university of groningen

University Medical Center Groningen

University of Groningen

Slim door Gym

de Greeff, Johannes; de Bruijn, Anna Gerardina Maria; Meijer, Anna; van der Fels, Irene; Königs, Marsh; Smith, Joanne; Kostons, Danny; Visscher, Christiaan; Bosker, Roelof; Oosterlaan, Jaap

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2019

Link to publication in University of Groningen/UMCG research database

Citation for published version (APA):
de Greeff, J., de Bruijn, A. G. M., Meijer, A., van der Fels, I., Königs, M., Smith, J., Kostons, D., Visscher, C., Bosker, R., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2019). *Slim door Gym: Effecten van fysieke activiteit op cognitie van kinderen in het primair onderwijs*. Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek. https://www.nro.nl/slim-door-gym-dat-verschilt-per-kind/

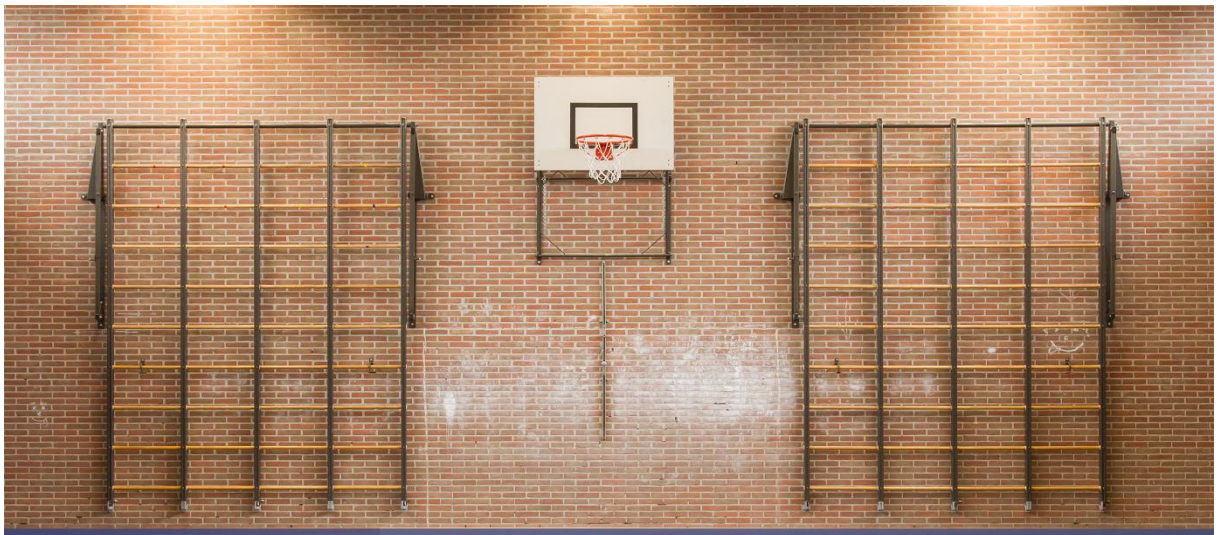
Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the “Taverne” license. More information can be found on the University of Groningen website: https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment.

Take-down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): http://www.rug.nl/research/portal. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Download date: 04-06-2022



Effecten van fysieke activiteit op cognitie van kinderen in het primair onderwijs

slim door gym

november 2018

J.W. de Greeff, A.G.M. de Bruijn, A. Meijer, I.M.J. van der Fels, M. Königs, J. Smith, D.D.N.M. Kostons, C. Visscher, R.J. Bosker, J. Oosterlaan & E. Hartman

Dit onderzoek is (mede) tot stand gekomen met subsidie van het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek (projectnummer 405-15-410) en de Nederlandse Hersenstichting

NRO NATIONAAL REGIEORGAAN ONDERWIJSONDERZOEK

Hersenstichting

in samenwerking met

rijksuniversiteit groningen | umcg | VU UNIVERSITY AMSTERDAM

projectgroep

Centrum voor Bewegingswetenschappen, UMCG/RUG
dr. J.W. de Greeff
I.M.J. van der Fels, MSc
prof. dr. C. Visscher
dr. J. Smith
dr. E. Hartman (projectleider)

Onderwijskunde/GION, RUG
A.G.M. de Bruijn, MSc
dr. D. D. N. M. Kostons
prof. dr. R.J. Bosker

Klinische Neuropsychologie, VU Amsterdam
A. Meijer, Msc
dr. M. Königs
prof. dr. J. Oosterlaan

geraadpleegde experts

Afdeling Neurowetenschappen, Universitair Medisch Centrum Groningen
dr. R. Renken
dr. J. Marsman

Afdeling Radiologie, VU Medisch Centrum
dr. P. Pouwels

Cito, Arnhem
drs. J.J. van Weerden
dr. B.T. Hemker

Gedragswetenschappen, Radboud Universiteit Nijmegen
prof. dr. M. Kompier
dr. A. Scheres

Instituut voor Sportstudies, Hanzehogeschool Groningen
dr. R. Mombarg

Voorwoord

In 2015 zette het NRO (Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek) in samenwerking met het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap onderzoek uit naar de vraag 'Is er een causale relatie tussen bewegen op school en cognitieve onderwijsprestaties in het primair onderwijs?'. De Hersenstichting deelde de interesse van het NRO en het ministerie en sloot zich meteen aan. Gezamenlijk hebben ze de opdracht tot onderzoek gegeven. Er kwamen steeds meer resultaten beschikbaar uit wetenschappelijk onderzoek, maar de vraag resteerde hoe het precies zat bij kinderen op de basisschool. *Fit en Vaardig op School*, een grote interventiestudie naar effecten van bewegend leren tijdens de taal- en rekenles, zorgde bijvoorbeeld voor positieve effecten op spelling en rekenen. Zou het bewegingsonderwijs ook kunnen zorgen voor betere onderwijsprestaties?

Voor u ligt het rapport van een literatuuronderzoek en een experimenteel onderzoek naar het effect van bewegingsinterventies bij kinderen in het primair onderwijs. In het bijzonder is onderzocht het effect op cognitieve functies, schoolprestaties, fitheid, motorische vaardigheden en hersenfuncties. Het literatuuronderzoek bestaat uit meta-analyses en een review. Het experiment is uitgevoerd op 22 basisscholen bij kinderen in groep 5 en 6 tijdens het bewegingsonderwijs. Voor dit onderzoek zijn twee typen bewegingsinterventies ontwikkeld en getest, namelijk een intensieve bewegingsinterventie en een cognitieve bewegingsinterventie.

De studie – genaamd *Slim door Gym* - is uitgevoerd door een projectgroep afkomstig van respectievelijk het Centrum voor Bewegingswetenschappen (Universitair Medisch Centrum Groningen), de afdeling Onderwijskunde (Rijksuniversiteit Groningen) en de afdeling Klinische Neuropsychologie (Vrije Universiteit Amsterdam). Daarnaast zijn experts geraadpleegd van de afdeling Neurowetenschappen, Universitair Medisch Centrum Groningen. De afdeling Radiologie, VU Medisch Centrum, Cito (Arnhem), de afdeling Gedragswetenschappen (Radboud Universiteit Nijmegen) en het instituut voor Sportstudies (Hanzehogeschool Groningen).

Leeswijzer
In het eerste hoofdstuk bespreken we het belang van fysieke activiteit voor de gezondheid en de cognitieve ontwikkeling van kinderen. De veronderstelde verbanden tussen fysieke activiteit, hersenfuncties, cognitieve functies en schoolprestaties worden gepresenteerd in Figuur 1. Deze figuur heeft als leidraad gefungeerd in de uitvoering van het onderzoek.

In het tweede hoofdstuk staan de resultaten van de twee literatuurstudies centraal. De studies geven een overzicht voor korte- en langetermijneffecten van bewegingsinterventies. De eerste studie - een meta-analyse - beschrijft effecten op executieve functies, zoals het werkgeheugen, en schoolprestaties. De tweede studie - een systematische review en meta-analyse - beschrijft effecten op hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren.

Het volgende hoofdstuk gaat over de methode van het eigen experimentele onderzoek. Daarin gaan we achtereenvolgens in op de doelgroep, de onderzoeksopzet, de twee bewegingsinterventies - bestaande uit

een intensieve bewegingsinterventie en een cognitieve bewegingsinterventie - de interventie- en controlegroep en de gehanteerde statistische methoden.

Hoofdstuk vier biedt een overzicht van de methode en materialen gebruikt bij het *Magnetic Resonanse Imaging* (MRI)-onderzoek. Deze deelstudie gaat over de effecten van de twee bewegingsinterventies op hersenfuncties bij circa negentig kinderen.

In het vijfde hoofdstuk staan de resultaten van het experimentele onderzoek centraal. We beschrijven eerst de effecten van de bewegingsinterventies op de motorische vaardigheden en aerobe fitheid/body-mass index (BMI). Daarna volgt een beschrijving van effecten op executieve functies en schoolprestaties. Ook wordt ingegaan op de veronderstelde relatie tussen executieve functies en schoolprestaties.

Hoofdstuk zes gaat over de resultaten van het MRI-onderzoek en de effecten op hersenfuncties en connectiviteit.

Het laatste hoofdstuk bevat een samenvatting, de conclusies van het onderzoek en aanbevelingen voor beleid, praktijk en toekomstig onderzoek.

We willen Alfred Wald (*Perspectiefrijker*, Breda) hartelijk bedanken voor het kritisch meedenken tijdens het schrijfproces en het redigeren van het rapport.

Ten slotte willen we de scholen die aan het experimentele onderzoek van Slim door Gym hebben meegewerkt hartelijk danken. Zonder de actieve betrokkenheid en de flexibiliteit van de schooldirecties, de (gym)leraren, de ouders van de leerlingen en uiteraard de leerlingen zelf was dit project niet van de grond gekomen.

Inhoudsopgave

Voorwoord 3

Inhoudsopgave 5

Hoofdstuk 1 Inleiding 7

Hoofdstuk 2 Effecten van fysieke activiteit op cognitieve functies en schoolprestaties: een systematische review en meta-analyses 11
- 2.1 Effecten op executieve functies, aandacht en schoolprestaties 11
- 2.2 Effecten op hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren 17

Hoofdstuk 3 Methode van het experiment Slim door Gym 25
- 3.1 Deelnemers en gouden standaard als onderzoeksopzet 25
- 3.2 De bewegingsinterventies 27
- 3.3 Implementatiematen 28
- 3.4 Uitkomstmaten 28
- 3.5 Statistische methode 33

Hoofdstuk 4 Methode van het MRI-onderzoek 37
- 4.1 Doelgroep, procedure en protocollen 37
- 4.2 Data-analyse structurele data (DTI) 40
- 4.3 Data-analyse functionele data 43

Hoofdstuk 5 Resultaten van het experiment Slim door Gym 47
- 5.1 Relaties tussen executieve functies en schoolprestaties 47
- 5.2 Implementatiematen 49
- 5.3 Effecten op aerobe fitheid, motorische vaardigheden en BMI 50
- 5.4 Effecten op cognitieve functies 52
- 5.5 Schoolprestaties 62
- 5.6 Conclusies 66

Hoofdstuk 6 Resultaten van het MRI-onderzoek 69
- 6.1 Resultaten structurele data (DTI) 69
- 6.2 Resultaten functionele data 70
- 6.3 Conclusies 72

Hoofdstuk 7 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 73
- 7.1 Samenvatting literatuuronderzoek 73
- 7.2 Samenvatting experiment 75

7.3 Samenvatting MRI-onderzoek 78
7.4 Conclusies 78
7.5 Aanbevelingen 81

Literatuurlijst 83

Bijlage 1 Zoektermen systematische reviews 89
Bijlage 2 Overzicht kenmerken van de geselecteerde studies 93
Bijlage 3 Statistische analyse multilevel model 109
Bijlage 4 Uitgebreide resultaten 111
Bijlage 5 Inclusieprotocol MRI-onderzoek 116

1. Inleiding

Fysieke activiteit is goed voor de gezondheid van kinderen (Gezondheidsraad, 2017a; Strong e.a., 2005). Regelmatig matig tot intensief bewegen verbetert de aerobe fitheid en versterkt de spieren en botten van kinderen (Gezondheidsraad, 2017b; Lesinski e.a., 2016; Okely e.a., 2013). Aerobe fitheid geeft het vermogen weer om een relatief lange tijd een fysieke inspanning te kunnen leveren (Caspersen e.a., 1985). Dit wordt ook wel uithoudingsvermogen genoemd. Matig tot intensief bewegen vermindert bij kinderen voorts het risico op depressieve symptomen, verbetert de insulinegevoeligheid en leidt bij kinderen met overgewicht en obesitas tot verlaging van de body-mass index (BMI) (Gezondheidsraad, 2017b). Nederlandse kinderen in het primair onderwijs brengen echter meer dan de helft van hun schooldag (66% van de tijd) zittend door. Als ze actief zijn, is dat meestal in lichte mate (31% van de tijd) en ze besteden zeer weinig tijd (3% van de schooldag) aan matig tot intensieve activiteiten (van Stralen e.a., 2014). Goed bewegingsonderwijs kan hier een belangrijke verandering in brengen. Bewegingsonderwijs draagt namelijk bij aan de hoeveelheid matig tot intensieve fysieke activiteit (Slingerland e.a., 2011). Daarnaast zorgt goed bewegingsonderwijs niet alleen voor een verbetering van de gezondheid en motorische vaardigheden, er is ook steeds meer bewijs voor een positieve invloed van bewegingsonderwijs op cognitieve vaardigheden, zoals aandacht, geheugen en schoolprestaties (Fedewa & Ahn, 2011; Tomporowski e.a., 2011). Het ontwikkelen van de schoolprestaties (vooral reken- en taalvaardigheden) van kinderen is cruciaal en vormt de basis voor hun verdere ontwikkeling.

De relatie tussen fysieke activiteit en schoolprestaties wordt mogelijk deels verklaard doordat matig tot intensief bewegen een positief effect heeft op executieve functies (Tomporowski e.a., 2011). Het executief functioneren is een verzamelterm voor cognitieve functies die actief denkprocessen reguleren en gedrag aansturen (Diamond, 2013). Enkele voorbeelden van deze cognitieve functies zijn inhibitie (het onderdrukken van een reactie), werkgeheugen, cognitieve flexibiliteit en planning. Executieve functies zijn essentieel voor de mentale en fysieke gezondheid en voor het verbeteren van de schoolprestaties (Diamond, 2013). De ontwikkeling van executieve functies vindt grofweg plaats tot de jongvolwassenheid en loopt in de pas met de neuro-anatomische ontwikkeling van de hersenen (Best & Miller, 2010). Executieve functies zouden dus een mediërende rol kunnen spelen in de relatie tussen fysieke activiteit en schoolprestaties. Het kwantificeren van het effect van fysieke activiteit op executieve functies is hiervoor belangrijk.

Verschillende verklaringen

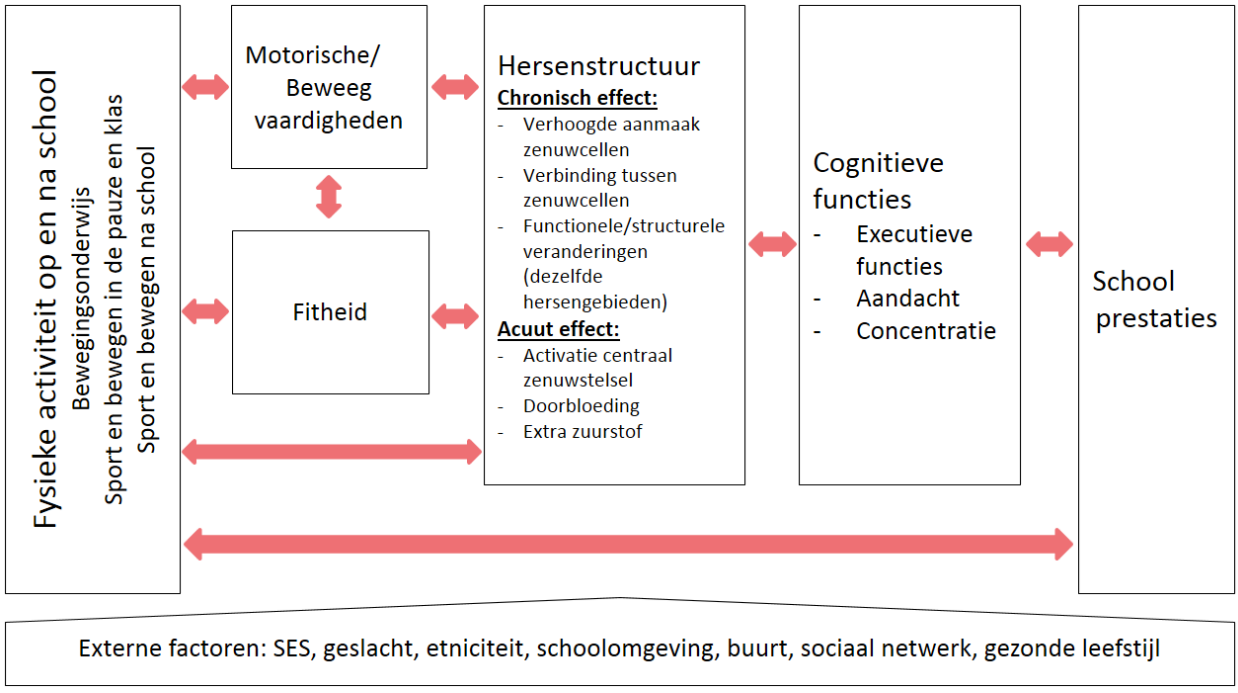
In de literatuur zijn verschillende verklaringen voor het effect van fysieke activiteit op executieve functies te vinden. Een fysiologische verklaring veronderstelt functionele en structurele veranderingen in de hersenen als gevolg van fysieke activiteit (Sibley & Etnier, 2003). Fysieke activiteit zorgt direct voor een verbeterde doorbloeding van de hersenen en een verhoogde concentratie van groeihormonen en neurotransmitters (Cotman & Berchtold, 2002; Winter e.a., 2007). Deze functionele en structurele veranderingen wordt ondersteund door *Magnetic Resonance Imaging*-studies (MRI-studies). Een studie laat bijvoorbeeld zien dat de hersengebieden die belangrijk zijn voor leren, zoals de hippocampus, sterk

gerelateerd is aan aerobe fitheid (Chaddock-Heyman e.a., 2016). Dit betekent dat kinderen met een hogere aerobe fitheid, een beter ontwikkelde hippocampus hebben. Door deze aanpassingen in de hersenen kunnen de cognitieve functies in de klas verbeteren en daarmee ook de schoolprestaties.

Naast een fysiologische verklaring zijn er leertheorieën die stellen dat cognitief uitdagende fysieke activiteit niet alleen de aerobe fitheid verbetert, maar ook de executieve functies (Best, 2010; Pesce e.a., 2013; Schmidt e.a., 2015a). Het aanleren van bijvoorbeeld nieuwe complexe motorische vaardigheden (zoals tennis of basketbal) is een cognitief uitdagende taak en zou een manier kunnen zijn om cognitieve functies - en dan met name de executieve functies - te verbeteren. Deze verklaring wordt ondersteund doordat dezelfde hersengebieden (het cerebellum en de dorso-laterale prefrontale cortex) actief zijn tijdens een motorische en cognitieve taak (Diamond, 2000).

Fysieke activiteit en schoolprestaties

In het rapport van het Mulier instituut is een schematisch overzicht weergegeven van de veronderstelde verbanden tussen fysieke activiteit en schoolprestaties (Collard e.a., 2014). Het huidige onderzoek bouwt hierop voort en onderzoekt de effecten van fysieke activiteit op schoolprestaties, alsook de veronderstelde mediërende rol van executieve functies (zie Figuur 1).



Figuur 1. *Schematisch overzicht van de veronderstelde verbanden tussen fysieke activiteit en schoolprestaties (aangepaste versie van Figuur 1 in Collard, 2014).*

Het eerste deel van het onderzoek Slim door Gym bestaat uit een uitgebreid literatuuronderzoek naar de causale effecten van fysieke activiteit op executieve functies en schoolprestaties alsmede op

hersenstructuur en hersenfunctie bij kinderen in het primair onderwijs. Het tweede deel van Slim door Gym betreft een door de onderzoeksgroep opgezet en uitgevoerd experiment. Het gaat om een grootschalig experiment dat is uitgevoerd op 22 scholen. Het experiment is dusdanig ontworpen dat causale effecten onderzocht kunnen worden. Het doel van het experiment is om effecten van fysieke activiteit op executieve functies, schoolprestaties en hersenstructuur en –functies te onderzoeken. In het experiment worden twee specifieke bewegingsinterventies in het bewegingsonderwijs geïmplementeerd: een intensieve en een cognitieve bewegingsinterventie. In de intensieve bewegingsinterventie ligt het accent op intensieve bewegingsvormen. In de cognitieve bewegingsinterventie ligt de nadruk op cognitieve uitdaging tijdens het bewegen. Hierdoor worden kinderen naast fysiek ook cognitief uitgedaagd tijdens de gymles. Beide typen interventies komen uit het literatuuronderzoek naar voren als geschikte mogelijkheden om de cognitieve functies en schoolprestaties van kinderen te verbeteren. In een deelstudie bij circa 90 kinderen die meededen aan het experiment zijn effecten van beide interventies op hersenfuncties onderzocht met behulp van hersenscans.

Het literatuuronderzoek en het experiment tezamen geven inzicht in de effecten van fysieke activiteit op cognitieve functies, schoolprestaties, hersenfuncties en hersenstructuur. Het experiment op de scholen laat daarnaast zien in hoeverre interventies geschikt zijn voor implementatie in het Nederlandse bewegingsonderwijs. De resultaten monden uit in aanbevelingen voor onderzoek, beleid en praktijk.

2. Effecten van fysieke activiteit op cognitieve functies en schoolprestaties: een systematische review en meta-analyses

Op basis van het uitvoeren van twee literatuurstudies is een overzicht samengesteld van effecten van fysieke activiteit door leerlingen in het basisonderwijs op executieve functies, aandacht, schoolprestaties, hersenfuncties en -structuur. Er is gekeken naar effecten van bewegingsinterventies na eenmalige fysieke activiteit en langdurige fysieke activiteit over een periode van dagen tot jaren. De eerste studie - een meta-analyse - beschrijft effecten op executieve functies, aandacht en schoolprestaties. De tweede studie, bestaande uit een systematische review en meta-analyse, beschrijft effecten op hersenfuncties (neurofysiologisch functioneren) en hersenstructuur. De resultaten van deze literatuurstudies geven in de eerste plaats inzicht over wat bekend is over de relaties tussen bewegen en cognitieve functies. Daarnaast geven de resultaten samen met het zelf opgezette en uitgevoerde experiment inzicht in causaliteit van effecten bij basisschoolkinderen.

2.1 Effecten op executieve functies, aandacht en schoolprestaties

Methode

Om het effect van fysieke activiteit op executieve functies en schoolprestaties te onderzoeken is een meta-analyse uitgevoerd. Meta-analyses zijn onderzoeken waarin een kwantitatieve samenvatting van eerder uitgevoerde studies wordt gegeven en waarin resultaten geaggregeerd worden. Het is een krachtige methode omdat de resultaten kunnen worden gegeneraliseerd naar een grotere doelgroep en gemengde effecten van voorgaand onderzoek kunnen worden geanalyseerd. Het gebruik van meer data in de statistische toetsing zorgt voor een grotere nauwkeurigheid van effectschattingen dan in de afzonderlijke studies. Hiermee is het mogelijk om een betrouwbare uitspraak te doen over de effectiviteit van eerdere bewegingsinterventies. De effectiviteit wordt uitgedrukt in een effectgrootte (effect size; ES) en de waarde is te interpreteren volgens onderstaande richtlijnen (Cohen, 1988; Coe, 2002, zie Tabel 1). Een positief effect betekent dat de fysieke activiteit effectief is in het verbeteren van cognitie, terwijl een negatief effect betekent dat de fysieke activiteit minder effectief is ten opzichte van de controlesituatie. Een meta-analyse maakt het mogelijk om deze effecten samen te voegen en een uitspraak te doen over de totale effectiviteit van de studies.

Tabel 1. *Voorgestelde interpretatie effectgrootte.*

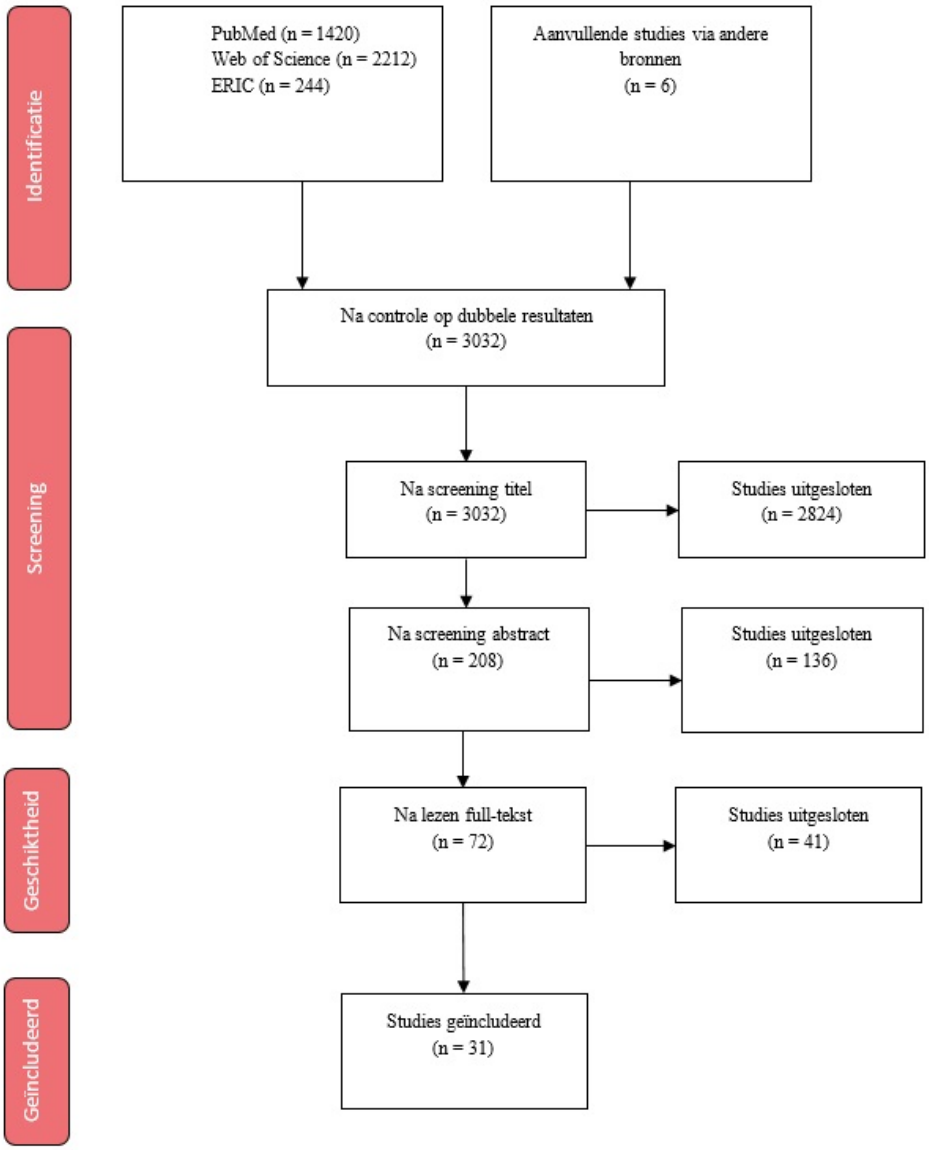
waarde effectgrootte	**interpretatie**
< 0.2	verwaarloosbaar effect.
0.2 – 0.5	klein, maar relevant effect: 10-24% van de kinderen in de interventiegroep is beter af dan kinderen in de controlegroep.
0.5 – 0.8	middelgroot effect: 25-37% van de kinderen in de interventiegroep is beter af dan kinderen in de controlegroep.
> 0.8	groot effect: meer dan 38% van de kinderen in de interventiegroep is beter af dan kinderen in de controlegroep.

Om zoveel mogelijk studies te includeren zijn verschillende elektronische databases geraadpleegd: *PubMed, Web of Science, MEDLINE* en *ERIC* (zie Bijlage 1 voor de zoektermen). Alleen studies naar *causale effecten* zijn geselecteerd. Daarom zijn alleen studies meegenomen waarin kinderen random zijn ingedeeld in de experimentele groep of controlegroep, of er werd gecontroleerd voor verschillen op de voormeting. Daarnaast zijn de volgende criteria gehanteerd:

- de studie is gepubliceerd tussen 2000 en april 2017 in een wetenschappelijk tijdschrift dat werkt met peer-review;
- de studie onderzocht de effecten van fysieke activiteit op executieve functies, aandacht en/of schoolprestaties waarbij uitkomstmaten van ten minste interval- of rationiveau werden gehanteerd;
- de studie was gericht op kinderen in het primair onderwijs (6-12 jaar).

Studies die zich richten op een speciale doelgroep (bijvoorbeeld kinderen met een lichamelijke beperking), die geen geschikte controlegroep hadden of waarbij het effect van fysieke activiteit niet kon worden onderscheiden van het effect van een andere taak (bijvoorbeeld een cognitieve) werden niet geselecteerd.

Twee onderzoekers hebben mogelijk geschikte studies geselecteerd na het lezen van de titel, de samenvatting en de volledige tekst van het artikel. Verschillen over de geschiktheid van een artikel werden opgelost door discussie, tot consensus werd bereikt. Na het verwijderen van dubbele studies in de databases en het toevoegen van zes relevante studies uit eerdere reviews, leverde de zoekstrategie 3032 studies op (zie Figuur 2). Uiteindelijk bleven er, op basis van bovenstaande criteria, 31 studies over voor gebruik in de meta-analyse.



Figuur 2. *Diagram van de geselecteerde studies (volgens het zogenaamde PRISMA-protocol).*

De geselecteerde studies zijn onderverdeeld in studies die de effecten van *acute fysieke activiteit* en studies die de effecten van *langdurige fysieke activiteit* op cognitie onderzochten. Bij acute fysieke activiteit gaat het om effecten van eenmalige fysieke activiteit, bijvoorbeeld in een sessie van 20 minuten. Bij langdurige fysieke activiteit gaat het om herhaalde sessies van fysieke activiteit gedurende een periode van dagen tot jaren. De effecten zijn onderzocht voor drie domeinen : *executieve functies*, *aandacht* en *schoolprestaties.* Vervolgens zijn de effecten per domein onderverdeeld in subdomeinen. Er zijn vier subdomeinen van executieve functies onderzocht: *inhibitie*, *werkgeheugen*, *cognitieve flexibiliteit* en *planning;* drie subdomeinen van aandacht: *selectieve*, *verdeelde* en *volgehouden aandacht*; en drie subdomeinen van schoolprestaties: *rekenvaardigheid*, *spelling* en *leesvaardigheid.* Voor elk subdomein zijn de effecten van acute en langdurige fysieke activiteit berekend. Daarnaast is er gekeken of het effect afhankelijk was van het type fysieke activiteit dat was aangeboden: aerobe fysieke activiteit of cognitief

uitdagende fysieke activiteit. *Aerobe fysieke activiteit* heeft als doel het verbeteren van het uithoudingsvermogen, bijvoorbeeld door middel van hardlopen. *Cognitief uitdagende fysieke activiteit* zijn activiteiten waarbij een grote aanspraak wordt gedaan op cognitieve functies, zoals het werkgeheugen en planning. Veelal bestaat deze vorm van fysieke activiteit uit complexe motorische activiteiten waarin bijvoorbeeld snelle beslissingen genomen moeten worden, er rekening gehouden moet worden met regels van een spel of met tegenstanders. Een voorbeeld is het leren van tennis.

Resultaten

Effecten van acute fysieke activiteit

Er zijn zeventien studies geselecteerd die de effecten van eenmalige fysieke activiteit hebben onderzocht. De duur van de bewegingsinterventies varieerde van 5 minuten tot 60 minuten. Het ging hierbij om veel verschillende vormen van bewegen, waarbij de meeste studies (tien) een activiteit hebben aangeboden op school. Voorbeelden zijn een specifieke les bewegingsonderwijs in de gymzaal of fysieke activiteit in het klaslokaal. Bij vijf studies werd de activiteit in een laboratorium aangeboden waarbij de kinderen bijvoorbeeld moesten hardlopen op een loopband of fietsen op een fietsergometer. Bij twee studies werd er een interventie aangeboden waarbij de kinderen 12 of 30 minuten buiten moesten hardlopen. Van deze zeventien studies hebben tien studies (59%) positieve effecten gevonden op een van de cognitieve uitkomstmaten. Zes studies (35%) vonden geen effecten en één studie (6%) vond een negatief effect.

Samengenomen laten de zeventien studies een klein positief, maar relevant effect zien op cognitieve functies of schoolprestaties (ES = 0.24; p = 0.004). Dit betekent dat eenmalige fysieke activiteit over het algemeen effectief is voor het verbeteren van de cognitieve functies of schoolprestaties van kinderen en dat gemiddeld 10-15% van de kinderen in de interventiegroep het beter doet dan de controlegroep (Coe, 2002). Hier moet echter wel rekening worden gehouden met een hoge heterogeniteit. De resultaten van de verschillende onderzoeken liepen sterk uiteen, zodat dit positieve effect niet geldt voor alle uitkomstmaten. Voor *executieve functies* is er geen significant effect gevonden (tien studies); het subdomein inhibitie laat echter een klein positief, maar relevent effect zien (ES = 0.28; p = 0.042). Voor werkgeheugen (vier studies) en cognitieve flexibiliteit (vijf studies) werden geen significante effecten gevonden. De studies die de effecten van acute fysieke activiteit onderzochten op *aandacht*, richten zich allemaal op selectieve aandacht (zes studies). Er waren dus geen studies die zich hebben gericht op verdeelde of volgehouden aandacht. Samengenomen laten deze zes studies een klein positief effect zien op selectieve aandacht (ES = 0.43; p = 0.013). Voor *schoolprestaties* als geheel is geen significant effect gevonden (vier studies). Wanneer we kijken naar de subdomeinen vinden we een klein positief effect voor spelling (ES = 0.25; p = 0.030; twee studies), maar geen effect voor rekenen (vier studies) en lezen (drie studies). Concluderend kan gesteld worden dat eenmalige fysieke activiteit een positief effect heeft op cognitieve functies en schoolprestaties samen, waarbij gemiddeld 10-15% van de kinderen in de interventiegroep het beter doet dan de controlegroep (Coe, 2002).

Rol van type en duur van de acute fysieke activiteit

Van de studies naar de effecten van acute fysieke activiteit, hebben vijftien studies zich gericht op de effecten van *aerobe fysieke activiteit*. Het ging hier meestal om activiteiten zoals hardlopen of fietsen op een matig tot intensieve intensiteit. Samengenomen laten deze studies een klein positief, maar relevant effect zien (ES = 0.28; p = 0.003). Vijf studies hebben zich gericht op cognitief uitdagende fysieke

activiteit, zoals exergaming (bewegen tijdens een computerspel), dansen of een cognitief uitdagende gymles. Hier is echter geen significant effect gevonden. Wanneer fysieke activiteit eenmalig wordt aangeboden is aerobe fysieke activiteit dus effectiever voor het verbeteren van cognitie of schoolprestaties dan cognitief uitdagende fysieke activiteit. Daarnaast bleek dat het aantal minuten fysieke activiteit dat werd aangeboden geen invloed had op het effect bij executieve functies, aandacht of schoolprestaties.

Effecten van langdurige fysieke activiteit

In veertien studies stonden de effecten van langdurige fysieke activiteit op cognitieve functies of schoolprestaties centraal. De duur van de interventies varieert van 6 weken tot 16 maanden en de frequentie varieert van twee keer 45 minuten per week tot vijf keer 120 minuten per week. Hiervan hebben de meeste studies (acht) een interventie na schooltijd of in de middagpauze aangeboden. Vijf studies hebben aangepaste lessen aangeboden tijdens het bewegingsonderwijs en één studie heeft fysieke activiteiten in het klaslokaal aangeboden. Negen studies (64%) concluderen dat er een positief effect is op een van de cognitieve uitkomstmaten, vijf studies (36%) komen tot de conclusie dat er geen effect is. In geen enkele studie was er sprake van een negatief effect.

Samengenomen laten de studies een klein positief, maar relevant effect zien van langdurige fysieke activiteit op cognitieve functies of schoolprestaties ($ES = 0.37$; $p < 0.001$). Dit betekent dat langdurige fysieke activiteit over het algemeen effectief is voor het verbeteren van de cognitieve functies of schoolprestaties van kinderen. En dat gemiddeld 15-20% van de kinderen in de interventiegroep het beter doet dan de controlegroep (Coe, 2002). Ook hier moet rekening worden gehouden met een hoge heterogeniteit; de resultaten van de verschillende onderzoeken liepen sterk uiteen.

Voor executieve functies (twaalf studies) geldt dat er eveneens een klein positief, maar relevant effect was gevonden van langdurige fysieke activiteit ($ES = 0.24$; $p = 0.001$). De effecten verschilden echter wel per subdomein. Voor werkgeheugen ($ES = 0.36$; $p = 0.007$; zes studies) werd ook een klein positief, maar relevant effect gevonden. Voor cognitieve flexibiliteit (0.18; $p = 0.040$; drie studies) was het effect wel significant, maar verwaarloosbaar klein. Voor inhibitie (zes studies) en planning (vier studies) daarentegen werd geen significant effect gevonden. Eén studie richtte zich op de effecten van langdurige fysieke activiteit op aandacht. Hieruit bleek dat er een groot positief effect was op selectieve aandacht ($ES = 0.90$; $p < 0.001$). Aangezien het om slechts één studie gaat, is enige voorzichtigheid geboden bij het interpreteren van dit resultaat.

Drie studies hebben de effecten van langdurige fysieke activiteit op schoolprestaties onderzocht. Deze studies laten een klein positief, maar relevant effect zien ($ES = 0.26$; $p = 0.032$). De subdomeinen van schoolprestaties laten geen effect zien voor rekenen (één studie), lezen (twee studies) en spelling (één studie).

Rol van type en duur van langdurige fysieke activiteit

Er is een klein, maar relevant positief effect gevonden voor *aerobe fysieke activiteit* ($ES = 0.29$; $p = 0.001$; elf studies) en een middelgroot positief effect voor *cognitief uitdagende fysieke activiteit* ($ES = 0.53$; $p = 0.008$; vijf studies). Wanneer er fysieke activiteit wordt aangeboden over een langere periode is cognitief uitdagende fysieke activiteit dus effectiever dan aerobe fysieke activiteit. Ook hier was de duur van de bewegingsinterventie (aantal weken fysieke activiteit) niet van invloed op de grootte van het effect.

