



## UvA-DARE (Digital Academic Repository)

### The nature of nurture: the role of gene-environment interplay in the development of intelligence

Kan, K.-J.

**Publication date**  
2012

[Link to publication](#)

#### **Citation for published version (APA):**

Kan, K.-J. (2012). *The nature of nurture: the role of gene-environment interplay in the development of intelligence*. [Thesis, fully internal, Universiteit van Amsterdam].

#### **General rights**

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), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

#### **Disclaimer/Complaints regulations**

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please Ask the Library: <https://uba.uva.nl/en/contact>, or a letter to: Library of the University of Amsterdam, Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

## SUMMARY IN DUTCH / SAMENVATTING IN HET NEDERLANDS

### Betere Theorie

Dit proefschrift benadrukt het belang van de ontwikkeling van betere theorie in intelligentie-onderzoek. Daarnaast illustreert het dat het innemen van expliciete wetenschappelijk filosofische standpunten ten aanzien van intelligentie, en de variabelen die daarmee samenhangen, empirische resultaten helpt te begrijpen. Wanneer adequate theorie en expliciete wetenschapsfilosofische standpunten ontbreken, is het uiterst moeilijk goed overzicht te krijgen van de intelligentieliteratuur. Het ontbreken van goed overzicht is onwenselijk daar het wetenschappelijke vooruitgang op het gebied van intelligentieonderzoek kan hinderen.

Waarom het verkrijgen van een goed overzicht over de intelligentieliteratuur zo moeilijk is werd uiteengezet in de inleiding. Eerst werd uitgelegd dat het begrip intelligentie aangeeft 'hoe goed informatie verwerkt wordt' en dat - als we ons beperken tot de intelligentie van de mensen - 'hoe goed informatie verwerkt wordt' doorgaans bepaald wordt aan de hand van psychometrische tests, volgens een ordinale schaalindeling. Daarna werd duidelijk gemaakt dat zonder theoretische koppeling van psychometrische intelligentie aan een kwantitatieve eigenschap (of meerdere kwantitatieve eigenschappen), psychometrische intelligentie niets meer is dan een rangorde op intelligentietestscores (Bartholomew, 2004), of dit nu ruwe scores betreft of scores op daaruit geconstrueerde variabelen. Het probleem dat vervolgens ontstaat, is dat verschillende rangorden gemaakt kunnen worden, waardoor op basis van dezelfde gegevens de ene onderzoeker (terecht) zou kunnen concluderen dat intelligentie groeit, en dus verandert tijdens de ontwikkeling, terwijl de andere onderzoeker (eveneens terecht) zou kunnen concluderen dat intelligentie juist stabiel en onveranderlijk is (zie Figuur 1.1). Welke conclusie in praktijk getrokken zal worden, is grotendeels afhankelijk van het wetenschappelijk perspectief van de onderzoeker. Met wetenschappelijk perspectief wordt hier bedoeld een intra-individueel perspectief, zoals gewoon is in de ontwikkelingspsychologie, of een inter-individueel perspectief, zoals gewoon is in de differentiële psychologie. Benadrukt werd dat de oorzaken van inter-individuele verschillen compleet anders kunnen zijn dan de oorzaken van intra-individuele verschillen. Op grond hiervan werd beargumenteerd dat indien we intelligentie goed willen begrijpen, verklaren, en modelleren, we beide perspectieven nodig hebben. Het interindividuele perspectief is nodig om de covariantiestructuur van intelligentietestscores te verklaren; het intra-individuele perspectief is nodig om cognitieve groei te verklaren.

Opgemerkt werd dat in het merendeel van studies naar intelligentie intra-individuele verschillen buiten beschouwing worden gelaten, en dat de blik slechts is gericht op (de statistische beschrijving) van inter-individuele verschillen aan de hand van factormodellen. Door deze eenzijdige blik schieten intelligentietheorieën mogelijk te kort in het adequaat verklaren van empirische resultaten. Evaluatie van zulke theorieën en modellen in het licht van de ontwikkeling van intelligentie werd een belangrijk doel van dit proefschrift. Een ander belangrijk doel was de ontwikkeling van een geïntegreerde intelligentietheorie en van een formeel, dynamisch systeemmodel voor intelligentie dat kan dienen om (zowel oude als nieuwe) hypothesen te toetsen.

De inleiding bevatte ook een overzicht van de belangrijkste factormodellen en theorieën voor psychometrische intelligentie. Deze zullen nu worden behandeld.

