

Tussen 2011 en 2014 publiceerde ik in *Sportgericht* een reeks van tien artikelen over motorisch leren. Het hoofddoel van die reeks was om actuele wetenschappelijke inzichten te ontsluiten voor de sportpraktijk. Hier bleek veel behoefte aan te zijn. Nu, tien jaar later, is het tijd voor een update.

## Motorisch leren, een update

### Deel 1: Drie aanleidingen en twee generieke beschouwingen

**Peter J. Beek**



Scan deze QR-code om direct toegang te krijgen tot de eerdere reeks van tien artikelen (2011-2014) over motorisch leren.



Peter Beek.

Waarom een update? Het basale antwoord op deze vraag is dat leren nooit eindigt en inherent is aan het leven. Je streeft er voortdurend naar de best mogelijke versie van jezelf te zijn, de wereld, je medemens en jezelf beter te begrijpen, en beter te worden in je beroep of hobby. Dit geldt voor iedereen, op elk niveau van functioneren, en zeker voor competitief ingestelde sporters en hun coaches.

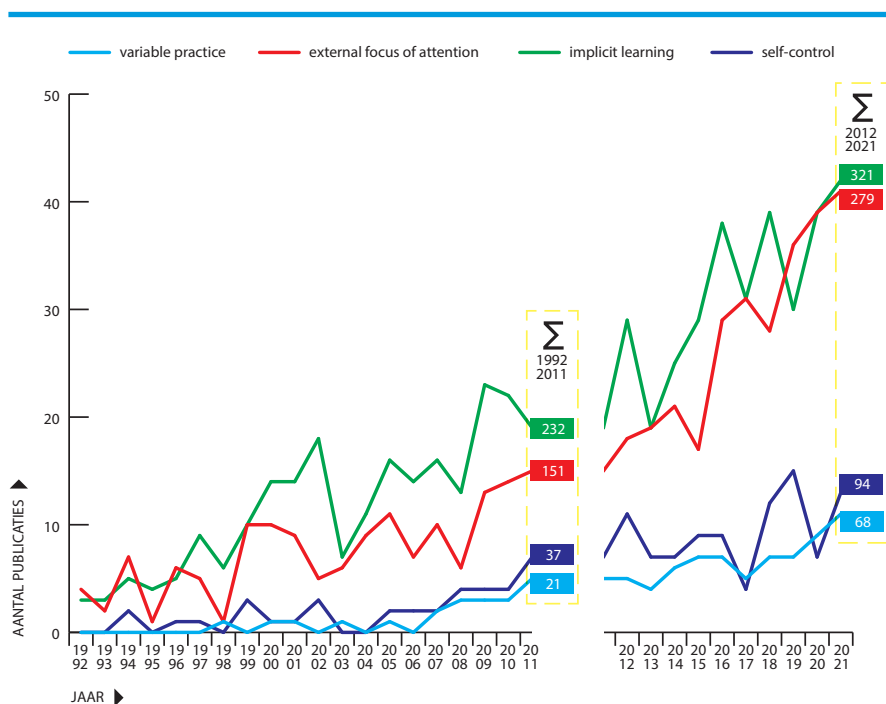
#### Kennis verrijkt

Direct na zijn aantreden als directeur van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO), de grootste financier van onderzoek in Nederland, vergeleek Marcel Levi het bedrijven van wetenschappelijk onderzoek met topsport. Nu de nadruk de laatste jaren juist meer is komen te liggen op samenwerking en het terugdringen van psychische klachten onder wetenschappers, kwam hem dat op de nodige kritiek te staan. Toch is competitie kenmerkend voor zowel sport als wetenschap. Beide vergen forse investeringen in tijd, toewijding en creativiteit om succesvol te zijn. Voor de sporter en de coach bestaat succes uit het verbeteren van records en het winnen van medailles, voor de wetenschapper uit het doen van ontdekkingen en het verwerven van baanbrekende inzichten.

Beide werelden raken steeds meer op elkaar betrokken: het gezamenlijk formuleren van relevante onderzoeksvragen en het benutten van onderzoeksresultaten in de sportpraktijk zijn in toenemende mate aan de orde. Gedegen actuele kennis van de bestaande sportwetenschappelijke literatuur is daarbij voor alle betrokkenen zowel verrijkend als essentieel.

#### Validering

Dat brengt me bij mijn tweede aanleiding, die, in tegenstelling tot de eerste, antwoord geeft op de vraag: waarom *nu* een update? Het wetenschappelijk onderzoek naar motorisch leren heeft in de afgelopen tien jaar een enorme vlucht genomen. Dit blijkt uit een 'quick and dirty' onderzoek dat ik ter voorbereiding van dit artikel heb uitgevoerd in het Web of Science, een database van wetenschappelijke artikelen plus citatie-index waar veel wetenschappers gebruik van maken. Ik zocht met de term 'motor learning' hoeveel publicaties de database bevatte uit de periode 1992-2011, omdat de wetenschappelijke literatuur over de 'nieuwe' inzichten in motorisch leren die ik in mijn eerste reeks van artikelen behandelde terugging tot 1992 (het jaar waarin de studie van Masters<sup>1</sup> over impliciet leren verscheen). Dit leverde 14.661 resulta-



**Figuur 1** | Aantallen publicaties in de periodes 1992-2011 en 2012-2021 over het verwerven van vaardigheden ('skill acquisition') met respectievelijk externe focus van aandacht, variabel oefenen, impliciet leren en zelfsturing als onderwerp.

ten op. Voor de periode 2012-2021, oftewel de laatste tien (compleet verstreken) jaren, leverde dezelfde zoekactie 19.671 resultaten op. In de laatste tien jaar zijn dus beduidend meer publicaties over motorisch leren verschenen dan in de twintig daaraan voorafgaande jaren. Door het woord 'sports' toe te voegen aan de zoekactie, kreeg ik een beeld van hoeveel van deze publicaties betrekking hadden op motorisch leren in de sport. Dit leverde 332 resultaten op voor de periode 1991-2012 en 891 resultaten voor de periode 2012-2021. Procentueel gezien bleek het aantal publicaties over motorisch leren in de context van de sport dus sterker gestegen te zijn (168%) dan voor motorisch leren in het algemeen (34%). Dit is goed nieuws voor de sport omdat onderzoeksresultaten tot op zekere hoogte contextafhankelijk zijn en dus een grotere waarde (duur gesteld: ecologische validiteit) hebben als ze zijn verkregen in de context waar het om gaat.

Tot slot heb ik mijn zoekacties nog specifiek gemaakt door in plaats van 'motor learning' de zoekterm 'skill acquisition' te gebruiken en deze vervolgens te combineren met achtereenvolgens de zoektermen 'external focus of attention', 'variability of practice', 'implicit learning' en 'self-control'. Dit leverde de resultaten op die zijn weergegeven in figuur 1. Uit deze figuur blijkt dat er inmiddels veel meer onderzoek is gedaan naar de onderwerpen en de daaraan gelieerde leermethoden, die in de eerste reeks van artikelen als nieuwe, praktisch relevante inzichten in de techniektraining werden geïntroduceerd. Al met al vormt deze snelle ontwikkeling van het onderzoek naar motorisch leren, met daarinbinnen een verhoudingsgewijs groter aandeel van de sport, een uitstekende aanleiding om opnieuw de balans op te maken ten aanzien van de empirische evidentie voor de in de eerste reeks gepresenteerde inzichten en methoden. Voor elk

van de vier genoemde onderwerpen - externe focus, variabel oefenen/differentieel leren, impliciet leren en zelfsturing - zijn inmiddels één of meerdere systematische literatuurstudies beschikbaar, al dan niet vergezeld van een meta-analyse. Dit maakt een betrouwbare en valide beoordeling mogelijk die tien jaar terug nog niet mogelijk was. Het doel van deze update is dan ook om hierin te voorzien.

## Toepassing

De derde aanleiding voor een update is dat in de sport zelf een grote en groeiende belangstelling is voor wetenschappelijke kennis over motorische leerprocessen in het algemeen en de praktische toepassing daarvan in de (top)sportpraktijk in het bijzonder. Deze belangstelling bleek reeds op het Nationaal Coach Platform over motorisch leren dat in 2010 plaatsvond en dat de aanleiding vormde voor de eerste artikelenreeks over dit onderwerp in *Sportgericht*. Sindsdien is in vrijwel alle sporten aandacht besteed aan de geïntroduceerde inzichten over motorisch leren en zijn alom ervaringen opgedaan met toepassingen daarvan in de sportpraktijk. Trainers en coaches hebben lezingen, workshops en clinics over het onderwerp bijgewoond en hebben de gepresenteerde inzichten vertaald naar de eigen trainingspraktijk. In deze op zichzelf verheugende ontwikkeling kwamen twee obstakels aan het licht die ondervangen moeten worden om de toepassing verder te brengen. Ten eerste is gebleken dat de concepten die aan de gepresenteerde inzichten ten grondslag liggen soms niet volledig worden doorgrond en anders worden toegepast dan bedoeld. In het onderscheid tussen een interne en externe focus van aandacht, bijvoorbeeld, heeft een externe focus van aandacht betrekking op het effect of het doel van de beweging in de omgeving en niet, zoals soms ten onrechte

wordt verondersteld, op zaken in de omgeving die niets met de beweging te maken hebben, zoals reclameborden of toeschouwers langs de lijn. Het gaat er niet alleen en ook niet primair om dat een interne focus van aandacht wordt voorkomen omdat deze potentieel schadelijk is voor de bewegingsuitvoering, maar om het richten van de aandacht op het *effect* van de bewegingsuitvoering, zodat zowel de taakprestatie als het leerproces worden bevorderd. Om dergelijke misverstanden te voorkomen, is een zuiver begrip van de gehanteerde kernbegrippen noodzakelijk.

Ten tweede is gebleken dat de vertaling van de gepresenteerde inzichten naar werkzame toepassingen in de trainingspraktijk soms lastiger is dan verwacht of gehoopt. Dit is een reëel probleem dat in sommige sporten sterker speelt dan in andere en op verschillende manieren kan worden geadresseerd, bijvoorbeeld in creatieve ontwerpessies met sporters, trainers/coaches en bewegingswetenschappers. Naast het wegen van het wetenschappelijke bewijs voor de genoemde inzichten en methoden, wat uiteraard zowel voor de wetenschap als de praktijk relevant en leerzaam is, heeft de update ook als doel het begrip hiervan te bevorderen, mede aan de hand van concrete toepassingsmogelijkheden.

### Optimale leercondities

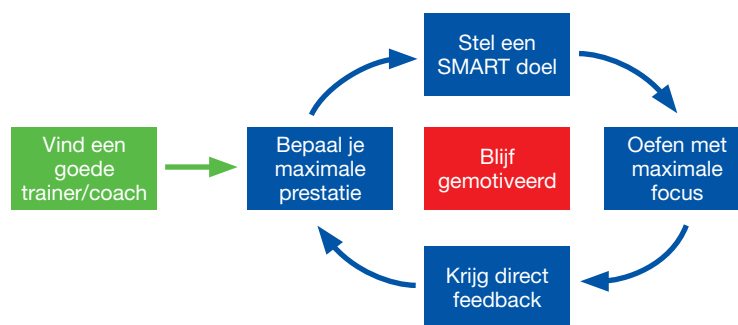
Een generieke vraag, die van belang is om te stellen alvorens opnieuw de diverse oefenmethoden uit te diepen, is: welke condities zijn optimaal voor leren? Eén antwoord op die vraag ligt besloten in het door Anders Ericsson ingevoerde begrip 'deliberate practice'<sup>2,3</sup> (zie figuur 2), dat reeds in de vorige reeks aan bod kwam. Leren, beter worden, aldus de (helaas in 2020 overleden) Ericsson, is het meest effectief als het oefenen volledig gericht is op het bereiken van een specifiek doel, dat weliswaar

haalbaar is, maar niet eerder is gerealiseerd. Deliberate practice houdt daarmee per definitie in dat het lerende individu dingen voor elkaar probeert te krijgen die net buiten het eigen bereik liggen. Het is een vorm van oefenen die een maximale focus vereist op de gewenste ontwikkeling van de prestatie. Directe feedback over de geleverde prestatie is daarbij essentieel. Deliberate practice is met deze kenmerken een vorm van oefenen die veel vergt van het individu, maar veel effectiever is dan 'naive practice', waarin mensen doen wat ze altijd al doen, zonder uitgedaagd te worden en zonder specifiek doel. Kortom, het gaat er niet zozeer om hoeveel tijd men oefent; het is de kwaliteit van de oefening die bepalend is voor de effectiviteit van het leerproces. Oefenen tegen de druk in, buiten de eigen comfort-zone, maakt dat het leerproces sneller en dieper verloopt dan oefenen zonder uitdaging of weerstand. Het inzicht dat een optimaal leerresultaat wordt behaald als geoefend wordt tegen een zekere weerstand in, vinden we terug bij Robert Bjork, de directeur van het *Learning and Forgetting Lab* van de Universiteit van Californië te Los Angeles (UCLA). Samen met zijn vrouw Elizabeth heeft hij uitgebreid

onderzoek gedaan naar de vraag wat de optimale condities zijn voor diep leren, dat wil zeggen: leren met een hoge retentie en een hoge transfer. Dit bleken niet de condities te zijn waaronder de taakprestatie van de deelnemers *tijdens het oefenen* het snelst verbetert, zoals:

- voorspelbare omstandigheden;
  - constante cues en feedback;
  - geblokte oefeningen.
- Deze condities bevorderen de taakprestatie tijdens het oefenen, maar leiden tot oppervlakkig leren in de zin van een lage retentie en transfer. Daartegenover staat een verzameling condities die de ontwikkeling van de prestatie (tijdens het oefenen) vertragen, maar leiden tot een hoge retentie en transfer, zoals:
- variabiliteit van oefenen;
  - gedistribueerde (niet-geblokte) oefeningen ('spacing', contextuele interferentie);
  - het husselen van de kennisinhouden of vaardigheden die geleerd moeten worden;
  - tests in plaats van vrijblijvende pogingen;
  - slechts zo nu en dan feedback geven in plaats van continu.
- Bjork noemde deze condities 'desirable difficulties'<sup>4,5</sup>: 'desirable' omdat zij leiden tot diep leren en 'difficulties' omdat zij uitdagingen vormen

### Deliberate practice in een notendop



in het leerproces en dit ogenschijnlijk belemmeren.

Prestatieverbetering tijdens het oefenen is niet hetzelfde als leren, hoewel dat vaak wordt aangenomen. Het introduceren van desirable difficulties in oefen- of trainingssessies om diep te leren is daarmee een hachelijke zaak. Mensen houden er immers van zienderogen vooruitgang te boeken in hun prestatie en vinden het niet fijn als die vooruitgang wordt belemmerd. Conditie die leiden tot het maken van fouten kunnen frustratie veroorzaken. Het maken van fouten is echter noodzakelijk voor diep leren, dat wil zeggen voor het realiseren van blijvende prestatieverbeteringen en een grote toepasbaarheid van het geleerde onder andere, nieuwe omstandigheden.

Maar wat is dan de optimale verhouding tussen succesvolle en niet-succesvolle pogingen? Een antwoord op die vraag vinden we in de '85%-regel voor optimaal leren', de titel van een studie uit 2019.<sup>6</sup> De studie is nogal technisch van aard, maar heeft een simpele boodschap: bij het leren van iets nieuws bestaat er een 'sweet spot' in het percentage fouten waarbij het leerproces optimaal verloopt. Dit percentage mag niet zo hoog zijn dat ontmoediging optreedt en niet zo laag dat de prikkel om te leren wegvalt. Op basis van diverse analyses in de context van zogenoemde binaire classificatietaken (zoals aangeven of random dot-patternen op een scherm gemiddeld naar links of naar rechts bewegen) komen de auteurs tot de slotsom dat het optimale foutenpercentage in trainingen rond de 15% ligt en het succespercentage derhalve op 85%. De '85%-regel voor optimaal leren' is na het verschijnen van het artikel een begrip geworden en in populaire publicaties van toepassing verklaard op tal van vaardigheden, zoals het leren van algebra, videospelletjes of het bespelen van een muziekinstrument. De 85%-regel is daarmee



Anders Ericsson (1947-2020), grondlegger van het begrip deliberate practice.

een eigen leven gaan leiden met de impliciete suggestie dat het optimale foutenpercentage altijd 15% is, ongeacht de taak die wordt geleerd en de kenmerken van het individu. Dat is geen correcte voorstelling van zaken, zeker niet gezien wat in de literatuur bekend is over de taakafhankelijkheid van allerlei leereffecten en individuele verschillen in dat opzicht. Niettemin is de bevinding kwalitatief van belang: leren is niet optimaal als er geen fouten worden gemaakt, maar ook niet als er voortdurend fouten worden gemaakt. De kunst voor de docent, trainer en coach is de moeilijkheidsgraad van de oefeningen mee te laten ontwikkelen met de vaardigheidsontwikkeling van het lerende individu, zodat het foutenpercentage in de sweet spot blijft.

### Cognitie en automatisering

Een tweede generieke beschouwing betreft de rol van cognitie in de loop van motorische leerprocessen. Gevoed door het drie-fasen-model van Fitts & Posner<sup>7</sup> wordt vaak aangenomen dat de rol van cognitie is uitge-

speeld als na intensieve training de uitvoering van bewegingsvaardigheden is 'geautomatiseerd' (de zogenoemde 'autonome' fase). Hoewel de rol van cognitie gedurende het leerproces verandert en de bewuste planning en sturing van bewegingen afneemt, is het niet zo dat deze rol tot nul wordt teruggebracht, zoals termen als autonoom, geautomatiseerd of automatisme impliceren. In de literatuur wint het inzicht terrein<sup>8,9</sup> dat cognitieve processen in alle stadia van motorisch leren, welke dat ook precies zijn, een rol blijven spelen. Die rol is niet beperkt tot het maken van strategische keuzes, zoals in het drie-fasen-model wordt aangenomen, maar heeft ook betrekking op de planning en uitvoering van bewegingen zelf. Anders gesteld is motorisch leren altijd het resultaat van een complex samenspel van expliciete en impliciete elementen, tot de hoogste prestatieniveaus aan toe.

Een overtuigend voorbeeld van de stelling dat cognitieve processen een cruciale rol blijven spelen op de hoogste vaardigheidsniveaus deed zich onlangs voor in InnoSportLab De Tongelreep te Eindhoven. Ik had onlangs het genoegen daar een trainingssessie met een Olympisch kampioen bij te wonen. De training was gericht op het verbeteren van zijn start. In de ochtend had de zwemmer in kwestie zes startduiken uitgevoerd, waarbij hij routinematig enkele hem bekende variaties in houding en afzet aanbracht. Deze startduiken werden opgenomen op video en naderhand gedetailleerd besproken door de aanwezigen, waaronder de zwemmer zelf, zijn trainer en coach en leden van het analyseteam van het InnoSportLab. Hoewel de zwemmer al over een imposante start beschikte en op het einde van de vluchtfase zelfs 'het beeld uit dook', wat niet eerder was voorgekomen in het lab, werd door de aanwezige deskundigen vastgesteld dat zijn afzethoek steiler

was dan die van bekende andere snelle starters. Hoewel een steile(re) afzethoek eraan kan bijdragen dat de zwemmer een grotere horizontale afstand overbrugt tijdens de vluchtfase, gaat dit vaak gepaard met een (te) steile entree in het water. Het nadeel hiervan is dat de zwemmer extra weerstand ondervindt wanneer hij zijn lichaam vanuit de schuine entree in voorwaartse richting 'afbuigt' om zijn weg naar het wateroppervlak te vervolgen. Er is dan veel verlies aan snelheid onder water, terwijl het juist zaak is zoveel mogelijk snelheid 'mee te nemen' in de overgang van vluchtfase naar onderwaterfase. Het advies aan de zwemmer was dan ook om in de middagsessie minder hoog te duiken, zodat hij vlakker in het water terecht zou komen en zijn (horizontale) snelheid beter zou behouden. De zwemmer liet zich hier niet gemakkelijk van overtuigen; hij beschikte immers al over een snellere start dan de meesten van zijn concurrenten. Het argument dat dit hem er niet van zou moeten weerhouden naar verbetering van zijn eigen start te zoeken, gaf uiteindelijk de doorslag. In de middagsessie voerde de zwemmer andermaal zes duikstarts uit, waarbij hij er wonderwel in slaagde het gegeven advies te vertalen in een aanpassing van de startbeweging. Dit is opmerkelijk omdat aangenomen mag worden dat hij zijn starttechniek na vele jaren van training vergaand had 'ingeslepen', oftewel 'geautomatiseerd'. De manier waarop de zwemmer de videobeelden van zijn start en het gegeven advies wist te vertalen in een vlakkere start was net zo indrukwekkend als het resultaat daarvan: een winst van

uiteindelijk circa 0,1 seconde op de 15-meter lijn. Een verbetering die doorslaggevend kan zijn op korte zwemafstanden. Geen wonder dat de scepsis van de zwemmer in de loop van de sessie als sneeuw voor de zon verdween. Topsporters willen immers altijd beter worden. Dit voorbeeld leert ons een aantal belangrijke zaken. Het toont aan dat in ieder geval sommige topsporters goed in staat zijn om vergaand getrainde vaardigheden aan te passen op basis van cognitieve processen, waaronder visualisatie en bewuste, expliciete modificatie van een intensief getrainde bewegingsvaardigheid, zoals de start. De wijdverspreide aanname dat deze zodanig geautomatiseerd zou zijn dat elke vorm van cognitieve aansturing zou leiden tot een verstoring van de uitvoering, wordt hiermee onderuitgehaald. Uiteraard valt nog wel te bezien hoe goed de zwemmer erin zal slagen de aanpassing van zijn starttechniek te behouden tijdens wedstrijden, maar momentaan is zijn prestatie door de cognitieve interventie niet verslechterd, maar verbeterd. Het voorbeeld toont ook aan dat wetenschappelijk verkregen inzichten kunnen helpen bij het zoeken naar prestatieverbetering in de topsport. Ten slotte illustreert het voorbeeld dat het loont om te blijven zoeken naar prestatieverbetering, ook al lijkt dat

nauwelijks nog mogelijk. Daarmee zijn we terug bij het adagium van het begin van dit artikel: leren eindigt nooit.

