het verhaal te herinneren, niet de specifieke details ervan. De details werden actief ingevuld tijdens de reconstructie van het verhaal uit het geheugen, soms correct en soms incorrect. Hetzelfde principe, aldus Bartlett, is aan de orde bij het maken van een complexe beweging in de sport. Hiervoor is in het geheugen een schema beschikbaar waarvan de details pas worden ingevuld als de beweging gemaakt gaat worden. Over het maken van een tennisslag schreef hij (p. 202): *'When I make a stroke, I do not, as a matter of fact, produce something absolutely new, and I never merely repeat something old.'*



**Figuur 2** | De schematheorie in een notendop.

### Schmidts schematheorie: gegeneraliseerde bewegingsprogramma's

Dezelfde lijn van denken vinden we terug in de schematheorie van Schmidt, die is weergegeven in figuur 2. Volgens Schmidt wordt bij het maken van een beweging gebruikgemaakt van een gegeneraliseerd bewegingsprogramma of GMP, dat is opgeslagen in het langetermijngeheugen. Het GMP is een abstracte representatie van de bewegingen van een bepaalde klasse, zoals de bovenhandse worp, het trappen van een bal of een vertesprong. Het bevat de structurele kenmerken, invarianten genoemd, waaraan alle bewegingen uit de betreffende klasse voldoen. Schmidt opperde dat elk GMP gekenmerkt wordt door drie invarianten: de volgorde waarin deelbewegingen worden uitgevoerd, de relatieve timing daartussen, zoals blijkend uit de fasering van de activatiepatronen van de betrokken spieren, en de relatieve kracht, de verhouding tussen de door deze spieren geleverde krachten. Hoe snel de beweging wordt uitgevoerd en op welk absoluut krachtniveau ligt niet vast in het GMP. Deze parameters worden pas ingesteld ('gespecificeerd') op het moment dat een beweging ('respons') uit de betreffende klasse wordt voorbereid. Schmidt gebruikte in dit verband graag het afspelen van een

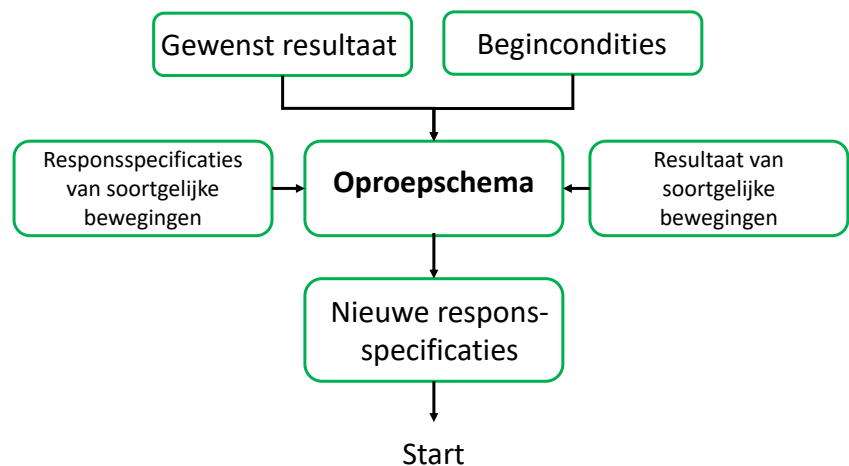
grammofonplaat als metafoor. Je kunt de plaat snel of langzaam afspelen en zacht of luid, maar de compositie en de verhoudingen in de timing en het volume van de klanken blijven onveranderd. Hetzelfde geldt voor de uitvoering van een complexe beweging: de invarianten liggen vast, maar de parameters kunnen variëren en zijn vrij instelbaar. Dankzij het GMP hoeft niet langer verondersteld te worden

dat voor elke mogelijke beweging een bewegingsprogramma in het geheugen aanwezig is. Ook lost het GMP het nieuweheidsprobleem op, omdat het GMP alleen de invariante kenmerken van de beweging vastlegt en niet de parametrisering ervan. Dat gebeurt door het motorisch responschema.

