

Schrijven met de hand of typen?

[Gorka Ibaibarriaga](#)

Geplaatst op 12 mei 2025, Laatst bewerkt op 15 mei 2025

Belangrijkste punten

- Deze studie levert bewijs voor de bijdrage van schrijven met de hand aan het leren van nauwkeurige letter- en woordrepresentaties.
- Beginnende lezers leren letter-klankkoppelingen in een nieuw alfabet nauwkeuriger door te schrijven met de hand dan door te typen op een computer.
- Het voordeel van schrijven met de hand ten opzichte van typen strekt zich uit tot woordherkenning, het schrijven van woorden en het decoderen van woorden.
- De motorische actie bij handschrijven is een belangrijk mechanisme om alfabetische en orthografische kennis in de vroege kinderjaren te bevorderen.

Dit artikel is een vertaling van het [Engelstalige artikel](#) 'The impact of handwriting and typing practice in children's letter and word learning: Implications for literacy development' van dr. Ibaibarriaga, dr. Acha en dr. Perea. Er is ook een [samenvatting en bespreking](#) van dit artikel beschikbaar, inclusief infographics.

Abstract

Recent onderzoek heeft aangetoond dat het vervangen van schrijven met de hand door typen nadelig kan zijn voor de eerste stappen in de leesontwikkeling. Twee hypothesen voor het negatieve effect van typen zijn: (a) verminderde grafomotorische activiteit en (b) het verminderde verschil in visuele lettervormen. Eerdere studies beperkten zich voornamelijk tot het leren van letters en gebruikten vooral visuele identificatie van letters als meetinstrument. Het huidige experiment onderzocht de impact van grafomotorische activiteit en outputvariabiliteit bij het leren van letters en woorden, met behulp van diverse taken. In totaal leerden 50 kinderen zonder leeservaring negen letters en zestien pseudowoorden die uit deze letters waren samengesteld, onder vier leercondities: het met de hand overschrijven van letters/woorden, het overtrekken van letters/woorden, het typen van letters/woorden op een computer met verschillende lettertypes en typen met slechts één lettertype.

De posttests maten benoemen, schrijven en visuele identificatie van de getrainde letters en woorden. De resultaten toonden aan dat kinderen in de handschriftgroepen (d.w.z. getraind via overschrijven of overtrekken) hogere nauwkeurigheid bereikten bij alle posttesttaken vergeleken met de typgroepen. Deze uitkomsten ondersteunen het belang van handschriftervaring bij het verwerven van alfabetische en orthografische representaties en ondersteunen de grafomotorische hypothese. Leraren wordt daarom aangeraden voorzichtig te zijn met het vervangen van pen en papier door digitale apparaten tijdens de periode waarin kinderen leren lezen.

De pen biedt wat het toetsenbord mist: beweging, variatie en diepe verankering van letters en woorden
Inleiding

Lezen is van essentieel belang voor de linguïstische, communicatieve, sociaal-emotionele en cognitieve ontwikkeling van kinderen (Kozak & Recchia, 2019) en vormt een fundament voor toekomstig schoolsucces (Whitten et al., 2019). Bovendien hangt leesvaardigheid samen met een grotere betrokkenheid op school, een hoger zelfbeeld en meer vertrouwen in academische vaardigheden (Torppa et al., 2020; Vasalampi et al., 2023). Daarom zijn het verwerven van leesvaardigheden en het verbeteren daarvan via effectieve onderwijspraktijken belangrijke onderwerpen binnen de onderwijspsychologie (Caravolas et al., 2019; van Bergen et al., 2021).

De recente en massale opkomst van digitale media in het klaslokaal heeft geleid tot een groeiende interesse in de vraag of het vervangen van pen en papier door typen op tablets of computers het proces van leesverwerving kan beïnvloeden. Hoewel sommige studies waarschuwen voor de negatieve effecten van deze digitale doorbraak op zowel algemeen leren (Genlott & Grönlund, 2013) als leesbegrip (Delgado et al., 2018), blijven lezen en schrijven op tablets en computers het handmatig lezen en schrijven op steeds jongere leeftijd verdringen (Arndt, 2016; Malpique et al., 2024). Hoewel een preventieve benadering pleit voor het beperken van het gebruik van deze apparaten in het klaslokaal op jonge leeftijd, is de vraag hoe handmatige versus digitale ervaringen met geschreven woordvormen het proces van leesverwerving bij nog niet-lezende kinderen beïnvloeden, nog niet diepgaand onderzocht.

Er bestaat brede consensus in de literatuur over twee essentiële componenten van het leesverwervingsproces: alfabetische en orthografische kennis (Torppa et al., 2016; Treiman, 2006). Aan de ene kant omvat alfabetische kennis het leren van de vormen van letters en hun koppeling aan de bijbehorende klanken. Deze kennis, die een belangrijke voorspeller is van latere leesnauwkeurigheid, wordt in de vroege kindertijd verworven via spel, het benoemen van letters en het schrijven van letters (Zugarramurdi et al., 2022). Specifiek helpt kennis van lettervormen en -klanken bij het koppelen van letters aan klanken tijdens het decoderen (Wang et al., 2014), verbetert het de herkenning van letters binnen woorden en ondersteunt het de nauwkeurige opbouw van orthografische woordvormen (Tucker et al., 2016).

Aan de andere kant impliceert orthografische kennis het beheersen van de specifieke combinaties van letters die woorden vormen (Conrad & Deacon, 2023; Conrad et al., 2019). Kennis van de orthografische eigenschappen van een woord, zoals specifieke lettercombinaties en letterposities, ontwikkelt zich geleidelijk door blootstelling aan gedrukte tekst in de vroege kindertijd (Gómez et al., 2021; Mano & Kloos, 2018) en is een sterke voorspeller van automatisch en vloeiend lezen op de basisschool (Deacon et al., 2019). Verschillende studies hebben aangetoond dat zowel decodeeroefeningen (bijvoorbeeld het identificeren van letters en deze serieel omzetten in fonemen) als oefeningen voor het schrijven met de hand (bijvoorbeeld het identificeren van de fonemen waaruit een woord bestaat en deze omzetten in hun grafische representaties) (Bosse et al., 2014; Shahar-Yames & Share, 2008) de ontwikkeling van orthografische kennis bevorderen, omdat beide activiteiten de visuele verwerking van reeksen letters en klanken binnen woorden ondersteunen.

Binnen dit algemene kader is handschriftoefening geïdentificeerd als een belangrijke activiteit ter ondersteuning van de verwerving van alfabetische en orthografische kennis in de prereadingfase (de fase voordat een kind gaat lezen, red.), omdat het de nauwkeurige reproductie van lettervormen via perceptueel-motorische activiteit omvat (Ray et al., 2022). De onderliggende redenering is dat de tactiele en motorische ervaringen die gepaard gaan met handschrift een cruciale rol spelen bij het verankeren van alfabetische en orthografische kennis in de leermechanismen van het brein (Longcamp et al., 2008; Longcamp et al., 2005). Als gevolg hiervan kan de verschuiving van het met de hand schrijven naar typen in onderwijssituaties een negatieve invloed hebben op het geletterdheidsleerproces. Dit belemmert mogelijk de ontwikkeling van lees- en schrijfvaardigheden. Eerder onderzoek heeft inderdaad zorgen geuit

dat typen, vergeleken met het schrijven met de hand, essentiële cognitieve processen die nodig zijn voor het consolideren van letterrepresentaties in neurale netwerken kan verstoren (James, 2017; Mangen & Balsvik, 2016; Seyll et al., 2020). In de volgende secties geven we een kort overzicht van de literatuur en de belangrijkste modellen, alvorens het experiment te introduceren.

Alfabetische en orthografische kennis wortelen in wat kinderen doen, niet alleen in wat ze zien.

Met de hand schrijven en typen: Implicaties voor het leren van letters

De meeste studies die de relatie tussen handschrift en leesverwerving bij kinderen onderzoeken, hebben zich gericht op het leren van letters. Een baanbrekende studie van Longcamp et al. (2005) betrof een interventie van drie weken bij kinderen van 3 tot 5 jaar oud, waarbij zij 12 hoofdletters leerden. De helft van de kinderen leerde de letters door ze met de hand over te schrijven, de andere helft leerde ze door ze te typen op een toetsenbord. Bij een posttest waarin kinderen de doelletter moesten selecteren uit vier aangeboden tekens (de doelletter en drie afleiders), presteerden de kinderen die getraind waren via het schrijven met de hand beter in letterherkenning dan de typgroep.

Longcamp et al. (2005) concludeerden dat het schrijven met de hand het vormen van nauwkeurige letterrepresentaties bevordert, omdat schrijven met de hand bewegingen vereist die de lettervormen volledig definiëren. Dit helpt bij het opbouwen van een intern model van de lettervormen. Deze zogenaamde grafomotorische hypothese stelt dat de unieke koppeling tussen de waargenomen letter en de beweging die nodig is om die letter te schrijven, bijdraagt aan grotere nauwkeurigheid in het leren lezen. Het schrijven met de hand is volgens deze hypothese dus effectiever dan typen. Wanneer kinderen typen, moeten ze een cognitieve kaart van het toetsenbord aanleren. In dat geval is er echter geen specifieke relatie tussen de visuele lettervorm en de beweging om deze te produceren. Dit belemmert de opbouw van nauwkeurige mentale representaties van letters (Mangen & Velay, 2010).

Latere studies hebben deze visie ondersteund, met herhaling van de basisbevindingen bij kinderen van dezelfde leeftijd die getraind werden in cijfers (Zemlock et al., 2018) en bij volwassenen die symbolen leerden onder identieke handschrift- en typecondities (Longcamp et al., 2008). Bovendien toonden gegevens uit functionele magnetische resonantiebeeldvorming (fMRI) overlappende neurale activaties aan tijdens de visuele verwerking van symbolen die via het schrijven met de hand waren geleerd en van echte letters van het alfabet (Longcamp et al., 2008). In tegenstelling daarmee bleken symbolen die via typen werden geleerd, mogelijk geen neurale routes te activeren die gedeeld worden met letterverwerking. Dit werd toegeschreven aan het ontbreken van een grafomotorische component tijdens het leerproces. Deze specifieke bijdrage van het schrijven met de hand aan het leren van letters, aanvankelijk gedocumenteerd voor het Romeinse alfabet (het alfabet dat wij in Nederland gebruiken, red.), is ook waargenomen in andere schriftsystemen, waaronder alfabetische schriften zoals het Arabisch (Wiley & Rapp, 2021) en logografische schriften zoals het Chinees (Hsiung et al., 2017). Al met al versterken deze bevindingen de notie dat de activering en herkenning van mentale representaties van letters in zekere mate afhankelijk zijn van ervaring met hoe ze geschreven worden.

Schrijven met de hand laat het brein niet alleen zien wat een letter is – het laat het voelen, vormen en onthouden.

Toch is het verhaal mogelijk complexer, aangezien het overschrijven van letters per definitie gepaard gaat met enige variatie in visuele lettervormen. Dit zou op zijn beurt kunnen bijdragen aan stabielere letterrepresentaties. James en Engelhardt (2012) onderzochten dit aspect door het effect van verschillende soorten schrijfervaring op de hersenactiviteit te meten bij een groep prereaders van 4 en 5 jaar oud. Deze kinderen werden getraind op een set letters door ze met de hand over te schrijven en op een andere set door puntjes over te trekken. In een fMRI-studie analyseerden de auteurs de hersenactivatie tijdens een posttest voor letterherkenning. Ze ontdekten dat de perceptie van letters die via het schrijven met de hand waren getraind, sterkere activering gaf in hersengebieden die betrokken zijn bij letterverwerking (zoals de inferieure frontale gyrus, de posterieure pariëtale cortex en de linker fusiforme gyrus) dan de perceptie van letters die via overtrekken waren geleerd. Deze bevinding ondersteunt niet alleen de centrale rol van het schrijven met de hand in het leren van letters, maar suggereert ook dat de variabiliteit van perceptuele ervaringen door handbewegingen een bijkomend verklaringsmechanisme kan zijn voor de effecten die zijn waargenomen in eerdere studies die handschrift en typen vergeleken.