### Vooruitblik

Dat gezegd hebbende is het een goede vraag wat de lezer verder kan verwachten in deze nieuwe reeks. Het antwoord is in feite al gegeven onder de kopjes Validering en Toepassing. Voor de vier meest prominente methoden die worden beschreven in de literatuur over motorisch leren, te weten externe focus van aandacht, variabel oefenen/differentieel leren, impliciet leren en zelfsturing, zal de beschikbare evidentie voor de effectiviteit ervan worden geëvalueerd, zowel in het lab als daarbuiten. Daarnaast zal diepgaander dan in de eerste serie het geval was worden ingegaan op concrete toepassingen van deze begrippen in de sportpraktijk, met voorbeelden uit verschillende sporten. Het doel hiervan is de begrippen tot leven te brengen, eventuele conceptuele valkuilen te ondervangen en het zoeken naar nieuwe toepassingen te faciliteren. De serie zal daarmee uit minimaal vijf artikelen bestaan, namelijk deze inleiding en een artikel over elk van de genoemde methoden. Of er meer delen zullen volgen, en waar die dan over zullen gaan, is op dit moment onbekend.

### Over de auteur

Prof. dr. **Peter J. Beek** is hoogleraar Coördinatie-dynamica bij de afdeling Bewegingswetenschappen van de Faculteit der Gedrags- en Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam, waar hij 12 jaar decaan is geweest. Sinds 2017 fungeert hij tevens als coördinator van de wetenschappelijke ondersteuning van de zwemsport bij InnoSportLab De Tongelreep en de KNZB.

1. Masters RSW (1992). Knowledge, nerves and know-how. The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83, 343-358.
2. Ericsson KA, Krampe RTh & Tesch-Römer C (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100 (3), 363-406.
3. Ericsson KA & Pool R (2016). *Peak: Secrets from the New Science of Expertise*. New York, NY: Vintage Books.
4. Bjork RA (2014). Making things hard on yourself, but in a good way. Creating desirable difficulties to enhance learning. In: MA Gernsbacher & J Pomerantz (eds.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society* (2nd edition), pp. 59-68. Cambridge, MA: MIT Press.

5. Bjork RA & Bjork EL (2020). Desirable difficulties in theory and practice. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 9 (4), 475-479.
6. Wilson RC et al. (2019). The eighty five percent rule for optimal learning. *Nature Communications Cognitive Neuroscience*, 10 (1), 4646.
7. Fitts PM & Posner MI (1967). *Learning and skilled performance in human performance*. Belmont, CA: Brooks Cole.
8. Krakauer JW et al. (2019). Motor learning. *Comprehensive Physiology*, 9 (2), 613-663.
9. Christensen W, Sutton J & Mollwain (2016). Cognition in skilled action: meshed control and the varieties of skill experience. *Mind & Language*, 31 (1), 38-66.

In 2011 besprak ik in *Sportgericht* de waarde van een externe focus van aandacht voor motorisch leren. Ik noemde het bewijs voor dit inzicht toen overweldigend en spoorde sporters en coaches aan er gebruik van te maken. Hoe hebben de kennis en de toepassing ervan zich sindsdien ontwikkeld?

## Motorisch leren, een update

### Deel 2: Externe focus van aandacht

**Peter J. Beek**

Het behoeft nauwelijks betoog dat aandacht een essentiële rol speelt bij het leveren van prestaties en het verwerven van nieuwe vaardigheden. Een schaker die een eenvoudig vorkje over het hoofd ziet, dreigt materiaal te verliezen. Een keeper die 'zijn kop er niet bij heeft' en de bal per abuis naar een tegenstander werpt, kan zijn onoplettendheid duur bekopen. Andersom loont het om de aandacht erbij te houden: het gat in de verdediging zien of een snelle medespeler aan de overkant van het veld vrij zien staan, maakt een winnende actie mogelijk. Ook bij leerprocessen is aandacht cruciaal: een sporter die tijdens het trainen snel is afgeleid zal minder van een training meekrijgen dan een speler die volledig op de oefen-

ningen is geconcentreerd. Aandacht is een cognitief proces dat het oppikken van relevante informatie voor het realiseren van bewegingsdoelen ondersteunt en hangt daardoor nauw samen met zowel perceptie als actie. Welke informatie relevant is, moet worden geleerd. De psycholoog J.J. Gibson sprak in dat verband over het 'opvoeden van de aandacht'.<sup>1</sup>

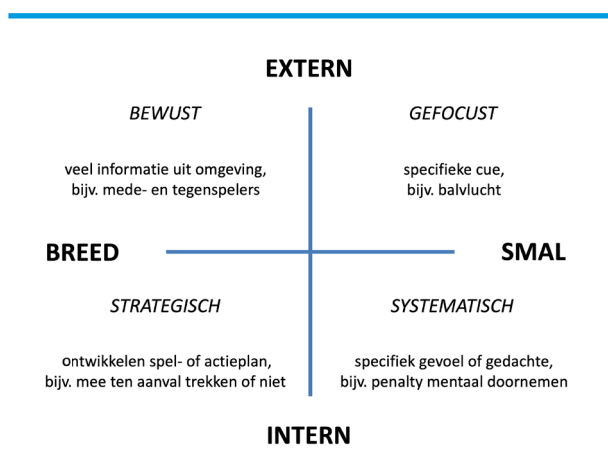
#### Het model van Nideffer

De aandacht kan op verschillende manieren gericht worden. In de jaren '70 van de vorige eeuw introduceerde de sportpsycholoog Nideffer een invloedrijk model, dat een geschikt contrapunt biedt voor een bespreking van het onderscheid tussen interne en externe focus van aandacht dat centraal staat in dit artikel. In zijn model onderscheidt Nideffer twee dimensies voor het richten van de aandacht, namelijk breedte en richting.<sup>2</sup> De breedte heeft betrekking op hoe omvattend de informatie is waarop de aandacht is gericht (veel of weinig, breed of smal), terwijl de richting betrekking heeft op de locus waar de aandacht op is gericht (naar binnen of naar buiten, intern of extern).

De combinatie van de beide dimensies levert vier mogelijkheden of aandachtstijlen op, die zijn weergegeven in figuur 1, elk met een label dat de leerstijl typeert. Bij een brede-externe focus wordt veel informatie uit de



Foto: Shutterstock



**Figuur 1** | Schematische weergave van de aandachtstijlen van Nideffer.

omgeving betrokken. Denk aan een spelverdelers die de posities en loopacties van medespelers en tegenstanders *bewust* overziet om de beste keuze te maken voor zijn volgende actie. Bij een smalle-externe focus is de aandacht gericht op een specifieke cue in de omgeving, bijvoorbeeld als een keeper louter *gefocus* is op de vlucht van de bal om een voorzet te onderscheppen. Een brede-interne focus is nodig om, gegeven de fysieke en mentale toestand van de sporter, te bepalen hoe *strategisch* op een situatie in te spelen; denk aan een back die overweegt al dan niet mee ten aanval te trekken. Bij een smalle-interne focus ten slotte is de aandacht geconcentreerd op een enkele innerlijke fysieke of mentale zaak, bijvoorbeeld de pijn die is ontstaan door een knietje van de tegenstander, of het *systematisch* mentaal doornemen van de penalty die zo meteen genomen moet worden. Nideffers model biedt een praktisch handvat voor het sturen op aandacht in de sport tijdens trainingen en wedstrijden. Het geeft echter geen antwoord op de vraag hoe de aandacht moet worden gericht om tot optimale motorische prestaties en leerresultaten te komen, anders dan dat sporters de aandachtstijlen moeten leren aannemen die horen bij hun sport en de situaties die zich daarbinnen voordoen.

## Interne versus externe focus van aandacht

In 1997 publiceerden Gabriele Wulf en Cornelia Weigelt een experimentele studie waarin zij ontdekten dat het leren bewegen op een ski-simulator afhankelijk is van de instructies die aan de deelnemers worden gegeven.<sup>3</sup> De instructie om de aandacht op de voeten te richten leidde tot een minder goede uitvoering en

een minder goed leerresultaat dan de instructie de aandacht te richten op de kracht die wordt uitgeoefend op het platform van de ski-simulator. Deze bevinding werd een jaar later door Wulf en haar toenmalige collega's Höß en Prinz experimenteel bevestigd en theoretisch uitgewerkt.<sup>4</sup> In deze studie introduceerden zij het onderscheid tussen een interne en een externe focus van aandacht, dat in tegenstelling tot Nideffers model wel antwoord geeft op de vraag waar de aandacht tijdens het uitvoeren en leren van bewegingen het beste op gericht kan worden. De termen interne en externe focus van aandacht hebben in dit onderscheid betrekking op de vraag of de aandacht gericht is op de bewegingen van (delen van) het lichaam van de actor (intern) of op het effect van zijn of haar beweging op de omgeving (extern). Richt je bijvoorbeeld tijdens het slaan van een tennisbal je aandacht op de beweging van je arm of de positionering van je voeten, dan is er volgens deze definitie sprake van een interne focus van aandacht. Richt je de aandacht op het baltraject of de plek waar je de bal naartoe wilt slaan, dan is de aandacht extern gericht. Dit laatste voorbeeld laat tevens zien dat het effect van de beweging als locus van de aandacht niet uniek is gedefinieerd, maar betrekking kan hebben op een focus

dichtbij of veraf van de actor, of elke focus daartussen. Om bij het voorbeeld van de tennisslag te blijven: je kunt als tennisser je aandacht richten op de trilling in het racket (je wilt de bal in de *sweetspot* raken), de draaiing van de bal (je wilt topspin aan de bal meegeven), de balvlucht (je wilt dat de bal een bepaalde baan volgt, zoals bij een lob) en de landingsplaats (je wilt dat de bal op een bepaalde plek landt). Tijdens het slaan kun je de externe focus van aandacht dus ook nog eens verleggen, iets wat men in experimenten overigens probeert te voorkomen om de experimentele condities zuiver te houden.

## Mondiaal onderzoek

Het artikel uit 1998 vormde de start van een omvangrijk onderzoeksprogramma naar de effecten van interne-focus- en externe-focus-instructies op het uitvoeren en leren van motorische taken, met bijdragen van onderzoekers uit de hele wereld. Het onderzoek richt(te) zich niet alleen op de overkoepelende vraag of externe-focus-instructies inderdaad tot betere taakprestaties en leerresultaten leiden dan interne-focus-instructies, maar ook op de vele factoren die in dat verband mogelijk relevant zijn, zoals de exacte locatie van de externe focus (dichtbij versus veraf), het type motorische taak, het vaardigheidsniveau (beginner / gevorderde / expert), de leeftijd en de gezondheidsstatus van de proefpersonen. Ongeveer halverwege deze ontwikkeling, in 2011, maakte ik in *Sportgericht* gewag van deze ontwikkeling in het onderzoek en de toenmalige stand van zaken.<sup>5</sup> Ik kwalificeerde in dat artikel het bewijs voor de meerwaarde van een externe focus voor motorische prestaties en motorisch leren als overweldigend en riep sporters en coaches op hier meer gebruik te maken in de trainingspraktijk. Het aantal publicaties over het onderwerp is inmiddels flink toegenomen, zoals ik in mijn vorige artikel heb laten zien.<sup>6</sup> Wulf alleen

al heeft er inmiddels meer dan 80 op haar naam staan. Anders dan destijds kan nu aan de hand van (al dan niet) systematische reviews en meta-analyses van vele afzonderlijke studies over het onderwerp worden nagegaan hoe hard en betrouwbaar het wetenschappelijk bewijs na bijna een kwart eeuw van intensief onderzoek werkelijk is.

## Bewijs anno 2022

Systematische reviews zijn overzichten van de wetenschappelijke literatuur over een bepaalde vraagstelling of hypothese die op gestructureerde wijze zijn uitgevoerd. Eerst worden aan de hand van zoektermen mogelijk relevante studies gezocht in een of meerdere elektronische databestanden. Daarna wordt aan de hand van in- en exclusiecriteria bepaald of de gevonden studies daadwerkelijk over het onderwerp gaan en geschikt zijn om in de systematische review te worden opgenomen. De geselecteerde artikelen worden vervolgens besproken en geanalyseerd. Soms gebeurt dat aan de hand van een zogeheten meta-analyse. In dat geval worden de resultaten van de geselecteerde studies samengevoegd en aan een statistische analyse onderworpen. Hiermee kan een hardere, betrouwbaardere uitspraak worden gedaan over een bepaalde vraagstelling of hypothese dan mogelijk is op basis van losse, op zichzelf staande studies. Daarbij moet, zoals we zullen zien, wel rekening worden gehouden met een mogelijke publicatiebias, dat wil zeggen: de vertekening die in de literatuur kan ontstaan als positieve onderzoeksresultaten wel worden gepubliceerd, maar negatieve, neutrale of onduidelijke resultaten niet. Over de verschillende effecten van een interne versus een externe focus van aandacht zijn inmiddels zoveel artikelen gepubliceerd, dat systematische reviews en meta-analyses zinvol zijn. Dit blijkt uit het feit dat de laatste paar jaren diverse van zulke artikelen zijn verschenen.



**Figuur 2** | Gabriele ('Gaby') Wulf van de University of Nevada, ontdekker van de superioriteit van een externe focus van aandacht voor motorische prestaties en motorisch leren.

Een omvattende studie met meerdere systematische reviews en meta-analyses uit 2021 van Chua et al. (met Wulf als laatste auteur)<sup>7</sup> leidde in essentie tot dezelfde conclusie als die van eerdere verhalende reviews<sup>8,9,10</sup> en mijn *Sportgericht*-artikel<sup>5</sup> uit 2011: een externe focus van aandacht leidt zowel tot betere taakprestaties als betere leerresultaten in termen van retentie en transfer dan een interne focus van aandacht, ongeacht de taak, het vaardigheidsniveau (met meer beginners dan experts), de leeftijd en in dit geval ook de gezondheidsstatus van de deelnemers. De meta-analyses waren gebaseerd op 73 studies (met in totaal 1.824 deelnemers) waarin het effect van de focus van aandacht op de motorische prestatie werd onderzocht en 40 studies (met in totaal 1.274 deelnemers) waarin het effect van de focus van aandacht op motorisch leren (retentie én transfer) werd onderzocht. Uit een aanvullende meta-analyse van 12 studies (met in totaal 216 deelnemers) waarin naar het effect van de focus van aandacht op de spieractiviteit (EMG) werd gekeken, bleek een externe focus tot een efficiëntere neuromusculaire aan-

sturing te leiden. Uit een tweede aanvullende meta-analyse van 9 studies (met in totaal 272 deelnemers) bleek bovendien dat een verre (distale) externe focus leidt tot een effectievere motorische prestatie dan een nabije (proximale) externe focus. Of dit ook geldt voor *motorisch leren* is minder duidelijk. Weliswaar lieten McNevin, Shea & Wulf<sup>11</sup> eerder zien dat het ook bij motorisch leren loont om instructies te geven die de afstand van de externe focus tot de actor vergroten, maar kennelijk waren er te weinig studies om hiernaar een meta-analyse uit te voeren.

Andere recent verschenen systematische reviews met meta-analyses richten zich op specifieke motorische taken of taakdomeinen, waaronder balanceren<sup>12</sup>, springen (verticale sprong, vertesprong uit stand)<sup>13</sup>, (maximale) spierkracht<sup>14</sup>, spieruithoudingsvermogen<sup>15</sup> en sprinten<sup>16</sup>. Deze studies lieten eveneens zien dat een externe focus tot significant betere motorische prestaties leidt dan zowel interne-focus-van-aandacht-instructies als controlecondities zonder aandachtinstructies. In de spierkrachtstudie<sup>14</sup> bleek dit effect echter alleen significant te zijn voor de acute effecten en niet voor de langetermijneffecten, terwijl in de sprintstudie<sup>16</sup> het effect alleen significant bleek te zijn voor de matige sprinters en niet voor de goede sprinters. Hiervoor worden verschillende verklaringen geboden, bijvoorbeeld dat de goede sprinters al een dermate goede techniek hadden dat deze nauwelijks nog te verbeteren viel, en dat de goede sprinters minder ontvankelijk waren voor de instructies omdat ze de in het verleden ontvangen instructies geïnternaliseerd zouden hebben.

## Conclusie met kanttekeningen

Al met al kan op basis van de gepubliceerde systematische reviews en meta-analyses geconcludeerd worden dat het bewijs voor de superioriteit van een externe focus boven een interne focus nog steeds overweldigend is.

Dit betekent niet dat er geen afwijkende resultaten en tegengeluiden in de literatuur te vinden zijn. Die zijn er wel degelijk, maar de afwijkende resultaten vallen in de meta-analyses in het niet bij de resultaten ten gunste van een externe focus. Ook zijn nog lang niet alle vragen beantwoord. Zo is nog altijd onduidelijk welke invloed het vaardigheidsniveau precies heeft op de effecten van een externe versus interne focus van aandacht en wat dat dan betekent voor de wijze van instrueren tijdens het leerproces.

In diverse publicaties, onder andere in haar frequent aangehaalde verhalen-de review uit 2013<sup>10</sup>, gaat Wulf in op afwijkende bevindingen en meningen in de literatuur, die zij weerlegt als het gevolg van vooroordelen, onjuiste interpretaties, of methodologische tekortkomingen in de instructies of proefopzet. Helaas ontbreekt hier de ruimte om in te gaan op deze discussies en op de vraag hoe goed Wulf erin slaagt de kritiek te weerleggen. Een punt is echter nog wel van belang om te benadrukken, namelijk dat rekening moet worden gehouden met de mogelijkheid van publicatiebias in de focus-van-aandacht-literatuur, net als elders in de wetenschap. De systematische reviews en meta-analyses verschillen in de mate waarin zij zich hiervan rekenschap geven. Zo zijn de conclusies van de hierboven beschreven studie van Chua e.a.<sup>7</sup> recent in een congrespresentatie op de korrel genomen, ondanks het overtuigende karakter ervan.<sup>17</sup> De jury buigt zich nog over deze casus: wetenschap blijft kwetsbaar ...

