



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  | one inch + \hoffset    | 2  | one inch + \voffset              |
| 3  | \evensidemargin = 70pt | 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             |

# Spatial-Suppression, Mental-Speed und psychometrische Intelligenz

---

*Inauguraldissertation*

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

vorgelegt von  
Philipp Thomas

bei  
Prof. Dr. Stefan Troche

Bern, Oktober 2016



# 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

<b>Zusammenfassung</b>	<b>iii</b>
<b>Abbildungen</b>	<b>x</b>
<b>Tabellen</b>	<b>xi</b>
<b>Vorwort</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Intelligenz . . . . .	1
1.2 Mental-Speed-Ansatz . . . . .	1
1.3 Spatial-Suppression-Ansatz . . . . .	1
1.4 Das Impurity-Problem . . . . .	1
1.5 Fragestellungen . . . . .	1
<b>2 Methodik</b>	<b>7</b>
2.1 Stichprobe . . . . .	7
2.2 Die Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	8
2.2.1 Apparatur und Material . . . . .	8
2.2.2 Versuchsablauf . . . . .	8
2.3 Die Hick-Aufgabe . . . . .	11
2.3.1 Apparatur und Material . . . . .	11
2.3.2 Versuchsablauf . . . . .	12
2.4 Erfassung der psychometrischen Intelligenz . . . . .	13
2.5 Weitere Instrumente . . . . .	18
2.5.1 Fragebögen . . . . .	18
2.5.2 Zeitverarbeitungsaufgaben . . . . .	19

2.5.3	Inspection-Time-Aufgabe . . . . .	20
2.6	Untersuchungsablauf . . . . .	20
2.6.1	Sitzung 1 . . . . .	20
2.6.2	Sitzung 2 . . . . .	21
2.7	Statistische Analyse . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>25</b>
3.1	Deskriptiv- und Inferenzstatistik . . . . .	25
3.1.1	Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	25
3.1.2	Hick-Aufgabe . . . . .	28
3.1.3	Berliner Intelligenzstruktur-Test (BIS-Test) . . . . .	31
3.1.4	Zusammenhänge zwischen den Aufgaben . . . . .	31
3.2	1. Fragestellung . . . . .	36
3.3	2. Fragestellung . . . . .	38
3.4	3. Fragestellung . . . . .	44
3.5	4. Fragestellung . . . . .	46
3.5.1	Fixed-Links-Messmodell . . . . .	46
3.5.2	Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell . . . . .	50
3.6	5. Fragestellung . . . . .	51
3.6.1	Analyse auf manifester Ebene . . . . .	52
3.6.2	Analyse auf latenter Ebene . . . . .	60
3.7	Weitere Analysen . . . . .	66
3.7.1	trololol . . . . .	66
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>67</b>
	<b>Literatur</b>	<b>76</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>77</b>
A.1	Alter . . . . .	77
A.2	Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	77
A.3	BIS-Test . . . . .	78
<b>B</b>	<b>Anhang</b>	<b>79</b>
B.1	Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	79



---

B.2	Hick-Aufgabe . . . . .	79
B.3	BIS-Test . . . . .	80
B.4	Zusammenhangsmasse . . . . .	82



# Abbildungen

1	Das BIS . . . . .	14
2	Spatial-Suppression-Streudiagramm . . . . .	26
3	Dichtefunktion des Suppression-Index . . . . .	28
4	Hick-Aufgabe-Streudiagramm . . . . .	29
5	Dichtefunktion des BIS-Test $z$ -Wert . . . . .	31
6	Spatial-Index-Intelligenz-Zusammenhang . . . . .	37
7	Exponentielle Regression . . . . .	39
8	Dichtefunktion des RMSE . . . . .	40
9	RMSE einfluss . . . . .	41
	a Test . . . . .	41
	b Test . . . . .	41
10	RMSE einfluss . . . . .	43
	a Test . . . . .	43
	b Test . . . . .	43
11	CFA Platzhalter Test . . . . .	45
12	CFA Platzhalter Test . . . . .	45
13	CFA Platzhalter Test . . . . .	49
14	CFA Platzhalter Test . . . . .	51
15	Lineare Regression der Hick-Aufgabe . . . . .	55
16	Dichtefunktion des RMSE . . . . .	56
17	RMSE Einfluss Hick . . . . .	58
	a Test . . . . .	58
	b Test . . . . .	58
18	CFA Platzhalter Test . . . . .	60

19	CFA Platzhalter Modell 15 . . . . .	63
20	CFA Platzhalter Modell 14 . . . . .	64
21	CFA Platzhalter Modell 16 . . . . .	66

# Tabellen

1	Die Subtests des BIS-Test . . . . .	17
2	Deskriptive Angaben zur Schwellenbestimmung in der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	25
3	Effektstärken zwischen den Bed SS . . . . .	27
4	Deskriptive Angaben zu den Reaktionszeiten in der Hick-Aufgabe	30
5	Effektstärken zwischen den Bed Hick . . . . .	30
6	Deskriptive Angaben zur . . . . .	32
7	Zusammenhänge zwischen den Subtests . . . . .	33
8	Korrelationen zwischen den drei Aufgaben . . . . .	35
9	Deskriptive Angaben zur . . . . .	38
10	Modell-Fits der berichteten Fixed-Links-Modelle der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	48
11	Vorhersage . . . . .	53
12	Deskriptive Angaben zur . . . . .	56
13	Korrelationen all . . . . .	57
14	Vorhersage . . . . .	59
15	Konfirmatorische Faktorenanalyse . . . . .	61
A1	Übersicht über die Datenbereinigung . . . . .	78
A2	Zusammenhänge zwischen den Subtests . . . . .	81
A3	Korrelationen zwischen den Aufgaben . . . . .	83



# Vorwort

Diese Arbeit ist das Produkt meiner dreijährigen Forschungstätigkeit. Danken möchte ich allen Menschen, die mich in der Zeit unterstützt haben und dazu beigetragen haben, dass diese (Upper, 1974)

Diese Arbeit ist verfügbar unter <http://www.github.com/pipomas>.

Philipp Thomas

23. August 2016





# 1 Einleitung

## 1.1 Intelligenz

Die Idee des g-Faktors (Spearman 1904), warum g entscheidend? warum mental speed am stärksten mit g? weil g hinter Informationsgeschwindigkeit / mental speed. Vorteil von g? aufgabenspezifische geht verloren, das konstruiert wird erfasst.

Was ist g und wie kann man g herleiten?

## 1.2 Mental-Speed-Ansatz

Warum hat es als Maß für mental speed?

Prozedur = Ablauf? Apparatur & Stimuli = experimentellen und angewandte Psychologie (deutsch nachschauen (experimental psychology jetzt auf englisch)).

([Doebler & Scheffler, 2015](#))

## 1.3 Spatial-Suppression-Ansatz

## 1.4 Das Impurity-Problem

## 1.5 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 wird in fünf Punkten abgearbeitet:

1. Die Arbeit von [Melnick, Harrison, Park, Bennetto und Tadin \(2013\)](#) berichtet bis heute als einzige über den Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz. Um die Aufgabe in Zusammenhang mit psychometrischer Intelligenz als Prädiktor zu festigen, bedarf es zuerst einer Bestätigung dieses Befundes. Dafür werden für die vorliegende Arbeit die experimentellen Bedingungen von [Melnick et al. \(2013\)](#) 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 gesetzt. 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 Suppression-Index – IQ Zusammenhang 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 psychometrische Intelligenz bewährt hat ([Beauducel & Kersting, 2002](#); [Valerius & Sparfeldt, 2014](#)). Die Verwendung von nicht exakt demselben Intelligenzmass erscheint hinsichtlich einer beabsichtigten Bestätigung des Befundes 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 Zusammen-

hang gebracht wurde, weniger als Schwachpunkt, sondern vielmehr als eine Notwendigkeit.

2. Der Suppression-Index, die in der Arbeit von [Melnick et al. \(2013\)](#) abhängige Variable, wurde für jede Person als Differenz zwischen zwei Schwellenschätzungen gebildet. Dabei wurde nicht berücksichtigt, dass Differenzmasse unter bestimmten, in empirischen Studien oft vorliegenden Bedingungen, problematisch sind: Weisen der Minuend beziehungsweise der Subtrahend keine perfekte Reliabilität auf und hängen sie zusammen, reduziert sich die Reliabilität des Differenzmasses. Beträgt beispielsweise die Reliabilität vom Minuend  $r_{xx} = .80$ , die Reliabilität vom Subtrahend  $r_{yy} = .80$  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 Differenzmass gebildet, kann folglich nicht ausgeschlossen werden, dass ein verhältnismässig wenig reliables Mass vorliegt. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird in der vorliegenden Arbeit eine abhängige Variable eingesetzt, welche nicht auf einer Differenz zwischen zwei Schwellenschätzungen beruht. [Melnick et al.](#) haben sich in ihrer Arbeit bereits bemüht, ein alternatives Mass herzuleiten. Sie haben die Wahrnehmungsschwellen jeder Person mit einer exponentiellen Regression vorhergesagt, jedoch nicht beide daraus resultierenden Parameter, die Asymptote und die Steigung, mit psychometrischer Intelligenz in Verbindung gesetzt. Um die Spatial-Suppression-Aufgabe mit ihren Bestandteilen besser zu verstehen, werden deshalb in dieser Arbeit die aus der exponentiellen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter benutzt, um psychometrische Intelligenz vorherzusagen.
3. Eine weitere Möglichkeit zur Quantifizierung der Spatial-Suppression-Aufgabe besteht darin, die Aufgabenbedingungen auf latenter Ebene zu analysieren und damit die Zusammenhänge der Aufgabenbedingungen auf einen oder mehrere unbeobachtete Faktoren 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. 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. 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 ([/autorefVerweis auf Einleitung, in welcher FLM beschrieben werden folgt noch](#)) zu beschreiben. Dafür werden zwei latente Variablen angenommen: Die erste latente Variable bildet durch konstantgehaltene 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 die sich unterscheidenden 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 gegeneinander getestet und das beste Modell 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 herkömmlichen Faktorenanalysen.
5. Nach dieser ausführlichen, aber auch isolierten Aufarbeitung des Zusammenhangs zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psycho-

metrischer Intelligenz folgt in einem letzten Schritt die Einbettung der Spatial-Suppression-Aufgabe in ihr nomologisches Netzwerk. Dafür wird die Hick-Aufgabe als ein etabliertes Mental-Speed-Mass hinzugezogen. Die Spatial-Suppression-Aufgabe kann auf manifester wie auch auf latenter Ebene mit der Hick-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz in Verbindung gebracht werden und es kann der Frage nachgegangen werden, welche Prozesse sich hinter den unter Punkt 2 und Punkt 4 erarbeiteten Parametern (Asymptote und Steigung respektive latente Variable mit konstanten Faktorladungen und latente Variable mit ansteigenden Faktorladungen) verbergen. Mit der Einbettung der Spatial-Suppression-Aufgabe in dieses nomologische Netzwerk soll sichergestellt werden, dass die Aufgabe in Zusammenhang mit psychometrischer Intelligenz einen Aspekt der menschlichen Informationsverarbeitung abbildet, der neuartig ist und nicht bereits von bestehenden, etablierten Aufgaben erfasst beziehungsweise erklärt wird. Schlussendlich soll dadurch 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.



