



| | | | |
|----|-----------------------|----|----------------------------------|
| 1 | one inch + \hoffset | 2 | one inch + \voffset |
| 3 | \oddsidemargin = 22pt | 4 | \topmargin = 22pt |
| 5 | \headheight = 12pt | 6 | \headsep = 19pt |
| 7 | \textheight = 595pt | 8 | \textwidth = 360pt |
| 9 | \marginparsep = 7pt | 10 | \marginparwidth = 106pt |
| 11 | \footskip = 27pt | | \marginparpush = 5pt (not shown) |
| | \hoffset = 0pt | | \voffset = 0pt |
| | \paperwidth = 597pt | | \paperheight = 845pt |



- | | | | |
|----|-------------------------------------|----|---|
| 1 | <code>one inch + \hoffset</code> | 2 | <code>one inch + \voffset</code> |
| 3 | <code>\evensidemargin = 70pt</code> | 4 | <code>\topmargin = 22pt</code> |
| 5 | <code>\headheight = 12pt</code> | 6 | <code>\headsep = 19pt</code> |
| 7 | <code>\textheight = 595pt</code> | 8 | <code>\textwidth = 360pt</code> |
| 9 | <code>\marginparsep = 7pt</code> | 10 | <code>\marginparwidth = 106pt</code> |
| 11 | <code>\footskip = 27pt</code> | | <code>\marginparpush = 5pt (not shown)</code> |
| | <code>\hoffset = 0pt</code> | | <code>\voffset = 0pt</code> |
| | <code>\paperwidth = 597pt</code> | | <code>\paperheight = 845pt</code> |

Der Zusammenhang zwischen Spatial-Suppression, Mental-Speed und psychometrischer Intelligenz

Inauguraldissertation

der Philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der
Universität Bern zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von
Philipp Thomas
aus St. Gallen

Bern, Januar 2017

Originaldokument gespeichert auf dem Webserver der Universitätsbibliothek Bern.



Dieses Werk ist unter einem Creative Commons Namensnennung - Keine kommerzielle Nutzung - Keine Bearbeitung 2.5 Schweiz Lizenzvertrag lizenziert. Um die Lizenz anzusehen, gehen Sie bitte zu <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ch> oder schicken Sie einen Brief an Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Urheberrechtlicher Hinweis <- **NEUE SEITE :)**

Dieses Dokument steht unter einer Lizenz der Creative Commons Namensnennung -
Keine kommerzielle Nutzung - Keine Bearbeitung 2.5 Schweiz.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ch>

Sie dürfen dieses Werk zu den folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen:



Namensnennung. Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen (wodurch aber nicht der Eindruck entstehen darf, Sie oder die Nutzung des Werkes durch Sie würden entlohnt).



Keine kommerzielle Nutzung. Dieses Werk darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden.



Keine Bearbeitung. Dieses Werk darf nicht bearbeitet oder in anderer Weise verändert werden.

Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen die Lizenzbedingungen, unter welche dieses Werk fällt, mitteilen. Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten. Diese Lizenz lässt die Urheberpersönlichkeitsrechte nach Schweizer Recht unberührt.

Eine ausführliche Fassung des Lizenzvertrags befindet sich unter <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ch/legalcode.de>.

Zusammenfassung

DGP Richtlinien weisen auf folgende Punkte hin:

- *Vollständigkeit*
- *Genauigkeit*
- *Objektivität*
- *Kürze*
- *Verständlichkeit*
- Trotz Kürze sollte über die zu prüfenden psychologischen Hypothesen, die Methode, die Ergebnisse und die Interpretation informiert werden

Generelle Hinweise:

- Fragestellung und die zu prüfenden Hypothesen sollten dargestellt werden
- Zentrale Merkmale der Teilnehmer sollen angegeben werden (Anzahl, Alter, Geschlecht)
- Die experimentelle Methode inklusive verwendeter Apparaturen und Formen der Datenerhebung
- Zentrale Befunde angeben
- Schlussfolgerung aus den Befunden inklusive deren Bedeutung für die psychologische Hypothese

Inhalte

| | |
|---|------------|
| Danksagung | vii |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Konzept der allgemeinen Intelligenz | 1 |
| 1.2 Kognitive Korrelate von Intelligenz | 4 |
| 1.2.1 Der Mental-Speed-Ansatz | 5 |
| 1.2.2 Der Spatial-Suppression-Ansatz | 8 |
| 1.3 Messung kognitiver Prozesse | 13 |
| 1.3.1 Ausgangslage | 13 |
| 1.3.2 Lösungsansätze | 14 |
| 1.4 Fragestellungen | 19 |
| Literatur | 25 |

Danksagung

Diese Arbeit ist das Produkt meiner dreijährigen Forschungstätigkeit. Mein Dank gilt allen Personen, die mit ihrer Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Namentlich möchte ich mich bei Herr Prof. Dr. Stefan Troche bedanken, der mir mit zahlreichen Tipps und Hinweisen geholfen hat, und mit seinen.

Prof. Dr. Thomas Rammsayer möchte ich für zu jeder Zeit als Ansprechperson zur Verfügung stand seine zahlreichen Tipps und Anregungen bezüglich

Prof. Dr. Duje Tadin

Philipp Thomas

31. Dezember 2016

1 Einleitung

1.1 Konzept der allgemeinen Intelligenz


Die Annahme eines Generalfaktors der Intelligenz, kurz g -Faktor genannt, stellt eine der einflussreichsten Ideen in der Psychologie dar. [Spearman \(1904, 1927\)](#) machte mit seinen Untersuchungen zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts die Entdeckung, dass zwischen Tests zur Erfassung kognitiver Leistung positive Zusammenhänge bestanden. Diesen sogenannten *positive manifold* erklärte [Spearman](#) mit dem g -Faktor seiner Zwei-Faktoren-Theorie. Gemäss der Zwei-Faktoren-Theorie setzt sich eine kognitive Leistung aus zwei unabhängigen Anteilen zusammen: dem g -Faktor, der alle Bereiche intellektueller Fähigkeit beeinflusst, und einem spezifischen Faktor (s), der das Spezifische einer kognitiven Leistung repräsentiert und keiner anderen kognitiven Leistung gemeinsam ist. Weil die verschiedenen spezifischen Faktoren gemäss der Zwei-Faktoren-Theorie ebenfalls unabhängig voneinander sind, kann der positive manifold zwischen verschiedenen Tests folglich nur aufgrund des g -Faktors zustande kommen. Individuelle Differenzen in der allgemeinen Fähigkeit, kognitive Leistung zu erbringen, sind somit auf individuelle Unterschiede auf dem g -Faktor zurückzuführen.

Es folgte eine jahrzehntelange Auseinandersetzung unter Forschern, ob der g -Faktor, wie ihn [Spearman](#) annahm, existiert oder nicht. So sah zum Beispiel [Thurstone \(1938\)](#) den g -Faktor vielmehr als die Folge von mehreren, relativ unabhängigen mentalen Fähigkeiten. Andere Modelle wie das von [Vernon \(1950\)](#), das von [Cattell \(1971\)](#) oder das von [Jäger \(1984\)](#) postulierten eine hierarchische Struktur mit spezifischen Fähigkeiten auf tieferer Ebene und dem g -Faktor auf höchster Ebene. Die Vielzahl an unterschiedli-

chen Auffassungen und Modellen von Intelligenz veranlasste [Carroll \(1993\)](#) dazu, eine umfassende, metaanalytisch begründete Taxonomie der menschlichen kognitiven Fähigkeiten zu entwickeln. Er reanalysierte dafür nahezu alle Datensätze, die für die Entwicklung früherer Modelle verwendet wurden und versuchte ein Modell zu finden, das den Daten am besten entsprach. Seine Ergebnisse formulierte [Carroll](#) in der Three-Stratum-Theorie (TS-Theorie). Das faktorenanalytisch bestimmte Modell unterscheidet zwischen drei Ebenen kognitiver Fähigkeiten, die in der TS-Theorie als Schichten bezeichnet werden. Die erste Schicht beinhaltet 69 spezifische kognitive Fähigkeiten. Diese 69 spezifischen Fähigkeiten können in der zweiten Schicht acht übergeordneten Faktoren zugewiesen werden: fluide Intelligenz (Gf), kristalline Intelligenz (Gc), allgemeines Gedächtnis und Lernen (Gy), allgemeine visuelle Wahrnehmung (Gv), allgemeine akustische Wahrnehmung (Gu), allgemeine Zugriffsfähigkeit (Gr), allgemeine kognitive Geschwindigkeit (Gs) und Verarbeitungsgeschwindigkeit (Gt). Auf höchster Hierarchiestufe lässt sich der *g*-Faktor wiederfinden, welcher aus der dritten Schicht alle kognitiven Fähigkeiten beeinflusst. [Carroll](#) stellte mit der TS-Theorie eine wichtige Integration bestehender Modelle dar. Sie vereint viele der bis dahin postulierten Modellstrukturen und Differenzierungsgrade, mit der Intelligenz betrachtet werden kann, namentlich die Idee des *g*-Faktors ([Spearman, 1904, 1927](#)), die mehreren Faktoren von [Thurstone \(1938\)](#), Gf und Gc aus dem Modell von [Cattell \(1971\)](#) und den hierarchischen Aufbau wie er zum Beispiel in den Modellen von [Vernon \(1950\)](#) oder [Jäger \(1984\)](#) zu finden ist (für eine Erweiterung der TS-Theorie siehe [McGrew, 2005, 2009](#)).

Alternative Theorien, welche die positiven Zusammenhänge zwischen verschiedenen Tests zur Erfassung von kognitiver Leistung nicht mit dem *g*-Faktor erklären, sind selten. So geht zum Beispiel das Bond-Modell ([Thomson, 1916](#)) davon aus, dass das Bearbeiten einer kognitiven Aufgabe spezifische Module (kognitive Prozesse, sogenannte *bonds*) benötigt, die unkorreliert sind. Werden die Module während der Erfassung kognitiver Fähigkeiten mit unterschiedlichen Tests aktiviert, kann es vorkommen, dass ein Modul von mehreren Tests beansprucht wird. Ein Modul fließt folglich in die Leistung mehrerer Tests ein, was schlussendlich zu positiven Korrelationen zwischen verschiedenen Tests führen kann. Unter dieser Betrachtungsweise stellt

der g -Faktor somit ein Artefakt dar, das auf die unzureichende Messgüte von kognitiven Tests zurückzuführen ist (für eine Gegenüberstellung zwischen dem g -Faktor und dem Bond-Modell siehe [Bartholomew, Allerhand & Deary, 2013](#)). Die Mutualism-theory-of- g ([van der Maas et al., 2006](#)) erklärt die positiven Zusammenhänge zwischen kognitiven Tests auf eine andere Weise. Die Theorie geht davon aus, dass kognitive Prozesse zu Beginn ihrer Entwicklung unabhängig sind. Mit zunehmender Ausbildung der kognitiven Prozesse entwickeln sich allerdings reziproke vorteilhafte Abhängigkeiten zwischen einzelnen Prozessen, womit sich positive Zusammenhänge zwischen kognitiven Tests ebenso gut erklären lassen wie mit dem g -Faktor. [Gignac \(2014, 2016\)](#) zeigte mit seinen kürzlich erschienen Untersuchungen jedoch, dass der g -Faktor zum jetzigen Zeitpunkt die zu bevorzugende Erklärung für das Auftreten des positive manifold ist.



wieso?