### Eerdere theoretische verklaringen

Hoe komt het nu dat een externe focus bij motorisch leren en presteren beter werkt dan een interne focus? Aanvankelijk verklaarde Wulf het superieure effect vanuit de 'common coding theory' van Prinz.<sup>18</sup> Volgens deze theorie zijn afferente ('sensorische') en efferente ('motorische') informatie verschillend gecodeerd

in het zenuwstelsel. Bijgevolg is er behoefte aan een gemeenschappelijke codering voor perceptie en actie. Volgens Prinz wordt die codering verschaft door 'distale gebeurtenissen', zoals glazen die door een ober netjes naast elkaar op een plankje worden gezet of een dartpijl die de triple twenty treft. Acties zouden daardoor effectiever zijn als ze gepland worden in termen van zulke distale gebeurtenissen.

Hoewel het voordeel van een externe focus van aandacht hier binnen past, vond Wulf de geboden verklaring te 'abstract' en ruilde haar daarom in voor een specifiekere verklaring, de 'constrained action hypothesis'.<sup>11</sup> Volgens deze verklaring bevordert een externe focus van aandacht de automatische sturing van bewegingen, waardoor deze snel, effectief en efficiënt plaatsvinden. Omgekeerd zou een interne focus van aandacht de automatische sturing van bewegingen verstoren, waardoor deze minder vloeiend en succesvol verlopen. Deze hypothese lijkt in strijd met de bevinding dat de voordelen van een externe focus van aandacht boven een interne focus van aandacht onafhankelijk zijn van het vaardigheidsniveau en dus van de mate van automatisering. Op basis van de hypothese zou men immers verwachten dat de verschillen in effectiviteit

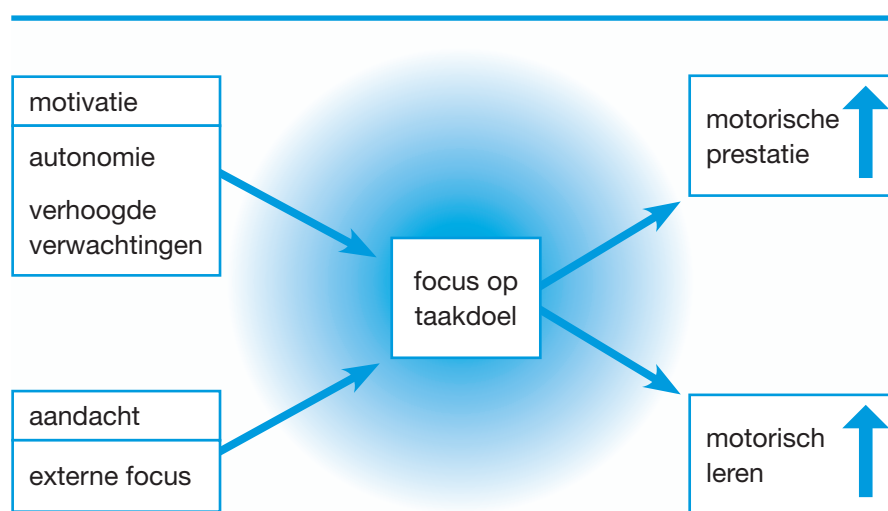
tussen beide focussen van aandacht toenemen met de automatisering van de bewegingssturing. Strikt gezien bieden noch de 'common coding theory', noch de 'constrained action hypothesis' een verklaring voor de bevinding dat een externe focus van aandacht leidt tot een betere retentie en transfer dan een interne focus van aandacht, anders dan dat het leerproces erbij gebaat is dat de (oefen-) bewegingen gemakkelijker worden uitgevoerd met een externe focus van aandacht.

### OPTIMAL-theorie

Tegen deze achtergrond is het niet verwonderlijk dat Wulf samen met Lewthwaite in 2016 een theorie over motorisch leren presenteerde die ze OPTIMAL doopte: Optimizing Performance Through Intrinsic Motivation and Attention for Learning.<sup>19</sup> Volgens deze theorie, die schematisch is weergegeven in figuur 3, verlopen leerprocessen optimaal als drie elementen aanwezig zijn:

1. autonomie;
2. verhoogde verwachtingen;
3. externe focus op het beoogde bewegingseffect.

De elementen autonomie en verhoogde verwachtingen bevorderen de (intrinsieke) motivatie en komen overeen met de basisbehoeften autonomie en competentie uit de



**Figuur 3** | Schematische weergave van de OPTIMAL-theorie van Wulf & Lewthwaite.<sup>19</sup>

zelfdeterminatietheorie van Ryan & Deci.<sup>20</sup> Uit onderzoek is bekend dat (motorisch) leren wordt bevorderd als men een zekere vrijheid heeft in het maken van keuzes, bijvoorbeeld ten aanzien van het al dan niet krijgen van feedback (zie deel 9 van de vorige reeks<sup>21</sup>). Ook is uit onderzoek<sup>22</sup> gebleken dat (motorische) taakprestaties en leerprocessen worden bevorderd naarmate men hogere verwachtingen heeft over hoe succesvol men zal zijn in het uitvoeren van een bepaalde taak. Het loont dus om die verwachtingen te verhogen. In de OPTIMAL-theorie worden deze elementen samengevoegd met het externe-focus-van-aandacht-element. Daarbij worden enkele nieuwe theoretische gezichtspunten naar voren gebracht, onder meer dat deze combinatie van elementen de koppeling van doelen aan acties versterkt en voorkomt dat de beweger terugglijdt in op zichzelf en niet op de taak betrokken reflecties. Kortom, in combinatie leiden de drie genoemde elementen tot een sterke focus op het taakdoel, die zowel de motorische prestatie als het motorisch leren optimaal ten goede komt. Daarbij levert elk van de elementen een zelfstandige bijdrage aan motorische leerprocessen. Het loont dus

altijd om er één toe te voegen! Aangezien ik later in deze reeks nader zal ingaan op de rol van zelfsturing (autonomie) en competentie (verhoogde verwachtingen) in het motorisch leren en het wetenschappelijk onderzoek daarnaar, en omdat deze onderwerpen nevensgeschikt zijn aan het onderwerp dat in dit artikel centraal staat (aandacht), volsta ik hier met deze beknopte weergave van de OPTIMAL-theorie. Hoewel de OPTIMAL-theorie drie belangrijke ingrediënten van motorisch leren op een nuttige manier bijeenbrengt, verschaft zij slechts in beperkte mate extra inzicht in de mechanismen die ten grondslag liggen aan de meerwaarde van een externe boven een interne focus van aandacht bij motorisch leren dan eerdere theoretische voorstellingen. De theorievorming blijft in dat opzicht onvolkomen. Om haar verder te helpen lijkt meer kennis nodig van de neurale processen die zich tijdens motorisch leren afspelen in het brein en hoe deze beïnvloed worden door de focus van aandacht. Wulf & Lewthwaite tonen in hun OPTIMAL-theorie tenminste aan zich hiervan bewust te zijn. Evenals voor de empirische bevindingen zijn er ook theoretische

tegengeluiden in de literatuur te vinden, bijvoorbeeld in een recente publicatie van Herrebrøden<sup>23</sup>, waarin hij een alternatief mechanisme voor focus-van-aandacht-effecten voorstelt. Volgens hem moet de verklaring niet gezocht worden in het al dan niet verstoren van de automatische sturing, maar veeleer in de mate waarin de (aangeboden) informatie relevant is voor de uitvoering van de taak. Ook interne focussen van aandacht kunnen in deze voorstelling van zaken waardevol zijn.

### Praktische toepassingen

Evenals onderzoekers zijn sporters en hun coaches geïnteresseerd in de vraag hoe bewegingen het beste kunnen worden uitgevoerd en aangeleerd. Zoals we gezien hebben, heeft het onderzoek aangetoond dat een externe focus van aandacht de voorkeur verdient boven een interne focus van aandacht, kritische tegengeluiden daargelaten. Een externe focus van aandacht bevordert zowel de effectiviteit als de efficiëntie van het bewegen en leidt bovendien tot snellere leerprocessen met een grotere retentie en transfer. Aanleiding genoeg dus om hier volop gebruik van te maken in de sport, zo men dat al niet doet. De hier gepresenteerde inzichten zijn immers niet nieuw en al geruime tijd bekend binnen de sport; ze worden alleen nog sterker door de resultaten van wetenschappelijk onderzoek onderbouwd dan voorheen.

Uit eigen ervaring weet ik dat een groot aantal coaches de 'nieuwe' kennis is gaan toepassen in de sportpraktijk. Ik weet echter niet hoe breed deze ontwikkeling precies is. Dat zou een aparte studie vergen. Uit onderzoek<sup>24,25</sup> is wel gebleken dat het merendeel (circa 2/3) van de instructies (en feedback) die door coaches worden gegeven en door sporters worden opgevolgd (en verwerkt) de aandacht intern en niet extern richten. De sport komt dus van ver en er is vast en zeker nog veel te winnen



Foto: Shutterstock

## Praktische mogelijkheden om een externe focus van aandacht te bevorderen

1. De aandacht richten op het doel van de beweging indien dat fysiek in de omgeving aanwezig is: concentreer je op de basket, mik op de handschoen van de catcher, concentreer je op het vlaggetje bij de hole, enzovoort.
2. De aandacht richten op daartoe in de omgeving aangebracht markeringen: grijp de rekstok bij de stukjes tape, mik je groundstroke in het gemarkeerde gebied in de hoek van het speelveld van de tegenstander, sla je service over het net maar onder het touwtje door dat daarboven is gespannen, enzovoort.
3. De aandacht richten op het oppervlak waartegen je afzet: trap het afzetblokje zo hard mogelijk naar achteren, duw zo veel mogelijk water naar achteren, zorg voor zo min mogelijk gekolk en gespetter, enzovoort.
4. De aandacht richten op een fysiek werktuig of voorwerp dat onderdeel uitmaakt van de sport: werp de frisbee parallel met de horizon, zet de kanten van de ski's onder een hoek in de sneeuw, beweeg het riemblad plat over het water bij de terughaal, enzovoort.
5. Een extern referentiepunt voor de beweging introduceren, zodat deze deel wordt van een handeling: draai tijdens het werpen de gesp van je riem naar de catcher (om heupdraaiing te bewerkstelligen), zorg dat als je uit de trampoline omhoog komt de laserpointer op je borstbeen verticaal beweegt op de muur recht voor je (om het bovenlichaam recht te houden), probeer de mat met bullseye die onder de trampoline is gelegd zo dicht mogelijk te naderen (om een krachtige afzet te bevorderen).

door instructies die een interne focus oproepen in te ruilen voor instructies die een externe focus oproepen. Soms is zo'n vertaalslag gemakkelijker en soms vergt die, afhankelijk van het beoogde (oefen)doel, enige creativiteit. Als slotakkoord van dit artikel is het wellicht nuttig om een aantal mogelijkheden op een rijtje te zetten (zie kader), zodat sporters en coaches er hun voordeel mee kunnen doen. Hopelijk leidt dit overzicht, dat

deels ontleend is aan de opbrengsten van workshops met coaches die ik in de afgelopen jaren mocht verzorgen, tot nieuwe inspiratie en creativiteit

bij het bevorderen van een externe focus van aandacht in de sport.

### Over de auteur

Prof. **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. Gibson JJ (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton Mifflin (p. 254).
2. Nideffer RM (1976). *The inner athlete*. New York, NY: Thomas Crowell.
3. Wulf G & Weigelt C (1997). Instructions about physical principles in learning a complex motor skill: to tell or not to tell. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 68 (4), 362-367.
4. Wulf G, Höß M & Prinz W (1998). Instructions for motor learning: differential effects of internal versus external focus of attention. *Journal of Motor Behavior*, 30 (2), 169-179.
5. Beek PJ (2011). Nieuwe, praktisch relevante inzichten in techniektraining. Motorisch leren: het belang van een externe focus van aandacht (deel 2). *Sportgericht*, 65 (3), 2-5.
6. Beek PJ (2011). Motorisch leren, een update. Deel 1: Drie aanleidingen en twee generieke beschouwingen. *Sportgericht*, 76 (5), 2-6.
7. Chua LK et al. (2021). Superiority of external attentional focus for motor performance and learning: systematic reviews and meta-analyses. *Psychological Bulletin*, 147 (6), 618-645.
8. Wulf G & Prinz W (2001). Directing attention to movement enhances learning: a review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8 (4), 648-660.
9. Wulf G (2007). Attentional focus and motor learning: a review of 10 years research. In: E-J Hossner & N Wenderoth (eds.), Gabriele Wulf on attentional focus and motor learning. *E-Journal Bewegung und Training*, 1, 4-14.
10. Wulf G (2013). Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6 (1), 77-104.
11. McNevin NH, Shea CH & Wulf G (2003). Increasing the distance of an external focus of attention enhances learning. *Psychological Research*, 67 (1), 22-29.
12. Kim T, Jimenez-Diaz J & Chen J (2017). The effect of attentional focus in balancing tasks: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12 (2), 463-479.
13. Makaruk H, Starzak M & Porter JM (2020). Influence of attentional manipulation on jumping performance: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Human Kinetics*, 75 (1), 65-75.
14. Grgic J, Mikulic I & Mikulic P (2021). Acute and long-term effects of

- attentional focus strategies on muscular strength: a meta-analysis. *Sports*, 9 (11), 153.
15. Grgic J & Mikulic P (2022). Effects of attentional focus on muscular endurance: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (1), 89.
16. Li DY et al. (2022). Effect of attentional focus on sprint performance: a meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (10), 6254.
17. McKay B et al. (2022). The benefits of an external focus of attention are negligible after correcting for publication bias: a re-analysis and extension of Chua et al. (2021). *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 44 (5), S44-S45.
18. Prinz W (1990). A common coding approach to perception and action. In: O Neumann & W Prinz (eds.), *Relationships between perception and action* (p. 167-201). Berlin, Germany: Springer.
19. Wulf G & Lewthwaite R (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: the OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23, 1382-1414.
20. Ryan RM & Deci EL (2017). *Self-determination theory: basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. New York, NY: The Guilford Press.
21. Beek PJ (2013). Nieuwe, praktisch relevante inzichten in techniektraining. Motorisch leren: het belang van zelfsturing (deel 9). *Sportgericht*, 67 (2), 12-16.
22. Ghorbani S (2019). Motivational effects of enhancing expectancies and autonomy for motor learning; an examination of the OPTIMAL theory. *The Journal of General Psychology*, 146 (1), 79-92.
23. Herrebraden H (2022). Motor performers need task-relevant information: proposing an alternative mechanism for the attentional focus effect. *Journal of Motor Behavior*, DOI: 10.1080/00222895.2022.2122920.
24. Porter JM, Wu W & Partridge J (2010). Focus of attention and verbal instructions: strategies of elite track and field coaches and athletes. *Sport Science Review*, 19 (3-4), 77-89.
25. Graaff E van der et al. (2018). Focus of attention instructions during baseball pitching. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13 (3), 391-397.

In 2011 bracht ik in *Sportgericht* het belang van impliciet leren versus expliciet leren voor de sportpraktijk onder de aandacht. Impliciet aangeleerde vaardigheden zouden volgens Richard Masters beter bestand zijn tegen mentale druk dan expliciet aangeleerde vaardigheden. Hoe heeft de kennis over impliciet leren en de toepassing daarvan zich sindsdien ontwikkeld?

## Motorisch leren, een update

### Deel 3: Impliciet leren

**Peter J. Beek**

Tijdens het verwerven van een nieuwe motorische vaardigheid doen we twee soorten kennis op: expliciete en impliciete. Expliciet is de kennis over aspecten van de vaardigheid die we in woorden kunnen vatten en impliciet de kennis van aspecten van de vaardigheid die we weliswaar beheersen, maar niet kunnen benoemen. Bij expliciet leren wordt expliciete kennis opgedaan en bij impliciet leren impliciete kennis.

#### Onderscheid

Het onderscheid tussen expliciet en impliciet leren lijkt daarmee overzichtelijk, maar dat is het allerminst. De reden is dat in vrijwel alle leerprocessen beide vormen van leren een rol spelen. Neem bijvoorbeeld het leren

van een (tweede) taal. Enerzijds leert men regels over zinsbouw, grammatica en leestekens, die men desgevraagd kan benoemen (expliciet), maar anderzijds leert men ook regels die in de taal besloten liggen zonder dat men die kan vertolken (impliciet). Zo kunnen sprekers die zich een vreemde taal diepgaand hebben eigen gemaakt een zin die niet correct klinkt in de betreffende taal direct herkennen, zonder aan te kunnen geven waarom de zin incorrect is (hoewel ze beschikken over een ongeschonden taalvermogen). Op analoge wijze leert men bij complexe bordspelen als schaken of go regels voor het (ver)plaatsen van de stukken op het bord die men kan verwoorden (expliciet), maar zijn er ook zetten in complexe situaties die men direct herkent als goed of fout (of als sterk of zwak) zonder dat men kan uitleggen welke regels daaraan ten grondslag liggen (impliciet). Bij het bewegen is het net zo. Topsporters, dansers en acrobaten kunnen, vaak beter dan minder gevorderden, desgevraagd een aantal uitvoeringsregels benoemen die zij hanteren (expliciet), maar een groot deel van de motoriek onttrekt zich hieraan en speelt zich op een onbewust niveau af (zie figuur 1). Hun bewegingssysteem organiseert zich automatisch naar de doelen of houdingen die zij willen realiseren (impliciet). Tegen deze achtergrond bezien is het zwart-wit onderscheid tussen expliciet en

**Figuur 1** | Metaforisch beeld van de verhouding tussen expliciete en impliciete kennis in de menselijke motoriek.



Foto: Shutterstock

impliciet leren als polaire tegenstelling gekunsteld: beide vormen van leren zijn in leerprocessen aan de orde. Het is daardoor veeleer een kwestie van gradatie waar men in het leerproces de nadruk op legt, op het opdoen van expliciete kennis (veelal door expliciete instructie en feedback), of het opdoen van impliciete kennis door ervaring. Waar men de voorkeur aan geeft, is van veel factoren afhankelijk: de pedagogische overtuigingen en opvattingen van de trainer of coach, de kenmerken van de sporter, diens vaardigheidsniveau en hoe goed die overweg kan met de gegeven instructies en feedback en de aard en complexiteit van de te leren taak. Toch moeten we niet te vrijblijvend met het onderscheid tussen expliciet en impliciet leren omspringen. De vraag of motorisch leren gebaat is bij een sterke nadruk op expliciet leren (via expliciete instructie en feedback) is zowel gerechtvaardigd als praktisch relevant, evenals de daaraan gelieerde vraag of impliciet leren niet meer voordelen heeft dan men geneigd is aan te nemen. Dit zijn de vragen die Richard Masters met zijn baanbrekende studie uit 1992 op indringende wijze meegaf aan het onderzoeksveld van motorisch leren.<sup>1</sup> In dit artikel breng ik in kaart wat dit onderzoek heeft opgeleverd voor het begrip van motorisch leren en de sportpraktijk.

### (Omgekeerd) leren fietsen

Eerst is het echter nuttig een goed begrip te krijgen van impliciet motorisch leren. Een alledaagse illustratie kan hierbij helpen, te weten het leren fietsen op een gewone fiets, gevolgd door een minder alledaagse variant daarvan, namelijk het leren fietsen op een omgekeerde fiets.