### Overzicht van de belangrijkste factormodellen en theorieën voor psychometrische intelligentie

De huidige, dominante intelligentietheorieën en -modellen leunen in grote mate op de ideeën van Spearman (1904) die poogde de positieve intercorrelaties tussen verschillende cognitieve tests te verklaren. Deze correlaties waren volgens hem het resultaat van de invloed van een gemeenschappelijke, maar niet geobserveerde variabele, die hij de algemene intelligentiefactor noemde, en die hij afkorte tot *g* (van het Engelse 'general intelligence'). De correlaties zijn echter niet volmaakt doordat (1) ook testspecifieke variabelen (*s*, van het Engelse 'specific') van invloed zijn, en (2) meetinstrumenten niet perfect zijn, zodat een deel van de ongedeelde variantie toe te

schrijven is aan meetfouten. De specifieke variabelen werden verondersteld statistisch onafhankelijk te zijn van zowel elkaar als van  $g$ . Om de  $g$ -theorie te staven, ontwikkelde Spearman de statistische techniek factoranalyse.

Spearman's  $g$ -theorie (alsook het gebruik van factoranalyse) heeft van meet af aan veel kritiek te verduren gekregen terwijl onderzoekers in de loop der tijd meerdere valide alternatieve verklaringen voor de positieve correlaties tussen test scores hebben geopperd (Thomson, 1919; 1951; Bartholomew, Deary en Lawn, 2009; van der Maas et al., 2006; Dickens, 2008). De consensus is tegenwoordig dat Spearman's  $g$ -theorie in overeenstemming is met de gevonden positieve correlaties tussen intelligentietest scores, maar dat factoranalyse niet kan aantonen dat een theorie (dus ook die van Spearman) juist is. Factoranalytische resultaten op zichzelf zijn statistische overzichten van de data. Om aan de factoren een verdere betekenis te hechten, bijvoorbeeld als reële bron van gemeenschappelijke variantie, is theorie vereist (zie bijvoorbeeld Borsboom, Mellenbergh, en Van Heerden, 2003).

Hoewel factoranalyse niet kan aantonen dat een theorie juist is, kan ze een theorie wel verwerpen, namelijk als de theorie geformuleerd is als statistisch model en dit model niet adequaat bij de data past. Uiteindelijk gebeurde dit met de theorie van Spearman. Deze werd verworpen omdat 1-factor modellen over het algemeen te eenvoudig zijn om de statistische relaties in de data goed te verklaren: Na uitpartialisatie van de variabele  $g$ , blijven bepaalde test scores positief gecorreleerd, wat impliceert dat bepaalde specifieke factoren in Spearman's model niet statistisch onafhankelijk zijn, zoals werd verondersteld. Omdat 1-factor modellen onvoldoende verklaringen bieden, zijn uitgebreidere factormodellen voor intelligentie ontwikkeld. In studieverslagen wordt echter vaak niet duidelijk gemaakt of de factoren in dergelijke modellen dienen te worden beschouwd als reële oorzakelijke bronnen van (co)variantie, bijvoorbeeld als beperkte capaciteiten in psychologische of biologische systemen, of als louter statistische constructen die bepaalde covarianties samenvatten.

Zoals eerder vermeld, om de factoren in een factormodel een zinnige interpretatie als reële bronnen van covariantie te geven is koppeling van het factormodel aan theorie nodig. Een van bekendste intelligentietheorieën is Cattell's (1963, 1987) investeringstheorie aangaande 'vloeibare' en 'gekrystalliseerde' intelligentie. Opgemerkt dient te worden dat deze theorie een van de weinige intelligentietheorieën is die rekening houdt met zowel de covariantiestructuur van intelligentie als de ontwikkeling van cognitieve vaardigheden. Onder meer vanwege dit feit is Cattell's investeringstheorie een van de invloedrijkste theorieën in de intelligentieliteratuur.