Um den g -Faktor aus einer Korrelationsmatrix kognitiver Tests zu extrahieren, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein ([Jensen, 1998a](#), S. 73). Zum einen muss die Anzahl kognitiver Tests genügend gross sein, damit der extrahierte Faktor reliabel ist, und zum anderen muss eine genügend grosse Bandbreite unterschiedlicher Tests kognitiver Fähigkeiten verwendet werden. Der g -Faktor tritt dann unabhängig von der eingesetzten Testbatterie auf ([Johnson, Bouchard, Krueger, McGue & Gottesman, 2004](#); [Johnson, te Nijenhuis & Bouchard, 2008](#)). Weiter haben Untersuchungen gezeigt, dass der g -Faktor von der eingesetzten faktorenanalytischen Methode (Hauptachsen- oder Hauptkomponentenanalyse) so gut wie nicht beeinflusst wird ([Jensen & Weng, 1994](#); [Ree & Earles, 1991](#)). Diese Robustheit des g -Faktors gegenüber der eingesetzten Testbatterie und der verwendeten Analyseverfahren lässt sich gut mit der Annahme vereinen, dass der g -Faktor die allgemeine Fähigkeit widerspiegelt, kognitive Leistung zu erbringen ([Spearman, 1904, 1927](#)).

Mit zahlreichen Untersuchungen zur Kriteriumsvalidität des g -Faktors wurde seine Bedeutsamkeit belegt. So konnten zum Beispiel zwischen dem g -Faktor und der Lernfähigkeit ([Christal, 1991](#)), der schulischen Leistung ([Jensen, 1998a](#)) oder der beruflichen Leistung ([Schmidt & Hunter, 2004](#)) Zusammenhänge beobachtet werden. Aber auch mit generelleren Variablen wie der Gesundheit, dem Sozialverhalten, der Straffälligkeit, der Neigung zu Rassismus oder Alkoholismus konnten Zusammenhänge festgestellt werden.

(für eine Übersicht siehe [Brand, 1987](#)). Neben diesen Beispielen für die praktische Bedeutsamkeit des Konzepts der allgemeinen Intelligenz kommt dem g -Faktor eine zentrale Rolle zu, wenn es um die Bestimmung der kognitiven Grundlagen für Intelligenzunterschiede geht (siehe Abschnitt 1.2).

Bis hierhin wurde ausschliesslich von der allgemeinen Intelligenz und deren Erfassung mittels dem g -Faktor gesprochen. Für den weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit ist es hilfreich zu definieren, wofür die beiden Begriffe stehen, in welchem Kontext sie verwendet werden und wie sie sich von verwandten Begriffen unterscheiden (für eine ähnliche Begriffsverwendung siehe [Rabaglia, Marcus & Lane, 2011](#)): *Intelligenz* oder *allgemeine Intelligenz* bezieht sich in der vorliegenden Arbeit auf die globale Fähigkeit einer einzelnen Person, kognitive Leistung zu erbringen. Sie beschreibt ein hypothetisches Konstrukt, welches nicht direkt erfasst werden kann. Der Begriff *psychometrische Intelligenz* hingegen wird immer dann verwendet, wenn damit ein aus einem Intelligenztest abgeleiteter Testwert gemeint ist. Er kann sich sowohl auf einen (manifesten) IQ- beziehungsweise Summenwert als auch auf den (latenten) g -Faktor beziehen (die beiden Werte sind stark korreliert, siehe [Jensen, 1998a](#), S. 90).

1.2 Kognitive Korrelate von Intelligenz

Auf kognitiver Ebene können Intelligenzunterschiede mit unterschiedlichen Ansätzen erklärt werden. Konstrukte wie sensorische Diskriminationsfähigkeit (z. B. [Deary, Bell, Bell, Campbell & Fazal, 2004](#); [Galton, 1883](#); [Meyer, Hagmann-von Arx, Lemola & Grob, 2010](#); [Spearman, 1904](#)), Zeitverarbeitung (z. B. [Rammsayer & Brandler, 2002](#)), Aufmerksamkeit (z. B. [Schweizer & Moosbrugger, 2004](#)) oder Arbeitsgedächtniskapazität (für eine Metaanalyse siehe [Ackerman, Beier & Boyle, 2005](#)) hängen alle mit Intelligenz zusammen und können als kognitive Grundlagen für individuelle Unterschiede in kognitiver Leistung angesehen werden.

Einer der ältesten Ansätze zur Erklärung individueller Intelligenzunterschiede stellt Mental-Speed dar, während Spatial-Suppression als einer der neusten Ansätze gilt. Diese zwei Ansätze stehen im Zentrum der vorliegenden Arbeit und werden in den folgenden Abschnitten besprochen.

flüssig?

1.2.1 Der Mental-Speed-Ansatz

Untersuchungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass Verarbeitungsgeschwindigkeit (Mental-Speed) und Intelligenz zusammenhängen (für Übersichtsarbeiten siehe [Deary, 2000](#); [Jensen, 2006](#); [Sheppard & Vernon, 2008](#)). Mental-Speed wird dabei oft mit Hilfe einer sogenannten *elementary cognitive task* (ECT) erfasst.

Eine ECT ([Carroll, 1993](#), S. 11; [Jensen, 1998a](#), S. 203–209) ist eine Aufgabe, die Personen mit genügend Zeit ohne grosse mentale Anstrengung und Erfahrung fehlerfrei lösen können. Die Stimuli sind gross abgebildet und klar erkennbar, sodass sie von allen Personen mit normalem Sehvermögen gut wahrzunehmen sind. Bei einer reaktionszeitbasierten ECT werden Personen aufgefordert, so schnell wie möglich eine Antwort abzugeben und dabei Fehler zu vermeiden. Weil das Lösen der Aufgabe nur sehr simple mentale Prozesse beansprucht, sind individuelle Strategien, die das Lösen der Aufgabe erleichtern, nicht effektiv. Unterschiede in der Reaktionszeit zwischen Personen können nur durch die Geschwindigkeit verursacht werden, mit welcher die Personen die Aufgabe verarbeiten und auf Stimuli reagieren. Beispiele für solche reaktionszeitbasierten ECTs sind die Coincidence-Timing-Aufgabe (bei welcher ein räumliches Zusammentreffen von zwei Stimuli so rasch als möglich erkannt werden muss; [Smith & McPhee, 1987](#)), die Hick-Aufgabe (zur Erfassung einfacher Reaktionszeit und der Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl; [Hick, 1952](#)), die Odd-Man-Out-Aufgabe (zur Erfassung der Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl; [Frearson & Eysenck, 1986](#)), das Short-Term-Memory-Scan-Paradigma (zur Erfassung der benötigten Zeit für einen Zugriff auf das Kurzzeitgedächtnis; [Sternberg, 1966, 1969](#)) oder die Posner-Aufgabe (zur Erfassung der benötigten Zeit für einen Zugriff auf das Langzeitgedächtnis; [Posner, Boies, Eichelman & Taylor, 1969](#)).

Eine der ältesten und am häufigsten benutzte ECT ist die Hick-Aufgabe ([Hick, 1952](#)). Die Hick-Aufgabe erfasst einfache Reaktionszeit und die Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl. Personen sitzen dafür vor einem Computermonitor und müssen so rasch als möglich mit einem Tastendruck auf einer Tastatur entscheiden, an welcher Position ein Stimulus auf dem Monitor erschienen ist. Die Bedingungen der Hick-Aufgabe unterscheiden sich dabei

durch die möglichen Positionen, an welchen der Stimulus auftreten kann. In der simpelsten Bedingung (zur Erfassung einfacher Reaktionszeit) kann der Stimulus nur an einer Position auftreten und Personen müssen so schnell wie möglich die Antworttaste drücken, sobald der Stimulus auf dem Monitor erscheint. In der zweiten, leicht komplexeren Bedingung (zur Erfassung der Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl) kann der Stimulus an zwei Positionen auftreten. Personen werden aufgefordert, beim Auftreten des Stimulus an einer der beiden Positionen so rasch als möglich die korrekte Antworttaste zu drücken. Die Komplexität der Bedingung kann beliebig bestimmt werden, indem mögliche Antwortalternativen hinzugefügt oder weggelassen werden (für eine ausführliche Beschreibung der in der vorliegenden Arbeit verwendeten Hick-Aufgabe siehe ??). Die Reaktionszeit in der Hick-Aufgabe kann für jede Person mit der linearen Funktion $\text{Reaktionszeit} = a + b \log_2 n$ beschrieben werden, wobei a durch den y-Achsenabschnitt, b durch die Steigung der Regressionsgeraden und $\log_2 n$ durch den Logarithmus zur Basis 2 der Anzahl Antwortalternativen (n) bestimmt ist (Jensen, 1987, S. 105). Der Term $\log_2 n$ wurde von Hick (1952) als *Bit* bezeichnet und entspricht derjenigen Menge an Information, welche die Entscheidung zwischen zwei gleich wahrscheinlichen Antwortalternativen ermöglicht¹ (siehe auch Jensen, 2006, S. 27). Gemäss der Erkenntnis von Hick (1952) steigt die Reaktionszeit in der Hick-Aufgabe folglich beim Hinzufügen von Antwortalternativen linear an, wenn die Anzahl Antwortalternativen in Bits ausgedrückt wird.