Conclusies van de meta-analyse: effecten op executieve functies, aandacht en schoolprestaties

Uit de resultaten van de meta-analyse blijkt dat zowel acute als langdurige fysieke activiteit effectief is voor het verbeteren van de cognitieve functies van basisschoolkinderen. Het gaat hier om een verzameling van executieve functies, aandacht en schoolprestaties. Er werd een klein positief, maar relevant effect gevonden van acute fysieke activiteit op aandacht (ES = 0.43). Er werd geen effect gevonden op executieve functies en schoolprestaties. Daarom is acute fysieke activiteit een effectieve strategie voor het verbeteren van de aandacht, maar niet voor het verbeteren van executieve functies en schoolprestaties. Langdurige fysieke activiteit heeft een klein, maar relevant positief effect op executieve functies (ES = 0.24), een groot positief effect op aandacht (ES = 0.90) en een klein positief effect op schoolprestaties (ES = 0.26). Bewegingsinterventies met langdurige fysieke activiteit zijn daarom een effectieve strategie voor het verbeteren van cognitieve functies en schoolprestaties. Langdurige cognitief uitdagende fysieke activiteit lijkt een veelbelovende methode hiervoor. Concluderend zijn er sterke aanwijzingen dat fysieke activiteit effect heeft op cognitieve functies en schoolprestaties bij kinderen in het primair basisonderwijs. De duur van de interventie (acute versus langdurige fysieke activiteit), het type interventie en de specifieke domeinen zijn cruciale factoren die bepalend zijn voor de daadwerkelijke effectiviteit van een interventie.

Tabel 2. *Samenvatting van de effecten van acute en langdurige fysieke activiteit op executieve functies, aandacht en schoolprestaties.*

domein	**effect-grootte**	**interpretatie effect**
acute fysieke activiteit	0.24	klein, maar relevant effect
executieve functies	0.20	niet significant
inhibitie	0.28	klein, maar relevant effect
werkgeheugen	0.27	niet significant
cognitieve flexibiliteit	0.30	niet significant
planning	-	-
aandacht	0.43	klein, maar relevant effect
schoolprestaties	0.09	niet significant
rekenen	-0.18	niet significant
lezen	0.17	niet significant
spelling	0.25	klein, maar relevant effect
type fysieke activiteit		
aeroob	0.28	klein, maar relevant effect
cognitief uitdagend	0.07	niet significant

langdurige fysieke activiteit	0.37	klein, maar relevant effect
executieve functies	0.24	klein, maar relevant effect
inhibitie	0.19	niet significant
werkgeheugen	0.36	klein, maar relevant effect
cognitieve flexibiliteit	0.18	klein, maar relevant effect
planning	0.12	niet significant
aandacht	0.90	groot effect
schoolprestaties	0.26	klein, maar relevant effect
rekenen	0.09	niet significant
lezen	0.15	niet significant
spelling	0.34	niet significant
type fysieke activiteit		
aeroob	0.29	klein, maar relevant effect
cognitief uitdagend	0.53	middelgroot effect

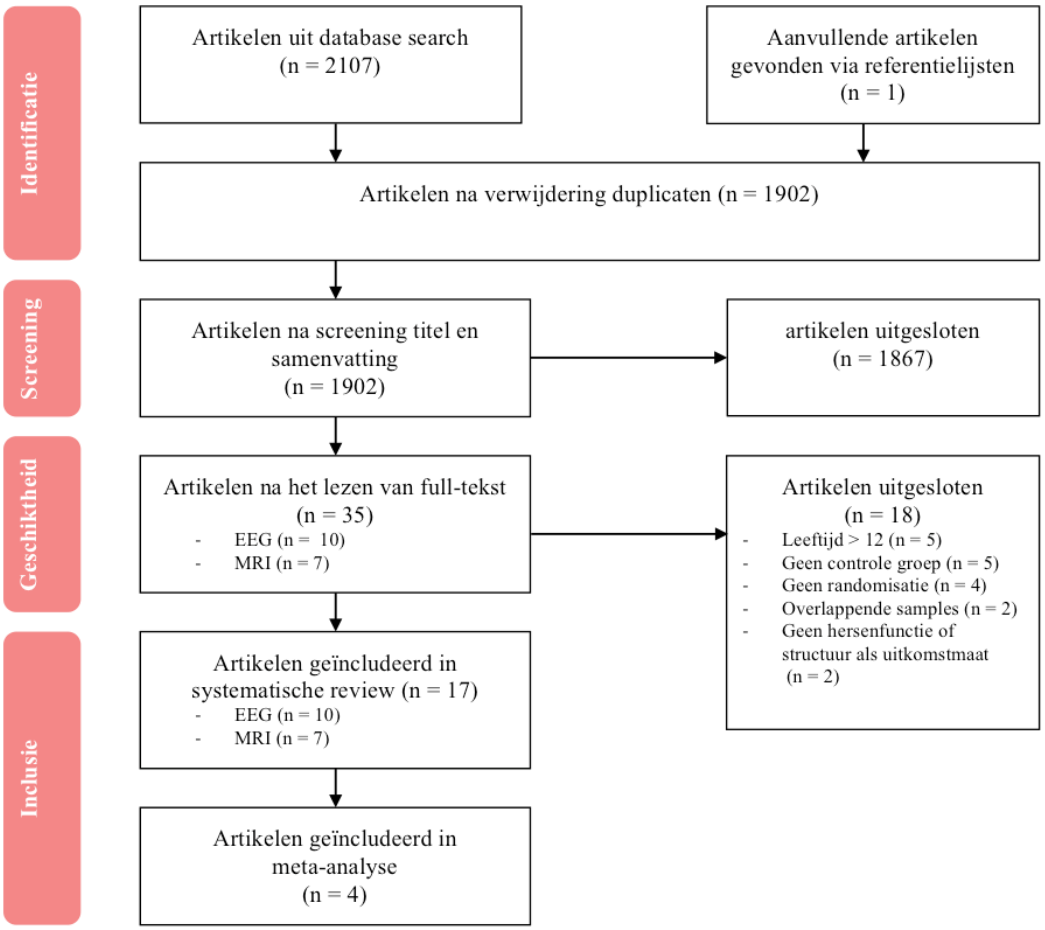
2.2 Effecten op hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren

Methode

In deze paragraaf staan de resultaten van een systematische review naar de causale effecten van fysieke activiteit op hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren bij kinderen in de basisschoolleeftijd (6-12 jaar) centraal. *Randomized controlled trials* (RCT) en studies met een cross-over design vormen een sterk bewijs voor causale effecten. Daarom beschrijft de huidige systematische review uitsluitend studies die gebruik maken van een dergelijk design. Om relevante studies in kaart te brengen zijn de volgende elektronische databases doorzocht: *PubMed, Web of Science* en *SportDiscus* (zie Bijlage 1 voor de zoektermen). Studies werden geselecteerd voor het huidige literatuuronderzoek indien: (1) de effecten van fysieke activiteit op hersenfunctie werden onderzocht bij kinderen tussen de 6 en 12 jaar; (2) studies een RCT of cross-over design gebruikten; (3) de verslaglegging van het onderzoek Engelstalig was in een wetenschappelijk tijdschrift dat werkt met peer-review.

In de verschillende databases werd aan de hand van de gebruikte zoektermen een totaal van 1902 unieke artikelen geïdentificeerd. Twee onderzoekers selecteerden de artikelen die aan de inclusiecriteria voldeden, waarbij artikelen die verschillend werden beoordeeld gezamenlijk werden herbeoordeeld totdat voor alle artikelen consensus was bereikt. Na verwijdering van duplicaten, screening van relevantie op basis van de titel en samenvatting van het artikel en het lezen van de volledige tekst van de artikelen,

werden uiteindelijk zeventien artikelen opgenomen in het review. Het zoek- en selectieproces wordt gedetailleerd weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3. *Diagram van de geselecteerde studies (volgens het zogenaamde PRISMA-protocol).*

In Bijlage 2 zijn gedetailleerde karakteristieken van alle artikelen weergegeven. Daarnaast leenden de uitkomstmaten van vier van deze zeventien artikelen zich voor een meta-analyse, omdat de resultaten van deze studies konden worden geaggregeerd tot één effectgrootte (*effect size*, ES). De interpretatie van de effectgrootte staat uitgeschreven in Tabel 1.

In de geselecteerde artikelen werd gebruik gemaakt van verschillende beeldvormende technieken. Zeven artikelen gingen over *magnetic resonance imaging* (MRI) om hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren te meten. In tien artikelen werd gebruik gemaakt van elektro-encefalogram (EEG) technieken om neurofysiologisch functioneren te meten. MRI kan de hersenstructuur en de locatie van hersenactiviteit gedetailleerd in kaart brengen; MRI heeft daarmee een hoge spatiële resolutie. EEG is daarentegen niet

geschikt om hersenstructuur te meten, maar is zeer gevoelig voor het tijdsverloop van hersenprocessen. EEG heeft daarmee een hoge temporele resolutie. MRI en EEG zijn dus fundamenteel verschillende, maar complementaire beeldvormende methoden, welke in deze review daarom apart zullen worden besproken.

Een ander onderscheid tussen de geselecteerde artikelen was de manier waarop de invloed van fysieke activiteit op de hersenen was onderzocht. Acht studies onderzochten de effecten van acute fysieke activiteit, variërend van 20 tot 45 minuten, terwijl negen studies de effecten van langdurige fysieke activiteit onderzochten. Op basis van de literatuur is het zeer aannemelijk dat verschillende neurale mechanismen onderliggend zijn aan effecten van acute en langdurige fysieke activiteit op cognitie en schools presteren. Acute fysieke activiteit veroorzaakt een verhoging van de bloedtoevoer naar de hersenen en een toename in de afgifte van neurotransmitters, wat kan leiden tot een betere hersenfunctie (McAuley e.a., 2004), terwijl veranderingen in de hersenstructuur (volume en/of integriteit) waarschijnlijker onderliggend is aan de langdurige fysieke activiteit (Swain e.a., 2003). Ook om deze reden worden de acute en langdurige effecten van fysieke activiteit op de hersenen afzonderlijk besproken.

Veranderingen in het neurofysiologisch functioneren laten zich over het algemeen kenmerken door een verandering in de sterkte, locatie of timing van neurale activatie. Een dergelijke verandering in neurofysiologisch functioneren is niet altijd eenduidig te interpreteren als een verbetering of verslechtering. Zo kan een verhoogde neurale activatie een afgeleide zijn van een beter functioneren (sterkere activatie van de hersenen maken een hogere cognitieve belasting mogelijk), maar juist ook van een zwakker functioneren (sterkere activatie is nodig om een bepaalde cognitieve belasting mogelijk te maken). De samenhang tussen veranderingen in de hersenen en gedragsmatige functioneren (cognitieve functies en/of schoolprestaties), is dus essentieel om betekenis te geven aan de veranderingen in het neurofysiologisch functioneren. In dit review worden daarom indien mogelijk de effecten van fysieke activiteit op de hersenstructuur en/of neurofysiologisch functioneren steeds besproken in relatie tot veranderingen in cognitieve functies en schoolprestaties.

Resultaten van het review: effecten van fysieke activiteit op hersenstructuur en het neurofysiologisch functioneren door middel van MRI

Acute fysieke activiteit

Eén MRI-studie onderzocht de effecten van acute fysieke activiteit (20 minuten fietsen op een ergometer) op het neurofysiologisch functioneren (Chen e.a., 2016). De resultaten suggereren dat acute fysieke activiteit een positieve invloed heeft op het neurofysiologisch functioneren bij kinderen. Na een korte periode van fysieke activiteit werd een verhoogde activatie in de pariëtale cortex (beiderzijds), hippocampus (links) en cerebellum (beiderzijds) geobserveerd in vergelijking met een rustperiode. Daarnaast werd een betere prestatie op een werkgeheugentaak geobserveerd na acute fysieke activiteit ten opzichte van de controleconditie.

Langdurige fysieke activiteit

Twee studies (Krafft e.a., 2014c; Schaeffer e.a., 2014) onderzochten de effecten van langdurige fysieke activiteit op hersenstructuur bij kinderen met overgewicht. De interventies bestonden uit naschoolse bewegingsinterventies gedurende 13 tot 36 weken. Deze studies suggereren dat langdurige fysieke activiteit een positieve invloed kan hebben op de hersenstructuur. De studies rapporteerden veranderingen in de integriteit van de witte stof in de hersenen. Deze witte stof van de hersenen bevat belangrijke

verbindingen tussen hersengebieden. Integriteit is de mate waarin deze structuren een dicht samengepakt geheel vormen. Na een periode van langdurige fysieke activiteit werd een hogere integriteit gemeten in twee witte-stofbanen: de fasciculus uncinatus (Schaeffer e.a., 2014) en de superieure longitudinale fasciculus (Krafft e.a., 2014c). Deze witte-stofbanen vormen de verbindingen tussen hersengebieden die belangrijk zijn voor het executief functioneren. Er werd geen hogere integriteit geobserveerd bij de kinderen die geen langdurige fysieke activiteit aangeboden kregen. Aangezien beide studies geen effecten op cognitieve functies of schoolprestaties rapporteren, kan niet worden vastgesteld of de waargenomen verandering in hersenstructuur ook samenhangt met verbeteringen op gedragsniveau.

Vier studies onderzochten de effecten van fysieke activiteit op het neurofysiologisch functioneren. De interventies bestonden uit een gevarieerde naschoolse bewegingsinterventies gedurende 13 tot 36 weken. Hiervan laten drie studies zien dat, na een periode van langdurige fysiek activiteit, veranderingen ontstaan in het functioneren van de hersenen tijdens cognitieve belasting bij gezonde en bij obese kinderen (Chaddock-Heyman e.a., 2013; Davis e.a., 2011; Krafft e.a., 2014c). Een verlaging van hersenactiviteit ter plaatse van de anterieure prefrontale cortex (rechts, Chaddock-Heyman e.a., 2013), inferieure frontale gyrus, de anterieure cingulaire cortex (Krafft e.a., 2014c) en de pariëtale cortex (Davis e.a., 2011) werd geobserveerd in de experimentele groepen ten opzichte van de kinderen die geen bewegingsinterventie volgden. Daarnaast vond één studie ook een verhoging van activiteit in de prefrontale cortex (Davis e.a., 2011). In één van de studies hing de verlaging van hersenactiviteit samen met een verbeterd executief functioneren (Chaddock-Heyman e.a., 2013).

Daarnaast blijkt dat langdurige fysieke activiteit ook het neurofysiologisch functioneren in cognitieve rust (*resting-state*) beïnvloedt (Krafft e.a., 2014a). Ten opzichte van de groep kinderen die geen bewegingsinterventie volgde, werd in de experimentele groep een verlaging van synchroniciteit binnen het *default mode* netwerk en het cognitieve controlenetwerk vastgesteld. En werd een verhoging van synchroniciteit binnen het motorische netwerk geobserveerd ten opzichte van de controlegroep. Dit patroon wordt in het algemeen geassocieerd met een gunstig effect voor de hersenontwikkeling (Fair e.a., 2007; Jolles e.a., 2010).

Doordat de steekproeven uit de studies van Krafft e.a. (2014a), Krafft e.a. (2014b), Krafft e.a. (2014c) en Schaeffer e.a. (2014) gedeeltelijk overlappen, kunnen ze niet als losse studie geïnterpreteerd worden, maar gelden ze als één studie. Dit heeft geen gevolgen voor de conclusies, maar het is wel belangrijk om te vermelden in verband met beperkingen van generaliseerbaarheid.

Resultaten van het review: effecten van fysieke activiteit op het neurofysiologisch functioneren door middel van elektro-encefalogram (EEG)

Hersenactiviteit kan worden bestudeerd door middel van het analyseren van verschillende hersengolven en *event-related potentials* (ERPs). Dit zijn elektrofysiologische reacties op cognitieve processen zoals deze worden opgewekt tijdens cognitieve taken. ERP's bestaan uit kenmerkende positieve en negatieve pieken, ook wel componenten genoemd, die optreden na het verschijnen van stimuli die gerelateerd zijn aan een taak. Deze componenten kunnen verschillen in termen van de grootte (amplitude) en tijd waarop de component zichtbaar wordt (latentie). Verschillende componenten kunnen worden onderscheiden binnen het ERP. De P3-amplitude is een positieve piek die op ongeveer 300 milliseconde na een stimulus optreedt. *Contigent negative variation* (CNV) is een langzame negatieve golf in het ERP die optreedt

tussen een waarschuwingssignaal en reactiesignaal. Deze kenmerken van de ERPs geven informatie over de efficiëntie van cognitieve processen.

Acute fysieke activiteit

Zeven studies onderzochten de effecten van acute fysieke activiteit op het neurofysiologisch functioneren door middel van EEG tijdens het uitvoeren van een cognitieve taak. Hiervan laten zes studies zien dat fysieke activiteit (fietsen op een ergometer of lopen op een loopband), variërend in duur van 20 tot 45 minuten, effect heeft op het neurofysiologisch functioneren (Chuang e.a., 2015; Hillman e.a., 2009; Hung e.a., 2016; Mierau e.a., 2014; Pontifex e.a., 2013; Schneider e.a., 2009; St-Louis-Deschênes e.a., 2015). Meer specifiek werden de veranderingen in het neurofysiologisch functioneren gekenmerkt door verhoogde P3-amplitudes na beweging bij gezonde kinderen (Hillman e.a., 2009; Pontifex e.a., 2013; St-Louis-Deschênes e.a., 2015) en bij kinderen met ADHD (Hung e.a., 2016; Pontifex e.a., 2013). Gezonde kinderen en kinderen met ADHD lieten daarnaast ook een kortere P3-latentie zien (Pontifex e.a., 2013). De grootte en latentie van de P3-amplitude wordt vaak geassocieerd met aandacht en het werkgeheugen (Kok, 2001), waarbij een grotere amplitude duidt op een grotere cognitieve belasting. Daarnaast werden ook verhoogde CNV-amplitudes geobserveerd na acute fysieke activiteit bij kinderen met ADHD (Chuang e.a., 2015). CNV-amplitudes worden geassocieerd met de mate van aandacht, waarbij een grotere amplitude wordt verbonden met een hogere efficiëntie van aandachtsprocessen (Grünewald-Zuberbier e.a., 1978).

Daarnaast werd na een periode van fysieke activiteit een verhoging van het aantal alfagolven geobserveerd bij gezonde kinderen (Schneider e.a., 2009). Alfagolven worden geassocieerd met bewustzijn en alertheid, waarbij een groter aantal alfagolven duiden op een hogere mate van bewustzijn en alertheid (Mierau e.a., 2014). In drie van de zeven studies die zowel neurofysiologische als gedragsmatige uitkomstmaten rapporteerden, hingen de effecten op het neurofysiologisch functioneren samen met verbeteringen in het executief functioneren en schoolprestaties bij gezonde kinderen (Hillman e.a., 2009; Pontifex e.a., 2013) en bij kinderen met ADHD (Chuang e.a., 2015; Pontifex e.a., 2013). De gerapporteerde effecten van beweging op neurofysiologische maten (P3-amplitude en latentie) werd niet in alle studies die deze effecten onderzochten bevestigd (Mierau e.a., 2014; St-Louis-Deschênes e.a., 2015).

Langdurige fysieke activiteit

Drie studies hebben de effecten van langdurige fysieke activiteit bij gezonde kinderen op neurofysiologisch functioneren beschreven door middel van EEG. De interventies bestonden uit een naschools bewegingsinterventie (FITkids) of een gecombineerde kracht- en conditietraining gedurende 16 tot 36 weken. Na een periode van langdurige fysieke activiteit werden grotere CNV-amplitudes (Kamijo e.a., 2011), P3-amplitudes (Hillman e.a., 2014) en alfa-amplitudes (Kim & So, 2015) geobserveerd ten opzichte van kinderen die geen bewegingsinterventie volgden. Deze veranderingen in het neurofysiologisch functioneren worden in het algemeen geassocieerd met respectievelijk een hogere efficiëntie van cognitieve processen, van cognitieve belasting en een hogere mate van alertheid (Grünewald-Zuberbier e.a., 1978; Kok, 2001; Mierau e.a., 2014). Deze drie studies laten ook een verbeterde executief functioneren zien bij kinderen na een periode van langdurige activiteit in vergelijking met kinderen die deze bewegingsinterventies niet volgden. Deze resultaten hingen echter niet samen met de veranderingen in het neurofysiologisch functioneren.

Resultaten van de meta-analyse

Vier studies verrichtten onderzoek naar het effect van fysieke activiteit op de P3-amplitude en latentie door middel van EEG. Deze studies zijn onderworpen aan een meta-analyse vanwege hun vergelijkbaarheid op het gebied van uitkomstmaten en rapportage. Van deze studies onderzochten drie studies de effecten van acute fysieke activiteit door middel van een cross-over design (Hillman e.a., 2009; Pontifex e.a., 2013; St-Louis-Deschênes e.a., 2015) en één studie de effecten van langdurige fysieke activiteit (Hillman e.a., 2014) door middel van een RCT. Alle studies hadden als uitkomstmaat de P3-amplitude en P3-latentie. Meta-analyse van de bevindingen uit deze studies wees uit dat fysieke activiteit in het algemeen een klein, maar relevant positief effect heeft op de P3-amplitude (ES = 0.48; $p < 0.000$; 4 studies). Daarnaast heeft fysieke activiteit ook een significant klein, maar relevant positief effect op de P3-latentie (ES = 0.35; p = 0,001; drie studies). Deze resultaten geven aan dat fysieke activiteit een klein positief effect heeft op het neurofysiologisch functioneren bij kinderen.

Conclusies van het review en de meta-analyse: effecten op hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren

De bovengenoemde studies vormen bewijs voor een causaal effect van fysieke activiteit op veranderingen in hersenstructuur en het neurofysiologisch functioneren van kinderen. Uit de systematische review komt naar voren dat op basis van zeven van de acht studies (vier studies bij gezonde kinderen en drie studies bij kinderen met ADHD) acute fysieke activiteit positieve effecten heeft op het neurofysiologisch functioneren. In vier van deze studies werden de resultaten geassocieerd met verbeterde prestaties op cognitieve taken of verbeterde schoolprestaties bij gezonde kinderen (twee studies) of bij kinderen met ADHD (twee studies).

Alle negen studies die gericht waren op langdurige fysieke activiteit bij kinderen lieten effecten zien op de hersenstructuur of neurofysiologisch functioneren (vier studies bij gezonde kinderen en vijf studies bij kinderen met obesitas). Bovendien worden in vier van deze studies ook verbeterde prestaties op cognitieve taken geobserveerd bij gezonde kinderen. In een van deze studies werd de verbeterde cognitieve prestaties overigens gerelateerd aan de veranderingen in het neurofysiologisch functioneren. De resultaten van de meta-analyse bevestigen het positieve effect van fysieke activiteit op het neurofysiologisch functioneren op kwantitatieve wijze: een klein, maar relevant effect voor zowel de P3-amplitude (ES = 0.48) als de P3 latentie (ES = 0.35).

Bij de interpretatie van de beschreven resultaten is echter wel enige voorzichtigheid geboden. Het aantal geïdentificeerde studies waarin het causale verband tussen fysieke activiteit en hersenstructuur en het neurofysiologisch functioneren wordt onderzocht, is beperkt. De resultaten van de meta-analyse zijn gebaseerd op een bescheiden aantal van vier studies. Niet alle studies laten bovendien dezelfde positieve resultaten zien. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door onvoldoende statistische power. Daarnaast kon in een aantal studies het effect van fysieke activiteit op de hersenstructuur of het neurofysiologisch functioneren niet gerelateerd worden aan veranderingen in de prestaties op de cognitieve taken. Daardoor blijft het onduidelijk of de waargenomen effecten ook leiden tot positieve veranderingen in het gedragsmatig functioneren. Tevens zijn zeven van de zeventien studies uitgevoerd bij klinische populaties, zoals kinderen met overgewicht/obesitas en ADHD. Het is onzeker of deze resultaten ook (in dezelfde mate) gelden voor gezonde kinderen.

Veranderingen in de hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren representeren hoogstwaarschijnlijk de onderliggende mechanismen voor het effect van fysieke activiteit op het cognitief functioneren en schoolprestaties. De huidige systematische review en meta-analyse bevestigen dat fysieke activiteit leidt tot veranderingen in hersenstructuur en het neurofysiologisch functioneren bij kinderen. Echter, het blijft in de literatuur regelmatig onduidelijk of deze veranderingen ook leiden tot verbeteringen in het executief functioneren en schoolprestaties.

Om de relatie tussen fysieke activiteit, cognitie en schoolprestaties te kunnen vaststellen is vervolgonderzoek noodzakelijk waarin zowel schoolprestaties, cognitie als beeldvorming van de hersenen in een langdurige RCT bestudeerd worden. In Slim door Gym is een dergelijke studie uitgevoerd en in het volgende hoofdstuk wordt van dit experiment de methode beschreven.

3. Methode van het experiment Slim door Gym

Dit hoofdstuk gaat over het door de onderzoeksgroep opgezette en uitgevoerde experiment, als onderdeel van Slim door Gym. Het experiment bestaat uit twee bewegingsinterventies, een intensieve bewegingsinterventie en een cognitieve bewegingsinterventie. Er wordt ingegaan op de interventie- en controlegroep en op de gehanteerde statistische methoden. Eerst volgt een beschrijving van de doelgroep en de onderzoeksopzet.

3.1 Deelnemers en gouden standaard als onderzoeksopzet

Het experiment Slim door Gym is op 22 scholen uitgevoerd. In totaal deden 891 kinderen tussen 7 en 11 jaar van groep 5 en 6 mee aan het experiment. Voor alle deelnemende kinderen was schriftelijke toestemming verkregen van één of beide ouders. Per school is groep 5 of 6 met behulp van loting toegewezen aan de interventiegroep of de controlegroep. Loting is een belangrijke voorwaarde voor het kunnen vaststellen van causale effecten. Het gebruik van een controlegroep en de loting zorgen ervoor dat de gouden standaard van interventie-onderzoek wordt toegepast. In Figuur 4 is de onderzoeksopzet weergegeven. Kinderen in de interventiegroep kregen – na loting - een van de twee speciaal ontwikkelde bewegingsinterventies aangeboden gedurende 14 weken, vier keer per week. De controlegroep volgde twee keer per week het reguliere bewegingsonderwijs. De kinderen in de interventiegroep volgden dus niet alleen andere lessemaar ook extra lessen bewegingsonderwijs. Voor de start en na afloop van de interventie hebben alle kinderen aan een voor- en nameting meegedaan, waarin executieve functies, schoolprestaties, fitheid en motoriek zijn getest. Door scores op de voor- en nameting te vergelijken tussen de experimentele en controlegroep, konden effecten worden vastgesteld. Bovendien zijn tijdens de voormeting gegevens verzameld over persoonskenmerken, zoals leeftijd, geslacht, het intelligentiequotiënt (IQ), de body-mass index (BMI) en sociaaleconomische status (SES). In Tabel 2 zijn de kenmerken van de kinderen weergegeven. De kenmerken geven een beeld van de deelnemers en er kan voor eventuele verschillen tussen groepen gecontroleerd worden in de analyses. Kinderen zonder score op de voor- of nameting (bijvoorbeeld door ziekte) zijn niet meegenomen in de analyse.

Verantwoording van het aantal scholen

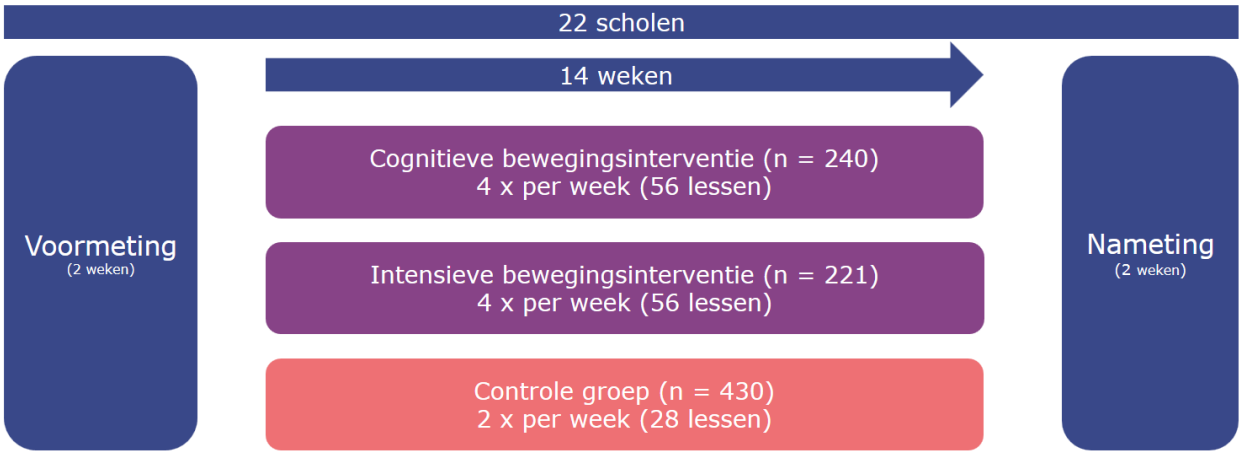
Voorafgaand aan het experiment is het benodigd aantal scholen bepaald aan de hand van een zogeheten poweranalyse (Spybrook & Raudenbush, 2008). Voor het uitvoeren van de poweranalyse is het noodzakelijk om eerst een schatting te maken van het te verwachten effect van een interventie. Op basis van internationale literatuur is een verwachte effectgrootte van 0.40 aangehouden (Davis e.a., 2011; Sibley & Etnier, 2003). Uit de poweranalyse bleek dat het experiment op minimaal twintig scholen uitgevoerd moest worden. Er zijn uiteindelijk 24 scholen geworven (twaalf scholen in het noorden en twaalf scholen in het midden van het land), omdat ook rekening gehouden is met mogelijke uitval van vier scholen. Twee scholen vielen uit, zodat er in totaal 22 scholen hebben meegedaan aan het onderzoek. Alhoewel niet alle regio's van Nederland zijn vertegenwoordigd, namen zowel kleine, middelgrote als grote scholen deel. De grootte van de school is een belangrijke factor in onderwijsonderzoek. De schoolgrootte varieerde van 116

tot 500 leerlingen. Voor de loting zijn de scholen eerst op grootte gesorteerd, om te garanderen dat kleine en grote scholen gelijk werden verdeeld over de interventiegroep en de controlegroep.

Tabel 3. *Kenmerken van de deelnemers*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
	n = 430	n = 221	n = 240
		groep 5	
leeftijd, gemiddeld in jaren (SD)	8.7 (0.4)	8.8 (0.5)	8.6 (0.4)
geslacht, n jongens (%)	125 (53.2)	49 (50.0)	61 (49.6)
BMI, gemiddeld in kg/m^2 (SD)	16.2 (2.0)	16.8 (2.2)	16.5 (2.2)
overgewicht, n (%)[a]	27 (11.8)	13 (13.7)	12 (10.3)
obesitas, n (%)[a]	4 (1.8)	2 (2.1)	4 (3.4)
		groep 6	
leeftijd, gemiddeld in jaren (SD)	9.7 (0.5)	9.7 (0.4)	9.5 (0.4)
geslacht, n jongens	94 (48.2)	59 (48.0)	51 (43.6)
BMI, gemiddeld in kg/m^2 (SD)	16.9 (2.3)	16.9 (2.2)	17.2 (2.5)
overgewicht, n (%)[a]	20 (10.8)	17 (14.3)	20 (17.5)
obesitas, n (%)[a]	7 (3.8)	3 (2.5)	4 (3.5)

[a] Het percentage kinderen met overgewicht/obesitas is bepaald met behulp van de body-mass index (BMI) volgens internationale richtlijnen (Cole, 2012).
n = aantal kinderen.
SD = standaarddeviatie.



Figuur 4. *Schematische weergave van de onderzoeksopzet. n = aantal kinderen.*

3.2 De bewegingsinterventies

De meta-analyse (zie hoofdstuk 2) laat zien dat bewegingsinterventies met langdurige fysieke activiteit een effectieve strategie kunnen zijn voor het verbeteren van de executieve functies en schoolprestaties. De literatuur laat ook zien dat een duur van 14 weken en een frequentie van 4-5 keer per week in principe voldoende is om effecten teweeg te brengen. In Slim door Gym zijn twee soorten interventies aangeboden: een met nadruk op aerobe (intensieve) fysieke activiteit (de intensieve bewegingsinterventie) en een met nadruk op cognitief fysieke activiteit (de cognitieve bewegingsinterventie). De meta-analyse laat namelijk een klein, maar relevant positief effect zien voor aerobe interventies en een middelgroot effect voor cognitief uitdagende interventies. De lessenreeksen van beide interventies zijn tot in detail uitgewerkt in twee handleidingen voor leerkrachten (Janssen et al., 2018; van Ginkel et al., 2018). De handleidingen bevatten 56 lessen per interventie (14 weken, vier lessen per week). Elke les duurt circa 35-45 minuten. Ze zijn ontwikkeld door bewegingswetenschappers met een diploma van de lerarenopleiding (Academie Lichamelijke Opvoeding).

De intensieve bewegingsinterventie
In de intensieve bewegingsinterventie ligt het accent op matig tot intensieve bewegingsvormen, zoals hardlopen en springen. Dit zijn activiteiten waarbij de hartslag, ademhaling en energieverbruik flink omhoog gaan. Tijdens de les bewegen de kinderen veel en staan ze weinig stil. Tijdens de warming-up (± 10 minuten) worden de activiteiten op een matige intensiteit uitgevoerd, tijdens de kern (± 20 minuten) op een hoge intensiteit en tijdens de cooling-down (± 5 minuten) op een lage intensiteit. Voorbeelden van lesactiviteiten zijn een estafette en een circuittraining waarin de kinderen in korte tijd veel verschillende oefeningen achter elkaar uitvoeren, zoals hardlopen, squat-jumps en boksbewegingen.

De cognitieve bewegingsinterventie
Tijdens de cognitieve bewegingsinterventie ligt het accent op bewegingsvormen met een hoge cognitieve uitdaging, zoals strategisch spel, anticiperen op gedrag van teamgenoten of tegenstanders en complexe of veranderende spelregels. Ook deze interventie bestaat uit een warming-up, een kern en een cooling down.

De lessen nemen gedurende de bewegingsinterventie toe in moeilijkheidsgraad, waardoor de kinderen blijvend cognitief uitgedaagd worden. Een voorbeeld van een cognitief uitdagende lesactiviteit is een balspel waarbij de regels steeds veranderen en moeilijker worden.

3.3 Implementatiematen

Om te onderzoeken of de bewegingsinterventies goed geïmplementeerd zijn op de scholen, is bijgehouden hoeveel gymlessen er per school zijn gegeven en hoeveel gymlessen elk kind heeft gevolgd. De interventies zijn vervolgens met elkaar vergeleken. Daarnaast is tijdens twee van de lessen (van zowel de interventiegroep als de controlegroep) in de 14-weekse periode de intensiteit gemeten.

Dit is gedaan met accelerometers, een klein apparaatje dat met een band op de heup wordt gedragen en dat bewegingen en versnellingen registreert. Het gemiddeld aantal minuten matig tot intensieve activiteit van de twee gymlessen is gebruikt als een maat voor de intensiteit. Het aantal gevolgde lessen en het aantal minuten matig tot intensieve fysieke activiteit geven een indicatie van de ‘dosis´ van de interventie die een kind daadwerkelijk heeft gekregen.

3.4 Uitkomstmaten

Aerobe fitheid, motorische vaardigheid en body-mass index

Aerobe fitheid
Aerobe fitheid is gemeten met de *Shuttle Run Test*. Tijdens de *Shuttle Run Test* moeten kinderen zo vaak mogelijk heen-en-weer rennen tussen twee lijnen die 20 meter uit elkaar liggen. Een piepje geeft aan op welke snelheid de kinderen aan de overkant moeten zijn. De snelheid begint op 8 km/uur en wordt elke minuut opgevoerd met 0.5 km/uur. Op het moment dat de snelheid wordt opgevoerd, wordt er een nieuwe (halve) trap bereikt. De test stopt wanneer een kind de overkant niet meer haalt of wanneer het zelf aangeeft niet meer te kunnen. Aerobe fitheid is weergegeven met het totale aantal behaalde trappen tijdens de *Shuttle Run Test*.

Motorische vaardigheid
Er zijn vier testen afgenomen om motorische vaardigheid vast te stellen, allemaal tijdens de gymles. Tijdens zijwaarts verplaatsen moeten kinderen zich verplaatsen door middel van twee houten plankjes. Ze moeten op het ene plankje staan en het andere plankje naast zich neerzetten en daarop overstappen. Vervolgens pakken ze het eerste plankje op om aan de andere kant naast zich neer te zetten en daarop over te stappen. Dit doen ze zo vaak mogelijk in 20 seconden. Er worden twee pogingen gedaan en het totale aantal verplaatsingen van de twee pogingen wordt gebruikt als score.

Tijdens zijdelings heen-en-weer springen moeten kinderen zo vaak mogelijk in 15 seconden van links naar rechts heen-en-weer springen op een mat met een houten plankje in het midden. Er worden twee pogingen gedaan en het totale aantal keer heen-en-weer springen wordt gebruikt als score.

Achterwaarts balanceren bestaat uit drie balansplanken (6 cm, 4.5 cm en 3 cm) waarop kinderen zoveel mogelijk stappen achterwaarts moeten zetten. Als er acht stappen zijn gezet, is de maximale score behaald. Per plank hebben de kinderen drie pogingen. De totale score van alle pogingen op de drie planken wordt gebruikt als score (maximaal 72 punten).

Balvaardigheid bestaat uit zeven testen met een tennisbal, zoals vangen, dribbelen of de bal naar een doel gooien. Per onderdeel kunnen vijf of zeven punten worden behaald. Het totaal van alle onderdelen (maximaal 39 punten) wordt gebruikt als score voor balvaardigheid.

De vier motoriekonderdelen samen geven een beeld van de motorische vaardigheid van kinderen. Van de vier onderdelen is de totale motoriekscore berekend. Deze score is gestandaardiseerd (het gemiddelde is 0), omdat alle testen op een andere manier zijn gemeten en gescoord.

Body-mass index
Body-mass index (BMI) is een index die die verhouding tussen lengte en gewicht weergeeft. Deze maat wordt vaak gebruikt als indicator voor overgewicht of ondergewicht. De BMI is berekend aan de hand van lengte en gewicht met de formule: BMI = gewicht (kg) gedeeld door de lengte $(m)^2$.