In investeringstheorie is vloeibare intelligentie een redeneercapaciteit. De ontwikkeling van deze capaciteit gaat samen met de rijping van de hersenen. Individuele verschillen in vloeibare intelligentie zijn uiteindelijk grotendeels toe te schrijven aan individuele verschillen in genetische opmaak. Het verwerven van kennis en vaardigheden, de zogeheten gekrystalliseerde vaardigheden, wordt sterk beïnvloed door deze capaciteit. De gekrystalliseerde vaardigheden worden niet alleen geacht het resultaat te zijn van 'investering' (gebruik) van vloeibare intelligentie tijdens het aanleren van de vaardigheden, maar ook van motivatie, hoeveelheid genoten onderwijs en cultuur. Verschillen in gekrystalliseerde vaardigheden tussen mensen uit verschillende culturen reflecteren in belangrijke mate verschillen in onderwijs en cultuur. Echter, binnen een cultuur, vooral als gecorrigeerd wordt voor verschillen in genoten educatie, zijn individuele verschillen in gekrystalliseerde vaardigheden een goede afspiegeling van individuele verschillen in de factor vloeibare intelligentie.

Eén van de gemeenschappelijke factoren in Cattell's bifactor model voor intelligentie representeert de capaciteit vloeibare intelligentie (afgekort tot  $G_f$ ). De andere factor, te weten gekrystalliseerde intelligentie (afgekort door  $G_c$ ), vat de gemeenschappelijke variantie tussen de gekrystalliseerde vaardigheden samen. Omdat gekrystalliseerde vaardigheden afhankelijk zijn van vloeibare intelligentie, modelleerde Cattell de factoren  $G_f$  en  $G_c$  als positief gecorreleerd. Net als Spearman's  $g$ -model, bleek Cattell's  $G_f$ - $G_c$ -model echter te eenvoudig (zie bijvoorbeeld Carroll, 1993).

Tegenwoordig wordt aangenomen dat psychometrische intelligentie ongeveer 70 positief gecorreleerde specifieke cognitieve vaardigheden omvat (McGrew & Flanagan, 1998). Een intelligentiebatterij meet meestal een kleiner aantal van deze vaardigheden, die vertegenwoordigd worden door eerste-orde factoren, maar als men alle cognitieve vaardigheden zou meten en de intercorrelaties tussen alle eerste factoren verder zou factoranalyseren, zou een model met 8 tot 10

positief gecorreleerde tweede orde factoren statistisch gezien een bevredigend resultaat opleveren, zo is de verwachting (Cattell, 1987; Carroll, 1993; McGrew, 2009; Horn & Blankson, 2005). Op dit tweede orde niveau, zijn de twee meest geaccepteerde modellen voor intelligentie, namelijk het uitgebreide Gf-Gc model van Cattell en Horn en het drie-stratum model van Carroll, vrijwel identiek (McGrew, 2009). De interpretatie van de tweede orde variabelen in deze modellen is vaak in termen van eigenschappen van afzonderlijke (neuro-)cognitieve systemen (zie bijvoorbeeld Carroll, 1993). Individuele verschillen in deze eigenschappen worden vervolgens beschouwd als het resultaat van genetische verschillen enerzijds en verschillen in omgevingsinvloeden anderzijds (Jensen, 1998; Plomin et al., 2008).

De tweede-orde variabelen in deze 2 modellen zijn positief gecorreleerd. Het is mogelijk de covariantiestructuur tussen deze tweede-orde factoren verder te factoranalyseren, zoals Carroll (1993) heeft gedaan in honderden datasets. Aan de hand van de resultaten poneerde Carroll het bestaan van een enkele bron van covariantie tussen de tweede orde variabelen, welke in zijn model vertegenwoordigd wordt door een overkoepelende factor op derde-orde niveau. Carroll's model kan worden beschouwd als een model waarin Spearman's oorspronkelijke *g* wordt geïntroduceerd terwijl rekening wordt gehouden met de correlaties tussen bepaalde specifieke factoren (*s*, zie boven) die blijven bestaan na uitpartialisatie van *g*. In tegenstelling tot Carroll, poneerden Horn en Cattell geen algemene factor. Horn (Horn & Noll, 1997) beschouwde een dergelijke factor als niets meer dan een statistische samenvatting van de covariantiestructuur tussen de tweede orde variabelen; Cattell (1987) was van mening dat de algemene intelligentiefactor (*g*) en de vloeibare intelligentiefactor (Gf) dezelfde variabele voorstelde, en betrekking hadden op hetzelfde cognitief systeem.