Om de variabiliteitshypothese direct te testen, trainden Li en James (2016) vijfjarige kinderen op vier Griekse symbolen die voor hen onbekend waren, in zes leercondities. Drie daarvan betroffen visuo-motorisch leren (symbolen met de hand overschrijven, overtrekken in Times New Roman en overtrekken van handgeschreven symbolen) en drie betroffen puur visueel leren (het bekijken van handgeschreven symbolen, symbolen in Times New Roman, en symbolen in vier verschillende lettertypes). In een letterherkenningstest na afloop bleek dat deelnemers die getraind waren in condities met minder visuele variatie (zoals overtrekken of bekijken van Times New Roman-symbolen) meer fouten maakten dan degenen die trainden onder condities met grotere visuele variatie (zoals het overtrekken of bekijken van handgeschreven symbolen of symbolen in verschillende lettertypes). Deze bevindingen ondersteunen de hypothese dat perceptuele variatie een ander mechanisme is waardoor handschrift het leren van letters bevordert. Het helpt mogelijk bij het afleiden van de invariante eigenschappen van letters binnen hun variaties (oftewel: het leidt tot letterrepresentaties die beter bestand zijn tegen variatie; zie Grainger, 2018). Dit kan de hogere nauwkeurigheid in letterherkenning verklaren die werd waargenomen in de handschrijfconditie vergeleken met het produceren van meer uniforme lettervormen via typen of overtrekken.

Hoewel de hierboven besproken studies zonder twijfel waardevol zijn voor het verduidelijken van de beste methoden voor letterverwerving bij prereaders, zijn er twee belangrijke kanttekeningen. Ten eerste gebruikten deze studies uitsluitend visuele letterherkenning als maatstaf voor leren. Maar herkenningstaken geven mogelijk geen volledig beeld van alfabetisch leren -namelijk het koppelen van letters aan klanken- wat essentieel is voor het leren lezen en spellen. Taken zoals letterbenoeming en letter schrijven kunnen nodig zijn om een compleet beeld te krijgen. Ten tweede was de focus beperkt tot alfabetisch leren, waardoor niet kan worden vastgesteld of de gerapporteerde resultaten ook gelden voor het leren van orthografische representaties.

Wie letters steeds op dezelfde manier ziet, leert minder flexibel denken over vorm en betekenis.

Impact van handschriftoefening op het leren van orthografische kennis

Ondanks het belang van orthografische processen bij het lezen, is de relatie tussen handschrift en het aanleren van orthografische woordrepresentaties nauwelijks onderzocht in de literatuur. Hoewel in principe dezelfde redenering als bij alfabetisch leren toegepast zou kunnen worden op orthografisch leren, is het nog onduidelijk of de effecten die bij alfabetisch leren zijn waargenomen ook van toepassing zijn op

orthografisch leren. De weinige bestaande studies met kinderen bieden onvoldoende bewijs om duidelijke conclusies te kunnen trekken.

Zo vonden Ouellette en Tims (2014) dat kinderen in groep 4 vergelijkbare resultaten behaalden in herkenning en spelling van niet-bestaande woorden (nonwoorden), ongeacht of ze deze met de hand hadden overgeschreven of getypt. De mate van leren bleek sterk afhankelijk van de eerdere typevaardigheid van de kinderen. Dit kan komen doordat kinderen op deze leeftijd al enige orthografische kennis hebben ontwikkeld via hun eerdere schrijfervaring (het zogenaamde encoding-retrieval match effect). Zoals hieronder wordt besproken, hebben de enkele studies met prereaders eveneens inconsistente resultaten opgeleverd.

Aan de ene kant rapporteerden Kiefer et al. (2015) hogere scores op woordlezen en -schrijven bij vijfjarige Duitse prereaders die letters van hun alfabet leerden via het schrijven met de hand, vergeleken met kinderen die dezelfde letters leerden door te typen. Aan de andere kant trainden Mayer et al. (2020) Duitse prereaders van 4 tot 6 jaar oud in het leren van letters en woorden onder drie leercondities: handmatig overschrijven, schrijven met een stylus op een tablet en typen op een toetsenbord. De trainingsfase omvatte het koppelen van lettervormen aan klanken en letterreeksen aan woorduitspraken. De posttests maten letterherkenning, het schrijven van getrainde letters op dictaat, het benoemen van woorden, en het schrijven van getrainde woorden op dictaat. Mayer et al. (2020) vonden dat handschrifttraining leidde tot een hogere nauwkeurigheid in letterherkenning, waarmee eerdere bevindingen werden bevestigd (Longcamp et al., 2005). In tegenstelling tot Kiefer et al. (2015) vonden zij echter geen verschillen tussen de schrijf- en typcondities voor de prestaties in woordschrijven en woordbenoeming.

Interessant is dat Wiley en Rapp (2021) deze kwestie onderzochten bij volwassen Engelstaligen die Arabisch leerden. De deelnemers werden verdeeld over drie leercondities: handmatig overschrijven, typen op een toetsenbord en visueel leren (dus het observeren en memoriseren van de nieuwe letters zonder motorische betrokkenheid). De deelnemers kregen gedurende meerdere sessies les in letters en korte woorden bestaande uit Arabische symbolen. Wiley en Rapp ontdekten dat deelnemers in de schrijven met de hand-groep nauwkeuriger waren in letterherkenning en letterbenoeming dan deelnemers die getraind werden via typen of visueel leren. Dit ondersteunt de grafomotorische hypothese. Vervolgens onderzochten ze of deze kennis gegeneraliseerd werd naar de herkenning van woordrepresentaties via een same-different-taak. De resultaten toonden aan dat deelnemers in de schrijven met de hand-groep beter waren in het onderscheiden van verschillende woordparen, ongeacht of het lettertype verschillend van het getrainde lettertype was. Dit ondersteunt de variabiliteitshypothese. Belangrijk is dat dit voordeel ook zichtbaar was in andere, niet-getrainde taken, zoals het schrijven van woorden tijdens een dictee. Wiley en Rapp (2021) gaven echter toe dat hun bevindingen mogelijk niet volledig weerspiegelen hoe het leerproces bij kinderen verloopt: volwassenen hebben al uitgebreide ervaring met alfabetten en beschikken over een hoge mate van orthografische kennis in hun moedertaal. Dit vergemakkelijkt zowel het koppelen van nieuwe letters aan klanken als het memoriseren van orthografische patronen.

De voordelen van handschrift lijken zich uit te strekken tot woorden, maar bewijs bij jonge kinderen is nog schaars en wisselend.

De huidige studie

Deze studie pakte de beperkingen van eerder onderzoek aan. Ze onderzocht in hoeverre grafomotorische actie en variabiliteit bijdragen aan het proces van het leren van nauwkeurige letter- en orthografische representaties bij prereaders, door twee schrijfcondities en twee typcondities met elkaar te vergelijken in een reeks taken.

Het hoofddoel was vast te stellen in hoeverre het verklarende mechanisme voor het voordeel van schrijven met de hand ten opzichte van typen met een toetsenbord bij alfabetisch en orthografisch leren kan worden toegeschreven aan de grafomotorische actie, de variabiliteit die tijdens het schrijven wordt gegenereerd, of een combinatie van beide. Aan de ene kant kan het met de hand reproduceren van nieuwe letters het leren van letters effectiever bevorderen dan het typen van letters (grafomotorische hypothese; Longcamp et al., 2005). Wat betreft orthografisch leren kan de handeling van het schrijven van een reeks letters bijdragen aan het beter onthouden van de specifieke volgorde van letters waaruit een woord bestaat, vergeleken met typen op een toetsenbord.

Aan de andere kant kan het genereren van variabele versies van letters en letterreeksen in condities met hoge variatie (zoals handmatig overschrijven of typen met wisselende lettertypes) het onthouden van letters en orthografische reeksen verbeteren (variabiliteitshypothese; Li & James, 2016) ten opzichte van condities waarin kinderen gestandaardiseerde versies van letters en letterreeksen produceren (zoals bij overtrekken of typen in één enkel lettertype).

In het huidige experiment leerden kinderen uit het laatste jaar van de kleuterschool onbekende letters – afkomstig uit de Georgische en Armeense alfabetten – en letterreeksen aan in vier leercondities waarin grafomotorische actie en variabiliteit werden gemanipuleerd:

- (a) handmatig overschrijven [G +]. Dit leidde tot variabele voorbeelden [V +],
- (b) overtrekken [G +]. Dit resulteerde in ongeveer uniforme voorbeelden [V –],
- (c) typen [G –] met wisselende lettertypes [V +],
- (d) typen [G –] in één enkel lettertype [V –].

Het experiment bestond uit twee fasen: de eerste fase richtte zich op het leren van letters, en de tweede op het leren van nieuwe woorden die met die letters waren opgebouwd. De letters en woorden werden aangeboden met hun bijbehorende uitspraak, ter nabootsing van het proces van leesverwerving. We gebruikten een reeks posttesttaken om alfabetisch en orthografisch leren te meten.

Wat werkt beter voor kleuters: schrijven met de hand of typen – en maakt variatie daarin nog verschil?

Alfabetische leertaken omvatten:

- (a) visuele herkenning van letters (het vermogen om de geleerde lettervorm visueel te herkennen),
- (b) letterbenoeming (het koppelen van de visuele lettervorm aan de bijbehorende klank), en
- (c) letter schrijven (de lettervorm uit het geheugen ophalen op basis van de klank).

Orthografische taken omvatten:

- (a) woordherkenning (het visueel onderscheiden van het getrainde woord van een soortgelijke letterreeks),
- (b) woordbenoeming (het toepassen van regels voor letter-klankkoppeling, essentieel voor decoderen) en
- (c) woord schrijven (het uit het geheugen ophalen van de orthografische vorm bij het horen van het woord en het in volgorde koppelen van elke klank aan de bijbehorende letter).

Goed leren lezen vraagt méér dan alleen herkenning – het draait om actief koppelen, produceren en onderscheiden.

Methode

Beschikbaarheid van gegevens

Alle stimuli, gegevens, analysetools en resultaten zijn beschikbaar op het [Open Science Framework \(OSF\)](#).

Deelnemers

In totaal namen 50 kinderen uit het laatste jaar van de kleuterschool deel aan dit experiment (gemiddelde leeftijd = 5,4 jaar; 22 meisjes), met geïnformeerde toestemming van hun ouders.

De kinderen werden willekeurig toegewezen aan een van vier trainingssubgroepen, die waren opgezet om twee hoofdvergelijkingen te onderzoeken:

- (a) handschrift versus typen en
- (b) hoge versus lage variabiliteit.

De schrijfgroepen bestonden uit de condities *handmatig overschrijven* ($n = 13$) en *overtrekken* ($n = 13$). De typgroepen bestonden uit *typen met wisselende lettertypes* ($n = 12$) en *typen met één enkel lettertype* ($n = 12$).

Conditie met hoge variabiliteit waren *handmatig overschrijven* en typen met *wisselende lettertypes*, terwijl condities met lage variabiliteit *overtrekken* en typen met *één enkel lettertype* betroffen.

Een poweranalyse voor subgroep vergelijkingen (Westland, 2010) gaf aan dat een optimale steekproefomvang van 50 nodig was om een statistische power van .80 te behalen, met een alfa van .05 en een gemiddeld effectgrootte ($d = .50$). Deze steekproefgrootte was voldoende voor de primaire vergelijkingen van belang: schrijven versus typen en hoge versus lage variabiliteit.

De steekproef werd geselecteerd uit een school in een stedelijk gebied in Baskenland, Spanje. De kinderen voldeden aan de volgende inclusiecriteria:

- (a) ingeschreven zijn in het laatste jaar van de kleuterschool,
- (b) geen neuropsychiatrische stoornis of zintuiglijke problemen, en
- (c) geen eerdere geschiedenis van speciaal onderwijs of therapie voor lees- of taalproblemen.

Alle deelnemers waren moedertaalsprekers van het Spaans, een transparante taal waarin de letter-klankkoppelingen eenduidig zijn.

Het onderzoek werd uitgevoerd volgens de richtlijnen van de ethische commissie van de Universiteit van Baskenland, goedkeuringsreferentie: M10_2020_060 en 1894511_Universitat de València.

Vijftig vijfjarigen, nog geen leeservaring – precies de juiste groep om letterleren vanaf de basis te onderzoeken.

Materialen en opzet

1. Controlemaatregelen

Kennis van Spaanse letters

De deelnemers kregen 20 letters van het Spaanse alfabet in willekeurige volgorde te zien en werden gevraagd om het bijbehorende geluid van elke letter uit te spreken. De letters werden gepresenteerd in hoofdletters en in een schreefloos lettertype om consistentie over de proeven heen te waarborgen. Het ruwe aantal correcte antwoorden werd gebruikt als maat voor letterkennis. Deelnemers moesten

minimaal 70% van de letters correct benoemen om aan het onderzoek deel te mogen nemen. Dit criterium werd gehanteerd om te verzekeren dat de kinderen in staat waren klanken aan letters te koppelen – een fundamentele vaardigheid voor het aanleren van nieuwe symboolcategorieën (zie Li & James, 2016).