Als je op een gewone fiets leert fietsen, ervaar je hoe die reageert op jouw stuur-, versnel- en remhandelingen en houdingsveranderingen zonder dat je de mechanische wetten kent of hoeft te kennen die daaraan ten grondslag liggen. Je merkt bijvoorbeeld dat het moeilijker is evenwicht te behouden als je langzaam fietst



**Figuur 2** | Het mechaniek van de omgekeerde fiets of 'backward (brain) bicycle'.

dan wanneer je snel fietst, en past je gedrag daarop aan. Na verloop van tijd leer je de juiste handelingen en houdingsveranderingen uit te voeren, zonder dat je kan beschrijven welke regels je daarbij volgt, of daar überhaupt weet van hebt. Bij het maken van een scherpe bocht naar links, stuur je bijvoorbeeld eerst een beetje naar rechts alvorens naar links af te buigen. En als je rechthout fietst, stuur je steeds een beetje bij om in balans te blijven. Hierbij stuur je (onbewust!) in de richting van de val: als de fiets naar rechts valt, stuur je een beetje naar rechts om weer overeind te komen en vice versa. Dat sturen in de richting van de val is het basale mechanisme voor balanshandhaving en zorgt ervoor dat de contactpunten met de weg weer onder het massamiddelpunt komen.<sup>2</sup> Je past tijdens het fietsen dus een regelsysteem toe dat is afgestemd op mechanische wetten waar je je niet bewust van bent. Naarmate je beter leert fietsen, leer je die wetmatigheden steeds beter benutten; het regelsysteem voor het fietsen verfijnt zich. Maar wat nu (zie figuur 2) als de mechanica van de fiets door een aantal plaagzieke ingenieurs zodanig is veranderd dat het wiel naar rechts gaat als je naar links stuurt en naar links als je naar rechts stuurt? Hoe vergaat het

(leren) fietsen je dan? Het antwoord is te vinden in enkele illustratieve YouTube-filmpjes.<sup>3</sup> Het is onmogelijk om zonder oefening op een dergelijke fiets te rijden, al helemaal als je al goed kan fietsen op een gewone fiets. Destin Sandlin, de hoofdpersoon in de filmpjes, oefende maar liefst acht maanden vijf minuten per dag voordat hij op de omgekeerde fiets kon rijden, terwijl zijn zoontje hier slechts twee weken voor nodig had. Tijdens het leren fietsen op de omgekeerde fiets hebben ze beiden een nieuw impliciet regelsysteem ('algoritme' in het filmpje) geleerd, dat drastisch verschilt van het eveneens impliciete regelsysteem voor het fietsen op een gewone fiets. Expliciete instructies helpen in deze situatie niet of nauwelijks, omdat het onderliggende regelsysteem dermate ondoorgrondelijk is, dat het totaal onduidelijk is welke gedragsaanpassing precies nodig is om de omgekeerde fiets te kunnen berijden. Extra interessant voor het begrip van motorische leerprocessen is dat het regelsysteem voor het fietsen op een gewone fiets en dat voor het fietsen op een omgekeerde fiets elkaar uitsluiten en niet direct uitgewisseld kunnen worden. Nadat Destin had leren fietsen op de omgekeerde fiets en probeerde weer op een gewone fiets te fietsen (demon-

stratief voor de centrale Openbare Bibliotheek Amsterdam nabij het Centraal Station), bleek hij daar voor een groepje argwanende toeschouwers niet onmiddellijk toe in staat. Het kostte hem circa twintig minuten voordat hij het 'oude' regelsysteem voor fietsen op een gewone fiets, dat als het ware nog lag opgeslagen in een ander kamertje in zijn brein, weer wist op te roepen. Dit is een interessante waarneming, die aantoont dat een eenmaal aangeleerde complexe motorische vaardigheid in het geheugen beschikbaar blijft, ook als deze lang niet wordt aangesproken. Van een volledige uitwissing is geen sprake, zelfs niet als een soortgelijke vaardigheid daar 'overheen' wordt aangeleerd.

### Masters' masterclass

De studie van Masters<sup>1</sup> uit 1992 heb ik destijds uitvoerig besproken in het derde deel van mijn eerste reeks in *Sportgericht*,<sup>4</sup> dus is het niet nodig dit hier opnieuw te doen. Wel is het nuttig toe te lichten waarom deze studie zo invloedrijk is (geweest) (volgens het Web of Science is het artikel 717 keer geciteerd, peildatum 25-01-2023). Hiervoor zijn drie redenen.

De eerste is dat, voor zover mij bekend, niet eerder in de literatuur over motorisch leren het onderscheid tussen expliciet en impliciet werd geïntroduceerd. In de tweede editie van het standaardwerk over motorische sturing en leren van Schmidt uit 1988 komt de term impliciet leren niet voor.<sup>5</sup> Hoewel de van origine Hongaarse filosoof Polanyi<sup>6</sup> al in 1962 de term 'tacit knowledge', oftewel 'stilzwijgende kennis', introduceerde ter aanduiding van kennis die we niet kunnen benoemen, en onderwijskundigen nadien al onderscheid maakten tussen expliciet en impliciet leren, paste Masters dit onderscheid als eerste toe op motorisch leren.

De tweede reden is dat Masters in zijn studie aantoonde dat de wijze waarop een motorische vaardigheid is aangeleerd van invloed is op de eigenschappen van die vaardigheid als die na het

leerproces is geautomatiseerd. Oftewel, de leergeschiedenis doet ertoe! In het bijzonder vond Masters in zijn studie aanwijzingen dat een expliciet aangeleerde motorische vaardigheid kwetsbaarder is voor mentale druk dan wanneer diezelfde vaardigheid impliciet is aangeleerd. De derde reden is dat hij hiervoor een theoretische verklaring gaf in de vorm van de herinvesteringshypothese: eerder in het leerproces opgedane expliciete kennis kan onder mentale druk 'geherinvesteerd' worden in de uitvoering van de motorische vaardigheid als die is geautomatiseerd, waardoor de uitvoering wordt verstoord. Vanwege deze drie redenen kreeg het onderzoek naar motorisch leren door de studie van Masters een nieuwe impuls, die nog altijd doorwerkt in zowel het onderzoek als de sportpraktijk (en daarbuiten).

### Ontwikkeling van het onderzoek

Masters' invloedrijke studie vormde de basis voor een reeks van studies, waarvan ik er een aantal in mijn 2011 artikel heb besproken.<sup>4</sup> Deze studies hadden betrekking op de vraag in



**Figuur 3** | Richards Masters van de University of Waikato, Hamilton, Nieuw-Zeeland, pleitbezorger van impliciet motorisch leren en bedenker van de herinvesteringshypothese.

hoeverre analogieleren en foutloos leren zijn op te vatten als vormen van impliciet leren. Voor analogieleren bleek dit het geval te zijn in de tafeltennisstudie van Liao en Masters<sup>7</sup> en voor foutloos leren wees een studie van Maxwell e.a.<sup>8</sup> in die richting. Die bevindingen waren van belang voor de (sport)praktijk omdat leren met een tweede, cognitieve taak, het zogeheten dubbeltaakleren dat Masters in zijn studie had gebruikt, zich minder goed leent voor toepassing in de praktijk. Ik opperde in het verlengde van deze bevindingen in 2011 dat ook het leren met een externe focus van aandacht en differentieel leren waarschijnlijk een (meer) impliciet karakter hebben. Daarbij verzuimde ik overigens een studie van Poolton e.a.<sup>9</sup> te vermelden, waarin zij inderdaad enkele indicaties hadden gevonden dat ook het leren met een externe focus een (overwegend) impliciete vorm van leren is. Voor differentieel leren is dat bij mijn weten echter nooit uitgezocht. Raab e.a. onderzochten wel of ontdekkend leren ('discovery learning') meer tot expliciet leren of impliciet leren aanleiding geeft in een basketbalbeslissings situatie.<sup>10</sup> Zij vonden dat cognitief ontdekkend leren sterker stoelt op expliciete processen en perceptueel ontdekkend leren sterker op impliciete processen. Ontdekkend leren is op basis van deze bevindingen minder eenduidig te classificeren als expliciet of impliciet. Later in het artikel komt dit thema terug, maar laten we niet op de zaken vooruit lopen.

Het onderzoek naar impliciet leren ontwikkelde zich in andere richtingen dan het bepalen van de aard van leermethoden. Zo richtte het onderzoek zich op de vermeende voordelen van impliciet leren bij diverse aandoeeningen en ziektes (waaronder een hersenberoerte, cerebrale parese en de ziekte van Parkinson), bij het verwerven van bepaalde complexe chirurgische en tandheelkundige vaardigheden en bij de motorische ontwikkeling van kinderen. Daar-

naast zijn er tal van studies gedaan naar de relatie tussen impliciete (leer)processen en andere psychologische processen, zoals informatieverwerking in het werkgeheugen, het aaneenschakelen van handelingen (sequentieeleren) en het nemen van beslissingen onder tijdsdruk. Hoewel dit allemaal belangrijke onderwerpen zijn, liggen ze te ver af van het doel van dit artikel - de waarde van impliciet leren voor de sportpraktijk opnieuw bepalen - om er een bespreking aan te wijden.

De literatuur over impliciet lerend overziend, valt op dat slechts een beperkt deel daarvan betrekking heeft op de sport, een veel kleiner deel dan voor het leren met een externe focus van aandacht (hoewel dat waarschijnlijk ook overwegend impliciet van aard is). Het beeld dat uit de literatuur verschijnt is diffuus, vooral wat betreft de gehanteerde leerstrategieën en de mate waarin deze als expliciet danwel impliciet zijn aan te merken. Om tot een nadere begripsafbakening te komen publiceerden Kleynen et al. (met Masters als laatste auteur) in 2014 een Delphi-studie over expliciet en impliciet leren.<sup>11</sup> Het is nuttig deze studie eerst te bespreken, alvorens aan de hand van systematische reviews, al dan niet met meta-analyse, de huidige evidentie voor de (vermeende) voordelen van impliciet leren voor de sportpraktijk te evalueren.

### Aangescherpte definities

In een Delphi-studie wordt een groot aantal experts al dan niet anoniem naar hun opvattingen gevraagd over een onderwerp waarover geen (volledige) consensus bestaat. De antwoorden van de groep als geheel worden vervolgens teruggekoppeld aan de individuele deelnemers met als doel in een aantal daarop volgende rondes consensus te bereiken.

Aan de Delphi-studie van Kleynen e.a. namen aan de eerste ronde 49 experts uit zowel de wetenschap (onderzoekers) als de zorg- en sport-

### Aangescherpte definities van expliciet en impliciet leren uit de studie van Kleynen e.a.<sup>11</sup> (uit het Engels vertaald door de auteur van dit artikel, cursieve tekst).

Expliciet motorisch leren *genereert verbale kennis over de bewegingsuitvoering (bijvoorbeeld feiten en regels), behelst cognitieve stadia in het leerproces en is afhankelijk van betrokkenheid van het werkgeheugen.*

Impliciet motorisch leren *voltrekt zich met geen of een minimale toename van verbale kennis over de bewegingsuitvoering (bijvoorbeeld feiten en regels) en zonder bewustzijn. Impliciet geleerde vaardigheden worden (onbewust) opgehaald uit het impliciete geheugen.*

praktijk (therapeuten, coaches en leraren) deel en aan de tweede ronde 44 (34 niet anoniem). Zij bereikten verregaande overeenstemming (met respectievelijk 95,5% en 88,6%) over de in het kader weergegeven definities van expliciet en impliciet motorisch leren.

Aan de eerder gegeven definities over het al dan niet kunnen verbaliseren van de opgedane kennis worden, althans zo is het consensusvoorstel, dus een aantal secundaire elementen toegevoegd, te weten werkgeheugen, cognitieve stadia, bewustzijn en geheugen. Opmerkelijk is echter dat deze termen niet symmetrisch terugkeren in beide definities, wat voor de hand zou liggen, aangezien het onderscheid tussen expliciet en impliciet leren bedoeld is als polaire tegenstelling.

### Motorische leerstrategieën

De Delphi-studie van Kleynen e.a. had tevens tot doel na te gaan in hoeverre de geraadpleegde experts hen bekende motorische leerstrategieën classificeerden als aanleiding gevend tot (meer) expliciete of (meer) impliciete vormen van motorisch leren. Hiertoe werd eerst een lijst met tien motorische leerstrategieën, die de auteurs geïdentificeerd hadden in de literatuur, voorgelegd aan de experts met de vraag of zij met deze leerstrategieën bekend waren, danwel deze gebruikten in hun onderzoek of praktijk. Op basis van de gegeven antwoorden werd

deze lijst teruggebracht naar zeven leerstrategieën, die elk van een nadere omschrijving werden voorzien:

- trial-and-error-leren;
- observationeel leren;
- foutloos leren;
- leren door mentale voorstelling;
- ontdekkend leren;
- dubbeltaakleren;
- analogieleren.

De ingekorte lijst werd vervolgens weer aan de experts teruggelegd met het verzoek aan te geven in hoeverre de leerstrategieën expliciet dan wel impliciet motorisch leren bevorderen. Hier bleek weinig consensus over te bestaan. In het algemeen waren de experts het erover eens dat analogieleren, foutloosleren en leren met een tweede cognitieve taak impliciet leren lijken te bevorderen. Ten aanzien van de overige vier leerstrategieën ontstond uit de gegeven antwoorden geen duidelijk beeld. Deze uitkomst is niet verrassend omdat alleen voor analogieleren, foutloosleren en dubbeltaakleren is aangetoond dat deze tot impliciet leren leiden, terwijl de overige vier leermethoden een andere theoretische herkomst hebben en niet specifiek ontworpen of omarmd zijn als operationalisatie van expliciet of impliciet leren. Opmerkelijk is tot slot dat leermethoden waarvan in de literatuur de suggestie is gedaan dat zij impliciet leren bevorderen, zoals differentieel leren, leren met een externe focus van aandacht en leren volgens de 'constraints-led approach', waarvan de

laatste onlangs in *Sportgericht* kritisch is belicht,<sup>12</sup> niet aan de orde kwamen. Het lijkt er op dat niet alle experts in de Delphi-studie even bekend waren met de literatuur. De auteurs maken echter wel een belangrijk punt, dat aansluit bij de opmaat van dit artikel, namelijk dat in elk leerproces expliciete en impliciete processen een rol spelen, waardoor het onmogelijk is de effectiviteit van expliciete en impliciete leerstrategieën zuiver te vergelijken. De kunst in onderzoek waarin de effecten van expliciete en impliciete leerstrategieën worden vergeleken, is een zo scherp mogelijk contrast te creëren tussen de (meer) impliciete leerstrategie en de (meer) expliciete leerstrategie in het interventiedesign.

### Bewijs anno 2023

In 2011 concludeerde ik dat het bewijs voor de voordelen van impliciet leren nog beperkt was en minder sterk dan voor leren met een externe focus van aandacht.<sup>4</sup> Hoe is dat 12 jaar later gesteld? Geven de inmiddels beschikbare systematische reviews en meta-analyses een beter bewijs? Een literatuurscan leverde drie systematische reviews over de veronderstelde voordelen van impliciet leren ten opzichte van expliciet leren op, waarvan één met meta-analyse. Elke studie betrof een ander aspect: één over het leren als zodanig (hoewel Masters daar strikt genomen geen voorspellingen over deed), één over de mate van automatisering en de derde (en belangrijkste, gezien de herinvesterings-hypothese) over de mate van choking.<sup>13-15</sup> Gelukkig bevatte juist deze laatste studie een meta-analyse.

### Beter leerresultaat?

Van Abswoude e.a. publiceerden een systematische review over studies waarin de effectiviteit van expliciete en impliciete leerstrategieën bij 4-12 jaar oude kinderen op de basisschool werd vergeleken.<sup>13</sup> In de review werden 25 studies onder de loep genomen, waaronder 20 labstudies en 5 veldstudies. De resultaten toonden

aan dat schoolkinderen bij beide leerstrategieën even goed leren, ongeacht of ze een achterstand in motorische ontwikkeling hadden of niet. In het beperkte aantal veldstudies leken de impliciete leerstrategieën evenwel superieur te zijn. De methodologische kwaliteit van een flink deel van de studies liet te wensen over, waardoor het onmogelijk was harde conclusies te trekken. Volgens de auteurs is het nodig de kwaliteit van het onderzoek te verbeteren door systematisch controlegroepen toe te voegen, te checken of de manipulaties het gewenste effect hadden en (mogelijk) relevante andere variabelen in het onderzoek te betrekken, waaronder het werkgeheugen, de leeftijd en de motorische competentie.

### Sterkere automatisering?

Kal e.a. verrichtten een systematische review om de hypothese te onderzoeken dat impliciet leren tot een sterkere automatisering leidt dan expliciet leren.<sup>14</sup> In de literatuur vonden zij (eveneens) 25 studies waarin de effecten van impliciet en expliciet leren werden vergeleken met betrekking tot de mate van automatisering (zoals bepaald met een dubbeltaak) in sportgerelateerde taken. De impliciet-leren-interventies in deze studies bestonden uit analogie-leren, foutloos leren, dubbeltaakleren en leren met een externe focus van aandacht, en de expliciet-leren-interventies uit op uiteenlopende manieren vormgegeven expliciete instructies. In 14 studies werd geen significant verschil gevonden tussen beide typen interventies op de mate van automatisering. In de studies waarin wel een significant verschil werd gevonden wees dat in de richting van een sterkere mate van automatisering door impliciet leren (9 versus 2 in het voordeel van impliciet leren). De auteurs beoordeelden de bewijskracht van de resultaten als matig, mede vanwege het (onbekende) risico op publicatiebias - de vertekening die ontstaat als positieve resultaten wel gepubliceerd worden, maar negatieve of onduidelijke resultaten niet. Om de bewijskracht

te vergroten is het volgens de auteurs noodzakelijk leerstudies uit te voeren volgens een standaard protocol met dezelfde richtlijnen voor het design en de rapportage van de bevindingen.

### Minder choking?

De essentie van Masters herinvesteringshypothese is dat impliciet aangeleerde motorische vaardigheden minder kwetsbaar zijn voor verval tijdens mentale druk dan expliciet aangeleerde vaardigheden. Cabral e.a. onderzochten het bewijs voor deze hypothese in een systematische review met meta-analyse.<sup>15</sup> Zij includeerden 10 studies in hun onderzoek waarin één groep deelnemers een motorische vaardigheid impliciet leerde en een andere groep expliciet. Vervolgens moesten beide groepen de aangeleerde vaardigheid uitvoeren onder zowel lage als hoge mentale druk. Zeven studies rapporteerden een significant voordeel van impliciet leren wanneer de deelnemers de aangeleerde vaardigheid onder mentale druk uitvoerden. Onder hoge druk bleken zij verrassend genoeg de aangeleerde vaardigheid bovendien beter uit te voeren dan onder lage druk. Deze resultaten ondersteunen de herinvesteringshypothese. De auteurs hielden echter wel een slag om de arm omdat het risico op publicatiebias groot bleek te zijn en de studies een lage statistische power (dat wil zeggen een gering aantal deelnemers) kenden. In een reactie op dit review gaven Bobrownick e.a.<sup>16</sup> met recht aan dat het een hele uitdaging is om deze bevindingen te vertalen naar 'real world settings' en daar hard te maken.

### Conclusie

Uit de resultaten van de systematische reviews kan geconcludeerd worden dat het bewijs voor de voordelen van impliciet leren nog altijd bescheiden is. Hierbij moet wel worden aangetekend dat de bevindingen met betrekking tot de mate van automatisering en de mate van herinvestering de door Masters voorspelde kant op wijzen. Gegeven dat leerinterventies nooit



**Figuur 4** | Moet een technische sport als golf (overwegend) expliciet of (overwegend) impliciet worden aangeleerd?

zuiver impliciet of zuiver expliciet zijn, is het bewijs voor impliciet leren feitelijk wat sterker dan het lijkt. Voor geen van de bestudeerde aspecten geldt dat de impliciete leerstrategieën als inferieur aan de (in de studies gehanteerde) expliciete leerstrategieën uit de bus kwamen, wat een belangrijk gegeven is, ook voor de praktijk.

### Praktische toepassingen

Op basis van deze overwegingen blijft het de moeite waard om impliciet leren toe te passen in de sportpraktijk, ondanks het feit dat de wetenschap (nog) geen sluitende antwoorden heeft op de meeste (basale) praktijkvragen. Frequent terugkerende voorbeelden hiervan zijn:

- Wat zijn de beste (meer) impliciete leermethoden om in te zetten bij de training van een technische vaardigheid (zie figuur 4)?
- In welk stadium van de ontwikkeling en bij welk vaardigheidsniveau moeten sporters en coaches (vooral) gebruikmaken van (meer) impliciete leermethoden?
- En bij wie wel en bij wie niet?

Analogieleren en leren met een externe focus van aandacht komen wat mij betreft als eerste in aanmerking om toe te passen in de sportpraktijk. Analogieleren omdat daarvoor is bewezen dat het een vorm van impliciet leren

is en leren met een externe focus van aandacht omdat daarvoor bewezen is dat het motorisch leren bevordert en waarschijnlijk ook een vorm van impliciet leren is. Verder lijken beide methoden van (meer) impliciet leren goed toepasbaar in alle fasen van de ontwikkeling en bij alle vaardigheidsniveaus. Het volgt echter uit de herinvesteringshypothese dat men er het beste in een vroeg stadium mee kan beginnen om een te sterke afhankelijkheid van eerder opgedane expliciete kennis te voorkomen. Daaruit volgt dat praktische toepassingen van de inzichten over impliciet motorisch leren met name geïmplementeerd zouden moeten worden in jeugdopleidingen en talentprogramma's, en in het verlengde daarvan dat kennis over deze methoden zou moeten worden opgenomen in de opleiding van jeugdtrainers en talentcoaches.