Für die Differentielle Psychologie wurde die Hick-Aufgabe mit der Untersuchung von Roth (1964) interessant. Er berichtete über einen Zusammenhang von $r = -.39$ zwischen der aus den Reaktionszeiten abgeleiteten Steigung (b) und psychometrischer Intelligenz. Intelligentere Personen zeigten demnach mit zunehmender Anzahl Antwortalternativen einen weniger starken Anstieg ihrer Reaktionszeit als weniger intelligente Personen. Diese ersten Resultate legten die Vermutung nahe, dass mit Intelligenztests

¹ Entsprechend dieser Definition gab das Bit den Bedingungen der Hick-Aufgabe ihre Namen: In der 0-bit-Bedingung steht eine Antwortalternative zur Verfügung ($\log_2 1 = 0$), in der 1-bit-Bedingung zwei Antwortalternativen ($\log_2 2 = 1$), in der 2-bit-Bedingung vier Antwortalternativen ($\log_2 4 = 2$) und in der 2.58-bit-Bedingung stehen sechs Antwortalternativen zur Verfügung ($\log_2 6 = 2.58$), usw.

erfasste Unterschiede in komplexer kognitiver Leistung mitunter von der Geschwindigkeit abhängen, mit der Information verarbeitet wird. Während [Roth](#) keinen Zusammenhang zwischen dem y-Achsenabschnitt (a) und psychometrischer Intelligenz feststellte, haben spätere Untersuchungen dann gezeigt, dass auch der y-Achsenabschnitt negativ mit psychometrischer Intelligenz zusammenhängt (z. B. [Jensen, 1982b, 1987](#); [Neubauer & Knorr, 1997](#); [Neubauer, Riemann, Mayer & Angleitner, 1997](#)). Intelligentere Personen zeigten folglich kürzere einfache Reaktionszeiten als weniger intelligente Personen. Im Gegensatz zur Steigung, welche die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Informationen abbildet ([Jensen, 1998b](#); [Roth, 1964](#)), wird beim y-Achsenabschnitt angenommen, dass er ein Mass für die Zeitdauer ist, welche sensorische und motorische Prozesse benötigen, um den Reiz im Kortex wahrzunehmen und die Muskeln über efferente Nerven anzusteuern ([Jensen, 1998b](#)).

Neben dem negativen Zusammenhang zwischen diesen regressionsanalytisch abgeleiteten Aufgabenparametern und psychometrischer Intelligenz hängen sämtliche Reaktionszeiten der Hick-Aufgabe negativ mit psychometrischer Intelligenz zusammen ($r = -.22$ bis $-.40$; [Sheppard & Vernon, 2008](#)). Zusätzlich wurde beobachtet, dass der negative Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit und psychometrischer Intelligenz stärker wird, je mehr Antwortalternativen zur Verfügung stehen ([Vernon & Jensen, 1984](#)). Komplexere Bedingungen hängen demnach stärker mit Intelligenz zusammen als weniger komplexe Bedingungen und intelligentere Personen zeigen tendenziell kürzere Reaktionszeiten als weniger intelligente Personen ([Sheppard & Vernon, 2008](#)).

Erklärt wurde der Zusammenhang zwischen Mental-Speed und Intelligenz unter anderem mit Eigenschaften des Kurz- und Arbeitsgedächtnisses (z. B. [Jensen, 1982a, 1982b, 2006](#); [Vernon, 1983](#)). Die Kapazität dieser beiden Speicher ist begrenzt und aufgenommene respektive zu verarbeitende Information zerfällt ohne Aktualisierung oder Überführung ins Langzeitgedächtnis ([Baddeley, Eysenck & Anderson, 2009](#)). Je schneller nun ein kognitiver Prozess abläuft und daraus eine Aktion abgeleitet wird (sei das die Überführung der Information in das Langzeitgedächtnis oder eine Antwortabgabe), umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Kapazitätsgrenze der Spei-

cher erreicht wird und Information verloren geht (Jensen, 2006). Eine Person mit tiefem Mental-Speed stösst bei einer komplexen kognitiven Aufgabe (wie sie im Rahmen eines Intelligenztests vorgelegt wird) schneller an den Punkt, an welchem Information im Arbeitsgedächtnis verloren geht und neu aufgenommen werden muss (Lehrl & Fischer, 1988, 1990). Umgekehrt hilft hoher Mental-Speed dabei, eine Aktion abzuleiten, bevor die Menge an Information die Kapazitätsgrenze erreicht respektive der Zerfall von Information einsetzt.

Andere Autoren erklären den Zusammenhang zwischen Mental-Speed und Intelligenz mit biologischen Bottom-Up-Mechanismen. So gehen Bates (1995), Hendrickson und Hendrickson (1980) oder Reed und Jensen (1992) davon aus, dass intelligentere Personen Informationen neuronal effizienter verarbeiten. E. M. Miller (1994) vermutet, dass die Myelinisierung der Neuronen die Ursache für den Zusammenhang ist, während Garlick (2002) die höhere neuronale Plastizität von intelligenteren Personen für die Beziehung verantwortlich sieht. Ungeachtet dieser verschiedenen Erklärungsmöglichkeiten für den Zusammenhang zwischen Mental-Speed und Intelligenz kann festgehalten werden, dass zwischen der Geschwindigkeit, mit der Information verarbeitet wird, und komplexer kognitiver Leistung eine bedeutsame Verbindung besteht (sowohl auf manifester als auch auf latenter Ebene, siehe Neubauer & Bucik, 1996; Sheppard & Vernon, 2008).

1.2.2 Der Spatial-Suppression-Ansatz

Das Phänomen der Spatial-Suppression wurde von Tadin, Lappin, Gilroy und Blake (2003) unabhängig von Intelligenz beschrieben. Tadin et al. (2003) untersuchten, mit welcher zeitlichen Dauer ein sich horizontal bewegendes Streifenmuster präsentiert werden muss, damit die Bewegungsrichtung des Musters korrekt wahrgenommen wird. Sie haben dafür Personen vor einen Computermonitor gesetzt und ihnen für eine kurze Zeit im Millisekundenbereich (beispielsweise 100 ms) ein rundes, vertikal gestreiftes Muster dargeboten. Die vertikalen Streifen des Musters bewegten sich im Zentrum ihres Sehfelds nach links oder nach rechts. Nach der Darbietungszeit konnte jede Person ohne Zeitdruck entscheiden, ob sich die Streifen nach links oder nach rechts bewegt haben. Bei einer korrekten Antwort verkürzte sich die Darbie-

tungszeit und bei einer falschen Antwort erhöhte sich die Darbietungszeit des nächsten Musters. [Tadin et al. \(2003\)](#) haben unterschiedliche Mustergrößen verwendet und konnten so nach mehreren Durchgängen für jede Mustergrösse eine Erkennungsschwelle schätzen. Die Erkennungsschwelle widerspiegelt diejenige Zeit, mit der ein Muster präsentiert werden muss, damit die Person die Bewegungsrichtung des Musters (in 82 % der Durchgänge) korrekt erkennt (für eine ausführliche Beschreibung der Aufgabe siehe ??). [Tadin et al. \(2003\)](#) haben mit Erstaunen festgestellt, dass die Bewegungsrichtung mit zunehmender Grösse des Streifenmusters schwieriger zu erkennen war. Für die Erkennung der horizontalen Bewegungsrichtung von kleinen Mustern wurde folglich weniger Zeit benötigt, als für die Erkennung der horizontalen Bewegungsrichtung von grossen Mustern. Dieses perzeptuelle Phänomen wurde von [Tadin et al. \(2003\)](#) Spatial-Suppression genannt.

[Tadin et al. \(2003\)](#) erklärten ihre Beobachtung mit dem bewegungsbezogenen Zentrum-Umfeld-Antagonismus von Neuronen im mediotemporalen Areal (MT-Areal) des Okzipitallappens ([Allman, Miezin & McGuinness, 1985](#)). Der Okzipitallappen ist der hinterste Teil des Grosshirns und beinhaltet den visuellen Kortex, der die visuelle Wahrnehmung ermöglicht. Das MT-Areal ist Teil des visuellen Kortex und ist auf die Verarbeitung von Bewegungsinformation spezialisiert. Es beinhaltet viele bewegungssensitive Neuronen, welche die Wahrnehmung von Bewegung ermöglichen ([Goldstein, 2015](#)). Das Zentrum und das Umfeld eines bewegungssensitiven Neurons im MT-Areal reagieren entgegengesetzt ([Allman et al., 1985](#)): Fällt eine Bewegung auf das erregende Zentrum des Neurons, reagiert die Zelle mit einer erhöhten Feuerungsrate. Wird bei einer Bewegung auch das hemmende Umfeld des Neurons stimuliert, führt der Zentrum-Umfeld-Antagonismus dazu, dass sich die Feuerungsrate des Neurons reduziert. Die Zelle reagiert folglich maximal bei einer Bewegung, die auf das Zentrum des rezeptiven Felds fällt und minimal, wenn die Bewegung das Umfeld des rezeptiven Felds stimuliert. Einen starken Hinweis für die Beteiligung des MT-Areals am Phänomen Spatial-Suppression lieferte einige Jahre später eine Untersuchung, die mit transkranieller Magnetstimulation Neuronen im MT-Areal gehemmt hat ([Tadin, Silvanto, Pascual-Leone & Battelli, 2011](#)). Dabei hat sich eine direkte Abhängigkeit zwischen Bewegungswahrnehmungsleistung und Hem-

mung der Neuronen gezeigt. Die Hemmung der Neuronen mittels transkranieller Magnetstimulation führte verglichen mit der Kontrollbedingung zu einer besseren Erkennung der Bewegungsrichtung von grossen Streifenmustern, weil der Zentrum-Umfeld-Antagonismus bewegungssensitiver Neuronen gehemmt wurde (Tadin et al., 2011). Diese Resultate können als Beleg dafür gesehen werden, dass den Neuronen im MT-Areal eine zentrale Funktion beim Phänomen der Spatial-Suppression zuzuschreiben ist.

Mit Intelligenz in Verbindung gebracht wurde Spatial-Suppression von Melnick, Harrison, Park, Bennetto und Tadin (2013). Das Ausmass an Spatial-Suppression wurde von Melnick et al. mit dem Suppression-Index quantifiziert, wobei dieser als Differenz zwischen der Erkennungsschwelle für grosse Muster und der Erkennungsschwelle für kleine Muster gebildet wurde.

Eine stark ausgeprägte Spatial-Suppression ist somit mit einem hohen Suppression-Index verbunden, welcher für eine starke Verschlechterung der Wahrnehmungsleistung bei zunehmender Mustergrösse steht (Melnick et al., 2013).

gut so?

Melnick et al. berichteten über stark positive Zusammenhänge zwischen dem Suppression-Index und psychometrischer Intelligenz (Studie 1 [$N = 12$]: $r = .64$ und Studie 2 [$N = 53$]: $r = .71$). Diese Korrelationen kamen durch zwei Effekte zustande. Zum einen benötigten intelligentere Personen weniger Zeit, um die Bewegungsrichtung eines kleinen Musters zu erkennen und zum anderen zeigten intelligentere Personen mit zunehmender Mustergrösse eine stärkere Verschlechterung ihrer Wahrnehmungsleistung. Keiner dieser beiden Effekte war in der Lage, den aufgetretenen Zusammenhang zwischen dem Suppression-Index und psychometrischer Intelligenz alleine zu erklären. Sowohl die rasche Verarbeitung der Bewegungsrichtung von kleinen Mustern als auch die verminderte Fähigkeit, die Bewegungsrichtung von grossen Mustern zu erkennen, stellten wichtige Bestandteile des Suppression-Index dar.