Verbale werkgeheugen

Deze vaardigheid werd beoordeeld met de *backward digit span*-taak van de *Wechsler Intelligence Scale for Children – Fourth Edition* (Wechsler, 2003). Er werden zeven reeksen van elk twee pogingen gepresenteerd. Elke volgende reeks bevatte één cijfer meer, beginnend met een reeks van twee cijfers. De onderzoeker sprak de cijfers verbaal uit; de tijd tussen elk cijfer was 1 seconde, en de tijd tussen de pogingen was 10 seconden. Het kind werd gevraagd om elke reeks hardop achterstevoren te herhalen. De verbale reacties van de kinderen werden opgenomen om latere transcriptie en analyse mogelijk te maken. Het hoogste aantal correct onthouden cijfers werd gebruikt als indicatie van de verbale geheugencapaciteit.

Fijne motoriek

Twee taken uit de *Movement Assessment Battery for Children-2* (Henderson et al., 2007) werden gebruikt om deze vaardigheid te meten. De deelnemers voerden specifiek de taken *Kralen Rijgen* en *Lijn Volgen* uit, beide behorend tot de dimensie *Handvaardigheid*.

Bij de taak *Kralen Rijgen* kreeg elk kind 1 minuut de tijd om zoveel mogelijk kralen aan een draad te rijgen. De onderzoeker startte de test en gaf een seintje bij het bereiken van de tijdslimiet.

De taak *Lijn Volgen* bestond uit het met een potlood volgen van een kronkelig pad zonder buiten de randen te tekenen. De deelnemers kregen de instructie om het potlood tijdens het volgen niet van het papier te tillen. Het aantal pennenstreken dat nodig was om het parcours te voltooien zonder eruit te gaan, werd gebruikt als maat voor de kwaliteit van het overtrekken. De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid was 82,3% (Cohen's $\kappa = .726$).

Een sterke basis in geheugen, motoriek en letterkennis – zo wisten de onderzoekers zeker dat elk kind klaar was voor het experiment.

2. Stimuli

Letters

De stimuli bestonden uit negen onbekende letters afkomstig uit het Armeense en Georgische alfabet, die nieuw waren voor Spaanssprekende kinderen. Drie ervan werden getraind als klinkers (die gekoppeld werden aan de klanken /a/, /o/ en /e/), en zes als medeklinkers (gekoppeld aan de klanken /l/, /f/, /n/, /t/, /s/ en /p/). In alle gevallen hadden de nieuwe letters een regelmatige en eenduidige associatie met een klank in het Spaans (bijvoorbeeld: /k/ kan in het Spaans worden weergegeven met zowel “k” als “c”).

Alle testmaterialen waren hetzelfde in de vier leercondities:

- handmatig overschrijven van een model in Tahoma-lettertype (grafomotorische activiteit +, variabiliteit +)
- handmatig overtrekken op een Tahoma-model (grafomotorische activiteit +, variabiliteit –),
- typen op een toetsenbord met twee lettertypes (Tahoma en handschriftstijl) (grafomotorische activiteit –, variabiliteit +),
- typen op een toetsenbord met alleen Tahoma (grafomotorische activiteit –, variabiliteit –).

De computerschriften voor de symbolen werden geconstrueerd met het programma *Caligraphy*, waarmee een toets aan een nieuw geïmporteerd lettertype kan worden toegewezen, waardoor er een toetsenbord ontstond voor de nieuwe orthografie.

Woorden

Met de aangeboden letters werden 16 tweelettergrepige woorden met een medeklinker-klinker (MK/CV) structuur geconstrueerd, wat het meest voorkomt in het Spaans.

Voorbeelden van CV-structuren: *tofe, lesa, nopa, tafo, nesa, lape, lose, nepo, tofa, laso, tefa, nape, lesa, nafo, tepo* en *lofe*).

De woorden werden geconstrueerd met een bepaalde positionele regelmaat: de medeklinkers stonden altijd op de eerste positie, terwijl de klinkers altijd op de derde positie voorkwamen.

De kinderen leerden nieuwe tekens uit het Georgisch en Armeens – ver genoeg van hun eigen alfabet om echte leereffecten te meten.

Procedure

De training en toetsing vonden individueel plaats in een klaslokaal binnen hetzelfde onderwijscentrum. Elke deelnemer volgde drie sessies van 45 minuten op drie opeenvolgende dagen.

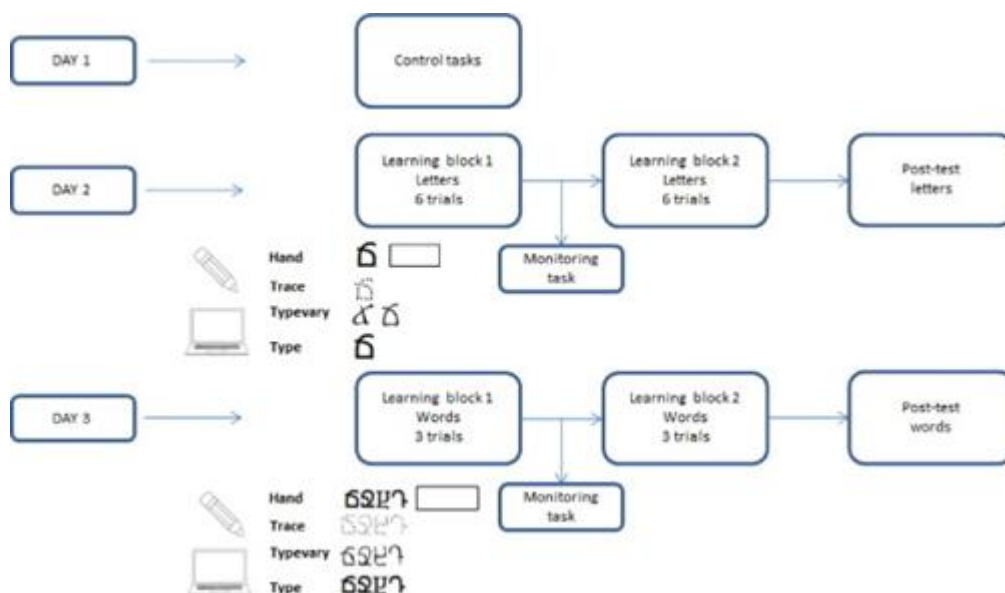
- Tijdens de eerste sessie werden de prereading-vaardigheden getest (de controlematen).
- De tweede sessie was gewijd aan het aanleren van nieuwe letters, gevolgd door de bijbehorende posttests: letter benoemen, letter schrijven en letterherkenning.
- De derde sessie was gewijd aan het leren van nieuwe woorden, gevolgd door posttests op het gebied van woordlezen, woordschrijven en orthografische keuze.

Elke trainingssessie bestond uit twee leerblokken voorafgaand aan de posttests (zie Figuur 1).

- Elk letter-leerblok bestond uit 6 trials (letterpresentatie + reproductie), in totaal dus 12 trials.
- Elk woord-leerblok bestond uit 3 trials (woordpresentatie + reproductie), in totaal dus 6 trials.

De reden om de sessie in twee blokken te verdelen was tweevoudig: om het kind een pauze te geven, en om de voortgang te volgen door het kind te vragen de getrainde items te benoemen zoals gepresenteerd in elke conditie (letter op papier of letter op computerscherm).

De sessies waren strak opgebouwd: leren, oefenen en toetsen – een raamwerk dat inzicht geeft in het effect van iedere leermethode.



Figuur 1. Trainings- en testprotocol in de tweede sessie (letters) en de derde sessie (woorden). De trainingstaken waren opgebouwd om kennis van individuele nieuwe letters en woorden in verschillende condities op te bouwen. De posttesttaken toetsten de kennis van de getrainde letters en woorden (benoemen, schrijven en identificeren). Voor het originele Figuur, zie [het originele artikel](#). Omdat het nieuwe alfabet volledig transparant was en er geen onregelmatigheden of inconsistenties waren, sprak de onderzoeker tijdens de visuele presentatie een klank uit die overeenkwam met elke nieuwe letter (Torppa et al., 2016). Dit was essentieel om generalisatie naar woordlezen en -schrijven te vergemakkelijken. Dit vereist kennis van grafeem–foneemkoppelingen in plaats van letternamen. Tijdens elke sessie werd aan de kinderen gevraagd om de vormen en klanken van de aangeboden letters of woorden te leren en werd hen verteld dat ze daarna op deze kennis getest zouden worden. De deelnemers werden willekeurig toegewezen aan een van de vier leervoorwaarden: overschrijven met de hand, overtrekken, typen met één lettertype of typen met wisselende lettertypes. De taakinstructies voor elke leervoorwaarde zijn hieronder samengevat. Om de vergelijkbaarheid tussen de condities te waarborgen, werd de gelijkenis tussen de verschillende leermethoden gemaximaliseerd door ervoor te zorgen dat alle methoden dezelfde blootstelling aan de stimuli boden gedurende een vergelijkbare tijdsduur.

Training met nieuwe letters

In de trainingsfase voor nieuwe letters werd elke deelnemer gevraagd om de vorm van de nieuwe letter te observeren, naar het bijbehorende geluid te luisteren, het geluid te herhalen en de letter opnieuw te produceren. De referentiemodellen van de nieuwe letters werden één voor één gepresenteerd, hetzij op papier, hetzij op een computerscherm. Voor elke letter werd eerst de visuele presentatie getoond, gevolgd door het uitspreken van de bijbehorende klank door de onderzoeker. Elke lettertraining bestond uit 12 herhalingen (letterpresentatie + reproductie) per letter, binnen de leervoorwaarde waaraan de deelnemer was toegewezen. De lettertraining was verdeeld in twee blokken van elk 6 herhalingen. Om gelijkwaardigheid tussen de condities te garanderen, produceerden alle deelnemers hetzelfde aantal kopieën van elke letter en spraken ze de bijbehorende klank slechts één keer per presentatie uit. Aangezien de kinderen negen letters moesten leren en elke letter 12 keer werd aangeboden, bedroeg het totale aantal herhalingen/kopieën in de lettersessie 108. Elk trainingsblok was zo ontworpen dat het in

ongeveer 10 minuten kon worden voltooid. Beide blokken werden gescheiden door een test waarbij het benoemen van de nieuw geleerde letters werd getoetst om de voortgang van het kind per leervoorwaarde te volgen.

Overschrijven met de hand

Kinderen kregen een boekje met blanco vellen papier, elk met bovenaan het referentiemodel van een nieuwe letter in het lettertype Tahoma. Elke te leren letter werd afzonderlijk getoond. De onderzoeker presenteerde de letters in willekeurige volgorde en sprak ze één voor één uit. Het kind werd vervolgens gevraagd om het geluid eenmaal te herhalen en de letter na te tekenen in een daarvoor bestemd vakje onderaan het blad.

Overtrekken

De procedure was hetzelfde als bij de hand-overschrijfconditie. In plaats van de nieuwe letters op blanco papier te reproduceren, moesten de deelnemers het geluid eenmaal herhalen en vervolgens elke nieuwe letter overtrekken op modellen die bestonden uit kleine stipjes. In deze conditie bleef het model voor elke letter gedurende alle 12 herhalingen hetzelfde. Deze consistentie minimaliseerde variatie, terwijl het grafomotorische aspect behouden bleef.

Typen met één lettertype

De deelnemers observeerden elke nieuwe letter afzonderlijk op een computerscherm in het lettertype Tahoma, terwijl de onderzoeker de bijbehorende klank uitsprak. Het kind werd gevraagd het geluid te herhalen en vervolgens de overeenkomstige toets op een speciaal ontworpen toetsenbord in te drukken. Deze toets kwam overeen met de vorm die op het scherm werd getoond. Zodra de toets werd ingedrukt, verdween de weergegeven vorm. Na 10 seconden werd het scherm ververs met een nieuwe letter.

Typen met wisselende lettertypes

De procedure was dezelfde als bij de vorige conditie, met het verschil dat de lettervorm op het computerscherm de helft van de tijd in Tahoma-lettertype verscheen (zoals in het referentiemodel), en de andere helft van de tijd in een gedigitaliseerd lettertype dat handgeschreven letters simuleerde.

Alle kinderen leerden dezelfde letters, maar de weg ernaartoe verschilde fundamenteel in motoriek en visuele variatie.