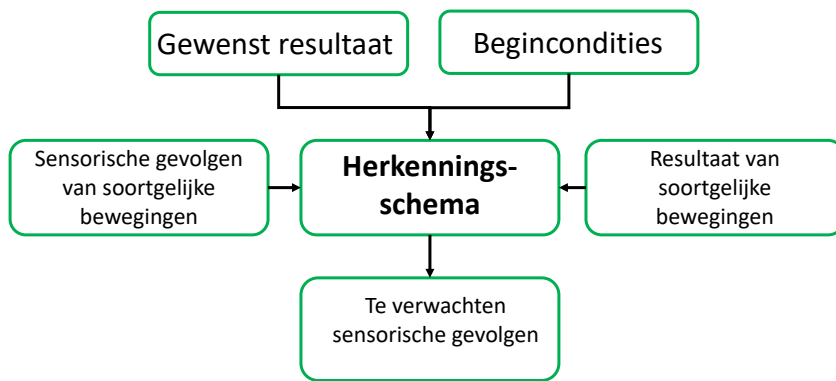
### Schmidts schematheorie: oproepschema en herkenningsschema

Het motorisch responschema in de theorie van Schmidt bestaat uit twee interne modellen die uit het geheugen worden opgehaald op het moment dat een beweging uit een bepaalde klasse

gemaakt gaat worden: het oproepschema en het herkenningsschema. Het oproepschema ('recall schema') is verantwoordelijk voor het omzetten van het GMP voor de betreffende bewegingsklasse in een specifiek bewegingsprogramma, oftewel het instellen van de responspecificaties. Gegeven het gewenste resultaat van de beweging en de begincondities, worden op basis van eerdere gegeven responspecificaties van soortgelijke bewegingen en de uitkomsten daarvan nieuwe responspecificaties opgesteld (zie figuur 3). Naast het opstellen van de responspecificaties wordt door het herkenningsschema ('recognition schema') een verwachting gegenereerd over de sensorische gevolgen van de beweging. Dit gebeurt op een vergelijkbare wijze als het opstellen van de responspecificaties door het oproepschema: gegeven het gewenste resultaat van de beweging en de begincondities, worden op basis van vroegere sensorische gevolgen van soortgelijke bewegingen en de uitkomsten nieuwe verwachtingen van de sensorische gevolgen gegenereerd (zie figuur 4). Ter illustratie van beide abstracte operaties een voorbeeld uit de sport: het putten van een golfbal. Het gewenste resultaat is in dit geval dat de bal in de hole belandt. Tot de begincondities horen onder andere de afstand tot de



**Figuur 3** | Het oproepschema en de informatiebronnen waarop het zich baseert.



**Figuur 4** | Het herkenningsschema en de informatiebronnen waarop het zich baseert.

hole, de glooiingen van de green, de grip van de putter en de beginhouding van de golfer. De responspecificaties hebben, gegeven het gewenste resultaat en de begincondities, betrekking op de richting, snelheid en amplitude van de puttbeweging, en tevens op de grip van de putter en de houding van de golfer. Het oproepschema baseert zich bij het specificeren van de respons op de ervaringen die zijn opgedaan bij eerdere soortgelijke puttbewegingen, onder diverse omstandigheden, met diverse responspecificaties en diverse uitkomsten. Parallel en analoog aan dit proces wordt, eveneens op basis van eerdere ervaringen, een verwachting gegenereerd over de sensorische gevolgen van de puttbewegingen: welk bewegingsgevoel gaat met de puttbeweging en -houding gepaard, hoe voelt het raken van de golfbal in de hand en met welk visueel waarneembaar traject rolt de bal richting de hole?

Welke rol de responspecificaties en de verwachte sensorische gevolgen spelen bij de uitvoering van de beweging is afhankelijk van de snelheid ervan. Snelle bewegingen komen volgens Schmidt volledig open loop tot stand op basis van de opgestelde responspecificaties; de verwachte sensorische gevolgen spelen in dit geval geen rol tijdens de beweging omdat er geen tijd is voor bijsturing. Ze spelen echter wel achteraf een rol in de evaluatie van de beweging en het resultaat daarvan en