## 2 Methodik

### 2.1 Stichprobe

An den Testungen haben 206 Versuchspersonen (Vps) teilgenommen, wovon 29 Vpn (14 %) aufgrund von technischen Problemen, nicht auswertbarer Subtests oder im Vergleich zu den restlichen Vpn stark abweichenden Werten ausgeschlossen wurden (siehe Anhang A für eine genaue Erläuterung der Vorgehensweise).

Analysiert wurden die Daten von 177 Vpn. Die 116 Frauen und 61 Männer waren zwischen 18 und 30 Jahre alt und wiesen ein mittleres Alter  $\pm$  Standardabweichung ( $SD$ ) von  $21.14 \pm 2.71$  Jahren auf. Um eine bezüglich der Intelligenzausprägung heterogene Stichprobe zu erhalten, nahmen Vpn aus verschiedenen Bildungsgruppen an der Untersuchung teil: Neun Vpn haben als höchsten Bildungsabschluss die obligatorische Schulzeit genannt, 55 Vpn eine Berufslehre, 31 Vpn eine Berufsmatura, 23 Vpn eine gymnasiale Maturität, 45 Vpn ein Bachelor-Studium, drei Vpn ein Master-Studium und 11 Vpn eine andere Ausbildung. 160 der 177 Vpn waren deutscher Muttersprache. Die anderen 17 Vpn sprachen akzentfrei deutsch. Alle Vpn berichteten über eine normale Sehschärfe, eine normale Hörfähigkeit, waren Nichtraucher, konsumierten keine Medikamente und waren nicht chronisch krank. Um Einflüsse von Koffein auf die Wahrnehmungsleistung ([Stough et al., 1995](#)) der Vpn zu minimieren, wurden die Vpn gebeten, bis zwei Stunden vor der Teilnahme keine koffeinhaltigen Getränke zu konsumieren. Die Vpn hatten keine Erfahrung mit den eingesetzten Testverfahren. Für die Teilnahme an der Untersuchung erhielten Berner Studierende des Fachs Psychologie vier Versuchspersonen-Stunden, die sie an ihr Studium anrechnen

lassen konnten. Alle anderen Vpn wurden für die Teilnahme mit CHF 50.– entlohnt.

## 2.2 Die Spatial-Suppression-Aufgabe

Als Grundlage für die Aufgabe diente der [Programmcode](#) von [Melnick et al. \(2013\)](#).

### 2.2.1 Apparatur und Material

Präsentiert wurde die Aufgabe auf einem ASUS Vento A2 Computer, der mit einem 2.6 GHz Prozessor, 4 GB Arbeitsspeicher und 512 MB Videospeicher (Nvidia GeForce 9800 GT) ausgestattet war. Als Betriebssystem diente Windows 7. Der verwendete ASUS VG248QE Monitor wies bei einer Bildschirmbreite von 53.2 cm und einer Bildschirmhöhe von 29.9 cm eine Auflösung von  $1920 \times 1080$  Pixel auf. Er wurde linearisiert und mit einer Bildwiederholungsrate von 144 Hz betrieben. Die Antworten der Vpn wurden mit einer PC-Tastatur erfasst.

Die visuellen Reize wurden in MATLAB<sup>®</sup> ([MathWorks Inc., 2013](#)) erzeugt. Die vertikal schwarz-grau gestreiften Muster wurden mit einem Kontrast von 99 % auf einem grauen Hintergrund präsentiert, welcher eine Leuchtdichte von  $178 \text{ cd/m}^2$  aufwies. Die Leuchtdichte des Raumes betrug in unmittelbarer Umgebung des Monitors  $9 \text{ cd/m}^2$ . Die drei in [Melnick et al. \(2013\)](#) verwendeten Mustergrößen mit den Sehwinkeln  $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$  und  $7.2^\circ$  wurden um die Mustergrösse von  $5.4^\circ$  ergänzt, wodurch sich für diese Arbeit die Mustergrößen mit den Sehwinkeln  $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$ ,  $5.4^\circ$  und  $7.2^\circ$  ergaben (siehe ??). Die Sehwinkel der Muster wurden mit einer Kinnstütze, die 61 cm vom Monitor entfernt war, sichergestellt. Der verwendete Ton wies bei einer Frequenz von 2900 Hz und einer Lautstärke von 70 dB eine Länge von 50 ms auf.

### 2.2.2 Versuchsablauf

Ein Durchgang sah folgendermassen aus: Nach einer Zeitspanne von 440 ms erschien in der Mitte des Monitors für 560 ms ein Kreis, der sich über die



ersten 200 ms von einer Grösse von  $1.6^\circ$  auf eine Grösse von  $0.26^\circ$  zusammenzog, für 360 ms diese Grösse beibehielt und anschliessend ausgeblendet wurde. Dieses Vorgehen diente dazu, den Blick der Vpn in die Bildschirmmitte zu lenken. Nach einem Intervall von 300 ms erschien in der Mitte des Monitors ein sich nach links oder rechts bewegendes vertikal schwarz-grau gestreiftes Muster. Die Stelle, an welcher die Vpn das Muster auf dem Monitor sahen, war stationär. Hinter dieser stationären Stelle bewegte sich das Muster mit einer Geschwindigkeit von  $4^\circ/\text{s}$  nach links oder nach rechts. Nach der Darbietungszeit mussten die Vpn mit einem Tastendruck entscheiden, in welche Richtung sich das Muster bewegt hat. Die Vpn erhielten die Instruktion, bei einer wahrgenommenen Bewegung nach links mit ihrem linken Zeigefinger die linke Pfeiltaste ( $\leftarrow$ ) und bei einer wahrgenommenen Bewegung nach Rechts mit ihrem rechten Zeigefinger die rechte Pfeiltaste ( $\rightarrow$ ) zu drücken. Bei einer korrekten Antwort wurde ein Ton abgegeben und die Darbietungszeit des nächsten Musters verringert, bei einer falschen Antwort wurde kein Ton abgegeben und die Darbietungszeit des nächsten Musters erhöht. Die Darbietungszeit des Musters wurde entsprechend dem QUEST-Verfahren (Watson & Pelli, 1983) angepasst. Beim QUEST-Verfahren wird mit Hilfe von Grundprinzipien der Bayes-Statistik nach jedem Durchgang eine Schwelle geschätzt. Die Schwellenschätzung wird dann benutzt, um die Darbietungszeit des nächsten Stimulus zu bestimmen. Die Vpn wurden instruiert, sich bei der Antwortabgabe genügend Zeit zu lassen und möglichst fehlerfrei zu arbeiten. Nach Antwortabgabe startete der nächste Durchgang.

Als Erstes bearbeiteten die Vpn eine Übungsaufgabe. Dabei wurden die vier Mustergrössen allen Vpn je drei Mal in einer pseudorandomisierten Abfolge präsentiert. Die Darbietungszeit aller Mustergrössen betrug zu Beginn der Aufgabe 80 ms und wurde adaptiv angepasst. Die Übungsaufgabe dauerte etwa eine Minute und wurde nicht ausgewertet. Die 12 Durchgänge der Übungsaufgabe dienten dazu, dass sich die Vpn mit der Art der Stimuluspräsentation, der Antworteingabe und dem Ton vertraut machen konnten.

Als Zweites folgte eine etwas längere Aufgabe. Die Vpn bearbeiteten drei Wiederholungen, die durch eine Pause von etwa 30 Sekunden getrennt waren. Eine Wiederholung bestand aus zwei Schwellenschätzungen pro Mustergrösse. Jede der vier Mustergrössen wurde innerhalb einer Schwellen-

schätzung sieben Mal präsentiert. Gesamthaft bearbeiteten die Vpn folglich  $3 \times 2 \times 4 \times 7 = 168$  Durchgänge. Die Mustergrößen wurde allen Vpn in einer pseudorandomisierten Abfolge präsentiert. Die Darbietungszeit der Mustergrößen betrug zu Beginn der Aufgabe 30 ms und wurde für jede Mustergrösse einzeln über den gesamten Verlauf der 42 Durchgänge adaptiv angepasst. Die Aufgabe dauerte etwa 7 Minuten und wurde nicht ausgewertet, weil sich bei einigen Vpn die Wahrnehmungsleistung während der ersten Durchgänge stark verbessern kann (D. Tadin, persönl. Mitteilung, 19.08.2014). Dieser Aufgabenblock diente dazu, diese Trainingseffekte der Vpn zuzulassen und ihre Leistung auf individuellem Niveau zu festigen.

Als Drittes bearbeiteten die Vpn die eigentliche Aufgabe. Die Vpn bearbeiteten drei Wiederholungen, die durch eine Pause von etwa 1 Minute getrennt waren. Eine Wiederholung bestand aus zwei Schwellenschätzungen pro Mustergrösse. Jede der vier Mustergrößen wurde innerhalb einer Schwellenschätzung 22 Mal präsentiert. Gesamthaft bearbeiteten die Vpn somit  $3 \times 2 \times 4 \times 22 = 528$  Durchgänge. Die Mustergrößen wurde allen Vpn in einer pseudorandomisierten Abfolge präsentiert. Die Darbietungszeit der Mustergrößen betrug bei Start der Aufgabe 30 ms und wurde für jede Mustergrösse einzeln über den gesamten Verlauf der 132 Durchgänge adaptiv angepasst. Daraus resultierten für jede Vp  $\log_{10}$ -Schwellenschätzungen, bei welcher sie in 82 % der Fälle eine korrekte Antwort abgab respektive die Bewegungsrichtung der Muster richtig erkannt hat. Die Aufgabe dauerte etwa 25 Minuten.

Für jede Mustergrösse wurden die sechs Schwellenschätzungen in eine Rangreihenfolge gebracht, wobei der kleinste und grösste Wert entfernt und die restlichen vier Schwellenschätzungen gemittelt wurden. Als Basis für alle abhängigen Masse der Spatial-Suppression-Aufgabe resultierte so pro Vp für jede Mustergrösse ( $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$ ,  $5.4^\circ$  und  $7.2^\circ$ ) eine  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung. Der Suppression-Index wurde gemäss der Vorgehensweise von [Melnick et al. \(2013\)](#) als Differenz zwischen der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse  $7.2^\circ$  und der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse  $1.8^\circ$  gebildet. Für die exponentielle Regression wurden die vier  $\log_{10}$ -Schwellenschätzungen als Exponenten zur Basis 10 verrechnet. Dadurch ergaben sich im Gegensatz zu den  $\log_{10}$ -Schwellenschätzungen leichter interpretierbare

Werte im Millisekundenbereich.

## 2.3 Die Hick-Aufgabe

Angelehnt an die Versuchsanordnung von [Rammsayer und Brandler \(2007\)](#) wurde als Mass für Mental-Speed eine Hick-Aufgabe eingesetzt.

### 2.3.1 Apparatur und Material

Präsentiert wurde die Aufgabe auf dem in Unterabschnitt 2.2.1 beschriebenen Computer, mit dem einzigen Unterschied, dass die Auflösung des Monitors für die Hick-Aufgabe  $1280 \times 1024$  Pixel betrug. Die Antworten der Vpn wurden mit einer Cedrus RB-830 Tastatur erfasst.