Training met nieuwe woorden

De training met nieuwe woorden vond plaats na het afronden van de lettertraining en de bijbehorende posttests. Tijdens deze training moest elke deelnemer 16 pseudowoorden bekijken (samengesteld uit de eerder getrainde letters), naar de uitspraak luisteren en ze vervolgens transcriberen volgens de toegewezen leervoorwaarde, waarbij dezelfde procedure werd gevolgd als in de lettertrainingssessie. De training bestond uit 6 herhalingen, verdeeld over twee blokken, waarbij het kind elk pseudowoord zes keer zag en opschreef. Dit resulteerde in een totaal van 96 transcripties. De twee blokken werden gescheiden door een controletaak waarin kinderen de getrainde pseudowoorden moesten benoemen. Deze taak diende als een indicator van de leerprogressie van elk kind in elke conditie, vóór de voortzetting van de training. Elk blok was ontworpen om in ongeveer 20 minuten voltooid te worden.

Taak voor het benoemen van nieuwe letters

Dezelfde negen symbolen die in de lettertrainingsfase werden gebruikt, werden in willekeurige volgorde aangeboden in de benoemingstaak. De deelnemer bekeek elk symbool afzonderlijk op een papieren kaart en werd gevraagd de bijbehorende klank te produceren. Voor elke correct benoemde letter werd 1 punt toegekend aan de totaalscore. De maximale score op deze test was dus 9 punten (alle letters correct benoemd), en de minimale score was 0 punten (geen enkele letter correct benoemd). Deze meting werd tweemaal tijdens het onderzoek afgenomen: eenmaal tussen de twee lettertrainingsblokken (controletest in de tweede sessie) en een tweede keer aan het einde van de tweede sessie na voltooiing van de training. De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid was 99,6% (Cohen's $k = .982$). De posttesttaak onderzocht de mate van kortetermijnconsolidatie van de letters na de volledige leersessie.

Taak voor het schrijven van letters

Kinderen hoorden het geluid van elk van de negen letters in willekeurige volgorde en moesten vervolgens met een potlood de bijbehorende letter tekenen op een blanco indexkaart van 6×4 cm. Deze taak werd aan het einde van de tweede sessie uitgevoerd, na afronding van de twee trainingsblokken. Een correct antwoord kreeg 1 punt als de getekende letter overeenkwam met de oorspronkelijke vorm (1 = lettervorm volledig correct en herkenbaar, 0 = essentiële elementen ontbreken of grote fout). De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid was 93,5% (Cohen's $k = .893$). De afhankelijke variabele bestond uit het totaal aantal correct geschreven letters (maximumscore per deelnemer = 9, minimumscore = 0).

Taak voor letteridentificatie

De vier-keuze-identificatietaak (4AFC) evalueerde de letterherkenning (Li & James, 2016). In deze visuele herkenningstest moesten deelnemers de geleerde letter aanwijzen uit vier keuzemogelijkheden. We gebruikten hetzelfde ontwerp als Li en James (2016), waarbij een doelletter werd gepresenteerd met drie afleiders: een gedraaide versie van de geleerde letter, een niet-getraind symbool (λ), en een geometrische vorm. Deze taak testte zowel het vermogen om de nieuw geleerde letters te categoriseren als het vermogen om ze te onderscheiden van visueel vergelijkbare symbolen — of dezelfde symbolen met een andere oriëntatie.

Elke trial toonde een willekeurige nieuwe letter met drie afleiders in een vierkant opgesteld, en het kind moest aanwijzen welke het als een van de nieuw geleerde letters herkende. De test bestond uit 72 trials, verdeeld over twee blokken met een rustpauze van 15 seconden ertussen. De positie van de doelletter in het vierkant varieerde systematisch per trial, zodat elke doelletter in totaal acht keer verscheen: tweemaal op elke positie (linksboven, rechtsboven, linksonder, rechtsonder).

In de helft van de trials werden de doelletters en afleiders getoond in Tahoma-lettertype, in de andere helft in een lettertype dat handgeschreven letters en symbolen simuleerde. De test werd uitgevoerd op een computer met behulp van DMDX (Forster & Forster, 2003) om een uniforme presentatie van de stimuli te garanderen. Het kind had 5 seconden per trial om een van de vier opties aan te wijzen. Bij het uitblijven van een antwoord binnen dit tijdsinterval ging de test automatisch door naar de volgende trial. Het aantal correcte antwoorden werd gebruikt als maat voor categorisatie. Een antwoord werd als correct beschouwd als de deelnemer de doelletter correct aanwees (maximumscore per deelnemer = 72, minimumscore = 0).

De test keek niet alleen naar herkenning, maar ook naar reproductie: kan een kind de juiste letter schrijven bij wat het hoort?

Posttesttaken na woordtraining

Taak voor het lezen van nieuwe woorden

Dezelfde 16 pseudowoorden die in de woordtrainingsfase werden gebruikt, werden in willekeurige volgorde gepresenteerd op papier in de leestest. De deelnemers werden gevraagd de woorden uit te spreken. Eén antwoord werd alleen als correct beschouwd als de deelnemer de volledige reeks symbolen correct decodeerde. Eén fout in één enkele klank werd geteld als een fout in het decoderen van het hele woord (maximumscore per deelnemer = 16, minimumscore = 0). De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid was 92,2% (Cohen's $k = .896$). Deze meting werd tweemaal afgenomen: eenmaal tussen de leerblokken in het midden van de derde sessie als een controletest, en eenmaal aan het einde van de derde sessie als een posttest.

Taak voor het schrijven van nieuwe woorden

Om de taak te verkorten werden 4 van de 16 tijdens de training geleerde pseudowoorden geselecteerd, waarbij erop werd gelet dat ze alle geleerde letters en klanken bevatten. De deelnemers moesten deze woorden zo nauwkeurig mogelijk produceren op blanco indexkaarten van 16×4 cm. Alle deelnemers, ongeacht hun trainingsconditie, moesten deze taak uitvoeren via handschrift. Deze taak werd eenmaal uitgevoerd na voltooiing van de woordtrainingsblokken. Voor de beoordeling werd een conservatieve nauwkeurigheidsmaat gebruikt (volledig correct geschreven pseudowoord = 1, pseudowoord met één of meer fouten = 0). De maximumscore per deelnemer was dus 4 punten (alle woorden correct geschreven), en de minimumscore was 0. Een externe beoordelaar, die niet op de hoogte was van het onderzoek, beoordeelde de schrijfsresultaten aan de hand van de beschreven criteria. De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid voor de nauwkeurigheid was 91,6% (Cohen's $k = .867$).

Orthografische identificietaak

Deze taak was ontworpen om te evalueren of de nauwkeurigheid van woordherkenning verschilde afhankelijk van de leervoorwaarde. Bij elke trial kreeg het kind twee items te zien: één rechts en één links van het midden van het scherm. Het kind moest zo snel mogelijk aangeven welk item het bekende, getrainde woord was. De keuze werd gemaakt door op een van de twee toetsen te drukken die waren toegewezen aan de woorden links en rechts. De taak bestond uit 32 trials, verdeeld over twee blokken. Het kind had 11 seconden per trial om te reageren voordat de volgende werd gestart. De 16 getrainde woorden werden elk tweemaal aangeboden: één keer met een afleider die van het doelwoord verschilde door de vervanging van een medeklinker en één keer met een afleider waarin medeklinkers waren verwisseld van plaats. Deze manipulatie was bedoeld om de mate van nauwkeurigheid te meten in het coderen van zowel letteridentiteit als -positie (Chetail, 2017). De trials werden willekeurig verdeeld over de twee blokken (16 items per blok), en de locatie van de afleider (links of rechts) werd gebalanceerd gepresenteerd. Daarnaast werd in de helft van de trials gebruikgemaakt van Tahoma-lettertype, en in de andere helft van een lettertype dat handschrift simuleerde.

De nauwkeurigheid in deze taak werd gemeten als het percentage correct geïdentificeerde getrainde pseudowoorden. De test werd uitgevoerd op een computer met behulp van DMDX (Forster & Forster, 2003) om een uniforme presentatie van de stimuli te garanderen. De nauwkeurigheidsscores gaven het

vermogen weer om het bekende item te onderscheiden van de afleider - oftewel het vermogen om de juiste spelling van woorden te herkennen en te onthouden.

Woordherkenning ging verder dan herkennen: het draaide om nauwkeurige spelling én lettervolgorde.

Data-analyse

De nauwkeurigheidsgegevens voor het benoemen, schrijven en identificeren van letters en woorden in elke pos-testtaak werden gebruikt als afhankelijke variabelen. Voor alle analyses waren de vaste factoren: grafomotorische actie (handschrift vs. typen; gecodeerd als -0.5 en 0.5 respectievelijk) en outputvariabiliteit (hoog vs. laag; eveneens gecodeerd als -0.5 en 0.5), waarbij contrastcodering werd gebruikt om de factoren te centreren.

Inferentiële analyses werden uitgevoerd met behulp van Bayesiaanse lineaire mixed-effects modellen geïmplementeerd met het “brms”-pakket in R (Bürkner, 2017; R Core Team, 2023). Nauwkeurigheid werd gemodelleerd met de Bernoulli-functie (per trial: 1 = correct, 0 = incorrect). We gebruikten de standaard niet-informatieve priors van brms (zie Scholz & Bürkner, 2023). Voor alle modellen werd de maximale structuur van random-effecten toegepast die door het design werd toegestaan (zie Barr et al., 2013, voor argumenten ter ondersteuning van deze keuze).

De randomfactoren omvatten intercepts voor deelnemers en items, evenals slopes voor de interactie tussen grafomotorische actie en outputvariabiliteit voor items. Aangezien deelnemers werden toegewezen aan verschillende niveaus van grafomotorische actie en outputvariabiliteit, werden random slopes voor deze factoren per deelnemer niet opgenomen. De syntax voor elk model was als volgt: accuracy: Grafomotorische Actie * outputvariabiliteit + (1 | participant) + (1 + Grafomotorische Actie * outputvariabiliteit | item).

Voor het fitten van elk model gebruikten we vier ketens, elk met 5000 iteraties (waarvan 1000 iteraties voor warming-up). De output omvatte de schatting, schattingsfout en het 95%-betrouwbaarheidsinterval (CrI) voor elk vast effect. Schattingen met een 95%-CrI dat nul niet overschreed, werden geïnterpreteerd als bewijs voor een effect (zie Dänbøck et al., 2023, voor een vergelijkbare procedure). We kozen ervoor om 95%-CrI's te gebruiken in plaats van Bayesfactoren omdat CrI's een duidelijkere weergave geven van parameteronzekerheid, met name bij kleine steekproeven, en minder gevoelig zijn voor de specificatie van priors. Het is belangrijk op te merken dat *brms* (Bürkner, 2017) de berekening van Bayesfactoren met standaard priors niet ondersteunt.

Niet alleen wát kinderen leerden werd onderzocht, maar ook hóe overtuigend de effecten waren – tot op het niveau van individuele letters en woorden.

Resultaten

De beschrijvende gegevens van de controletaken in de steekproef worden gepresenteerd in Tabel 1. Er werden geen significante verschillen tussen groepen gevonden in een van de controlematen. Deze stap was noodzakelijk om te verzekeren dat geen andere factoren de waargenomen verschillen tussen groepen konden verklaren. Dit bevestigt dat eventuele variaties in posttestnauwkeurigheid voor alfabetische en orthografische taken kunnen worden toegeschreven aan de trainingsconditie.

Tabel 1. Beschrijvende variabelen van de steekproef in controletaken: ruwe metingen.

Experimentele groep	n	Gemiddelde leeftijd (jaren)	Letterkennis M (SD)	Verbale werkgeheugen M (SD)	Fijne motoriek Trace M (SD)	Fijne motoriek Ballen M (SD)
Handmatig overschrijven	13	5,5	16 (3,02)	3,40 (1,12)	2,31 (1,11)	8,15 (1,77)
Overtrekken	13	5,3	15 (4,87)	2,80 (1,09)	2,23 (0,83)	9,46 (2,57)
Typen met variabele lettertypes	11	5,6	14 (4,73)	3,30 (1,50)	2,27 (1,19)	8,09 (1,58)
Typen met één lettertype	12	5,4	14 (4,02)	2,80 (1,36)	3,17 (1,70)	7,91 (2,39)
			$F(3, 48) = 2.73, p = .08$	$F(3, 48) = 1.14, p = .23$	$F(3, 48) = 1.59, p = .20$	$F(3, 48) = 1.90, p = .14$

De beschrijvende gegevens voor de monitoring- en posttesttaken in de steekproef worden weergegeven in Tabel 2. In de volgende sectie geven we een samenvatting van de resultaten van elke posttesttaak ter beoordeling van letter- en woordkennis.