Cognitieve functies

Alle cognitieve taken werden individueel onder schooltijd afgenomen in twee delen van ongeveer 30-45 minuten. Het gaat om informatieverwerking (snelheid, variabiliteit, kwaliteit), aandacht (alertheid, ruimtelijke aandacht) en executieve functies (verbaal werkgeheugen, visuospatieel werkgeheugen, interferentiecontrole, motorische inhibitie). Een overzicht van alle cognitieve taken en de uitkomstmaten is te vinden in Tabel 4.

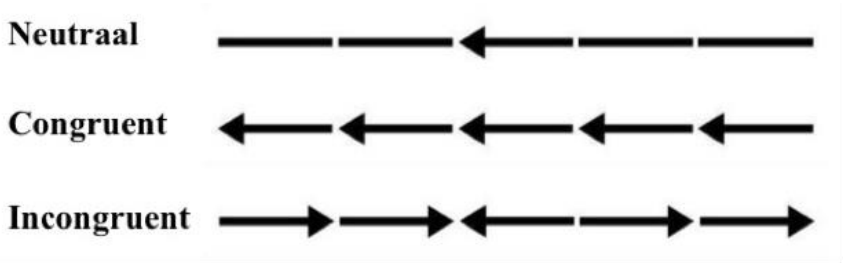
Tabel 4. *Cognitieve taken en uitkomstmaten zoals gebruikt in het onderzoek.*

construct	**taak**	**totstandkoming score**
informatieverwerking		
snelheid	attention network test	gemiddelde reactietijd voor neutrale doelwitten
variabiliteit	attention network test	standaarddeviatie van de gemiddelde reactietijd voor neutrale doelwitten
kwaliteit	stop-signaal taak	percentage incorrect op GO-trials
aandacht		
alertheid	attention network test	verschil in gemiddelde reactietijd voor responsen met en zonder waarschuwing
ruimtelijke aandacht	attention network test	verschil in gemiddelde reactietijd voor responsen met en zonder ruimtelijke aanwijzing

executieve functies		
verbaal werkgeheugen		
kortetermijngeheugen	cijferreeksen	aantal correcte antwoorden x lengte cijferreeks, tijdens nazeggen van reeksen in de volgorde van aanbieding
centraal executief werkgeheugen	cijferreeksen	aantal correcte antwoorden x lengte cijferreeks, tijdens nazeggen van reeksen in de omgekeerde volgorde van aanbieding
visuospatieel werkgeheugen		
kortetermijngeheugen	visuospatial working memory test	aantal correcte antwoorden x lengte patroon, tijdens reproduceren van patronen in de volgorde van aanbieding
centraal executief werkgeheugen	visuospatial working memory test	aantal correcte antwoorden x lengte patroon, tijdens reproduceren van patronen in omgekeerde volgorde van aanbieding
interferentiecontrole		
snelheid	attention network test	verschil in gemiddelde reactietijd voor responsen met en zonder interfererende informatie
kwaliteit	attention network test	verschil van het percentage correcte responsen met en zonder interfererende informatie
motorische inhibitie		
snelheid	stop-signaal taak	gemiddelde reactietijd (RT) minus de vertraging tussen de RT van de ´GO-trials´ en de ´STOP-trials´

Informatieverwerking

Om de snelheid en variabiliteit van informatieverwerking te meten werd een aangepaste versie van de *Attention Network Test* gebruikt. Dit is een digitale taak waar kinderen steeds een doelwit te zien krijgen. Het doelwit was een pijl die naar links of rechts wees, geflankeerd door een reeks symbolen. Deze flankerende symbolen konden neutraal zijn (streepjes), congruent zijn (pijlen die dezelfde kant op wijzen als de middelste pijl) of incongruent zijn (pijlen die de andere kant op wijzen dan de middelste pijl, en dus interfererende informatie presenteren; zie Figuur 5). De kinderen moesten de richting van de middelste pijl aangeven door zo snel mogelijk op de bijbehorende knop te drukken. De doelwitten konden plotseling verschijnen zonder waarschuwing (geen cue), of werden voorafgegaan door een waarschuwing (centrale cue) of een waarschuwing inclusief ruimtelijke aanwijzing voor de locatie van het doelwit (ruimtelijke cue). De gemiddelde reactietijd voor neutrale doelwitten en de standaarddeviatie daarvan duiden respectievelijk de snelheid en variabiliteit van informatieverwerking aan, waarbij een lagere score een betere prestatie aanduidt.



Figuur 5. *Neutrale, congruente en incongruente doelwitten uit de Attention Network Test.*

Om de kwaliteit van informatieverwerking te meten werd de digitale Stop-signaaltaak gebruikt (zie ook bij motorische inhibitie voor een uitgebreide beschrijving van de taak). Kinderen moesten zo snel mogelijk reageren op het verschijnen van een doelwit door op een knop te drukken (GO-trials) of moesten deze automatische respons onderdrukken door niet op een knop te drukken nadat een Stop-signaal verscheen (STOP-trials). Het percentage gemaakte fouten op de GO-trials duidt de kwaliteit van de informatieverwerking aan, waarbij een hoger getal een minder goede prestatie betekent.

Aandachtsprocessen

Alertheid en ruimtelijke aandacht werden eveneens door middel van de *Attention Network Test* gemeten. Het vermogen om een alerte staat te bereiken wordt aangeduid door de mate van alertheid en werd gemeten door het verschil in gemiddelde reactietijd voor responsen met en zonder waarschuwing voor het verschijnen van het doelwit. Het vermogen om aandacht te richten op een plek in de ruimte wordt aangeduid met ruimtelijke aandacht en werd gemeten door het verschil in gemiddelde reactietijd voor responsen met en zonder ruimtelijke aanwijzing voor het verschijnen van het doelwit. Een hoger getal duidt op een betere prestatie.

Executieve functies: verbaal werkgeheugen

Het verbaal werkgeheugen werd gemeten door middel van de *Cijferreeksen*-test. Kinderen kregen een reeks getallen auditief aangeboden die ze in dezelfde volgorde en omgekeerde volgorde moesten nazeggen. De moeilijkheidsgraad liep op door verlenging van de cijferreeks. Het vermogen om verbale informatie kortdurend vast te houden in het geheugen wordt aangeduid met het verbale kortetermijngeheugen. Dit werd gemeten met de reeksen die kinderen in dezelfde volgorde moesten nazeggen door het product te bepalen van het aantal correcte antwoorden en de behaalde moeilijkheidsgraad (lengte van de cijferreeks). Een hoger getal duidt een betere prestatie aan. Het vermogen om verbale informatie in het kortetermijngeheugen te bewerken wordt aangeduid met het centraal executief verbaal werkgeheugen. Dit werd gemeten met de reeksen die kinderen in omgekeerde volgorde moesten nazeggen door het product te bepalen van het aantal correcte antwoorden en de behaalde moeilijkheidsgraad (lengte van de cijferreeks). Wederom duidt een hoger getal een betere prestatie aan.

Executieve functies: visuospatieel werkgeheugen

Het visuospatieel werkgeheugen werd gemeten door middel van de digitale *Visuospatial Working Memory Task (*VSWM). In een raster van 4 bij 4 verschenen één voor één gele cirkels, die vervolgens in dezelfde volgorde en omgekeerd in de juiste volgorde op de juiste locatie moesten worden aangeklikt. De

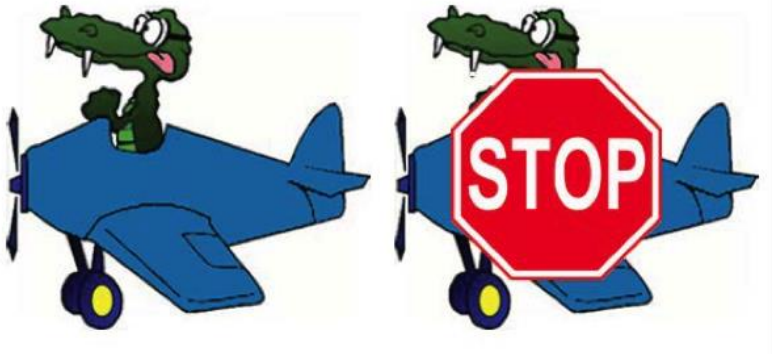
moeilijkheidsgraad liep op door verlengen van de reeks patronen. Het vermogen om visuele informatie kortdurend vast te houden in het geheugen wordt aangeduid met visuospatieel kortetermijngeheugen. Dit werd gemeten door het product van het aantal correcte antwoorden en de moeilijkheidsgraad (lengte patroon) in de volgorde van aanbieding, waarbij een hoger getal een betere prestatie aanduidt. Het vermogen om visuele informatie in het kortetermijngeheugen te bewerken wordt aangeduid met het centraal executief visuospatieel werkgeheugen. Dit werd gemeten door het product van het aantal correcte antwoorden en de moeilijkheidsgraad (lengte patroon), waarbij een hoger getal een betere prestatie aanduidt.

Executieve functies: interferentiecontrole

Het vermogen om irrelevante informatie te onderdrukken wordt aangeduid door de mate van interferentiecontrole. Dit werd gemeten door de *Attention Network Test* (zie bij informatieverwerking voor een beschrijving van de taak). De scores geven het verschil in gemiddelde reactiesnelheid weer voor incongruente doelwitten (met irrelevante informatie) en congruente doelwitten (zonder irrelevante informatie; zie Figuur 5) en geven de tijd die het kost om irrelevante informatie te onderdrukken weer, waarbij een hoger getal een minder goede prestatie betekent. De nauwkeurigheid van het vermogen om irrelevante informatie te onderdrukken wordt aangeduid met de kwaliteit van interferentiecontrole. Dit werd gemeten door het verschil van het percentage correcte responsen met en zonder interfererende informatie, waarbij een hoger getal een mindere goede prestatie betekent.

Executieve functies: motorische inhibitie

De Stop-signaaltaak is een computertaak die motorische inhibitie meet, oftewel het onderdrukken van een reeds in gang gezette bewegingsreactie. Kinderen moesten zo snel mogelijk reageren op het verschijnen van een doelwit door op een knop te drukken (GO-trials). Tijdens STOP-trials werd vlak na het verschijnen van het doelwit een stopsignaal aangeboden, waarbij kinderen de automatische bewegingsreactie (drukken op de knop) moeten onderdrukken (inhibitie; zie Figuur 6). De efficiëntie van inhibitie wordt uitgedrukt in de gemiddelde reactietijd op GO-trials minus de vertraging die optreedt tijdens een STOP-trial, waarbij een hoger getal een minder goede prestatie betekent.



Figuur 6. *Stimuli Stop-signaal taak tijdens een GO-trial (links) en tijdens een STOP-trial (rechts).*

Schoolprestaties

De schoolprestaties zijn gemeten voor de domeinen begrijpend lezen, rekenen en spelling. Voor alle drie de domeinen zijn delen van bestaande toetsen uit het Cito-leerlingvolgsysteem (LVS-toetsen) gebruikt om de schoolprestaties te meten. Dit zijn andere versies dan de reguliere toetsen die doorgaans op basisscholen worden afgenomen. Voor begrijpend lezen hebben alle kinderen dezelfde toets gemaakt. De toetsen voor rekenen en spelling zijn aangepast naar de groep waarin kinderen zitten, waarbij kinderen in groep 5 een eenvoudigere toets maakten dan kinderen in groep 6.

Begrijpend lezen
De toets 'Begrijpend lezen' meet essentiële leesvaardigheden door te testen op begrip en interpretatie van geschreven teksten. De toets bevat 25 gesloten vragen over verschillende soorten teksten, bijvoorbeeld informatief, verhalend of betogend. Het aantal goed beantwoorde vragen is gebruikt als score voor begrijpend lezen.

Rekenvaardigheid
De toets 'Rekenen-Wiskunde' meet in hoeverre kinderen rekenvaardigheden kaal en in contexten kunnen uitvoeren. De toets bevat 20 opgaven die rekenvaardigheid meten in getal relaties, bewerkingen (optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen) en meten, tijd en geld. Kinderen lossen deze opgaven op door middel van hoofdrekenen. Het aantal goed beantwoorde vragen is gebruikt als score voor rekenvaardigheid.

Spellingvaardigheid
De toets 'Spelling' meet spellingvaardigheden. Deze worden getoetst door middel van een zinsdictee dat de leerkracht afneemt. De leerkracht leest zinnen voor, waaruit vervolgens één woord wordt herhaald. Dit woord schrijven de kinderen op. Het dictee bestaat uit 25 dicteewoorden die behoren tot verschillende spellingcategorieën, zoals woorden met -ng of verkleinwoorden met de uitgang -je(s). De spellingcategorie geeft aan welke spellingmoeilijkheid er in het woord zit. Het aantal goed geschreven woorden is gebruikt als score voor spellingvaardigheid.

In de analyses zijn eerst de effecten van de interventies op de gemiddelde score voor de drie domeinen begrijpend lezen, rekenen en spelling samen bekeken. Vervolgens zijn de uitkomsten op schoolprestaties uitgesplitst naar de afzonderlijke domeinen (zie hoofdstuk 5 voor de resultaten).

3.5 Statistische methode

Relaties tussen executieve functies en schoolprestaties

De in hoofdstuk 2 beschreven meta-analyse naar de effecten van fysieke activiteit op executieve functies en schoolprestaties liet zien dat fysieke activiteit positieve effecten heeft op zowel executieve functies als schoolprestaties. Verder is gesuggereerd dat executieve functies belangrijk zijn in de relatie tussen fysieke activiteit en schoolprestaties. Fysieke activiteit zou via verbeterde executieve functies positieve effecten

hebben op schoolprestaties (zie Figuur 1 in hoofdstuk 1). Het bekijken van de relaties tussen executieve functies en schoolprestaties is een belangrijke eerste stap in het onderzoeken van dit indirecte effect.

Om de relaties te onderzoeken, zijn de scores op executieve functies gerelateerd aan de schoolprestaties in begrijpend lezen, rekenen en spelling – zoals gemeten tijdens de voormeting. Hiervoor is gebruik gemaakt van de methode *Structural Equation Modeling* met behulp van het statistische programma Mplus 7.31. Het voordeel van een structureel model is dat meerdere scores die dezelfde variabele beogen te meten, gebruikt kunnen worden om één onderliggende variabele (een latente variabele) te representeren. Zo kan bijvoorbeeld de variabele 'verbaal werkgeheugen' worden gemeten met een score op cijferreeksen vooruit en een score op cijferreeksen achteruit. Door meerdere scores te gebruiken om één variabele te representeren, krijgt men een betrouwbaardere maat van die variabele. Deze is dan immers op meerdere manieren gemeten en houdt zo rekening met mogelijke meetfouten.

Een overzicht van de variabelen in het model en de bijbehorende scores die gebruikt zijn om deze variabelen te representeren, is te vinden in Bijlage 4. Om specifieke relaties tussen de verschillende neurocognitieve functies (inhibitie, werkgeheugen, informatieverwerking en aandacht) en de verschillende academische domeinen (lezen, rekenen en spelling) te kunnen bepalen, zijn deze als losse (latente) variabelen opgenomen in het model. Op deze manier is het mogelijk om relaties tussen specifieke executieve functies en leerprestaties in een specifiek academisch domein te bepalen. De relaties met leeftijd, geslacht en sociaaleconomische status zijn toegevoegd aan dit model, om rekening te houden met de invloed die deze variabelen hebben op zowel executieve functies als schoolprestaties.

Effectiviteit van de interventies

Om te bepalen of de intensieve of de cognitieve bewegingsinterventie effectief blijken, kijken we naar het verschil tussen de controle- en interventiegroepen op de scores van de nameting. Dit betekent dat als bijvoorbeeld de kinderen in de fysieke interventiegroep significant hoger scoren dan de controlegroep op de nameting, we kunnen concluderen dat de fysieke bewegingsinterventie effectief is gebleken. Voor de statistische analyse is gebruik gemaakt van multilevel analyse (MLwiN, versie 2.35). Hiervoor is gekozen omdat we van tevoren wisten dat er verschillen tussen scholen zijn die niet door de bewegingsinterventie worden verklaard (een school ligt bijvoorbeeld in een achterstandswijk waardoor de kinderen gemiddeld lager scoren). Hiermee kunnen we rekening houden in een multilevel analyse.

Om de effecten te bepalen werd het model per uitkomstmaat opgebouwd. Met dit statistische model proberen we zo goed mogelijk de scores op de nameting te voorspellen. Dit betekent dus dat het model voor de effecten op bijvoorbeeld rekenvaardigheden anders is dan de effecten op aerobe fitheid. Daarnaast werd het model stap-voor-stap opgebouwd. Door stap-voor-stap variabelen toe te voegen aan dit model, controleren we voor variabelen die het verschil tussen de interventiegroepen en controlegroepen mogelijk verklaren (jongens scoren bijvoorbeeld significant hoger op rekenen dan meisjes). Hierdoor is de kans zo klein mogelijk dat significante verschillen tussen interventiegroepen en controlegroepen verklaard kunnen worden door andere factoren dan de bewegingsinterventie. Hierbij houden we ook rekening met de scores op de voormeting door deze score toe te voegen aan het statistische model.

Vervolgens is er voor de interventiegroepen onderzocht of er verschillen zijn tussen de interventies op de implementatiematen (het aantal gevolgde lessen en het aantal minuten matig tot intensieve activiteit). Door de implementatiematen per kind mee te nemen in het model kan onderzocht worden of een eventueel effect afhangt van ‘de dosis ‘ (het aantal lessen of het aantal minuten van de totale interventie) die de kinderen daadwerkelijk hebben gekregen.

Tot slot is onderzocht of de effecten van de interventie(s) op de uitkomstvariabelen enkel optreden in bepaalde subgroepen van de populatie. Specifiek is gekeken naar sociaaleconomische status, geslacht en deelname aan en hoeveelheid georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten (ja of nee, en het aantal minuten per week). De details van de statistische analyse zijn in Bijlage 3 te vinden.

4. Methode van het MRI-onderzoek

Dit hoofdstuk gaat over de gebruikte methode bij een deelstudie van het door de onderzoeksgroep opgezette en uitgevoerde experiment. De deelstudie omvat onderzoek naar effecten van de twee bewegingsinterventies op hersenfuncties bij circa 90 kinderen die aan het experiment meededen. Het streven was om 30 kinderen van zowel de intensieve als de cognitief uitdagende interventie en 30 kinderen van de controlegroep te selecteren. Voor MRI-onderzoek is dit een zeer grote groep. Met MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) zijn structurele en functionele hersenscans gebruikt voor het vaststellen van hersenfuncties voor en na de interventieperiode. *Diffusion Tensor Imaging* (DTI) omvat structurele scans waarmee de anatomie van het brein gemeten wordt. Met functionele MRI-scans (fMRI) worden veranderingen in hersenactiviteit gemeten tijdens rust (*resting-state* fMRI) en tijdens een cognitieve taak (*active-state* fMRI).

Eerst komen in dit hoofdstuk beschrijvingen aan bod van de doelgroep, de procedure en de protocollen. Daarna volgen de gebruikte technieken bij het MRI-onderzoek en de data-analyses van respectievelijk structurele data (DTI) en functionele data. Het hoofdstuk eindigt met een beschrijving van de hersenfunctie tijdens rust en tijdens een werkgeheugentaak.

4.1 Doelgroep, procedure en protocollen

Doelgroep

Alle kinderen waarvan de ouders toestemming hadden gegeven voor het experiment zijn uitgenodigd om deel te nemen aan het MRI-onderzoek. In totaal konden 90 kinderen deelnemen, en is er naar gestreefd om ongeveer vier kinderen per school en twee tot drie kinderen per klas te selecteren voor het MRI-onderzoek. Als het aantal aanmeldingen binnen een klas groter was dan het aantal beschikbare plekken, dan werd geloot welke kinderen mee zouden mogen doen. Door middel van een inclusieprotocol werd gezorgd dat de selectie gebalanceerd werd voor geslacht, groep (5 of 6) en onderzoekslocatie (UMC Groningen of VUmc Amsterdam). Het volledig inclusieprotocol is te vinden in Bijlage 5. De kenmerken van de kinderen die deelnamen aan het MRI-onderzoek komen overeen met de kenmerken van de kinderen die deelnamen aan het overkoepelende experiment (Tabel 3, hoofdstuk 3) en zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5. *Kenmerken van de kinderen die hebben meegedaan met het MRI-onderzoek*

	controlegroep n = 31	intensieve bewegings-interventie n = 30	cognitieve bewegings-interventie n = 32
leeftijd, jaren (SD)	9.2 (0.6)	9.2 (0.7)	9.0 (0.6)
geslacht, n jongens (%)	14 (45.2)	15 (50.0)	16 (50.0)
groep, n groep 5 (%)	15 (48.4)	15 (50.0)	17 (53.1)
BMI, kg/m^2 (SD)	16.7 (1.9)	16.8 (2.7)	16.8 (2.7)
overgewicht, n (%)[a]	4 (12.9)	3 (10.3)	6 (19.4)
obesitas, n (%)[a]	0 (0)	1 (3.4)	1 (3.2)

[a] Het percentage kinderen met overgewicht/obesitas is bepaald met behulp van de body-mass index (BMI) volgens internationale richtlijnen (Cole, 2012).
n = aantal kinderen.
SD = standaarddeviatie.

Procedure

De kinderen werden uitgenodigd voor twee MRI-metingen in het UMC Groningen of het VUmc Amsterdam. Eén meting in de twee weken voorafgaand aan de start van de interventie (voormeting) en één meting binnen twee weken na afloop van de interventie (nameting). Beide onderzoekslocaties maakten gebruik van overeenkomstige 3 Tesla-scanners. In het UMC Groningen: Philips 3T Intera MRI en in het VUmc Amsterdam: GE Optima 3T scanner). Tijdens de voormeting kregen de kinderen uitleg over het onderzoek en werd de visuospatiële werkgeheugentaak geoefend die de kinderen tijdens een deel van het scanprotocol moesten uitvoeren. Op beide locaties was een dummyscanner (oefenscanner) aanwezig die gebruikt werd om de kinderen voor te bereiden op het onderzoek. In de dummyscanner kregen de kinderen uitleg over de scanprocedure en werden de geluiden die de scanner produceert afgespeeld. Hierna werden de kinderen begeleid naar de echte scanner.

Protocollen

Het scanprotocol en de scanvolgorde is te vinden in Tabel 6. Om de effecten van de bewegingsinterventies te onderzoeken, is gebruik gemaakt van structurele MRI-scans en functionele MRI-scans. Structurele scans zijn scans die de anatomie van het brein meten. Aan de hand van structurele scans kan bepaald worden hoe groot bepaalde hersengebieden zijn, hoe dik de cortex is en hoe de communicatiebanen in het brein eruit zien. Er zijn twee soorten structurele scans afgenomen waarbij de grootte (volumetrie) van verschillende hersengebieden (T1) en de hersenverbindingen (*Diffusion Tensor Imaging*; DTI) in kaart werden gebracht. Tijdens de structurele scans (T1 en DTI) werd een tekenfilm afgespeeld op het scherm

achter de scanner, die de kinderen via een spiegel konden bekijken. Met functionele MRI-scans (fMRI) kunnen veranderingen in hersenactiviteit worden gemeten tijdens rust (resting-state fMRI) en tijdens een cognitieve taak (active-state fMRI). Tijdens resting-state fMRI werden kinderen geïnstrueerd om hun ogen dicht te houden, maar niet in slaap te vallen. Tijdens de active-state fMRI voerden de kinderen de visuospatiële werkgeheugentaak uit.

Tabel 6. *Overzicht verschillende scanonderdelen.*

type scan		korte uitleg	duur
Diffusion Tensor Imaging (DTI)	structureel	volumetrie zenuwbanen (witte stof)	4 minuten
resting state fMRI	functioneel	hersenactiviteit tijdens rust	7 minuten
active state fMRI	functioneel	hersenactiviteit tijdens de visuospatiële werkgeheugentaak	4 x 4 minuten

De visuospatiële werkgeheugentaak

De visuospatiële werkgeheugentaak is gebruikt om hersenactiviteit geassocieerd met het visuospatieel werkgeheugen in kaart te brengen (van Ewijk et al., 2015). Deze taak werd gepresenteerd op het scherm achter de MRI-scanner. Kinderen kregen een raster van 4 bij 4 vakjes te zien, waarin een voor een cirkels verschenen. Deze cirkels konden geel (werkgeheugencondities) of rood (controlecondities) van kleur zijn. Tijdens werkgeheugencondities werden drie gele cirkels (eenvoudige conditie) of vijf gele cirkels (complexe conditie) gepresenteerd en werd kinderen gevraagd om de volgorde waarin deze cirkels verschenen te onthouden. Na het verschijnen van de laatste cirkel werd een cijfer met een vraagteken erachter gepresenteerd in een van de vakjes van het raster. Dit cijfer had een waarde tussen één en drie (eenvoudige condities) of tussen één en vijf (complexe condities). Kinderen moesten met een druk op de linker knop (‘nee) of rechter knop (‘ja’) aangeven of de locatie van het vraagteken gelijk was aan de positie van de gepresenteerde cirkel, die correspondeerde met het cijfer onder het vraagteken. Dus als het gepresenteerde cijfer 3 was, dan moest het kind aangeven of de locatie van het vraagteken overeen kwam met de als derde gepresenteerde cirkel.

In de controlecondities werden drie of vijf rode cirkels gepresenteerd, altijd in dezelfde volgorde en altijd gevolgd door het cijfer acht met een vraagteken erachter. Aan de kinderen werd gevraagd om naar de cirkels te kijken, maar om de volgorde waarin deze verschenen niet te onthouden, en om altijd op het cijfer te reageren met een druk op de ‘nee’-knop. De taak bestaat uit vier delen van 24 pogingen. Tussen de afzonderlijke delen kregen kinderen een korte pauze. In totaal duurde de taak ongeveer 16 minuten. In Figuur 7 is een schematische weergave te zien van de taak.

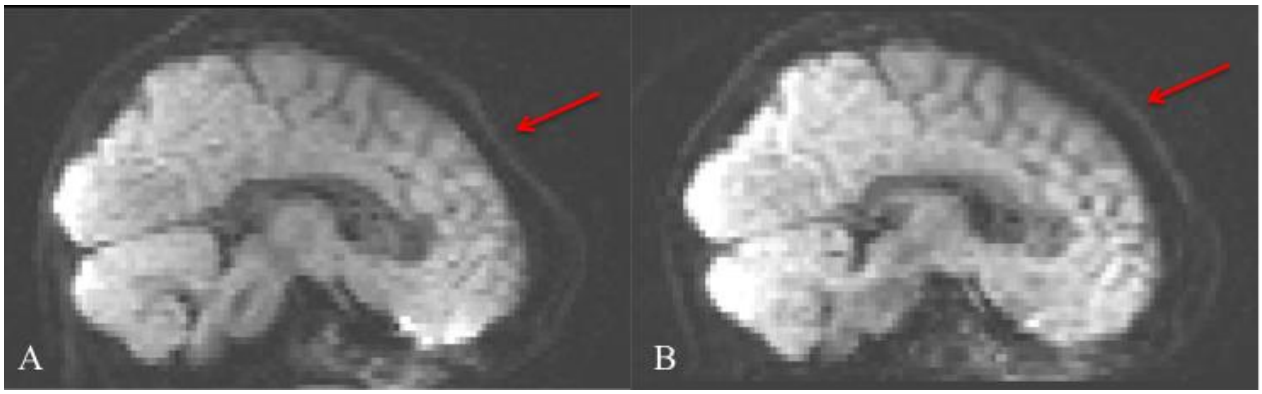
Figuur 7. *Schematische weergave van de visuospatiële werkgeheugentaak (van Ewijk et al., 2015).*

4.2 Data-analyse structurele data (DTI)

Om de integriteit en organisatie van de hersenverbindingen, oftewel de zogenaamde witte stofbanen, in kaart te brengen wordt gebruik gemaakt van *Diffusion Tensor Imaging* (DTI). Integriteit is de mate waarin deze structuren een dicht samengepakt geheel vormen. Deze geavanceerde MRI-techniek is gevoelig voor de diffusie (beweging) van watermoleculen en kan de beweegrichting van watermoleculen in een vloeistof bepalen. Watermoleculen hebben de eigenschap om willekeurig in elke richting te bewegen wanneer zij deze bewegingsvrijheid hebben. Echter, in de nauw verpakte witte stofbanen wordt deze vrije beweging beperkt; de watermoleculen hebben meer bewegingsvrijheid in de ruimte *langs* (evenwijdig aan) de witte stofbanen dan *tussen* (dwars op) de witte stofbanen. De verhouding tussen deze twee beweegrichtingen wordt *fractionele anisotropie* (FA) genoemd, en geldt als een maat voor de integriteit van witte stofbanen. Over het algemeen wordt aangenomen dat een hogere FA-waarde correspondeert met een hogere integriteit van de witte stof.

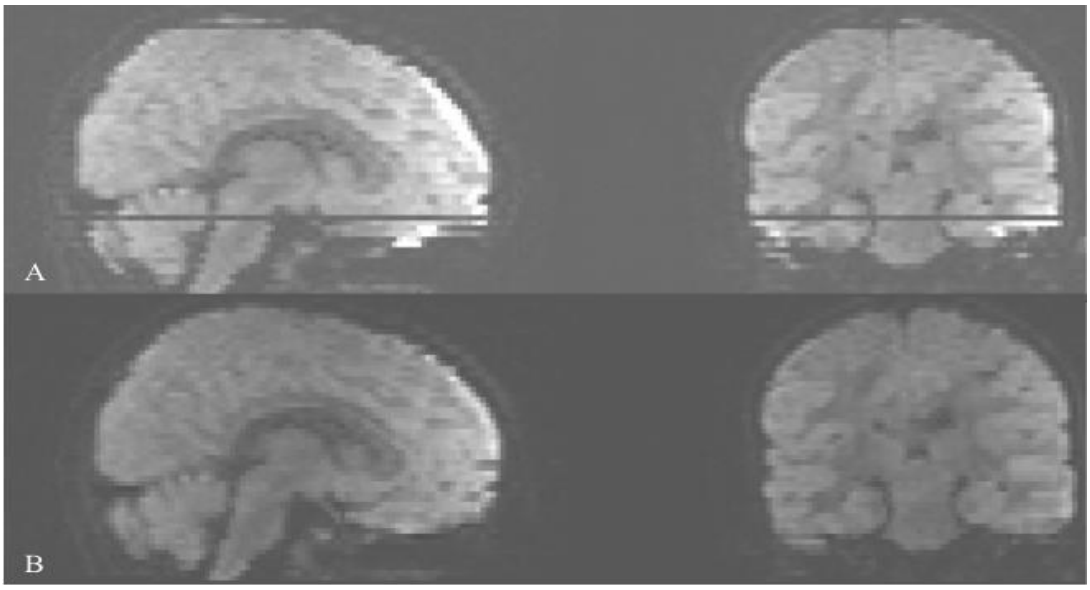
Voorbewerking van de data

De DTI-scans zijn voor iedere proefpersoon afzonderlijk voorbewerkt in het programma FMRIB Software Library v5.0 (FSL). Allereerst is gecorrigeerd voor verstoringen in het magnetische veld die worden veroorzaakt door de vorm, grootte en ligging van met name de keel- en neusholtes. Deze verstoringen in het magnetische veld veroorzaken een vervorming van de afgebeelde hersenen. Deze vervormingen en de correctie van deze vervormingen zijn te zien in Figuur 8.



Figuur 8. *A: originele DTI-scan met verstoringen door magnetisch veld, B: gecorrigeerde DTI-scan.*

Vervolgens zijn de data gecorrigeerd voor bewegingen van de proefpersoon gedurende de opname waardoor de metingen verstoord worden. Met behulp van geoptimaliseerde algoritmen zijn afwijkende zwakke delen van elke scan herkend, verwijderd uit de dataset en vervangen op basis van de resterende data (Figuur 9).



Figuur 9. *A: originele DTI-scan met verstoringen door beweging, B: gecorrigeerde DTI-scan.*

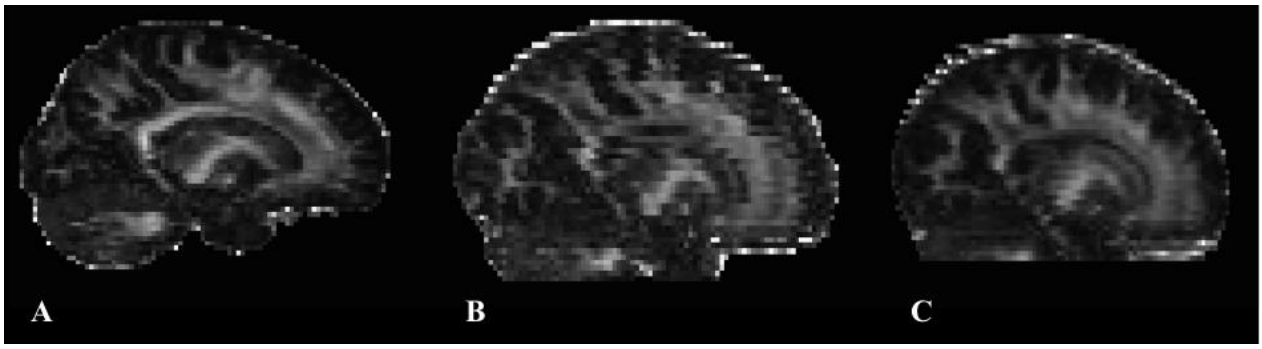
Oplossing voor verschillen tussen scancentra

Vervolgens zijn alle scans visueel geïnspecteerd op kwaliteit van de resultaten uit de geautomatiseerde voorbewerking. Daaruit bleek dat er een verschil in kwaliteit te zien was tussen de DTI-scans uit het VUmc Amsterdam en het UMC Groningen (Figuur 10A en B). Dit verschil bleek te ontstaan door een afwijkende definitie van de op elkaar afgestemde scaninstellingen in een van de twee centra (er werd

gescand met twee verschillende merken MRI-scanners, waarbij de ene fabrikant een andere definitie bleek te hanteren van een bepaalde instelling dan de andere fabrikant).

Door de afwijkende definitie van deze instelling zat er in een van de twee centra een langere periode tussen het scannen van opeenvolgende beelden. Dit is niet altijd problematisch, maar wel wanneer de scanner nog niet is 'warmgedraaid' en er zogeheten scannerdrift optreedt. In dit specifieke geval verschuift de opgewekte gradiënt in het magnetische veld heel langzaam. Omdat deze gradiënt wordt gebruikt om de oorspronkelijke locatie van een ontvangen signaal te bepalen, verschuift deze geschatte locatie van het signaal mee met de verandering in de gradiënt. Met andere woorden, het beeld van de hersenen komt op een andere plek in de ruimte en dit is problematisch omdat de driedimensionale reconstructie van de hersenen wordt opgebouwd door een combinatie van een groot aantal opeenvolgende tweedimensionale scans. Met geoptimaliseerde protocollen is de invloed van de verschuiving van minimale invloed op de datakwaliteit.

Echter, door de toegenomen tijd tussen het opnemen van opeenvolgende beelden in een van de centra, leidde de scannerdrift tot duidelijk zichtbare verstoringen in de scans (Figuur 10). Deze verstoring was zichtbaar bij 40% van de proefpersonen en deze data waren in deze vorm anders niet bruikbaar geweest. Vanwege het potentieel verlies van een belangrijk deel van de DTI-data, zijn verschillende oplossingsstrategieën bestudeerd en is uiteindelijk tot een geschikte oplossing gekomen. Door de betreffende data in aparte delen te corrigeren, voor te bewerken en achteraf weer samen te voegen in één scan konden de verstoringen volledig worden hersteld. Het succesvolle resultaat is zichtbaar in Figuur 10-C. Uiteindelijk zijn alle DTI-data volgens deze herziene procedure voorbewerkt.



Figuur 10. *DTI-scan (fractionele anisotropie afbeeldingen). A: VUmc Amsterdam, B: origineel UMC Groningen, C: gecorrigeerd UMC Groningen.*

Effect van de interventies op integriteit van witte stofbanen (DTI)

Om verschillen tussen de onderzoeksgroepen in witte stof te onderzoeken, wordt gebruik gemaakt van FSL *Tract-Based Spatial Statistics* (FSL-TBSS). FA-afbeeldingen van alle proefpersonen worden geregistreerd naar de meest representatieve proefpersoon door middel van non-lineaire registratie (FSL-FNIRT). Om de invloed van individuele verschillen in de vorm, grootte en ligging van de witte stofbanen op de resultaten te verkleinen, wordt de analyse beperkt tot het midden van elke witte stofbaan: het witte

stofskelet. Dit skelet beschrijft de delen van de witte stofbanen waar deze voor alle proefpersonen overlappen. Voor elke proefpersoon wordt de FA-afbeelding beperkt tot het witte stofskelet, en vervolgens worden de waarden voor elk meetpunt van de voormeting afgetrokken van de nameting. Om de effecten van de interventie te onderzoeken worden deze waarden vergeleken tussen de groepen (intensieve bewegingsinterventie, complexe bewegingsinterventie en de controlegroep). Deze vergelijkingen worden uitgevoerd met een non-parametrische permutatietest die is ontworpen voor de analyse van data uit beeldvorming. Deze test geeft niet alleen aan welke van de onderzochte effecten significant is, maar geeft eveneens de locatie in het witte stofskelet aan waarnaar deze effecten zijn te herleiden.

4.3 Data-analyse functionele data

Veranderingen in hersenactiviteit kunnen gemeten worden door middel van functionele MRI (fMRI). Deze techniek is gebaseerd op het verschil tussen zuurstofrijk en zuurstofarm bloed in de hersenen. Hersenactiviteit kost energie, en voor het produceren van deze energie wordt zuurstof verbruikt die wordt aangeleverd via hemoglobine in de rode bloedcellen. Het idee achter fMRI is dat een hoge activiteit in een bepaald hersengebied gevolgd zal worden door een afname van zuurstof in het bloed in de omgeving van dit hersengebied. Loskoppeling van de verbinding tussen zuurstof en hemoglobine verandert de magnetische eigenschappen van rode bloedcellen. En deze verandering in magnetisme wordt met fMRI gemeten als een maat voor zuurstofverbruik, en dus hersenactiviteit.