Die Stimuli wurden mit E-Prime<sup>®</sup> ([Psychology Software Tools, 2012](#)) präsentiert. Die weissen Stimuli wurden auf einem schwarzen Hintergrund präsentiert, welcher eine Leuchtdichte von  $2 \text{ cd/m}^2$  aufwies. Der horizontale und vertikale Sehwinkel der verwendeten Rechtecke betrug  $1.8^\circ$  respektive  $1.5^\circ$ . Die Rechtecke wurden auf dem Monitor zentriert dargeboten. Die Stimulianordnung der verwendeten Bedingungen sah folgendermassen aus (siehe ??): In der 0-Bit-Bedingung wurde ein Rechteck präsentiert. In der 1-Bit-Bedingung wurden horizontal nebeneinander zwei Rechtecke präsentiert. Die beiden Rechtecke erschlossen zusammen einen horizontalen und vertikalen Sehwinkel von  $4.5^\circ$  respektive  $1.5^\circ$ . In der 2-Bit-Bedingung wurden in U-Form vier Rechtecke präsentiert. Die vier Rechtecke erschlossen gemeinsam einen horizontalen und vertikalen Sehwinkel von  $7.5^\circ$  respektive  $4.3^\circ$ . In der 2.58-Bit-Bedingung wurden zu den in U-Form angeordneten vier Rechtecken der 2-Bit-Bedingung in der oberen Reihe je links und rechts ein Rechteck hinzugefügt. Die sechs Rechtecke erschlossen zusammen einen horizontalen und vertikalen Sehwinkel von  $12.9^\circ$  respektive  $4.3^\circ$ . Der Sehwinkel des imperativen Reizes, einem «+», betrug  $0.5^\circ$  und wurde immer in der Mitte eines Rechtecks präsentiert. Die Sehwinkel der Stimuli wurden mit einer Kinnstütze, die 61 cm vom Monitor entfernt war, sichergestellt. Der verwendete Ton wies bei einer Frequenz von 1000 Hz und einer Lautstärke von 70 dB eine Länge von 200 ms auf.

### 2.3.2 Versuchsablauf

In der 0-Bit-Bedingung bearbeiteten die Vpn 32 Durchgänge. Jeder Durchgang startete nach 1100 ms mit der Präsentation eines Rechtecks. Nach einer variablen Zeitdauer, Stimulus-Onset Asynchrony (SOA) genannt, welche 1000, 1333, 1666 oder 2000 ms betrug, wurde der imperative Reiz, ein «+», eingeblendet. Die Vpn wurden angewiesen, mit dem Zeigefinger ihrer dominanten Hand so rasch als möglich auf die vorgesehene Antworttaste zu drücken. Bei einer Antwortabgabe nach Einblenden des imperativen Reizes folgte ein Ton. Bei einer Antwortabgabe vor Einblenden des imperativen Reizes folgte kein Ton. In beiden Fällen führte eine Antwortabgabe zur Ausblendung der Stimuli und zum Start des nächsten Durchganges.

Die 1-Bit-Bedingung unterschied sich von der 0-Bit-Bedingung in der Anzahl dargebotener Rechtecke und der Tonabgabe. Der imperative Reiz trat im linken oder im rechten Rechteck auf. Die Vpn erhielten die Anweisung, beim Auftreten des imperativen Reizes im linken Rechteck mit ihrem linken Zeigefinger und beim Auftreten des imperativen Reizes im rechten Rechteck mit ihrem rechten Zeigefinger so rasch als möglich auf die dem jeweiligen Finger zugewiesene Antworttaste zu drücken. Bei einer korrekten Antwortabgabe nach Einblendung des imperativen Reizes folgte ein Ton. Bei einer Antwortabgabe vor Einblendung des imperativen Reizes oder bei einer falschen Antwortabgabe folgte kein Ton.

Die 2-Bit-Bedingung unterschied sich von der 1-Bit-Bedingung lediglich in der Anzahl präsentierter Rechtecke. Der imperative Reiz trat entweder im oberen linken, unteren linken, oberen rechten oder unteren rechten Rechteck auf. Die Vpn wurden angewiesen, beim Auftreten des imperativen Reizes im oberen linken Rechteck mit ihrem linken Mittelfinger, beim Auftreten des imperativen Reizes im unteren linken Rechteck mit ihrem linken Zeigefinger, beim Auftreten des imperativen Reizes im oberen rechten Rechteck mit ihrem rechten Mittelfinger und beim Auftreten des imperativen Reizes im unteren rechten Rechteck mit ihrem rechten Zeigefinger so rasch als möglich auf die dem jeweiligen Finger zugewiesene Antworttaste zu drücken.

Die 2.58-Bit-Bedingung unterschied sich von der 2-Bit-Bedingung nur in der Anzahl präsentierter Rechtecke. Der imperative Reiz trat entweder im

oberen äusseren linken, oberen inneren linken, unteren linken, oberen äusseren rechten, oberen inneren rechten oder unteren rechten Rechteck auf. Die Vpn wurden angewiesen, beim Auftreten des imperativen Reizes im oberen äusseren linken Rechteck mit ihrem linken Ringfinger, beim Auftreten des imperativen Reizes im oberen inneren linken Rechteck mit ihrem linken Mittelfinger, beim Auftreten des imperativen Reizes im unteren linken Rechteck mit ihrem linken Zeigefinger, beim Auftreten des imperativen Reizes im oberen äusseren Rechteck mit ihrem rechten Ringfinger, beim Auftreten des imperativen Reizes oberen inneren rechten Rechteck mit ihrem rechten Mittelfinger und beim Auftreten des imperativen Reizes im unteren rechten Rechteck mit ihrem rechten Zeigefinger so rasch als möglich auf die dem jeweiligen Finger zugewiesene Antworttaste zu drücken.

Die Bedingungen wurden von allen Vpn in aufsteigender Reihenfolge (0-, 1-, 2-, 2.58-Bit-Bedingung) bearbeitet. Jeder Bedingung gingen acht Übungsdurchgänge voraus, damit sich die Vpn mit der Art der Stimuluspräsentation, der Antworteingabe und dem Ton vertraut machen konnten. Der imperative Reiz trat in der 1-, 2- und 2.58-Bit-Bedingung für alle Vpn in einer pseudorandomisierten Abfolge mit der identischen, ausbalancierten SOA am identischen, über die 32 Durchgänge der Bedingungen ausbalancierten Ort auf. Insgesamt dauerte die Aufgabe etwa 15 Minuten.

Pro Bedingung wurde für jede Vp der Mittelwert und die Standardabweichung aller korrekten Antworten bestimmt, die zwischen 100 und 2500 ms lagen. Basierend auf diesen Berechnungen wurden für jede Vp in jeder Bedingung diejenigen Durchgänge entfernt, welche eine Reaktionszeit (RZ)  $\geq$  Mittelwert ( $M$ ) +  $3 \times SD$  aufwiesen. Nach dieser intraindividuellen Ausreiserkontrolle wurden die verbliebenen Durchgänge innerhalb einer Bedingung gemittelt und für jede Vp als Leistungsmass der Bedingung der Hick-Aufgabe verwendet.

## 2.4 Erfassung der psychometrischen Intelligenz

Psychometrische Intelligenz wurde mit einer modifizierten Kurzversion des Berliner Intelligenzstruktur-Test (BIS-Test; [Jäger et al., 1997](#)) erfasst. Die fähigkeitstheoretische Grundlage des Tests ist das integrativ konzipierte bi-

modale und hierarchische Berliner Intelligenzstrukturmodell (BIS) von Jäger (1984, siehe Abbildung 1).

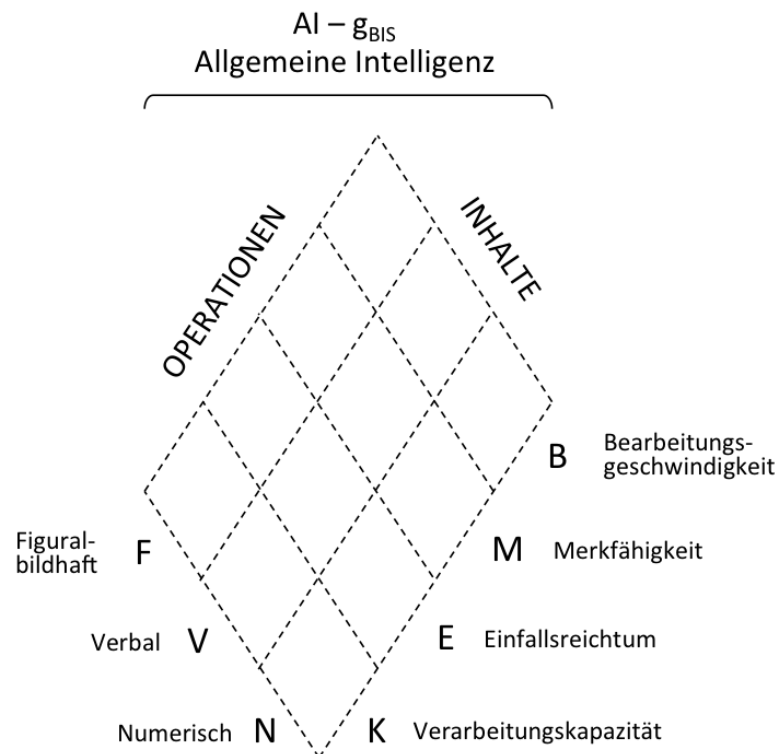


Abbildung 1. Das BIS von Jäger (1984).

Als integratives Modell ist das BIS zu bezeichnen, weil Jäger (1984) bei der Konstruktion des Modells versucht hat, die Vielfalt intellektueller Leistungsformen möglichst umfassend zu repräsentieren. Bimodal ist das BIS, weil das Modell zwei Modalitäten aufweist, unter welchen Leistungen und Fähigkeiten klassifiziert werden können. Das BIS trennt dabei zwischen sogenannten Operationen und Inhalten. Innerhalb der Modalität Operationen werden die vier Fähigkeitsbündel Verarbeitungskapazität, Bearbeitungsgeschwindigkeit, Merkfähigkeit und Einfallsreichtum unterschieden. Verarbeitungskapazität (K) steht für die Fähigkeit, komplexe Informationen von Aufgaben zu verarbeiten, die nicht auf Anhieb zu lösen sind, sondern die erst durch vielfältiges Beziehungsstiften, formallogisch exaktes Denken und sachgerechtes Beurteilen von Informationen zu lösen sind. Bearbeitungsgeschwindigkeit (B) beschreibt das Arbeitstempo, die Auffassungsleichtigkeit und die

Konzentrationskraft beim Lösen von einfach strukturierten Aufgaben mit geringem Schwierigkeitsgrad. Merkfähigkeit (M) spiegelt die Fähigkeit wider, sich etwas aktiv einzuprägen, etwas kurzfristig wieder zu erkennen oder zu reproduzieren. Einfallsreichtum (E) beschreibt die Fähigkeit, flexible Ideen zu produzieren und über vielfältige Vorstellungen von Problemen zu verfügen. Innerhalb der Modalität Inhalte lässt sich nach [Jäger \(1984\)](#) sprachgebundenes Denken von zahlengebundenem Denken und anschauungsgebundenem, figural-bildhaftem Denken unterscheiden. Sprachgebundenes Denken (V) beschreibt den Grad der Aneignung und der Verfügbarkeit des Beziehungssystems Sprache. Zahlengebundenes Denken (N) steht für das Ausmass der Aneignung und der Verfügbarkeit des Beziehungssystems Zahlen. Anschauungsgebundenes, figural-bildhaftes Denken (F) spiegelt die Fähigkeit wider, Aufgabenmaterial zu verarbeiten, welches bildhaftes beziehungsweise räumliches Vorstellen erfordert.