Tabel 2. Beschrijvende variabelen (percentage nauwkeurigheid) van de steekproef tijdens de training (tussentijdse monitoring) en posttesttaken.

Experimentele groep	Lettermonitoring	Letterbenoeming	Letter schrijven	Letter identificatie	Woordmonitoring	Woord lezen	Woord schrijven	Woord identificatie
Handmatig overschrijven	64,9 (0,5)	99,1 (0,1)	73,5 (0,4)	94,1 (0,2)	81,7 (0,5)	81,7 (0,3)	86,5 (0,3)	62,5 (0,4)
Overtrekken (tracing)	50,4 (0,4)	85,4 (0,3)	55,5 (0,5)	91,8 (0,2)	62,1 (0,6)	62,1 (0,9)	51,9 (0,5)	60,5 (0,4)
Typen met wisselende fonts	26,2 (0,5)	76,7 (0,4)	30,3 (0,4)	92,4 (0,3)	39,7 (0,4)	39,7 (0,4)	11,3 (0,3)	45,0 (0,4)
Typen met één font	25,0 (0,3)	74,1 (0,4)	25,0 (0,4)	89,0 (0,2)	35,9 (0,5)	35,9 (0,4)	4,1 (0,2)	51,0 (0,5)

Voor alle Bayesiaanse lineaire mixed-effects modellen convergeerden de vier ketens succesvol ($R_s = 1.00$ in alle gevallen; dit is een index voor ketenconvergentie van het model, waarbij 1 perfecte menging aanduidt). Ter volledigheid zijn parallelle analyses uitgevoerd met frequentistische gegeneraliseerde lineaire mixed-effects modellen - met intercepten voor deelnemers en items - met behulp van het “lme4”-pakket (Bates et al., 2015). Deze analyses toonden in grote lijnen hetzelfde patroon van bevindingen als hier gerapporteerd. Deze analyses zijn te vinden via de OSF-

link: https://osf.io/m2jh8/?view_only=954f06d3352a48d5ab41514e75aecac2.

De enige uitzondering was dat de frequentistische analyses een effect van variabiliteit in de letternaamgevingstaak detecteerden ($z = -2.427$, $p = .015$), terwijl het 95%-credibiliteitsinterval in de Bayesiaanse analyses nul overlapte (95% CrI $[-3.96, -0.36]$).

Posttesttaken met betrekking tot alfabetische kennis

Als maat voor de voorspellende nauwkeurigheid van de modellen gebruikten we het leave-one-out information criterion (LOO-IC), waarbij lagere waarden een betere modelpassing aangeven.

- De LOO-IC voor het letternaamgevingsmodel was 316.2, met 98,6% van de observaties die stabiele voorspellingen toonden.
- Voor het lettercategorisatiemodel was dit 1564.8, waarbij alle observaties uitstekende stabiliteit vertoonden.
- Voor het letter schrijfgemodel was het 470.6, met 99,8% van de observaties die betrouwbare voorspellingen gaven.

De Bayesiaanse R^2 bedroeg:

- voor het letternaamgevingsmodel : .29 (95% CrI $[-.20, .37]$),
- voor het lettercategorisatiemodel : .10 (95% CrI $[-.07, .13]$),
- voor het letter schrijfgemodel : .39 (95% CrI $[-.33, .44]$).

Letters benoemen

Letters getraind met handschrift werden nauwkeuriger benoemd dan letters getraind via typen (92,3% vs. 75,5% nauwkeurigheid), $b = -3.02$, schattingsfout = 0.93, 95% CrI $[-5.09, -1.41]$.

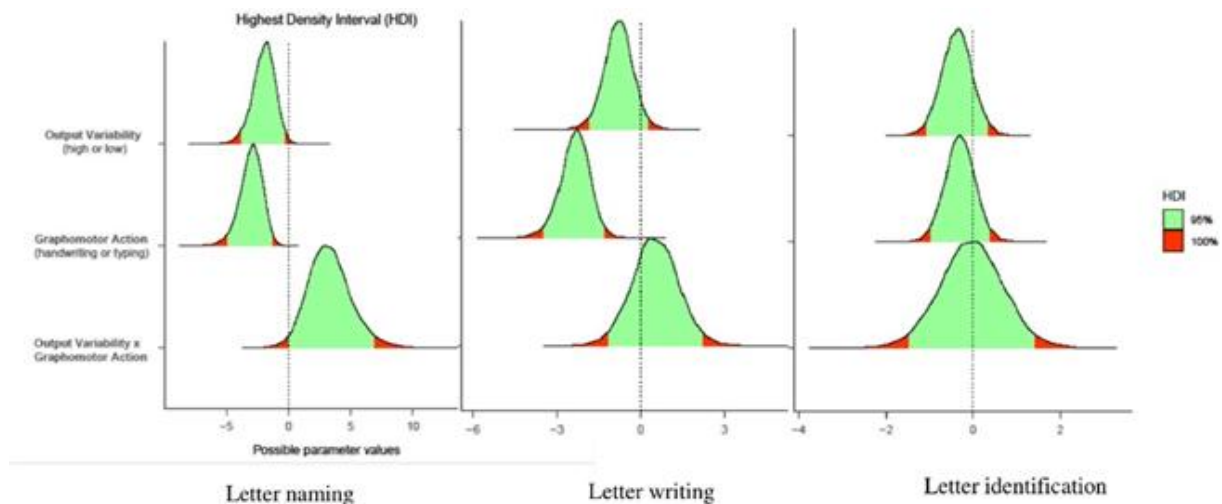
Daarnaast werden letters uit de hoog-variabele groepen nauwkeuriger benoemd dan die uit de laag-variabele groepen (88% vs. 79,8%), maar het 95% CrI omvatte nul, $b = -1.99$, schattingsfout = 0.92, 95% CrI $[-3.96, -0.36]$.

Belangrijker nog: er werd bewijs gevonden voor een interactie tussen grafomotorische actie en variabiliteit, $b = 3.33$, schattingsfout = 1.76, 95% CrI $[0.21, 7.21]$.

Eenvoudige effecttesten op deze interactie, uitgevoerd met het “emmeans”-pakket (Lenth et al., 2020), toonden aan dat voor de handschriftgroepen de nauwkeurigheid hoger was in de hand-overschrijfconditie dan in de traceerconditie (99,1% vs. 85,5%), $b = 3.51$, 95% CrI $[0.87, 6.99]$.

Daarentegen werd geen effect van variabiliteit gevonden bij de typgroepen (76,8% vs. 74,1% nauwkeurigheid in de groep die typde met wisselende fonts vs. één enkel font), $b = 0.32$, 95% CrI $[-1.28, 2.02]$ (zie het linker paneel van Figuur 2 voor de schattingen van de parameters in de posteriorverdelingen).

Bij typen maakte het weinig uit of letters wisselden van font – bij schrijven juist wél: variatie versterkte het leren.



Figuur 2. Posterior Highest Density Intervals (HDI's) van de parameters in de Bayesiaanse lineaire mixed-effects analyses voor de posttesttaken met betrekking tot alfabetische kennis. Het linker paneel komt overeen met de *letternaamgevingstaak*, het middelste paneel met de *letterschrijfo opdracht*, en het rechter paneel met de *letteridentificatietask*. Het gebied dat wordt weergegeven door de 95%-credibiliteitsintervallen is in het groen aangegeven. Een effect werd geïnterpreteerd als aanwezig wanneer het geloofwaardigheidsinterval van de parameter de nul niet omvatte. (Voor interpretatie van de kleurverwijzingen, zie het originele artikel). Voor het originele Figuur, zie [het originele artikel](#).

Letters schrijven

Er werd een algemeen effect gevonden van grafomotorische actie: letters die werden getraind in de handschriftgroepen werden nauwkeuriger geschreven dan die in de typgroepen (respectievelijk 64,5% vs. 27,7% nauwkeurigheid), $b = -2.36$, schattingsfout = 0.55, 95% CrI [-3.53, -1.34].

Daarnaast vonden we geen duidelijk bewijs dat variabiliteit een rol speelde in de letterschrijftaak, $b = -0.79$, $SE = 0.54$, 95% CrI [-1.88, 0.25] en ook geen bewijs voor een interactie tussen de twee factoren, $b = 0.52$, $SE = 0.86$, 95% CrI [-1.18, 2.21]. Zie het middelste paneel van Figuur 2 voor de schattingen van de posteriorverdelingen.

Letterherkenning

Alle condities presteerden vergelijkbaar, dicht bij het plafondniveau (90%–93% nauwkeurigheid) en we vonden geen enkel bewijs voor effecten (d.w.z. deelnemers konden de geleerde letters identificeren ongeacht de trainingsconditie), alle b 's < 0.38. Zie het rechter paneel van Figuur 2 voor de schattingen van de parameters in de posteriorverdelingen.

Posttesttaken met betrekking tot orthografische kennis

De LOO-IC (leave-one-out informatie criterium) voor het woordnaamgevingsmodel was 647.5, met 99,6% van de observaties die stabiele voorspellingen gaven. Voor het woordidentificatiemodel vertoonden alle observaties uitstekende stabiliteit. Voor het woordschrijfmodel was de LOO-IC 78.3, met 77,5% van de observaties met stabiele voorspellingen

(opmerking: dit kwam waarschijnlijk doordat de nauwkeurigheid in de woordschrijfo opdracht erg laag was bij de typgroepen).

De Bayesiaanse R^2 -waarden waren:

- .53 (95% CrI [.50, .57]) voor woordnaamgeving,

- .07 (95% CrI [.04, .09]) voor woordidentificatie,
- .86 (95% CrI [.80, .92]) voor woord schrijven.

Of kinderen letters herkenden, hing niet af van de leerwijze – maar of ze ze konden schrijven wél.

Woordbenoeming

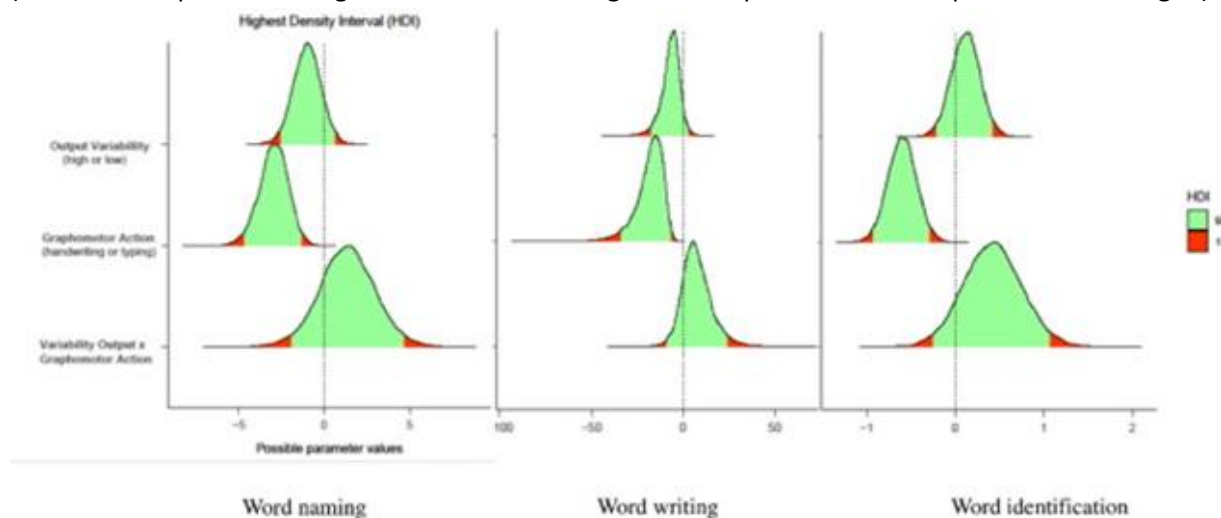
Woorden die werden getraind in de schrijven met de hand-groep werden nauwkeuriger benoemd dan woorden die werden getraind in de typgroepen

(71,9% vs. 37,9% nauwkeurigheid), $b = -2.96$, schattingsfout = 0.86, 95% CrI $[-4.78, -1.37]$.

Het numerieke patroon liet zien dat de nauwkeurigheid in het benoemen van woorden hoger was in de groepen met hoge variabiliteit dan in de groepen met lage variabiliteit (60,8% vs. 49%), maar de schatting overschreed nul, $b = -0.99$, schattingsfout = 0.82, 95% CrI $[-2.63, 0.61]$.