Warum korrelierte der Suppression-Index deutlich stärker (Studie 1: $r = .64$ und Studie 2: $r = .71$; Melnick et al., 2013) als herkömmliche Mental-Speed-Masse ($r = -.24$; Sheppard & Vernon, 2008) mit psychometrischer Intelligenz? Diesen vergleichsweise starken Zusammenhang erklärten Melnick et al. (2013) mit den zwei Bestandteilen des Suppression-Index,

(1) der Geschwindigkeit der Verarbeitung kleiner Muster und (2) der Verschlechterung der Wahrnehmungsleistung bei zunehmender Mustergrösse. Die schnellere Verarbeitung von kleinen Mustern bei intelligenteren Personen lässt sich in Übereinstimmung mit dem Mental-Speed-Ansatz (siehe Unterabschnitt 1.2.1) erklären. Die stärkere Verschlechterung der Wahrnehmungsleistung bei intelligenteren Personen hingegen beherbergt einen Aspekt, der auf den ersten Blick kontraintuitiv erscheint: Warum sollten intelligenter Personen mit zunehmender Mustergrösse eine stärkere Wahrnehmungsver-schlechterung erfahren als weniger intelligente Personen, wo sich doch die Wahrnehmungsleistung in der Regel mit zunehmender Stimulusgrösse verbessert (Anderson & Burr, 1987; Henrie & Shapley, 2001)? Die Antwort auf diese Frage liefern Untersuchungen, die an Primaten gezeigt haben, dass eine Bewegung, die auf das erregende Zentrum eines Neurons im MT-Areal fällt, mit der Wahrnehmung von Objekten in Verbindung steht, während eine Bewegung, die auch das hemmende Umfeld des Neurons stimuliert, mit der Bewegung eines Hintergrunds assoziiert wird (Born, Groh, Zhao & Lukase-wycz, 2000; Churan, Khawaja, Tsui & Pack, 2008; Regan, 2000). Ein stark ausgeprägter Zentrum-Umfeld-Antagonismus hilft folglich dabei, Bewegung in bestimmte Bereiche oder Objekte zu trennen –das heisst, sie perzeptuell zu segmentieren (Braddick, 1993). Melnick et al. argumentieren, dass die schnelle Verarbeitung relevanter Information und Unterdrückung irrelevanter Information sowohl in der visuellen Wahrnehmung (Trennung zwischen bewegtem Objekt und Hintergrund; siehe Born et al., 2000; Churan et al., 2008) als auch bei der Erbringung komplexer kognitiver Leistung (Aufmerksamkeitslenkung auf relevante Information und Unterdrückung von Interferenzen; siehe Burge-ss, Gray, Conway & Braver, 2011; Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999; Zanto & Gazzaley, 2009) vorteilhaft ist. Die schnelle Verarbeitung relevanter Information bei gleichzeitiger Unterdrückung irrelevanter Information sehen Melnick et al. als eine für das Funktionieren des Menschen wichtige Fähigkeit an. Weil der Suppression-Index genau diese Fähigkeit durch die Erfassung von Mental-Speed und der Ausbildung des Zentrum-Umfeld-Antagonismus quantifiziert, besteht gemäss Melnick et al. zwischen dem Suppression-Index und psychometrischer Intelligenz ein stärkerer Zusammenhang als zwischen herkömmlichen Mental-Speed-Massen und psychometrischer Intelligenz.

komma?

Ausmass?

Der Spatial-Suppression-Ansatz zur Erklärung individueller Intelligenzunterschiede (Melnick et al., 2013) bietet eine interessante Erweiterungsmöglichkeit, wenn es um die Bestimmung der kognitiven Grundlagen für Intelligenzunterschiede geht. Er weist aber auch einige Stellen auf, die anfechtbar oder klärungsbedürftig sind. (1) Der Spatial-Suppression-Ansatz beruht auf einer einzigen Untersuchung, die mit kleinen Stichproben gearbeitet hat (Studie 1: $N = 12$ und Studie 2: $N = 53$; Melnick et al., 2013). Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass Stichprobenfehler die Zusammenhänge beeinflusst haben. Um Spatial-Suppression als Prädiktor von psychometrischer Intelligenz zu festigen, bedarf es einer Bestätigung der Resultate von Melnick et al. (2013) mit einer grossen Stichprobe. (2) Mit dem Suppression-Index liegt eine Variable vor, die als Differenz zwischen zwei Erkennungsschwellen gebildet wurde (Melnick et al., 2013; Tadin et al., 2006, 2011). Dabei wurde nicht berücksichtigt, dass Differenzmasse unter bestimmten, in empirischen Untersuchungen oft vorliegenden Bedingungen problematisch sind: Weist der Minuend beziehungsweise der Subtrahend keine perfekte Reliabilität auf und hängen sie zusammen, reduziert sich die Reliabilität des Differenzmasses. Beträgt beispielsweise die Reliabilität des Minuends $r_{xx} = .80$, die Reliabilität des Subtrahends $r_{yy} = .80$ und die Korrelation von Minuend und Subtrahend $r_{xy} = .50$, reduziert sich die Reliabilität der Differenz auf $r_{DD} = .60$ (Murphy & Davidshofer, 2005, S. 145). Wird der Suppression-Index als Differenzmasse gebildet, kann folglich nicht ausgeschlossen werden, dass ein verhältnismässig wenig reliables Mass vorliegt. Um valide Schlussfolgerungen über den Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz zu treffen, wäre ein alternatives Mass zur Quantifizierung von Spatial-Suppression (das nicht auf einer Differenz beruht) dem Suppression-Index vorzuziehen. (3) Aufschlussreich wäre zudem eine Analyse des Zusammenhangs zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz auf latenter Ebene. Melnick et al. haben bereits in ihrer Untersuchung darauf hingewiesen, dass eine Analyse zwischen Variablen auf latenter Ebene der Analyse auf manifester Ebene vorzuziehen ist, weil sie die der manifesten Korrelationen zugrunde liegende Beziehung zutage bringt. Damit wäre gleichzeitig die Problematik der Differenzbildung zur Ableitung des Suppression-Index angegangen, was ebenfalls zu valideren Schlussfolge-

rungen beitragen kann. (4) Darüber hinaus lässt eine Analyse auf latenter Ebene zu, die an der Beobachtung von [Melnick et al.](#) beteiligten kognitiven Prozesse mithilfe sogenannter Fixed-Links-Modelle (z. B. [Schweizer, 2006a, 2006b, 2007, 2008, 2009](#)) auf statistischer Ebene voneinander zu trennen. Damit könnte sich ein besseres Verständnis darüber ergeben, welche Aspekte der Spatial-Suppression-Aufgabe in welcher Weise mit psychometrischer Intelligenz zusammenhängen. (5) [Melnick et al.](#) nahmen an, dass die Spatial-Suppression-Aufgabe auch Mental-Speed erfasst. Um diese Annahme zu prüfen, muss der Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz im Sinne eines nomologischen Netzwerks ([Cronbach & Meehl, 1955](#)) um Mental-Speed erweitert werden. Damit kann die Frage beantwortet werden, ob der Spatial-Suppression-Ansatz zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede neuartige Erklärungsmöglichkeiten bietet oder ob der Mental-Speed-Ansatz den Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz vollständig zu erklären vermag.

Die unter Punkt vier angesprochenen Fixed-Links-Modelle (z. B. [Schweizer, 2006a, 2006b, 2007, 2008, 2009](#)) nehmen in der vorliegenden Arbeit eine wichtige Rolle ein. Die Modellierungstechnik, deren Zweck und deren zugrundeliegende Logik werden deshalb im nächsten Abschnitt ausführlich erklärt.

1.3 Messung kognitiver Prozesse

1.3.1 Ausgangslage

Die Messung kognitiver Prozesse ist anspruchsvoller als sie auf den ersten Blick erscheint. Wenn im Rahmen von Untersuchungen experimentell manipulierte Aufgaben eingesetzt werden, um kognitive Prozesse zu erfassen, sind Unterschiede zwischen Personen (Varianz in der abhängigen Variable) nicht nur auf die experimentelle Manipulation zurückzuführen, sondern auch auf Prozesse, die nichts mit der experimentellen Manipulation zu tun haben ([Jensen, 1982b; J. Miller & Ulrich, 2013; Neubauer & Knorr, 1997; Schweizer, 2007; Unsworth & Engle, 2007; van Zomeren & Brouwer, 1994](#)). Wenn man beispielsweise annimmt, dass die Wachsamkeit, die Motivation oder

die Motorik jeder einzelnen Person einen Einfluss auf die Reaktionszeiten in der Hick-Aufgabe haben, ist bei der Analyse bivariater Zusammenhänge zwischen den Reaktionszeiten und psychometrischer Intelligenz auf Gruppenebene nicht klar, was die Ursache für den mit zunehmender Anzahl Antwortalternativen stärker werdenden negativen Zusammenhang zwischen den Bedingungen der Hick-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz ist (Sheppard & Vernon, 2008). Waren intelligentere Personen wacher, motivierter oder einfach motorisch schneller als weniger intelligente Personen? Oder weisen intelligentere Personen tatsächlich (wie theoretisch vermutet) einen höheren Mental-Speed auf?

Mit diesem Beispiel sollte verdeutlicht werden, dass abhängige Variablen, die aus experimentell manipulierten Aufgaben abgeleitet werden, keine reinen Masse sind. Vielmehr bilden sie ein Gemisch von Prozessen ab, die an der Antwortabgabe beteiligt waren. Diese Verunreinigung von Massen zur Erfassung kognitiver Prozesse bezeichnete Schweizer (2007) als Impurity-Problem.

1.3.2 Lösungsansätze

Ideen zur Bewältigung des Impurity-Problems gibt es mehrere. Diese lassen sich nach Ansätzen auf manifester und latenter Ebene unterscheiden.

Auf manifester Ebene hat Donders (1969) mit seiner Subtraktionsmethode ein Verfahren vorgeschlagen, mit dem die Zeit für einen einzelnen kognitiven Prozess, beispielsweise die Entscheidung für eine korrekte Antwort bei einer Mehrfachauswahl in der Hick-Aufgabe, aus der Reaktionszeit herausgerechnet werden kann. Er ging davon aus, dass einfache Reaktionszeit hauptsächlich durch physiologische Prozesse determiniert ist, während die Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl neben denselben physiologischen Prozessen auch mentale Prozesse beansprucht. Seine Idee war, einfache Reaktionszeit von der Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl zu subtrahieren, womit die Differenz ein Mass für die Geschwindigkeit der mentalen Prozesse darstellt (Donders, 1969). Spätere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass sich kognitive Komponenten nicht additiv verhalten und die Subtraktionsmethode eine zu starke Vereinfachung darstellt (z. B. Friston et al., 1996;

Ilan & Miller, 1994).