In de afgelopen decennia hebben onderzoekers gewerkt aan integratie van het uitgebreide Gf-Gc model en het drie-stratum model (zie McGrew, 2009). Dit geïntegreerde model staat bekend als het Cattell-Horn-Carroll (CHC) model voor intelligentie. De vraag wel of niet een algemene factor te extraheren, blijft hierbij onderwerp van discussie. Belangrijk hier te vermelden is dat deze discussie niet zozeer gebaseerd is op statistische overwegingen maar op theoretische: Een statistische algemene factor kan geëxtraheerd worden, maar of deze factor een reële variabele voorstelt, is de vraag. In het licht van deze discussie zijn alternatieve verklaringen voor de positieve correlaties tussen intelligentietest scores dus belangrijk.

### **De Inbreng van een Ontwikkelingsperspectief: Mutualisme**

Een (met het oog op de ontwikkeling van intelligentie) belangrijke alternatieve verklaring voor de bevinding dat intelligentietest scores positief met elkaar correleren, is dat deze correlaties het resultaat zijn van de dynamische ontwikkeling van cognitie, zoals beschreven in het mutualismemodel voor intelligentie (van der Maas et al., 2006). Deze alternatieve verklaring speelt een voorname rol in de conceptualisering van intelligentie in dit proefschrift (zie Hoofdstuk 1, 6, 7, en Appendix B).

In het mutualismemodel voor intelligentie wordt aangenomen dat de groei in cognitie grotendeels autonoom en zelfregulerend is, maar dat die groei wordt begrensd door genetisch en omgevingsbeïnvloede beperkte capaciteiten. Echter, er bestaan meerdere cognitieve processen. De groei van die processen wordt - volgens het oorspronkelijke mutualismemodel - begrensd door processpecifieke (unieke), (statistisch) onafhankelijke capaciteiten. Een andere aanname is dat de cognitieve processen elkaar tijdens hun ontwikkeling wederzijds en overwegend positief beïnvloeden. Dat wil zeggen, de groei van het ene cognitieve proces stimuleert de groei van het andere cognitieve proces en andersom. Als gevolg hiervan heeft de capaciteit die de groei van het ene cognitieve proces begrenst een indirect effect op de groei en het uiteindelijke niveau van functioneren van andere cognitieve processen.

### **Doelen van het Proefschrift**

Zoals boven al kort werd vermeld, is het doel van dit proefschrift uiteindelijk tweeledig geworden. Eén doel was om de ontwikkeling van een adequate theorie van intelligentie nieuwe impuls te geven. Hiertoe werd getracht een model te ontwikkelen dat zowel de cognitieve groei verklaart alsmede het bestaan van genetisch beïnvloede interindividuele verschillen in intelligentie, en dat resultaten geeft

die in overeenstemming zijn met de belangrijkste empirische resultaten uit intelligentieonderzoek. Een voorbeeld van een dergelijk resultaat is de aanwezigheid van een positieve correlatie tussen intelligentiesubtests' erfelijkheidscoëfficiënten en hun factorladingen op de (statistische) algemene intelligentiefactor. Bij de ontwikkeling van een model dat tot dit resultaat zou moeten leiden, stuitte we op enkele theoretische vraagstukken die niet volledig of niet afdoende worden behandeld in de intelligentieliteratuur. Een tweede doel werd daarom om deze theoretische vraagstukken nader te behandelen. De vraagstukken hebben met name betrekking op de interpretatie van de (hoge) erfelijkheidscoëfficiënten van de variabelen in intelligentiemodellen, hetzij direct, hetzij indirect.

## **Werkhypothese**

Aanvankelijk hebben we als werkhypothese het CHC model aangenomen, omdat dit thans het meest uitgebreide en meest geaccepteerde factormodel voor intelligentie is, en omdat het model van Cattell en Horn en het model van Carroll tot de meest onderzochte modellen behoren. We veronderstelden dat de tweede orde factoren in het CHC model (inclusief Gf en Gc) individuele verschillen in unieke cognitieve systemen representeren, waarvan de groei beperkt wordt door genetische en omgevingsbeïnvloede capaciteiten. Een reële, onderliggende, algemene factor werd echter niet geponeerd, daar een zo een factor tot dusverre niet is geïdentificeerd en omdat we geloven dat de positieve correlaties tussen het functioneren van de cognitieve systemen toe te schrijven zijn aan wederzijds positieve interacties tussen variabelen binnen die systemen (zie Figuur 1.8). De positieve interacties werden geacht zich voor te doen gedurende de cognitieve ontwikkeling, zoals in het mutualismemodel. We namen verder aan dat individuele verschillen in het functioneren van deze systemen in principe adequaat gemeten kunnen worden door intelligentietests, zonder uit te sluiten dat in werkelijkheid intelligentiesubtestscores het functioneren van meer dan één systeem weerspiegelt (zie Figuur 1.8).