daarmee in het leerproces. Alleen als de beweging voldoende lang duurt, vindt er bijsturing van de beweging plaats indien de feitelijke sensorische gevolgen van de beweging afwijken van de verwachte sensorische gevolgen. De schematheorie loste hiermee niet alleen het opslagprobleem en het nieuwheidsprobleem op, maar tevens de spanning tussen open-loop- en closed-loop-theorieën die destijds bestond. Niettemin was de schematheorie (vooral) bedoeld als verklaring van snelle, discrete bewegingen, die volgens Schmidt niet anders begrepen kunnen worden dan met behulp van een bewegingsprogramma. Langer durende bewegingen of activiteiten waarbij sprake is van een voortdurende interactie met de omgeving, zoals het besturen van een auto of het jongleren, vielen volgens hem buiten het domein van de schematheorie. Hierbij speelden ook methodologische overwegingen een rol: bewegingen die alleen het resultaat zijn van een bewegingsprogramma zijn makkelijker te bestuderen dan bewegingen die het resultaat zijn van een combinatie van programmering en feedback.

### De variabiliteit-van-oefenen-hypothese

Door het opslagprobleem en het nieuwheidsprobleem het hoofd te bieden, bracht de schematheorie een nieuw perspectief op motorisch leren

met zich mee. Motorisch leren wordt in de schematheorie begrepen als een proces van schema-ontwikkeling. De theorie gaat ervan uit dat voor een bepaalde bewegingsvaardigheid reeds een GMP aanwezig is in het geheugen, zonder te verklaren hoe het daar tot stand is gekomen. De schematheorie is daarmee een incomplete theorie van motorisch leren: de theorie beschrijft alleen hoe individuen leren nieuwe bewegingen te maken binnen een bepaalde bewegingsklasse, gegeven een reeds bestaande abstracte representatie van die klasse in de vorm van een GMP. Ze leren dat te doen door het oproepschema en het herkenningsschema voor de betreffende bewegingsklasse te ontwikkelen. Hoewel deze schema's gebruik maken van dezelfde bronnen van informatie, hetgeen ook noodzakelijk is omdat ze betrekking hebben op dezelfde beweging, maken ze een zelfstandige ontwikkeling door. Het is hierdoor mogelijk dat de een beter is of wordt in het opstellen van bewegingsprogramma's, terwijl de ander beter is of wordt in het voorspellen van de sensorische gevolgen van de beweging. Zulke individuele verschillen kunnen, indien gebleken, relevant zijn in het leerproces en de wijze waarop door coach of trainer feedback wordt gegeven. Tijdens motorische leerprocessen leert de beweging de relaties kennen tussen enerzijds de responspecificaties en het bewegingsresultaat en anderzijds de relaties tussen de verwachte sensorische gevolgen en het bewegingsresultaat. De schema's ontwikkelen zich door te oefenen. Hoe sterker de schema's, des te beter het individu in staat is een nieuwe beweging met succes te parametriseren en uit te voeren. Hoe sterk de schema's zich ontwikkelen, is afhankelijk van de mate van variatie tijdens het oefenen. Een brede variatie leidt tot een betere en diepere kennis van de relaties tussen de bronnen van informatie die de schema's benutten en daarmee tot betere inschattingen van respectievelijk de responspecificaties

en de verwachte sensorische gevolgen voor het maken van nieuwe bewegingen binnen een bestaand GMP. Variabel oefenen leidt tot een sterkere schema-ontwikkeling dan constant oefenen. Een sterker ontwikkeld schema stelt de beweging vervolgens beter in staat nieuwe bewegingen succesvol uit te voeren binnen de betreffende bewegingsklasse. Sue Moxley doopte deze implicatie van de schematheorie de variabiliteit-van-oefenen-hypothese.<sup>9</sup> Deze term heeft vervolgens postgevat in de literatuur en is daarbinnen onlosmakelijk verbonden met de schematheorie. Experimentele studies van de variabiliteit-van-oefenen-hypothese behelzen typisch een groepsvergelijking van de effecten van variabel oefenen versus constant (of repetitief) oefenen op de uitvoering van één of meerdere nieuwe varianten van de geoefende beweging binnen de betreffende bewegingsklasse. Die zouden immers beter uitgevoerd moeten worden na variabel oefenen dan na constant oefenen. De nadruk in het onderzoek ligt dus op de *transfer* van het geoefende naar een nieuwe situatie en niet zozeer op behoud (*retentie*) van het geoefende. Het gaat in de schematheorie om generalisatie in plaats van specialisatie. De vraag die daarmee ontstaat, en nog besproken zal worden, is hoe geschikt variabel oefenen is voor het verfijnen van één bepaalde beweging, zoals het volgens strikte normen uitvoeren van een turnelement.