Auf höchster Hierarchiestufe des BIS steht als Integral aller sieben Fähigkeiten (K, B, M, E, V, N und F) die Allgemeine Intelligenz (AI). Die AI und die Fähigkeiten unterscheiden sich aber lediglich im Differenzierungsgrad. AI bildet Intelligenzleistungen gemäss [Jäger \(1984\)](#) aus grosser Distanz ab, während die sieben Fähigkeiten auf der Ebene darunter Intelligenzleistungen aus geringerer Distanz mit feinerem Auflösungsgrad abbilden. Untersuchungen zum BIS konnten die postulierte Struktur des BIS-Test replizieren und Zusammenhänge mit anderen Intelligenzmodellen wie denjenigen von [Cattell \(1971\)](#) oder von [Carroll \(1993\)](#) herstellen ([Beauducel & Kesting, 2002](#); [Bucik & Neubauer, 1996](#); [Süss, Oberauer, Wittman, Wilhelm & Schulze, 2002](#)).

Die von [Jäger et al. \(1997\)](#) vorgeschlagene Kurzversion des BIS-Test enthält 15 Subtests. Die Operationen B, M und E werden darin mit je einem Subtest pro Inhalt erfasst, wobei K mit zwei Subtests pro Inhalt erfasst wird. Bei der Modellierung der Daten mittels Strukturgleichungsmodellen hätte dies bei der vorliegenden Arbeit zu einer Überrepräsentation von K im *g*-Faktor geführt. Um dies zu vermeiden, wurden die Operationen B und M um je einen Subtest pro Inhalt angereichert. Grundlage für die Auswahl der Subtests bildeten die Erkenntnisse von [Wicki \(2014\)](#), wobei bei der Entscheidung über die Aufnahme der Subtests ökonomische (Bearbeitungszeit

der Subtests) und teststatistische (Trennschärfe und Reliabilität der Subtests) Gesichtspunkte berücksichtigt wurden. Die Kurzversion von [Jäger et al. \(1997\)](#) wurde mit folgenden Subtests ergänzt: Klassifizieren von Wörtern, Old English, Rechen-Zeichen, Wege-Erinnern, Worte Merken und Zweistellige Zahlen. [Wicki \(2014\)](#) berichtet für diese modifizierte Kurzversion für die Operationen K, B und M interne Konsistenzen von Cronbachs  $\alpha = .61 - .73$  und Konstruktreliabilitäten, gemessen mit McDonald's (1999) Omegakoeffizienten, von  $\Omega = .58 - .64$ . Auf Subtests der Operation E wurde gänzlich verzichtet, weil zum einen unklar ist, wie Einfallsreichtum und Intelligenz zusammenhängen ([K. H. Kim, 2005](#)) und zum anderen weil [Jäger et al. \(1997\)](#) unbefriedigende Objektivitätswerte berichten. Alle eingesetzten Subtests, deren Beschreibung sowie Zuordnung zu den jeweiligen Operationen und Inhalte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Die 19 Subtests wurden den Vpn nach der in Tabelle 1 aufgeführten Reihenfolge vorgelegt und gemäss dem Manual des BIS-Test instruiert. Die Bearbeitung der Subtests dauerte insgesamt 50 Minuten. Die Aufwärm Aufgabe Unvollständige Wörter (UW) wurde nicht ausgewertet. Die Rohwerte der restlichen 18 Subtests wurden  $z$ -standardisiert. Für die Beantwortung der Fragestellungen 1 und 2 wurden alle 18  $z$ -standardisierten Subtests gemittelt. Dadurch resultierte für jede Vpn ein  $z$ -standardisiertes Mittel ihrer Leistung. Um für die Beantwortung der Fragestellungen 3, 4 und 5 einen  $g$ -Faktor zu bilden, wurden die 18  $z$ -standardisierten Subtests innerhalb ihrer zugehörigen Operation gemittelt. Damit flossen in jede Operation (K, B und M) zwei Subtests aus dem Bereich V, zwei Subtests aus dem Bereich N und zwei Subtests aus dem Bereich F (insgesamt sechs Subtests) ein. Der  $g$ -Faktor wurde anschliessend aus den drei gemittelten  $z$ -Werten der Operationen K, B und M abgeleitet.



Tabelle 1

Beschreibung und Reihenfolge der eingesetzten Subtests des BIS-Test

Nr.	Name	Abkürzung	Operation			Inhalt			Beschreibung
			K	B	M	V	N	F	
1	Unvollständige Wörter*	UW	✓			✓			In vorgegebenen Wörtern fehlen einige Buchstaben, welche zu ergänzen sind (z.B. F_scher)
2	Orientierungs-Gedächtnis	OG		✓			✓		Auf einem Stadtplanausschnitt markierte Gebäude müssen eingeprägt und unmittelbar danach wiedergegeben werden
3	Zahlenreihen	ZN	✓				✓		Nach bestimmten Regeln aufgabente Zahlenreihen sind um ein weiteres Glied zu ergänzen (z.B. 2 5 8 11 14 17 ?)
4	Analogien	AN	✓					✓	Analogien mit Form $A : B = C : ?$ müssen ergänzt werden, wobei die Analogien aus geometrischen Formen bestehen
5	X-Grösser	XG	✓				✓		Zahlen, die um 3 grösser sind als die unmittelbar vorangegangene Zahl müssen so schnell wie möglich durchgestrichen werden (z.B. 18 20 24 <del>27</del> 13 18 <del>21</del> ...)
6	Wortanalogien	WA	✓				✓		Wortanalogien der Form «Huhn zu Küken» wie «Kuh zu ?» müssen vervollständigt werden
7	Zahlenpaare	ZP		✓			✓		Zahlenpaare der Form 71 – 918 sind einzuprägen. Das jeweils zweite Glied ist anschliessend unter vier Distraktoren zu identifizieren
8	Tatsache-Meinung	TM	✓				✓		Sätze müssen daraufhin geprüft werden, ob sie eher eine Tatsache oder eher eine Meinung wiedergeben
9	Buchstaben-Durchstreichen	BD	✓					✓	Alle «x» müssen in Zeilen von Buchstaben durchgestrichen werden (z.B. sysxkdihx...)
10	Schätzen	SC	✓				✓		Rechenaufgaben der Form $118492 - 3684 - 2106 - 4708 = ?$ müssen durch einfache rechnerische Überlegungen geschätzt bzw. gelöst werden
11	Sinnvoller Text	ST		✓			✓		Verbale Detailangaben in einem Text sind einzuprägen und unmittelbar danach zu reproduzieren
12	Charkow	CH	✓					✓	Eine Folge von Strichzeichnungen, die nach einer bestimmten Regel aufgebaut ist, ist um die beiden folgenden Glieder zu ergänzen
13	Teil-Ganzes	TG	✓				✓		In Wortlisten sind zwei aufeinander folgende Wörter, die in der Beziehung Ganzes/zugehöriger Teil zueinander stehen zu markieren (z.B. Baum, Blatt, Stein, Haus, Dach, ...)
14	Rechen-Zeichen	RZ	✓				✓		In einfachen vorgegebenen Gleichungen stehen anstelle von Plus- oder Minuszeichen leere Kästchen. Die richtigen Rechenzeichen sind einzutragen
15	Worte merken	WM		✓			✓		Eine Liste von Wörtern ist einzuprägen und unmittelbar danach in beliebiger Reihenfolge zu reproduzieren
16	Klassifizieren von Wörtern	KW	✓				✓		In Spalten von Wörtern sind alle Worte, die Pflanzen bezeichnen, durchzustreichen
17	Zweistellige Zahlen	ZZ	✓				✓		Eine Reihe zweistelliger Zahlen ist einzuprägen und unmittelbar danach in beliebiger Reihenfolge zu reproduzieren
18	Old English	OE	✓					✓	In Buchstabenreihen sind alle in einem vorgegebenen Schrifttyp gedruckten Buchstaben durchzustreichen
19	Wege-Erinnern	WE		✓			✓		Ein in einem Stadtplanausschnitt eingezeichneter Weg ist einzuprägen und unmittelbar danach zu reproduzieren

Anmerkungen. K = Verarbeitungskapazität; B = Bearbeitungsgeschwindigkeit; M = Merkfähigkeit; V = verbal; N = numerisch; F = figural-bildhaft.

\*Der Subtest UW wurde als Aufwärmübung verwendet und floss nicht in die Auswertung mit ein.

## 2.5 Weitere Instrumente

Im Rahmen der Untersuchung wurden den Vpn Fragebögen und weitere Computer-Aufgaben zur Bearbeitung vorgelegt. Sie sind für die Fragestellungen dieser Arbeit nicht relevant und werden deshalb im folgenden Abschnitt nur kurz beschrieben.

### 2.5.1 Fragebögen

#### **Persönliche Angaben**

Die Erfassung persönlicher Angaben fand in zwei Teilen statt. In einem ersten Teil machten die Vpn schriftlich Angaben zu ihrer Muttersprache, Seh- und Hörfähigkeit, ihren chronischen Krankheiten und ihrem Medikamenten- sowie Nikotinkonsum. In einem zweiten Teil machten sie computergestützt Angaben zu ihrem Alter, Geschlecht, Bildungsniveau, Koffeinkonsum, Videospielhäufigkeit, Musikinstrumenterfahrung und Vertrautheit mit dem Zehnfingersystem beim Computerschreiben.

#### **Kurzform der deutschen Übersetzung des revidierten Eysenck Personality Questionnaire (EPQ-RK)**

Die Vpn haben computergestützt die Kurzform der deutschen Übersetzung des EPQ-RK von [Ruch \(1999\)](#) bearbeitet. Der Fragebogen enthält insgesamt 50 Fragen, darunter 14 Items zur Erfassung von Psychotizismus, 12 Items zur Erfassung von Extraversion, 12 Items zur Erfassung von Neurotizismus und 12 Items zur Erfassung der individuellen Neigung, sozial erwünschte Antworten abzugeben.

#### **Deutsche Übersetzung des Dickman Impulsivity Inventory (DII)**

Die deutsche Übersetzung des DII stammt von [Kuhmann und Ising \(1996\)](#) und beinhaltet insgesamt 23 Items, darunter 11 Items zur Erfassung der funktionalen Impulsivität und 12 Items zur Erfassung der dysfunktionalen Impulsivität. Der Fragebogen wurde von den Vpn computergestützt bearbeitet.