## **Samenvatting per Hoofdstuk**

Hoofdstuk 2 (gepubliceerd als Kan, Ploeger, Raijmakers, Dolan, & van der Maas, 2011) behandelde problemen omtrent de interpretatie van de latente genetische en omgevingsvariabelen in gedragsgenetische modellen in het algemeen. Vanzelfsprekend heeft dit gevolgen voor de interpretatie van de latente genetische en omgevingsvariabelen in factormodellen van intelligentie: De latente variabelen en hun invloeden worden niet gemeten, maar afgeleid, met behulp van genetisch informatieve onderzoeksdesigns (bijvoorbeeld tweeling- en adoptiestudies). Bovendien worden de relaties tussen de variabelen gemodelleerd als lineair. We onderzochten wat de geschatte relatieve bijdragen van genetische en omgevingsvariabelen aan de totale variantie in de geobserveerde variabelen waren indien in werkelijkheid de onderliggende mechanismen niet-lineair waren. Onze hypothese was dat de schattingen dan niet correct zijn, omdat niet-lineariteit een additionele, onafhankelijke bron van variantie vormt (Molenaar, Boomsma, & Dolan, 1993). Om deze hypothese te onderzoeken gebruikten we een dynamisch systeemmodel waarin wederzijdse interacties tussen variabelen plaatsvinden. Het mutualisme model kon niet gebruikt worden, omdat dit model geen niet-lineaire termen bevat. Als alternatief gebruikten daarom het twee-cellen-model van van Oss & van Ooyen (1997) (dit model is beschreven in Appendix A). De twee cellen in het model kunnen worden geïnterpreteerd als subsystemen van werkgeheugen, zodat interindividuele verschillen in de parameters kunnen geïnterpreteerd worden als interindividuele verschillen in werkgeheugencapaciteit. Computersimulaties met het niet-lineaire model leverden resultaten op die overeenkomen met empirische bevindingen in intelligentieonderzoek: Ten eerste, de werkelijke onderliggende bronnen van variantie bleken moeilijk te detecteren. Ten tweede, de geschatte relatieve bijdrage van de latente genetische variabelen aan de totale variantie, d.w.z., de erfelijkheid van de geobserveerde variabelen, nam toe over de tijd (en de geschatte relatieve bijdrage van de latente omgevingsvariabelen nam af). We concludeerden dat voorzichtigheid is geboden bij het interpreteren van hoge erfelijkheidscoëfficiënten als betekend 'in relatief grote mate genetisch beïnvloed'. De coëfficiënten kunnen bijvoorbeeld overschat zijn als gevolg van de aanwezigheid van niet-lineariteit in ontwikkelingsprocessen.

Meer voorzichtigheid is geboden bij de interpretatie van hoge erfelijkheidscoëfficiënten. Zoals uitgelegd in Hoofdstuk 3, betekent een relatief hoge geschatte erfelijkheid van de ene cognitieve vaardigheid ten opzichte van die van de ander niet dat omgevingsinvloeden en culturele invloeden relatief minder belangrijk zijn. Integendeel, uit de empirie blijkt dat indien we ons concentreren op individuele intelligentiesubtests dat hoe groter de mate is waarin culturele aspecten onderscheid maken tussen mensen, hoe hoger de geschatte erfelijkheid is. Subtests die individueel verschillen in (sterk cultureel afhankelijke) kennis en vaardigheden meten (bijvoorbeeld tests die woordenschat meten), vertonen hogere erfelijkheidscoëfficiënten dan subtests die individueel verschillen in (minder cultureel afhankelijke) cognitieve processen meten. Met het oog op investeringstheorie betekent dit dat gekristalliseerde vaardigheden hoger erfelijk zijn dan indicatoren van vloeibare intelligentie. De oorspronkelijke theorie voorspelde echter het tegenovergestelde: Vloeibare intelligentie is in grotere mate erfelijk dan gekristalliseerd vaardigheden. We stelden voor dat de verklaring ligt in verschillen in gen-omgevings covariantie: Omdat omgeving met name selecteert op gekristalliseerde vaardigheden en niet zozeer op vloeibare intelligentie is (of wordt) gen-omgevingscorrelatie groter voor gekristalliseerde vaardigheden dan voor vloeibare intelligentie. Hierdoor worden in standaard gedragsgenetische modellen de erfelijkheidscoëfficiënten van gekristalliseerde vaardigheden in relatief grotere mate overschat. Uit het onderzoek bleek ook dat subtests die gekristalliseerde vaardigheden meten de hoogste ladingen op de algemene intelligentiefactor laten zien. 'Algemene intelligentie' (als statistisch construct) lijkt dus meer op 'gekristalliseerde intelligentie' dan op 'vloeibare intelligentie'.