### Empirische evidentie

Naar Schmidts schematheorie is veel experimenteel onderzoek gedaan, zowel met betrekking tot het GMP als de variabiliteit-van-oefenen-hypothese. Bij een breed scala van bewegings-taken is de veronderstelde invariantie van relatieve timing en relatieve kracht onderzocht, met wisselend succes. Voor invariante relatieve timing werd meer evidentie gevonden dan voor relatieve kracht. Op basis van een uitgebreide heranalyse van de tot dan gepubliceerde data conclu-

deerde Gentner in 1987 dat relatieve timing in de meeste studies niet invariant was.<sup>10</sup> Maar in zijn terugblik op de schematheorie uit 2003 stelde Schmidt daartegenover dat uit het onderzoek was gebleken dat relatieve timing 'bij benadering' invariant was, terwijl hij in dezelfde terugblik de claim van invariante relatieve kracht kwalificeerde als 'vrijwel zeker incorrect'.<sup>11</sup> De centrale vraag hier is evenwel: hoeveel steun heeft het onderzoek opgeleverd voor de variabiliteit-van-oefenen-hypothese? Helaas zijn voor de beantwoording van die vraag geen systematische reviews en meta-analyses beschikbaar, mogelijk omdat dit type van onderzoek en de bijbehorende methoden pas later opkwamen. Ik volsta daarom met een beknopte weergave van de verhalende reviews die in de loop der jaren over de schematheorie zijn verschenen.

### Uiteenlopende waarderings

In 1982 maakten Shapiro en Schmidt als eersten de balans op.<sup>12</sup> Op grond van de toen beschikbare studies concludeerden zij dat het wetenschappelijk bewijs voor de variabiliteit-van-oefenen-hypothese 'tamelijk sterk' was. Vrijwel in alle studies bij kinderen was gevonden dat variabel oefenen tot een beter resultaat leidt op een transfertest dan constant oefenen. Studies met volwassen proefpersonen lieten echter minder consistente resultaten zien. In sommige studies werd een sterk positief transfereffect van variabel oefenen ten opzichte van constant oefenen gevonden, in andere studies een beperkt effect en in enkele studies geen effect. Shapiro en Schmidt veronderstelden op basis van deze bevindingen dat de variabiliteit-van-oefenen-hypothese het beste getoetst kan worden bij kinderen, omdat hun oproepschema zich nog maar weinig ontwikkeld zou hebben. Lee et al.<sup>13</sup> kwamen tot vergelijkbare conclusies in hun review, dat niet betrekking had op de variabiliteit-van-oefenen-hypothese als zodanig, maar op de invloed van het oefenprogramma

('practice schedule') op het toetsen ervan, waarover zo dadelijk meer. Op basis van een kritische analyse van 63 studies met betrekking tot Schmidts schematheorie, die tussen 1975 en 1987 werden gepubliceerd, kwam Van Rossum in 1990 tot de conclusie dat de empirische evidentie voor de variabiliteit-van-oefenen-hypothese minder solide was dan in de literatuur werd beweerd.<sup>14</sup> Ongeveer de helft van de gerapporteerde experimenten vormden volgens hem geen valide toets van de hypothese omdat tijdens het oefenen geen prestatieverbetering optrad, waardoor het onzeker was of het schema zich überhaupt had ontwikkeld. De overgebleven experimenten leverden slechts beperkte steun op voor de hypothese, ongeacht of de experimenten waren gedaan met volwassenen of met kinderen als deelnemers.

Hoe het bewijs voor de variabiliteit-van-oefenen-hypothese te kwalificeren, lijkt deels een kwestie van smaak. In hun kritische review van de schematheorie uit 2005, beoordeelde Shea en Wulf<sup>15</sup> het experimentele bewijs voor de hypothese als 'relatief sterk', de minder rooskleurige conclusie van Van Rossum ten spijt.