## 2.5.2 Zeitverarbeitungsaufgaben

### Zeitdauerdiskrimination im Millisekundenbereich mit gefüllten und leeren Intervallen

Die Vpn bekamen über Lautsprecher hintereinander eine Standardtondauer und eine variable Vergleichstondauer dargeboten. Danach mussten die Vpn jeweils mit einem Tastendruck entscheiden, ob die erste oder die zweite Tondauer länger war. Bei einer korrekten Antwort verringerte sich die Differenz zwischen der Standard- und der Vergleichstondauer und bei einer falschen Antwort erhöhte sich diese Differenz. Die Aufgabe wurde einmal mit gefüllten Zeitintervallen (das heisst mit jeweils zwei kontinuierlichen Tönen) und einmal mit leeren Zeitintervallen (das heisst die Töne waren durch einen Klick am Anfang und einen Klick am Schluss des Intervalls gekennzeichnet) durchgeführt. Diese Aufgaben dauerte insgesamt etwa 15 Minuten. Der Aufgabenaufbau war vergleichbar mit demjenigen von [Stauffer, Haldemann, Troche und Rammsayer \(2011\)](#).

### Zeitgeneralisation im Millisekundenbereich

Die Aufgabe der Vpn war es, in einer Lernphase die über Lautsprecher fünf Mal präsentierte Standardtonlänge einzuprägen. Danach folgte die eigentliche Aufgabe: Es wurden in zufälliger Reihenfolge die Standardtonlänge und sechs Vergleichstonlängen präsentiert. Die Vpn mussten nach jeder Tonlänge mit einem Tastendruck entscheiden, ob die präsentierte Tonlänge von gleicher Länge war wie die Standardtonlänge oder nicht. Diese Aufgabe dauerte insgesamt etwa 5 Minuten (siehe [Stauffer et al., 2011](#)).

### Rhythmuswahrnehmung

Die Vpn hatten die Aufgabe, sechs über Lautsprecher in unregelmässigen Abständen präsentierte Töne von jeweils 3 ms Dauer auf rhythmische Darbietung hin zu beurteilen. Gaben die Vpn an, den Rhythmus als regelmässig wahrgenommen zu haben, wurde die Abweichung des Interstimulusintervalls beim nächsten Durchgang erhöht. Gaben die Vpn an, den Rhythmus als unregelmässig wahrgenommen zu haben, wurde die Abweichung des Inter-

stimulusintervalls beim nächsten Durchgang verringert. Die Aufgabe dauerte insgesamt etwa 5 Minuten (siehe [Stauffer et al., 2011](#)).

### 2.5.3 Inspection-Time-Aufgabe

Die auf einem Computermonitor präsentierten Stimuli der Inspection-Time-Aufgabe ([Vickers, Nettelbeck & Willson, 1972](#)) bestanden aus zwei ungleich langen vertikalen Linien, die an ihren oberen Enden mit einer horizontalen Linie verbunden waren. Bei jedem Durchgang wurde die kürzere vertikale Linie zufällig links oder rechts präsentiert und nach der Darbietungszeit mit einer Pi-förmigen Abbildung, die gleich lange vertikale Linien aufwies, maskiert. Die Aufgabe der Vpn bestand darin anzugeben, ob die linke oder die rechte vertikale Linie länger war. Eine korrekte Antwort verringerte und eine falsche Antwort erhöhte die Darbietungszeit des nächsten Stimulus. Die Aufgabe dauerte insgesamt etwa 5 Minuten.

## 2.6 Untersuchungsablauf

Die Untersuchung wurde vor Datenerhebungsbeginn von der Ethikkommission der philosophisch-humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern gutgeheissen. Die Vpn nahmen an zwei Sitzungen teil, welche 2 bis 14 Tage voneinander getrennt waren. Zwei Vpn hatten krankheitsbedingt ein längeres Intervall zwischen den beiden Sitzungen (18 und 30 Tage).

### 2.6.1 Sitzung 1

Die Vpn wurden in Gruppen von zwei bis sechs Personen in einem 18m<sup>2</sup> grossen Raum an Einzeltische gesetzt. Die Tische waren so weit voneinander entfernt, dass die Vpn nicht durch den Nachbarn gestört werden oder abschreiben konnten. Ohne die Fragestellungen der Arbeit zu offenbaren, klärte der Versuchsleiter<sup>1</sup> die Vpn über den Zweck der Untersuchung auf, informierte sie über den Ablauf der bevorstehenden Sitzung und nahm die

---

<sup>1</sup> In dieser Arbeit wird der Einfachheit halber nur die männliche Form verwendet. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer mit eingeschlossen.

Einverständniserklärungen der Vpn entgegen. Danach wurden der Reihenfolge nach folgende Daten erhoben und Instrumente eingesetzt:

1. Persönliche Angaben Teil 1
2. BIS-Test
3. Persönliche Angaben Teil 2
4. EPQ-RK
5. DII

Diese erste Sitzung dauerte insgesamt etwa 90 Minuten.

### 2.6.2 Sitzung 2

Die zweite Sitzung fand als Einzeltestung in einer 5 m<sup>2</sup> grossen, schalldämpften Kabine statt. Der Versuchsleiter informierte die Vpn über den Ablauf der bevorstehenden Sitzung und legte ihnen am Computer der Reihenfolge nach folgende Aufgaben vor:

1. Spatial-Suppression-Aufgabe
2. Die fünf Aufgaben
  - ☞ Hick-Aufgabe
  - ☞ Zeitdauerdiskrimination im Millisekundenbereich mit gefüllten Intervallen
  - ☞ Zeitdauerdiskrimination im Millisekundenbereich mit leeren Intervallen
  - ☞ Zeitgeneralisation im Millisekundenbereich
  - ☞ Rhythmuswahrnehmung

wurden über alle Vpn hinweg vollständig permutiert, was in  $5! = 120$  unterschiedlichen Reihenfolgen resultierte. Nach 120 Vpn wurden die Reihenfolgen wiederholt, das heisst Vp 121 bearbeitete die Aufgaben in der gleichen Reihenfolge wie Vp 1, Vp 122 bearbeitete die Aufgaben in der gleichen Reihenfolge wie Vp 2 und so weiter.

### 3. Inspection-Time-Aufgabe

Nach der letzten Aufgabe wurden die Vpn vollständig über das Ziel der Untersuchung aufgeklärt und entlohnt. Diese zweite Sitzung dauerte inklusive einer fünfminütigen Pause nach 50 Minuten insgesamt etwa 120 Minuten.

## 2.7 Statistische Analyse

Alle Berechnungen wurden in R (R Core Team, 2016) durchgeführt, dessen Basisfunktionen mit folgenden Paketen ergänzt wurde: coin (Hothorn, Hornik, van de Wiel & Zeileis, 2008), colorspace (Ihaka, Murrell, Hornik, Fisher & Zeileis, 2015), dplyr (Wickham & Francois, 2014), effsize (Torchiano, 2016), ez (Lawrence, 2015), lavaan (Rosseel, 2012), lmSupport (Curtin, 2016), Metrics (Hamner, 2012), multcomp (Hothorn, Bretz & Westfall, 2008), nlme (Pinheiro, Bates, DebRoy, Sarkar & R Core Team, 2016), nlstools (Baty et al., 2015), pbapply (Solymos & Zawadzki, 2016), plotrix (Lemon, 2006), ppcor (S. Kim, 2015), psych (Revelle, 2015), readxl (Wickham, 2015), reshape2 (Wickham, 2007), rprime (Mahr, 2015), R.matlab (Bengtsson, 2014) und semPlot (Epskamp, 2014). Als Editor diente RStudio (RStudio Team, 2012).

Die Fragestellungen 3, 4 und 5 (siehe Seite 3) werden mittels konfirmatorischer Faktorenanalysen beantwortet. Die Güte einer konfirmatorischen Faktorenanalyse kann anhand einer Vielzahl von unterschiedlichen Kennwerten beurteilt werden, weshalb hier die für diese Arbeit wichtigen Kennwerte kurz vorgestellt werden.

### Chi Quadrat-Test ( $\chi^2$ -Test)

KURZ NOCHMALS SAGEN, WAS GUTER CHI-QUADRAT WERT IST!

Der  $\chi^2$ -Test ist ein Modelltest, der angibt, wie stark sich die theoretische, vom Modell implizierte Varianz-Kovarianzmatrix von der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix unterscheidet (Kline, 2011). Die dafür berechnete Teststatistik folgt in grossen Stichproben und unter der Voraussetzung der multivariaten Normalverteilung einer zentralen Chi Quadrat-Verteilung und

wird deshalb auch als  $\chi_m^2$  bezeichnet. Die Freiheitsgrade für den  $\chi^2$ -Test ergeben sich aus den Freiheitsgraden des zu testenden Modells ( $df_m$ ). Wenn  $\chi_m^2 = 0$  ist, stimmt die empirische Varianz-Kovarianzmatrix mit der vom Modell implizierten Varianz-Kovarianzmatrix ohne Abweichung überein und die empirischen Daten passen perfekt zum theoretischen Modell. Bildet das Modell die Daten nicht gut ab, wird  $\chi_m^2 > 0$ . Liegt  $\chi_m^2$  über dem kritischen  $\chi_{df}^2$ , sind die Abweichungen zwischen der empirischen und der theoretischen Varianz-Kovarianzmatrix grösser als durch den Stichprobenfehler erwartet, und die Nullhypothese wird verworfen. Wenn ein korrekt spezifiziertes Modell mit mehreren Zufallsstichproben geprüft wird, liegt der Erwartungswert von  $\chi_m^2$  bei  $df_m$ , und  $\chi_m^2$  würde bei einem  $\alpha$ -Fehler von 5 % bei 19 von 20 Stichproben im nicht-signifikanten Bereich liegen. **darauf hinweisen, das cst wichtiger ist als approximative fit indices?**

### Comparative Fit Index (CFI)

Der CFI lässt sich der Klasse der inkrementellen Fit Indizes zuordnen und wurde von [Bentler \(1990\)](#) entworfen. Die Formel lautet

$$\text{CFI} = 1 - \frac{\chi_m^2 - df_m}{\chi_b^2 - df_b}$$

Im Zähler wird  $df_m$  von  $\chi_m^2$  subtrahiert. Im Nenner des Bruchs wird die gleiche Differenz mit den Werten des Baseline Modells ( $df_b$  und  $\chi_b^2$ ) gebildet. Das Baseline Modell nimmt keinerlei Zusammenhänge zwischen den manifesten Variablen an und wird deshalb auch als «independence model» bezeichnet. Zieht man den beschriebenen Quotienten von Eins ab, ergibt sich ein Mass für die relative Verbesserung des angenommenen Modells gegenüber dem Baseline Modell. Aus der Formel folgt, dass  $\text{CFI} = 1$  ergibt, wenn  $\chi_m^2 \leq df_m$  ist. Das bedeutet aber auch, dass ein CFI von Eins nicht mit einem perfekten Fit ( $\chi_m^2 = 0$ ) gleichzusetzen ist. Ein CFI von .95 ist laut [Hu und Bentler \(1999\)](#) als guter Fit zu bezeichnen.

### Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)

Die Anzahl Freiheitsgrade eines Modells geben an, auf wie vielen Dimensionen die empirischen Daten vom Modell abweichen können. Der RMSEA

([Steiger, 1990](#)) ist ein Fit Index, der die durchschnittliche Abweichung des Modells pro mögliche Dimension der Abweichung angibt. Die Formel lautet

$$\text{RMSEA} = \sqrt{\frac{\chi_m^2 - df_m}{df_m(N - 1)}}$$

Wie beim CFI ergibt sich der beste Wert, wenn  $\chi_m^2 \leq df_m$  ist (dann ist  $\text{RMSEA} = 0$ ). Das bedeutet jedoch wie beim CFI auch, dass ein RMSEA von Null keinen perfekten Modell-Fit ( $\chi_m^2 = 0$ ) ergibt. Im Nenner wird  $df_m$  mit der Stichprobengrösse minus Eins multipliziert. Dies führt dazu, dass der RMSEA bei Modellen mit vielen Freiheitsgraden und grossen Stichproben kleiner wird. Ein RMSEA von .05 deutet laut [Browne und Cudeck \(1993\)](#) auf einen guten Modell-Fit hin.

### **Standardized Root Mean Square Residual (SRMR)**

Das SRMR ist ein Mass dafür, wie hoch die durchschnittlichen Korrelationsresiduen der manifesten Variablen sind ([Kline, 2011](#)). Anders formuliert gibt das SRMR den durchschnittlichen Zusammenhang der manifesten Variablen wieder, welcher nicht durch das Modell erklärt werden kann. Das SRMR sollte möglichst nahe bei Null zu liegen kommen, was bedeutet, dass das theoretische Modell die empirische Varianz-Kovarianzmatrix angemessen abbildet. Gemäss [Hu und Bentler \(1999\)](#) kann ein  $\text{SRMR} \leq .08$  als guter Modell-Fit interpretiert werden.



## 3 Resultate

### 3.1 Deskriptiv- und Inferenzstatistik

#### 3.1.1 Spatial-Suppression-Aufgabe

Deskriptiven Angaben zur Aufgabe sind in Tabelle 2 abgetragen. Die Schwellenschätzungen aller Vpn sind in Abbildung 2 zu sehen.

Tabelle 2

*Deskriptive Angaben zu den Schwellenschätzungen der Spatial-Suppression-Aufgabe in Millisekunden (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) und Kennwerte zur Verteilung der Daten*

Bedingung	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Schiefe	Kurtosis	S-W <i>p</i> -Wert
1.8°	82	28	31	216	−0.25	0.19	.39
3.6°	89	31	37	282	0.02	0.80	.03
5.4°	109	40	45	422	0.73	1.78	<.001
7.2°	136	60	61	705	1.14	1.86	<.001

*Anmerkungen.* Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test.

Als erstes wurde geprüft, ob die Mustergrösse einen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmungsleistung ausübte. Dafür wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung<sup>2</sup> gerechnet. Sphärizität war ge-

<sup>2</sup> Die Abweichung der Daten von der Normalverteilung (siehe Kennwerte zur Verteilung in Tabelle 2) erforderten eigentlich verteilungsfreien Analyseverfahren. Da die Ergebnisse dieser nonparametrischen Analyseverfahren aber nicht bedeutend von den mit parametrischen Verfahren ermittelten Ergebnissen abwichen, werden im Folgenden die Ergebnisse der traditionellen (parametrischen) Verfahren berichtet. Siehe Anhang B für die Analyse der Aufgaben mittels nonparametrischer Verfahren.

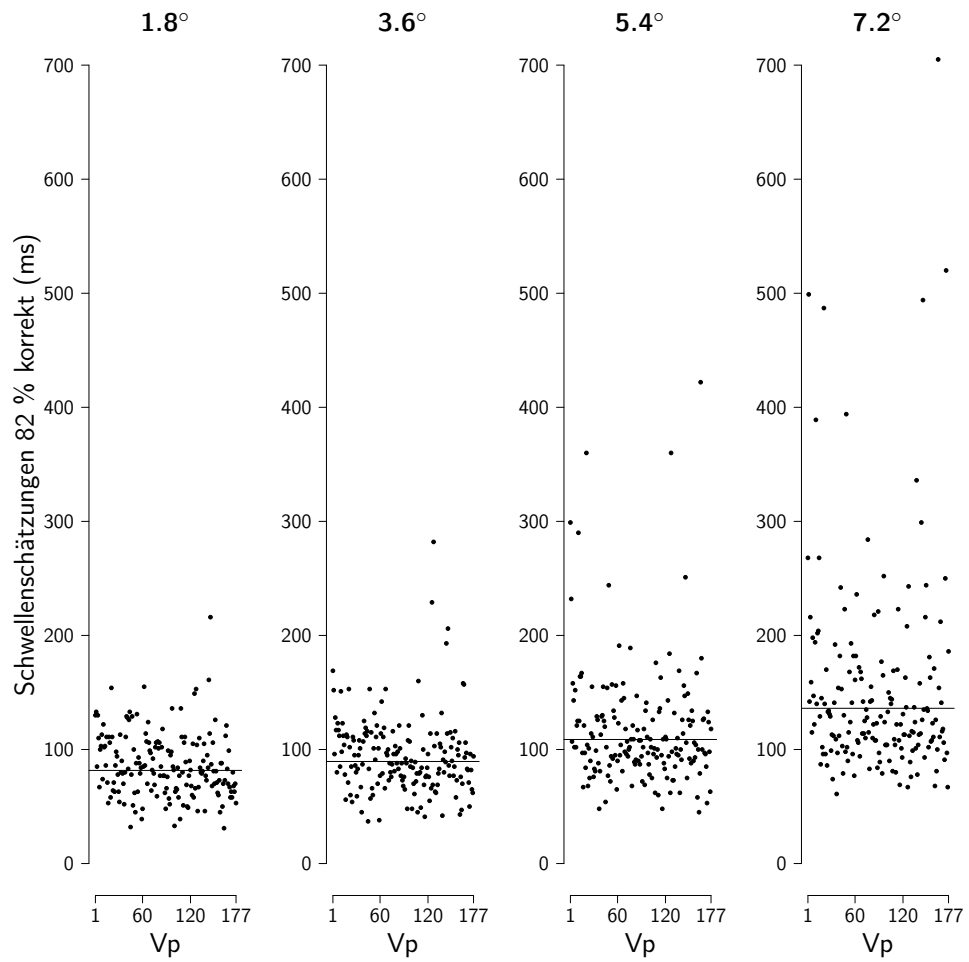


Abbildung 2. Streudiagramme der Schwellenschätzungen in der Spatial-Suppression-Aufgabe. Die horizontale Linie kennzeichnet jeweils den Mittelwert innerhalb einer Bedingung (vgl. Tabelle 2). Siehe Anhang A für eine Beschreibung der Ausreisserkontrolle. Vp = Versuchsperson.

mäss einem Mauchly-Test nicht gegeben,  $\chi^2(5) = 202.12$ ,  $p < .001$ . Deshalb wurden die Freiheitsgrade des  $F$ -Tests mit der Greenhouse-Geisser-Methode korrigiert ( $\hat{\epsilon} = .55$ ). Der  $F$ -Test hat ergeben, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungsmitelwerten signifikant von 0 abwichen,  $F(1.65, 290.40) = 275.26$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_G^2 = .27$ . Der Effekt der Mustergrösse auf die Wahrnehmungsleistung konnte dabei gemäss generalisiertem  $\eta_G^2$  (Olejnik & Algina, 2003) als gross bezeichnet werden (Bakeman, 2005). Um zu erfahren, ob sich alle oder nur bestimmte Mittelwertpaare signifikant voneinander unterschieden, wurden post hoc alle Mittelwerte miteinander verglichen. Tukey-Tests haben gezeigt, dass sich alle Mittelwertpaare signifikant voneinander unterschieden (alle  $ps < .001$ ). Die Wahrnehmungsleistung der Vpn verschlechterte sich also mit zunehmender Mustergrösse signifikant. Die Effektstärken für die Mittelwertsunterschiede wurden mit Cohens  $d$  für abhängige Stichproben (Morris & DeShon, 2002) bestimmt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Effektstärken im mittleren bis hohen Bereich (Cohen, 1988, S. 40) lagen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3

*Effektstärken (Cohens  $d$  für abhängige Stichproben) der Mittelwertunterschiede in der Spatial-Suppression-Aufgabe*

Bedingung	1.8°	3.6°	5.4°
1.8°			
3.6°	0.51		
5.4°	1.12	1.07	
7.2°	1.39	1.42	1.08

*Anmerkung.* Alle Mittelwertsunterschiede waren statistisch signifikant ( $p < .001$ ).

Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe sind in Tabelle 8 abgetragen. Sie deuteten ausnahmslos auf stark positive Zusammenhänge zwischen den Bedingungen hin.

Der Suppression-Index wies einen Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung von  $0.222 \pm 0.160$  auf (Minimum =  $-0.185$ , Maximum =  $0.886$ ). Die Verteilung des Suppression-Index (siehe Abbildung 3) hatte eine Schiefe von  $0.91$  und eine Kurtosis von  $1.80$  und wich damit gemäss einem Shapiro-Wilk-Test signifikant von der Normalverteilung ab ( $p < .001$ ).

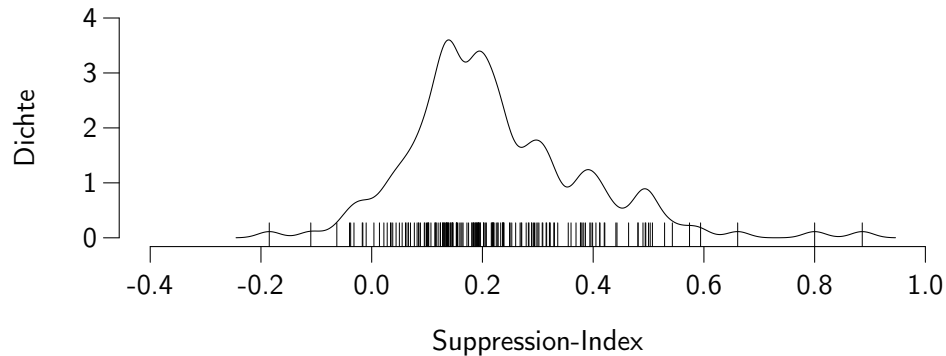


Abbildung 3. Dichtefunktion des Suppression-Index. Der Suppression-Index wurde als Differenz zwischen der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse  $7.2^\circ$  und der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse  $1.8^\circ$  gebildet. Alle Datenpunkte sind auf der  $x$ -Achse mit vertikalen Strichen markiert.

### 3.1.2 Hick-Aufgabe

Die mittleren Reaktionszeiten aller Vpn sind in Abbildung 4 zu sehen. Die dazugehörigen deskriptiven Angaben sind in Tabelle 4 abgetragen.