De laatstgenoemde praktijkvraag - bij wie wel en bij wie niet? - is de belangrijkste. Hoewel het lastig is gebleken individuele leerstijlen op een valide en betrouwbare manier te classificeren<sup>17</sup>, zijn er wel degelijk grote verschillen tussen individuele sporters in de manier waarop ze motorische vaardigheden leren en welke instructies en feedback het beste bij hen passen. Het is daarmee goed mogelijk dat een (meer) impliciete leerstrategie beter aan-

sluit bij de ene sporter en een (meer) expliciete leerstrategie bij een andere sporter. Om hier voorafgaand aan het trainingsproces informatie over in te winnen, zijn verschillende psychologische tests beschikbaar, waaronder tests om het verbale werkgeheugen en tests om de geneigdheid tot bewuste sturing van bewegingen te bepalen. Individuen die hoog scoren op deze tests zouden wel eens meer gebaat kunnen zijn bij een (meer) expliciete leerstrategie, terwijl individuen die op deze tests laag scoren mogelijk meer gebaat zijn bij een (meer) impliciete leerstrategie. Kok e.a. hebben op deze wijze aangetoond dat het op individuele leest schoeien van expliciete en impliciete instructiemethoden op het verbale werkgeheugen van kinderen in het speciale onderwijs motorisch leren bevordert.<sup>18</sup> Het zou interessant zijn dezelfde benadering toe te passen in de sport, wat kan door de tests in kwestie voor de praktijk beschikbaar te maken.

### MSRS

Een test die in deze context en dit artikel met name onder de aandacht gebracht dient te worden, is de door Masters ontwikkelde Movement-Specific Reinvestment Scale (MSRS).<sup>19</sup> De MSRS bestaat uit slechts tien items die de individuele neiging tot herinvesteren meten in bewegingsspecifieke situaties en gescored worden op een zespuntsschaal. De test is gemakkelijk en in een korte tijd af te nemen. Bovendien is er een gevalideerde Nederlandse vertaling van de test beschikbaar.<sup>20,21</sup> De scores op de test hebben betrekking op twee dimensies, te weten het zelfbewustzijn van de motoriek ('movement self-consciousness', MSC, items 2, 5, 6, 8 en 10) en het bewust verwerken van motorische informatie ('conscious motor processing', CMP, items 1, 3, 4, 7 en 9). Het zou interessant zijn als deze test in de sport gebruikt gaat worden om de gehanteerde leerstrategie af te stemmen op de individuele sporter, en na te gaan of dit werkt.

## Nederlandse versie van de Movement-Specific Reinvestment Scale (MSRS)

Score alle items op de zespuntsschaal:

	(helmaal mee oneens)	(redelijk mee oneens)	(een beetje mee oneens)	(een beetje mee eens)	(redelijk mee eens)	(helmaal mee eens)
	1	2	3	4	5	6
1. Ik kan me herinneren wanneer het me niet lukte mijn beweging uit te voeren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Als ik mijn spiegelbeeld zie, bekijk ik mijn bewegingen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Ik denk veel na over mijn bewegingen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Ik probeer na te denken over mijn bewegingen als ik ze uitvoer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Ik voel me ongemakkelijk over hoe ik eruit zie tijdens het bewegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Ik heb het gevoel dat ik mezelf bekijk tijdens het bewegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Ik ben me bewust van de manier waarop mijn lichaam werkt als ik een beweging uitvoer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Ik maak me zorgen over mijn manier van bewegen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Ik probeer uit te zoeken waarom mijn bewegingen mislukken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Ik maak me zorgen over wat anderen van mij denken als ik beweeg.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### Over de auteur

Prof. **Peter J. Beek** is hoogleraar Coördinatiedynamica 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.

- Masters R (1992). Knowledge, knerves and know-how: the role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. *British Journal of Psychology*, 83 (3), 343-358.
- Kooijman JDG et al. (2011). A bicycle can be self-stable without gyroscopic or caster effects. *Science*, 332 (6027), 339-342.
- The Backwards Brain Bicycle – Smarter Every Day 133 (<https://www.youtube.com/watch?v=MFzDaBzBIL0>); The Backwards Bicycle: What it Takes to Unlearn Old and Learn New Habits (<https://www.youtube.com/watch?v=CqwfGUhYBEA>); Smarter Every Day Challenge: Learn the Backwards Brain Bike (<https://www.youtube.com/watch?v=ol2aMKwXnE>).
- Beek PJ (2011). Nieuwe, praktisch relevante inzichten in techniektraining. Motorisch leren: het belang van impliciete kennisopbouw (deel 3). *Sportgericht*, 65 (4), 12-16.
- Schmidt RA (1988). *Motor control and learning. A behavioral emphasis*. Champaign-Urbana, Ill: Human Kinetics Publishers.
- Polanyi M (1967). *The tacit dimension*. New York: Anchor Books. Gebaseerd op de Terry Lectures die hij in 1962 gaf over 'tacit knowledge' te Yale.
- Liao CM & Masters RSW (2001). Analogy learning: a means to implicit motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 19 (5), 307-319.
- Maxwell JP, Masters RSW & Weedon E (2001). The implicit benefit of learning without errors. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A - Human Experimental Psychology*, 54 (4), 1049-1068.
- Poolton JM et al. (2006). Benefits of an external focus of attention: common coding or conscious processing? *Journal of Sports Sciences*, 24 (1), 89-99.
- Raab M, Masters RSW & Poolton J (2009). Discovery learning in sports: implicit or explicit processes? *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 7 (4), 413-430.
- Kleynen M et al. (2014). Using a Delphi technique to seek consensus regarding definitions, descriptions and classification of terms related to implicit and explicit forms of motor learning. *PLoS One*, 9 (6): e100227.
- Bosch F (2022). De constraints-led approach kritisch beschouwd. Deel 1: Wat is 'taak' en wat is 'omgeving'? *Sportgericht*, 76 (4), 2-5.
- Abswoude F van et al. (2021). Implicit motor learning in primary school children: a systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 39 (22), 2577-2595.
- Kal E et al. (2018). Does implicit motor learning lead to greater automatization of motor skills compared to explicit motor learning? A systematic review. *PLoS One*, 13 (9): e0203591.
- Cabral DAR, Wilson AF & Miller MW (2022). The effect of implicit learning on motor performance under psychological pressure: a systematic review and meta-analysis. *Sport Exercise and Performance Psychology*, 11 (3), 245-263.
- Bobrowicki R, Carson HJ & Collins D (2022). Conducting systematic reviews of applied interventions: a comment on Cabral et al. (2022). *Sport Exercise and Performance Psychology*, 11 (3), 264-274.
- Beek PJ (2014). Nieuwe, praktisch relevante inzichten in techniektraining (deel 10): Motorisch leren: individuele verschillen en leerstijlen. *Sportgericht*, 68 (3), 2-7.
- Kok M et al. (2021). Tailoring explicit instruction methods to the verbal working memory capacity of students with special needs can benefit motor learning outcomes in physical education. *Learning and Individual Differences*, 89, 102019.
- Masters RSW, Eves FF & Maxwell JP (2005). Development of a Movement Specific Reinvestment Scale. *Proceedings of the ISSP 11th World Congress of Sport Psychology*; 2005 Aug 15-19; Sydney, Australia.
- Kleynen M et al. (2013). Investigating the Dutch Movement-Specific Reinvestment Scale in people with stroke. *Clinical Rehabilitation*, 27 (2), 160-165.
- Kal E et al. (2016). The inclination for conscious motor control after stroke: validating the Movement-Specific Reinvestment Scale for use in inpatient stroke patients. *Disability and Rehabilitation*, 38 (11), 1097-106.

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 allerlei 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

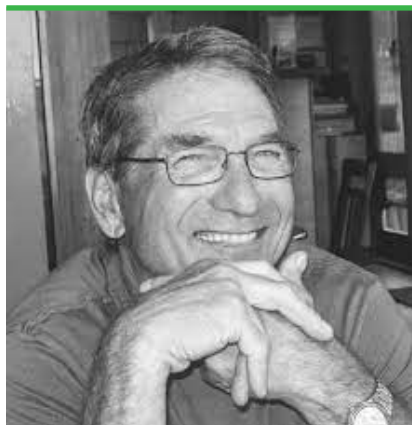
Een pionier in de studie van de menselijke motoriek was Franklin Henry, die in 1960 samen met Donald Rogers de *memory drum*-theorie introduceerde.<sup>4</sup> De *drum* of trommel in deze theorie is te vergelijken met de harde schijf van een computer, waarop de programma's zijn opgeslagen die afgespeeld 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 opdrachtssignalen 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.

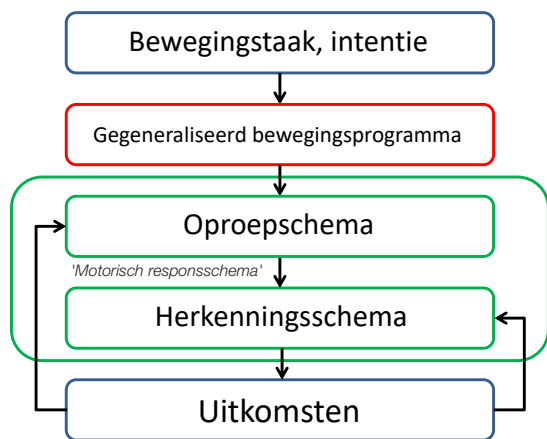


**Figuur 1** | Richard ('Dick') Schmidt, auteur van de schematheorie.

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 nieuwhedsp probleem. 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 nieuwhedsp probleem.

### Bartletts schemabegrip

Om het opslagprobleem en het nieuwhedsp probleem 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 lange-termijngeheugen. 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

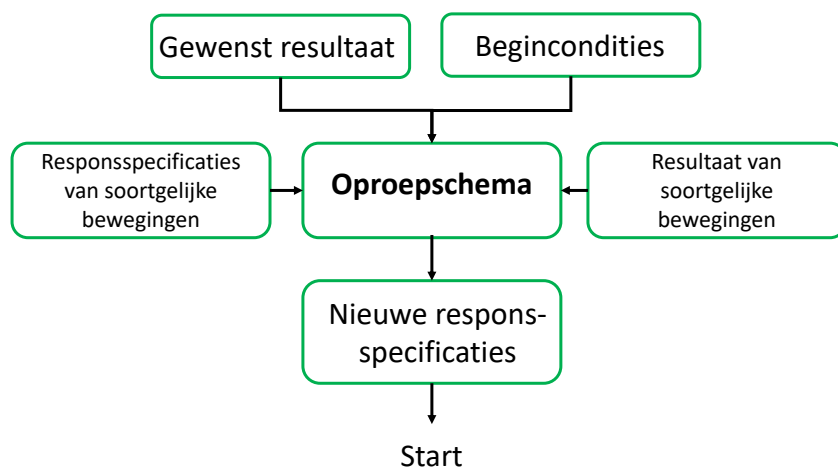
grammofoonplaat als metafoor. Je kunt de plaat snel of langzaam afspelen en zacht of luid, maar de compositie en de verhoudingen in de timing en het volume van de klanken blijven onveranderd. Hetzelfde geldt voor de uitvoering van een complexe beweging: de invarianten liggen vast, maar de parameters 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 nieuwigheidsprobleem op, omdat het GMP alleen de invariante kenmerken van de beweging vastlegt en niet de parametrisering ervan. Dat gebeurt door het motorisch responsschema.

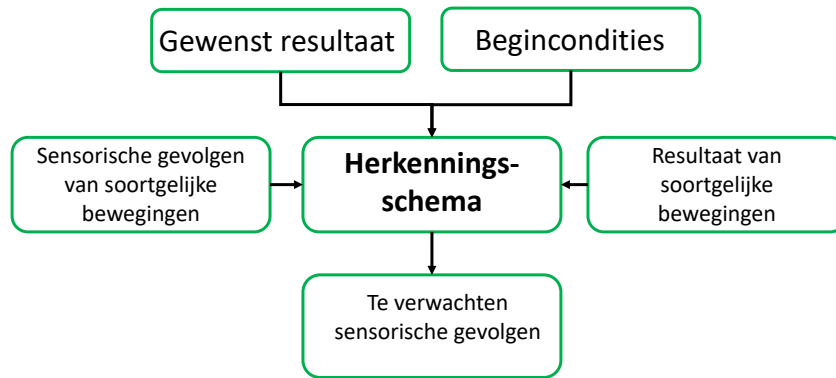
### Schmidts schematheorie: oproepschema en herkenningsschema

Het motorisch responsschema 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 responsspecificaties. Gegeven het gewenste resultaat van de beweging en de begincondities, worden op basis van eerdere gegeven responsspecificaties van soortgelijke bewegingen en de uitkomsten daarvan nieuwe responsspecificaties opgesteld (zie figuur 3). Naast het opstellen van de responsspecificaties 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 responsspecificaties 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 responsspecificaties 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 responsspecificaties 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 responsspecificaties 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 responsspecificaties; 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 nieuwhedsp probleem 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 nieuwhedsp probleem 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 responsspecificaties 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 responsspecificaties

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 bewegingstaken 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 waardeningen

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 feedbackgereguleerde 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 verhalende 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 kunstrije 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.

Uit de schematheorie van Schmidt<sup>1</sup> volgt dat het verwerven van een motorische vaardigheid gebaat is bij variatie in het oefenen daarvan. In aanvulling daarop stelt het contextuele interferentie-model dat het verwerven van verschillende motorische vaardigheden wordt bevorderd door deze in random volgorde te oefenen. Maar is dat ook zo in de sport?

## Motorisch leren, een update

### Deel 5: Contextuele interferentie, een mythe?

**Peter J. Beek**

Motorische leerprocessen zijn afhankelijk van een zeer groot aantal factoren, samenhangend met het lerende individu, de gehanteerde leer methode, eventuele hulpmiddelen, de coach of trainer en de fysieke en sociale omgeving. Hierdoor is het geen eenvoudige taak om het oefenproces van motorische vaardigheden in de sport zo in te richten dat een zo goed mogelijk leereffect in termen van (lange) retentie en (hoge) transfer wordt bewerkstelligd. Toch is het van groot praktisch belang daarnaar te blijven streven. In de (top)sport wordt immers getraind om het prestatieniveau te verbeteren, vaak in competitief verband. De daarvoor beschikbare middelen (tijd, geld en energie) kunnen maar één keer worden ingezet. Dus is het zaak dat goed en verantwoord te doen. Binnen het onderzoek naar motorisch leren wordt dan ook druk gezocht naar factoren die het leereffect versterken, om deze vervolgens te implementeren in de sporttraining.

#### Combineren van oefeningen

Relatief veel aandacht is daarbij in de loop der jaren uitgegaan naar de

vraag hoe verschillende oefeningen het beste kunnen worden geordend. Het zogenoemde contextuele interferentie- of CI-effect, waaraan ik reeds in 2011 een *Sportgericht*-artikel<sup>2</sup> heb gewijd, vervult hierbij een hoofdrol. Ik onderstreepte destijds de potentiële waarde van het CI-model voor de sport, maar hield ook een slag om de arm omdat die waarde toen nog niet voldoende was aangetoond. Nu, 12 jaar later, is het nuttig om opnieuw de balans op te maken ten aanzien van de vraag of het CI-effect van waarde is voor de sport. Daarbij zijn herhalingen in de bespreking onvermijdelijk, maar dat mag gezien het onderwerp geen probleem zijn! Herhalingen komen, aldus het CI-model, immers het leerproces ten goede, mits de context maar voldoende afwisselend is.

#### Oorsprong in laboratorium-studies

Het CI-effect werd voor het eerst vastgesteld door Battig<sup>3,4</sup> in diens onderzoek naar het verwerven van verbale vaardigheden. Battig vergeleek het effect van twee verschillende oefenschema's, te weten een schema waarin meerdere vaardigheden in random volgorde werden geoefend en een schema waarin dezelfde vaardigheden achter elkaar in blokken werden herhaald, zonder tussen-

komst van andere vaardigheden. En wat bleek? Random oefenen leidde tot minder vooruitgang in de acquisitie- of oefenfase dan geblokt oefenen, maar tot betere resultaten op retentie- en transfertests. Omgekeerd leidde geblokt oefenen tot een sterkere vooruitgang tijdens de acquisitiefase, maar tot een slechter leerresultaat in termen van retentie en transfer. Battig noemde dit het CI-effect om aan te geven dat het omringen van een te leren vaardigheid (de 'tekst') door andere vaardigheden (de 'context') leidt tot verstoring ('interferentie') tijdens het oefenen, die het leren bevordert. Volgens Bjork en Bjork<sup>5</sup> is CI daarmee een 'desirable difficulty', dat wil zeggen een factor die het oefenen weliswaar bemoeilijkt, maar het leren bevordert en daarom wenselijk is.

#### CI en motorisch leren

In 1979 introduceerden Shea en Morgan<sup>6</sup> het CI-model in het onderzoeksveld van motorisch leren. Zij deden dat in een baanbrekende studie naar het leren van drie motorische taken, die eruit bestonden dat een zestal houten barrières in een voorgeschreven volgorde moesten worden omgestompt met een tennisbal in de hand. De resultaten van het onderzoek kwamen volledig overeen met de bevindingen van



**Figuur 1** | John B. Shea van Indiana University, die samen met Robyn L. Morgan voor het eerst het CI-effect aantoonde in een motorisch leerproces.

Battig en zijn theoretische interpretatie daarvan. Lee en Magill<sup>7</sup> introduceerden naast het geblokte en het random oefenschema uit het onderzoek van Shea en Morgan vervolgens een derde, zogenoemd serieel oefenschema, waarin de aan te leren

motorische vaardigheden elkaar in een vaste volgorde afwisselen. Serieel oefenen houdt daarmee het midden tussen geblokt en random oefenen en bevat elementen van beide: de voorspelbaarheid van geblokt oefenen en de afwisseling (interferentie) van random oefenen. Lee en Magill waren benieuwd of serieel oefenen meer lijkt op geblokt oefenen of op random oefenen; de resultaten wezen duidelijk op het laatste. Dit is praktisch relevant, omdat serieel oefenen zich in een groepstraining veel gemakkelijker laat organiseren (in de vorm van een oefencircuit) dan random oefenen. De studies van Shea en Morgan<sup>6</sup> en Lee en Magill<sup>7</sup> gaven aan de belangstelling voor de rol van variatie in motorische leerprocessen, die was ontstaan door Schmidts schematheorie, een tweede impuls vanuit een andere invalshoek (zie kader). Het CI-effect werd in tal van laboratoriumstudies bevestigd aan de hand van relatief simpele taken. Hierdoor raakten veel onderzoekers ervan overtuigd dat het effect reëel

is en dat het CI-model een belangrijk leerprincipe vertolkt.

## Verklaringen

Voor het tweeledige CI-effect - (1) tragere acquisitie en (2) betere retentie en transfer - zijn diverse verklaringen aangedragen, voornamelijk cognitieve. Het nadelige effect van CI tijdens random oefenen op de acquisitie is toegeschreven aan de overbelasting van het werkgeheugen die optreedt door meerdere motorische vaardigheden door elkaar heen te oefenen.<sup>9</sup> Een alternatieve 'verklaring', die minder nadruk legt op cognitieve processen en daarom de voorkeur geniet in de *constraints-led approach*<sup>10</sup>, is simpelweg te stellen dat CI het oefenproces bemoeilijkt. De belangrijkste verklaringen voor het voordelige effect van CI op het leren (retentie en transfer) zijn de bewerkingshypothese van Shea en Morgan<sup>6,11</sup> en de actieplan-reconstructie-hypothese van Lee en Magill<sup>7,12</sup>. Beide verklaringen heb ik beschreven in mijn eerste arti-

## Variaties in variabel oefenen: schematheorie en contextuele interferentie (CI)

Zoals toegelicht in het vorige artikel in deze reeks<sup>1</sup>, bestaat variabel oefenen volgens de schematheorie uit het aanbrengen van variatie in de uitvoering van één specifieke motorische vaardigheid met als doel het motorische responschema voor deze vaardigheid te versterken. Een sterker schema stelt de actor beter in staat het gegeneraliseerde bewegingsprogramma (GMP) voor de betreffende motorische vaardigheid om te zetten in een specifiek bewegingsprogramma met parameters ('responsspecificaties') die zijn afgestemd op het gewenste doel en de vigerende begincondities. Variabel oefenen volgens de schematheorie komt anders gezegd neer op het herhaald oefenen van dezelfde motorische vaardigheid met verschillende parameters, waarbij de invariante, niet-variabele kenmerken van de bewegingsuitvoering vastliggen in het GMP.