### Aanvullende bevindingen

In hun review gaan Shea en Wulf<sup>15</sup> ook in op de consistente bevinding in diverse studies dat de effectiviteit van variabel oefenen afhankelijk is van de wijze waarop de oefensessie is ingericht, zoals eerder belicht door Lee et al.<sup>13</sup> Dezelfde oefeningen, met dezelfde mate van variabiliteit over een complete oefensessie, kunnen binnen de sessie in het ene geval (meer) random worden aangeboden en in het andere geval (meer) geblokt. Het leerproces wordt hierdoor beïnvloed, typisch ten gunste van random oefenen. Dit 'contextuele-interferentie'-effect is strikt genomen in strijd met de voorspellingen van de schematheorie, volgens welke louter de mate van variabiliteit en de aangebrachte range van parameter variaties bepa-

lend zijn voor de ontwikkeling van het schema en niet de ordening daarvan in oefenreeksen. De relevantie van het contextuele interferentie-model voor de sport belicht ik in mijn volgende artikel in Sportgericht.

Een andere belangrijke vaststelling in het review van Shea en Wulf<sup>15</sup> is dat de variabiliteit-van-oefenen-hypothese ook experimentele steun heeft gevonden bij taken die aanmerkelijk langer duren dan de snelle doelgerichte armbewegingen waar Schmidt zijn schematheorie op van toepassing verklaarde. Zo vonden Wulf en Schmidt<sup>16</sup> dat het voordeel van variabel oefenen boven constant oefenen ook optreedt bij het leren van feedbackgeruleerde volgtaken. Tevens heeft de variabiliteit-van-oefenen-hypothese steun gekregen bij het leren van bewegingen die aanmerkelijk complexer zijn dan doelgerichte armbewegingen, zoals het slaan van een golfbal<sup>17</sup> of tennisbal.<sup>18,19</sup>

Tot slot is uit onderzoek<sup>20,21</sup> gebleken dat een groot aantal identieke herhalingen van de vrije worp in basketbal, waarbij de omstandigheden steeds dezelfde zijn, resulteren in een interne representatie die uniek is voor deze ene schotafstand en -hoek. In dit geval zijn de parameters voor de vrije worp als het ware 'bevroren' of 'verankerd' in het geheugen. Hierdoor kent de vrije worp een hogere schotnauwkeurigheid dan worpen van andere afstanden, die behouden blijft na variabel oefenen van schoten van verschillende afstanden.<sup>21</sup> Deze bevindingen hebben geleid tot de introductie van het concept speciale vaardigheid ('especial skill').<sup>20,21</sup> Motorisch leren is dus niet alleen een kwestie van generalisatie zoals voorgesteld in de schematheorie, maar ook van specialisatie. Schmidt onderkende de theoretische implicaties hiervan in zijn terugblik op de schematheorie en riep op tot toekomstige theorievorming waarin recht wordt gedaan aan het feit dat motorisch leren zowel een proces van generalisatie als van specialisatie is.<sup>11</sup>

## Conclusie

Op basis van het onderzoek naar de variabiliteit-van-oefenen-hypothese en de weergave daarvan in verhalen reviews kan het gevonden bewijs voor de hypothese behoudend als 'gemengd' en welwillend als 'redelijk sterk' worden gekwalificeerd. Weliswaar zijn er studies waarin slechts een beperkt of geen effect werd gevonden, maar studies met een tegenovergesteld effect nauwelijks. Bovendien is gebleken dat variabel oefenen voordelig is bij het leren van meer taken dan voorspeld door de schematheorie. Bewijs voor de variabiliteit-van-oefenen-hypothese houdt echter niet onverkort in dat de onderliggende theorie ook klopt. Uit het beschreven onderzoek blijkt duidelijk dat motorisch leren een ingewikkelder proces is dan voorgesteld in de schematheorie. De veronderstelde invarianten van het GMP, met name relatieve kracht, zijn bezweken in het onderzoek, terwijl onvoorziene factoren als contextuele interferentie en specialisatie een rol bleken te spelen in leerexperimenten. Nieuwe theorievorming is nodig, zoals Schmidt zelf al onderkende.<sup>11</sup> Hoewel de schematheorie inmiddels goeddeels achterhaald is, heeft de theorie het onderwerp variabel oefenen in het onderzoek naar motorisch leren blijvend op de kaart gezet.