Er werden geen duidelijke aanwijzingen gevonden voor een interactie tussen grafomotorische actie en variabiliteit, $b = 1.36$, SE = 1.65, 95% CrI $[-1.85, 4.64]$

(zie het linker paneel van Figuur 3 voor de schattingen van de parameters in de posteriorverdelingen).



Figuur 3. Posterior Highest Density Intervals (HDI's) van de parameters in de Bayesiaanse lineaire mixed-effects analyses voor de toetstaken na afloop die verband houden met orthografische kennis. Voor het originele Figuur, zie [het originele artikel](#).

Het linker paneel komt overeen met de woordbenoemtaak, het middelste paneel met de woordschrijfo opdracht, en het rechter paneel met de woordherkenningstaak. Het gebied dat wordt weergegeven door het 95% betrouwbaarheidsinterval is in het groen weergegeven. Een effect werd geïnterpreteerd als aanwezig wanneer het betrouwbaarheidsinterval van de parameter de nul niet omvatte. (Voor interpretatie van de kleurverwijzingen, zie het originele artikel).

Woord schrijven

Gemiddeld werden woorden die getraind waren in de schrijven met de hand-groep met aanzienlijk meer nauwkeurigheid geschreven dan woorden die getraind waren in de typgroepen (respectievelijk 69,2% versus 7,8% nauwkeurigheid), $b = -18,33$, schattingsfout = 7,55, 95% CrI $[-37,14, -8,03]$. Daarnaast liet het numerieke patroon zien dat woorden die getraind waren in de groepen met hoge variabiliteit nauwkeuriger werden geschreven dan die in de groepen met lage variabiliteit (respectievelijk 49% versus 28,1%), maar deze schatting kruiste de nul, $b = -6,75$, schattingsfout = 5,16, 95% CrI $[-18,74, 1,82]$.

Opnieuw vonden we geen duidelijk bewijs voor een interactie tussen de twee factoren, $b = 7,65$,

schattingsfout = 8,40, 95% CrI [-6,71, 27,07]. Zie het middelste paneel van Figuur 3 voor de schattingen van de parameters in de posteriorverdelingen.

Woordherkenning

Kinderen in de schrijven met de hand-groep herkenden getrainde woorden nauwkeuriger dan hun leeftijdsgenoten in de typgroepen (respectievelijk 61,6% versus 47,8% nauwkeurigheid), $b = -0,60$, $SE = 0,16$, 95% CrI [-0,92, -0,28]. Daarnaast was er geen bewijs voor een effect van variabiliteit; woorden die getraind waren in groepen met hoge variabiliteit werden ongeveer even nauwkeurig herkend als woorden uit groepen met lage variabiliteit (respectievelijk 53,3% versus 56,1%), $b = 0,12$, $SE = 0,16$, 95% CrI [-0,21, 0,44]. Ten slotte vonden we geen bewijs voor een tweezijdige interactie, $b = 0,42$, $SE = 0,33$, 95% CrI [-0,30, 1,09]. Zie het rechterpaneel van Figuur 3 voor de schattingen van de parameters in de posteriorverdelingen.

Voor de toetstaken met betrekking tot orthografische kennis resulteerde grafomotorische training in significant hogere nauwkeurigheid bij woordbenoeming, -schrijven en -herkenning in vergelijking met typen, zonder substantieel bewijs voor effecten van variabiliteit of interacties. Dit patroon suggereert dat grafomotorische handelingen een centrale rol spelen in de consolidatie van orthografische kennis.

Geen enkel typeffect kon tippen aan de kracht van pen en papier: de verschillen bleven overeind bij schrijven én herkennen van woorden.

Discussie

We ontwierpen een experiment om te onderzoeken in welke mate grafomotorische handelingen en lettervormvariatie bijdragen aan de consolidatie van alfabetische (letterniveau) en orthografische (woordniveau) representaties in de beginfase van leesontwikkeling. Daarmee werden twee afzonderlijke, maar mogelijk complementaire theorieën getest.

Grafomotorische theorieën (Longcamp et al., 2005) stellen dat de motorische handelingen tijdens het handschrift bijdragen aan de koppeling tussen visuele vormen van letters en hun mentale representaties. Variabiliteitstheorieën (Li & James, 2016) suggereren dat de perceptuele variatie in lettervormen die tijdens het schrijven ontstaat, bijdraagt aan een sterkere consolidatie van letters en letterreeksen. In dit experiment kregen 5-jarige kinderen training in een set nieuwe letters en woorden via vier verschillende leermodaliteiten.

- Om de grafomotorische theorie te testen, werden twee groepen getraind in het schrijven met de hand (door letters over te trekken of zelf over te schrijven met potlood en papier) en twee groepen trainten met typen op een toetsenbord.
- Om de variabiliteitstheorie te testen, kregen twee groepen training met variabele exemplaren (door letters over te schrijven of te typen in verschillende lettertypen) en twee andere groepen werden blootgesteld aan exemplaren met zeer beperkte variatie (door gestippelde vormen over te trekken of te typen in een vast lettertype).

De resultaten toonden aan dat grafomotorische handelingen (ongeacht of het overtrekken of overschrijven betrof) het leerresultaat verbeterden bij zowel alfabetische als orthografische toetstaken, wat de grafomotorische hypothese ondersteunt. De deelnemers in de overschrijf- en overtrekgroepen behaalden de hoogste nauwkeurigheidsscores in de posttests voor letterbenoeming en letter schrijven. Ze presteerden ook nauwkeuriger op woordbenoeming, woord schrijven en woordherkenning dan de twee typgroepen. Opvallend is dat de typgroepen relatief lage nauwkeurigheid vertoonden, vooral bij de taak voor woord schrijven (zie Tabel 2).

Er werd gedeeltelijke steun gevonden voor de variabiliteitshypothese bij de taak voor letterbenoeming: deelnemers in de overschrijfconditie waren nauwkeuriger dan die in de overtrekconditie. We bespreken nu de theoretische en onderwijskundige implicaties van deze bevindingen, evenals hun beperkingen en suggesties voor vervolgonderzoek.

Wie met de hand leert schrijven, legt niet alleen letters vast op papier – maar ook in het geheugen.

Schrijven met de hand en alfabetisch leren

Eerder onderzoek heeft de voordelen van schrijven met de hand bij jonge kinderen zonder leesvaardigheid onderzocht, met vooral aandacht voor het leren van letters (bijv. Longcamp et al., 2005, 2008; Zemlock et al., 2018). Onze bevindingen sluiten aan bij deze studies en ondersteunen de cruciale rol van grafomotorische handelingen in het ontwikkelen van alfabetische vaardigheden die essentieel zijn voor succesvol leren lezen en spellen. Kinderen die via schrijven met de hand-methoden lettertraining kregen, presteerden beter dan kinderen die getraind werden via typen, op diverse alfabetische leertaken, waaronder letterbenoeming en letter schrijven. Waar eerdere studies vooral letterherkenning gebruikten om prestaties tussen trainingsvormen te vergelijken, breidde ons onderzoek dit uit met taken waarin ook werd gekeken naar de vaardigheid van kinderen om de getrainde letters te benoemen en te schrijven. Specifiek bij de letterherkenningstaak - die uitsluitend visuele herkenning meet van getrainde letters - was de nauwkeurigheid zeer hoog en vergelijkbaar in alle groepen (ongeveer 92%). Dit toont aan dat kinderen de getrainde letters correct konden herkennen tussen drie afleiders, ongeacht de trainingsmethode. Zoals al in de introductie aangegeven, is visuele herkenning van letters noodzakelijk maar niet voldoende om te leren lezen. De kern van alfabetisch leren ligt in het begrijpen van de relatie tussen specifieke lettervormen en bijbehorende klanken (Treiman, 2006). Dit betekent dat het leren koppelen van letters aan klanken de fundamentele vaardigheid is waarop lezen gebaseerd is (Caravolas et al., 2019; Torppa et al., 2016, 2020).

Eerdere studies namen echter vaak geen klanken op tijdens de training (bijv. Longcamp et al., 2005; Zemlock et al., 2018). In studies waar dat wel gebeurde (bijv. Li & James, 2016), werden zelden toetstaken gebruikt om te meten of kinderen letter-klankkoppelingen daadwerkelijk geleerd hadden. Essentiële taken zoals het benoemen van letters op basis van hun klank of het schrijven van een letter na het horen van de klank (dictatie) werden zelden ingezet (zie ook Kiefer et al., 2015; Mayer et al., 2020). Deze taken zijn cruciaal om alfabetisch leren te begrijpen. Ons trainingsontwerp bevatte niet alleen letter-klanktraining waarbij kinderen de klank hoorden tijdens het schrijven, maar ook toetstaken die gedetailleerd inzicht gaven in hun verworven vaardigheden.

De letterbenoemingstaak was een uitstekende indicatie van de vaardigheid om een visuele letter te koppelen aan de juiste klank - een voorspeller voor latere decodeervaardigheden. In ons onderzoek was het voordeel van handschrifttraining op letterbenoeming groot, vooral bij de overschrijfgroep, die 24% nauwkeuriger was dan de typgroep. Bij de letter-schrijftaak - die hogere geheugenbelasting vereist, omdat de lettervorm uit het hoofd moet worden opgehaald op basis van de klank - was het verschil tussen de schrijf- en typgroepen nog groter (ongeveer 30%). Deze resultaten ondersteunen de conclusie dat grafomotorische handelingen leiden tot betere prestaties op alfabetische leertaken dan leervormen zonder motorische betrokkenheid. Deze voordelen zijn ook gevonden bij volwassenen die een nieuw schrift leerden (Wiley & Rapp, 2021).

Deze bevindingen tonen aan dat grafomotorische activiteit een effectieve manier is om letterrepresentaties te consolideren. Daarnaast suggereren ze dat het aanbieden van fonologische informatie bij geschreven letters het leren van letter-klankkoppelingen versterkt - een essentiële

vaardigheid voor lezen en spellen (Aravena et al., 2018; Law et al., 2018). Eerdere studies tonen aan dat een snellere verwerving van alfabetische kennis de overgang naar orthografisch leren vergemakkelijkt (Sunde et al., 2020). Vanuit dit perspectief lijkt grafomotorische actie een fundamenteel hulpmiddel voor een effectieve leesontwikkeling vanaf het begin.

Wie schrijft, die blijft – vooral als het gaat om het verankeren van letter-klankkoppelingen.

Handschrift en orthografisch leren

Ook met betrekking tot orthografisch leren ondersteunen onze resultaten de grafomotorische hypothese. Net als bij de alfabetische leertaken behaalden de schrijven met de hand-groepen aanzienlijk hogere nauwkeurigheidsscores op de drie toetstaken voor orthografisch leren. Het kleinste verschil tussen schrijven en typen werd gevonden bij de woordherkenningstaak (12%). Wanneer kinderen de woorden moesten decoderen, was het verschil in nauwkeurigheid groter (32%). En bij het schrijven van woorden op basis van dictaat - wat het hoogste beroep doet op geheugen en motorische integratie - werd een verschil van 60% gevonden. Deze resultaten breiden de bevindingen van Wiley en Rapp (2021) bij volwassenen uit naar kleuters. Het leren van letterreeksen door overschrijven of overtrekken blijkt te leiden tot sterke geheugenrepresentaties, die een solide basis vormen voor het toepassen van letter-klankregels en het omzetten van klanken in geschreven vormen.

Onze bevindingen ondersteunen dus het idee dat grafomotorische componenten bijdragen aan het vasthouden van orthografische representaties. Dit komt overeen met de studie van Kiefer et al. (2015), waarin 5-jarige kinderen vier weken lang letters uit het Duitse alfabet leerden via overschrijven of typen. De schrijfgroep presteerde beter op woordlezen en -schrijven. Mayer et al. (2020) vonden geen vergelijkbare voordelen, maar dat kan verklaard worden door de lage betrouwbaarheid van hun data (slechts vier woorden in de posttest, lage effectgroottes) en plafondeffecten (gemiddeld 36% accuraatheid bij woordlezen).