Het CI-effect is gebaseerd op een ander, aanvullend type variatie in het oefenproces, namelijk op de volgorde waarin meerdere motorische vaardigheden in het oefenproces worden betrokken. Magill en Hall<sup>8</sup> definieerden het CI-effect als volgt: 'het effect op motorisch leren van de mate van interferentie die aanwezig is

in een oefensituatie waarin verschillende taken geleerd moeten worden en samen worden geoefend' (vertaling mijnerzijds). Daarbij wordt meestal aangenomen dat de betreffende taken of motorische vaardigheden betrekking hebben op verschillende GMPs, maar dat is, zoals Magill en Hall onderkennen, niet strikt noodzakelijk. De volgorde waarin meerdere motorische vaardigheden of -technieken uitgevoerd worden, is onafhankelijk van de vraag of die vaardigheden refereren aan hetzelfde GMP of aan verschillende GMPs. De schematheorie heeft betrekking op het aanbrengen van variatie binnen een GMP, en de mate van variatie (hoe meer variatie, des te beter het schema zich ontwikkelt), maar niet op de volgorde waarin die variatie tijdens het oefenen wordt aangebracht. Daar heeft het CI-model betrekking op. Andersom heeft het CI-model geen betrekking op de aard van de te oefenen motorische vaardigheden, maar alleen op de volgorde waarin deze het beste kunnen worden uitgevoerd. Naast dit kardinale verschil hebben de schematheorie en het CI-model een belangrijk uitgangspunt gemeen, namelijk dat de oefening erop gericht is de correcte bewegingstechniek met vooraf gedefinieerde, invariante kenmerken robuust onder de knie te krijgen. Met name in dit opzicht verschillen zij fundamenteel van Schöllhorns theorie over differentieel leren, die later in deze nieuwe reeks aan bod zal komen.

kel<sup>2</sup> over CI in *Sportgericht*, maar ik herhaal ze hier in andere bewoordingen omwille van mijn betoog en om onnodige naslagacties te voorkomen. Volgens de bewerkingshypothese bevordert CI motorisch leren omdat tijdens het oefenen alle bewegingstaken in het werkgeheugen gerepresenteerd blijven en daar voortdurend met elkaar worden vergeleken en bewerkt. Hierdoor wordt de verwerking van informatie verdiept, resulterend in scherpere representaties van de geoefende doeltaken. De actieplan-reconstructie-hypothese stelt hier tegenover dat het actieplan voor de voorgaande doeltaak steeds actief moet worden vergeten en vervangen door een nieuw actieplan voor de volgende doeltaak, dat actief moet worden geconstrueerd. Dit proces van actieve reconstructie van actieplannen voor elke doeltaak versterkt de representatie hiervan. Dit leidt tot een betere retentie en transfer dan bij geblokt oefenen, waarbij het actieplan voor de voorgaande poging of herhaling tot het einde van het blok bij elke volgende uitvoering opnieuw gebruikt kan worden. Hoewel wezenlijk verschillend, schrijven beide verklaringen het voordelige leereffect van CI toe aan een geïntensiverde vorm van informatieverwerking tijdens het oefenen, al valt hierover niet veel meer te zeggen dan reeds beschreven.

### Belofte voor de praktijk

Het inzicht dat het CI-effect een robuust en belangrijk leerprincipe reflecteert, leidde naast theorievorming tot hoge verwachtingen over de potentiële waarde ervan voor sport, revalidatie en lichamelijke opvoeding. Shea en Morgan<sup>6</sup> onderkennen dit belang al in hun pionierende onderzoek en schroomden niet om hun bevindingen direct te vertalen in een concreet advies aan de praktijk: betrek in oefen- en trainingssessies meerdere motorische vaardigheden en hussel die flink door elkaar, dat komt het aanleren van al deze vaar-

digheden ten goede. Toegepast op het volleybal zou dat advies uitgewerkt kunnen worden zoals in figuur 1, die ik gemakshalve heb overgenomen uit mijn eerdere artikel over CI in *Sportgericht*.<sup>1</sup> In dit figuur zijn drie oefenschema's weergegeven voor vier aan te leren volleybaltechnieken. In alle oefenschema's worden de vier technieken even vaak herhaald, maar de volgorde waarin dat gebeurt verschilt zodanig tussen de oefenschema's, dat de mate van CI - die overigens niet exact te kwantificeren valt - sterk verschilt: laag voor het geblokte oefenschema, hoger voor het seriële oefenschema en het hoogst voor het random oefenschema. Indien het CI-model in deze situatie van kracht is, dan zou dit betekenen dat de vier bewegingstechnieken tijdens het oefenen (acquisitie) het snelst verbeteren in het geblokte oefenschema, maar beter beklijven (retentie) en breder toepasbaar zijn (transfer) in het seriële en het random oefenschema. Mocht het CI-model inderdaad op het verwerven van motorische vaardigheden in de sport van toepassing zijn, dan zou het een uiterst waardevolle bouwsteen voor de techniektraining zijn. In dat geval zouden immers oefenschema's kunnen worden opgesteld waarmee het leren van

meerdere sportieve vaardigheden tegelijk kan worden bevorderd. Daarbij dient overigens wel beseft te worden dat het CI-model, zoals aangegeven in het eerdere kader, geen betrekking heeft op de aard en complexiteit van de aan te leren vaardigheden. In plaats van de vier volleybaltechnieken in figuur 1 had het oefenschema bij wijze van spreken even goed kunnen bestaan uit de volleybal-service, de badmintonbackhand, de hockeyflats en de radslag; het door het model voorspelde CI-effect zou hetzelfde zijn gebleven. Dat zou ook het geval zijn wanneer de aan te leren vaardigheden meer op elkaar zouden lijken, zoals het geval zou zijn bij het trainen van vier verschillende uitvoeringen van de set-up (voorwaarts, achterwaarts, zijwaarts en in een sprong). Dit lijkt niet erg plausibel, maar alvorens dit aspect nader te onderzoeken is het cruciaal om na te gaan of er überhaupt voldoende bewijs is om het CI-model in de sport toe te passen ter versterking van het trainingsproces.

### Gemengde bevindingen

Helaas is het CI-effect in (meer) toegepaste studies naar het leren van complexe, aan de sport ontleende vaardigheden een stuk minder ro-

Week	1		2		3		4	
Sessie	1	2	3	4	5	6	7	8
Geblokt	Service	Service	Set-up	Set-up	Smash	Smash	Blok	Blok
Seriële								
Random	Alle vier de vaardigheden worden in willekeurige volgorde even vaak geoefend		Alle vier de vaardigheden worden in willekeurige volgorde even vaak geoefend		Alle vier de vaardigheden worden in willekeurige volgorde even vaak geoefend		Alle vier de vaardigheden worden in willekeurige volgorde even vaak geoefend	

**Figuur 2** | Drie oefenschema's (geblokt, seriële en random) om variabel oefenen te organiseren (ontleend aan Beek<sup>2</sup>).



De meeste door Ammar et al.<sup>23</sup> geïnccludeerde studies hadden betrekking op taken ontleend aan balsporten, waarbij volleybal en golf het meest voorkwamen.

buust gebleken dan in laboratoriumstudies, waarin veelal eenvoudigere, manuele taken werden gebruikt. In mijn vorige artikel over CI in *Sportgericht*<sup>2</sup> besprak ik vier studies,<sup>13-16</sup> waarin het CI-model werd bevestigd voor taken ontleend aan de sport, waaronder de badmintonservice, de honkbalslag, de golfputt en basketbalpasses. Ik tekende daarbij echter aan dat er in de (toenmalige) literatuur ook diverse soortgelijke studies met afwijkende resultaten te vinden waren, onder andere voor het leren van volleybal-, tennis- en frisbee-technieken. Ook haalde ik Brady<sup>17</sup> aan, die reeds op basis van dergelijke afwijkende resultaten had geopperd dat het CI-effect in toegepaste situaties mogelijk minder sterk was dan in het laboratorium. In een eerder door hem uitgevoerde meta-analyse<sup>18</sup> had hij op basis van 61 studies met in totaal 139 effecten de gemiddelde grootte van het CI-effect (de zogenoemde effectgrootte, een maat voor de sterkte van een statistisch verband) voor zowel laboratoriumstudies als meer toegepaste studies bepaald. Het verschil tussen beide bleek met een gemiddelde effectgrootte van 0.57 voor het laboratoriumonderzoek versus 0.19 voor het

toegepaste onderzoek fors en significant te zijn. Dit resultaat strookt met het eerder in de literatuur geuite inzicht dat het CI-effect afhankelijk is van de complexiteit van de aan te leren vaardigheden en minder sterk is voor complexe vaardigheden (waaronder sportieve vaardigheden) dan voor relatief eenvoudige vaardigheden (zoals meestal gebruikt in het laboratoriumonderzoek).<sup>19</sup> Brady vond tevens een fors en significant verschil in de gemiddelde effectgrootte tussen oudere en jongere deelnemers, te weten 0.50 versus 0.10. Ook dit resultaat is in lijn met eerder in de literatuur geuite suggesties, namelijk dat de grootte van het CI-effect afhangt van het ervaringsniveau en de leeftijd van de deelnemers.<sup>20</sup> Bij onervaren deelnemers en kinderen is het CI-effect in de regel minder sterk dan bij ervaren en volwassen deelnemers. Het CI-effect is ook afhankelijk van de vraag of de aan te leren bewegingsvaardigheden betrekking hebben op meerdere GMPs of in feite (parametrische) variaties betreffen van dezelfde vaardigheid binnen één GMP;<sup>8</sup> indien het laatste het geval is, is het CI-effect minder sterk of geheel afwezig.<sup>21</sup>

Tot slot is het CI-effect afhankelijk van de duur van de acquisitiefase en het interval tussen de acquisitiefase en de retentie- en transferfase. Hoe langer de acquisitiefase, des te sterker het effect,<sup>22</sup> maar hoe langer het interval tussen de acquisitiefase en de retentie- en transferfase, des te zwakker het effect. Er zijn dus heel wat factoren van invloed op het CI-effect, waaronder het ervaringsniveau van de beweger en de complexiteit van de doeltaken. De vraag of het CI-effect nu wel of niet opgaat in de sport vergt daarom een grondige statistische aanpak, waarin deze invloeden op een solide en betrouwbare wijze worden geanalyseerd, oftewel een meta-analyse.

### De genadeklap

Recent is een omvattende systematische review en meta-analyse van Ammar et al.<sup>23</sup> verschenen (met Schöllhorn als laatste auteur), die specifiek tot doel had vast te stellen of het CI-effect generaliseerbaar is naar de sportpraktijk. In de betreffende studie werden op basis van een uitgebreide speurtocht in vijf elektronische databestanden uiteindelijk 37 studies voor nadere analyse geïnccludeerd. Een vergelijkbaar aantal studies (35) werd geëxcludeerd om methodologische redenen, waaronder het ontbreken van een garantie dat de controlegroep en de experimentele groep(en) voorafgaande aan de leerinterventies niet van elkaar verschilden. De voornaamste inclusiecriteria waren 1) dat de onderzoeken waren verricht met gezonde deelnemers, 2) dat ze betrekking hadden op het onder de knie krijgen van één of meer vaardigheden of taken ontleend aan een sport, en 3) dat de verschillen tussen geblokt en random oefenen werden onderzocht aan de hand van uitkomstmaten, zoals bepaald met post-acquisitie-, retentie- en transfertests. De meeste geïnccludeerde studies (27 van de 37) hadden betrekking op taken ontleend aan balsporten,

waarbij volleybal (7) en golf (4) het meest voorkwamen. In 25 van de 37 studies waren de deelnemers onervaren en in (slechts) 5 van de 37 studies ervaren; in de overige 7 studies bestonden de deelnemers uit beginners of gevorderden of een mix van ervaren en onervaren. Daarnaast verschilden de studies in tal van andere opzichten, zoals de duur van de acquisitiefase, het aantal oefensessies, de duur daarvan en andere kenmerken van het studie-design. De kwaliteit van de studies werd geëvalueerd met een daartoe geëigend instrument (de zogenoemde PEDRO-schaal); 27 studies bleken van goede kwaliteit te zijn en de resterende 10 van redelijke kwaliteit. Vervolgens werd op verschillende manieren onderzocht in hoeverre de resultaten van de 37 geselecteerde studies in overeenstemming waren met de beide onderdelen van de CI-hypothese, te weten een tragere acquisitie maar een betere retentie en transfer voor random oefenen versus geblokt oefenen. Hiertoe werd eerst onderzocht hoeveel uitkomstmaten in de verschillende testfases (acquisitie, retentie en transfer) significante verschillen vertoonden tussen geblokt en random oefenen. De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in tabel 1, waarin het aantal significante effecten in overeenstemming met de CI-hypothese in groen is weergegeven en het aantal significante effecten in strijd met de CI-hypothese in rood. Zoals uit de tabel direct valt op te maken, leverde deze analyse voor beide onderdelen van de CI-hypothese uiterst weinig steun op. In elke testfase werd in de meerderheid van de uitkomstmaten geen verschil gevonden tussen geblokt en random oefenen en stond tegenover een beperkt aantal significante effecten ten gunste van de CI-hypothese een beperkt aantal significante effecten in strijd met de CI-hypothese (zij het iets geringer in aantal). Meta-analyses van alle stu-

testfase	aantal significante uitkomstmaten ten faveure van geblokt oefenen	aantal significante uitkomstmaten ten faveure van random oefenen	aantal uitkomstmaten zonder significant verschil tussen geblokt en random oefenen
acquisitie	18 (17%)	8 (8%)	77 (75%)
retentie	12 (14%)	19 (23%)	53 (63%)
transfer	5 (13%)	6 (16%)	27 (71%)

**Tabel 1** | Aantal uitkomstmaten dat de voorspellingen van het CI-model ondersteunt ten aanzien van acquisitie, retentie en transfer (ontleend aan Ammar et al.<sup>23</sup>).

dieresultaten tezamen brachten dan ook geen statistisch significante verschillen tussen geblokt en random oefenen aan het licht in enige van de drie testfases. In aanvullende subgroepanalyses werd slechts één significant resultaat gevonden ten gunste van de CI-hypothese: tussen de 20 en 24 jaar oude individuen bleken een inferieure voortgang tijdens de acquisitiefase te vertonen en een superieure retentie, maar geen superieure transfer. Andere subgroepanalyses gebaseerd op ervaring, vaardigheid, type sport en testprotocol leverden geen significante resultaten op. Kortom, van het vermeende voordeel van CI in de sport blijft in deze systematische review en meta-analyse bar weinig over. Niet voor niets noemen de auteurs dit vermeende voordeel in de titel van hun artikel een mythe, een mythe die zij met hun studie om zeep hebben geholpen.

### Conclusie en discussie

De conclusie van de studie van Ammar et al.<sup>23</sup> is dat het CI-effect alleen optreedt onder zeer specifieke omstandigheden, zoals aan de orde in laboratoriumstudies, en niet generaliseerbaar is naar het leren van complexe sportgerelateerde vaardigheden. Een meta-analyse van de resultaten van alle goed uitgevoerde studies naar het CI-effect bij het verwerven van dergelijke vaardigheden leverde geen significante verschillen op tussen geblokt

en random oefenen in acquisitie-, retentie- en transfertests. Slechts in enkele deelanalyses werd steun voor de CI-hypothese gevonden, waaronder de bevinding dat het tweeledige effect van verminderde acquisitie en betere retentie alleen optreedt bij jong volwassenen.

Vanzelfsprekend hebben deze resultaten consequenties voor de voorgestelde theoretische verklaringen van het CI-effect. De reikwijdte daarvan wordt door de resultaten danig ingeperkt. De verklaringen zijn alleen nog relevant voor de laboratoriumstudies waarin het CI-effect wel werd gevonden, maar niet voor de techniektraining in de sport. Wetenschappelijk gezien vereist een dergelijke situatie dat de randvoorwaarden gespecificeerd worden waaronder de geboden verklaringen van kracht zijn. Dat zal niet snel gebeuren, maar het is wel nuttig om stil te staan bij de vraag waarom het CI-effect in het laboratoriumonderzoek zo robuust is, terwijl daar in het toepassingsgerichte onderzoek weinig tot niks van overblijft. Hoe is dat mogelijk?

Het ligt voor de hand het antwoord op die vraag te zoeken in het verschil in complexiteit tussen de relatief eenvoudige, fijnmotorische vaardigheden in het laboratoriumonderzoek en de ingewikkelde sportgerelateerde motorische vaardigheden in het op toepassing gerichte onderzoek. Veel vaardigheden in deze laatste categorie vergen

dynamische balanshandhaving van het gehele lichaam terwijl de armen en benen complexe, meerledige bewegingen uitvoeren, vaak in interactie met een voorwerp of omstandigheden in de omgeving, waarbij dan ook nog eens in korte tijd beslissingen moeten worden genomen. Het is goed voorstelbaar dat de fysieke en mentale eisen die aan sportieve of sportgerelateerde vaardigheden worden gesteld in zichzelf al een hoge mate van interferentie met zich meebrengen. Als dat inderdaad het geval is, dan is het vervolgens goed mogelijk dat de interferentie die gecreëerd wordt door random te oefenen weinig tot niets toevoegt en anderszins in de intrinsiek aanwezige interferentie, waardoor het leervoordeel van random oefenen verloren gaat. Albaret en Thon<sup>24</sup> toonden reeds een kwart eeuw geleden aan dat het CI-effect minder sterk wordt naarmate de experimentele taak (in hun studie een schrijftaak) toeneemt in complexiteit en hogere eisen aan het geheugen stelt. Dit is een van de redenen waarom principes die zijn vastgesteld in onderzoek naar het verwerven van eenvoudige vaardigheden zich niet goed laten genera-

liseren naar het leren van complexe vaardigheden.<sup>19</sup> Onderzoekers doen er dan ook verstandig aan dit niet te doen.

Terugblikkend kan gesteld worden dat Shea en Morgan<sup>6</sup> al te voorbarig waren met het belichten van de praktische implicaties van hun ontdekking. Zoiets kan de praktijk veel schade doen. Gelukkig valt dat in het onderhavige geval mogelijk mee omdat uit de meta-analyse van Ammar et al.<sup>23</sup> blijkt dat over al het onderzoek heen geblokt oefenen en random oefenen niet voor elkaar onder doen voor wat betreft acquisitie, retentie en transfer. Moet de conclusie dan zijn dat het in de sportpraktijk niet uitmaakt in welke volgorde oefeningen van vaardigheden worden aangeboden? Nee, dat ook niet. Wat uit het onderzoek blijkt is dat acquisitie, retentie en transfer het resultaat zijn van het samenspel tussen ervaring, vaardigheidsni-

veau, taakcomplexiteit en oefenvolgorde, dat alleen op individueel niveau valt te optimaliseren. Waar de ene sporter juist gebaat is bij het geblokt oefenen van complexe taken, omdat die al voldoende uitdagend zijn, kan een andere sporter juist gebaat zijn bij random oefenen, om voor een extra prikkel in de informatieverwerking door het brein te zorgen. Welke mix van ingrediënten het beste past bij welke sporter, is een vraag voor de coach of trainer; de wetenschap is vooralsnog niet bij machte die te beantwoorden. Om tot inzichten te komen met een grotere praktische toepasbaarheid doen wetenschappers er verstandig aan het onderzoek meer te richten op het individu, dan wel op groepen van individuen met vergelijkbare kenmerken. Middeling van meetgegevens over veel individuen zal vaker wel dan niet tot nulresultaten leiden.