Hersenfunctie tijdens rust (resting-state)

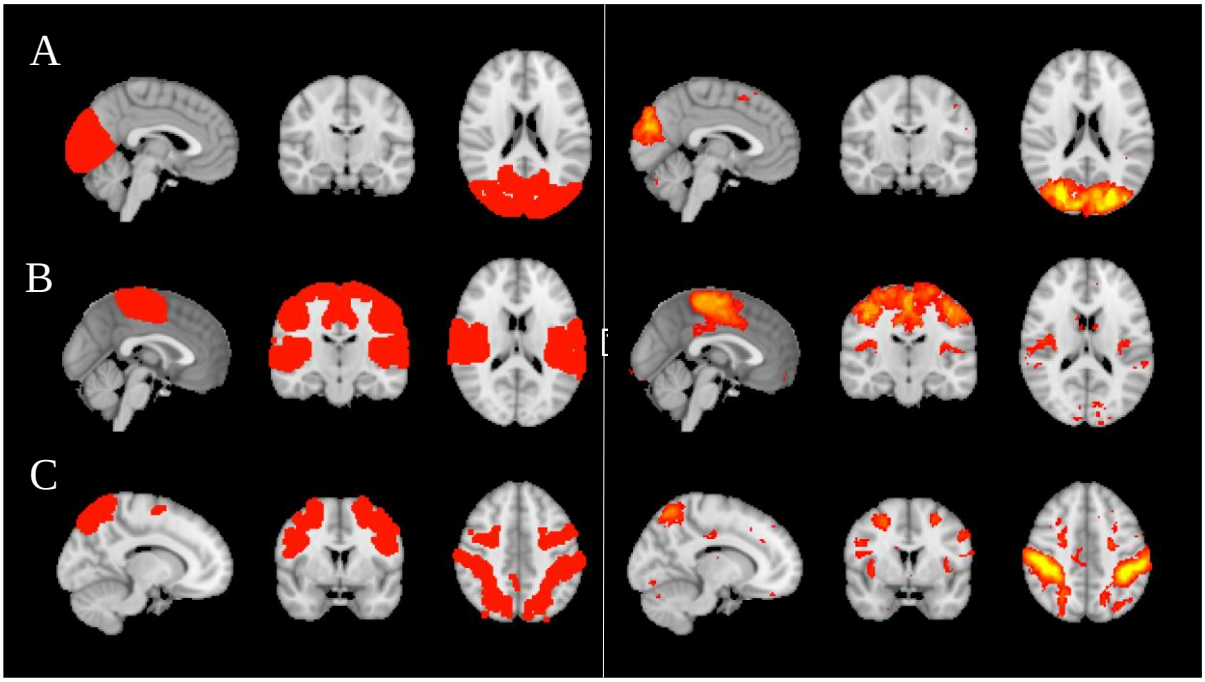
Voorbewerking van de resting-state data
De functionele data zijn voor iedere proefpersoon afzonderlijk voorbewerkt in het programma FSL. Allereerst zijn de data gecorrigeerd voor bewegingen van de proefpersoon gedurende de opname waardoor de metingen verstoord worden. Delen van elke scan met een afwijkend zwakke kwaliteit werden verwijderd uit de dataset en deze missende waarden werden met geoptimaliseerde algoritmen automatisch geschat en vervangen op basis van de resterende data. Proefpersonen die meer dan 10 mm bewogen hebben, werden verwijderd uit de dataset (n = 4), omdat deze mate van beweging niet betrouwbaar kan worden gecorrigeerd. Vervolgens is gecorrigeerd voor verstoringen in het magnetische veld die worden veroorzaakt door de vorm, grootte en ligging van met name de keel- en neusholtes. Deze verstoringen in het magnetische veld veroorzaken een vervorming van de afgebeelde hersenen. Activatie in kleine, naburige gebieden is daarna samengevoegd tot één groter gebied (*smoothing*), om zo de sterkte van het signaal te vergroten. Alle scans zijn visueel geïnspecteerd op kwaliteit van de resultaten uit de geautomatiseerde voorbewerking.

Ruwe resting-state fMRI-data bevatten veel ruis, oftewel activatiepatronen die niet daadwerkelijk onderdeel zijn van een van de bestaande resting-state netwerken, maar het gevolg zijn van beweging of ritmische ademhaling. De aanwezigheid van deze ruis verlaagt het onderscheidend statistisch vermogen om effecten waar te nemen, dus het is van groot belang de data op te schonen voor verdere analyse. Hiertoe werden de data eerst gereduceerd met onafhankelijke componentanalyse. Deze analyse gebruikt de samenhang in activatiepatronen van het brein door de tijd om de data samen te vatten in componenten, delen van het brein die over de tijd vaak tegelijkertijd actief zijn. Deze componenten kunnen dus een

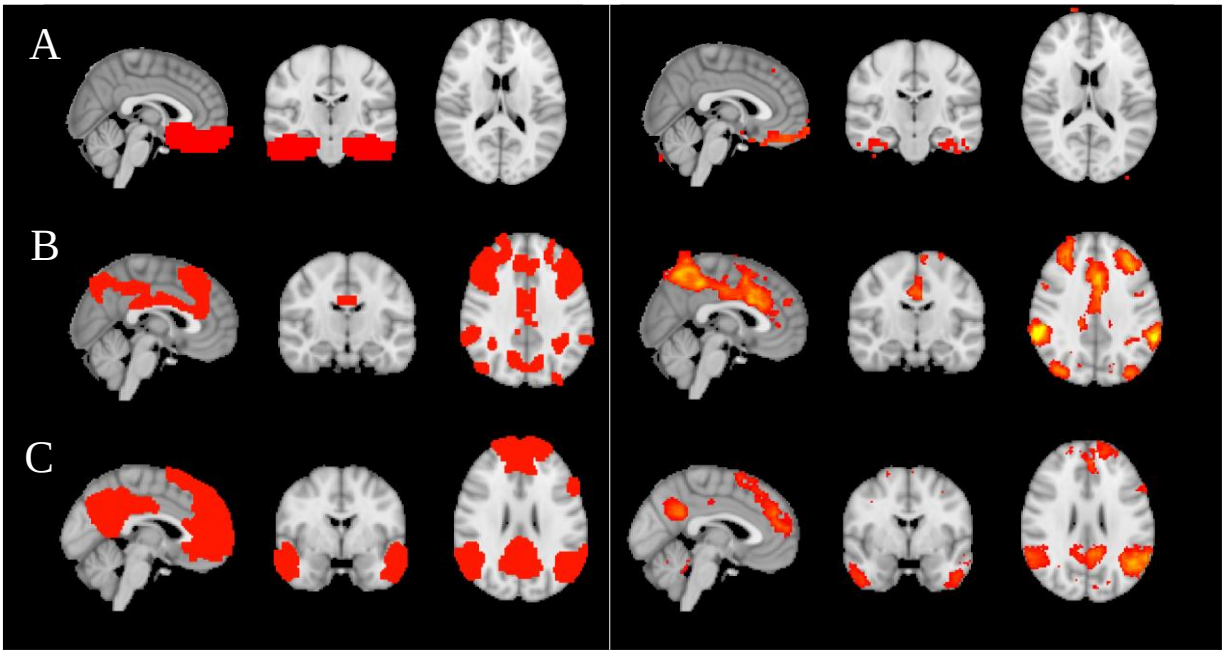
resting-state netwerk bevatten, maar ook ruis. Het onderscheid tussen deze twee typen componenten werd gemaakt door de correlatie uit te rekenen tussen elke component en bestaande resting-state netwerken (de zogenaamde atlas). Componenten met een lage samenhang met elk van de netwerken in de atlas werd geclassificeerd als ruis en verwijderd uit de data.

Resting-state data-analyse: selectie van netwerken of interest

De bestaande resting-state netwerken zijn vastgesteld bij volwassenen. Vanwege de stormachtige ontwikkeling van het brein gedurende de basisschoolleeftijd is het onwaarschijnlijk dat de resting-state netwerken van volwassenen precies overeenkomen met de resting-state netwerken van kinderen. Daarom werd een aparte atlas van resting-state netwerken geconstrueerd op basis van een subgroep van de proefpersonen in de voormeting (10% van de sample, representatief voor leeftijd, geslacht, SES en scanlocatie). De opgeschoonde data van deze kinderen werden gebruikt voor een onafhankelijke componenten groepsanalyse. Deze groepsanalyse is in staat om betrouwbaarder dan op individueel niveau de samenhang tussen de activatie van hersengebieden over tijd te gebruiken om de data op te delen in componenten. Vervolgens werden door middel van correlatie-analyse de netwerken geselecteerd met de sterkste samenhang tussen de bestaande atlas met resting-state netwerken en de groepscomponenten van onze subgroep. De bestaande netwerken gebaseerd op volwassenen, evenals de gereproduceerde netwerken in de subgroep van kinderen, zijn weergeven in Figuur 11 en 12. De netwerken van de subgroep kinderen (*networks of interest;* NOIs) worden gebruikt in de analyses, waarin we het effect van de interventies op de intensiteit en ruimtelijke distributie van deze netwerken zullen onderzoeken. De NOIs betreffen (delen van) de volgende resting-state netwerken: het visuele, sensomotorische, dorsale aandacht, limbisch, frontopariëtale aandacht en default mode netwerk.



Figuur 11. *Links: bestaande netwerken gebaseerd op volwassenen (Yeo e.a., 2011). Rechts: correlerende netwerken gebaseerd op de subgroep kinderen (10%). (A) visuele netwerk, (B) sensomotorisch netwerk en (C) dorsale aandacht netwerk.*



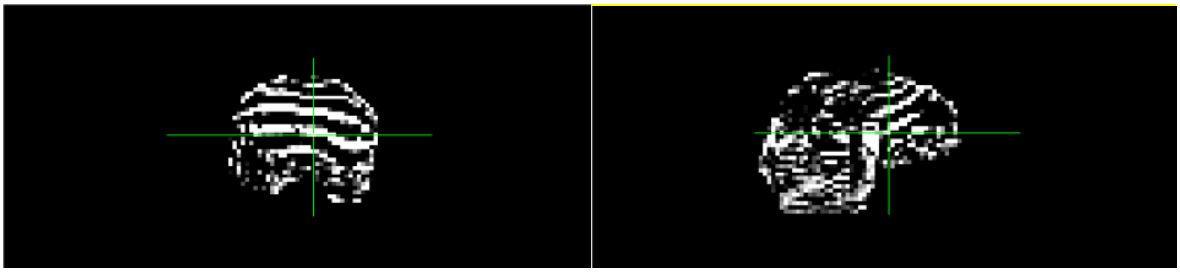
Figuur 12. *Links: bestaande netwerken gebaseerd op volwassenen (Yeo e.a., 2011). Rechts: correlerende netwerken gebaseerd op de subgroep kinderen (10%). (A) limbisch netwerk, (B) frontopariëtaal netwerk en (C) default mode netwerk.*

Resting-state data-analyse op groepsniveau (second-level analyse)
Om verschillen tussen de onderzoeksgroepen in de geselecteerde NOIs te onderzoeken wordt gebruik gemaakt van *Dual Regression* (FSL). De data van elke deelnemer werden gebruikt om binnen elke NOI de intensiteit en ruimtelijke distributie van activiteit te bepalen. Op groepsniveau wordt zodoende de intensiteit en ruimtelijk distributie van activiteit in de netwerken vergeleken voor de interactie tussen bewegingsinterventie en meetmoment, oftewel het effect van de interventie op de resting-state netwerken. Deze vergelijking wordt uitgevoerd met een non-parametrische permutatietest voor beeldvorming data, en geeft niet alleen aan of deze effecten zijn opgetreden, maar ook waar in het resting-state netwerk deze effecten zijn opgetreden.

Hersenfunctie tijdens werkgeheugentaak (active-state)

Voorbewerking van de active-state data
De eerste stappen in de voorbewerking van de active-state data zijn identiek aan de voorbewerking van de resting-state data (zie eerste alinea vorige paragraaf). Ruwe active-state fMRI data bevatten, net als de resting-state data, veel ruis. Hierdoor ontstaan er activatiepatronen die niet gerelateerd zijn aan taakdata, maar die het gevolg zijn van beweging. Ook active-state data moet daarvoor opgeschoond worden voor de analyses toegepast kunnen worden. Hiervoor is een onafhankelijke componentenanalyse gebruikt. Voor ieder kind werden de data van de vier active-state blokken samengevoegd. Uit deze samengevoegde data werden 30 componenten berekend. Met een onafhankelijke componentenanalyse worden gebieden geclusterd wanneer ze over tijd sterk overeenkomstige patronen van activatie laten zien. Deze

componenten werden vervolgens visueel geïnspecteerd en de componenten waarop artefacten te zien waren, werden verwijderd (zie Figuur 13 voor een voorbeeld van een artefact). Artefacten kunnen bijvoorbeeld ontstaan door beweging van het hoofd of een ijzeren spalkje in de mond, waardoor vertekeningen in de beelden te zien zijn.



Figuur 13: *Een component met daarin een artefact (te zien aan het golvende streeppatroon).*

Voor de overgebleven componenten werd het patroon van hersenactiviteit over tijd (van begin tot einde van de taak) gerelateerd aan het patroon in tijd van de taak (temporele selectie). Met het patroon in tijd van de taak wordt bedoeld wat een kind op een bepaalde tijd tijdens de taak moest doen, bijvoorbeeld kijken naar de gepresenteerde stippen of op het knopje drukken als reactie op de taak. De relatie tussen deze patronen werd berekend, waarbij er specifiek werd gekeken naar twee contrasten: werkgeheugencondities (gele cirkels) ten opzichte van controlecondities (rode cirkels), en complexe werkgeheugencondities (5 cirkels) ten opzichte van eenvoudige werkgeheugencondities (3 cirkels). Door de temporele selectie werden de componenten met de hoogste relatie tussen hersenactiviteit en de taak het zwaarste meegewogen in de contrast-afbeeldingen. Deze analyses resulteerden in twee contrast-afbeeldingen. In de contrast-afbeeldingen is te zien in welke hersengebieden meer/minder activatie is tijdens (1) de werkgeheugencondities ten opzichte van de controlecondities, of (2) de complexe condities ten opzichte van de eenvoudige condities. Op deze manier werden twee contrast-afbeeldingen gemaakt voor zowel de voor- als de nameting.

Active-state data-analyse op groepsniveau (second-level analyse)
Vervolgens zijn de contrast-afbeeldingen van de individuele proefpersonen samengevoegd in een groepsanalyse (second-level analyse genoemd), om te kijken naar activatie-verschillen tussen de drie groepen. De analyses op groepsniveau werden uitgevoerd in het programma *Statistical Parameter Mapping* (SPM12). Er werd een *Flexible Factorial Design* uitgevoerd (wat overeenkomst met een *Repeated Measures Analysis of Variances*) om verschillen in activatiepatroon te onderzoeken. Het verschil in activatie tijdens de werkgeheugencondities ten opzichte van de controlecondities en tussen de complexe condities en de eenvoudige condities werd vergeleken voor: (1) de twee meetmomenten (nameting ten opzichte van voormeting) en (2) het interactie-effect tussen interventiegroep en meetmoment, oftewel het effect van beide interventies op hersenactiviteit; en of dit effect verschilt voor de controlegroep en interventiegroepen. Deze test geeft aan of er effecten van de interventies zijn en waar in het brein deze effecten zijn opgetreden.

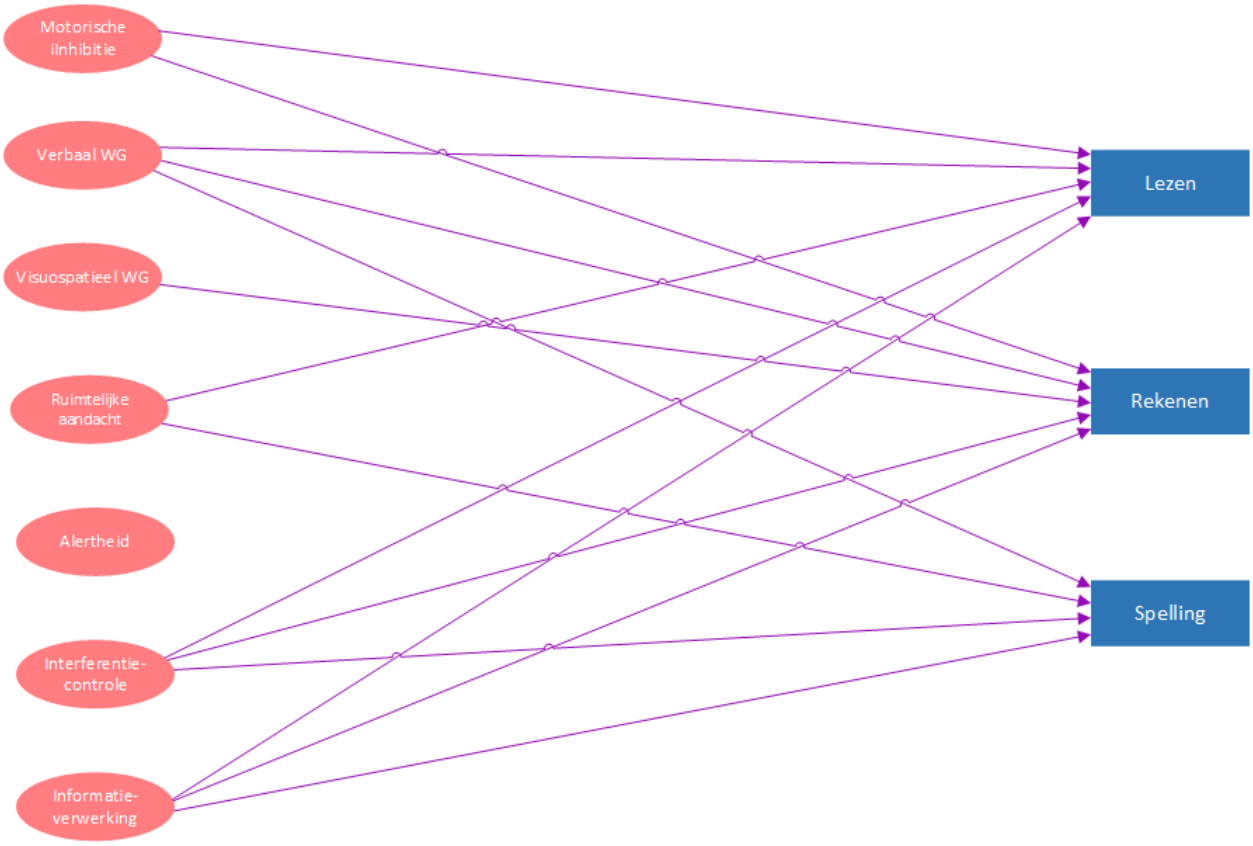
5. Resultaten van het experiment Slim door Gym

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van het experiment dat is uitgevoerd als onderdeel van Slim door Gym. Van de implementatiefase komen het aantal gevolgde lessen en de intensiteit van de interventielessen aan de orde in relatie tot de uitkomstmaten. Deze maten geven een indruk hoe goed de interventies zijn geïmplementeerd op de scholen. Bij het onderzoek naar de effecten van de interventies zijn aerobe fitheid, motorische vaardigheden, body-mass index (BMI), cognitieve functies en schoolprestaties meegenomen. In Figuur 1 (zie hoofdstuk 1) zijn deze effectmaten weergegeven. Om de mogelijkheid te onderzoeken of effecten van de interventie(s) op de uitkomstmaten alleen optreden in subgroepen van de populatie, zijn de effecten van de interventies ook afzonderlijk getoetst bij kinderen die op de voormeting laag of juist hoog presteerden. Tevens is bekeken of kinderen die meer/minder lessen gevolgd hebben of intensiever/minder intensief hebben bewogen tijdens de lessen een hogere score hadden na de interventie. Tot slot is bekeken of sociaaleconomische status, geslacht, en buitenschoolse georganiseerde sportactiviteiten van invloed was op de resultaten. Van de analyses in subgroepen zijn alleen de significante resultaten gerapporteerd.

In Figuur 1 (hoofdstuk 1) is te zien dat een relatie tussen cognitieve functies en schoolprestaties verondersteld wordt. Die relatie is onderzocht in het experiment en de resultaten ervan zijn eerst beschreven in dit hoofdstuk. Achtereenvolgens komen paragraafgewijs aan bod (1) de relaties tussen executieve functies en schoolprestaties, (2) implementatiematen, (3) effecten op aerobe fitheid, motorische vaardigheden en BMI, (4) effecten op cognitieve functies en (5) schoolprestaties.

5.1 Relaties tussen executieve functies en schoolprestaties

Om de relaties tussen executieve functies en schoolprestaties te bepalen, is gebruik gemaakt van een model waarin executieve functies gerelateerd zijn aan schoolprestaties. In Figuur 14 is een visuele weergave te vinden van dit model, waarin alleen de significante relaties tussen executieve functies en schoolprestaties zijn gepresenteerd. In het model is gecontroleerd voor leeftijd, geslacht en sociaaleconomische status. Een volledig model met daarin ook relaties tussen geslacht, leeftijd, sociaaleconomische status en met resultaten die weergeven hoe goed scores op de testen de verschillende domeinen representeren, is te vinden in Bijlage 4.



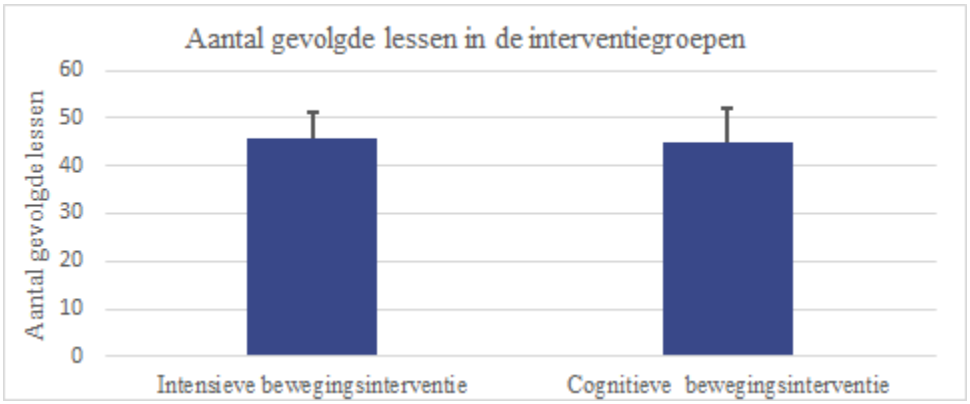
Figuur 14. *Significante relaties tussen cognitieve functies en schoolprestaties, gecontroleerd voor de invloed van geslacht, leeftijd en sociaaleconomische status.*
WG= werkgeheugen.

Uit het model valt op te maken dat *verbaal werkgeheugen*, *interferentiecontrole* en *informatieverwerking* gerelateerd zijn aan prestaties in alle drie de domeinen begrijpend lezen, rekenen en spelling. Daarnaast is te zien dat er specifieke relaties zijn tussen de verschillende cognitieve functies en de verschillende schoolprestaties. *Ruimtelijke aandacht* lijkt vooral belangrijk te zijn voor taal, aangezien deze cognitieve functie een voorspeller is van zowel lees- als spellingvaardigheid, maar niet voor rekenvaardigheid. *Visuospatieel werkgeheugen* is daarentegen specifiek van belang voor rekenvaardigheid, maar voorspelt niet hoe goed kinderen presteren op lezen en spelling. *Motorische inhibitie* voorspelt hoe goed kinderen presteren op lezen en rekenen, maar niet op spelling. *Alertheid* lijkt niet voorspellend te zijn voor prestaties op lezen, rekenen en spelling.

Als een of beide interventies effecten laat zien op schoolprestaties, zal een extra analyse worden gedaan om te bekijken of de genoemde significante verbanden verklarend zijn voor de gevonden effecten. Zo kan bijvoorbeeld bij een positief effect op rekenen bekeken worden of het visuospatieel werkgeheugen een deel van het effect verklaart. Dit heet een mediatie-analyse.

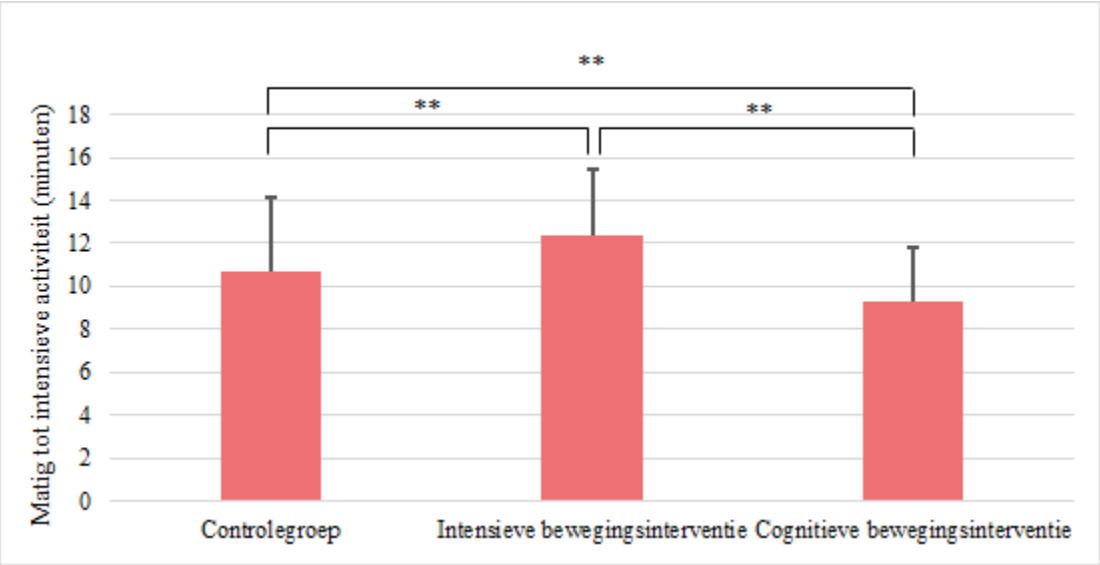
5.2 Implementatiematen

In Figuur 15 is het gemiddeld aantal gevolgde lessen per kind in de interventiegroepen weergegeven tijdens de periode van 14 weken. Kinderen die de intensieve bewegingsinterventie hebben gekregen, volgden gemiddeld 45,6 lessen. Kinderen die aan de cognitieve bewegingsinterventie meededen, hebben gemiddeld 44,9 lessen gevolgd. Gemiddeld komt dit neer op 3,2 lessen per week en dat is minder dan het beoogde aantal lessen van vier per week. Het blijkt dus lastig voor scholen om ervoor te zorgen dat kinderen vier keer per week gymles krijgen, ook al is het gepland.



Figuur 15. *Het gemiddeld aantal gevolgde lessen voor kinderen in de intensieve bewegingsinterventie en voor kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie.*

In zowel de controlegroep als in beide interventiegroepen is tijdens twee gymlessen de intensiteit gemeten door te bepalen hoeveel tijd kinderen matig tot intensief actief waren. Het gemiddeld aantal minuten matig tot intensieve activiteit verschilde tussen de drie groepen. Kinderen in de intensieve bewegingsinterventie bewogen gemiddeld 12,4 minuten matig tot intensief. Kinderen in de controlegroep bewogen gemiddeld 10,7 minuten matig tot intensief en kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie bewogen gemiddeld 9,3 minuten matig tot intensief tijdens de gymles (zie Figuur 16). Het verschil tussen de groepen was naar verwachting, omdat de intensieve bewegingsinterventie is ontworpen om het aantal minuten matig tot intensieve activiteit te verhogen. Bij de cognitieve bewegingsinterventie moesten kinderen meer nadenken over de bewegingen die ze maakten, waardoor de kinderen in deze interventie minder matig tot intensief hebben bewogen.



Figuur 16. *Het gemiddeld aantal minuten matig tot intensieve activiteit, gemeten over twee gymlessen voor de controlegroep, de intensieve interventie en de cognitieve bewegingsinterventie.*

5.3 Effecten op aerobe fitheid, motorische vaardigheden en BMI

Aerobe fitheid

Er is voor aerobe fitheid geen verschil gevonden tussen de drie groepen op de nameting (Tabel 7). Zowel de intensieve bewegingsinterventie als de cognitieve bewegingsinterventie zorgt dus niet voor een betere aerobe fitheid vergeleken met de controlegroep.

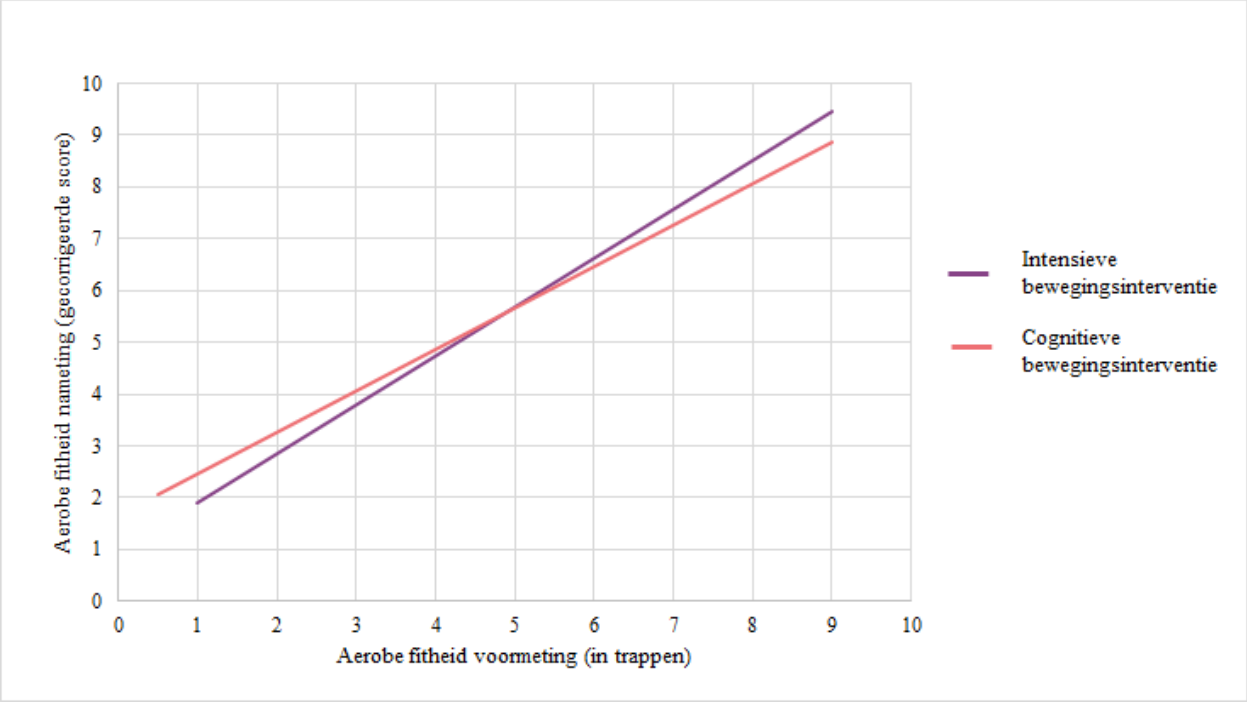
Tabel 7. *Voorspelde gemiddelde scores op de fysieke testen op de nameting (gemiddelde ± SD) per groep.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
aerobe fitheid (trappen)[1]	5.1 ± 1.7	5.4 ± 1.7	5.2 ± 1.6
BMI (kg/m^2)[2]	16.7 ± 2.2	16.9 ± 2.0	16.9 ± 2.2
motoriek[3,4]	0.25 ± 0.8	0.42 ± 0.8	0.16 ± 0.8

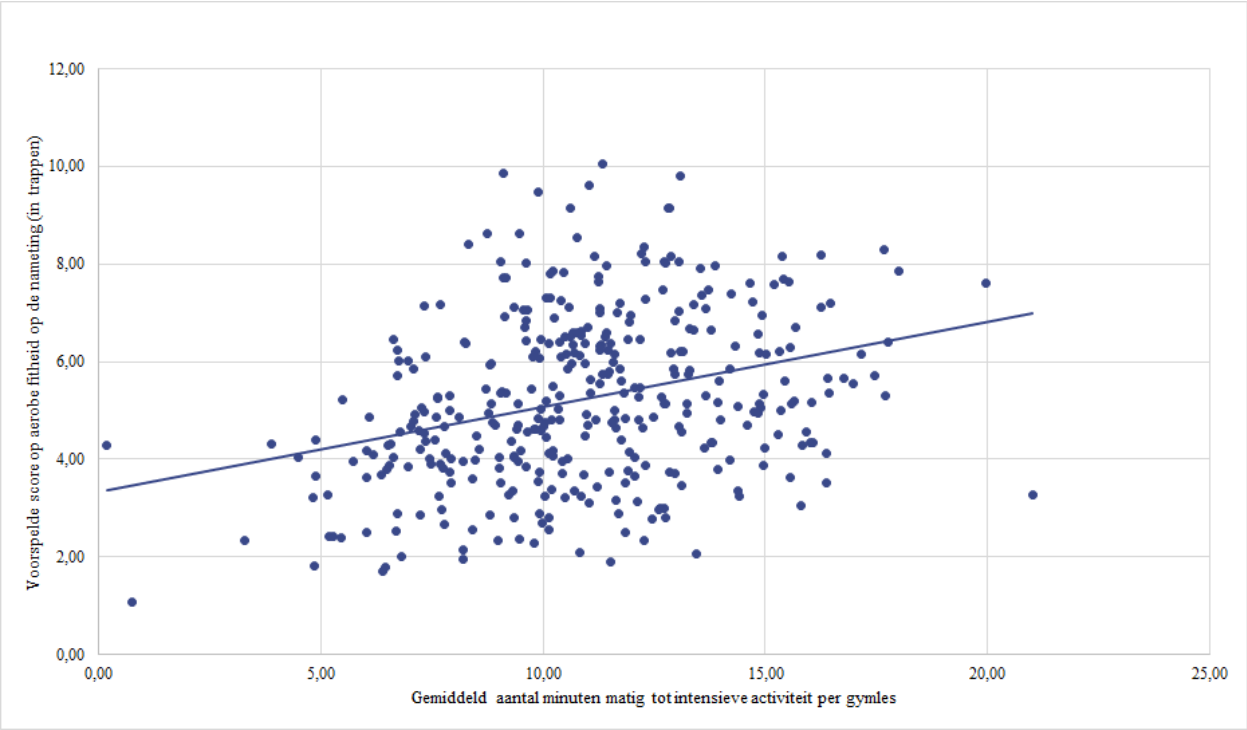
[1] Voorspelde score op basis van de score op de voormeting en geslacht.
[2] Voorspelde score op basis van de score op de voormeting.
[3] Voorspelde score op basis van de score op de voormeting en sociaaleconomische status.
[4] Gestandaardiseerde score voor de vier motorische testen.
SD = standaarddeviatie.

Om te achterhalen of de effecten van de interventie(s) op het fysieke functioneren alleen optreden in subgroepen van de populatie, zijn de effecten van de interventies ook afzonderlijk getoetst bij kinderen die op de voormeting laag of juist hoog presteerden. Hieruit bleek dat hoe hoger de aerobe fitheid op de voormeting was, hoe hoger kinderen in de intensieve bewegingsinterventie scoorden op de nameting ten opzichte van kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie. Hoe lager kinderen scoorden op de voormeting, hoe hoger zij scoorden op de nameting in de cognitieve bewegingsinterventie ten opzichte van kinderen in de intensieve interventie. Dit impliceert dat voor relatief fitte kinderen de intensieve bewegingsinterventie beter werkt dan de cognitieve bewegingsinterventie, en dat voor relatief minder fitte kinderen de cognitieve bewegingsinterventie beter werkt dan de intensieve bewegingsinterventie (zie Figuur 17). De fitheid van kinderen is dus een kenmerk om rekening mee te houden bij het ontwikkelen en bij de uitvoering van nieuwe interventies.

In de interventiegroepen is onderzocht of de intensiteit waarop kinderen bewegen tijdens de gymles gerelateerd is aan de aerobe fitheid op de nameting. Uit deze analyse blijkt dat hoe meer kinderen matig tot intensief bewogen, hoe beter de aerobe fitheid was op de nameting. Dit effect was te zien in zowel de intensieve interventiegroep als de cognitieve interventiegroep (zie Figuur 18). Dit impliceert dat kinderen die intensiever bewegen tijdens een interventie hoger scoren op aerobe fitheid na afloop van de interventie.



Figuur 17. *Voorspelde score op aerobe fitheid op de nameting ten opzichte van de score op de voormeting. De scores zijn apart weergegeven voor de intensieve bewegingsinterventie en voor de cognitieve bewegingsinterventie.*



Figuur 18. *De relatie tussen het aantal minuten matig tot intensieve activiteit per gymles en voorspelde aerobe fitheid op de nameting, gemeten in de interventiegroepen.*

Motorische vaardigheden

Bij motorische vaardigheden is geen verschil tussen de drie groepen gevonden tijdens de nameting (Tabel 7). De intensieve bewegingsinterventie en de cognitieve bewegingsinterventie zorgen dus niet voor verbeterde motoriek op de nameting vergeleken met de controlegroep.

Body-mass index (BMI)

Er is geen verschil gevonden tussen de drie groepen op BMI op de nameting (Tabel 7). De intensieve bewegingsinterventie en de cognitieve bewegingsinterventie zorgen dus niet voor een lagere BMI vergeleken met de controlegroep.

5.4 Effecten op cognitieve functies

De effecten op cognitieve functies zijn uitgesplitst naar informatieverwerking, aandacht en executieve functies. Daarnaast is gekeken naar de invloed van sociaaleconomische status en geslacht op cognitieve functies. Voor alle onderstaande analyses zijn kinderen met een IQ-schatting lager dan 70 niet meegenomen (n = 10).

Informatieverwerking

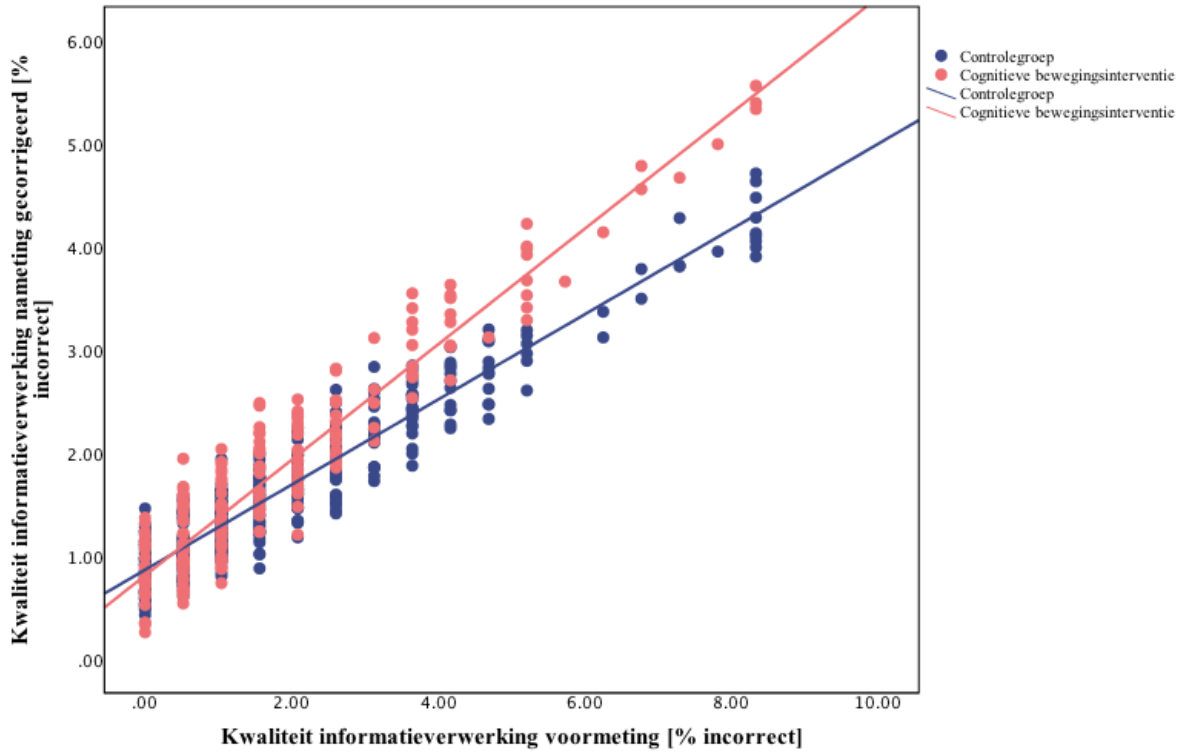
Gecorrigeerde gemiddelde scores van de interventiegroepen en de controlegroep tijdens de nameting voor de snelheid, variabiliteit en kwaliteit van de informatieverwerking zijn weergegeven in Tabel 8. Vergelijking van de onderzoeksgroepen leverde geen aanwijzingen op voor betekenisvolle verandering in de snelheid, variabiliteit en kwaliteit van informatieverwerking. Ruwe scores gemeten tijdens de voor- en nameting zijn weergegeven in Bijlage 3.