In Hoofdstuk 4 werden vloeibare en gekristalliseerde intelligentie in verband gebracht met *groepsverschillen* in IQ scores. We onderzochten Rushton en Jensen (2010)'s redenering dat als groepsverschillen (bijvoorbeeld, raciale of etnische verschillen) het grootst zijn op de subtests die de hoogste erfelijkheidscoëfficiënten en *g*-ladingen vertonen, dat dit impliceert dat de bron van de groepsverschillen genetisch is. Deze redenering is gebaseerd op Jensen (1998)'s (methodologisch zwakke) 'methode van gecorreleerde vectoren'. We concluderen dat zelfs als onderzoekers deze methode als valide methode accepteren, voorgaande conclusie toch invalide is, omdat die conclusie gebaseerd is op drogredenerie, namelijk op *een conclusie trekken uit het gevolg van die conclusie*. We tonen analytisch aan dat groepsverschillen in intelligentie ook het grootst kunnen zijn op de subtests die de hoogste erfelijkheidscoëfficiënten en *g*-ladingen vertonen indien groepsverschillen geheel toe te schrijven is aan verschillen in omgeving. Daarnaast laten we empirisch zien dat raciale (blank-zwart) verschillen het meest uitgesproken zijn op de meest cultureel geladen subtests (gekristalliseerde vaardigheden). Deze resultaten zijn in strijd met eerdere uitspraken van Rushton en Jensen (zie bijvoorbeeld, Rushton & Jensen, 2005). Eerder voorspelden en beweerden zij dat deze verschillen juist het kleinst zijn op de meest cultureel geladen tests. De dominante intelligentietheorieën hebben dus moeite de empirische resultaten te verklaren omdat deze aangeven dat groepsverschillen in *g* (of *Gf*), het meest uitgesproken zullen zijn op de minst cultureel geladen tests (welke vloeibare intelligentie meten).

Hoofdstuk 5 (waarvan gedeelten zijn gepubliceerd als Kan, Kievit, Dolan, & van der Maas, 2011) betreft de nadere interpretatie van gekristalliseerde intelligentie. Uit een overzicht van de investeringstheorie, blijkt dat gekristalliseerde intelligentie dient worden opgevat als een constructivistische variabele, dat wil zeggen als een statistisch samenvatting (van hoeveelheid kennis). Deze interpretatie wijkt af van de interpretatie van de CHC factoren als representerend individuele verschillen in onderliggende cognitieve capaciteiten. We stelden voor om factor *Gc* te schrappen uit het CHC-model. We lieten zien dat dit rechtmatig kan worden gedaan aangezien in een heranalyse van een representatieve dataset waarop het CHC-model is gebaseerd, de factor *Gc* - zoals voorspeld - overbodig was daar deze statistisch equivalent was aan *verbale capaciteit*. In de analyse bleek *g* eveneens overbodig, daar deze variabele statistisch equivalent was aan de variabele vloeibare intelligentie (*Gf*). We stelden voor om ook *g* als verklarende variabele uit het CHC-model te verwijderen. De grootte van de correlatie tussen *Gf* en *g* is waarschijnlijk een functie van steekproefheterogeniteit met betrekking tot culturele achtergrond (Kvist & Gustafsson, 2007). In homogene groepen met betrekking tot cultuur, onderwijs en ontwikkeling, zullen de correlaties tussen enerzijds *Gc* en verbale capaciteit en anderzijds tussen *g* en *Gf* (redeneervermogen) naderen tot een waarde van +1.