Um zu prüfen, ob die Reaktionszeit von der Anzahl Antwortalternativen abhing, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. Sphärizität war gemäss einem Mauchly-Test nicht gegeben,  $\chi^2(5) = 219.06$ ,  $p < .001$ . Deshalb wurden die Freiheitsgrade des  $F$ -Tests mit der Greenhouse-Geisser-Methode korrigiert ( $\hat{\epsilon} = .57$ ). Der  $F$ -Test hat ergeben, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungsmitteiwerten signifikant von 0 abwichen,  $F(1.71, 300.96) = 1434.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_G^2 = .71$ . Der Effekt der Anzahl Antwortalternativen auf die Reaktionszeit konnte dabei gemäss generalisiertem  $\eta_G^2$  (Olejnik & Algina, 2003) als gross bezeichnet werden (Bakeman, 2005). Um zu erfahren, ob sich alle oder nur bestimmte Mittelwertpaare signifikant voneinander unterschieden, wurden post hoc alle

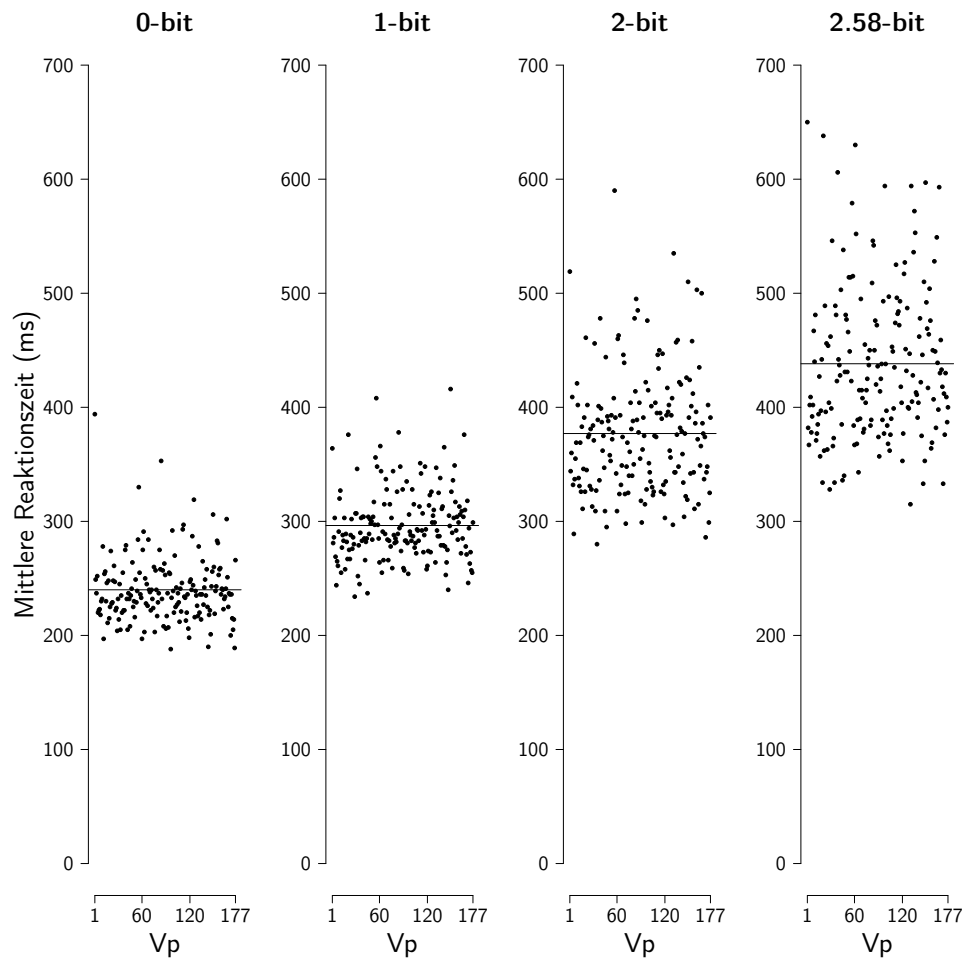


Abbildung 4. Streudiagramme der mittleren Reaktionszeiten in der Hick-Aufgabe. Die horizontale Linie kennzeichnet jeweils den Mittelwert innerhalb einer Bedingung (vgl. Tabelle 4). Siehe Unterabschnitt 2.3.2 für eine Beschreibung der Datenaufbereitung. Vp = Versuchsperson.

Tabelle 4

*Deskriptive Angaben zu den Reaktionszeiten der Hick-Aufgabe in Millisekunden (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) und Kennwerte zur Verteilung der Daten*

Bedingung	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Schiefe	Kurtosis	S-W <i>p</i> -Wert
0-bit	240	29	188	394	1.58	4.99	<.001
1-bit	296	32	234	416	0.94	1.33	<.001
2-bit	377	54	280	590	0.88	1.01	<.001
2.58-bit	438	67	315	650	0.82	0.41	<.001

*Anmerkungen.* Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test.

Mittelwerte miteinander verglichen. Tukey-Tests haben gezeigt, dass sich alle Mittelwertpaare signifikant voneinander unterschieden (alle  $ps < .001$ ). Die Reaktionszeit der Vpn erhöhte sich also mit zunehmender Anzahl Antwortalternativen signifikant. Die Effektstärken für die Mittelwertsunterschiede wurden mit Cohens  $d$  für abhängige Stichproben (Morris & DeShon, 2002) bestimmt und lagen alle im hohen Bereich (Cohen, 1988, S. 40; siehe Tabelle 5).

Tabelle 5

*Effektstärken (Cohens  $d$  für abhängige Stichproben) der Mittelwertunterschiede in der Hick-Aufgabe*

Bedingung	0-bit	1-bit	2-bit
0-bit			
1-bit	2.67		
2-bit	3.13	2.13	
2.58-bit	3.43	2.71	1.62

*Anmerkung.* Alle Mittelwertsunterschiede waren statistisch signifikant ( $p < .001$ ).

Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den vier Bedingungen der Hick-Aufgabe sind in Tabelle 8 abgetragen. Sie deuteten auf stark positive Zusammenhänge zwischen den Bedingungen hin.

### 3.1.3 BIS-Test

Deskriptive Angaben zu den Subtests des BIS-Test sind in Tabelle 6 zu finden. Wie aufgrund der Modellannahmen des BIS-Test zu erwarten war, liessen sich zwischen der Mehrheit der Subtests signifikante, positive Zusammenhänge beobachten (siehe Tabelle 7). Diese Zusammenhänge bildeten die Voraussetzung für die Beantwortung der dritten, vierten und fünften Fragestellung, bei welchen aus den Aufgaben des BIS-Test mit Hilfe von Faktorenanalysen ein  $g$ -Faktor extrahiert wurde.

Der  $z$ -Wert des BIS-Test, gebildet als Mittelwert aller 18  $z$ -standardisierter Subtests, wies einen Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung von  $0.02 \pm 0.53$  auf (Minimum =  $-1.60$ , Maximum =  $1.40$ ). Die Verteilung der  $z$ -Werts (siehe Abbildung 5) hatte eine negative Schiefe ( $-0.02$ ) und eine positive Kurtosis ( $0.16$ ), wich damit aber gemäss einem Shapiro-Wilk-Test nicht signifikant von der Normalverteilung ab ( $p = .82$ ).

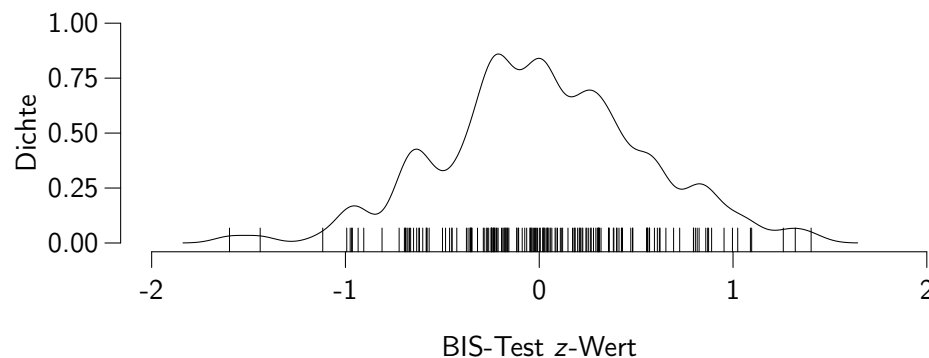


Abbildung 5. Dichtefunktion des BIS-Test  $z$ -Werts. Der  $z$ -Wert wurde als Mittelwert aller 18  $z$ -standardisierter Subtests gebildet. Alle Datenpunkte sind auf der  $x$ -Achse mit vertikalen Strichen markiert.

### 3.1.4 Zusammenhänge zwischen den Aufgaben

Bevor ausgewählte Zusammenhänge zwischen den Aufgaben in den folgenden Abschnitten mit den Fragestellungen abgearbeitet werden, ist der Vollständigkeit halber in Tabelle 8 eine Korrelationsmatrix abgebildet.

Abgesehen von den bereits erwähnten Zusammenhängen zwischen den Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe, der Hick-Aufgabe respekti-

Tabelle 6

*Deskriptive Angaben zur Anzahl richtig gelöster Items der Subtests im BIS-Test (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) und Kennwerte zur Verteilung der Daten*

Subtest	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Schief	Kurtosis	S-W <i>p</i> -Wert
OG	15.31	4.82	3	27	−0.35	−0.05	.03
ZN	3.86	2.44	0	9	0.50	−0.83	<.001
AN	3.23	1.62	0	7	0.08	−0.41	<.001
XG	19.45	6.52	1	36	0.14	0.08	.05
WA	3.23	1.87	0	7	0.10	−0.71	<.001
ZP	5.95	2.28	1	12	0.27	−0.12	.003
TM	9.25	3.62	1	16	−0.03	−0.83	.002
BD	51.01	10.76	2	78	−1.46	5.86	<.001
SC	3.16	1.97	0	7	0.06	−1.01	<.001
ST	8.59	3.68	0	18	−0.04	−0.34	.12
CH	2.76	1.66	0	6	−0.01	−0.81	<.001
TG	11.72	3.20	1	20	−0.66	1.01	<.001
RZ	10.80	4.02	1	20	−0.19	−0.49	.06
WM	7.15	2.89	2	17	0.77	0.83	<.001
KW	23.31	6.46	2	37	−0.24	0.13	.04
ZZ	6.41	2.94	1	14	0.32	−0.33	.002
OE	34.33	5.93	9	47	−0.46	1.08	.007
WE	18.25	6.07	1	31	−0.25	−0.33	.14

*Anmerkungen.* Siehe Tabelle 1 für eine Beschreibung der Subtests. Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test.