Jensen und Munro (1979) haben eine Methode entwickelt, mit der bei der Erfassung der Reaktionszeit in der Hick-Aufgabe motorische Prozesse von kognitiven Prozessen getrennt werden können. Personen mussten dafür vor Präsentation der Stimuli ihren Antwortfinger auf eine Art Home-Taste der Tastatur legen. Erst danach wurden die Stimuli eingeblendet. Sobald die korrekte Antwort erkannt wurde, lösten die Personen ihren Finger von der Home-Taste und betätigten daraufhin die entsprechende Antworttaste. Durch diese Versuchsanordnung konnte die Zeitdauer, welche die Motorik in Anspruch nahm, von der Zeitdauer getrennt werden, die benötigt wurde, um die Reize wahrzunehmen und eine Entscheidung zu treffen. Dabei hat sich allerdings herausgestellt, dass die motorische Komponente mit der kognitiven Komponente konfundiert ist (Jensen & Munro, 1979) und Antwortstrategien der Personen die Interpretation der isolierten Komponenten erschweren (Smith & Carew, 1987).

Eine auf manifester Ebene häufig angewandte Methode zur Trennung von Prozessen stellt die Regressionsanalyse dar. Das Prinzip der Analyse lässt sich gut am Beispiel des linearen Zusammenhangs zwischen der Anzahl Bits und den Reaktionszeiten der Hick-Aufgabe erklären (siehe Unterabschnitt 1.2.1): Modelliert man eine lineare Abhängigkeit zwischen der Anzahl Bits und den Reaktionszeiten, resultiert ein y-Achsenabschnitt und eine Steigung. Nach dem diese Aufgabenparameter bestimmt wurden, kann jede beliebige Reaktionszeit durch die Verrechnung des y-Achsenabschnitts, der Steigung und der Anzahl Bits beschrieben werden (Jensen, 1987, S. 105). Der y-Achsenabschnitt und die Steigung bilden damit zwei Komponenten der Reaktionszeit, die unterschiedliche Prozesse repräsentieren. Beim y-Achsenabschnitt wird angenommen, dass er ein Mass für die Zeitdauer ist, welche sensorische und motorische Prozesse benötigen, um den Reiz im Kortex wahrzunehmen und die Muskeln über efferente Nerven anzusteuern (Jensen, 1998b), während die Steigung die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Information abbildet (Jensen, 1998b; Roth, 1964). Im Rahmen von experimentell manipulierten Aufgaben mit Messwiederholung bietet die Regressionsanalyse folglich eine Möglichkeit Prozesse voneinander zu trennen, womit sich schlussendlich Zusammenhänge differenzierter betrachten lassen.

Im Gegensatz zu den Analysen, die bis hierhin besprochen wurden und auf manifester Ebene durchgeführt werden, ergibt sich bei einer Analyse auf latenter Ebene ein Vorteil. Genauer gesagt berücksichtigt eine latente Analyse, dass sich ein beobachteter Messwert (beispielsweise die Reaktionszeit in der Hick-Aufgabe) immer aus einem wahren Anteil der Merkmalsausprägung und einem Fehleranteil, der nichts mit der wahren Merkmalsausprägung zu tun hat oder zufällig zustande kam, besteht (Kline, 2011, S. 9). Auf Gruppenebene lässt sich dann die Varianz des beobachteten Messwerts (die Unterschiede zwischen Personen) in wahre Varianz und Fehlervarianz, auch Messfehler genannt, trennen (Moosbrugger, 2007). Mit Hilfe der Faktorenanalyse wird die Fehlervarianz von der Analyse ausgeschlossen. Übrig bleibt auf Gruppenebene die wahre Varianz von Prozessen, die an der abhängigen Variable beteiligt waren und auf ein latentes Konstrukt zurückzuführen sind. Damit lassen sich Zusammenhänge zwischen Variablen valider bestimmen als auf manifester Ebene.

Eine Faktorenanalyse trennt folglich wahre Varianz von Fehlervarianz. Damit ist das Impurity-Problem aber nicht gelöst. Die in einer latenten Variable gebundene wahre Varianz kann immer noch durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozessen entstanden sein. Genau an diesem Punkt setzen Fixed-Links-Modelle an (z. B. Schweizer, 2006a, 2006b, 2007, 2008, 2009). Fixed-Links-Modelle gehören zur Klasse der konfirmatorischen Faktorenanalysen und sind besonders interessant für die Analyse von experimentell manipulierten Aufgaben mit Messwiederholung (wie sie z. B. die Hick- oder die Spatial-Suppression-Aufgabe darstellen). Während klassische Faktorenanalysen gemeinsame Varianz von manifesten Variablen mit einer latenten Variable erklären, trennen Fixed-Links-Modelle gemeinsame Varianz in zwei systematische Varianzquellen (Faktoren) auf: Ein erster Faktor bindet Varianz aufgabenrelevanter Prozesse, deren Einflüsse sich über die experimentellen Bedingungen hinweg nicht verändern. Dieser erste Faktor bildet folglich Prozesse ab, die für das Lösen der Aufgabe in jeder experimentellen Bedingung benötigt werden und einen gleichbleibenden konstanten Einfluss auf die Leistung in den Bedingungen ausüben. Ein zweiter Faktor bindet Varianz aufgabenrelevanter Prozesse, deren Einflüsse sich über die experimentellen Bedingungen hinweg verändern. In diesem zweiten Faktor werden somit Pro-

zesse abgebildet, die für das Lösen der Aufgabe benötigt werden und einen sich mit der experimentellen Manipulation verändernden Einfluss auf die Leistung in den Bedingungen haben.

Erreicht wird die Trennung dieser Prozesse in zwei Schritten. Zum einen werden vor der Modellschätzung die unstandardisierten Faktorladungen der manifesten Indikatoren auf die beiden latenten Variablen fixiert. Die unstandardisierten Faktorladungen (λ) der manifesten Indikatoren auf die erste latente Variable werden dabei alle auf den gleichen Wert gesetzt (z. B. λ^v ; siehe Abbildung 1). Die unstandardisierten Faktorladungen der manifesten Indikatoren auf die zweite latente Variable folgen einem Verlauf, der sich aus theoretischen Überlegungen zum Einfluss der erfassten, experimentell manipulierten Prozesse **auf die Leistung in den Bedingungen?** ergibt (z. B. $\lambda^w, \lambda^x, \lambda^y, \lambda^z$; siehe Abbildung 1). Analysiert man beispielsweise die Reaktionszeiten der Hick-Aufgabe und hat man Grund zur Annahme, dass die

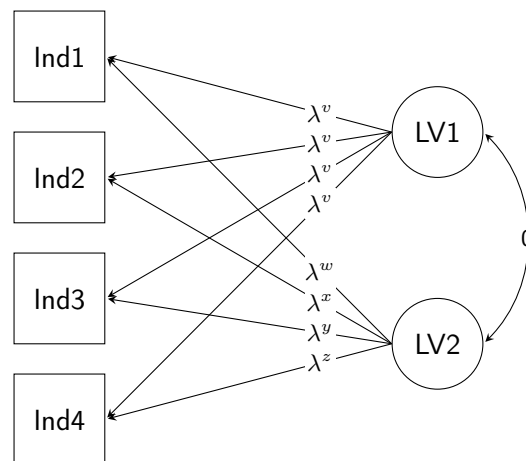



Abbildung 1. Das Prinzip eines Fixed-Links-Modells. Gemeinsame Varianz von Bedingungen (Ind1 – Ind4) wird in zwei latente Variablen getrennt (LV1 und LV2). Die unstandardisierten Faktorladungen der Bedingungen auf LV1 sind konstant (λ^v). Die unstandardisierten Faktorladungen der Bedingungen auf LV2 folgen einem Verlauf, der sich aus theoretischen Überlegungen zum Einfluss der in LV2 gebundenen Prozesse auf die vier Indikatoren ergibt ($\lambda^w, \lambda^x, \lambda^y, \lambda^z$). LV1 und LV2 werden unabhängig voneinander gehalten. Fehlervarianzen sind in diesem Beispiel nicht eingezeichnet.

Verarbeitungsgeschwindigkeit mit zunehmender Anzahl Antwortalternativen einen immer stärker werdenden (linearen) Einfluss auf die Reaktionszeit hat, fixiert man die Faktorladungen auf $\lambda^w = 1$, $\lambda^x = 2$, $\lambda^y = 3$ und $\lambda^z = 4$. Zum anderen wird die Korrelation zwischen den beiden latenten Variablen auf 0 fixiert. Damit werden die Varianzen statistisch vollständig voneinander getrennt. Weil durch die Fixierung der unstandardisierten Faktorladungen im Rahmen der Parameterschätzung die Matrix der Faktorladungen nicht mehr geschätzt wird (sie wird a priori bestimmt), müssen die Varianzen der latenten Variablen auf Signifikanz geprüft werden. Damit wird sichergestellt, dass die latenten Variablen einen substantiellen Varianzanteil gebunden haben und sich die Interpretation der latenten Variablen nicht auf ein statistisches Artefakt bezieht. Verfehlt die Varianz einer latenten Variable das Signifikanzniveau, wurden darin keine bedeutsamen Prozesse abgebildet und das gesamte Modell muss verworfen werden (z. B. [Schweizer, 2006a, 2006b, 2007, 2008, 2009](#)).

Fixed-Links-Modelle stellen eine Möglichkeit dar, dem Impurity-Problem entgegenzutreten und Prozesse voneinander zu trennen. Sie haben gegenüber anderen Methoden zur Analyse von experimentell manipulierten Aufgaben mit Messwiederholung entscheidende Vorteile. Im Vergleich mit Analysemethoden auf manifester Ebene berücksichtigen Fixed-Links-Modelle, dass ein beobachteter Messwert Messfehler enthält ([Moosbrugger, 2007](#)). Dieser Messfehler wird bei einer latenten Analyse isoliert, womit die den manifesten Zusammenhängen zugrunde liegende Beziehung aufgedeckt wird und validere Schlussfolgerungen gezogen werden können ([Kline, 2011](#), S. 9). **Im Vergleich mit klassischen Faktorenanalysen, welche gemeinsame Varianz von manifesten Indikatoren auf einen einzigen Faktor zurückführen, trennen Fixed-Links-Modelle Varianz von Prozessen, die über die experimentelle Manipulation hinweg einen gleichbleibenden Einfluss auf die manifesten Variablen ausüben, von Varianz von Prozessen, die sich mit der experimentellen Manipulation verändern.** Dadurch lässt sich auf statistischer Ebene die an der experimentellen Manipulation beteiligten Prozesse von allen anderen Prozessen trennen. Darin unterscheiden sich Fixed-Links-Modelle auch von bifaktoriellen Modellen (z. B. [Moosbrugger, Goldhammer & Schweizer, 2006](#); [Schweizer, Altmeyer, Reiss & Schreiner, 2010](#)). Bifaktorielle Modelle

trennen wie Fixed-Links-Modelle gemeinsame Varianz von manifesten Indikatoren in zwei latente Variablen, die Faktorladungen werden jedoch nicht a priori aufgrund theoretischer Überlegungen zum Einfluss der Prozesse auf die manifesten Indikatoren fixiert, sondern frei geschätzt. Mit bifaktoriellen Modellen lässt sich folglich die von der experimentellen Manipulation verursachte Varianz in den manifesten Indikatoren nicht von der Varianz der Prozesse trennen, welche unabhängig von der experimentellen Manipulation sind.