Tabel 8. *Voorspelde gemiddelde scores voor informatieverwerking tijdens de nameting (gemiddelde ± SD) per groep.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
snelheid van informatieverwerking[1*]	594.88 ± 68.01	582.16 ± 56.24	589.93 ± 61.35
variabiliteit van informatieverwerking[1*]	141.47 ± 26.57	138.86 ± 23.09	140.72 ± 24.55
kwaliteit van informatieverwerking[2*]	1.68 ± 0.88	1.49 ± 0.83	1.83 ± 0.88

[1] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting, groep en sociaaleconomische status.
[2] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting, leeftijd en groep. *Een lagere waarde wordt geïnterpreteerd als betere prestatie.
SD = standaarddeviatie.

Om te onderzoeken of de effecten van de interventie(s) op het cognitief functioneren enkel optreden in subgroepen van de populatie, zijn de effecten van de interventies ook afzonderlijk getoetst bij kinderen die op de voormeting laag of juist hoog presteerden. Uit deze aanvullende analyses kwam naar voren dat kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie met minder goede prestaties op de voormeting, minder vooruitgang lieten zien in de mate van kwaliteit van de informatieverwerking in vergelijking met kinderen in de controlegroep (zie Figuur 19). Dit resultaat werd niet geobserveerd bij kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie met goede prestaties op de voormeting. Deze bevinding suggereert dat een positief effect van de cognitieve bewegingsinterventie mogelijk alleen optreedt bij kinderen die bij aanvang al over een relatief nauwkeurig informatieverwerkingsproces beschikken.



Figuur 19. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting, groep en leeftijd) ten opzichte van de resultaten op de voormeting, apart weergegeven voor de controlegroep en de cognitieve bewegingsinterventie.*

Aandacht

Aandacht is hier uitgesplitst in alertheid en ruimtelijke aandacht. Gecorrigeerde gemiddelde scores van de interventiegroepen en de controlegroep tijdens de nameting voor deze twee aandachtnetwerken zijn weergegeven in Tabel 9. Vergelijking van de onderzoeksgroepen leverde geen aanwijzingen op voor betekenisvolle verandering in de mate van alertheid en ruimtelijke aandacht. Ruwe scores gemeten tijdens de voor- en nameting zijn weergegeven in Bijlage 3.

Tabel 9. *Voorspelde gemiddelde scores voor aandacht tijdens de nameting (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
alertheid[1]	-51.17 ± 5.53	-50.01 ± 5.05	-51.81 ± 5.91
ruimtelijk aandacht[1]	-24.03 ± 4.59	-26.63 ± 4.76	-24.24 ± 4.40

[1] Scores gecorrigeerd voor conditie en voormeting. SD = standaarddeviatie.

Executieve functies

Gecorrigeerde gemiddelde scores van de interventiegroepen en de controlegroep tijdens de nameting voor alle executieve functietaken zijn weergegeven in Tabel 10. Vergelijking van de onderzoeksgroepen leverde geen aanwijzingen op voor betekenisvolle verandering in de mate van het executief functioneren. Ruwe scores tijdens de voor- en nameting zijn weergegeven in Bijlage 3.

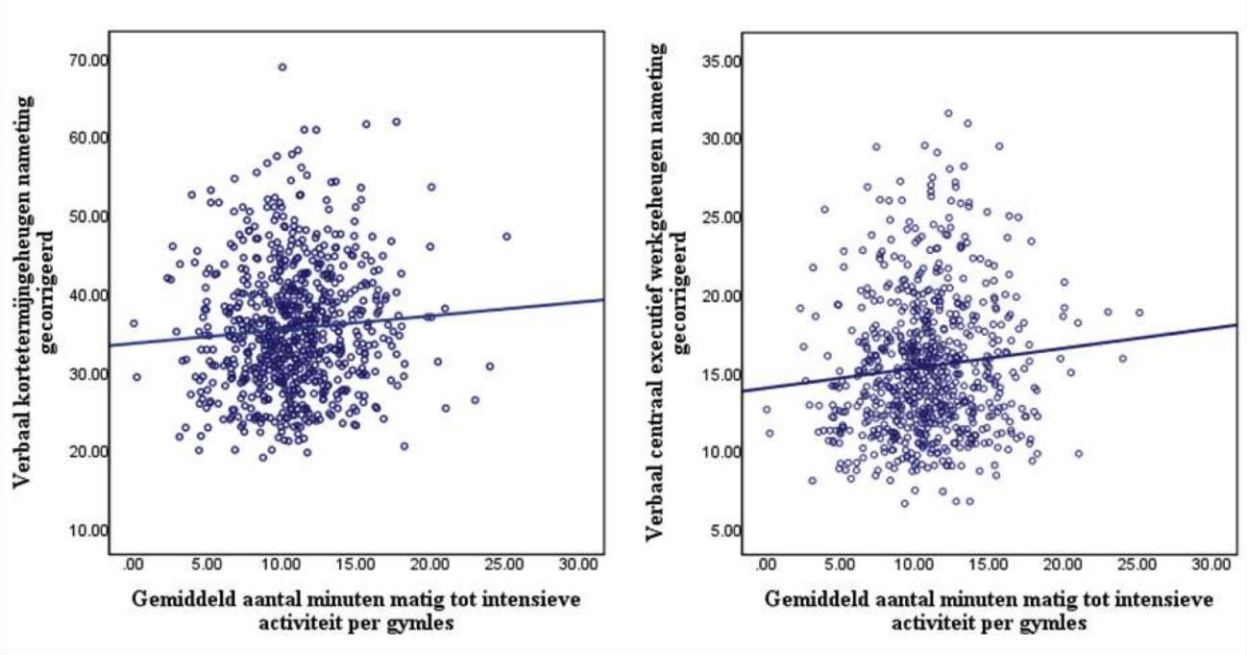
Tabel 10. *Voorspelde gemiddelde scores voor executieve functies tijdens de nameting (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
verbaal werkgeheugen			
kortetermijngeheugen[1]	34.58 ± 8.37	35.83 ± 7.66	37.18 ± 7.9
centraal executief[1]	15.53 ± 4.4	15.12 ± 4.08	15.79 ± 4.62
visuospatieel werkgeheugen			
kortetemijngeheugen[2]	68.3 ± 14.5	65.94 ± 12.88	67.03 ± 13.83
centraal executief[3]	52.36 ± 13.93	50.28 ± 12.62	52.15 ± 14.16
interferentiecontrole			
snelheid[4*]	84.43 ± 27.31	84,06 ± 26.37	87.24 ± 28.31
kwaliteit[5*]	-0.05 ± 0.03	-0,05 ± 0.03	-0.05 ± 0.03
motorische inhibitie			
snelheid[6*]	237.58 ± 23.09	229.14 ± 20.45	237.94 ± 22.51

[1] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting, groep en sociaal economische status.
[2] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting, leeftijd, groep en sociaal economische status.
[3] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting, leeftijd en groep.
[4] Scores gecorrigeerd voor conditie en voormeting.
[5] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting en geslacht.
[6] Scores gecorrigeerd voor conditie, voormeting en groep.
[*]Een lagere waarde wordt geïnterpreteerd als betere prestatie.
SD = standaarddeviatie.

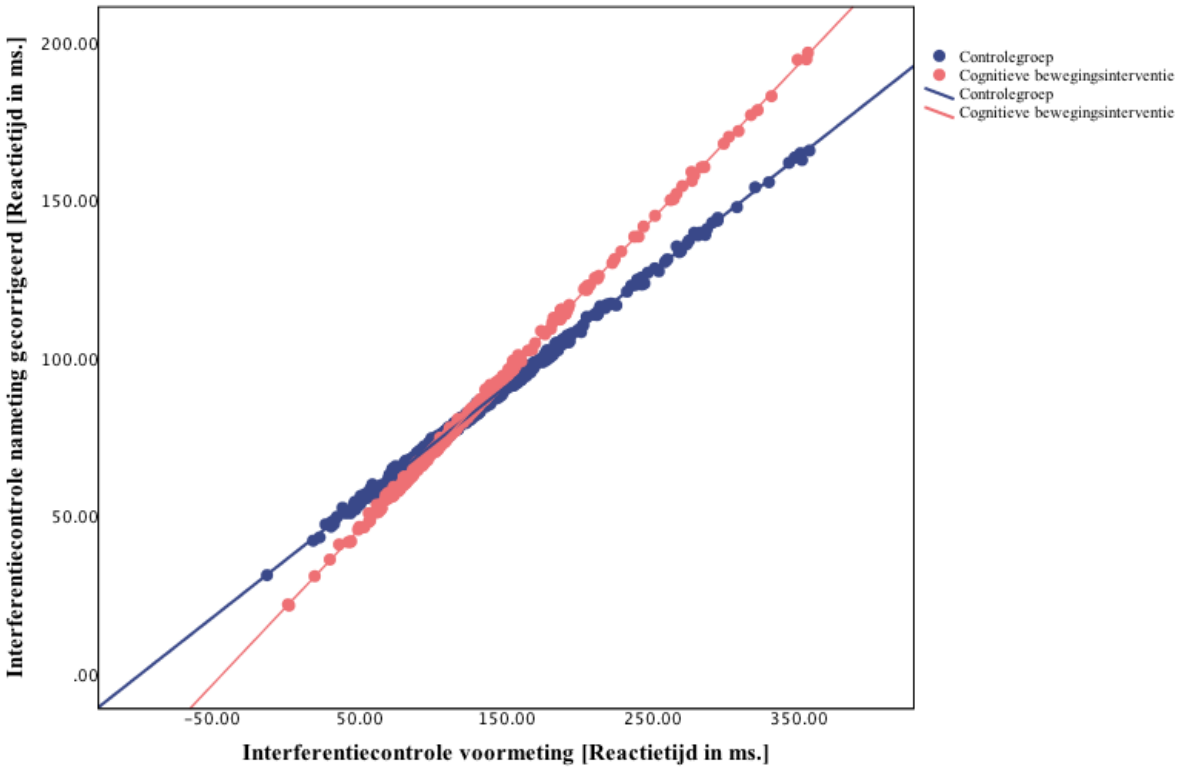
Op de vraag of de mate van intensiteit van invloed kan zijn op de effecten van de interventies, is onderzocht of de intensiteit waarop kinderen bewegen tijdens de gymles gerelateerd is aan het executief functioneren. De mate van intensiteit waarbij kinderen bewegen tijdens de gymles bleek niet van invloed

op het verbaal werkgeheugen. Als de controlegroep werd meegenomen bleek de mate van intensiteit wel van invloed te zijn op de mate van vooruitgang op het verbaal werkgeheugen. Kinderen die tijdens gymlessen dus langer matig tot intensief bewogen, lieten een sterkere vooruitgang zien dan kinderen die dit korter deden. Dit resultaat werd gevonden voor alle drie de onderzoeksgroepen en voor zowel het verbale kortetermijngeheugen als het verbaal centraal executief werkgeheugen (zie Figuur 20). Deze bevinding suggereert dat wanneer kinderen een hogere mate van intensiteit bereiken tijdens de gymles dit kan leiden tot een beter verbaal werkgeheugen.



Figuur 20. *De relatie tussen het aantal minuten matig tot intensieve activiteit en het verbaal werkgeheugen tijdens de nameting.*

Om na te gaan of de effecten van de interventie(s) op het cognitief functioneren enkel optreden in subgroepen van de populatie, zijn de effecten van de interventies ook afzonderlijk getoetst bij kinderen die op de voormeting laag of juist hoog presteerden. Uit deze aanvullende analyses kwam naar voren dat kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie met een betere prestatie op de voormeting, meer vooruitgang lieten zien in de mate van interferentiecontrole dan kinderen in de controlegroep (zie Figuur 21). Daarentegen lieten kinderen in de cognitieve bewegingsinterventie met een lagere prestatie op de voormeting, ook een zwakkere vooruitgang zien in de mate van interferentiecontrole dan de controlegroep. Deze bevinding suggereert dat een positief effect van de cognitieve bewegingsinterventie mogelijk alleen optreedt bij kinderen die bij aanvang al over een relatief sterk vermogen tot interferentiecontrole beschikken.

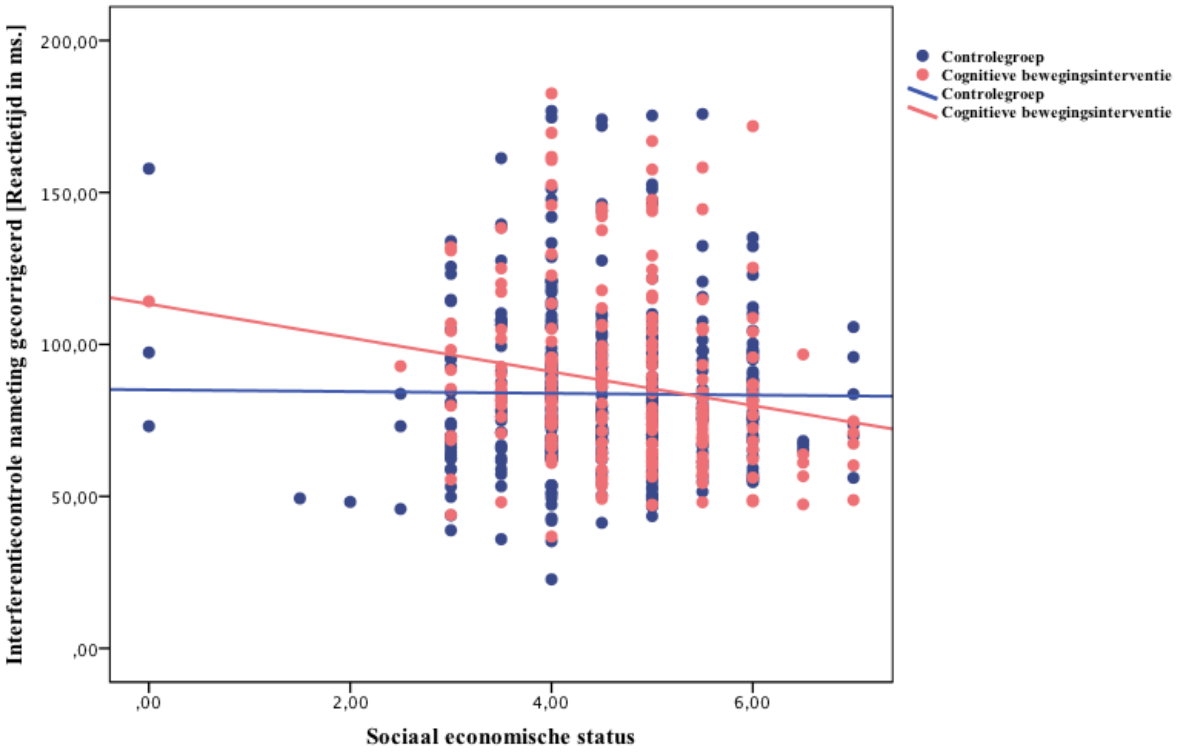


Figuur 21. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting) ten opzichte van de resultaten op de voormeting, apart weergegeven voor de controlegroep en de cognitieve bewegingsinterventie.*

Sociaaleconomische status, geslacht, georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten en effecten op cognitieve functies

Sociaaleconomische status

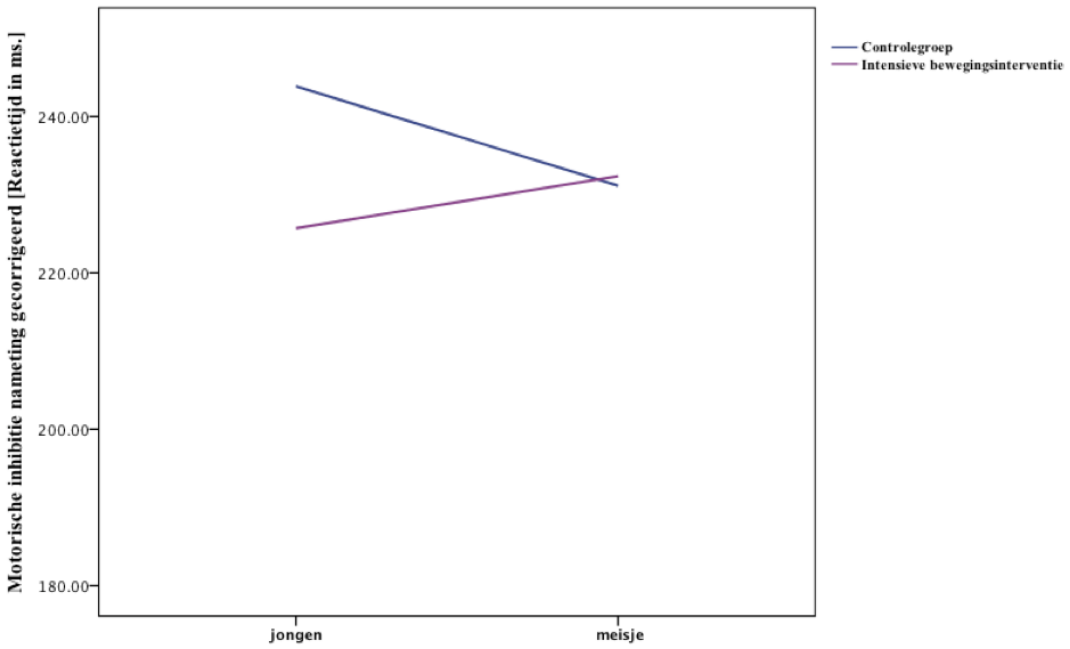
Voorts is onderzocht of de effecten van de interventie(s) op het cognitief functioneren enkel optreden in subgroepen van de populatie. Daarvoor is gekeken naar de effecten van de interventies gerelateerd aan de sociaaleconomische status (SES) van de kinderen. Uit deze aanvullende analyses kwam naar voren dat de cognitieve bewegingsinterventie voor kinderen met een lagere SES minder effect heeft op de mate van interferentiecontrole ten opzichte van de kinderen in de controlegroep (zie Figuur 22). Dit effect wordt niet gevonden bij kinderen met een hoge SES. Deze bevinding suggereert dat een negatief effect van de cognitieve bewegingsinterventie mogelijk alleen optreedt bij kinderen met een lage SES. Er zijn geen verschillen gevonden bij de andere cognitieve functies.



Figuur 22. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting) ten opzichte van de sociaaleconomische status, apart weergegeven voor de controlegroep en de cognitieve bewegingsinterventie.*

Geslacht

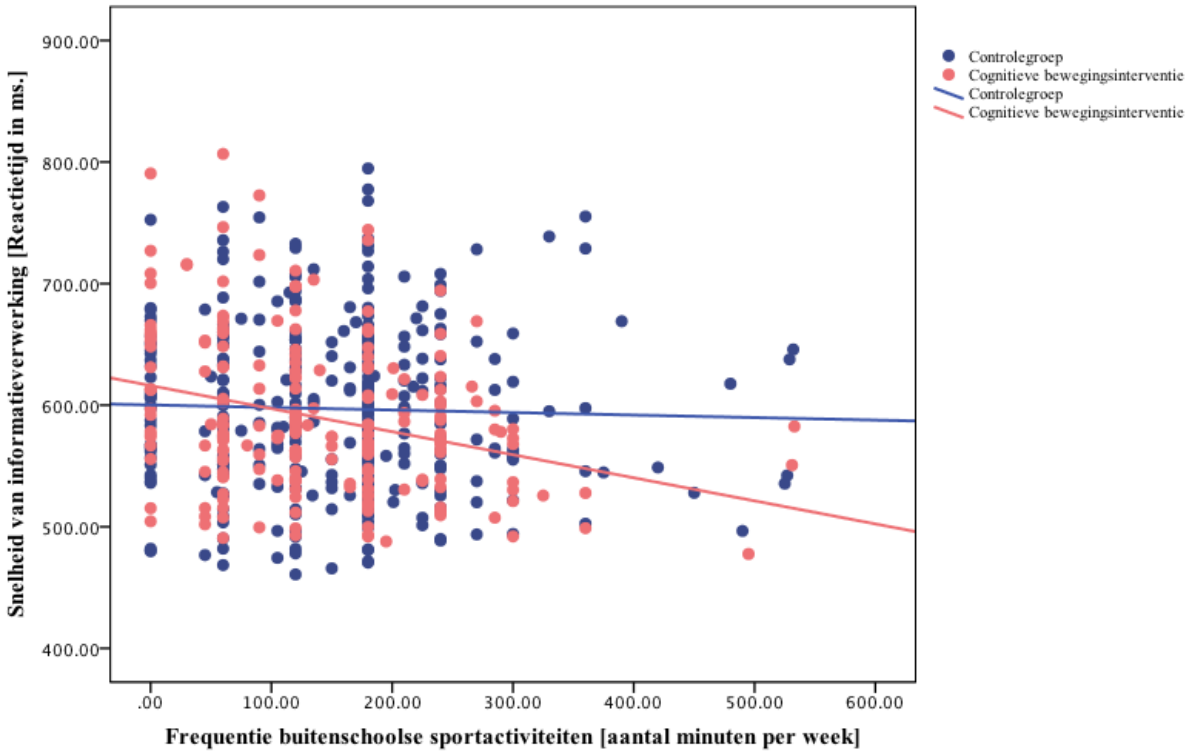
Ook de rol van geslacht in de interventie-effecten is onderzocht. Uit deze aanvullende analyses kwam naar voren dat de intensieve bewegingsinterventie voor jongens een groter effect heeft op de efficiëntie van motorische inhibitie ten opzichte van jongens in de controlegroep. Dit verschil tussen de intensieve bewegingsinterventie en de controlegroep werd niet gezien bij meisjes (zie Figuur 23). Deze bevinding suggereert dat een positief effect van de intensieve bewegingsinterventie mogelijk alleen optreedt bij jongens. Er zijn geen verschillen gevonden bij de andere cognitieve functies.



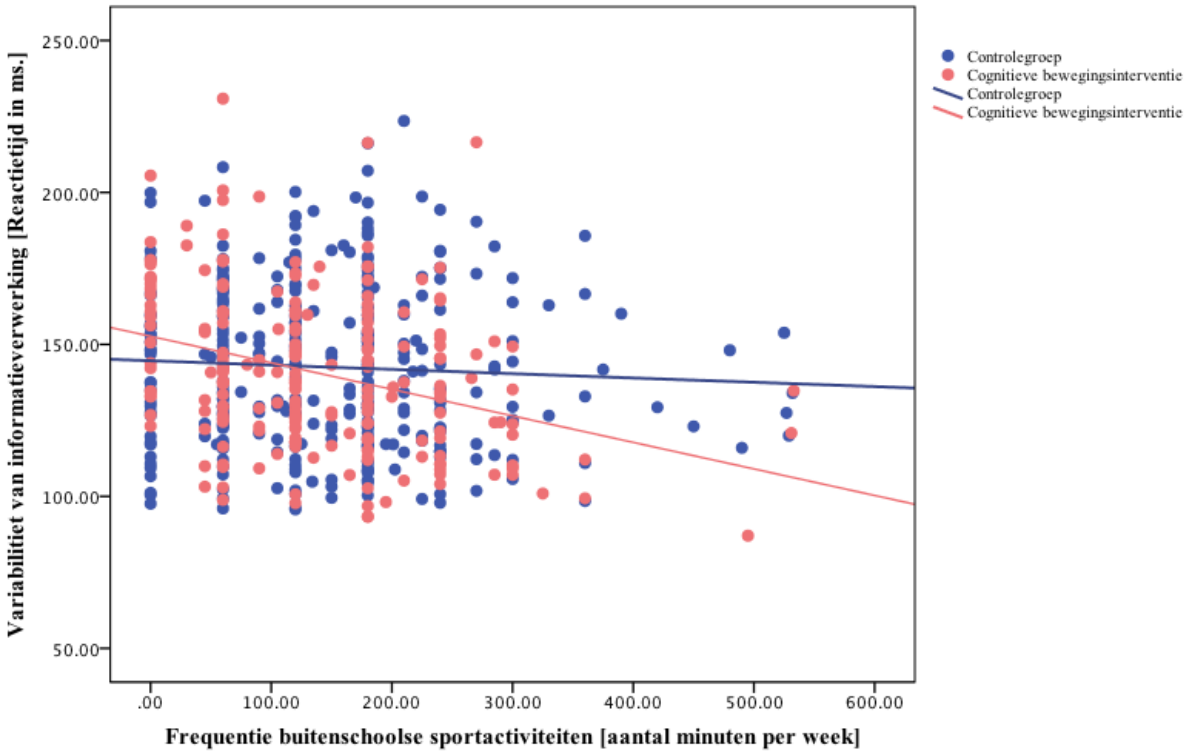
Figuur 23. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting, groep en geslacht) apart weergegeven voor de controlegroep en de intensieve bewegingsinterventie.*

Georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten

Ten slotte is onderzocht of effecten van de interventie(s) op het cognitief functioneren gerelateerd zijn aan deelname aan georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten. Uit deze analyse kwam naar voren dat kinderen die de cognitieve bewegingsinterventie hebben gevolgd en meer minuten per week sporten een snellere informatieverwerking hebben in vergelijking met de controlegroep (zie Figuur 24). Daarnaast hebben kinderen de die cognitieve bewegingsinterventie volgden en meer minuten per week sporten een lagere variabiliteit van informatieverwerking ten opzichte van de controlegroep (zie Figuur 25). Deze bevindingen suggereren een positief effect van de cognitieve bewegingsinterventie voor kinderen die frequent deelnemen aan georganiseerde sportactiviteiten.

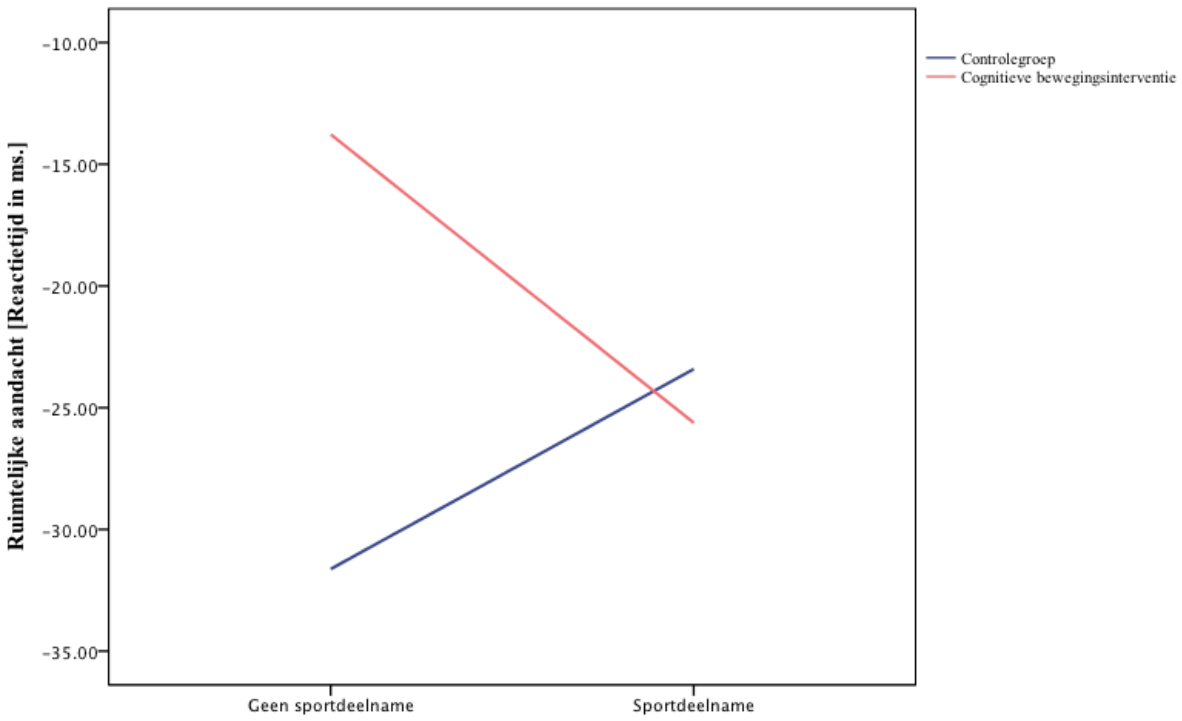


Figuur 24. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting, groep, SES) ten opzichte van de frequentie van buitenschoolse sportactiviteiten, apart weergegeven voor de controlegroep en de cognitieve bewegingsinterventie.*



Figuur 25. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting, groep, SES) ten opzichte van de frequentie van buitenschoolse sportactiviteiten, apart weergegeven voor de controlegroep en de cognitieve bewegingsinterventie.*

Tot slot bleek uit de analyses dat kinderen die de cognitieve bewegingsinterventie hebben gevolgd en niet deelnemen aan buitenschoolse sportactiviteiten minder goed scoren op ruimtelijke aandacht in vergelijking met kinderen in de controlegroep (zie Figuur 26). Dit verschil tussen de cognitieve interventie en de controlegroep is niet te zien bij kinderen die wel deelnemen aan buitenschoolse sportactiviteiten. Deze bevinding suggereert dat de cognitieve bewegingsinterventie een negatief effect heeft bij kinderen die buiten school niet aan sportactiviteiten deelnemen.



Figuur 26. *Taakprestatie tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting) ten opzichte van de deelname aan buitenschoolse sportactiviteiten, apart weergegeven voor de controlegroep en de cognitieve bewegingsinterventie.*

5.5 Schoolprestaties

In de analyses zijn allereerst de effecten van de interventies op de gemiddelde score voor de drie domeinen begrijpend lezen, rekenen en spelling samen bekeken. Vervolgens zijn de uitkomsten op schoolprestaties uitgesplitst naar de afzonderlijke domeinen. In Tabel 11 zijn de gemiddelde scores op begrijpend lezen, rekenen, spelling en de drie domeinen samen weergegeven, apart voor de drie groepen. In geen van de domeinen zijn er significante verschillen in schoolprestaties tussen de drie groepen op de voormeting.

Tabel 11. *Voorspelde nameting scores op totale schoolprestaties, begrijpend lezen, rekenen en spelling (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
gemiddelde schoolprestaties (totaal)[1]	18.6 ± 2.8	18.9 ± 2.5	18.5 ± 3.0
begrijpend lezen[2]	19.6 ± 1.9	20.1 ± 1.7	20.0 ± 1.8
rekenen[3]	15.9 ± 2.7	16.0 ± 2.6	16.0 ± 2.7
spelling[4]	20.4 ± 3.6	20.4 ± 3.5	19.6 ± 4.1

Scores zijn weergegeven in aantal goede antwoorden.
[1] Score voorspeld door conditie, voormeting en sociaal economische status.
[2] Score voorspeld door conditie, voormeting, leeftijd, groep en sociaal economische status.
[3] Score voorspeld door conditie, voormeting, leeftijd en sociaaleconomische status.
[4] Score voorspeld door conditie, voormeting en leeftijd.
SD = standaarddeviatie.

Er is geen verschil tussen de drie groepen op de nameting op gemiddelde schoolprestaties. De intensieve bewegingsinterventie en de cognitieve bewegingsinterventie zorgen dus niet voor betere schoolprestaties op de nameting vergeleken met de controlegroep.

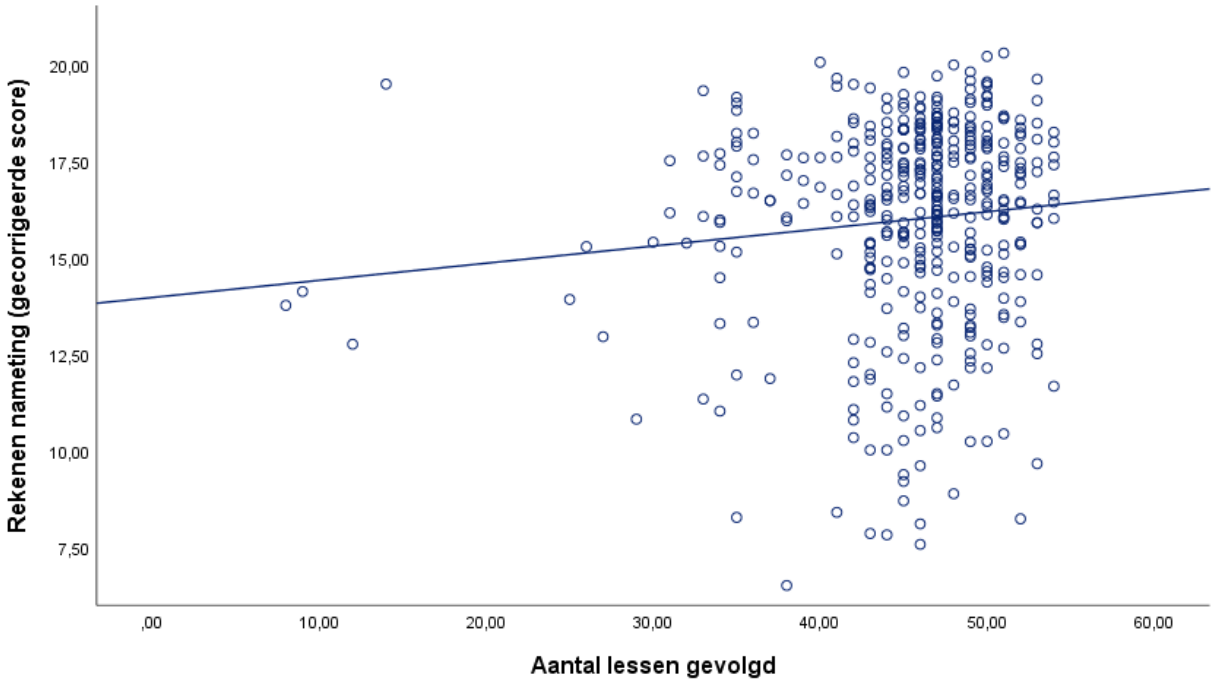
Lezen

Er is geen verschil tussen de drie groepen op de nameting bij lezen. De intensieve bewegingsinterventie en de cognitieve bewegingsinterventie zorgen dus niet voor betere leesprestaties op de nameting vergeleken met de controlegroep.

Rekenen

Er is geen verschil tussen de drie groepen op de nameting bij rekenen. De intensieve bewegingsinterventie en de cognitieve bewegingsinterventie zorgen dus niet voor betere rekenprestaties op de nameting vergeleken met de controlegroep.

In de interventiegroepen is onderzocht of het aantal gevolgde lessen invloed had op de rekenscores van de nameting. Kinderen uit de interventiegroepen scoren op de nameting beter wanneer ze meer interventielessen gevolgd hebben (zie Figuur 27). Hierbij is er geen verschil tussen de twee interventies. Zowel in de intensieve bewegingsinterventie als in de cognitieve bewegingsinterventie scoren kinderen die meer interventielessen volgden beter op rekenen tijdens de nameting dan kinderen die minder interventielessen hebben gehad. Dit betekent dat de effectiviteit van de interventies hoger is wanneer kinderen meer lessen gevolgd hebben.

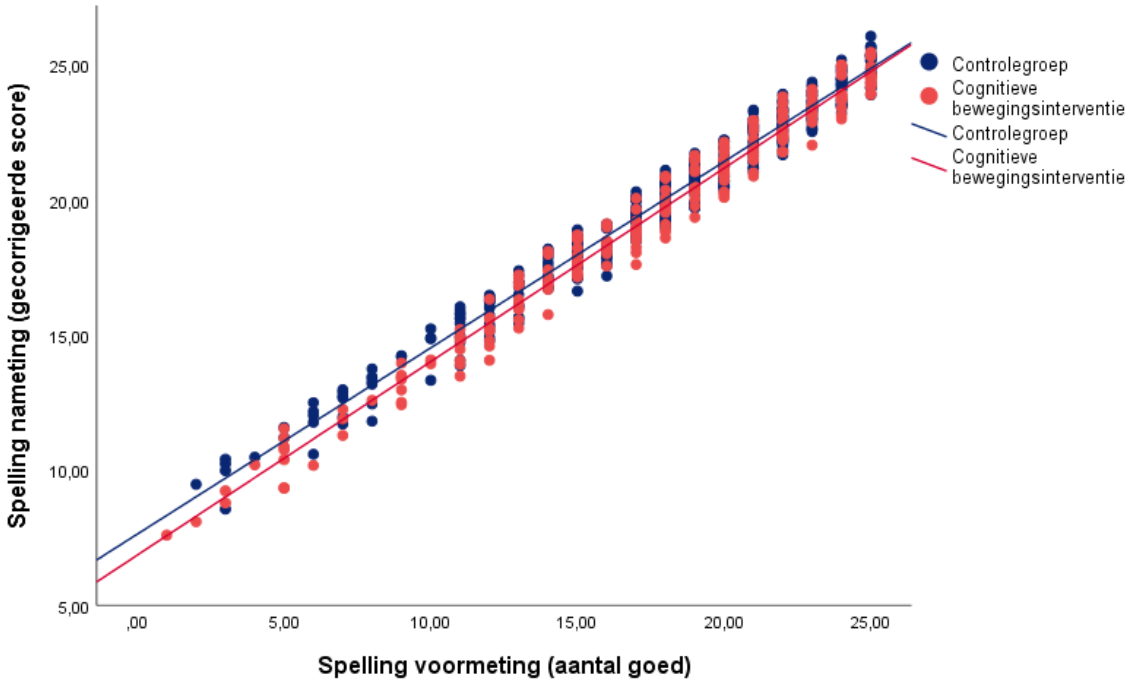


Figuur 27. *De positieve relatie tussen het aantal gevolgde interventielessen en de rekenscores op de nameting (gecorrigeerd voor voormetingscores, leeftijd en SES).*

Spelling

Er is geen verschil tussen de drie groepen op de nameting bij spelling. De intensieve bewegingsinterventie en de cognitieve bewegingsinterventie zorgen dus niet voor betere spellingprestaties op de nameting vergeleken met de controlegroep.