### 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. Beek PJ (2023). Motorisch leren, een update. Deel 4: Variabel oefenen volgens de schematheorie. *Sportgericht*, 77 (3), 2-9.
2. Beek PJ (2011). Nieuwe, praktisch relevante inzichten in techniektraining. Motorisch leren: het belang van contextuele interferentie (deel 4). *Sportgericht*, 65 (5), 2-6.
3. Battig WF (1966). Facilitation and interference. In EA Bilodeau (Ed.), *Acquisition of skill* (pp. 215-244). Academic Press.
4. Battig WF (1979). The flexibility of human memory. In LS Cermak & FIM Craik (Eds.), *Levels of processing in human memory* (pp. 23-44). Erlbaum.
5. Bjork RA & Bjork EL (2020). Desirable difficulties in theory and practice. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 9 (4), 475-479.
6. Shea JB & Morgan R (1979). Contextual interference effects on the acquisition, retention, and transfer of motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 179-187.
7. Lee TD & Magill RA (1983). The locus of contextual interference in motor-skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 9, 730-746.
8. Magill RA & Hall KG (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Science*, 9, 241-289.
9. Gentile AM (1998). Movement science: implicit and explicit processes during acquisition of functional skills. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 5 (1), 7-16.
10. Davids K, Button C & Bennett S (2008). *Dynamics of skill acquisition: a constraints-led approach*. Human Kinetics.
11. Shea JB & Zimny ST (1983). Context effects in memory and learning movement information. *Advances in Psychology*, 12, 345-366.
12. Lee TD & Magill RA (1985). Can forgetting facilitate skill acquisition? In D Goodman, RB Wilberg & IM Franks (Eds.), *Differing perspectives in motor learning, memory and control* (pp. 3-22). Amsterdam: North-Holland.
13. Goode SL & Magill RA (1986). The contextual interference effect in learning

- three badminton services. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57, 308-314.
14. Wrisburg CA & Liu Z (1991). The effect of contextual variety on the practice, retention, and transfer of an applied motor skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62, 406-412.
15. Hall KG, Domingues DA & Cavazos R (1994). Contextual interference effects with skilled basketball players. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 835-841.
16. Porter JM & Magill RA (2010). Systematically increasing contextual interference is beneficial for learning sport skills. *Journal of Sports Sciences*, 28, 1277-1285.
17. Brady F (2008). The contextual interference effect and sport skills. *Perceptual and Motor Skills*, 106, 461-472.
18. Brady F (2004). Contextual interference: a meta-analytic study. *Perceptual and Motor Skills*, 99, 116-126.
19. Wulf G & Shea CH (2002). Principles derived from the study of complex skills do not generalize to complex skill learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9 (2), 185-211.
20. Hebert EP, Landin D & Solomon MA (1996). Practice schedule effects on the performance and learning of low- and high-skilled students: an applied study. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 67, 52-58.
21. Wulf G & Lee TD (1993). Contextual interference in movements of the same class: differential effects on program and parameter learning. *Journal of Motor Behavior*, 25 (4), 254-263.
22. Vera JG, Alavarez JCB & Medina MM (2008). Effects of different practice conditions on acquisition, retention and transfer of soccer skills by 9-year old schoolchildren. *Perceptual and Motor Skills*, 106 (2), 447-460.
23. Ammar A et al. (2023). The myth of contextual interference learning benefit in sports practice: a systematic review and meta-analysis. *Educational Research Review*, 39, 100537.
24. Albaret JM & Thon B (1998). Differential effects of task complexity on contextual interference in a drawing task. *Acta Psychologica*, 100 (1-2), 9-24.

In 2011 besprak ik in *Sportgericht* het belang van differentieel leren voor de sportpraktijk.<sup>1</sup> Ik beoordeelde het bewijs voor differentieel leren toen als beperkt, gezien het geringe aantal studies en hun methodologische onvolkomenheden. Hoe hebben de waardering van de theorie, het bewijs daarvoor en de toepassing ervan zich sindsdien ontwikkeld?

## Motorisch leren, een update

### Deel 7: Differentieel leren

**Peter J. Beek**

Wolfgang Schöllhorn publiceerde zijn radicale theorie over motorisch leren in 1999, bijna een kwart eeuw geleden.<sup>2</sup> In het betreffende artikel benadrukte hij het individuele, fluïde en variabele karakter van de menselijke motoriek en motorische leerprocessen. De dynamische systeemtheorie en de synergetica, waar ik mijn vorige artikel in deze reeks<sup>3</sup> aan wijdde, vormde het conceptuele kader waarbinnen hij zijn denkbelden presenteerde. Hij betoonde zich daarmee schatplichtig aan deze benaderingen, maar gaf er wel een geheel eigen invulling aan door het belang van extreme variaties in de uitvoering van bewegingen te presenteren als het middel bij uitstek om sporters beter te leren bewegen.

#### Verschillen

Mensen, aldus Schöllhorn, leren van de verschillen tussen opeenvolgende bewegingen, omdat die informatie bevatten en (bijna) dezelfde bewegingen niet of nauwelijks. Vandaar de term differentieel leren, afgeleid van het Duitse *Differenz*, of zo men wil het Engelse *difference* (verschil). Sporters doen er daarom verstandig aan sterk te variëren tijdens het oefenen, in plaats van bepaalde correct geachte bewegingen zo vaak mogelijk te herhalen, zodat deze 'inslijpen'. Wetenschapsjournalist

Michiel van Nieuwstadt vatte dit idee pakkend samen door aan zijn artikel over differentieel leren in het NRC Handelsblad de titel 'Winnen met bokkesprongen' mee te geven.<sup>4</sup> In het betreffende artikel citeert van Nieuwstadt Nederlandse topcoaches in schaatsen, voetbal en tennis bij wie de denkbelden van Schöllhorn enthousiasme en herkenning oproepen. In de training van topsporters, zo is de boodschap van de geïnterviewde coaches, wordt al volop gebruikgemaakt van variatie. Henk Gemser liet topschaatsers Gianni Romme en Ids Postma oefeningen op de evenwichtsbalk doen. Jos van Dijk, destijds assistent van Louis van Gaal bij Bayern München, benadrukte dat het aanbrengen van variatie allang een kenmerk is van de Nederlandse voetbalschool, onder meer door voetballers in uitdagende situaties te brengen waarin ze moeten presteren onder een weerstand die groter is dan tijdens een wedstrijd. En Frank van Fraayenhoven van de KNLTB haalde enkele oefeningen aan die passen binnen Schöllhorns theorie, zoals serveren in het eigen servicevak of het fixeren van bepaalde lichaamsdelen tijdens de training. Ik constateer echter dat niet al deze vormen van variatie neerkomen op differentieel leren. De laatste wel, de tweede mogelijk, maar



**Figuur 1** | Wolfgang Schöllhorn van de Johannes Gutenberg Universität Mainz, grondlegger van differentieel leren.

de eerste zeker niet. Dat voorbeeld is slechts een specifieke oefening om de balanshandhaving te verbeteren. Zoals ik in dit artikel zal toelichten, behelst differentieel leren een specifieke manier van variatie toepassen in het oefen- en trainingsproces, die niet verward moet worden met andere manieren van variëren, ook al gebeurt dat wel in de sportpraktijk. Niettemin heeft de komst van differentieel leren een grote impuls gegeven aan het benutten van variatie in de sportpraktijk. Inmiddels zijn er tal van coaches en sporters in tal van sporten die zich laten leiden door Schöllhorns denkbepelden en praktische aanbevelingen. Een vluchtige zoektocht op YouTube levert vele hits op voor onder meer voetbal (met topcoaches Tuchel,

Klopp en Nagelsmann als overtuigende gebruikers), handbal, hockey, tennis, golf en jiu jitsu. Op zichzelf is het bemoedigend om te zien dat inzichten uit de wetenschap toepassing vinden in de sportpraktijk, maar het is ook zaak om kritisch te blijven kijken naar de theorie, de toepassing daarvan in de sportpraktijk en het empirische bewijs voor de theorie en de daarop gebaseerde leermethode. Daar kunnen de wetenschap én de sport alleen maar beter van worden. Alleen al hierom is het nuttig om nu, twaalf jaar na het verschijnen van mijn eerste artikel over differentieel leren in *Sportgericht*<sup>1</sup>, op herhaling te gaan en andermaal de balans op te maken – conceptueel, praktisch en empirisch.

### Traditioneel versus differentieel leren

Schöllhorns theorie over differentieel leren kan het beste worden uitgelegd door deze te contrasteren met traditionele opvattingen over motorisch leren, in (effect)studies kortweg aangeduid als traditioneel leren. Traditioneel leren is als zodanig geen wetenschappelijke theorie waarvan de naam van een onderzoeker is verbonden en waarnaar systematisch onderzoek wordt gedaan, maar een verzameling vooronderstellingen die in de sport (en in andere praktijkvelden van het bewegen) vaak, al dan niet bewust, worden aangehangen.

Traditioneel leren is dus een zogeheten stromantheorie, die in het onderzoek dienst doet als tegenhanger van differentieel leren. De recht tegenover elkaar staande vooronderstellingen zijn weergegeven in tabel 1. Traditioneel leren gaat ervan uit dat er voor elke bewegingsvaardigheid een ideale uitvoering van de beweging bestaat, die zo goed mogelijk moet worden benaderd cq. geoptimaliseerd, ongeacht het individu en diens mate van gevorderdheid. Denk maar aan de tennisles van weleer, waarin de tennisleraar aan al zijn pupillen dezelfde instructies over de vereiste uitvoering gaf. Differentieel leren stelt daar tegenover dat een ideale bewegingstechniek niet bestaat; in plaats van een bewegingsideaal wordt optimalisatie van de bewegingsuitkomst nagestreefd. Sporters vertonen immers grote verschillen in de wijze waarop zij een handeling of activiteit uitvoeren; zelfs op de hoogste prestatieniveaus zijn die verschillen direct zichtbaar. Denk maar aan het bewegingsidoom van de drie tenniscoryfeeën die tot voor kort de grote toernooien domineerden, Federer, Djokovic en Nadal, of bij de vrouwen Serena Williams, Halep en Sharapova. De verschillen in bewegingstechniek en speelstijl springen onmiddellijk in het oog. De notie van een ideale, individu-onafhankelijke tennistechniek is hier niet van toepassing. Zelfs binnen individuele sporters vertoont de bewegingsuitvoering aanmerkelijke variaties, afhankelijk van de interne en externe omstandigheden. Traditioneel wordt motorisch leren als een lineair proces gezien, waarin intensieve oefening op geleide van instructies en feedback gericht op specifieke uitvoeringskenmerken leidt tot het stap voor stap benaderen van het gewenste bewegingsideaal. In de theorie over differentieel leren wordt motorisch leren daarentegen opgevat als een individueel, niet-lineair proces waarin sporters door allerlei mogelijke uitvoeringen uit te proberen, zowel succesvolle als

Traditioneel leren	Differentieel leren
Doel: optimaliseren van ideale bewegingstechniek	Doel: optimaliseren van een bewegingsuitkomst
Ideale bewegingstechniek is individu-onafhankelijk	Bewegingsuitvoering is individu-afhankelijk
Lineair proces op basis van instructie en feedback	Niet-lineair proces op basis van zelforganisatie
Continue correcties, wezensvreemde feedback	Minimale aanwijzingen, interne feedback
Drillen, eindeloze herhalingen	Continue variaties, succes zonder herhaling

**Tabel 1** | Verschillen tussen traditioneel en differentieel leren

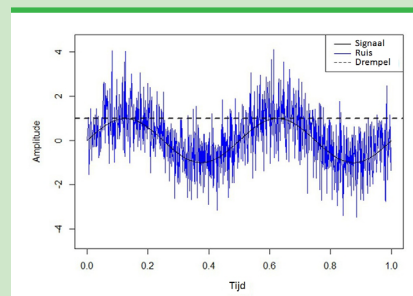
niet-succesvolle, afwisselend vooruitgang, stagnatie en terugval vertonen in het verbeteren van de prestatie, maar wel sneller vooruitgaan dan door louter herhaling. Tijdens dit proces ontdekt en ontwikkelt de sporter op basis van zelforganisatie zijn eigen bewegingstechniek, die ook als zodanig herkenbaar is. Minimale instructies kunnen hierbij behulpzaam zijn, maar continue correcties zijn uit den boze. Waar traditionele trainingsvormen worden gekenmerkt door drillen, dat wil zeggen het eindeloos herhalen van de vereiste beweging met continue correcties om het bewegingsideaal zo goed mogelijk te benaderen, kenmerkt differentieel leren zich door continue variaties om de interne feedback te versterken. Interne feedback heeft als voordeel dat deze direct betrekking heeft op de uitvoering zelf, terwijl de corrigerende feedback in de traditionele benadering gebaseerd is op het verschil tussen de uitgevoerde beweging en het bewegingsideaal. Schöllhorn noemt dit type feedback wezensvreemd ('alien') voor de sporter, omdat de sporter per definitie onbekend is met de ideale beweging die de trainer of coach voor ogen heeft bij het geven van de feedback.

### Differentieel leren versus variabel oefenen en contextuele interferentie

De unieke signatuur van differentieel leren betreft de wijze waarop variabiliteit wordt toegepast in de oefenen en trainingspraktijk. Die verschilt wezenlijk van andere methoden die erop gericht zijn motorisch leren te bevorderen door het aanbrengen van variatie tijdens het oefenen, zoals variabel oefenen volgens Schmidts schematheorie<sup>5</sup> en het contextuele-interferentiemodel<sup>6</sup>, die eerder in deze reeks aan bod kwamen. In deze benaderingen richt het aanbrengen van variatie zich op het zo goed mogelijk onder de knie krijgen van een ideale bewegingsuitvoering onder verschillende omstandigheden.

## Stochastische resonantie

Het mechanisme van stochastische resonantie werd in 1981 voor het eerst beschreven door de Italiaanse fysicus Roberto Benzi en zijn collega's<sup>9</sup> en door hen voor het eerst toegepast in 1982 in de context van klimaatverandering.<sup>10</sup> Stochastische resonantie heeft betrekking op het contra-intuïtieve verschijnsel dat de toevoeging van ruis de detecteerbaarheid van een signaal kan verbeteren. Figuur 2 illustreert hoe dit mogelijk is. Het in zwart weergegeven periodieke signaal in deze figuur bevindt zich onder de detectiedrempel, die is aangegeven met de stippellijn, en is dus niet waarneembaar. Door nu ruis aan het signaal toe te voegen, weergegeven in de figuur als blauwe toevalsfluctuaties, ontstaat een situatie waarin de som van het zwakke, niet waarneembare signaal plus de ruis op verschillende punten boven de detectiedrempel uitkomt. Door het ruisniveau verder te verhogen, komt de som van het signaal en de ruis op meer punten boven de detectiedrempel uit en wordt de sinusvormige structuur van het onderliggende signaal steeds beter waarneembaar in het bovendrempelige deel van het signaal plus de ruis. De ruis resoneert met het signaal. Wordt het ruisniveau echter nog verder verhoogd, dan neemt de waarneembaarheid van het signaal weer af omdat de ruis het signaal begint te overwoekeren. Bij stochastische resonantie is dus sprake van een optimaal ruisniveau waarbij een zwak periodiek input-signaal het best waarneembaar is. Als het ruisniveau te laag is, komt de som van signaal en ruis niet boven de waarnemingsdrempel uit en als het ruisniveau te hoog is, valt het signaal weg in de ruis. Stochastische resonantie is niet alleen een relevant verschijnsel in mechanische en elektrische systemen, maar ook, zo is uit onderzoek gebleken, in biologische systemen. Bij onder meer rivierkreeften, krekels en bepaalde vissoorten is aangetoond dat ruis de tactiele waarneming via mechanoreceptoren verbetert door middel van stochastische resonantie.<sup>11</sup> Bij mensen met een valrisico is dit principe toegepast door subsensorische mechanische ruis toe te voegen via speciale zooltjes onder de voeten. Hierdoor verbeterde de tactiele waarneming en daarmee de balanshandhaving.<sup>12</sup> Inmiddels wordt het multidisciplinaire belang van stochastische resonantie breed onderkend in de wetenschap en heeft het begrip zich beduidend ruimer ontwikkeld dan het in figuur 2 weergegeven basale verschijnsel.<sup>13</sup> Verschillende hersenonderzoekers veronderstellen dat random variatie en stochastische resonantie een cruciale rol spelen in het functioneren van het brein, maar zien het als een uitdaging dit experimenteel te bewijzen.<sup>13</sup>



**Figuur 2 |** Stochastische resonantie.

Door variabel te oefenen volgens de schematheorie wordt het schema voor de betreffende bewegingsvaardigheid versterkt, waardoor de lerende in staat is het bewegingsprogramma te parametriseren. Variabel oefenen volgens het contextuele-interferentiemodel is gericht op het ontwikkelen van gegeneraliseerde bewegingsprogramma's voor een beperkt aantal motorische vaardigheden, wat evenzeer de uitvoering

ten goede komt. In beide gevallen is de aangebrachte variatie in het oefenen beperkt. In het eerste geval kan gedacht worden aan het putten van een golfbal van verschillende afstanden of over verschillende glooiingen van de green, waarbij de puttactie als zodanig aan invariante kenmerken moet voldoen. In het tweede geval kan gedacht worden aan het oefenen van verschillende slagen op of rond de green, bijvoorbeeld de putt, de

chip and run en de lob, die eveneens moeten voldoen aan bepaalde ideaal geachte kenmerken. Niet zelden gaan variabel oefenen volgens de schematheorie en het contextuele interferentie-model dan ook gepaard met corrigerende instructies of feedback van een coach of trainer.

Hoe anders is dat bij differentieel leren. Hierbij gaat het om veel meer dan het aanbrengen van variaties in uitvoeringsparameters of de volgorde waarin oefeningen worden uitgevoerd. Bij differentieel leren wordt de sporter ertoe gedwongen een bepaalde vaardigheid, activiteit of taak op zeer uiteenlopende manieren uit te voeren, waarbij zelfs de definiërende kenmerken van de uitvoering geweld worden aangedaan. Telkens wordt een wezenlijk ander bewegingspatroon uitgevoerd, waarbij het gehele lichaam anders moet worden aangestuurd om aan de zelf gekozen of opgelegde taakeisen te voldoen.

Door de training te laten bestaan uit een reeks van steeds andere variaties, zo luidt het onderliggende idee van stochastische resonantie (zie kader), worden de natuurlijke toevalsfluctuaties in de uitvoering als het ware uitvergroot, waardoor de sporter steeds meer gevoel krijgt hoe de bewegingsuitvoering voor de betreffende vaardigheid in te richten. Bij differentieel leren wordt de sporter dus aangezet een groot aantal extreem verschillende bewegingen uit te voeren, waarbij herhalingen en correctieve instructies en feedback zo veel mogelijk worden vermeden. Schöllhorn brengt dat tot uiting in wervende motto's als 'Nie das Richtige trainieren, um richtig zu spielen'<sup>7</sup> en 'Erfolg durch Abwechslung'.<sup>8</sup>

### Wankele theoretische onderbouwing

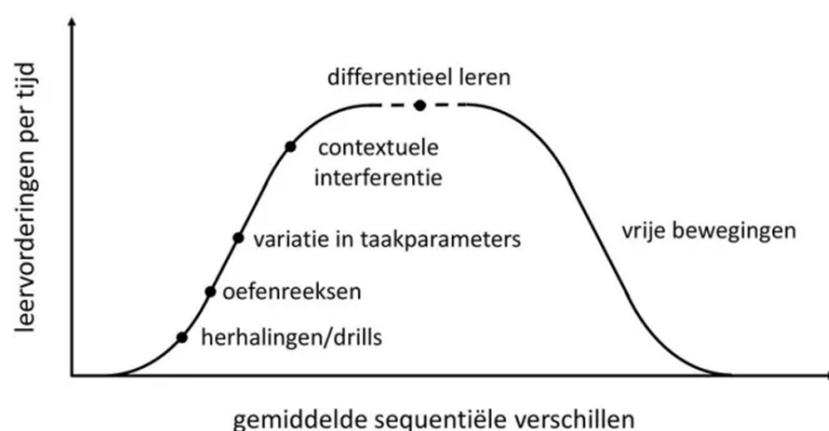
Stochastische resonantie wordt door Schöllhorn en zijn collega's vaak opgevoerd als theoretische onderbouwing van de (vermeende) voordelige effecten van differentieel leren op het verwerven van perceptueel-

motorische vaardigheden. In 2011 merkte ik al op dat Schöllhorn dit begrip vooral metaforisch gebruikte. Een operationele definitie in termen van objectief meetbare grootheden in relatie tot het bewegen ontbrak en is er in de tussentijd ook niet bijgekomen. Naar analogie van het voorbeeld in figuur 2 kan de vraag worden gesteld wat in de theorie over differentieel leren het zwakke signaal is en wat de ruis. Hierover kunnen in de publicaties met Schöllhorn als (co)auteur verschillende beschouwingen worden aangetroffen,<sup>14,15</sup> die aansluiten bij de klassieke betekenis van stochastische resonantie. Het 'signaal' heeft in dit geval betrekking op de intrinsieke dynamische conditie van de sporter en de bewegingspatronen die daaruit voortvloeien en de 'ruis' op de aangebrachte random variaties in opeenvolgende oefeningen. Uit deze formulering blijkt al dat het 'signaal' niet kan worden gemeten en in een grafiek worden uitgezet, maar slechts een kwalitatieve, associatieve toepassing betreft van een anderszins goed gedefinieerd concept. Hetzelfde geldt welbeschouwd ook voor de 'ruis'; de aangebrachte variaties worden weliswaar in random volgorde toegepast, maar ze zijn ook door de coach of sporter bedacht en daarmee niet geheel toevallig. Omdat

het 'signaal' niet duidelijk is, is het ook niet duidelijk op welk proces de 'ruis' precies ingrijpt.