Untersuchungen, die Fixed-Links-Modelle benutzt haben, um die Verunreinigung von kognitiven Korrelaten psychometrischer Intelligenz auf statistischer Ebene rückgängig zu machen, gibt es einige (z. B. [Ren, Schweizer & Xu, 2013](#); [Schweizer, 2007](#); [Stankov & Schweizer, 2007](#); [Wang, Ren & Schweizer, 2015](#)). Die formulierten theoretischen Modelle beschrieben dabei die empirischen Daten jeweils gut. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Fixed-Links-Modelle bei der Bestimmung der kognitiven Grundlagen individueller Intelligenzunterschiede nicht nur aus theoretischer, sondern auch aus praktischer Sichtweise vorteilhaft sind.



gut so?

Wenn eine experimentell manipulierte Aufgabe mit Messwiederholung eingesetzt wird, um ein Konstrukt zu erfassen, bieten sich Fixed-Links-Modelle somit als eine elegante Modellierungstechnik an, um zur Erfassung kognitiver Konstrukte die Verunreinigung von Massen auf statistischer Ebene rückgängig zu machen.

1.4 Fragestellungen

Der Spatial-Suppression-Ansatz zur Erklärung individueller Intelligenzunterschiede ist neu und unterscheidet sich von der Art der Aufgabenstellung her deutlich von reaktionszeitbasierten Mental-Speed-Massen. Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht darin, zu überprüfen, ob sich die Spatial-Suppression-Aufgabe als Prädiktor psychometrischer Intelligenz bewährt und inwiefern der Spatial-Suppression-Ansatz zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede neuartige Erklärungsmöglichkeiten liefert, welche nicht bereits der Mental-Speed-Ansatz bietet. Dieses Ziel soll durch die Erarbeitung von fünf Punkten erreicht werden:

1. Die Arbeit von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichtet bis heute als einzige über den Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz. Um die Aufgabe als Prädiktor für psychometrische Intelligenz zu festigen, bedarf es einer Bestätigung dieses Befunds. Dafür werden für die vorliegende Arbeit die experimentellen Bedingungen von [Melnick et al.](#) bestmöglich übernommen und die Aufgabe wird einer grossen, betreffend der Intelligenzausprägung heterogenen Stichprobe vorgelegt. Die aus der Aufgabe abgeleitete abhängige Variable, der Suppression-Index, wird entsprechend dem Vorgehen in der Originalarbeit gebildet. Der Suppression-Index wurde in der Arbeit von [Melnick et al.](#) mit IQ-Punkten in Zusammenhang gebracht. Der IQ wurde dabei für jede Person aus der Kurzform der Wechsler-Adult-Intelligence-Scale III ([Axelrod, 2002](#)) und aus der Wechsler-Adult-Intelligence-Scale IV ([Wechsler, 2008](#)) gebildet (siehe Studie 1 und 2 bei [Melnick et al., 2013](#)). Wenn die Annahme gilt, dass der Zusammenhang zwischen dem Suppression-Index und psychometrischer Intelligenz robust ist, sollte dieser auch unter Einsatz eines anderen Instruments zur Erfassung der psychometrischen Intelligenz auftreten. In der vorliegenden Arbeit wird der Berliner Intelligenzstruktur-Test ([Jäger, Süß & Beauducel, 1997](#)) eingesetzt, welcher sich empirisch als Indikator für Intelligenz bewährt hat ([Beauducel & Kersting, 2002](#); [Valerius & Sparfeldt, 2014](#)). Die Verwendung von nicht exakt demselben Intelligenzmass erscheint hinsichtlich einer beabsichtigten Bestätigung des Befunds von [Melnick et al.](#) als Schwachpunkt dieser Arbeit. Führt man sich aber vor Augen, dass die Spatial-Suppression-Aufgabe beansprucht, einen grundlegenden Aspekt der menschlichen Informationsverarbeitung zu erfassen, erscheint die Verwendung eines Intelligenzmasses, welches noch nie mit der Spatial-Suppression-Aufgabe in Zusammenhang gebracht wurde, weniger als Schwachpunkt, sondern vielmehr als eine Notwendigkeit.
2. Der Suppression-Index wurde bei [Melnick et al. \(2013\)](#) für jede Person als Differenz zwischen zwei Erkennungsschwellen gebildet. Differenzmasse leiden in empirischen Untersuchungen oft unter einer reduzierten

Reliabilität (Murphy & Davidshofer, 2005, S. 145). Es kann somit bei den Resultaten von Melnick et al. nicht ausgeschlossen werden, dass die verminderte Reliabilität des Suppression-Index die Ergebnisse verzerrt hat. Um diese Problematik anzugehen, wird in der vorliegenden Arbeit zusätzlich eine abhängige Variable eingesetzt, welche nicht auf einer Differenz zwischen zwei Erkennungsschwellen beruht. Melnick et al. haben sich in ihrer Arbeit bereits bemüht, ein alternatives Mass herzuleiten. Sie haben die Erkennungsschwellen jeder Person mit einer exponentiellen Regression vorhergesagt, jedoch nicht beide daraus resultierenden Aufgabenparameter, die Asymptote und die Steigung, mit psychometrischer Intelligenz in Verbindung gesetzt. Um die Spatial-Suppression-Aufgabe mit ihren Bestandteilen besser zu verstehen und die Problematik des Differenzmasses zu umgehen, werden deshalb in der vorliegenden Arbeit beide aus der exponentiellen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter benutzt, um psychometrische Intelligenz vorherzusagen.

3. Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung von Spatial-Suppression besteht darin, die Aufgabenbedingungen auf latenter Ebene zu analysieren – das heisst, die Zusammenhänge der Aufgabenbedingungen mit einer klassischen Faktorenanalyse auf einen unbeobachteten Faktor zurückzuführen. Im Gegensatz zur manifesten Auswertung (vgl. Punkt 1 und 2) berücksichtigt die Analyse auf latenter Ebene die Tatsache, dass sich ein beobachteter Messwert immer aus einem wahren Anteil der Merkmalsausprägung und einem zufällig zustande gekommenen Fehleranteil, der unabhängig von der wahren Merkmalsausprägung ist, zusammensetzt (Moosbrugger, 2007). Ein latenter Faktor beinhaltet nur die wahren Merkmalsausprägungen von Personen, womit sich, verglichen mit einer Analyse auf manifester Ebene, Zusammenhänge mit anderen Variablen valider bestimmen lassen (Kline, 2011, S. 9). Die Bedeutung der Spatial-Suppression-Aufgabe als Prädiktor von g , der latenten Operationalisierung psychometrischer Intelligenz, sollte demnach auf latenter Ebene deutlicher erkennbar sein als auf manifester Ebene.

4. Um bei der Beschreibung der Spatial-Suppression-Aufgabe auf latenter Ebene eine vergleichbare Trennung von Prozessen zu erhalten wie unter Punkt 2 auf manifester Ebene, wird versucht die Aufgabenbedingungen mit einem Fixed-Links-Modell (siehe Unterabschnitt 1.3.2) zu beschreiben. Dafür werden zwei latente Variablen angenommen: Die erste latente Variable bildet durch konstant gehaltene Faktorladungen aufgabenrelevante Prozesse ab, deren Einflüsse sich über die vier Bedingungen hinweg nicht ändern. Die zweite latente Variable weist sich unterscheidende Faktorladungen auf, welche bestimmten Annahmen folgend gewählt werden. Durch diese Faktorladungen werden in der zweiten latenten Variable aufgabenrelevante Prozesse gebunden, die durch die vier Bedingungen systematisch manipuliert wurden. Weil die Aufgabe noch nie mit einem Fixed-Links-Modell beschrieben wurde, werden unterschiedliche Ladungsverläufe getestet und das beste Modell wird für die weiteren Analysen ausgewählt. Diese Trennung von aufgabenrelevanten Prozessen auf latenter Ebene kann dann zum einen benutzt werden, um die Spatial-Suppression-Aufgabe mit ihren Bestandteilen besser zu verstehen, und zum anderen lässt sich damit der Zusammenhang der Aufgabe mit dem g -Faktor differenzierter betrachten, als mit einer klassischen Faktorenanalyse.
5. Nach dieser ausführlichen, aber auch isolierten Aufarbeitung des Zusammenhangs zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz wird der Zusammenhang im Sinne eines nomologischen Netzwerks (Cronbach & Meehl, 1955) um Mental-Speed erweitert. Dafür wird die Hick-Aufgabe als ein etabliertes Mental-Speed-Mass hinzugezogen. Mit diesem Schritt wird auf manifester wie auch auf latenter Ebene geprüft, ob die Spatial-Suppression-Aufgabe im Zusammenhang mit psychometrischer Intelligenz einen Aspekt der menschlichen Informationsverarbeitung abbildet, der neuartig ist und nicht bereits von einer bestehenden, etablierten Aufgabe erfasst beziehungsweise erklärt wird. Schlussendlich soll dadurch die Frage beantwortet werden, ob der Spatial-Suppression-Ansatz zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede neuartige Erklärungsmöglichkeiten

worauf?

ten bietet oder ob der Mental-Speed-Ansatz den Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz vollständig zu erklären vermag.



ja?