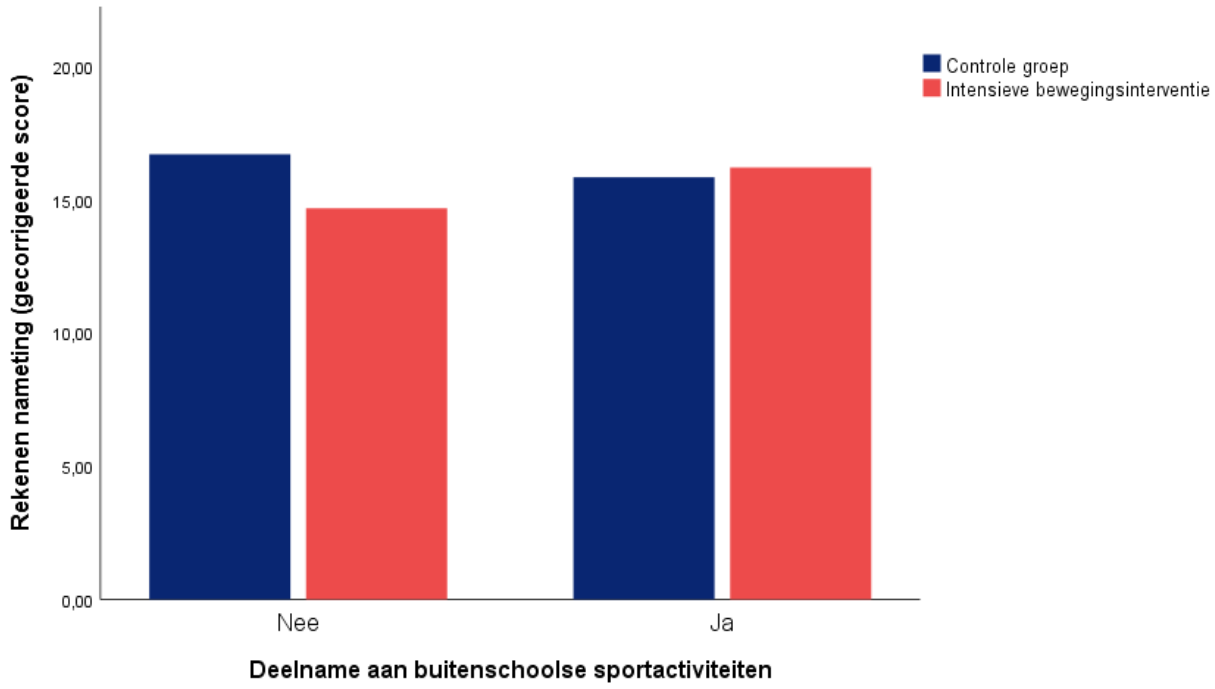
Ook hier is onderzocht of de effecten van de interventie(s) op schoolprestaties alleen optreden in subgroepen van de populatie. Daarvoor zijn de effecten van de interventies eveneens afzonderlijk getoetst bij kinderen die op de voormeting laag of juist hoog presteerden. Kinderen die op de voormeting een lage spellingscore halen, scoren op de nameting minder goed op spelling wanneer ze de cognitieve bewegingsinterventie gevolgd hebben in vergelijking met kinderen met een lage voormetingscore op spelling in de controlegroep (zie Figuur 28). Dit impliceert dat kinderen met een lage spellingscore op de voormeting geen baat hebben gehad bij de cognitieve bewegingsinterventie. Die kinderen laten namelijk minder vooruitgang zien in spelling tussen de voor- en nameting dan wanneer ze de cognitieve bewegingsinterventie niet hadden gevolgd. Dit geldt niet voor kinderen met hogere spellingscores op de voormeting.



Figuur 28. *De spelling-scores op de nameting (gecorrigeerd voor leeftijd en voormeting score) t.o.v. spelling-score op de voormeting, apart weergegeven voor de cognitieve bewegingsinterventie en de controlegroep.*

Sociaaleconomische status, geslacht, georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten en effecten op schoolprestaties

Er is onderzocht of eventuele effecten van de interventie(s) alleen optreden in subgroepen van de populatie. Daarvoor is gekeken naar de effecten van de interventies gerelateerd aan de sociaaleconomische status (SES), geslacht en buitenschoolse sportactiviteiten. Er zijn geen effecten gevonden van SES en geslacht op schoolprestaties. Wel is er een effect aangetoond van deelname aan georganiseerde buitenschoolse activiteiten. Kinderen die hieraan deelnemen, scoren na het volgen van de intensieve bewegingsinterventie beter op rekenen dan kinderen die dat niet doen (zie Figuur 29). Kinderen die buiten schooltijd niet in georganiseerd verband sporten, scoren op de nameting juist minder goed na het volgen van de intensieve bewegingsinterventie dan kinderen in de controlegroep. De intensieve bewegingsinterventie lijkt dus alleen positieve effecten te hebben op rekenen voor kinderen die buiten schooltijd in georganiseerd verband sporten.



Figuur 29. *Rekenprestaties tijdens de nameting (gecorrigeerd voor voormeting, leeftijd en sociaaleconomische status), uitgesplitst naar wel of niet sporten in georganiseerd verband, apart weergegeven voor de controlegroep en de intensieve bewegingsinterventie.*

5.6 Conclusies

Het experiment laat geen effecten zien op aerobe fitheid, motorische vaardigheden, BMI, cognitieve functies en schoolprestaties. Daarom is er geen aanvullende mediatie-analyse met cognitieve functies en schoolprestaties uitgevoerd. Wel blijkt dat de interventies in een aantal gevallen beter werken bij kinderen die laag of juist hoog scoren op de voormeting. Zo werkt de intensieve bewegingsinterventie beter voor relatief aeroob fitte kinderen en de cognitief uitdagende bewegingsinterventie beter voor minder fitte kinderen. De aerobe fitheid van de kinderen is dus een kenmerk om rekening mee te houden bij het ontwikkelen van nieuwe interventies en bij de uitvoering daarvan.

Voorts blijkt dat de cognitieve bewegingsinterventie beter werkt bij kinderen die bij aanvang al over een relatief nauwkeurig informatieverwerkingsproces beschikken of een relatief sterk vermogen tot interferentiecontrole hebben. Daarentegen hebben kinderen met een relatief lage spellingsscore geen baat gehad bij de cognitieve bewegingsinterventie. Dus ook met het niveau van cognitieve functies en schoolprestaties moet rekening gehouden worden bij het ontwerpen van nieuwe interventies.

Kinderen die intensiever bewogen tijdens de aerobe interventie of de cognitief uitdagende interventie, hadden na afloop een hogere fitheid en een beter verbaal werkgeheugen dan kinderen die minder intensief

bewogen. Kinderen die meer lessen hebben gevolgd van de aerobe of de cognitief uitdagende interventie hadden na afloop een hogere rekenscore dan kinderen die minder lessen hebben gevolgd.

Sociaaleconomische status en geslacht bleken nauwelijks gerelateerd te zijn aan effecten van de interventies. Dat was alleen het geval bij motorische inhibitie (een hogere score voor jongens na de intensieve interventie ten opzichte van de controlegroep) en de mate van interferentiecontrole (een lagere score voor kinderen met een lage SES na de cognitief uitdagende interventie ten opzichte van de controlegroep).

Deelname aan en hoeveelheid georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten bleek gerelateerd te zijn aan effecten van de bewegingsinterventies. Na de cognitieve bewegingsinterventie scoorden kinderen die niet of weinig aan sport doen lager op ruimtelijke aandacht ten opzichte van de controlegroep. Kinderen die daarentegen wel of veel aan sport doen, hadden een snellere en minder variabele informatieverwerking dan de controlegroep. Na de intensieve interventie scoorden kinderen die aan sport doen hoger op rekenen dan de controlegroep, terwijl de kinderen die niet aan sport doen lager scoorden dan de controlegroep. In het volgende hoofdstuk zijn de effecten van het experiment op de hersenfuncties beschreven.

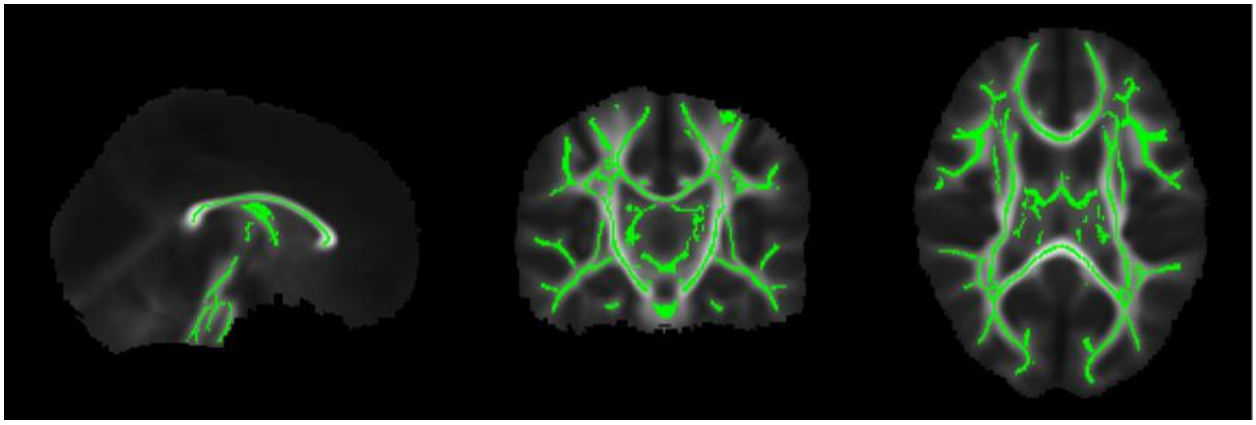
6. Resultaten van het MRI-onderzoek

Dit hoofdstuk gaat over de resultaten van de deelstudie van het door de onderzoeksgroep opgezette en uitgevoerde experiment. De deelstudie omvat onderzoek naar effecten van de twee bewegingsinterventies op hersenfuncties bij circa 90 kinderen die aan het experiment meededen. Met MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) zijn structurele en functionele hersenscans gebruikt voor het vaststellen van hersenfuncties voor en na de interventieperiode.

Eerst komen de resultaten van *Diffusion Tensor Imaging* (DTI) aan de orde. DTI omvat structurele scans waarmee de anatomie van het brein gemeten wordt. Daarna volgen de resultaten van functionele MRI-scans (fMRI). Hiermee worden veranderingen in hersenactiviteit gemeten tijdens rust (*resting-state* fMRI) en tijdens een cognitieve taak; in dit onderzoek een werkgeheugentaak (*active-state* fMRI).

6.1 Resultaten structurele data (DTI)

Om de effecten van de interventie te onderzoeken, zijn de waarden van de *fractionele anisotropie (*FA) gebruikt als een maat voor de integriteit van witte stofbanen. Integriteit is de mate waarin deze structuren een dicht samengepakt geheel vormen. Verschilscores tussen de voormeting en de nameting zijn vergeleken voor de drie groepen. Uit deze analyses is gebleken dat er geen verschil is tussen de intensieve bewegingsinterventie, complexe bewegingsinterventie en de controlegroep (na correctie voor scanlocatie: Groningen of Amsterdam). Dat wil zeggen dat de interventies niet hebben geleid tot veranderingen in de integriteit van de witte stofbanen ten opzichte van de controlegroep. In Figuur 30 is het gemiddelde witte stofskelet weergegeven van de drie groepen samengenomen. Dit skelet beschrijft de delen van de witte stofbanen waar deze voor alle proefpersonen overlappen.



Figuur 30. *Gemiddelde witte stofskelet (in het groen) van de drie groepen samengenomen*.

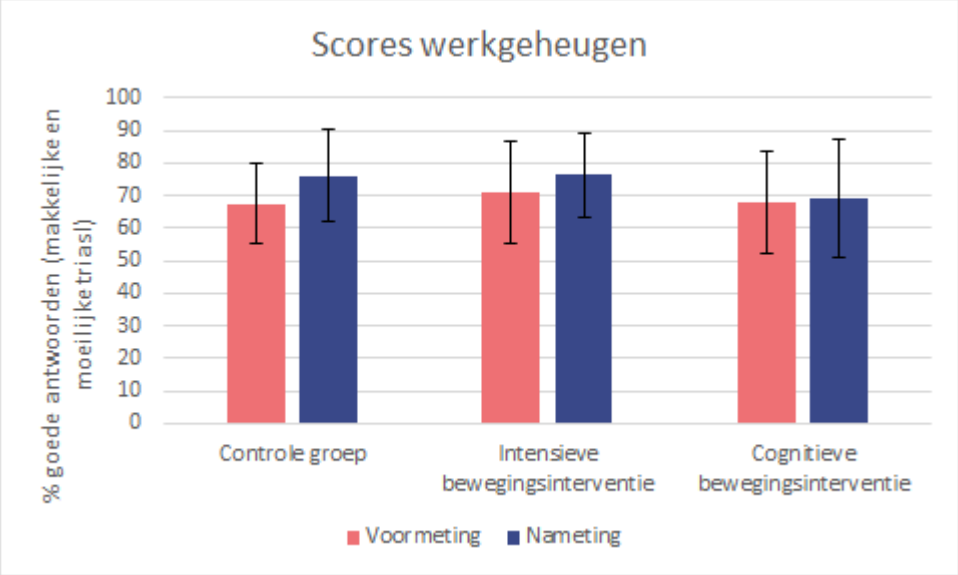
6.2 Resultaten functionele data

Resultaten hersenactiviteit tijdens rust (resting-state fMRI)

De *networks of interest* (NOIs) van de kinderen (het visuele, sensomotorische, dorsale aandacht, limbisch, frontopariëtale aandacht en default mode netwerk; zie Figuur 11 en 12) zijn gebruikt in de analyses om het effect van de interventies op de intensiteit en ruimtelijke distributie van de netwerken te onderzoeken. De intensiteit en ruimtelijk distributie van activiteit in de netwerken is vergeleken voor de interactie tussen bewegingsinterventie en meetmoment, oftewel het effect van de interventie op de resting-state netwerken. Uit deze analyses is gebleken dat er geen verschil is tussen de drie groepen (intensieve bewegingsinterventie, complexe bewegingsinterventie of controlegroep). Dat wil zeggen dat de interventies niet hebben geleid tot een veranderingen in het hersenactiviteit tijdens rust ten opzichte van de controlegroep.

Resultaten hersenactiviteit tijdens werkgeheugentaak (active-state fMRI)

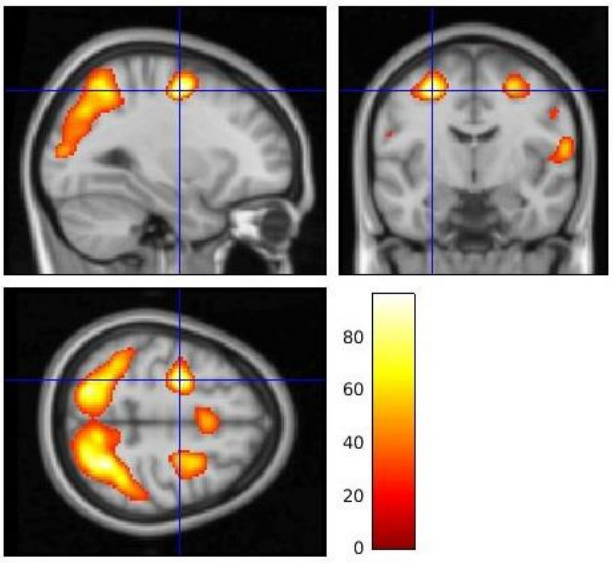
In Figuur 31 zijn de scores van de drie groepen op de visuospatiële werkgeheugentaak te zien tijdens de voor- en de nameting. Er zijn geen verschillen gevonden tussen de drie groepen tijdens die metingen. Dit betekent dat de interventies niet hebben geleid tot veranderingen in het visuospatiële werkgeheugen.



Figuur 31. *Scores van de drie groepen op de visuospatiële werkgeheugentaak.*

De visuospatiële werkgeheugentaak is gebruikt om hersenactiviteit geassocieerd met het visuospatieel werkgeheugen in kaart te brengen. Dit gebeurde tijdens werkgeheugencondities (gele cirkels) ten opzichte van controlecondities (rode cirkels), en complexe werkgeheugencondities (vijf cirkels) ten opzichte van eenvoudige werkgeheugencondities (drie cirkels). Zie voor een uitgebreide beschrijving van de taak Hoofdstuk 4. Deze analyses resulteerden in twee contrastafbeeldingen. In de contrastafbeeldingen is te

zien in welke hersengebieden meer of minder activatie is tijdens (1) de werkgeheugencondities ten opzichte van de controlecondities, of (2) de complexe condities ten opzichte van de eenvoudige condities. Op deze manier werden twee contrastafbeeldingen gemaakt voor zowel de voor- als de nameting. Vervolgens zijn de contrastafbeeldingen van de individuele proefpersonen samengevoegd in een groepsanalyse (secondlevel analyse genoemd), om te kijken naar activatieverschillen tussen de drie groepen. In de secondlevel analyse is gekeken of, en in welke hersengebieden de taak resulteerde in meer of minder hersenactiviteit. De gebieden die activatie laten zien wanneer de werkgeheugencondities vergeleken werden met controlecondities zijn te zien in Figuur 32. Significante gebieden lagen in de supplementaire en premotorische schors, de thalamus, de insula, de primaire sensorische cortex, in delen van de prefrontale cortex, de pariëtale cortex en de temporale cortex. Dit zijn gebieden die betrokken zijn bij motorische acties, visueel-motorische coördinatie, informatieverwerking en executieve functies. Deze gebieden komen overeen met hersengebieden die in eerdere studies bij deze taak bij kinderen zijn gevonden (zie bijvoorbeeld van Ewijk et al., 2015).



Figuur 32. *Hersengebieden die activatie laten zien tijdens werkgeheugencondities ten opzichte van controlecondities*.

Vervolgens is het verschil in activatie tijdens de werkgeheugencondities ten opzichte van de controlecondities, en tussen de complexe condities en de eenvoudige condities vergeleken voor de twee meetmomenten (de voor- en de nameting). Uit deze analyses blijkt dat er geen significant verschil in activatiepatroon is tussen voor- en nameting. De hersengebieden die actief zijn tijdens de werkgeheugencondities ten opzichte van de controlecondities zijn tijdens de nameting niet anders dan tijdens de voormeting.

Daarna is onderzocht of het interactie-effect tussen groep en tijd, dus het verschil tussen voor- en nameting, verschillend was voor de drie groepen (intensieve bewegingsinterventie, cognitieve bewegingsinterventie of controlegroep). Uit de resultaten blijkt dat het interactie-effect tussen groep en

tijd niet significant is. Dit wil zeggen dat de groepen niet verschillen voor wat betreft het verschil in hersenactivatie tussen voor- en nameting. De interventies hebben niet geleid tot verschil in hersenactiviteit tijdens werkgeheugencondities ten opzichte van controlecondities. Ook tussen de eenvoudige werkgeheugenconditie (drie cirkels) en de complexe werkgeheugenconditie (vijf cirkels) zijn geen verschillen gevonden. Deze resultaten suggereren dat de activatie tijdens moeilijke werkgeheugencondities niet anders was dan tijdens makkelijke werkgeheugencondities. Aangezien er geen verschillen in taakactivatie gevonden zijn tussen de makkelijke en moeilijke werkgeheugentrials, zijn verdere analyses naar effecten van tijd en interventie-effecten niet uitgevoerd.

6.3 Conclusies

Het deelexperiment laat geen effecten zien van de interventies op hersenfunctie. Er is geen verandering aangetoond van de integriteit van de witte stofbanen. Ook zijn geen effecten gevonden in hersenactiviteit in rust of tijdens een cognitieve taak.

7. Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

Bewegen is gezond. De oude Grieken hadden het al over “een gezonde geest in een gezond lichaam”. Mensen die depressief zijn of zich somber voelen, krijgen het (medische) advies veel te gaan wandelen. De laatste jaren haalt ‘bewegingsprofessor’ Erik Scherder (hoogleraar neuropsychologie Vrije Universiteit Amsterdam) regelmatig het nieuws met zijn enthousiast gebrachte boodschap over het belang van bewegen, gelardeerd met beelden van hem trap op trap af. Zijn populairste uitspraak is “Zitten is het nieuwe roken”. Iedereen kent waarschijnlijk wel de ervaring dat na een lichamelijke inspanning je je beter en fitter voelt, naast lekkere vermoeidheid…

Wat de laatste jaren eveneens in het nieuws is, is dat kinderen te weinig bewegen. Gevleugelde uitspraken dat vroeger alle kinderen buiten speelden en nu niet meer, doen het goed. Sinds de intrede van game consoles, computers en tablets zitten ze vooral achter een scherm. Hoe dat de (motorische en intellectuele) ontwikkeling van kinderen in het algemeen beïnvloedt, laten we hier in het midden. Dat vergt langdurig en uitgebreid onderzoek. In dit rapport gaat het om de mogelijke samenhang tussen bewegingsonderwijs en het functioneren van kinderen op de basisschool. Preciezer geformuleerd: wat zijn de effecten van fysieke activiteit op cognitieve functies en schoolprestaties en op hersenfuncties bij kinderen in groep 5 en 6 van het primair onderwijs?

Het onderzoeksproject Slim door Gym kent drie onderdelen: literatuurstudies, experimentele bewegingsinterventies en hersenonderzoek door middel van MRI-scans. Tezamen geven de onderdelen inzicht in de effecten van fysieke activiteit op cognitieve functies en schoolprestaties, en op hersenfuncties en hersenstructuur. Het uitgevoerde experiment op scholen laat daarnaast zien in hoeverre interventies geschikt zijn voor invoering in het bewegingsonderwijs. Bij het MRI-onderzoek (*Magnetic Resonance Imaging*) was een relatief zeer grote groep kinderen betrokken. De resultaten monden uit in aanbevelingen voor beleid, praktijk en onderzoek.

7.1 Samenvatting literatuuronderzoek

De hoeveelheid literatuur over bewegen, fysieke activiteit, sporten, gymmen en aanverwante termen is overweldigend. Ook het aantal adviezen over het belang van lichamelijke activiteit uitgebracht door commissies, raden en organisaties is indrukwekkend. En allemaal komen ze tot de conclusie: bewegen is gezond. Hoe hard is deze conclusie als we kijken naar leerlingen in groep 5 en 6 van het primair onderwijs? Helpt aanvullend bewegingsonderwijs hen bij het (schoolse) leren?

Het eerste deel van het onderzoek Slim door Gym bestond uit een uitgebreid literatuuronderzoek naar de *causale effecten* van fysieke activiteit op aandacht, executieve functies en schoolprestaties, en op hersenstructuur en hersenfuncties bij kinderen in het primair onderwijs.

Resultaten meta-analyse

Om zoveel mogelijk studies te achterhalen zijn verschillende elektronische databases geraadpleegd. Deze zoekstrategie leverde 3032 studies op. Uiteindelijk bleven er op basis van een aantal criteria (zie paragraaf 2.1) 31 interventiestudies over voor de meta-analyse. De geselecteerde studies zijn onderverdeeld in studies die de effecten van acute fysieke activiteit (één beweegsessie) en studies die de effecten van langdurige fysieke activiteit (weken of maanden durend) op cognitie onderzochten.

Uit de meta-analyse blijkt dat zowel acute fysieke activiteit (één beweegsessie) als langdurige fysieke activiteit (een aantal weken of maanden durend) effectief is in het verbeteren van aspecten van cognitie van basisschoolleerlingen. De fysieke activiteiten verschillen in de effecten die ze op de cognitie hebben. Het gaat hier om een verzameling van executieve functies, (inhibitie, werkgeheugen, cognitieve flexibiliteit en planning), aandacht en schoolprestaties (rekenen, lezen en spelling). Activiteiten van een matig tot intensieve intensiteit, zoals hardlopen, kwamen het meeste voor.

Na het samennemen van de studies, was een klein positief effect te zien van acute fysieke activiteit op aandacht (effectgrootte = 0.43). Er is geen significant effect gevonden voor executieve functies en schoolprestaties. Langdurige fysieke activiteit had een klein positief effect op executieve functies (effectgrootte = 0.24), een groot positief effect op aandacht (effectgrootte = 0.90) en een klein positief effect op schoolprestaties (effectgrootte = 0.26). Met andere woorden: acute fysieke activiteit kan gezien worden als een effectieve strategie voor het verhogen van de aandacht, maar niet voor het verbeteren van executieve functies en schoolprestaties.

Daarentegen kunnen bewegingsinterventies die bestaan uit langdurige fysieke activiteit wel een effectieve strategie vormen om, naast aandacht, executieve functies en schoolprestaties te verbeteren. Wanneer fysieke activiteit eenmalig wordt aangeboden is matig tot intensieve fysieke activiteit effectiever voor het verbeteren van cognitie of schoolprestaties dan cognitief uitdagende fysieke activiteit. Voorts lijkt de effectiviteit van langdurige fysieke activiteit vergroot te kunnen worden door deze te combineren met sterke cognitieve uitdaging. Dit kan door fysieke activiteit te combineren met training van executieve functies, door aanpassingen in regels van een spel waardoor bijvoorbeeld het werkgeheugen van de kinderen aangesproken wordt.

Heterogeniteit
Een opvallende bevinding was dat de resultaten van de individuele studies sterk uiteenlopend waren. Deze heterogeniteit werd niet verklaard door de kwaliteit van het onderzoek, maar wel door verschillen in type fysieke activiteit en door de gebruikte uitkomstmaat (de cognitieve effectmaat). Bij de duur van de interventies bleek acuut of langdurig namelijk wel uit te maken voor effecten, maar het aantal minuten bij acuut of aantal weken bij langdurig niet. Dit betekent dat de meta-analyse geen precieze randvoorwaarden biedt voor het ontwerp van nieuwe interventies. Daar komen we later in het hoofdstuk op terug. Belangrijk is te constateren dat de heterogeniteit de zeggingskracht van de overall conclusies niet ondermijnt. Dat de studies in een aantal opzichten van elkaar verschillen en per cognitieve uitkomstmaat toch tot dezelfde resultaten en aanwijzingen leiden, valt binnen de bandbreedte van Slim door Gym.

Conclusie
Over het geheel genomen, levert de meta-analyse overtuigend bewijs voor positieve effecten van fysieke activiteit op cognitieve functies en schoolprestaties. Daarnaast geeft de meta-analyse enige aanknopingspunten voor het ontwerp van nieuwe, succesvolle bewegingsinterventies. Acute interventies van één beweegsessie zijn vooral geschikt voor het verbeteren van aandacht. Langdurige interventies zijn naast aandacht ook geschikt voor het verbeteren van executieve functies en schoolprestaties.

Resultaten systematische review en meta-analyse

Deze zoekstrategie leverde 1902 studies op. Uiteindelijk bleven er op basis van een aantal criteria (zie paragraaf 2.2) zeventien interventiestudies over voor het review. Uit de systematische review komt naar voren dat acute fysieke activiteit positieve effecten heeft op het neurofysiologisch functioneren. In de helft van de studies bleken de neurofysiologische effecten geassocieerd met verbeterde prestaties op cognitieve taken of verbeterde schoolprestaties bij gezonde kinderen of bij kinderen met ADHD. Alle studies die gericht waren op langdurige fysieke activiteit bij kinderen lieten effecten zien op de hersenstructuur of neurofysiologisch functioneren. Dit geldt zowel voor gezonde kinderen als voor kinderen met obesitas. Bovendien werden in een aantal studies ook verbeterde prestaties op cognitieve taken geobserveerd bij gezonde kinderen. Slechts in één studie bleken de verbeterde cognitieve prestaties gerelateerd aan de veranderingen in het neurofysiologisch functioneren.

De resultaten van de meta-analyse behorende bij het review laten een klein positief effect zien van langdurige fysieke activiteit op het neurofysiologisch functioneren (effectgrootte P3-amplitude = 0.48, P3-latentie = 0.35). De onderzochte studies vormen bewijs voor een causaal effect van fysieke activiteit op veranderingen in hersenstructuur en het neurofysiologisch functioneren van kinderen. Resultaten van het literatuuronderzoek naar effecten op hersenfuncties moeten evenwel met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd, omdat er relatief weinig studies zijn uitgevoerd bij gezonde kinderen en de resultaten heterogeen zijn. Verder is het in de literatuur niet altijd duidelijk of deze veranderingen ook leiden tot verbeteringen in het executief functioneren en schoolprestaties.

Conclusie
De systematische review en meta-analyse naar hersenstructuur en neurofysiologische effecten toont aan dat fysieke activiteit van invloed is op hersenstructuur en het neurofysiologische functioneren van gezonde kinderen. En dat deze veranderingen in enkele studies ook samengaan met verbeteringen in cognitieve functies. Op dit vlak is echter meer onderzoek nodig, vanwege het zeer geringe aantal studies onder gezonde kinderen. Ook de resultaten van de studies verschillen sterk. Voorlopig beschouwen we deze resultaten als sterke aanwijzingen.

7.2 Samenvatting experiment

Het volgende deel van het onderzoek Slim door Gym bestond uit een experiment met bewegingsinterventies. Bij dit onderdeel is het effect onderzocht van fysieke activiteit op cognitieve functies (informatieverwerking, aandacht en executieve functies) en schoolprestaties (spelling, rekenen en lezen), en op hersenfuncties bij kinderen in groep 5 en 6 van het basisonderwijs. Daarnaast is onderzocht

wat het effect is op fitheid, motorische vaardigheden en de body-mass index (BMI). Het onderzoek bestond uit een *randomized controlled trial* (RCT), de gouden standaard voor effectonderzoek. Daarin is het effect van twee bewegingsinterventies onderzocht bij 891 kinderen van groep 5 en 6 afkomstig van 22 basisscholen. Kinderen in de interventiegroepen kregen gedurende veertien weken, vier keer per week, aangepaste lessen bewegingsonderwijs. De ene interventiegroep volgde de zogenoemde intensieve bewegingsinterventie, waarbij de nadruk lag op activiteiten waarbij intensief werd bewogen. De andere interventiegroep volgde de zogeheten cognitieve bewegingsinterventie, waarbij fysieke activiteit werd gecombineerd met een cognitieve uitdaging. De controlegroep volgde twee keer per week de reguliere gymlessen.

Er is gekozen voor onderzoek naar twee verschillende bewegingsinterventies, omdat uit de meta-analyse (zie Hoofdstuk 2) is gebleken dat effecten van fysieke activiteit in sterke mate af kunnen hangen van het type activiteit. Door het aanbieden van twee verschillende interventies kon worden onderzocht of nadruk op intensief bewegen of nadruk op cognitieve uitdaging bij fysieke interventies tot andere uitkomsten leidt.

Resultaten

Het experiment laat geen effecten zien op aerobe fitheid, motorische vaardigheid, BMI, cognitieve functies en de schoolprestaties spelling, rekenen en lezen. Kinderen die een van beide interventielessen volgden, doen het op die vlakken niet beter dan kinderen in de controlegroep. Wel komt naar voren dat de interventies in een aantal gevallen beter werken bij specifieke subgroepen - kinderen die laag of juist hoog scoren voor de start van de interventie. Zo werkt de intensieve bewegingsinterventie beter voor relatief fitte kinderen en de cognitief uitdagende bewegingsinterventie beter voor minder fitte kinderen. De fitheid van de kinderen is dus een kenmerk om rekening mee te houden bij het ontwikkelen van nieuwe interventies en bij de uitvoering daarvan.

Aanvullende analyses toonden aan dat effecten inderdaad mogelijk afhangen van specifieke subgroepen waartoe kinderen behoren. Zo zien we bij cognitieve functies dat een positief effect van de cognitieve bewegingsinterventie alleen optreedt bij kinderen die bij aanvang al over een relatief nauwkeurig informatieverwerkingsproces beschikken of een relatief sterk vermogen tot interferentiecontrole hebben. Daarentegen hebben kinderen met een relatief lage spellingsscore geen baat gehad bij de cognitieve bewegingsinterventie. Dus ook met het niveau van cognitieve functies en schoolprestaties moet rekening gehouden worden bij het ontwerpen van nieuwe interventies.

Intensiteit van bewegen
Kinderen die intensiever bewogen tijdens de intensieve interventie of de cognitief uitdagende interventie, hadden na afloop een hogere fitheid en een beter verbaal werkgeheugen dan kinderen die minder intensief bewogen. Dit kwam zowel naar voren bij het opslaan van informatie in het kortetermijngeheugen als het bewerken van informatie in het verbale centraal executief werkgeheugen. Kinderen die meer lessen hebben gevolgd van de intensieve of de cognitieve bewegingsinterventie hadden na afloop een hogere rekenscore dan kinderen die minder lessen hebben gevolgd.

Sociaaleconomische status (SES) en geslacht
Sociaaleconomische status en geslacht bleken nauwelijks gerelateerd te zijn aan effecten van de interventies. Dat was alleen het geval bij motorische inhibitie (een hogere score voor jongens na de intensieve interventie ten opzichte van de controlegroep) en de mate van interferentiecontrole (een lagere score voor kinderen met een lage SES na de cognitief uitdagende interventie ten opzichte van de controlegroep).

Buitenschoolse activiteiten
Deelname aan georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten bleek gerelateerd te zijn aan effecten van de bewegingsinterventies. Dit geldt eveneens voor het aantal uren dat kinderen buiten school aan georganiseerde sport doen. Na de cognitieve bewegingsinterventie scoorden kinderen die niet of weinig aan sport doen lager op ruimtelijke aandacht ten opzichte van de controlegroep. Kinderen die daarentegen wel of veel aan sport doen, hadden een snellere en minder variabele informatieverwerking dan de controlegroep. Na de intensieve interventie scoorden kinderen die aan sport doen hoger op rekenen dan de controlegroep, terwijl de kinderen die niet aan sport doen lager scoorden dan de controlegroep.

Interpretatie
Bij de interpretatie van de hierboven gepresenteerde resultaten is een belangrijke kanttekening op zijn plaats. Het was al een uitdaging om de vier wekelijkse lessen in te plannen in de roosters van de scholen en in de gymzalen. In de praktijk - ondanks de bereidheid en grote inspanningen van onderzoekers, schooldirecties en leerkrachten (bewegingsonderwijs) – kwamen veel lessen te vervallen, waardoor er gemiddeld 3,2 lessen per week overbleven (zie paragraaf 4.2). Dit zou een verklaring kunnen zijn waarom de cognitieve functies en schoolprestaties van kinderen die deelnamen aan de interventies als geheel niet zijn verbeterd.

Dat in ogenschouw nemend kunnen we stellen dat de resultaten van het experiment impliceren dat de bewegingsinterventies van Slim door Gym niet per definitie geschikt zijn voor het verbeteren van het fysiek, cognitief en schools functioneren van kinderen. De resultaten suggereren dat de effectiviteit van de bewegingsinterventie afhankelijk is van specifieke subgroepen waartoe kinderen behoren. Daarnaast is er enige evidentie voor een dosis-effect relatie, waarbij de effecten van de bewegingsinterventie positief samenhangen met de intensiteit van de bewegingsinterventie (aantal minuten matig tot intensieve activiteit) en participatie in de bewegingsinterventie (aantal gevolgde lessen).

Het is dus van groot belang om bij het aanbieden van een bewegingsinterventie ervoor te zorgen dat kinderen (1) zoveel mogelijk lessen volgen en (2) dat ze zoveel mogelijk matig tot intensief actief zijn. Mogelijk dat interventies met een hogere en langdurige blootstelling dan in Slim door Gym is bereikt (gemiddeld 3,2 lessen in veertien weken) effectiever is voor een grotere groep kinderen. We veronderstellen dat we geen effecten hebben aangetoond door een combinatie van te weinig lessen en lesuren per week en een te lage bewegingsintensiteit bij een deel van de kinderen.

7.3 Samenvatting MRI-onderzoek

De derde deelstudie is een MRI-onderzoek, uitgevoerd in het UMC Groningen en het VUmc Amsterdam. Met MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) zijn structurele en functionele hersenscans gebruikt voor het vaststellen van hersenfuncties bij negentig kinderen voor en na de interventieperiode (het experimentdeel van Slim door Gym). De *Diffusion Tensor Imaging* (DTI) omvat structurele scans waarmee de anatomie van het brein wordt gemeten. Met functionele MRI-scans (fMRI) worden veranderingen in hersenactiviteit gemeten tijdens rust (*resting-state*) en tijdens een cognitieve taak (*active-state*).

Resultaten

Het deelexperiment laat geen effecten zien van de interventies op hersenfunctie. Er is geen verandering aangetoond van de integriteit van de witte stofbanen. Ook zijn geen effecten gevonden in hersenactiviteit in rust of tijdens een cognitieve taak.

7.4 Conclusies

Het onderzoeksproject Slim door Gym richt zich op de vraag wat het effect is van fysieke activiteit op cognitieve functies (aandacht, informatieverwerking en executieve functies), schoolprestaties (spelling, rekenen en lezen), de hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren bij kinderen in groep 5 en 6 van het basisonderwijs. Daarnaast is onderzocht wat het effect is op aerobe fitheid, motorische vaardigheden en de body-mass index (BMI).

Literatuuronderzoek

Het literatuuronderzoek bestond uit twee onderdelen: een meta-analyse van studies naar cognitieve functies en schoolprestaties, en een systematische review en meta-analyse van studies naar hersenstructuur en -functies.

Meta-analyse
Literatuuronderzoek in de vorm van een meta-analyse laat zien dat zowel acute als langdurige fysieke activiteit positieve effecten opleveren voor aandacht, executieve functies en schoolprestaties. Acute fysieke activiteit (eenmalige beweegsessie) verbetert de aandacht van basisschoolkinderen, terwijl langdurige fysieke activiteit (aantal keren per week gedurende een aantal weken) de aandacht, executieve functies en schoolprestaties verbetert. De meta-analyse geeft aanknopingspunten voor het ontwerp van nieuwe, succesvolle bewegingsinterventies, in termen van type, duur (acute versus langdurige fysieke activiteit), frequentie, intensiteit en keuze van cognitieve effectmaten.