De verbeterde prestaties in woordlezen en -schrijven bij grafomotorische training - zowel in onze studie als bij Kiefer et al. - wijzen erop dat het omzetten van geschreven letters in klanken tijdens het schrijven bijdraagt aan de vorming van stabiele woordrepresentaties (Bosse et al., 2014). Dit sluit aan bij Shahar-Yames en Share (2008), die basisschoolkinderen nieuwe woorden lieten leren door te kijken, schrijven of decoderen. De grootste leerwinst werd gevonden bij de schrijfgroep. Volgens hen stimuleren zowel schrijven als decoderen de aandacht voor woord-specifieke letter-klankkoppelingen en ondersteunen zo de ontwikkeling van goed gespecificeerde woordrepresentaties. Hoewel ons onderzoek deze mechanismen niet direct testte, is het plausibel dat fonologische codering tijdens het schrijven met de hand het leren van orthografische woordvormen versterkt. Door het langzamer volgen van klank-lettervolgorden tijdens het schrijven, wordt de inprenting van woordstructuren mogelijk verbeterd. Typen op een toetsenbord biedt daarentegen niet dezelfde mogelijkheid om klank-lettervolgorden motorisch te koppelen. Vanuit perceptie-actieperspectief integreert handschrift oog- en handbewegingen, waardoor visuele vormen en motorische acties volledig kunnen worden afgestemd (Fears & Lockman, 2019). Typen vereist verdeling van aandacht tussen scherm en toetsenbord. Dit belemmert integratie van visuele en motorische informatie en verhoogt de cognitieve belasting - en bemoeilijkt daarmee ook de verwerking van fonologische informatie (Wollscheid et al., 2016). Studies naar oogbewegingen tonen aan dat de automatisering van motorische handelingen het integreren van complexe visuele stimuli, zoals letterreeksen, vergemakkelijkt. Dit verband tussen geautomatiseerde fijne motoriek en leesvaardigheid is ook elders vastgesteld (Cameron et al., 2016; Julius et al., 2016).

In onze data presteerde de overschrijfgroep beter dan de overtrekgroep op letterbenoeming, letter schrijven, woordbenoeming en woord schrijven, met consistente nauwkeurighedsverschillen van respectievelijk 18%, 19% en 35%. Het ontbreken van significante verschillen tussen overschrijven en overtrekken sluit echter niet uit dat variabiliteit een rol speelt in leren. Twee factoren zijn hier van belang: lettertypevariatie en trainingsduur. In onze studie werd overtrekken niet gecombineerd met verschillende lettertypen zoals bij Li en James (2016), omdat we motorische actie en variabiliteit los van elkaar wilden manipuleren. Vergelijkingen tussen overtrekken met variatie en overschrijven zouden extra inzicht kunnen bieden. Bovendien leverde schrijven met de hand meer variatie op dan de twee fonts in de typgroepen; Li en James gebruikten vier fonts. Hoewel kinderen meestal slechts weinig fonts tegenkomen op digitale apparaten (Wilkins et al., 2009), kan de werkelijke variatie in lettertypes op school of via tablets veel groter zijn.

De beperkte trainingstijd in onze studie kan ook verklaren waarom effecten van variabiliteit minder duidelijk naar voren kwamen. De korte blootstelling aan verschillende vormen is niet vergelijkbaar met de langdurige ervaring die kinderen normaal hebben tijdens het leren van letters. Hierdoor was het ontwerp mogelijk minder gunstig voor overtrek- en typgroepen, omdat alleen bij overschrijven sprake is van eigen variatie in letterproductie - zeker wanneer fijne motoriek nog in ontwikkeling is.

Bij het schrijven van woorden bij een dictee maakten schrijfgroepen bijna negen keer minder fouten dan de typgroepen.

Mechanismen achter de voordelen van grafomotorische actie: handschrift versus typen

Waarom bevordert grafomotorische actie het verwerven van letter- en woordrepresentaties meer dan typen? Eén verklaring is dat mentale representaties van letters en woorden visueel-ruimtelijke en sensorimotorische ervaringen combineren met taalkundige informatie (Mangen et al., 2015). De visuele en motorische componenten van schrijven met de hand zijn gelijktijdig, continu en ruimtelijk-tijdelijk verbonden – dit ondersteunt het leren (Van der Weel & Van der Meer, 2024). Bij typen zijn deze processen gescheiden; informatie over schrijfbewegingen ontbreekt en er is geen integratie tussen visuele en motorische elementen. Dit verklaart mogelijk de beperkte leerwinst (Mangen & Balsvik, 2016). Een andere verklaring is dat schrijven met de hand meer aandacht vraagt dan typen (Seyll & Content, 2022). Aandacht voor handbewegingen en gevormde letters bevordert mogelijk het onthouden en ophalen van letter- en woordkenmerken. In onze studie waren de grootste verschillen tussen schrijven met de hand en typen zichtbaar bij taken die veel geheugeninspanningen vereisten, zoals het schrijven van letters en woorden. Hoewel vervolgonderzoek nodig is, wijzen deze bevindingen op de kracht van schrijven als leerinstrument voor alfabetisch en orthografisch leren bij jonge kinderen.

Wie met de hand schrijft, leert met hoofd én hand – en onthoudt daardoor meer.

Beperkingen van het onderzoek

Voordat conclusies worden getrokken, is het belangrijk om enkele beperkingen van dit onderzoek te benoemen en te bespreken. Ten eerste was de steekproef relatief klein, mede doordat de kinderen werden toegewezen aan een van de vier experimentele condities in het 2 × 2-ontwerp. Hoewel de statistische power voldoende was om de twee hoofdeffecten te testen, was deze mogelijk te beperkt om subtiele interacties te detecteren. Het werven van een grote steekproef voor een interventiestudie met meerdere trainingssessies bij nog niet-leesvaardige kinderen bleek een uitdaging. Om praktische redenen is gekozen voor een steekproefomvang die aansluit bij de powerberekeningen voor het detecteren van

hoofdeffecten. De strategie was om kinderen te werven uit dezelfde school en jaargroep, zodat zij een vergelijkbare achtergrond hadden; alle kritieke variabelen die groepsverschillen zouden kunnen veroorzaken, waren goed gematcht. Hoewel de meeste bevindingen statistisch robuust waren, zou een grotere steekproef waarschijnlijk duidelijker inzicht geven in subtielere effecten, bijvoorbeeld bij het vergelijken van de woordtaken tussen de overschrijf- en overtrekgroep.

Ten tweede vonden we geen verschil tussen de twee typcondities, die beide opvallend lage nauwkeurigheid vertoonden op taken die orthografische kennis meten. Zoals eerder vermeld, kan deze lage prestatie het gevolg zijn van de beperkte ervaring van kinderen met toetsenborden (zie Ouellette & Tims, 2014), maar het roept ook de vraag op of een grotere variatie in lettertypen een sterkere toetsing van de variabiliteitshypothese zou opleveren. Toekomstige studies zouden kunnen onderzoeken of variatie in lettertypen het leren van letters via typen beïnvloedt, vooral bij langere training en met een uitgebreider lettertype-aanbod - zoals eerder gesuggereerd bij het overtrekken.

Ten slotte is aanvullend onderzoek nodig naar de langetermijneffecten van verschillende schrijfmethodes op het vasthouden van geleerde letters en woorden. Hoewel een onmiddellijke evaluatie de kortetermijneffecten van training meet op de consolidatie van representaties (Kiefer et al., 2015; Li & James, 2016; Longcamp et al., 2005), kunnen zowel grafomotorische processen als variatie in output een belangrijke rol spelen bij langdurige retentie, doordat ze sterkere motorische en sensorische verbindingen stimuleren dan andere leerwijzen (Longcamp et al., 2008; Mayer et al., 2020).

Wat beklijft op de lange termijn? Alleen vervolgonderzoek kan laten zien wat écht blijft hangen.

Conclusies

Dit experiment laat zien dat grafomotorische actie een cruciale rol speelt bij het verwerven van leesvaardigheid bij jonge kinderen, en bevestigt de bijdrage ervan aan zowel alfabetisch als orthografisch leren. Vanuit het perspectief van grafomotorische actie omvat schrijven met de hand unieke haptische, kinetische en sensorische ervaringen, die - in combinatie met de integratie van sensorimotorische informatie tijdens de beweging - bijdragen aan het vormen van nauwkeurige en veelzijdige representaties van letters en woorden. Schrijven is dan ook veel meer dan een communicatiemiddel; het is een essentieel onderdeel van de ontwikkeling van schriftelijke taalvaardigheid.

Een belangrijke onderwijskundige implicatie van dit onderzoek is het grote effect van handschriftgerichte instructie op de alfabetische en orthografische kennis die kinderen opdoen. Eerdere studies hebben al aangetoond dat schrijven met de hand direct bijdraagt aan de ontwikkeling van fijne motoriek en handvaardigheid (zie Kiefer & Spitzer, 2023) en indirect invloed heeft op bredere cognitieve vaardigheden van kinderen, zoals rekenvaardigheid (Fischer et al., 2018) en lexicale verwerking (Winter et al., 2021). Onze bevindingen onderstrepen het belang van het schrijven met de hand in het kleuter- en beginonderwijs. Gezien het risico dat vroege leerachterstanden de leesontwikkeling van een kind langdurig beïnvloeden (Stanovich, 2009), concluderen we dat toetsenborden geen vervanging moeten zijn van het schrijven met de hand, maar eerder een aanvulling moeten zijn bij activiteiten rondom geletterdheid - zeker zolang de leesvaardigheid nog niet voldoende is ontwikkeld.

De pen legt het fundament – het is verstandig om het toetsenbord pas aan te laten sluiten als het huis van geletterdheid al stevig staat

Credit auteursbijdragenverklaring

Gorka Ibaibarriaga: Schrijven – oorspronkelijke versie, Onderzoek, Dataverwerking.

Joana Acha: Schrijven – herziening en redactie, Projectcoördinatie, Methodologie, Conceptontwikkeling.
Manuel Perea: Begeleiding, Projectcoördinatie, Methodologie, Formele analyse, Conceptontwikkeling.

Woord van dank

De auteurs bedanken alle kinderen en gezinnen die vrijwillig het toestemmingsformulier ondertekenden en deelnamen aan dit onderzoek.

Het onderzoek werd gedeeltelijk gefinancierd door de volgende subsidies: PID2020-116740 GB-I00 (gefinancierd door het MCIN/AEI/10.13039/501100011033), FPU22/00096 van het Spaanse Ministerie van Wetenschap en Innovatie, en CIAICO/2021/172 van de Valenciaanse overheid.

Beschikbaarheid van gegevens

Gegevens en materiaal zijn beschikbaar in het OSF-bestand en expliciet gepresenteerd in het artikel.

Referentielijst:

- Aravena, S., Tijms, J., Snellings, P., & van der Molen, M. W. (2018). Predicting individual differences in reading and spelling skill with artificial script-based letter–speech sound training. *Journal of Learning Disabilities*, 51(6), 552–564. <https://doi.org/10.1177/0022219417715407>.
- Arndt, P. A. (2016). Computer usage for learning how to read and write in primary school. *Trends in Neuroscience and Education*, 5 (3), 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.07.003>.
- Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: keep it maximal. *Journal of Memory and Language*, 68(3), 255–278. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.11.001>.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48 <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>.
- Bosse, M. L., Chaves, N., & Valdois, S. (2014). Lexical orthography acquisition: is handwriting better than spelling aloud? *Frontiers in Psychology*, 5(1), 56–65. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00056>.
- Bürkner, P. C. (2017). brms: an R package for Bayesian multilevel models using Stan. *Journal of Statistical Software*, 80, 1–28 <https://doi.org/10.18637/jss.v080.i01>.
- Cameron, C. E., Cottone, E. A., Murrah, W. M., & Grissmer, D. W. (2016). How are motor skills linked to children’s school performance and academic achievement? *Child Development Perspectives*, 10(2), 93–98. <https://doi.org/10.1111/cdep.12168>.
- Caravolas, M., Lervåg, A., Mikulajová, M., Defior, S., Seidlová-Málková, G., & Hulme, C. (2019). A cross-linguistic, longitudinal study of the foundations of decoding and reading comprehension ability. *Scientific Studies of Reading*, 23(5), 386–402. <https://doi.org/10.1080/10888438.2019.1580284>.
- Chetail, F. (2017). What do we do with what we learn? Statistical learning of orthographic regularities impacts written word processing. *Cognition*, 163, 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.02.015>.
- Conrad, N. J., & Deacon, S. H. (2023). Print learning: a theoretical framework for the role of children’s learning about the orthography in the development of reading skill. *Reading Research Quarterly*, 58(1), 113–125. <https://doi.org/10.1002/rrq.489>.
- Conrad, N. J., Kennedy, K., Saoud, W., Scallion, L., & Hanusiak, L. (2019). Establishing word representations through reading and spelling: comparing degree of orthographic learning. *Journal of Research in Reading*, 42(1), 162–177. <https://doi.org/10.1111/1467-9817.12256>.
- Danböck, S. K., Franke, L. K., Miedl, S. F., Liedlgruber, M., Bürkner, P. C., & Wilhelm, F. H. (2023). Experimental induction of peritraumatic dissociation: the role of negative affect and pain and their

psychophysiological and neural correlates. *Behaviour Research and Therapy*, 164, 104289. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2023.104289>.