Literatur

- Ackerman, P. L., Beier, M. E. & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, *131* (1), 30–60. doi:[10.1037/0033-2909.131.1.30](https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.30)
- Allman, J., Miezin, F. & McGuinness, E. (1985). Stimulus specific responses from beyond the classical receptive field: Neurophysiological mechanisms for local-global comparisons in visual neurons. *Annual Review of Neuroscience*, *8* (1), 407–430. doi:[10.1146/annurev.ne.08.030185.002203](https://doi.org/10.1146/annurev.ne.08.030185.002203)
- Anderson, S. J. & Burr, D. C. (1987). Receptive field size of human motion detection units. *Vision Research*, *27* (4), 621–635. doi:[10.1016/0042-6989\(87\)90047-2](https://doi.org/10.1016/0042-6989(87)90047-2)
- Axelrod, B. N. (2002). Validity of the Wechsler abbreviated scale of intelligence and other very short forms of estimating intellectual functioning. *Assessment*, *9* (1), 17–23. doi:[10.1177/1073191102009001003](https://doi.org/10.1177/1073191102009001003)
- Baddeley, A., Eysenck, M. W. & Anderson, M. C. (2009). *Memory*. New York, NY: Psychology Press.
- Bartholomew, D. J., Allerhand, M. & Deary, I. J. (2013). Measuring mental capacity: Thomson’s Bonds model and Spearman’s *g*-model compared. *Intelligence*, *41* (4), 222–233. doi:[10.1016/j.intell.2013.03.007](https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.03.007)
- Bates, T. (1995). Intelligence and complexity of the averaged evoked potential: An attentional theory. *Intelligence*, *20* (1), 27–39. doi:[10.1016/0160-2896\(95\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0160-2896(95)90004-7)
- Beauducel, M. & Kersting, M. (2002). Fluid and crystallized intelligence and the Berlin Model of Intelligence Structure (BIS). *European Journal of Psychological Assessment*, *18* (2), 97–112. doi:[10.1027//1015-](https://doi.org/10.1027//1015-)

5759.18.2.97

- Born, R., Groh, J., Zhao, R. & Lukasewycz, S. (2000). Segregation of object and background motion in visual area MT: : Effects of microstimulation on eye movements. *Neuron*, 26 (3), 725–734. doi:[10.1016/s0896-6273\(00\)81208-8](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)81208-8)
- Braddick, O. (1993). Segmentation versus integration in visual motion processing. *Trends in Neurosciences*, 16 (7), 263–268. doi:[10.1016/0166-2236\(93\)90179-p](https://doi.org/10.1016/0166-2236(93)90179-p)
- Brand, C. (1987). The importance of general intelligence. In S. Modgil & C. Modgil (Hrsg.), *Arthur Jensen: Consensus and controversy* (S. 251–265). New York, NY: Falmer.
- Burgess, G. C., Gray, J. R., Conway, A. R. A. & Braver, T. S. (2011). Neural mechanisms of interference control underlie the relationship between fluid intelligence and working memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 140 (4), 674–692. doi:[10.1037/a0024695](https://doi.org/10.1037/a0024695)
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston, MA: Mifflin.
- Christal, R. E. (1991). *Comparative validities of ASVAB and LAMP tests for logic gates learning* (AL-TP-1991-0031). Brooks Air Force Base, TX: Manpower and Personnel Division, Air Force Human Resources Laboratory. Verfügbar unter <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED364568.pdf>
- Churan, J., Khawaja, F. A., Tsui, J. M. & Pack, C. C. (2008). Brief motion stimuli preferentially activate surround-suppressed neurons in macaque visual area MT. *Current Biology*, 18 (22), R1051–R1052. doi:[10.1016/j.cub.2008.10.003](https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.10.003)
- Cronbach, L. J. & Meehl, P. E. (1955). Construct validity in psychological tests. *Psychological Bulletin*, 52 (4), 281–302. doi:[10.1037/h0040957](https://doi.org/10.1037/h0040957)
- Deary, I. J. (2000). *Looking down on human intelligence*. New York, NY: Oxford University Press.
- Deary, I. J., Bell, P. J., Bell, A. J., Campbell, M. L. & Fazal, N. D. (2004). Sensory discrimination and intelligence: Testing Spearman's

- other hypothesis. *The American Journal of Psychology*, 117 (1), 1–19. doi:[10.2307/1423593](https://doi.org/10.2307/1423593)
- Donders, F. C. (1969). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30, 412–431. doi:[10.1016/0001-6918\(69\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0001-6918(69)90065-1)
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E. & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology*, 128 (3), 309–331. doi:[10.1037/0096-3445.128.3.309](https://doi.org/10.1037/0096-3445.128.3.309)
- Frearson, W. & Eysenck, H. (1986). Intelligence, reaction time (RT) and a new ‘odd-man-out’ RT paradigm. *Personality and Individual Differences*, 7 (6), 807–817. doi:[10.1016/0191-8869\(86\)90079-6](https://doi.org/10.1016/0191-8869(86)90079-6)
- Friston, K., Price, C., Fletcher, P., Moore, C., Frackowiak, R. & Dolan, R. (1996). The trouble with cognitive subtraction. *NeuroImage*, 4 (2), 97–104. doi:[10.1006/nimg.1996.0033](https://doi.org/10.1006/nimg.1996.0033)
- Galton, F. (1883). *Inquiries into human faculty and its development*. London, England: Macmillan.
- Garlick, D. (2002). Understanding the nature of the general factor of intelligence: The role of individual differences in neural plasticity as an explanatory mechanism. *Psychological Review*, 109 (1), 116–136. doi:[10.1037/0033-295x.109.1.116](https://doi.org/10.1037/0033-295x.109.1.116)
- Gignac, G. E. (2014). Dynamic mutualism versus *g* factor theory: An empirical test. *Intelligence*, 42, 89–97. doi:[10.1016/j.intell.2013.11.004](https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.11.004)
- Gignac, G. E. (2016). Residual group-level factor associations: Possibly negative implications for the mutualism theory of general intelligence. *Intelligence*, 55, 69–78. doi:[10.1016/j.intell.2016.01.007](https://doi.org/10.1016/j.intell.2016.01.007)
- Goldstein, E. B. (2015). *Wahrnehmungspsychologie* (9. Aufl.; K. G. Gegenfurtner, Hrsg. & K. Neuser-von Oettingen & G. Plata, Übers.). Berlin, Deutschland: Springer.
- Hendrickson, D. E. & Hendrickson, A. E. (1980). The biological basis of individual differences in intelligence. *Personality and Individual Differences*, 1 (1), 3–33. doi:[10.1016/0191-8869\(80\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0191-8869(80)90003-3)
- Henrie, J. & Shapley, R. M. (2001). The relatively small decline in orientation acuity as stimulus size decreases. *Vision Research*, 41 (13), 1723–1733. doi:[10.1016/s0042-6989\(01\)00048-7](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(01)00048-7)

- Hick, W. E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4 (1), 11–26. doi:[10.1080/17470215208416600](https://doi.org/10.1080/17470215208416600)
- Ilan, A. B. & Miller, J. (1994). A violation of pure insertion: Mental rotation and choice reaction time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20 (3), 520–536. doi:[10.1037/0096-1523.20.3.520](https://doi.org/10.1037/0096-1523.20.3.520)
- Jensen, A. R. (1982a). The chronometry of intelligence. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Bd. 1, S. 255–310). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jensen, A. R. (1982b). Reaction time and psychometric *g*. In H. J. Eysenck (Hrsg.), *A model for intelligence* (S. 93–132). Berlin, Deutschland: Springer.
- Jensen, A. R. (1987). Individual differences in the Hick paradigm. In P. A. Vernon (Hrsg.), *Speed of information-processing and intelligence* (S. 101–175). Norwood, NJ: Ablex.
- Jensen, A. R. (1998a). *The g factor: The science of mental ability*. Westport, CT: Praeger.
- Jensen, A. R. (1998b). The suppressed relationship between IQ and the reaction time slope parameter of the Hick function. *Intelligence*, 26 (1), 43–52. doi:[10.1016/s0160-2896\(99\)80051-8](https://doi.org/10.1016/s0160-2896(99)80051-8)
- Jensen, A. R. (2006). *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*. Oxford, England: Elsevier.
- Jensen, A. R. & Munro, E. (1979). Reaction time, movement time, and intelligence. *Intelligence*, 3 (2), 121–126. doi:[10.1016/0160-2896\(79\)90010-2](https://doi.org/10.1016/0160-2896(79)90010-2)
- Jensen, A. R. & Weng, L.-J. (1994). What is a good *g*? *Intelligence*, 18 (3), 231–258. doi:[10.1016/0160-2896\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0160-2896(94)90029-9)
- Johnson, W., Bouchard, T. J., Krueger, R. F., McGue, M. & Gottesman, I. I. (2004). Just one *g*: consistent results from three test batteries. *Intelligence*, 32 (1), 95–107. doi:[10.1016/s0160-2896\(03\)00062-x](https://doi.org/10.1016/s0160-2896(03)00062-x)
- Johnson, W., te Nijenhuis, J. & Bouchard, T. J. (2008). Still just 1 *g*: Consistent results from five test batteries. *Intelligence*, 36 (1), 81–95. doi:[10.1016/j.intell.2007.06.001](https://doi.org/10.1016/j.intell.2007.06.001)

- Jäger, A. O. (1984). Intelligenzstrukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau*, 35 (1), 21–35.
- Jäger, A. O., Süss, H.-M. & Beauducel, A. (1997). *Berliner Intelligenzstruktur-Test*. Göttingen, Deutschland: Hogrefe.
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (3. Aufl.). New York, NY: Guilford Press.
- Lehrl, S. & Fischer, B. (1988). The basic parameters of human information processing: Their role in the determination of intelligence. *Personality and Individual Differences*, 9 (5), 883–896. doi:[10.1016/0191-8869\(88\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0191-8869(88)90006-2)
- Lehrl, S. & Fischer, B. (1990). A basic information psychological parameter (BIP) for the reconstruction of concepts of intelligence. *European Journal of Personality*, 4 (4), 259–286. doi:[10.1002/per.2410040402](https://doi.org/10.1002/per.2410040402)
- McGrew, K. S. (2005). The Cattell–Horn–Carroll theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Hrsg.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (2. Aufl., S. 136–181). New York, NY: Guilford Press.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37 (1), 1–10. doi:[10.1016/j.intell.2008.08.004](https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.08.004)
- Melnick, M., Harrison, B. R., Park, S., Bennetto, L. & Tadin, D. (2013). A strong interactive link between sensory discrimination and intelligence. *Current Biology*, 23 (11), 1013–1017. doi:[10.1016/j.cub.2013.04.053](https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.053)
- Meyer, C. S., Hagmann-von Arx, P., Lemola, S. & Grob, A. (2010). Correspondence between the general ability to discriminate sensory stimuli and general intelligence. *Journal of Individual Differences*, 31 (1), 46–56. doi:[10.1027/1614-0001/a000006](https://doi.org/10.1027/1614-0001/a000006)
- Miller, E. M. (1994). Intelligence and brain myelination: A hypothesis. *Personality and Individual Differences*, 17 (6), 803–832. doi:[10.1016/0191-8869\(94\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90049-3)
- Miller, J. & Ulrich, R. (2013). Mental chronometry and individual differences: Modeling reliabilities and correlations of reaction time means and effect sizes. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20 (5), 819–858.