Systematische review en meta-analyse
Uit een tweede literatuuronderzoek bestaande uit een systematische review en meta-analyse wordt duidelijk dat acute en langdurige fysieke activiteit een positief effect heeft op het neurofysiologisch functioneren van de hersenen. Voorts verandert het de structuur van de hersenen als gevolg van fysieke activiteit. Of deze veranderingen ook verantwoordelijk zijn voor de verbetering van executieve functies en

schoolprestaties kunnen we op basis van de huidige literatuur niet eenduidig concluderen, maar de literatuur suggereert deze mogelijkheid wel.

Experiment

In het experimentdeel van Slim door Gym is het effect van twee bewegingsinterventies onderzocht. Bij de ene interventie, de zogenoemde intensieve interventie lag de nadruk op activiteiten waarbij kinderen intensief bewogen. Bij de andere interventie, de cognitieve, lag de focus op fysieke activiteit gecombineerd met cognitieve uitdaging. De resultaten van de kinderen die meededen aan een van de interventies zijn vergeleken met de resultaten van kinderen in de controlegroep. De kinderen in de controlegroep volgden de reguliere lessen bewegingsonderwijs.

Er is geen effect gevonden van beide interventies op aerobe fitheid, motorische vaardigheden en de body-mass index van de kinderen. Evenmin was er effect van beide interventies op aandacht, informatieverwerking en de executieve functies werkgeheugen en inhibitie. Ook effecten op schoolprestaties zijn niet aangetoond. Resultaten van aanvullend onderzoek suggereren wel differentiële effecten ten gunste van de kinderen die bij aanvang van het onderzoek al relatief fit waren of over relatief goede cognitieve functies beschikten.

Kinderen die gedurende de interventielessen meer minuten matig tot intensief fysiek actief waren, zijn meer vooruitgegaan op fitheid. Zij gingen ook meer vooruit op aspecten van het verbale werkgeheugen. Op het gebied van schoolprestaties werd een dergelijke samenhang niet gevonden. Wel bleek het aantal gevolgde lessen een rol te spelen. Kinderen die meer interventielessen hebben gevolgd, zijn meer vooruitgegaan op rekenen dan kinderen die minder interventielessen volgden.

De resultaten geven aan dat de effectiviteit van een bewegingsinterventie afhankelijk is van specifieke subgroepen waartoe kinderen behoren. Daarnaast is er enig bewijs voor een dosis-effect relatie, waarbij de effecten van de bewegingsinterventie positief samenhangen met de intensiteit van de bewegingsinterventie (aantal minuten matig tot intensieve activiteit) en participatie in de bewegingsinterventie (aantal gevolgde lessen). Het is dus van groot belang om bij het aanbieden van een bewegingsinterventie ervoor te zorgen dat kinderen zoveel mogelijk lessen volgen en ook dat ze zoveel mogelijk matig tot intensief actief zijn.

Kanttekeningen

Voor we aanbevelingen kunnen doen, is het voor een verantwoorde interpretatie van de resultaten noodzakelijk enkele kanttekeningen te plaatsen bij de uitgevoerde literatuuronderzoeken, het experiment en het MRI-onderzoek.

Literatuurstudies
De literatuurstudie kende, ondanks het relatief grote aantal geselecteerde studies, een paar beperkingen. Het bewijs voor het overallresultaat uit die studies – er is een klein tot groot positief effect van fysieke activiteit op aandacht, executieve functies en schoolprestaties - is namelijk niet geheel eenduidig. De grootte van de gevonden positieve effecten wisselde sterk tussen de studies. Deze heterogeniteit kan niet

verklaard worden door de duur van de interventie (aantal minuten bij een acute interventie of aantal weken bij een langdurige interventie) of de kwaliteit van de studie – daar is niets mis mee. Een deel van deze verschillen wordt veroorzaakt door het type fysieke activiteit dat in de studies werd aangeboden (aeroob of cognitief uitdagend) en de specifieke cognitieve uitkomstmaat. Het overallresultaat is in elk geval op zijn minst een sterke aanwijzing.

Daarnaast is van belang of de fysieke activiteit eenmalig of herhaaldelijk en over een langere periode werd aangeboden (acute fysieke activiteit of langdurige fysieke activiteit). Mogelijk zijn er meer verklaringen voor de gebleken heterogeniteit in de resultaten van de studies, waardoor de resultaten met enige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd.

De resultaten van de effecten op de hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren komen vooral uit studies die zijn uitgevoerd bij klinische populaties, zoals kinderen met overgewicht/obesitas en ADHD. Slechts enkele studies hadden gezonde kinderen als onderzoeksgroep. Ook is het aantal studies dat een verband heeft aangetoond tussen veranderingen in hersenfuncties en cognitieve functies zeer gering.

Experiment

Het experiment heeft door de uitvoering die het heeft gekregen, de nodige inzichten opgeleverd over het opzetten en het uitvoeren van toekomstig interventieonderzoek. De opzet van het experiment binnen Slim door Gym voldeed aan de zogeheten gouden standaard (zie paragraaf 3.1). Toch zijn voor dit onderdeel eveneens enkele beperkingen te noemen. Op basis van de uitkomsten van onze systematische reviews en meta-analyses bleek het moeilijk om de optimale duur (in minuten bij acute en in aantal weken of maanden bij langdurige fysieke activiteit) en frequentie van fysieke activiteit vast te stellen. Meerdere studies hebben laten zien dat een relatief korte interventieperiode van bijvoorbeeld zes tot zestien weken al positieve effecten kan opleveren voor executieve functies of schoolprestaties. Op basis hiervan is in Slim door Gym voor een interventieperiode van veertien weken gekozen. In de verschillende studies was de inhoud van de bewegingsinterventies (of de controlegroep waarmee de effecten waren vergeleken) echter dusdanig verschillend, dat op grond daarvan geen heldere conclusies kunnen worden getrokken over de voorwaarden waaraan een bewegingsinterventie zou moeten voldoen om effect te sorteren op cognitieve functies en schoolprestaties, en hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren.

Bij Slim door Gym is gekozen voor een bewegingsinterventie tijdens schooltijd, zodat alle kinderen hieraan konden deelnemen. Hierdoor is de kans dat alleen de gemotiveerde kinderen meedoen klein (lage selectiebias). Dit is een groot voordeel ten opzichte van bewegingsinterventies die na schooltijd worden aangeboden (hoge selectiebias). Het was wel een uitdaging om voldoende lessen in te plannen in de roosters van de scholen en om te kunnen beschikken over voldoende gymzalen. Alhoewel enkele succesvolle naschoolse bewegingsinterventies nog vaker aangeboden worden, bleek uit gesprekken met schooldirecties, leerkrachten en leerkrachten bewegingsonderwijs en dat zij vier gymlessen per week als maximaal haalbaar beschouwden. Ondanks de bereidheid en grote inspanningen van de onderzoekers, (interventie)leerkrachten en deelnemende scholen, zijn veel lessen komen te vervallen, waardoor er gemiddeld 3,2 lessen per week in plaats van de beoogde vier lessen zijn gerealiseerd. Dit zou een verklaring kunnen zijn voor het uitblijven van algehele effecten van de interventies.

Als we kijken naar de intensiteit van de intensieve bewegingsinterventie, kunnen we concluderen dat het gelukt is om het aantal minuten matig tot intensieve fysieke activiteit per week in het schoolrooster te verhogen. Het is dus mogelijk om de bijdrage van gymlessen aan een intensiteit die bevorderend is voor de gezondheid van kinderen te vergroten. De resultaten suggereren ook dat het voor vervolgprojecten noodzakelijk is om alle kinderen in een interventie te stimuleren om zoveel mogelijk lessen te volgen en om zoveel mogelijk matig tot intensief actief te zijn tijdens de lessen. Of het ook gelukt is om de cognitieve uitdaging te verhogen tijdens de cognitieve interventie is lastig te bepalen. Tot op heden is er, voor zover bekend, geen gevalideerd instrument beschikbaar dat de cognitieve uitdaging van een les kan meten. Vervolgonderzoek is daarom nodig om de cognitieve uitdaging van verschillende lessen bewegingsonderwijs te kunnen vaststellen.

MRI-onderzoek
Het MRI-onderzoek is uitgevoerd bij een relatief grote groep kinderen en dat is vrij uniek. Dat het onderzoek plaatsvond op twee scanlocaties (in Groningen en Amsterdam) bemoeilijkte de vergelijkbaarheid van de analyses en dat heeft tot vertraging geleid in het onderzoek. Uiteindelijk is het wel gelukt om de data samen te voegen tot één analyse.

7.5 Aanbevelingen

Beleid en praktijk

Aanbevelingen voor het beleid en de praktijk, met tussen haakjes de bron waarop de aanbeveling is gebaseerd, zijn:

- Eenmalig korte fysieke activiteit (één beweegsessie) verbetert de aandacht van kinderen (meta-analyse).
- Regelmatig fysieke activiteit (meerdere sessies per week, gedurende een aantal weken) verbetert de aandacht, executieve functies en schoolprestaties (meta-analyse).
- Fysieke activiteit met een hoge cognitieve uitdaging is effectiever dan fysieke activiteit met een lage cognitieve uitdaging (meta-analyse).
- Het is mogelijk om het aantal lessen bewegingsonderwijs te verhogen. Een afgewogen frequentie is nog niet aan te geven, maar een verhoging naar gemiddeld 3,2 keer per week (in plaats van 2 keer per week) is haalbaar (experiment).
- Het is van groot belang om bij het aanbieden van een bewegingsinterventie ter verbetering van cognitieve functies of schoolprestaties ervoor te zorgen dat kinderen zoveel mogelijk lessen volgen en ook dat ze zoveel mogelijk matig tot intensief actief zijn (experiment).
- Wat voor het ene kind werkt, werkt niet altijd voor het andere kind. De achtergronden van het kind en zijn beginsituatie zouden een basis moeten vormen voor een aanbod van bewegingslessen op maat. Elk kind heeft zijn eigen benadering nodig (experiment).
- De fitheid van de kinderen is een kenmerk om rekening mee te houden bij het ontwikkelen van nieuwe interventies en bij de uitvoering daarvan (experiment).
- Het niveau van cognitieve functies en schoolprestaties van kinderen zijn kenmerken om rekening mee te houden bij het ontwerpen van nieuwe interventies (experiment).

- Het veelvuldig bewegen tijdens de schooldag moet worden gestimuleerd. Dit kan tijdens het bewegingsonderwijs, maar ook tijdens andere lessen en in de pauzes (experiment en literatuur).

Onderzoek

Aanbevelingen voor het opzetten of uitvoeren van toekomstig onderzoek, met tussen haakjes de bron waarop de aanbeveling is gebaseerd, luiden als volgt:

- Met acute of juist langdurige bewegingsinterventies kunnen specifieke cognitieve functies en schoolprestaties worden verbeterd. Op grond van de huidige stand van wetenschap is het niet mogelijk aan te geven waaraan een bewegingsinterventie precies zou moeten voldoen om effect te sorteren op cognitieve functies en schoolprestaties. Het gaat hier om frequentie en duur van de interventie - in minuten bij acute en in aantal weken of maanden bij langdurige fysieke activiteit (meta-analyse).
- Het ontwerpen van interventies waarmee de kans het grootst is dat beoogde positieve uitkomsten worden gerealiseerd is een belangrijke aanbeveling voor toekomstig onderzoek (meta-analyse).
- Fysieke activiteit heeft invloed op de structuur en neurofysiologisch functioneren van de hersenen bij gezonde kinderen of klinische populaties zoals kinderen met ADHD (systematische review en meta-analyse).
- Er is enig bewijs voor een zogeheten dosis-effect relatie, waarbij de effecten van de bewegingsinterventie positief samenhangen met de intensiteit van de bewegingsinterventie (aantal minuten matig tot intensieve activiteit) en participatie in de bewegingsinterventie (aantal gevolgde lessen) (experiment)
- Bij interventies die bestaan uit cognitief uitdagende fysieke activiteit heeft een gevalideerd instrument om de cognitieve belasting tijdens de lessen te kunnen meten de voorkeur (experiment).
- Bij MRI-onderzoek heeft het gebruik van één type scanner de voorkeur (MRI-onderzoek).
- Nader onderzoek naar de rol van achtergrondkenmerken van kinderen (SES, geslacht, beginsituatie) in effecten van de interventies op hersenfuncties zou prioriteit moeten krijgen (MRI-onderzoek).

Literatuurlijst

Ahamed, Y., Macdonald, H., Reed, K., Naylor, P., Liu-Ambrose, T., & Mckay, H. (2007). School-based physical activity does not compromise children's academic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 39*(2), 371-376.

Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J., & Singh, A. S. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport, 19*(10), 820-824.

Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review, 30*(4), 331-351.

Best, J. R. (2012). Exergaming immediately enhances children's executive function. *Developmental Psychology, 48*(5), 1501-1510.

Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development, 81*(6), 1641-1660.

Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J., & Rothstein, H. (2005). Comprehensive meta-analysis version 2. *Englewood, NJ: Biostat, 104.*

Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: Definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports, 100*(2), 126-131.

Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Chappell, M. A., Johnson, C. L., Kienzler, C., Knecht, A., e.a. (2016). Aerobic fitness is associated with greater hippocampal cerebral blood flow in children. *Developmental Cognitive Neuroscience, 20,* 52-58.

Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., e.a. (2013). The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: A randomized controlled intervention. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*(72), 1-13.

Chen, A., Yan, J., Yin, H., Pan, C., & Chang, Y. (2014). Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychology of Sport and Exercise, 15*(6), 627-636.

Chen, A. G., Zhu, L. N., Yan, J., & Yin, H. C. (2016). Neural basis of working memory enhancement after acute aerobic exercise: fMRI study of preadolescent children. *Frontiers in Psychology, 7,* 1804.

Chuang, L., Tsai, Y., Chang, Y., Huang, C., & Hung, T. (2015). Effects of acute aerobic exercise on response preparation in a go/no go task in children with ADHD: An ERP study. *Journal of Sport and Health Science, 4*(1), 82-88.

Coe, R. (2002). *It's the effect size, stupid. What effect size is and why it is important*. Annual Conference of the British Educational Research Association, University of Exeter, England.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Collard, D., et al (2014). *Effecten van sport en bewegen op de basisschool: Voorstudie naar de relatie tussen sport en bewegen op school en schoolprestaties.* Beschikbaar op: http://beheer.nisb.nl/cogito/modules/uploads/docs/75291414765620.pdf.

Cotman, C. W., & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: A behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences, 25*(6), 295-301.

Crova, C., Struzzolino, I., Marchetti, R., Masci, I., Vannozzi, G., Forte, R., e.a. (2014). Cognitively challenging physical activity benefits executive function in overweight children. *Journal of Sports Sciences, 32*(3), 201-211.

Dalziell, A., Boyle, J., & Mutrie, N. (2015). Better movers and thinkers (BMT): An exploratory study of an innovative approach to physical education. *Europe's Journal of Psychology, 11*(4), 722-741.

Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., e.a. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: A randomized, controlled trial. *Health Psychology, 30*(1), 91-98.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135-168.

Diamond, A. (2000). Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Development, 71*(1), 44-56.

Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Moore, R. D., Saliba, B. J., Pontifex, M. B., e.a. (2014). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: An ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Developmental Cognitive Neuroscience, 7*, 53-64.

Duncan, M., & Johnson, A. (2014). The effect of differing intensities of acute cycling on preadolescent academic achievement. *European Journal of Sport Science, 14*(3), 279-286.

Ewijk, H, van, Weeda, W. D., Heslenfeld, D. J., Luman, M., Hartman, C. A., Hoekstra, P. J., & Oosterlaan, J. (2015). Neural correlates of visuospatial working memory in attention-deficit/hyperactivity disorder and healthy controls. *Psychiatry Research: Neuroimaging, 233*(2), 233-242.

Fair, D. A., Dosenbach, N. U., Church, J. A., Cohen, A. L., Brahmbhatt, S., Miezin, F. M., e.a. (2007). Development of distinct control networks through segregation and integration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*(33), 13507-13512.

Fedewa, A. L., & Ahn, S. (2011). The effects of physical activity and physical fitness on children's achievement and cognitive outcomes: A meta-analysis. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 82*(3), 521-535.

Fisher, A., Boyle, J. M., Paton, J. Y., Tomporowski, P., Watson, C., McColl, J. H., e.a. (2011). Effects of a physical education intervention on cognitive function in young children: Randomized controlled pilot study. *BMC Pediatrics, 11*, 97.

Gallotta, M. C., Emerenziani, G. P., Franciosi, E., Meucci, M., Guidetti, L., & Baldari, C. (2015). Acute physical activity and delayed attention in primary school students. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 25*(3), e331-e338.

Gallotta, M. C., Emerenziani, G. P., Iazzoni, S., Meucci, M., Baldari, C., & Guidetti, L. (2015). Impacts of coordinative training on normal weight and overweight/obese children's attentional performance. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*, 577.

Gezondheidsraad (2017a). *Beweegrichtlijnen 2017.* Beschikbaar op: https://www.gezondheidsraad.nl/sites/default/files/grpublication/beweegrichtlijnen2017_201708_0.pdf.

Gezondheidsraad (2017b). *Physical activity and risk of chronic diseases. Background document to the dutch physical activity guidelines 2017.* Beschikbaar op: https://www.gezondheidsraad.nl/sites/default/files/grpublication/achtergronddocument_physical_activity_and_risk_of_chronic_diseases_0.pdf.

Ginkel, S. van, van der Fels, I. M. J., Hartman, E., & Visscher, C. (2018). *Handleiding intensieve bewegingsinterventie.* Groningen: Centrum voor Bewegingswetenschappen, Universitair Medisch Centrum Groningen.

Grünewald-Zuberbier, E., Grünewald, G., Rasche, A., & Netz, J. (1978). Contingent negative variation and alpha attenuation responses in children with different abilities to concentrate. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 44*(1), 37-47.

Hill, L., Williams, J. H., Aucott, L., Milne, J., Thomson, J., Greig, J., e.a. (2010). Exercising attention within the classroom. *Developmental Medicine & Child Neurology, 52*(10), 929-934.

Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N., Raine, L., Scudder, M., e.a. (2014). Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics, 134*(4), e1063-e1071.

Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience, 159*(3), 1044-1054.

Howie, E. K., Schatz, J., & Pate, R. R. (2015). Acute effects of classroom exercise breaks on executive function and math performance: A Dose–Response study. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 86*(3), 217-224.

Hung, C., Huang, C., Tsai, Y., Chang, Y., & Hung, T. (2016). Neuroelectric and behavioral effects of acute exercise on task switching in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Frontiers in Psychology, 7*, 1589.

Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebers, C. M. l. (2014). Cognitive and physiological effects of an acute physical activity intervention in elementary school children. *Frontiers in Psychology, 5*, 1473.

Janssen, L., van der Fels, I. M. J., Hartman, E., & Visscher, C. (2018). *Handleiding cognitief uitdagende bewegingsinterventie*. Groningen: Centrum voor Bewegingswetenschappen, Universitair Medisch Centrum Groningen.

Jolles, D. D., van Buchem, M. A., Crone, E. A., & Rombouts, S. A. (2010). A comprehensive study of whole-brain functional connectivity in children and young adults. *Cerebral Cortex, 21*(2), 385-391.

Kamijo, K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Wu, C., Castelli, D. M., e.a. (2011). The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental Science, 14*(5), 1046-1058.

Kim, H., & So, W. (2015). Effect of sixteen weeks of combined exercise on body composition, physical fitness and cognitive function in Korean children. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation, 37*(1), 47-57.

Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology, 38*(3), 557-577.

Koutsandréou, F., Wegner, M., Niemann, C., & Budde, H. (2016). Effects of motor versus cardiovascular exercise training on children's working memory. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 48*(6), 1144-1152.

Krafft, C. E., Schwarz, N. F., Chi, L., Weinberger, A. L., Schaeffer, D. J., Pierce, J. E., e.a. (2014a). An 8- month randomized controlled exercise trial alters brain activation during cognitive tasks in overweight children. *Obesity, 22*(1), 232-242.

Krafft, C. E., Pierce, J. E., Schwarz, N. F., Chi, L., Weinberger, A. L., Schaeffer, D. J., e.a. (2014b). An eight month randomized controlled exercise intervention alters resting state synchrony in overweight children. *Neuroscience, 256*, 445-455.

Krafft, C. E., Schaeffer, D. J., Schwarz, N. F., Chi, L., Weinberger, A. L., Pierce, J. E., e.a. (2014c). Improved frontoparietal white matter integrity in overweight children is associated with attendance at an after-school exercise program. *Developmental Neuroscience, 36*(1), 1-9.

Lesinski, M., Prieske, O., & Granacher, U. (2016). Effects and dose-response relationships of resistance training on physical performance in youth athletes: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 50*(13), 781-795.

McAuley, E., Kramer, A. F., & Colcombe, S. J. (2004). Cardiovascular fitness and neurocognitive function in older adults: A brief review. *Brain, Behavior, and Immunity, 18*(3), 214-220.

Mierau, A., Hülsdünker, T., Mierau, J., Hense, A., Hense, J., & Strüder, H. K. (2014). Acute exercise induces cortical inhibition and reduces arousal in response to visual stimulation in young children. *International Journal of Developmental Neuroscience, 34*, 1-8.

Niemann, C., Wegner, M., Voelcker-Rehage, C., Holzweg, M., Arafat, A. M., & Budde, H. (2013). Influence of acute and chronic physical activity on cognitive performance and saliva testosterone in preadolescent school children. *Mental Health and Physical Activity, 6*(3), 197-204.

Niet, A. van der, Smith, J., Oosterlaan, J., Scherder, E. J., Hartman, E., & Visscher, C. (2016). Effects of a cognitively demanding aerobic intervention during recess on children's physical fitness and executive functioning. *Pediatric Exercise Science, 28*(1), 64-70.

Okely, A. D., et al (2013). *Systematic review to update the Australian physical activity guidelines for children and young people. Report prepared for the Australian government department of health, june 2012.* Beschikbaar op: http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/health-pubhlth-strateg-phys-act-guidelines/$File/SR-APAGCYP.pdf.

Pesce, C., Crova, C., Marchetti, R., Struzzolino, I., Masci, I., Vannozzi, G., e.a. (2013). Searching for cognitively optimal challenge point in physical activity for children with typical and atypical motor development. *Mental Health and Physical Activity, 6*(3), 172-180.

Pirrie, A. M., & Lodewyk, K. R. (2012). Investigating links between moderate-to-vigorous physical activity and cognitive performance in elementary school students. *Mental Health and Physical Activity, 5*(1), 93-98.

Pontifex, M. B., Saliba, B. J., Raine, L. B., Picchietti, D. L., & Hillman, C. H. (2013). Exercise improves behavioral, neurocognitive, and scholastic performance in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *The Journal of Pediatrics, 162*(3), 543-551.

Schaeffer, D. J., Krafft, C. E., Schwarz, N. F., Chi, L., Rodrigue, A. L., Pierce, J. E., e.a. (2014). An 8-month exercise intervention alters frontotemporal white matter integrity in overweight children. *Psychophysiology, 51*(8), 728-733.

Schmidt, M., Benzing, V., & Kamer, M. (2016). Classroom-based physical activity breaks and children's attention: Cognitive engagement works! *Frontiers in Psychology, 7.*

Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebers, C. M., & Conzelmann, A. (2015a). Cognitively engaging chronic physical activity, but not aerobic exercise, affects executive functions in primary school children: A group-randomized controlled trial. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 37*(6), 575-591.

Schmidt, M., Egger, F., & Conzelmann, A. (2015b). Delayed positive effects of an acute bout of coordinative exercise on children's attention. *Perceptual and Motor Skills, 121*(2), 431-446.

Schneider, S., Vogt, T., Frysch, J., Guardiera, P., & Strüder, H. K. (2009). School sport-a neurophysiological approach. *Neuroscience Letters, 467*(2), 131-134.

Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: A meta-analysis. *Pediatric Exercise Science, 15*(3), 243-256.

Slingerland, M., Oomen, J., & Borghouts, L. (2011). Physical activity levels during Dutch primary and secondary school physical education. *European Journal of Sport Science, 11*(4), 249-257.

Spybrook, J., & Raudenbush, S. W. (2008). *Optimal design software [computer software]*. Michigan: University of Michigan.

St-Louis-Deschênes, M., Moore, R., & Ellemberg, D. (2015). The selective effect of acute aerobic exercise on neuroelectric indices of attention during development. *Pediat Therapeut, 5*, 235.

Stralen, M. M. van, Yıldırım, M., Wulp, A., te Velde, S. J., Verloigne, M., Doessegger, A., e.a. (2014). Measured sedentary time and physical activity during the school day of European 10-to 12-year-old children: The ENERGY project. *Journal of Science and Medicine in Sport, 17*(2), 201-206.

Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., e.a. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *The Journal of Pediatrics, 146*(6), 732-737.

Swain, R. A., Harris, A. B., Wiener, E. C., Dutka, M. V., Morris, H. D., Theien, B. E., e.a. (2003). Prolonged exercise induces angiogenesis and increases cerebral blood volume in primary motor cortex of the rat. *Neuroscience, 117*(4), 1037-1046.

Thompson, H. R., Duvall, J., Padrez, R., Rosekrans, N., & Madsen, K. A. (2016). The impact of moderate-vigorous intensity physical education class immediately prior to standardized testing on student test-taking behaviors. *Mental Health and Physical Activity, 11*, 7-12.

Tine, M. T., & Butler, A. G. (2012). Acute aerobic exercise impacts selective attention: An exceptional boost in lower-income children. *Educational Psychology, 32*(7), 821-834.

Tomporowski, P. D., Lambourne, K., & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: An introduction and overview. *Preventive Medicine, 52*, S3-S9.

Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Lambourne, K., Gregoski, M., & Tkacz, J. (2008). Task switching in overweight children: Effects of acute exercise and age. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 30*(5), 497-511.

Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., e.a. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory, 87*(4), 597-609.

Yeo, B. T., Krienen, F. M., Sepulcre, J., Sabuncu, M. R., Lashkari, D., Hollinshead, M., Roffman, J. L., Smoller, J. W., Zöllei, L., Polimeni, J. R., Fischl, B., Liu, H., Buckner, R. L. (2011). The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology, 106*(3), 1125-65.

Bijlage 1. Zoektermen systematische reviews

Tabel S1. *Zoekterminologie systematische review en meta-analyse naar de effecten van fysieke activiteit op cognitie.*

Target population	
#1	Child[Mesh]
#2	child*[tw] OR pediatr*[tw] OR paediatr*[tw] OR teen* or pre-adolescen*[tw] OR preadolescen*[tw] OR youth[tw] OR ((primary[tw] OR elementary[tw]) AND school*[tw])
#3	#1 OR #2
Study type	
#4	Clinical Trial[PTyp]
#5	control group[tw] OR control condition[tw] OR randomi*[tw] OR cross-over[tw]
#6	#4 OR #5
Physical activity	
#7	Motor Activity[Mesh:NoExp] OR Exercise[Mesh] OR Physical Fitness[Mesh] OR Physical Endurance[Mesh]
#8	(motor*[tw] OR physical*[tw] OR aerobic[tw]) AND (activ*[tw] OR fitness[tw] OR skill*[tw] OR performance[tw] OR coordination[tw] OR function[tw] OR development[tw] OR abilit*[tw] OR control[tw] OR behavior[tw])
#9	#7 OR #8
Cognition	
#10	Executive Function[Mesh] OR "Inhibition (Psychology)"[Mesh] OR Memory, Short-Term[Mesh] OR Problem Solving[Mesh] OR Neuropsychological Tests[Mesh] OR Cognition [Mesh:noExp]
#11	Executive function*[tw] OR (Inhibition[tw] OR Working memory[tw] OR Planning[tw] OR Word fluency[tw]) OR cognition[tw] OR (cognitive[tw] AND (skill*[tw] OR performance[tw] OR function[tw] OR abilit*[tw] OR behavior[tw] OR processes[tw] OR control[tw] OR flexibility[tw] OR competence[tw]))
#12	#10 OR #11
Academic achievement	
#13	Learning[Mesh:NoExp] OR Education[Mesh:NoExp] OR Curriculum[Mesh:NoExp] OR Schools[Mesh:NoExp] OR Task Performance and Analysis[Mesh:NoExp]

#14	(academic*[tw] OR school*[tw] OR education*[tw]) AND (achievement*[tw] OR performance*[tw] OR abilit*[tw] OR skill*[tw] OR competence[tw])
#15	#13 OR #14
Inclusion criteria	
#16	2000/01/01[PDAT] : 2017/04/01[PDAT] English[lang]
Exclusion criteria	
#17	Mental Disorders[Mesh] OR Cognition Disorders[Mesh] OR Nervous system diseases[Mesh]
#18	Disorder*[tw] OR disease*[tw]
#19	#16 OR #17
#20	#3 AND #6 AND #9 AND (#12 OR #15) AND #16 NOT #19

Tabel S2. *Zoekterminologie systematische review en meta-analyse naar de effecten van fysieke activiteit op hersenstructuur en neurofysiologisch functioneren bij kinderen.*

Zoektermen Pubmed
((("Mental Processes"[Mesh:noexp] OR "Attention"[Mesh] OR "Executive Function"[Mesh] OR "Cognition"[Mesh] OR cogniti*[tiab] OR "Learning"[Mesh] OR learning*[tiab] OR learn[tiab] OR inhibition[tiab] OR memory[tiab] OR attention[tiab] OR problem solving[tiab] OR information processing[tiab] OR mental activ*[tiab] OR neuropsycholog*[tiab]) AND ((("Magnetic Resonance Imaging"[Mesh] OR imaging[tiab] OR MRI[tiab] OR fMRI[tiab]) AND ("Brain"[Mesh] OR brain[tiab] OR cerebral[tiab])) OR "Diagnostic Techniques, Neurological"[Mesh] OR "Evoked Potentials"[Mesh] OR electroencephalograph*[tiab] OR electro-encephalograph*[tiab] OR EEG[tiab] OR ERP[tiab] OR DTI[tiab] OR neuroimaging[tiab] OR neuro-imaging[tiab] OR white matter[tiab] OR neuroradiograph*[tiab] OR neuro-radiograph*[tiab] OR P3[tiab] OR P3a[tiab] OR P3b[tiab] OR P300[tiab]) AND ("Motor Activity"[Mesh] OR "Physical Education and Training"[Mesh] OR "Sports"[Mesh] OR motor activit*[tiab] OR physical activit*[tiab] OR locomotor activit*[tiab] OR exercis*[tiab] OR physical education[tiab] OR sport*[tiab] OR athletic*[tiab] OR athlete[tiab] OR athletes[tiab])) AND (child*[tw] OR schoolchild*[tw] OR infan*[tw] OR pediatri*[tw] OR paediatr*[tw] OR boy[tw] OR boys[tw] OR boyhood[tw] OR girl[tw] OR girls[tw] OR girlhood[tw] OR youth[tw] OR youths[tw] OR preadolescent*[tw] OR pre-adolescent*[tw] OR young[tw])) AND ((randomized controlled trial[pt] OR controlled clinical trial[pt] OR randomized controlled trials[mh] OR random allocation[mh] OR double-blind method[mh] OR single-blind method[mh] OR clinical trial[pt] OR clinical trials[mh] OR "clinical trial"[tw] OR ((singl*[tw] OR doubl*[tw] OR trebl*[tw] OR tripl*[tw]) AND (mask*[tw] OR blind*[tw])) OR "latin square"[tw] OR placebos[mh] OR placebo*[tw] OR random*[tw] OR research design[mh:noexp] OR comparative study[pt] OR evaluation studies[pt] OR follow-up studies[mh] OR prospective studies[mh] OR cross-over studies[mh] OR control[tw] OR controll*[tw] OR prospectiv*[tw] OR volunteer*[tw]) NOT (animals[mh] NOT humans[mh]))
Zoektermen Web of science
S = ("Cognition" OR "cogniti*" OR "executive function*" OR "memory" OR "brain function*" OR "inhibition" OR "planning" OR "information processing" OR "cognitive control" OR "working memory" OR "Attention") AND TS = ("brain" OR "event related potential" OR "magnetic resonance imaging" OR "MR"I OR "fMRI" OR "EEG" OR "white matter" OR "matter" OR "grey matter" OR "ERP*" OR "DTI") AND TS = ("sport*" OR "Exercise" OR "Physical Exercise" OR "Physical Activity" OR "Athlet*" OR "Physical Education") AND TS = ("children" OR "youth" OR "adolescent*" OR "preadolescent" OR "young" OR "pediatr*")
Zoektermen SportDiscus
Mental Processes OR Attention OR Executive Function OR Cognition OR cogniti* OR Learning OR learning* OR learn OR inhibition OR memory OR attention OR problem solving OR information processing OR mental activ* OR neuropsycholog* AND Magnetic Resonance Imaging OR imaging OR MRI OR fMRI OR Brain OR brain OR cerebral OR Diagnostic Techniques OR Evoked Potentials OR electroencephalograph* OR electro-encephalograph* OR EEG OR ERP OR DTI OR neuroimaging OR neuro-imaging OR white matter OR neuroradiograph* OR neuro-radiograph* OR P3 OR P3a OR P3b OR P300 AND

Motor Activity OR Physical Education and Training OR Sports OR motor activit* OR physical activit* OR locomotor activit* OR exercis* OR physical education OR sport* OR athletic* OR athlete OR athletes

AND

child* OR schoolchild* OR infan* OR pediatri* OR paediatr* OR boy OR boys OR boyhood OR girl OR girls OR girlhood OR youth OR youths OR preadolescent* OR pre-adolescent* OR young

AND

randomized controlled trial OR controlled clinical trial OR randomized controlled trials OR random allocation OR double-blind method OR single-blind method OR clinical trial OR clinical trials OR clinical trial

AND

mask* OR blind* OR latin square OR placebos OR placebo* OR random* OR research design OR comparative study OR evaluation studies OR follow-up studies OR prospective studies OR cross-over studies OR control OR controll* OR prospectiv* OR volunteer* NOT animals NOT humans

Bijlage 2. Overzicht kenmerken van de geselecteerde studies

Tabel S3. *Overzicht kenmerken van de geselecteerde studies.*

auteur (publicatie-jaar)	populatie	leeftijd	n	duur	acuut vs. langdurig	interventie (n)	uitkomstmaten	conclusies
Ahamed (2007)	gezonde kinderen	9-11 jaar	287	16 maan-den	langdurig	experimentele groep: fysieke activiteit in het klaslokaal zoals springen, dansen, krachttraining (n = 214; 5 x 15 min./week). controlegroep: geen extra activiteiten (n = 73).	schoolprestaties (totaalscore)	Ondanks de toevoeging van gemiddeld 10 minuten fysieke activiteit per dag, waren de schoolprestaties van de kinderen in de experimentele groep niet verbeterd ten opzichte van de controlegroep.
Altenburg (2015)	gezonde kinderen	10-13 jaar	56	20 minuten	acuut	experimentele groep: 1 (n = 17) of 2 keer (n = 20) 20 min. dansen op matige intensiteit. controlegroep: regulier lesprogramma (n = 19).	inhibitie (Sky Search test)	Resultaten laten een verbetering zien dat inhibitie is verbeterd na 2 keer 20 min matige fysieke activiteit, maar niet na 1 keer 20 min.
Best (2012)	gezonde kinderen	6-10 jaar	33	20 minuten	acuut	experimentele groep: 20 min. joggen tijdens een exergame (n = 33). controlegroep: 20 min. kijken naar een video (n = 33).	inhibitie (ANT-C)	Er waren geen verschillen gevonden op nauwkeurigheid en gemiddelde score tussen de experimentele groep en controlegroep wanneer er alleen meer werd bewogen.

Chaddock-Heyman (2013)	gezonde kinderen	8-9 jaar	23	9 maan-den	langdurig	experimentele groep: matig tot intensieve fysieke activiteit (n=14; 5 x 120 min./week). controlegroep: wachtlijst protocol (n = 9).	inhibitie (Flanker)	Resultaten laten een verbetering in inhibitie zien in de experimentele groep ten opzichte van de controlegroep.
Chen (2014)	gezonde kinderen	9-11 jaar	83	30 minuten	acuut	experimentele groep: 30 min. hardlopen (matige intensiteit) (n = 44). controlegroep: 30 min. lezen (n = 39).	inhibitie (Flanker), werkgeheugen (n-back), cognitieve flexibiliteit (more-odd task)	Resultaten laten een verbetering zien in reactietijd voor inhibitie-, werkgeheugen- en aandachtstaken in de experimentele groep, terwijl dit niet het geval was in de controlegroep. De nauwkeurigheid was niet verschillend voor beide groepen.
Crova (2014)	gezonde kinderen en kinderen met overgewicht	9-10 jaar	70	21 weken	langdurig	experimentele groep: motorische vaardigheden training en tennis tijdens extra gymles (n = 37; 2 x 45 min./week). controlegroep: geen extra activiteiten (n = 33).	inhibitie en werkgeheugen (random number generation task)	Resultaten laten zien dat inhibitiecontrole beter is bij zeer fitte kinderen en verbeterd bij kinderen met overgewicht. Geen effect op werkgeheugen.

Dalziell (2015)	gezonde kinderen	9-10 jaar	46	16 weken	langdurig	experimentele groep: gymles door vakdocent met focus op kwaliteit / controlebewegingen, met taken die executieve functies omvatten (n=25; 2 x 60 min./week). controlegroep: reguliere gymles door klasleerkracht (n=21; 2 x 60 min./week).	werkgeheugen, schoolprestaties (lezen en spelling)	Interventiegroep laat een verbetering in werkgeheugen zien ten opzicht van de controlegroep. Er zijn geen effecten gevonden voor lezen of spelling.
Davis (2011)	kinderen met overgewicht	7-11 jaar	171	15 weken	langdurig	experimentele groep: matig tot intensief bewegen met een lage (n=55; 5 x 20 min./week) of hoge dosis (n=56; 5 x 40 min./week). controlegroep: geen extra activiteiten (n=60).	plannen, aandacht (CAS), schoolprestaties (lezen, rekenen)	Resultaten laten specifieke dose-response voordelen van fysieke activiteit op executief functioneren en rekenen zien.
Drollette (2014)	gezonde kinderen	8-10 jaar	40	20 minuten	acuut	experimentele conditie: rennen op loopband, 60% HRmax (n = 40). controleconditie: rustig zitten (n = 40).	inhibitie (Flanker)	Laag scorende kinderen maakten na de experimentele conditie minder fouten vergeleken met de controleconditie. Er zijn geen effecten gevonden in reactiesnelheid of bij de hoog scorende kinderen.
Duncan (2014)	gezonde kinderen	8-11 jaar	18	20 minuten	acuut	experimentele groep: drie condities: zitten (20 min.), matige fysieke activiteit (20 min. fietsen, 50% van HRR) en intensieve fysieke activiteit (20 min. fietsen).	schoolprestaties (schrijven, lezen, rekenen en begrijpend lezen)	Resultaten laten zien dat er een verbetering is in spelling en lezen. Daarentegen verslechterde rekenen na fysieke activiteit. Resultaten bleven hetzelfde na het verhogen van de intensiteit.