Deze beperkingen belemmeren Schöllhorn en de zijnen niet om het begrip stochastische resonantie verder speculatief uit te nutten in de theorie over differentieel leren. Conform de klassieke interpretatie van stochastische resonantie gaan zij ervan uit dat er een optimaal 'ruisniveau' bestaat waarbij het zwakke, slecht waarneembare 'signaal', wat dat ook precies is, optimaal waarneembaar wordt en het leerproces het sterkst wordt bevorderd. Het 'ruisniveau' wordt in de theorie opgevat als de grootte van de verschillen tussen opeenvolgende oefeningen. Hoe groter die verschillen gemiddeld over de oefentijd zijn, des te hoger het 'ruisniveau'.

Bij differentieel leren is het 'ruisniveau' niet alleen hoger dan bij andere leermethoden, maar tevens optimaal in termen van de verbetering van de prestatie ten gevolge van stochastische resonantie. Dit blijkt althans uit de aan Schöllhorn et al.<sup>15</sup> ontleende grafiek in figuur 3, waarin de prestatieverbetering per hoeveelheid oefentijd is uitgezet als functie van de gemiddelde verschillen tussen opeenvolgende oefeningen zoals voortvloeiend uit de gehanteerde



**Figuur 3** | Verschillen in prestatieverbetering per hoeveelheid oefentijd als functie van de gemiddelde verschillen tussen opeenvolgende oefeningen die voortvloeien uit de gehanteerde leermethode.<sup>15</sup>

leermethode, oftewel het 'ruisniveau'. Differentieel leren bevindt zich bovenaan de omgekeerde U-curve bij het optimale 'ruisniveau', leidend tot het beste leerresultaat. Ook hier ontbreekt een nadere onderbouwing van deze speculatieve vooronderstellingen. Afgezien van het feit dat de grootte van de verschillen tussen opeenvolgende oefeningen niet in een getal valt uit te drukken, is niet op voorhand duidelijk waarom het 'ruisniveau' juist bij differentieel leren optimaal is. Hoe weten de auteurs dat? En hoe kennen ze de mate van variatie in opeenvolgende oefeningen om dat 'ruisniveau' te bewerkstelligen? Overtuigende antwoorden op die vragen ontbreken vooralsnog.

### Toepassing in de sportpraktijk

Ondanks de beschreven theoretische tekortkomingen wordt differentieel leren volop toegepast in de sportpraktijk. De vraag is hoe coaches dat het beste kunnen doen. Ook op die vraag is helaas geen pasklaar antwoord voorhanden. Uit de theorie volgt dat de variaties in opeenvolgende oefeningen groot, liefst overdreven groot, moeten zijn om optimaal effect te sorteren. Om buitengewone sporters te krijgen, aldus Schöllhorn in een podcast, zijn buitengewone oefeningen nodig.<sup>16</sup> Het probleem is echter dat er geen criterium bestaat voor wat buitengewoon is, behalve dan dat buitengewoon anders is dan gewoon! De enige concrete richtlijnen die uit de theorie volgen zijn dat opeenvolgende bewegingsuitvoeringen zo min mogelijk worden herhaald en dat er zo min mogelijk corrigerende feedback mag worden gegeven. Voor het overige is het aan de coach of sporter zelf om geschikte random variaties in het oefenproces te ontwerpen, gegeven de te trainen taak of vaardigheid. Anything goes! Maar welke variaties zijn geschikt, laat staan optimaal, voor het onder de knie krijgen van een bepaalde taak of vaardigheid? En welke rol spelen de taak en het individu daarbij?

Bij open vaardigheden als voetbal, handbal, hockey en tennis bestaat per definitie zoveel vrijheid in de inrichting van het spel dat het relatief eenvoudig is om allerlei variaties aan te brengen, zoals te zien is in vele YouTube-filmpjes. De dimensies van het speelveld, het doel, de bal of het racket kunnen gevarieerd worden, of de spelregels, bijvoorbeeld maximaal één of twee keer raken, of afwisselend kort-lang spelen, spelend op één been of met een arm op de rug gebonden. Of al deze variaties onder het concept differentieel leren geschaard kunnen worden is niet geheel duidelijk, maar het aantal factoren dat gevarieerd kan worden is enorm. Bij meer gesloten vaardigheden is variatie ook mogelijk, maar daar is vaak wat meer creativiteit voor nodig, zeker wanneer de taak vereist dat een specifiek bewegingspatroon wordt gegenereerd, zoals bij gymnastische oefeningen op de evenwichtsbalk of specifieke sprongelementen bij het kunstrijden op de schaats. Op voorhand lijken al te zeer afwijkende bewegingspatronen dan minder nuttig. Aangezien de variaties volgens de theorie bedoeld zijn om de sporter zelf een passend antwoord op een bewegingsprobleem te laten vinden, ligt het in de rede (de essentie van) het bewegingsprobleem in kwestie tijdens het variëren te handhaven. Soms lijkt dat echter niet het geval te zijn. In een inmiddels meer dan 76.000 keer bekeken filmpje over differentieel leren maakt kogelstoter Peter Valentiner de wonderlijkste capriolen voorafgaande aan de stootactie, waaronder hup-, draai-, hinkelafzet- en opstapbewegingen. Al deze bewegingen monden uit in het stoten van de kogel, behalve één waarin hij de kogel voor zijn voeten op de grond smijt. Omdat dit een ander taakdoel betreft dan het zo ver mogelijk stoten van een kogel, lijkt dit geen zinnige oefening.

Een andere cruciale factor om rekening mee te houden is het individu. Sporters beschikken elk over een eigen, individuele bewegingstechniek

met specifieke verbeterpunten. In de eerder genoemde podcast raadt Schöllhorn coaches aan variaties in het oefenen te ontwerpen die specifiek gericht zijn op deze punten.<sup>16</sup> Het is daarbij zaak dat de coach scherp in de gaten houdt wat het effect is van de aangebrachte variaties en of die leiden tot techniekaanpassingen. Sporters reageren, aldus Schöllhorn, verschillend op differentieel leren.<sup>16</sup> Sommige sporters reageren 'open' op de door de coach geïntroduceerde variaties en raken daar niet door van slag, maar andere sporters hebben daar moeite mee omdat ze controle willen houden over het proces. Het is daarom van belang, aldus Schöllhorn, dat de coach de mate van variatie afstemt op het individu, bijvoorbeeld door twee of drie herhalingen toe te staan bij sporters voor wie de aangebrachte variatie te overweldigend is. Differentieel leren gaat niet zozeer over de variaties als zodanig, maar over de veranderingen die daarmee worden bewerkstelligd en daarmee over de interactie tussen sporter en coach. Een mogelijkheid die Schöllhorn echter niet lijkt te willen onderkennen, is dat er ook sporters zijn die er niet in slagen om op basis van differentieel leren een gewenst bewegingspatroon te genereren en die beter uit de voeten kunnen met een meer gestructureerde, minder ruizige aanpak. Zeker gezien zijn nadruk op individualiteit is dit opmerkelijk.

### Aanvullende kritiekpunten

In een Duitstalig artikel<sup>14</sup> uit 2012 met daarin een kritische analyse van differentieel leren brachten de sportwetenschappers Künzell en Hossner nog vier aanvullende kritiekpunten naar voren, die ik hier omwille van de discussie kort bespreek en voorzie van mijn eigen waardering. Het eerste kritiekpunt luidt dat differentieel leren niet volgt uit de dynamische systeemtheorie. Künzell en Hossner wijzen er in dit verband op dat versterking van de ruis niet leidt tot een verandering van het



Bij open vaardigheden als voetbal, handbal, hockey en tennis bestaat per definitie zoveel vrijheid in de inrichting van het spel dat het relatief eenvoudig is om allerlei variaties aan te brengen.

attractorlandschap en dat de dynamische systeemtheorie als zodanig neutraal staat tegenover het al dan niet verschaffen van correctieve feedback. Ik ben het hiermee eens en beschouw de manier waarop Schöllhorn en de zijnen invulling geven aan het begrip stochastische resonantie als een uiting van hun vrijblijvende verhouding tot de dynamische systeemtheorie. Het tweede kritiekpunt luidt dat de afgrenzing van differentieel leren ten opzichte van cognitieve benaderingen, waaronder de schematheorie en het contextuele interferentie-model, te wensen overlaat. Programmeringstheorieën baseren zich niet op gedefinieerde ideaalbewegingen en houden ook niet in dat bewegingen worden 'ingeslepen'. Hoewel ik ook dit kritiekpunt onderschrijf, bestaat de stromantheorie van traditioneel leren (zie tabel 1) uit de aannames die Schöllhorn kent vanuit de sportpraktijk; traditioneel leren is geen psychologische (leer)theorie en moet ook niet als zodanig worden beoordeeld. Het derde kritiekpunt luidt dat er geen empirisch bewijs is voor de werkzaamheid van differentieel leren. Volgens Künzell en Hossner ontbreekt gedegen onderzoek en voldoen de analyse en interpretatie van data niet aan de wetenschappelijke standaarden dienaangaande. Hoewel ik deze kritiek

herken, geven (al dan niet) systematische reviews en meta-analyses, zoals nog zal blijken, aanleiding tot een genuanceerder beeld. Het vierde en laatste kritiekpunt betreft de verhouding tot de sportpraktijk. Künzell en Hossner stellen dat differentieel leren voor die praktijk niets nieuws heeft opgeleverd. Volgens hen wordt in de sport al veel rekening gehouden met individualiteit en variatie. Bovendien is door het ontbreken van toereikende definities voor het aanbrengen van variatie de praktische toepasbaarheid van differentieel leren in de sportpraktijk gebrekkig. Dit kritiekpunt is naar mijn mening te zwaar aangezet. De intrede van differentieel leren in de sport heeft daar aantoonbaar veel los gemaakt. Onderwerpen als individualiteit, variatie en optimaal oefenen en leren zijn onder hernieuwde, geïntensiverde aandacht van coaches en sporters gebracht met nieuwe trainingsvormen als gevolg, ook al bestond er al aandacht voor deze onderwerpen in de sportpraktijk (zoals reeds bleek uit van Nieuwstadts NRC-artikel<sup>4</sup>).

### Empirisch bewijs

In 2019 hebben Serrien et al.<sup>15</sup> een kritische review met meta-analyse over differentieel leren uitgevoerd, die zij pas recent hebben gepubliceerd

op het Open Science Framework, een platform voor het delen van verschillende aspecten en producten van wetenschappelijk onderzoek. De meta-analyse toonde op basis van 16 studies, waarvan het gros met Schöllhorn als (co-)auteur, aan dat differentieel leren effectiever was dan traditionele leermethoden, vooral voor wat betreft retentie en in mindere mate voor acquisitie. Het risico van (publicatie)bias bleek echter hoog te zijn, waardoor slechts beperkt vertrouwen in de resultaten van de meta-analyse kon worden gesteld. Bovendien bleek een vergelijking met andere dan traditionele leermethoden onmogelijk vanwege het ontbreken van onderzoek hiernaar. In 2021 werd in essentie door dezelfde onderzoeksgroep andermaal een (dit keer systematische) review en meta-analyse over differentieel leren gepubliceerd met in essentie dezelfde resultaten.<sup>16</sup> In dit onderzoek werden 27 studies geïncludeerd met in totaal 31 experimenten, waarvan nog eens 4 studies en 4 experimenten werden geëxcludeerd vanwege onvoldoende gerapporteerde data. Onder de geïncludeerde studies bevond zich andermaal een fors aantal studies (11) met Schöllhorn als (co-)auteur. De meeste studies hadden maar een klein aantal proefpersonen en dus een lage statistische power. De heterogeniteit van de studies bleek groot te zijn, zowel voor wat betreft acquisitie als retentie, en het risico op (publicatie)bias bleek andermaal hoog te zijn. In vergelijking met andere leermethoden (waaronder dit keer niet alleen traditioneel leren, maar ook contextuele interferentie) werd in de meta-analyse een kleine effectgrootte (0.26) gevonden voor acquisitie en een medium effectgrootte (0.61) voor retentie ten gunste van differentieel leren. Gezien de geconstateerde methodologische tekortkomingen zou het volgens de auteurs ook op basis van deze studie voorbarig zijn om te concluderen dat differentieel leren effectiever is dan andere methoden van motorisch leren.

## Conclusies

Schöllhorns theorie over differentieel leren verdient een gedifferentieerd oordeel. De theorie heeft ervoor gezorgd dat veel coaches, sporters en onderzoekers anders over het aanleren van motorische vaardigheden zijn gaan nadenken en geïnspireerd raakten om nieuwe oefenmethoden te ontwerpen. Dat alleen al verdient waardering. Kritische analyse van de theorie brengt echter conceptuele onduidelijkheden en ongerijmdheden aan het licht, die tot de conclusie leiden dat differentieel leren niet een coherente theorie is waar eenduidig toetsbare voorspellingen uit zijn af te leiden. Daarvoor worden de centrale begrippen, zoals stochastische resonantie en ruisniveau, te kwalitatief en te metaforisch gebruikt. Een eenduidige, operationele definitie van deze begrippen in termen van objectieve meetgegevens ontbreekt. Dit is een gemiste kans omdat, zoals ik in mijn vorige artikel heb betoogd,<sup>3</sup> hierin juist de kracht schuilt van de dynamische systeemtheorie. Hoewel de theorie over differentieel leren is geïnspireerd door de dynamische systeemtheorie, is deze vooral een antwoord op discutabele aannames over motorisch leren in de sportpraktijk, waaronder (aldus Schöllhorn<sup>2</sup>) de nadruk op fouten, het inslijpen van bewegingen en de sturende centrale rol van ideale uitvoeringstechnieken de belangrijkste zijn.

Op de oefen- en trainingspraktijk in de sport heeft de theorie over differentieel leren, ondanks het ontbreken van duidelijke richtlijnen voor het gebruik ervan, veel invloed gehad. Succesvolle toepassing van de theorie in de praktijk vraagt om een scherpe blik van de coach om te bepalen welke aspecten van de individuele bewegingstechniek door middel van differentieel leren kunnen worden verbeterd en wat hier dan geschikte oefeningen voor zijn. Het vergt ook het nodige van de sporter die erop moet vertrouwen dat de aangebrachte variaties in het oefen- en trainingsproces waardevol zijn; het is van belang dat de sporter zich daarvoor openstelt. Welke oefeningen bij welke sporter aanslaan en tot een goed leerresultaat leiden, is vooralsnog een proefondervindelijk proces. In het algemeen geldt dat er in de sportpraktijk een grote behoefte bestaat aan het vertalen van wetenschappelijke inzichten in concrete oefeningen en trainingselementen. Het is opmerkelijk dat differentieel leren ondanks het goeddeels ontbreken daarvan toch een vlucht heeft genomen in de sport.

Het is evenzo opmerkelijk dat deze vlucht in het wetenschappelijk onderzoek tot dusver achterwege is gebleven. Bijna een halve eeuw onderzoek heeft slechts 23 studies opgeleverd die van voldoende kwaliteit waren om opgenomen te worden in een meta-analyse.<sup>16</sup> Dat is ongeveer één studie per jaar, waarvan dan ook nog eens een groot aantal mede is uitgevoerd door de ontwerper van de onderzochte theorie. Collectief laten die studies weliswaar een licht positief effect zien voor differentieel leren voor acquisitie en een medium effect voor retentie in vergelijking met andere leermethoden, in het bijzonder traditioneel leren, maar hardere conclusies dan deze zijn uit dit onderzoek niet te trekken vanwege diverse methodologische beperkingen. Twaalf jaar na het publiceren van mijn eerste verhandeling over differentieel leren in *Sportgericht*<sup>1</sup> heeft het onderzoek nog steeds niet geleid tot een stevigere onderbouwing van de meerwaarde ervan. Het blijft daarmee niet meer dan een beloftevolle methode, waarvoor het empirische bewijs nog altijd beperkt is, de door Schöllhorn en de zijnen geclaimde meerwaarde ten spijt.

## 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. Beek PJ (2011). Nieuwe, praktisch relevante inzichten in techniektraining (deel 5): Motorisch leren: het belang van random variatie in de uitvoering. *Sportgericht*, 65 (5), 30-35.
2. Schöllhorn W (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport*, 29 (2), 5-12.
3. Beek PJ (2023). Motorisch leren, een update. Deel 6: De dynamische systeemtheorie. *Sportgericht*, 77 (5), 2-11.
4. Nieuwstadt M van (2011). Winnen met bokkesprongen. *NRC Handelsblad*, 5 en 6 februari 2011, 6-7.
5. Beek PJ (2023). Motorisch leren, een update. Deel 4: Variabel oefenen volgens de schematheorie. *Sportgericht*, 77 (3), 2-9.
6. Beek PJ (2023). Motorisch leren, een update. Deel 5: Contextuele interferentie, een mythe? *Sportgericht*, 77 (4), 16-21.
7. Schöllhorn WI et al. (2004). Nie das Richtige trainieren, um richtig zu spielen. *Leistungssport*, 34 (5), 13-17.
8. Schöllhorn WI (2011). Erfolg durch Abwechslung. *Physiopraxis*, 9 (6), 32-35.
9. Benzi R et al. (1981). The mechanism of stochastic resonance. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 14 (11), 453-457.
10. Benzi R et al. (1982). Stochastic resonance in climatic change. *Tellus*, 34 (1), 10-16.
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic\\_resonance\\_\(sensory\\_neurobiology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_resonance_(sensory_neurobiology))
12. Priplata A et al. (2002). Noise-enhanced human balance control. *Physical Review Letters*, 89 (23), 238101.

13. McDonnell MD & Abbott D (2009). What is stochastic resonance? Definitions, misconceptions, debates, and its relevance to biology. *PLoS Computational Biology*, 5 (5), e1000348.
14. Schöllhorn WI et al. (2009). Increasing stochastic perturbations enhances acquisition and learning of complex sport movements. In: D Araujo, H Ripoll & M Raab (eds.), *Perspectives on Cognition and Action in Sport*, pp. 59-73. Berlin: Nova Science Publishers.
15. Schöllhorn WI et al. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement Science*, 28, 319-333.
16. [https://www.youtube.com/watch?v=S8F0zAH\\_kjg&t=1110s](https://www.youtube.com/watch?v=S8F0zAH_kjg&t=1110s)
17. <https://www.youtube.com/watch?v=U2AMfyyUt5c>
18. Künzell S & Hossner EJ (2012). Differenzielles Lehren und Lernen: eine Kritik. *Sportwissenschaft*, 42, 83-95.
19. Serrien B et al. (2019). A critical review on the theoretical framework of differential motor learning and meta-analytic review on the empirical evidence of differential motor learning. <https://osf.io/preprints/sportrxiv/6jqeg>
20. Tassignon B et al. (2021). An exploratory meta-analytic review on the empirical evidence of differential learning as an enhanced motor learning method. *Frontiers in Psychology*, 12:533033.