## Praktische toepassingen

Schmidt was steeds genegen zijn inzichten in motorisch leren te vertalen naar praktische toepassingen in sport en lichamelijke opvoeding. Hij heeft daar een compleet boek aan gewijd dat veel waardevolle praktische tips bevat.<sup>22</sup> Gezien het feit dat de schematheorie inmiddels goeddeels achterhaald is, kan de bespreking van de praktische toepassingsmogelijkheden beperkt blijven tot enkele voor de praktijk relevante implicaties en overpeinzingen.

## Variatie binnen een vaste vorm

De eerste is dat veel coaches, trainers en sporters, naar ik verwacht, de zienswijze van Schmidt zullen herkennen of daarmee resoneren omdat ze, afgezien van de details, een soortgelijke visie op motorisch leren hebben. Namelijk dat bewegingen in de sport, of dat nu een sprongservice in het volleybal, de 100 meter borstcrawl of het maken van een dubbele Rietberger betreft, aan bepaalde uiterlijk waarneembare vormelementen moeten voldoen (de invarianten van het GMP), waarbij de uitvoering kan variëren in snelheid en kracht (de parameters). In de training is het zaak om beide aspecten onder de knie te krijgen, de vorm en de variaties daarbinnen. De mate waarin van dat laatste gebruik wordt gemaakt, is - behalve van persoonlijke overtuigingen - afhankelijk van het leerstadium of het niveau waarop de (toekomstige) sporter zich bevindt (beginnend, gevorderd of elite), het leerdoel van de oefeningen (retentie of transfer) en de aard van de vaardigheid (open of gesloten).

## Leerstadium

De suggestie van Shapiro en Schmidt<sup>12</sup> (weersproken door Van Rossum<sup>14</sup>) dat variabel oefenen vooral bij kinderen tot voordeel strekt, zou impliceren dat variabel oefenen met name aan het begin van het leerproces is aangewezen. Daar staat tegenover dat variabel oefenen pas zinvol is als het motorisch probleem en de vorm van de uitvoering (i.c. het GMP) duidelijk zijn, aspecten van leren die de schematheorie niet adresseert. Op basis van het driestadia-model van Fitts en Posner<sup>23</sup> kan daarom beargumenteerd worden dat variabel oefenen relevant is voor sporters die zich al in de associatieve fase of in de autonome fase bevinden. Variabel oefenen voorkomt in alle leerstadia dat de training saai wordt en voedt, indien adequaat toegepast, de intrinsieke motivatie. Daarnaast blijft het op alle niveaus relevant om

sporters voor te bereiden op onvoorziene situaties en het maken van nieuwe bewegingen. In dat geval is het logischer om variabel te oefenen dan constant.

### Leerdoel

Als het doel van het oefenen is om één bepaalde uitvoeringswijze onder de knie te krijgen en de retentie daarvan te vergroten, dan lijkt constant oefenen de aangewezen methode. Ik schrijf 'lijkt' omdat het noch in de literatuur over de schematheorie, noch in de literatuur over motorisch leren in het algemeen evident is op welke wijze de retentie van één specifieke beweging kan worden geoptimaliseerd, en of daarbij een rol is weggelegd voor variabel oefenen. Wel is duidelijk dat motorisch leren zich voltrekt in het spanningsveld tussen generalisatie en specialisatie.

### Aard van de vaardigheid

Hetzelfde spanningsveld tussen generalisatie en specialisatie verschijnt ook met betrekking tot de aard van de motorische vaardigheid die wordt geoefend. Variabel oefenen ligt meer voor de hand dan constant oefenen bij open vaardigheden, dat wil zeggen bij vaardigheden waarbij de omgeving onvoorspelbaar en onzeker is, zoals in

alle balsporten, gevechts- en verdedigingssporten met een opponent en sporten in grillige omgevingen, zoals zeilen of surfen. Immers, de sporter moet leren flexibel te zijn en adaptief in te spelen op nieuwe, onvoorziene omstandigheden die zich per definitie voordoen bij open vaardigheden. Toch worden open vaardigheden in de sport nog vaak getraind met veel (bijna) indientieke herhalingen, denk aan de drills in tennis en tafeltennis, of uchikomi in judo. Constant oefenen ligt intuïtief meer voor de hand bij gesloten vaardigheden, waarbij de omgeving stabiel is, zoals in sporten als kunstrijden op de schaats, acrobatiek en gymnastiek. In deze takken van sport moet de uitvoering stabiel en consistent zijn, mede omdat de jury en de fysieke omgeving daarom vragen. Toch kan variabel oefenen ook bij deze sporten van grote waarde zijn, al was het maar omdat de mens zelf een bron van variatie is, de stabiele omgeving ten spijt. Bewe-