Deacon, S. H., Pasquarella, A., Marinus, E., Tims, T., & Castles, A. (2019). Orthographic processing and children's word reading. *Applied Psycholinguistics*, 40(2), 509–534. <https://doi.org/10.1017/S0142716418000681>.

Delgado, P., Vargas, C., Ackerman, R., & Salmerón, L. (2018). Don't throw away your printed books: a meta-analysis on the effects of reading media on reading comprehension. *Educational Research Review*, 25, 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.09.003>.

Fears, N. E., & Lockman, J. J. (2019). Using head-mounted eye-tracking to study handwriting development. *Journal of Motor Learning and Development*, 8(1), 215–231. <https://doi.org/10.1123/jmld.2018-0057>.

Fischer, U., Suggate, S. P., Schmir, J., & Stoeger, H. (2018). Counting on fine motor skills: links between preschool finger dexterity and numerical skills. *Developmental Science*, 21(4), e12623. <https://doi.org/10.1111/desc.12623>.

Forster, K. I., & Forster, J. C. (2003). DMDX: a windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods*, 35, 116–124. <https://doi.org/10.3758/BF03195503>.

Genlott, A. A., & Grönlund, Å. (2013). Improving literacy skills through learning reading by writing: the iWTR method presented and tested. *Computers & Education*, 67, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.03.007>.

Gómez, P., Marcet, A., & Perea, M. (2021). Are better young readers more likely to confuse their mother with their mother? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 74(9), 1542–1552. <https://doi.org/10.1177/17470218211012960>.

Grainger, J. (2018). Orthographic processing: a “mid-level” vision of reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71(2), 335–359. <https://doi.org/10.1080/17470218.2017.1314515>.

Henderson, S. E., Sugden, D., & Barnett, A. L. (2007). *Movement Assessment Battery for Children—Second Edition* (Movement ABC-2). Psychological Corporation. <https://doi.org/10.1037%2Ft55281-000>.

Hsiung, H. Y., Chang, Y. L., Chen, H. C., & Sung, Y. T. (2017). Effect of stroke-order learning and handwriting exercises on recognizing and writing Chinese characters by Chinese as a foreign language learners. *Computers in Human Behavior*, 74, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.04.022>.

James, K. H. (2017). The importance of handwriting experience on the development of the literate brain. *Current Directions in Psychological Science*, 26(6), 502–508. <https://doi.org/10.1177/0963721417709821>.

James, K. H., & Engelhardt, L. (2012). The effects of handwriting experience on functional brain development in preliterate children. *Trends in Neuroscience and Education*, 1(1), 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2012.08.001>.

Julius, M. S., Meir, R., Shechter-Nissim, Z., & Adi-Japha, E. (2016). Children's ability to learn a motor skill is related to handwriting and reading proficiency. *Learning and Individual Differences*, 51, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.08.034>.

Kiefer, M., Schuler, S., Mayer, C., Trumpp, N. M., Hille, K., & Sachse, S. (2015). Handwriting or typewriting? The influence of pen or keyboard-based writing training on reading and writing performance in preschool children. *Advances in Cognitive Psychology*, 11(4), 136–146. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.04.022>.

Kiefer, M., & Spitzer, M. (2023). How handwriting shapes literacy acquisition and general cognition: Phenomena and cognitive mechanisms. In Y. Ye, T. Inoue, U. Maurer, & C. McBride (Eds.), *Routledge international handbook of visual–motor skills, handwriting, and spelling* (pp. 111–122). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003284048-11>.

Kozak, S., & Recchia, H. (2019). Reading and the development of social understanding: implications for the literacy classroom. *The Reading Teacher*, 72(5), 569–577. <https://doi.org/10.1002/trtr.1760>.

Law, J. M., De Vos, A., Vanderauwera, J., Wouters, J., Ghesquière, P., & Vandermosten, M. (2018). Grapheme–phoneme learning in an unknown orthography: a study in typical reading and dyslexic children. *Frontiers in Psychology*, 9, 1393. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01393>.

Lenth, R., Singmann, H., Love, J., Buerkner, P., & Herve, M. (2020). emmeans: *Estimated marginal means*. R package, Version 1.4.8. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.

Li, J. X., & James, K. H. (2016). Handwriting generates variable visual output to facilitate symbol learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 145(3), 298–333. <https://doi.org/10.1037/xge0000134>.

Longcamp, M., Boucard, C., Gilhodes, J. C., Anton, J. L., Roth, M., Nazarian, B., & Velay, J. L. (2008). Learning through hand- or typewriting influences visual recognition of new graphic shapes: behavioral and functional imaging evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 802–815. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20504>.

Longcamp, M., Zerbato-Poudou, M. T., & Velay, J. L. (2005). The influence of writing practice on letter recognition in preschool children: *a comparison between handwriting and typing*. *Acta Psychologica*, 119(1), 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.10.019>.

Malpique, A. A., Valcan, D., Pino-Pasternak, D., Ledger, S., & Merga, M. (2024). Effect sizes of writing modality on K–6 students’ writing and reading performance: a meta-analysis. *The Australian Educational Researcher*, 51, 2001–2030. <https://doi.org/10.1007/s13384-023-00676-y>.

Mangen, A., Anda, L. G., Oxborough, G. H., & Brønnick, K. (2015). Handwriting versus keyboard writing: effect on word recall. *Journal of Writing Research*, 7(2), 227–247 <https://doi.org/10.17239/jowr-2015.07.02.1>.

Mangen, A., & Balsvik, L. (2016). Pen or keyboard in beginning writing instruction? Some perspectives from embodied cognition. *Trends in Neuroscience and Education*, 5(3), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.06.003>.

Mangen, A., & Velay, J. L. (2010). Digitizing literacy: Reflections on the haptics of writing. In M. H. Zadeh (Ed.), *Advances in haptics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/8710>.

Mano, Q. R., & Kloos, H. (2018). Sensitivity to the regularity of letter patterns within print among preschoolers: Implications for emerging literacy. *Journal of Research in Childhood Education*, 32(4), 379–391. <https://doi.org/10.1080/02568543.2018.1497736>.

Mayer, C., Wallner, S., Budde-Spengler, N., Braunert, S., Arndt, P. A., & Kiefer, M. (2020). Literacy training of kindergarten children with pencil, keyboard or tablet stylus: the influence of the writing tool on reading and writing performance at the letter and word level. *Frontiers in Psychology*, 10, 3054. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03054>.

Ouellette, G., & Tims, T. (2014). The write way to spell: printing versus typing effects on orthographic learning. *Frontiers in Psychology*, 5, 117. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00117>.

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org>.

Ray, K., Dally, K., Rowlandson, L., Tam, K. I., & Lane, A. E. (2022). The relationship of handwriting ability and literacy in kindergarten: a systematic review. *Reading and Writing*, 35, 1119–1155. <https://doi.org/10.1007/s11145-021-10224-8>.

Scholz, M., & Bürkner, P. C. (2023). *Posterior accuracy and calibration under misspecification in Bayesian generalized linear models*. arXiv:2311.09081. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.09081>.

- Seyll, L., & Content, A. (2022). Like shape recognition in preschool children: does graphomotor knowledge contribute? *Frontiers in Psychology*, 12, 726454. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.726454>.
- Seyll, L., Wyckmans, F., & Content, A. (2020). The impact of graphic motor programs and detailed visual analysis on letter-like shape recognition. *Cognition*, 205, 104443. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104443>.
- Shahar-Yames, D., & Share, D. L. (2008). Spelling as a self-teaching mechanism in orthographic learning. *Journal of Research in Reading*, 31(1), 22–39. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2007.00359.x>.
- Stanovich, K. E. (2009). Matthew effects in reading: some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Journal of Education*, 189(1–2), 23–55. <https://doi.org/10.1177/0022057409189001-204>.
- Sunde, K., Furnes, B., & Lundetræ, K. (2020). Does introducing the letters faster boost the development of children's letter knowledge, word reading and spelling in the first year of school? *Scientific Studies of Reading*, 24(2), 141–158. <https://doi.org/10.1080/10888438.2019.1615491>.
- Torppa, M., Georgiou, G. K., Lerkkanen, M. K., Niemi, P., Poikkeus, A. M., & Nurmi, J. E. (2016). Examining the simple view of reading in a transparent orthography: a longitudinal study from kindergarten to Grade 3. *Merrill–Palmer Quarterly*, 62(2), 179–206. <https://doi.org/10.13110/merrpalmquar1982.62.2.0179>.
- Torppa, M., Vasalampi, K., Eklund, K., Sulkunen, S., & Niemi, P. (2020). Reading comprehension difficulty is often distinct from difficulty in reading fluency and accompanied with problems in motivation and school well-being. *Educational Psychology*, 40(1), 62–81. <https://doi.org/10.1080/01443410.2019.1670334>.
- Treiman, R. (2006). Knowledge about letters as a foundation for reading and spelling. In R. M. Joshi & P. G. Aaron (Eds.), *Handbook of orthography and literacy* (pp. 581–599). Lawrence Erlbaum.
- Tucker, R., Castles, A., Laroche, A., & Deacon, S. H. (2016). The nature of orthographic learning in self-teaching: testing the extent of transfer. *Journal of Experimental Child Psychology*, 145, 79–94. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.12.007>.
- Van Bergen, E., Vasalampi, K., & Torppa, M. (2021). How are practice and performance related? development of reading from age 5 to 15. *Reading Research Quarterly*, 56(3), 415–434. <https://doi.org/10.1002/rrq.309>.
- Van der Weel, F. R., & Van der Meer, A. L. (2024). Handwriting but not typewriting leads to widespread brain connectivity: a high-density EEG study with implications for the classroom. *Frontiers in Psychology*, 14, 1219945. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1219945>.
- Vasalampi, K., Tolvanen, A., Torppa, M., Poikkeus, A. M., Hankimaa, H., & Aunola, K. (2023). PISA reading achievement, literacy motivation, and school burnout predicting adolescents' educational track and educational attainment. *Learning and Individual Differences*, 108, 102377. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102377>.
- Wang, H. C., Marinus, E., Nickels, L., & Castles, A. (2014). Tracking orthographic learning in children with different profiles of reading difficulty. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 468. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00468>.
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children, Fourth Edition (WISC-IV)* [database record]. APA PsycTests. <https://doi.org/10.1037/t15174-000>.
- Westland, J. C. (2010). Lower bounds on sample size in structural equation modeling. *Electronic Commerce Research and Applications*, 9(6), 476–487. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2010.07.003>.

- Whitten, C., Labby, S., & Sullivan, S. L. (2019). The impact of pleasure reading on academic success. *Journal of Multidisciplinary Graduate Research*, 2(1), 48–64. <https://www.shsu.edu/academics/education/journal-of-multidisciplinary-graduateresearch/documents/2016/whittenjournalfinal.pdf>.
- Wiley, R. W., & Rapp, B. (2021). The effects of handwriting experience on literacy learning. *Psychological Science*, 32(7), 1086–1103. <https://doi.org/10.1177/0956797621993111>.
- Wilkins, A., Cleave, R., Grayson, N., & Wilson, L. (2009). Typography for children may be inappropriately designed. *Journal of Research in Reading*, 32(4), 402–412. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2009.01402.x>.
- Winter, R. E., Stoeger, H., & Suggate, S. P. (2021). Fine motor skills and lexical processing in children and adults. *Frontiers in Psychology*, 12, 666200. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.666200>.
- Wollscheid, S., Sjaastad, J., & Tømte, C. (2016). The impact of digital devices vs. pen(cil) and paper on primary school students' writing skills—A research review. *Computers & Education*, 95, 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.12.001>.
- Zemlock, D., Vinci-Booher, S., & James, K. H. (2018). Visual–motor symbol production facilitates letter recognition in young children. *Reading and Writing*, 31(6), 1255–1271. <https://doi.org/10.1007/s11145-018-9831-z>.
- Zugarramurdi, C., Fernández, L., Lallier, M., Valle-Lisboa, J. C., & Carreiras, M. (2022). Mind the orthography: revisiting the contribution of pre-reading phonological awareness to reading acquisition. *Developmental Psychology*, 58(6), 1003–1016. <https://doi.org/10.1037/dev0001341>.