doi:[10.3758/s13423-013-0404-5](https://doi.org/10.3758/s13423-013-0404-5)

- Moosbrugger, H. (2007). Klassische Testtheorie. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 99–112). Berlin, Deutschland: Springer.
- Moosbrugger, H., Goldhammer, F. & Schweizer, K. (2006). Latent factors underlying individual differences in attention measures. *European Journal of Psychological Assessment*, 22 (3), 177–188. doi:[10.1027/1015-5759.22.3.177](https://doi.org/10.1027/1015-5759.22.3.177)
- Murphy, K. R. & Davidshofer, C. O. (2005). *Psychological testing: Principles and applications* (6. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Neubauer, A. C. & Bucik, V. (1996). The mental speed–IQ relationship: Unitary or modular? *Intelligence*, 22 (1), 23–48. doi:[10.1016/S0160-2896\(96\)90019-7](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(96)90019-7)
- Neubauer, A. C. & Knorr, E. (1997). Elementary cognitive processes in choice reaction time tasks and their correlations with intelligence. *Personality and Individual Differences*, 23 (5), 715–728. doi:[10.1016/S0191-8869\(97\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(97)00108-6)
- Neubauer, A. C., Riemann, R., Mayer, R. & Angleitner, A. (1997). Intelligence and reaction times in the Hick, Sternberg and Posner paradigms. *Personality and Individual Differences*, 22 (6), 885–894. doi:[10.1016/S0191-8869\(97\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(97)00003-2)
- Posner, M. I., Boies, S. J., Eichelman, W. H. & Taylor, R. L. (1969). Retention of visual and name codes of single letters. *Journal of Experimental Psychology*, 79 (1), 1–16. doi:[10.1037/h0026947](https://doi.org/10.1037/h0026947)
- Rabaglia, C. D., Marcus, G. F. & Lane, S. P. (2011). What can individual differences tell us about the specialization of function? *Cognitive Neuropsychology*, 28 (3–4), 288–303. doi:[10.1080/02643294.2011.609813](https://doi.org/10.1080/02643294.2011.609813)
- Rammsayer, T. H. & Brandler, S. (2002). On the relationship between general fluid intelligence and psychophysical indicators of temporal resolution in the brain. *Journal of Research in Personality*, 36 (5), 507–530. doi:[10.1016/S0092-6566\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0092-6566(02)00006-5)
- Ree, M. J. & Earles, J. A. (1991). The stability of *g* across different methods of estimation. *Intelligence*, 15 (3), 271–278. doi:[10.1016/0160-2896\(91\)90036-D](https://doi.org/10.1016/0160-2896(91)90036-D)

- Reed, T. E. & Jensen, A. R. (1992). Conduction velocity in a brain nerve pathway of normal adults correlates with intelligence level. *Intelligence*, 16 (3–4), 259–272. doi:[10.1016/0160-2896\(92\)90009-g](https://doi.org/10.1016/0160-2896(92)90009-g)
- Regan, D. (2000). *Human perception of objects*. Sunderland, MA: Sinauer.
- Ren, X., Schweizer, K. & Xu, F. (2013). The sources of the relationship between sustained attention and reasoning. *Intelligence*, 41 (1), 51–58. doi:[10.1016/j.intell.2012.10.006](https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.10.006)
- Roth, E. (1964). Die Geschwindigkeit der Verarbeitung von Information und ihr Zusammenhang mit Intelligenz. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 11 (4), 616–622.
- Schmidt, F. L. & Hunter, J. (2004). General mental ability in the world of work: Occupational attainment and job performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 86 (1), 162–173. doi:[10.1037/0022-3514.86.1.162](https://doi.org/10.1037/0022-3514.86.1.162)
- Schweizer, K. (2006a). The fixed-links model for investigating the effects of general and specific processes on intelligence. *Methodology*, 2 (4), 149–160. doi:[10.1027/1614-2241.2.4.149](https://doi.org/10.1027/1614-2241.2.4.149)
- Schweizer, K. (2006b). The fixed-links model in combination with the polynomial function as a tool for investigating choice reaction time data. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 13 (3), 403–419. doi:[10.1207/s15328007sem1303_4](https://doi.org/10.1207/s15328007sem1303_4)
- Schweizer, K. (2007). Investigating the relationship of working memory tasks and fluid intelligence tests by means of the fixed-links model in considering the impurity problem. *Intelligence*, 35 (6), 591–604. doi:[10.1016/j.intell.2006.11.004](https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.11.004)
- Schweizer, K. (2008). Investigating experimental effects within the framework of structural equation modeling: An example with effects on both error scores and reaction times. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 15 (2), 327–345. doi:[10.1080/10705510801922621](https://doi.org/10.1080/10705510801922621)
- Schweizer, K. (2009). Fixed-links models for investigating experimental effects combined with processing strategies in repeated measures designs: A cognitive task as example. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 62 (2), 217–232. doi:[10.1348/000711007X268558](https://doi.org/10.1348/000711007X268558)

- Schweizer, K., Altmeyer, M., Reiss, S. & Schreiner, M. (2010). The c-bifactor model as a tool for the construction of semi-homogeneous upper-level measures. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 52 (3), 298–312. Verfügbar unter http://www.psychologie-aktuell.com/fileadmin/download/ptam/3-2010_20100928/05_Schweizer.pdf
- Schweizer, K. & Moosbrugger, H. (2004). Attention and working memory as predictors of intelligence. *Intelligence*, 32 (4), 329–347. doi:[10.1016/j.intell.2004.06.006](https://doi.org/10.1016/j.intell.2004.06.006)
- Sheppard, L. D. & Vernon, P. A. (2008). Intelligence and speed of information-processing: A review of 50 years of research. *Personality and Individual Differences*, 44, 535–551. doi:[10.1016/j.paid.2007.09.015](https://doi.org/10.1016/j.paid.2007.09.015)
- Smith, G. A. & Carew, M. (1987). Decision time unmasked: Individuals adopt different strategies. *Australian Journal of Psychology*, 39 (3), 339–351. doi:[10.1080/00049538708259058](https://doi.org/10.1080/00049538708259058)
- Smith, G. A. & McPhee, K. (1987). Performance on a coincidence timing task correlates with intelligence. *Intelligence*, 11 (2), 161–167. doi:[10.1016/0160-2896\(87\)90003-1](https://doi.org/10.1016/0160-2896(87)90003-1)
- Spearman, C. (1904). “General intelligence,” objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15 (2), 201–292. doi:[10.2307/1412107](https://doi.org/10.2307/1412107)
- Spearman, C. (1927). *The abilities of man*. London, England: Macmillan.
- Stankov, L. & Schweizer, K. (2007). Raven’s Progressive Matrices, manipulations of complexity and measures of accuracy, speed and confidence. *Psychology Science*, 49 (4), 326–342.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153 (3736), 652–654. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/1719418>
- Sternberg, S. (1969). Memory-scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments. *American Scientist*, 57 (4), 421–457. Verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/27828738>
- Tadin, D., Kim, J., Doop, M. L., Gibson, C., Lappin, J. S., Blake, R. & Park, S. (2006). Weakened center-surround interactions in visual motion processing in schizophrenia. *Journal of Neuroscience*, 26 (44), 11403–11412. doi:[10.1523/JNEUROSCI.2592-06.2006](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2592-06.2006)

- Tadin, D., Lappin, J. S., Gilroy, L. A. & Blake, R. (2003). Perceptual consequences of centre-surround antagonism in visual motion processing. *Nature*, 424, 312–315. doi:[10.1038/nature01800](https://doi.org/10.1038/nature01800)
- Tadin, D., Silvano, J., Pascual-Leone, A. & Battelli, L. (2011). Improved motion perception and impaired spatial suppression following disruption of cortical area MT/V5. *Journal of Neuroscience*, 31 (4), 1279–1283. doi:[10.1523/JNEUROSCI.4121-10.2011](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4121-10.2011)
- Thomson, G. H. (1916). A hierarchy without a general factor. *British Journal of Psychology*, 8 (3), 271–281. doi:[10.1111/j.2044-8295.1916.tb00133.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1916.tb00133.x)
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Unsworth, N. & Engle, R. W. (2007). The nature of individual differences in working memory capacity: Active maintenance in primary memory and controlled search from secondary memory. *Psychological Review*, 114 (1), 104–132. doi:[10.1037/0033-295X.114.1.104](https://doi.org/10.1037/0033-295X.114.1.104)
- Valerius, S. & Sparfeldt, J. R. (2014). Consistent *g*- as well as consistent verbal-, numerical- and figural-factors in nested factor models? Confirmatory factor analyses using three test batteries. *Intelligence*, 44, 120–133. doi:[10.1016/j.intell.2014.04.003](https://doi.org/10.1016/j.intell.2014.04.003)
- van der Maas, H. L., Dolan, C. V., Grasman, R. P., Wicherts, J. M., Huizenga, H. M. & Raijmakers, M. E. (2006). A dynamical model of general intelligence: The positive manifold of intelligence by mutualism. *Psychological Review*, 113 (4), 842–861. doi:[10.1037/0033-295x.113.4.842](https://doi.org/10.1037/0033-295x.113.4.842)
- van Zomeren, A. H. & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. New York, NY: Oxford University Press.
- Vernon, P. A. (1950). *The structure of human abilities*. London, England: Methuen.
- Vernon, P. A. (1983). Speed of information processing and general intelligence. *Intelligence*, 7 (1), 53–70. doi:[10.1016/0160-2896\(83\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(83)90006-5)
- Vernon, P. A. & Jensen, A. R. (1984). Individual and group differences in intelligence and speed of information processing. *Personality and Individual Differences*, 5 (4), 411–423. doi:[10.1016/0191-8869\(84\)90006-0](https://doi.org/10.1016/0191-8869(84)90006-0)
- Wang, T., Ren, X. & Schweizer, K. (2015). The modeling of temporal

ry storage and its effect on fluid intelligence: Evidence from both Brown–Peterson and complex span tasks. *Intelligence*, 49, 84–93. doi:[10.1016/j.intell.2015.01.002](https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.01.002)

Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale-Fourth Edition (WAIS-IV)*. San Antonio, TX: Pearson.

Zanto, T. P. & Gazzaley, A. (2009). Neural suppression of irrelevant information underlies optimal working memory performance. *Journal of Neuroscience*, 29 (10), 3059–3066. doi:[10.1523/jneurosci.4621-08.2009](https://doi.org/10.1523/jneurosci.4621-08.2009)