gingsruis, stress en vermoeidheid kunnen een grote invloed hebben op de uitvoering en variabel oefenen kan helpen de adaptatie daaraan te verbeteren. Beide typen vaardigheden vergen een balans tussen flexibiliteit en stabiliteit en dus tussen generalisatie en specialisatie. Maar waar en hoe precies die balans getroffen moet worden, is vooralsnog niet bekend, noch hoe variabel en constant oefenen gecombineerd moeten worden om die balans te bereiken. Het onderzoek naar motorisch leren is nog niet zover gevorderd dat op zulke vragen een antwoord gegeven kan worden.

### Besluit

Dankzij de schematheorie heeft het onderzoek naar de rol en betekenis van variatie in motorische leerprocessen een vlucht genomen. In de komende artikelen zal blijken welke inzichten daaruit zijn voortgekomen en wat daarvan de wetenschappelijke en praktische waarde is.

### Over de auteur

**Prof. dr. Peter J. Beek** is hoogleraar Coördinatie-dynamica bij de afdeling Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam, waar hij 12 jaar de functie van decaan heeft vervuld. Sinds 2017 fungeert hij als coördinator van de wetenschappelijke ondersteuning van het zwemmen bij InnoSportLab De Tongelreep en de KNZB.

1. Czyż SH & Coker CA (2023). An applied model for using variability in practice. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 1-10 (published online).  
2. Bernstein NA (1967). *The co-ordination and regulation of movement*. Pergamon Press.  
3. Schmidt RA (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82 (3), 225-260.  
4. Henry FM & Rogers DE (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 448-458.  
5. Keele SW (1968). Movement control in skilled movement performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.  
6. Schmidt RA et al. (1979). Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86 (5), 415-451.  
7. Adams JA (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150.  
8. Bartlett FC (1932). *Remembering: a study in experimental and social psychology*. Cambridge, England: Cambridge University Press.  
9. Moxley SE (1978). The variability of practice hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 11 (1), 65-70.  
10. Gentner DR (1987). Timing of skilled motor performance: tests of the proportional duration model. *Psychological Review*, 94 (2), 255-276.  
11. Schmidt RA (2003). Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74 (4), 366-375.  
12. Shapiro DC & Schmidt RA (1982). The schema theory: recent evidence and developmental implications. In: JAS Kelso & JE Clark (eds.), *The development of movement control and co-ordination*, pp. 113-150. New York: Wiley

13. Lee TD, Magill RA & Weeks DJ (1985). Influence of practice schedule on testing schema theory prediction in adults. *Journal of Motor Behavior*, 17, 283-299.  
14. Rossum JHA van (1990). Schmidt's schema theory: the empirical base of the variability of practice hypothesis. *Human Movement Science*, 9, 387-435.  
15. Shea CH & Wulf G (2005). Schema theory: a critical appraisal and reevaluation. *Journal of Motor Behavior*, 37 (2), 85-101.  
16. Wulf G & Schmidt RA (1997). Variability of practice and implicit motor learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23 (4), 987-1006.  
17. Spriddle D (1993). *A test of the variability of practice hypothesis: the acquisition of a gross motor skill*. Thesis. Department of Physical Education, The University of British Columbia.  
18. Green DP, Whitehead J & Sugden DA (1995). Practice variability and transfer of a racket skill. *Perceptual and Motor Skills*, 81 (3), 1275-1281.  
19. Douvis SJ (2005). Variable practice in learning the forehand drive in tennis. *Perceptual and Motor Skills*, 101 (2), 531-545.  
20. Keetch KM et al. (2005). Especial skills: their emergence with massive amounts of practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 31 (5), 970-978.  
21. Keetch KM, Lee TD & Schmidt RA (2008). Especial skills: specificity embedded within generality. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 30 (6), 723-736.  
22. Schmidt RA (1991). *Motor learning and performance: from principles to practice*. Champaign-Urbana, IL: Human Kinetics.  
23. Fitts PM & Posner MI (1967). *Learning and skilled performance in human performance*. Belmont, CA: Brooks Cole.