In Hoofdstuk 6 richtten we ons op de vraag of de huidige intelligentietheorieën (*g* theorie, investeringstheorie, ‘sampling’ theorie, en wederzijdse-interactie-theorieën) in staat zijn de intrigerende bevinding te verklaren dat de meest cultureel afhankelijk intelligentietests de hoogste erfelijkheidscoëfficiënten en de hoogste *g*-ladingen vertonen. Geconcludeerd werd dat ze dat (op zichzelf) niet kunnen. Dit impliceert dat de besproken theorieën niet verklaren hoe raciale groepsverschillen het meest uitgesproken zijn op de meest cultureel afhankelijke, hoogst erfelijke, hoogst geladen vaardigheden.

Het proefschrift eindigde met een algemene discussie (Hoofdstuk 7), waarin we een geïntegreerd model van algemene intelligentie presenteren, gebaseerd op het mutualisme model van der Maas et al (2006). Het model omarmt het voornaamste idee van investeringstheorie, namelijk dat individuele verschillen in cognitieve processen - vloeibare vaardigheden - leiden tot verschillen in kennis en vaardigheden - gekristalliseerde vaardigheden. Dickens & Flynn's (2001, Dickens, 2008) idee van een sociale vermenigvuldiger is eveneens opgenomen. Dit idee houdt in dat in onze cultuur mensen die relatief goed zijn in bepaalde cognitieve vaardigheden grotere kansen krijgen om deze en andere cognitieve vaardigheden verder te ontwikkelen. Verder, conform de mutualismetheorie (van der Maas et al., 2006), veronderstelden we dat cognitieve verwerking profiteert van het verwerven van kennis. In het geïntegreerde model ontbreekt een reële *g*. Genetische correlaties tussen de limiterende capaciteit kunnen aanwezig zijn, maar worden geïnterpreteerd zijnde het resultaat van wat we noemen genetische sampling (Thompson, 1951; Bartholomew et al. 2009; Anderson, 2001; Penke et al., 2007; zie Hoofdstuk 6) en niet als het gevolg van algemene genetische invloeden (Kovas & Plomin, 2006). Simulaties met het model gaven resultaten die in overeenstemming zijn met de bevinding dat individuele verschillen het meest uitgesproken zijn op de meest cultureel afhankelijk subtests, welke de hoogste erfelijkheidscoëfficiënten en hoogste *g*-ladingen vertonen. Het effect werd toegeschreven aan verschillen in gen-omgevings-effecten tijdens de cognitieve ontwikkeling. Meer specifiek, de erfelijkheidscoëfficiënten van gekristalliseerde vaardigheden bevatten in grotere mate gen-omgevingscorrelatie dan de erfelijkheidcoëfficiënten van vloeibare vaardigheden (zoals we in Hoofdstuk 3 hypothetiseerden).

### **Algemene Conclusie en Discussie**

De belangrijkste conclusies van dit proefschrift zijn als volgt. Ten eerste, hoewel het nog steeds niet mogelijk is te bepalen of een realistische, onderliggende *g* aanwezig is of niet, kunnen we opmaken dat de huidige *g* theorieën ontoereikend zijn in het verklaren van belangrijke empirische bevindingen uit gedragsgenetisch intelligentieonderzoek. Naast het individuele-verschillenperspectief dat ze reeds bezitten, behoeven ze een ontwikkelingsperspectief. De rol van de dynamische wisselwerking tussen genetische en omgevingsfactoren die aanwezig is tijdens de cognitieve ontwikkeling dient expliciet te worden gemaakt en ook als zodanig te worden gemodelleerd. Ten tweede, het gebruik van formele modellen is belangrijk in intelligentieonderzoek. Gebruik van zulke modellen kan wetenschappers helpen bij onderzoek naar gecombineerde effecten. Het afsluitende hoofdstuk gaf een voorbeeld van dit soort formeel onderzoek, door specifieke hypothesen in het mutualisme model in te brengen die gezamenlijk de relaties tussen subtests' *g*-ladingen, culturele ladingen, en erfelijkheidscoëfficiënten zouden moeten verklaren en dat ook deden. Ten derde, het mutualisme model voor intelligentie is uitermate geschikt voor dit soort formeel onderzoek, daar het mutualismemodel het (gebruikelijke) individuele verschillenperspectief combineert met het (veelal ontbrekende) ontwikkelingsperspectief, zoals we in de introductie bepleitten. Op deze manier zullen bevindingen uit de intelligentieliteratuur hopelijk beter worden begrepen. Zoals de geschiedenis van de wetenschap laat zien, leidt beter begrip eindelijk tot betere voorspellingen en tot effectievere interventies. Beter begrip staat gelijk aan betere theorie.