Fisher (2011)	gezonde kinderen	6 jaar	60	10 weken	langdurig	experimentele groep: gymles met vooral aerobe activiteiten (n = 33; 2 x 60 min./week). controlegroep: gymles met vooral balvaardigheid (n = 27; 2 x 60 min./week).	planning (CAS)	Er waren geen verschillen gevonden op planning tussen de experimentele en controlegroep na de interventie.
Gallotta (2015a)	gezonde kinderen	8-11 jaar	116	50 minuten	acuut	experimentele groep: simpele aerobe fysieke activiteiten (n = 31). controlegroep: onderwijs over humanistische onderwerpen (n = 39).	selectieve aandacht (D2)	Resultaten laten geen verschil zien tussen de experimentele en controlegroep.
Gallotta (2015b)	kinderen zonder overgewicht	8-11 jaar	230	5 maan-den	langdurig	experimentele groep: matig tot intensieve fysieke activiteit (n = 78) of coördinatieve fysieke activiteit (n = 83; 2 x 60 min./week). controlegroep: geen fysieke activiteit (n = 69).	selectieve aandacht (D2)	Resultaten laten een verbetering zien in beide experimentele groepen op inhibitie. De controlegroep liet geen verbetering zien op inhibitie. De grootste effecten werden gevonden in de coördinatieve fysieke activiteit.
Hill (2010)	gezonde kinderen	8-11 jaar	1224	15 minuten	acuut	experimentele conditie: stretchen en aerobe oefeningen in de klas (5 x 15 min./week). controleconditie: regulier lesprogramma.	werkgeheugen (paced serial addition, size ordering, listening span, digit-span backwards, and digit-symbol encoding)	Resultaten laten zien dat het werkgeheugen van kinderen verbeterde na een bewegingsprogramma in het klaslokaal. Dit geldt alleen voor kinderen die in de tweede week van de interventie het bewegingsprogramma ontvingen, behalve voor de 'size-ordening'-taak en voor kinderen in de klassen 4 tot 6 voor de 'visual-coding'-taak.

Hillman (2009)	gezonde kinderen	9.6 jaar	20	20 minuten	acuut	twee sessies: sessie 1: 20 min. lopen op een loopband (60% van de HRR); sessie 2: 20 min. zitten zonder te praten.	inhibitie (Flanker), schoolprestaties (lezen, spelling, rekenen)	Resultaten laten verbeteringen zien in leesvaardigheden na fysieke activiteit ten opzichte van rust. Daarnaast zijn de kinderen meer nauwkeurig tijdens de inhibitietaak na fysieke activiteit dan na rust.
Hillman (2014)	gezonde kinderen	7-9 jaar	221	9 maan-den	langdurig	experimentele groep: matig tot intensieve fysieke activiteit (n = 109; 5 x 120 min./week). controlegroep: wachtlijst protocol (n = 112).	inhibitie (Flanker), cognitieve flexibiliteit (color-shape switch task)	Resultaten laten een verbetering in nauwkeurigheid zien bij de inhibitietaak in de experimentele groep ten opzichte van de controlegroep. Geen verschil tussen de beide groepen in reactietijd. Daarnaast liet de experimentele groep een grotere verbetering zien in cognitieve flexibiliteit dan de controlegroep.
Howie (2015)	gezonde kinderen	9-12 jaar	96	5-20 minuten	acuut	experimentele conditie: 5 min, 10 min. of 20 min. matig tot intensieve aerobe oefeningen in het klaslokaal (n = 96). controleconditie: 10 min. regulier lesprogramma (sedentair) (n = 96).	schoolprestaties (rekenen), inhibitie (Trailmaking-test) en werkgeheugen (digit recall)	Resultaten laten een verbetering op rekenvaardigheid zien na 10 en na 20 minuten bewegen ten opzichte van de controleconditie.
Jäger (2014)	gezonde kinderen	6-8 jaar	104	20 minuten	acuut	experimentele groep: cognitief uitdagende fysieke activiteit (n = 51). controlegroep: luisteren naar een verhaal (n = 53).	werkgeheugen (N-back), cognitieve flexibiliteit en inhibitie (Flanker)	Resultaten laten een verbetering zien op inhibitie in de experimentele groep ten opzichte van de controlegroep, maar niet op cognitieve flexibiliteit of werkgeheugen.

Kamijo (2011)	gezonde kinderen	7-9 jaar	36	9 maanden	langdurig	experimentele groep: matig tot intensieve fysieke activiteit (n=20; 5 x 120 min./week). controlegroep: wachtlijst protocol (n = 16).	werkgeheugen (modified Sternberg-task)	Resultaten laten een verbeterd nauwkeurigheid zien in de experimentele groep ten opzichte van de controlegroep.
Koutsandréou (2016)	gezonde kinderen	9-10 jaar	71	10 weken	langdurig	experimentele groep: matig tot intensieve fysieke activiteit (n = 27) of coördinatieve fysieke activiteit (n = 23; 3 x 45 min./week). controlegroep: huiswerk (n = 21).	werkgeheugen (letter digit span)	Resultaten laten een verbetering zien van werkgeheugen in beide experimentele groepen ten opzichte van de controlegroep. De coördinatieve interventie groep liet een sterkere verbetering zien dan de cardiovasculaire interventiegroep.
Krafft (2014a)	kinderen met overgewicht	8-11 jaar	43	8 maanden	langdurig	experimentele groep: aeroob bewegingsprogramma (n = 24; 5 x 40 min./week). controlegroep: sedentaire activiteiten (n = 19; 5 x 40 min/week).	inhibitie (antisaccadic-task, Flanker)	Resultaten laten geen verschil zien tussen de experimentele en controlegroep.
Krafft (2014b)	kinderen met overgewicht	8-11 jaar	22	8 maanden	langdurig	experimentele groep: aeroob bewegingsprogramma (n = 24; 5 x 40 min./week). controlegroep: sedentaire activiteiten (n = 19; 5 x 40 min./week).	planning (CAS)	Resultaten laten geen verschil zien tussen de experimentele en controlegroep.
Niemann (2013)	gezonde kinderen	9-10 jaar	42	12 minuten	acuut	experimentele groep: 12 min. aerobe fysieke activiteit (rennen), HF 180-190 BPM (n = 21). controlegroep: 12 min. kijken naar video's (Happy Feet) (n = 21).	selectieve aandacht (D2)	Resultaten laten zien dat een enkele sessie van fysieke activiteit zorgt voor een grotere verbetering in D2-test performance dan het kijken van video's. Deze verbetering is ongeacht de fitheid en het testosteronniveau van het kind.

Niet, van der (2016)	gezonde kinderen	8-12 jaar	112	22 weken	langdurig	experimentele groep: MVPA met cognitief uitdagende activiteiten tijdens middagpauze controlegroep: reguliere middagpauze	inhibitie (Stroop-test), werkgeheugen (visual memory span, digit memory span), cognitieve flexibiliteit (Trailmaking-test), planning (Tower of London)	Resultaten laten zien dat de experimentele groep meer vooruit ging op inhibitie en werkgeheugen ten opzichte van de controlegroep. Er werden geen verschillen gevonden voor cognitieve flexibiliteit en planning.
Pirrie (2012)	gezonde kinderen	8-9 jaar	39	60 minuten	acuut	experimentele conditie: gymles met ten minste 20 min. MVPA. controleconditie: lezen in de klas.	cognitieve flexibiliteit (Trailmaking-test) en inhibitie (Stroop-test)	Resultaten laten zien dat de kinderen beter scoren op cognitieve flexibiliteit na gymles, vergeleken met na lezen. Dit geldt ook voor inhibitie, maar dit was afhankelijk van de testvolgorde of andere factoren.
Schmidt (2015a)	gezonde kinderen	10-12 jaar	181	6 weken	langdurig	experimentele groep: 2 x 45 min./week fysieke activiteit met hoge (n = 69) of lage (n = 57) cognitieve uitdaging. controlegroep: 2 x 45 min./week reguliere gymlessen (n = 55).	inhibitie (Flanker), cognitieve flexibiliteit (Flanker) en werkgeheugen (n-back)	Resultaten laten zien dat de experimentele groep met hoge cognitieve uitdaging meer vooruit gaat op cognitieve flexibiliteit ten opzichte van de controlegroep en de experimentele groep met lage cognitieve uitdaging.
Schmidt (2015b)	gezonde kinderen	11 jaar	104	45 minuten	acuut	experimentele groep: cognitief uitdagende gymles (n = 48). controlegroep: reguliere taalles (n = 42).	selectieve aandacht (D2)	Resultaten laten zien dat kinderen beter scoren op selectieve aandacht na een gymles, maar alleen na 90 minuten reguliere schoollessen en niet direct na de gymles.

Schmidt (2016)	gezonde kinderen	11-13 jaar	92	45 minuten	acuut	experimentele groep: fysieke activiteit met hoge (n = 25) of lage (n = 25) cognitieve uitdaging. sedentair gedrag met lage cognitieve uitdaging (n = 20).	selectieve aandacht (D2)	Resultaten laten zien dat fysieke activiteit met hoge of lage cognitieve uitdaging niet zorgt voor een verbeterde selectieve aandacht ten opzichte van sedentair gedrag met een lage cognitie uitdaging.
Thompson (2016)	gezonde kinderen	10-11 jaar	791	40 minuten	acuut	experimentele groep: gymles met tenminste 20 min. MVPA (n = 432). controlegroep: geen fysieke activiteit (n = 432).	schoolprestaties (rekenen, lezen).	Resultaten laten zien dat de kinderen niet beter scoren op schoolprestaties na een gymles, vergeleken met na geen fysieke activiteit.
Tine (2012)	gezonde kinderen	10-13 jaar	164	12 minuten	acuut	experimentele groep: 12 min. aerobe oefeningen (n = 86). controlegroep: 12 min. zittend kijken naar video's (n = 78).	selectieve aandacht (D2)	Resultaten laten zien dat de performance op de D2-test is verbeterd bij de experimentele groep ten opzichte van de controlegroep. De verbetering was groter in de groep kinderen die ouders hebben met een laag inkomen dan de groep kinderen die ouders hebben met een hoog inkomen.
Tomporowski (2008)	gezonde kinderen	7-11 jaar	96	23 minuten	acuut	experimentele conditie: 23 min. wandelen op een licht gekantelde loopband (n = 96). controleconditie: 23 min. naar een video kijken.	cognitieve flexibiliteit (Switch-task)	Resultaten laten geen verschil zien tussen de experimentele en controleconditie.

n = aantal kinderen.

HRmax = maximale hartslag.

MVPA = matig tot intensieve fysieke activiteit.

Tabel S4. *Overzicht kenmerken van geselecteerde MRI-studies.*

auteur (publicatiejaar)	populatie	gem. leeftijd (jaren)	n (% man)	interventie	type	duur (min.)	uitkomstmaten-	bevindingen/conclusie
Chaddock-Heyman (2013)	gezonde kinderen	8.9	experimenteel: 14 (50%) controle: 9 (66%)	experimenteel: naschoolse bewegingsinterventie controle: wachtlijst controlegroep	langdurig	120 min. p/w voor 36 weken	inhibitie (Flanker-taak) fMRI active-state	De resultaten lieten een interactie-effect zien tussen groep en tijd op hersenactiviteit. De experimentele groep liet een sterkere verlaging van hersenactiviteit zien ter plaatse van de rechter anterieure PFC, ten opzichte van kinderen in de controlegroep. Deze veranderingen gingen samen met verbeteringen in prestatie op de Flankertaak.
Chen (2016)	gezonde kinderen	10	9 (55%)	experimenteel: fietsen op een ergometer controle: rustperiode	acuut	35	werkgeheugen (N-back) fMRI active-state	Na een periode van fysieke activiteit werd een verhoogde activatie in de bilaterale pariëtale cortex, linker hippocampus en bilaterale cerebellum geobserveerd in vergelijking met de controleconditie. Daarnaast werd ook een verbeterd werkgeheugen geobserveerd ten opzichte van de controleconditie.

Davis (2011)	kinderen met obesitas	9.6	experimenteel: 10 (nb) controle: 9 (nb)	experimenteel: bewegingsinterventie controle: wachtlijst	langdurig	lage dosis: 100 min p/w voor 13 weken hoge dosis: 200 min p/w voor 13 weken	inhibitie (Antisaccade-taak) fMRI active-state	De resultaten lieten een interactie effect zien tussen groep en tijd op hersenactiviteit. Kinderen uit de experimentele groepen lieten een verhoging in activiteit zien in de PFC en een verlaging in activiteit in de pariëtale cortex tijdens een inhibitietaak. Dit werd niet geobserveerd bij kinderen uit de controlegroep.
Krafft (2014b)	kinderen met obesitas	9.6	experimenteel: 13 (23%) controle: 9 (44%)	experimenteel: SMART-programma controle: sedentair controle-programma	langdurig	200 min. p/w voor 32 weken	fMRI resting-state	Uit de resultaten bleek dat er interactie effecten waren tussen groep en tijd in het default-, cognitieve controle- en het motornetwerk. In de experimentele groep werd een verlaging van synchroniciteit geobserveerd binnen het default- en cognitieve controle netwerk en een verhoging van synchroniciteit binnen het motornetwerk ten opzichte van de controlegroep.

Krafft (2014a)	kinderen met obesitas	9.8	experimenteel: 24 (29%) controle: 19 (42%)	experimenteel: SMART-programma controle: sedentair controle-programma	langdurig	200 min. p/w voor 32 weken	inhibitie (Antisaccade-taak), Flanker-taak) fMRI active-state	De resultaten lieten een interactie effect zien tussen groep en tijd op hersenactiviteit. De experimentele groep liet een verlaagde activatie zien in de IFG en de ACC tijdens de Antisaccade taak en verhoogde activatie in de ACC en de superior frontale gyrus tijdens de Flankertaak. Deze verschillen werden niet geobserveerd in de controlegroep.
Krafft (2014c)*	kinderen met obesitas	9.7	experimenteel: 10 (50%) controle: 8 (50%)	experimenteel: SMART-programma controle: sedentair controle-programma	langdurig	200 min. p/w voor 32 weken	DTI	Wanneer rekening werd gehouden met het aanwezigheidspercentage van de experimentele groep werd een interactie effect gevonden tussen groep en tijd voor witte stof integriteit. Er werd een verbeterde integriteit geobserveerd in de superieure longitudinale fasciculus in de experimentele groep ten opzichte van de controlegroep.

Schaeffer (2014)*	kinderen met obesitas	9.7	experimenteel: 10 (nb) controle: 8 (nb)	experimenteel: SMART-programma controle: sedentair controle-programma	langdurig	200 min. p/w voor 32 weken	DTI	De resultaten lieten een interactie effect zien tussen groep en tijd voor witte stof integriteit. De experimentele groep liet een verbeterde witte stof integriteit in de fasciculus uncinatus zien in vergelijking met de controlegroep.

Tabel S5. *Overzicht kenmerken van geselecteerde EEG studies.*

auteur (publicatie-jaar)	populatie	gem. leeftijd (jaren)	n (% man)	interventie (n)	type	duur (min.)	uitkomstmaten	bevindingen/conclusie
Chuang (2015)	kinderen met ADHD	9.4	19 (84%)	experimenteel: rennen op een loopband controle: film kijken	acuut	30	Go/No Go-taak CNV 1 / CNV 2	Na de experimentele conditie werd een kortere reactietijd en een kleinere CNV2-amplitude geobserveerd in vergelijking met de controleconditie. Grotere CNV1 en CNV2 amplitudes na inhibitie stimuli werden gezien na de controleconditie. Deze resultaten suggereren dat acute fysieke activiteit een positief effect heeft op de motorpreparatie bij kinderen met ADHD.
Hillman (2009)*	gezonde kinderen	9.6	20 (60%)	experimenteel: rennen op een loopband controle: rust	acuut	20	Flanker-taak	Na de experimentele conditie werd een grotere P3-amplitude en verbeteringen in response accuraatheid en prestaties op academische vaardigheden geobserveerd. Deze veranderingen werden niet geobserveerd na de controleconditie. Dit suggereert dat een korte periode van fysieke inspanning kan leiden tot een hogere efficiëntie van aandachtsprocessen.

Hillman (2014)*	gezonde kinderen	8.8	experimenteel: 109 (51%) controle: 112 (46%)	experimenteel: FITkids programma vs. controle: wachtlijst controleconditie	langdurig	600 min p/w voor 36 weken	Flanker-taak / Switch-taak (cognitieve flexibiliteit) P3-amplitude /latentie	De resultaten lieten een interactie effect zien tussen groep en tijd op hersenactiviteit tijdens verschillende cognitieve taken. In de experimentele groep werd een grotere P3-amplitude geobserveerd gedurende een cognitieve flexibiliteit taak en een grotere P3-amplitude en P3-latentie gedurende een aandachts- en inhibitietaak. Deze verschillen werden niet gezien bij de kinderen in de controlegroep. Deze resultaten impliceren een causaal verband tussen fysieke activiteit, hersen functioneren en cognitie.
Kim & So (2015)	gezonde kinderen	8.3	10 (40%) 10 (40%)	experimenteel: gecombineerde kracht- en conditietraining controle: zittende activiteiten	langdurig	180 min p/w voor 16 weken	selectieve aandacht (Stroop-taak) alpha-golven	De resultaten demonstreerden een groep x tijd interactie effect voor hersenactiviteit en taakprestatie. De experimentele groep liet grotere alpha-golven en een betere prestaties zien ten opzichte van de controlegroep.
Hung (2016)	kinderen met ADHD	10.2	34 (97%)	experimenteel: rennen op een loopband controle: video kijken	acuut	30	werkgeheugen (Taak switching paradigma) P3-amplitude /latentie	De resultaten lieten een sessie x conditie interactie effect voor P3-amplitude en reactietijd. Na de experimentele conditie werden grotere p3-amplitudes geobserveerd tijdens taakcondities die grotere beroep deden op het werkgeheugen.

Kamijo (2011)	gezonde kinderen	9	26 (nb)	experimenteel: FITkids programma controle: wachtlijst	langdurig	600 min p/w voor 36 weken	werkgeheugen (Sternberg-taak) iCNV / tCNV	Uit de resultaten bleek dat er een groep x tijd interactie effect was voor hersen functioneren en taakprestatie. De onderzoekers observeerden in de experimentele groep verhoogde iCNV-amplitudes in de frontale cortex en een verbeterde prestatie op de werkgeheugentaak ten opzichte van de controlegroep.
Mierau (2014)	gezonde kinderen	5.8	10 (100%)	experimenteel: fysieke activiteit controle: rust	acuut	45	inhibitie (Flanker-taak) EEG alpha 1 / beta 1/2	Na de experimentele conditie werd een verhoging van alpha-golven en een verlaging van bèta-golven geobserveerd ten opzichte van de controleconditie. Er werden geen verschillen gevonden tussen de experimentele en controlecondities in de taak gerelateerde EEG en prestaties op de aandachttaak.
Pontifex (2013)*	kinderen met ADHD (n=20) gezonde kinderen (n=20)	9.8	40 (70%)	experimenteel: fysieke activiteit controle: zittend lezen	acuut	20	inhibitie (Flanker-taak) ERN ERP / P3-amplitude / P3-latentie	Na de experimentele conditie werden grotere P3-amplitudes en kortere P3-latenties geobserveerd bij zowel kinderen met ADHD als gezonde kinderen ten opzichte van de controleconditie. Kinderen met ADHD lieten daarnaast ook verbeteringen zien in cognitieve verwerkingsprocessen na de fysieke conditie ten opzichte van de controleconditie.
St-Louis-Deschenes (2015)*	gezonde kinderen	10.4	32 (44%)	experimenteel: fysieke activiteit met gemiddeld intensiteit niveau controle: rust	acuut	30	aandacht (Oddball-taak) P3b- / P3a-amplitude	Na de experimentele conditie werd een grotere P3b-amplitude geobserveerd in vergelijking met de controleconditie. Er zijn geen verschillen gevonden tussen de condities voor de P3a-amplitude of latentie en prestaties op de aandachtstaak.

Schneider (2009)	gezonde kinderen	9-11	11 (55%)	experimenteel: fietsen op een ergometer controle: rust	acuut	15	alpha/bèta-golven	Na de experimentele conditie werd een verhoging van alpha-activiteit in de precuneus en een verhoging van bèta-activiteit in de linker temporale cortex geobserveerd. Dit werd niet gezien na de controleconditie.

*Studies zijn ook geïncludeerd in de meta-analyse.
CNV: contingent negative variation, iCNV: vroege contingent negative variation van 500 tot 1000 milliseconde, tCNV: late contingent negative variation van 1500 tot 2000 milliseconde.
ERN: error-related negativity, ERP: event-related-potential.
nb: niet bekend.

Bijlage 3. Statistische analyse multilevel model

Om te bepalen of de intensieve en cognitieve bewegingsinterventie effectief zijn gebleken, is gebruik gemaakt van multilevel analyse. Deze analyse is uitgevoerd met MLwiN (versie 2.35; RIGLS estimations). De uitkomstmaten voor aerobe fitheid (Shuttle run Test), BMI, motoriek (samengestelde score), informatieverwerking (snelheid, variabiliteit en kwaliteit), aandacht (alertheid en ruimtelijke aandacht), executieve functies (verbaal werkgeheugen, visuospatieel werkgeheugen, interferentiecontrole en motorische inhibitie) en schoolprestaties (spelling, rekenen en leesvaardigheid) zijn gebruikt als afhankelijke variabelen.

Voor elke afhankelijke variabele is stap-voor-stap een model opgebouwd. In de eerste stap werd bekeken of er significante verschillen zijn tussen de 44 klassen door *Klas* als level 2 toe te voegen aan het model (level 1 = *Kind*). Als deze toevoeging het model niet significant verbeterde, werd *Klas* uit het model gelaten. In de tweede stap werd de score op de voormeting toegevoegd en werd bepaald welke covariaten een significante voorspeller zijn voor de afhankelijke variabele. Dit werd voor de volgende covariaten uitgevoerd: *groep (5 of 6), leeftijd, geslacht, sociaaleconomische status (SES).*

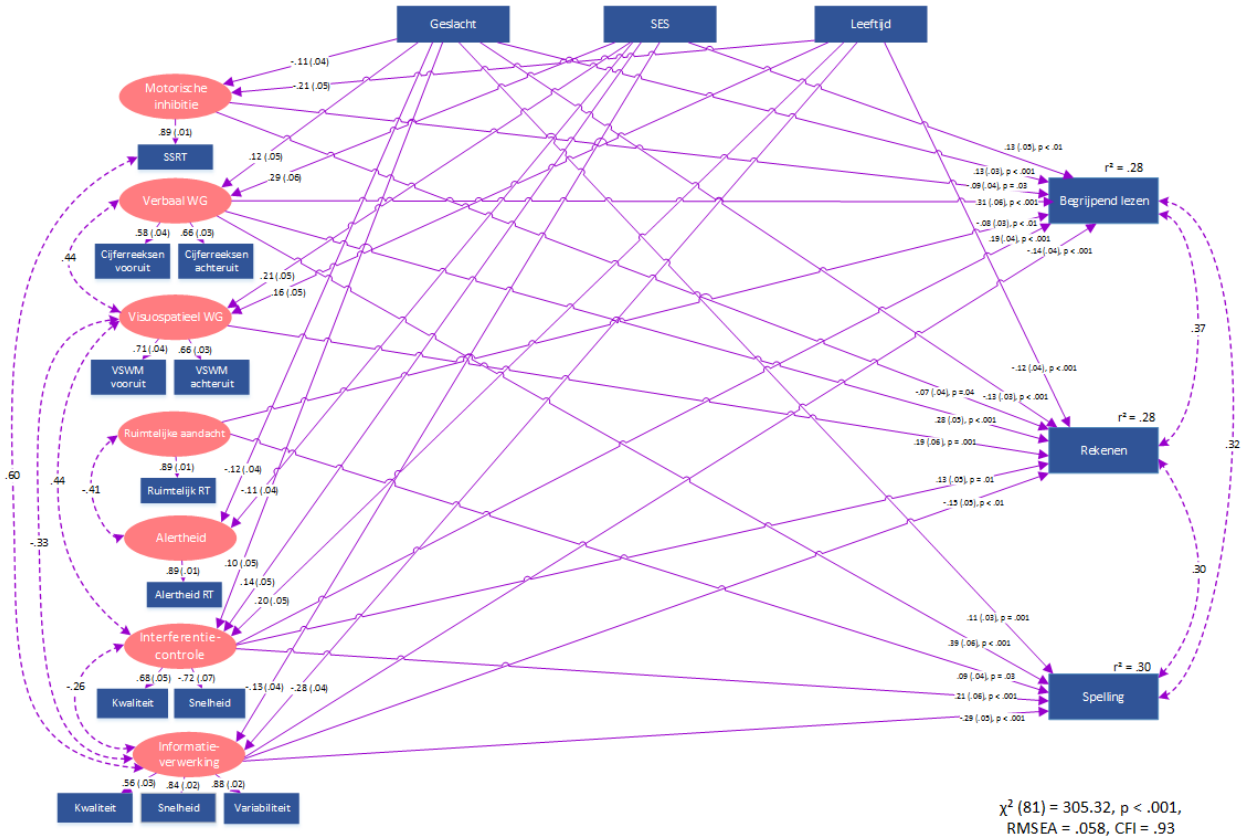
De covariaten die het model niet significant beter maakten, werden één-voor-één uit het model gehaald (‘backward stepwise deletion’). Hierdoor kunnen de variabelen die in het model worden meegenomen per uitkomstmaat verschillend zijn van elkaar. De score op de voormeting blijft wel altijd in het model. Het voordeel van deze methode is dat we het aantal variabelen in het model zo laag mogelijk houden. Tijdens de derde stap werd *Conditie* (fysieke interventie, complexe interventie of controlegroep) toegevoegd aan het model. Hiermee werd getoetst of de fysieke interventiegroep en/of de complexe interventiegroep significant hoger scoren op de nameting vergeleken met de controlegroep. De scores van de fysieke interventiegroep werd met een contrastanalyse vergeleken met de scores van de complexe interventiegroep. Tijdens de vierde stap werden er verschillende interactie-effecten bekeken:

- De interactie tussen *Conditie* en *Score op de voormeting* beantwoordt de vraag of het effect van de interventie afhangt van de *Score op de voormeting*. Een significant interactie-effect kan bijvoorbeeld betekenen dat een interventie alleen effectief is voor kinderen met een lage score op de voormeting. Voor kinderen uit de interventiegroep met een hoge score op de voormeting zou de interventie dan minder effectief zijn, of mogelijk zelfs niet significant.
- De interactie tussen *Conditie* en *Matig-tot-intensieve fysieke activiteit (MVPA)* beantwoordt de vraag of kinderen die meer tijd besteden in matig-tot-intensieve fysieke activiteit beter scoren op de nameting dan de kinderen die minder lessen hebben gevolgd. Dit wordt alleen onderzocht bij de kinderen die de interventiegroepen hebben gezeten, niet bij de kinderen in de controlegroep.
- De interactie *Conditie* en *Aantal gevolgde lessen* beantwoordt de vraag of kinderen die meer lessen hebben gevolgd beter scoren op de nameting dan de kinderen die minder lessen hebben gevolgd. Dit wordt alleen onderzocht bij de kinderen die de interventiegroepen hebben gezeten, niet bij de kinderen in de controlegroep. Ondanks dat alle kinderen in de interventiegroep 56 lessen aangeboden kregen, hebben niet alle kinderen alle lessen daadwerkelijk mee kunnen doen. Dit komt bijvoorbeeld door ziekte of door uitval van de les; waarbij geen enkel kind de les heeft gevolgd.

- De interactie *Conditie* en *Sociaaleconomische status*, de interactie *Conditie* en *Geslacht* en de interactie *Conditie* en *Georganiseerde buitenschoolse sportactiviteiten* (deelname ja of nee, en het aantal minuten per week) beantwoordt de vraag of de effecten van de interventie(s) op de uitkomstvariabelen enkel optreden in bepaalde subgroepen van de populatie. De interactie tussen *Conditie* en *Geslacht* beantwoordt bijvoorbeeld de vraag of het effect van de interventie afhangt van het geslacht van de proefpersonen. Een significant interactie-effect kan bijvoorbeeld betekenen dat een interventie alleen effectief is voor meisjes in de intensieve bewegingsinterventie.

Bijlage 4. Uitgebreide resultaten

Relaties tussen executieve functies en schoolprestaties



Figuur S1. *Volledig structureel model met latente variabelen en gebruikte scores om deze te representeren, correlaties tussen variabelen en significante relaties tussen executieve functies en schoolprestaties.*

Fysieke uitkomstmaten

Tabel S6. *Gemiddelde ruwe scores voor de fysieke testen op de voor- en nameting (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**cognitieve bewegingsinterventie**
		aerobe fitheid (trappen)	
voormeting	4.5 ± 1.9	4.6 ± 1.8	4.3 ± 1.8
nameting	5.1 ± 2.1	5.3 ± 2.2	5.1 ± 2.0
		BMI (kg/m^2)	
voormeting	16.5 ± 2.3	16.9 ± 2.3	16.9 ± 2.4
nameting	16.7 ± 2.3	16.9 ± 2.1	16.9 ± 2.4
		motoriek*	
voormeting	-0.25 ± 0.9	-0.22 ± 1.0	-0.26 ± 1.0
nameting	0.23 ± 1.0	0.39 ± 0.9	0.16 ± 1.0

*Gestandaardiseerde score voor de vier motorische testen.
SD = standaarddeviatie.

Cognitieve uitkomstmaten

Tabel S7. *Gemiddelde ruwe scores voor informatieverwerking op de voor- en nameting (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

	controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**complexe bewegingsinterventie**
		snelheid van informatieverwerking*	
voormeting	664.72 ± 100.44	649.35 ± 88.94	657.81 ± 92.98
nameting	595.99 ± 92.64	582.28 ± 81.37	591.04 ± 89.66
		variabiliteit van informatieverwerking*	
voormeting	155.09 ± 48.22	151.98 ± 45.07	155.23 ± 45.46
nameting	142.8 ± 48.5	139.12 ± 48.42	141.44 ± 53.01
		kwaliteit van informatieverwerking	
voormeting	0.98 ± 0.03	0.98 ± 0.02	0.98 ± 0.02
nameting	0.98 ± 0.02	0.98 ± 0.02	0.98 ± 0.02

*Een lagere waarde wordt geïnterpreteerd als betere prestatie.
SD = standaarddeviatie.

Tabel S8. *Gemiddelde ruwe scores voor executieve functies (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

		controlegroep	**intensieve bewegingsinterventie**	**complexe bewegingsinterventie**
verbaal werkgeheugen				
kortetermijngeheugen	voormeting	31.48 ± 12.53	32.95 ± 12.8	32.48 ± 12.32
	nameting	34.08 ± 13.89	35.42 ± 13.68	36.81 ± 13.66
centraal executief	voormeting	14.12 ± 8.69	14.10 ± 8.04	15.07 ± 8.79
	nameting	15.29 ± 8.98	14.86 ± 9.26	15.63 ± 9.23
visuospatieel werkgeheugen				
kortetermijngeheugen	voormeting	60.55 ± 24.44	56.65 ± 22.62	60.12 ± 23.47
	nameting	67.93 ± 25.32	65.34 ± 25.32	67.35 ± 26.72
centraal executief	voormeting	47.47 ± 22.03	44 ± 21.57	47.66 ± 24.85
	nameting	52.37 ± 26.71	50.12 ± 26.36	52.15 ± 24.63
interferentiecontrole				
snelheid*	voormeting	132.41 ± 64.46	131.22 ± 63.19	135.01 ± 68.21
	nameting	84.7 ± 44.09	83.76 ± 45.91	88.52 ± 50.39
kwaliteit	voormeting	-0.06 ± 0.08	-0.07 ± 0.08	-0.07 ± 0.08
	nameting	-0.04 ± 0.05	-0.05 ± 0.05	-0.05 ± 0.05
motorische inhibitie				
snelheid*	voormeting	250.87 ± 51.02	241.59 ± 43.66	250.7 ± 51.58
	nameting	237.43 ± 49.47	229.38 ± 44.51	237.94 ± 46.27

*Een lagere waarde wordt geïnterpreteerd als betere prestatie.
SD = standaarddeviatie.

Schoolprestaties

Tabel S9. *Gemiddelde ruwe scores (aantal goed) op toetsen voor schoolprestaties op de voor- en nameting (gemiddelde ± SD), apart weergegeven voor de drie groepen.*

	controlegroep	**intensieve bewegings-interventie**	**complexe bewegings-interventie**
gemiddelde schoolprestaties (totaal)			
voormeting	16.9 ± 3.9	17.2 ± 3.6	16.7 ± 4.2
nameting	18.5 ± 3.5	18.6 ± 3.3	18.4 ± 3.8
lezen			
voormeting	18.2 ± 4.7	18.8 ± 4.3	17.9 ± 5.3
nameting	19.4 ± 4.7	19.8 ± 4.3	19.8 ± 4.5
rekenen			
voormeting	14.4 ± 4.2	14.5 ± 4.4	14.3 ± 4.5
nameting	15.8 ± 3.8	15.6 ± 3.8	15.8 ± 3.8
spelling			
voormeting	18.3 ± 5.3	18.5 ± 4.9	17.8 ± 5.7
nameting	20.3 ± 4.3	20.4 ± 4.3	19.6 ± 5.1

SD = standaarddeviatie.

Bijlage 5. Inclusieprotocol MRI-onderzoek

Tabel S10. *Overzicht beoogd aantal en uiteindelijk geïncludeerd aantal kinderen per conditie in Groningen en Amsterdam op de voormeting.*

	Voormeting								
	C5	C6	C Totaal	I-I5	I-I6	I-I Totaal	I-C5	I-C6	I-C Totaal
Jongens gepland	8	7	15	8	7	15	7	8	15
jongens gescand	**7**	**7**	**14**	**8**	**7**	**15**	**8**	**8**	**16**
Jongens AM gepland	4	3	7	4	3	7	4	4	8
Jongens AM gescand	**2**	**4**	**6**	**6**	**3**	**9**	**4**	**4**	**8**
Jongens GR gepland	4	4	8	4	4	8	3	4	7
Jongens GR gescand	**5**	**3**	**8**	**2**	**4**	**6**	**4**	**4**	**8**
Meisjes gepland	7	8	15	7	8	15	8	7	15
Meisjes gescand	**7**	**9**	**16**	**7**	**8**	**15**	**8**	**7**	**15**
Meisjes AM gepland	4	4	8	4	4	8	4	3	7
Meisjes AM gescand	**3**	**4**	**7**	**2**	**4**	**6**	**7**	**3**	**10**
Meisjes GR gepland	3	4	7	3	4	7	4	4	8
Meisjes GR gescand	**4**	**5**	**9**	**5**	**4**	**9**	**1**	**4**	**5**
Totaal gepland	15	15	30	15	15	30	15	15	30
Totaal gescand	**14**	**16**	**30**	**15**	**15**	**30**	**16**	**15**	**31**
Totaal AM gepland	8	7	15	8	7	15	8	7	15
Totaal AM gescand	**5**	**8**	**13**	**8**	**7**	**15**	**11**	**7**	**18**
Totaal GR gepland	7	8	15	7	8	15	7	8	15
Totaal GR gescand	**9**	**8**	**17**	**7**	**8**	**15**	**5**	**8**	**13**
Aantal scholen (slots) gepland	12	12	24	6	6	12	6	6	12
Aantal scholen gescand	**9**	**9**	**18**	**5**	**5**	**10**	**5**	**6**	**11**
Aantal scholen AM gepland	6	6	12	3	3	6	3	3	6
Aantal scholen AM gescand	**4**	**5**	**9**	**2**	**3**	**5**	**3**	**3**	**6**
Aantal scholen GR gepland	6	6	12	3	3	6	3	3	6
Aantal scholen GR gescand	**5**	**4**	**9**	**3**	**2**	**5**	**2**	**3**	**5**

I-I: intensieve bewegingsinterventie; I-C: Cognitieve bewegingsinterventie.

Tabel S11. *Overzicht beoogd aantal en uiteindelijk geïncludeerd aantal kinderen per conditie in Groningen en Amsterdam op de voormeting.*

Nameting									
	C5	C6	C Totaal	I-I5	I-I6	I-I Totaal	I-C5	I-C6	I-C Totaal
Jongens gepland	8	7	15	8	7	15	7	8	15
jongens gescand	**5**	**7**	**12**	**7**	**7**	**14**	**8**	**7**	**15**
Jongens AM gepland	4	3	7	4	3	7	4	4	8
Jongens AM gescand	**2**	**4**	**6**	**6**	**3**	**9**	**4**	**4**	**8**
Jongens GR gepland	4	4	8	4	4	8	3	4	7
Jongens GR gescand	**3**	**3**	**6**	**1**	**4**	**5**	**4**	**3**	**7**
Meisjes gepland	7	8	15	7	8	15	8	7	15
Meisjes gescand	**6**	**9**	**15**	**7**	**8**	**15**	**7**	**6**	**13**
Meisjes AM gepland	4	4	8	4	4	8	4	3	7
Meisjes AM gescand	**2**	**4**	**6**	**2**	**4**	**6**	**6**	**3**	**9**
Meisjes GR gepland	3	4	7	3	4	7	4	4	8
Meisjes GR gescand	**4**	**5**	**9**	**5**	**4**	**9**	**1**	**3**	**4**
Totaal gepland	15	15	30	15	15	30	15	15	30
Totaal gescand	**11**	**16**	**27**	**14**	**15**	**29**	**15**	**13**	**28**
Totaal AM gepland	8	7	15	8	7	15	8	7	15
Totaal AM gescand	**4**	**8**	**12**	**8**	**7**	**15**	**10**	**7**	**17**
Totaal GR gepland	7	8	15	7	8	15	7	8	15
Totaal GR gescand	**7**	**8**	**15**	**6**	**8**	**14**	**5**	**6**	**11**
Aantal scholen (slots) gepland	12	12	24	6	6	12	6	6	12
Aantal scholen gescand	**8**	**9**	**17**	**5**	**5**	**10**	**5**	**6**	**11**
Aantal scholen AM gepland	6	6	12	3	3	6	3	3	6
Aantal scholen AM gescand	**3**	**5**	**8**	**2**	**3**	**5**	**3**	**3**	**6**
Aantal scholen GR gepland	6	6	12	3	3	6	3	3	6
Aantal scholen GR gescand	**5**	**4**	**9**	**3**	**2**	**5**	**2**	**3**	**5**

I-I: intensieve bewegingsinterventie; I-C: Cognitieve bewegingsinterventie.