Tabelle 7

*Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den Subtests des BIS-Test*

Subtest	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 OG																	
2 ZN	.27***																
3 AN	.31***	.42***															
4 XG	.21**	.56***	.32***														
5 WA	.34***	.41***	.49***	.34***													
6 ZP	.22**	.17*	.13	.31***	.17*												
7 TM	.30***	.26***	.44***	.33***	.51***	.22**											
8 BD	.07	.08	.05	.11	-.01	.04	.03										
9 SC	.14	.52***	.35***	.47***	.23**	.17*	.32***	.20**									
10 ST	.38***	.19*	.24**	.31***	.32***	.24**	.39***	-.01	.22**								
11 CH	.36***	.51***	.52***	.31***	.52***	.13	.33***	.07	.31***	.17*							
12 TG	.32***	.33***	.27***	.43***	.43***	.16*	.43***	.11	.28***	.38***	.22**						
13 RZ	.30***	.53***	.41***	.55***	.43***	.27***	.42***	.08	.44***	.34***	.38***	.33***					
14 WM	.40***	.12	.29***	.17*	.26**	.27***	.39***	.08	.10	.40***	.18*	.18*	.13				
15 KW	.26***	.23**	.28***	.35***	.40***	.23**	.56***	.14	.29***	.52***	.21**	.54***	.36***	.32***			
16 ZZ	.29***	.05	.04	.21**	.01	.37***	.10	.09	.05	.30***	.07	.08	.09	.39***	.13		
17 OE	.09	.04	.03	.08	.01	.03	.13	.34***	.16*	.03	-.06	.15*	.15*	.02	.16*	-.03	
18 WE	.39***	.31***	.27***	.22**	.28***	.28***	.09	-.02	.16*	.23**	.27***	.20**	.34***	.16*	.22**	.19*	-.10

*Anmerkung.* Siehe Tabelle 1 für eine Beschreibung der Subtests.\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . \*\*\* $p < .001$  (zweiseitig).

ve den Subtests des BIS-Test ist an dieser Stelle gesondert auf Folgendes hinzuweisen: Der Suppression-Index wies eine negative Korrelation mit der 1.8°-Bedingung auf ( $r = -.28$ ,  $p < .001$ ) und korrelierte positiv mit der 7.2°-Bedingung ( $r = .66$ ,  $p < .001$ ). Diese Zusammenhänge können als Hinweis dafür gesehen werden, dass der Suppression-Index als Differenz zwischen der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse 7.2° und der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse 1.8° korrekt gebildet wurde. Weiter korrelierte einzig die 0-bit-Bedingung der Hick-Aufgabe signifikant mit der 1.8°-, der 3.6°- und der 5.4°-Bedingung der Spatial-Suppression-Aufgabe, während alle restlichen Zusammenhänge zwischen den Bedingungen der beiden Aufgaben so gering ausfielen, dass sie bei der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % nicht von 0 unterschieden werden konnten. Die Bedingungen der Hick-Aufgabe korrelierten erwartungsgemäss signifikant negativ mit psychometrischer Intelligenz ( $r = -.19$  bis  $-.28$ , alle  $ps < .05$ ; vgl. [Sheppard & Vernon, 2008](#)). Die Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe korrelierten mit Ausnahme des Zusammenhangs zwischen der 7.2°-Bedingung und dem  $z$ -Wert des BIS-Test ( $r = -.12$ ,  $p = .10$ ) alle signifikant negativ mit psychometrischer Intelligenz ( $r = -.16$  bis  $-.19$ , alle  $ps < .05$ ).

Tabelle 8

*Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe, dem Suppression-Index, den Bedingungen der Hick-Aufgabe, dem z-Wert und dem g-Faktor des BIS-Test*

	Spatial-Suppression-Aufgabe					Hick-Aufgabe				BIS-Test		
	Mass	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.8°											
2	3.6°	.85***										
3	5.4°	.73***	.87***									
4	7.2°	.54***	.72***	.87***								
5	SI	-.28***	.05	.34***	.66***							
6	0-bit	.17*	.24**	.25***	.14	.01						
7	1-bit	.09	.11	.13	.07	.00	.76***					
8	2-bit	.12	.08	.08	.04	-.06	.58***	.72***				
9	2.58-bit	.14	.09	.12	.07	-.04	.52***	.66***	.83***			
10	z-Wert	-.16*	-.17*	-.16*	-.12	.00	-.19*	-.27***	-.28***	-.28***		
11	g-Faktor	-.18*	-.19*	-.19*	-.16*	-.01	-.20**	-.28***	-.28***	-.27***	.98***	

*Anmerkungen.* SI = Suppression-Index; z-Wert = Mittelwert aller 18 z-standardisierten Subtests.

\*  $p < .05$ . \*\*  $p < .01$ . \*\*\*  $p < .001$  (zweiseitig).

### 3.2 1. Fragestellung

Mit der ersten Fragestellung sollte geprüft werden, ob die von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhänge zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz bestätigt werden können.

Der von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichtete Zusammenhang zwischen dem Suppression-Index und IQ-Punkten (Studie 1 [ $N = 12$ ]:  $r = .64$ ,  $p = .02$  und Studie 2 [ $N = 53$ ]:  $r = .71$ ,  $p < .001$ ) konnte in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden: Der Zusammenhang zwischen dem Suppression-Index und dem  $z$ -Wert aus dem BIS-Test betrug  $r = .00$  ( $p = .98$ ; siehe Abbildung 6). Um zu prüfen, ob dieser Zusammenhang signifikant tiefer ausfiel als bei [Melnick et al.](#), wurden die Korrelationskoeffizienten in Fisher-Z-Werte umgerechnet und auf Unterschiedlichkeit geprüft ([Cohen & Cohen, 1983](#), S. 54). Dabei hat sich ergeben, dass sich der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Korrelationskoeffizient  $r = .00$  signifikant von den von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten  $r = .64$  und  $r = .71$  unterschied ( $z = 2.22$ ,  $p = .03$  respektive  $z = 5.53$ ,  $p < .001$ ).

Auch der von [Melnick et al. \(2013\)](#) in Studie 2 berichtete Zusammenhang zwischen der kleinsten Mustergrösse (1.8°-Bedingung) und IQ-Punkten ( $r = -.46$ ,  $p < .001$ ) konnte nicht bestätigt werden: Die Korrelation zwischen der 1.8°-Bedingung und dem  $z$ -Wert aus dem BIS-Test betrug in der vorliegenden Arbeit  $r = -.16$  ( $p = .03$ ) und fiel damit signifikant tiefer aus, als bei [Melnick et al.](#) ( $z = 2.09$ ,  $p = .04$ ).

Gleichermassen nicht bestätigt werden konnten die von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Semipartialkorrelationen zwischen der kleinsten Mustergrösse (1.8°-Bedingung), der grössten Mustergrösse (7.2°-Bedingung) und psychometrischer Intelligenz: In Studie 2 von [Melnick et al.](#) betrug die Semipartialkorrelation zwischen der kleinsten Mustergrösse und IQ-Punkten bei Kontrolle für die grösste Mustergrösse  $r = -.71$  ( $p < .001$ ) und zwischen der grössten Mustergrösse und IQ-Punkten bei Kontrolle für die kleinste Mustergrösse  $r = .55$  ( $p < .001$ ). Hoher IQ war bei [Melnick et al.](#) im Vergleich zu tiefem IQ also mit besserer Wahrnehmungsleistung bei kleiner Mustergrösse und mit schlechterer Wahrnehmungsleistung bei grosser Mustergrösse verbunden. In der vorliegenden Arbeit betrug der Semipartialkorrelationsko-

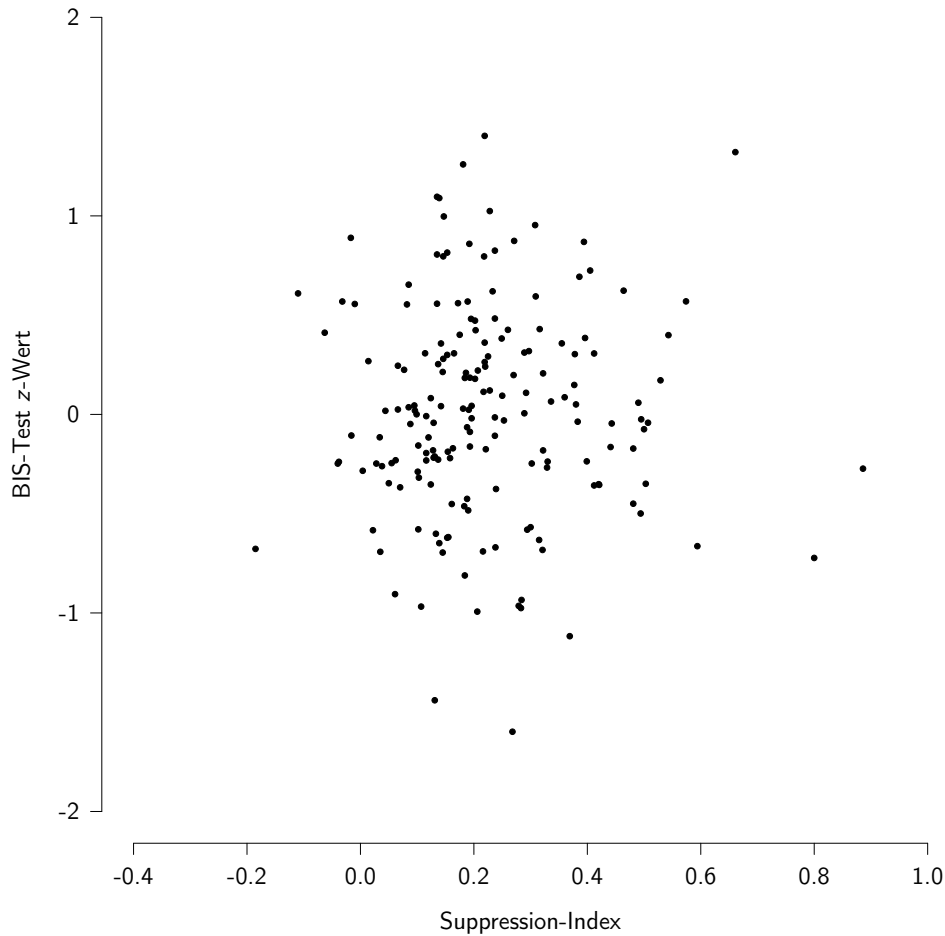


Abbildung 6. Streudiagramm des Zusammenhangs zwischen dem Suppression-Index und dem  $z$ -Wert aus dem BIS-Test ( $r = .00$ ,  $p = .98$ ).

effizient bei Kontrolle für die grösste Mustergrösse ( $z$ ) zwischen der kleinsten Mustergrösse ( $x$ ) und dem  $z$ -Wert ( $y$ ) aus dem BIS-Test  $r_{y(x.z)} = -.11$  ( $p = .15$ ) und bei einer Kontrolle für die kleinste Mustergrösse ( $z$ ) zwischen der grössten Mustergrösse ( $x$ ) und dem  $z$ -Wert ( $y$ ) aus dem BIS-Test  $r_{y(x.z)} = -.04$  ( $p = .57$ ). Ein Vergleich dieser unabhängigen Semipartialkorrelationskoeffizienten hat ergeben, dass die in der vorliegenden Arbeit erhaltenen Zusammenhänge signifikant geringer ausfielen als bei [Melnick et al.](#) ( $z = 4.84$ ,  $p < .001$  respektive  $z = 4.10$ ,  $p < .001$ ).

Abschliessend zur ersten Fragestellung kann festgehalten werden, dass sowohl die von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhänge zwischen

dem Suppression-Index und psychometrischer Intelligenz als auch die Zusammenhänge der einzelnen Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe mit psychometrischer Intelligenz nicht bestätigt werden konnten.

### 3.3 2. Fragestellung

Mit der zweiten Fragestellung sollte geprüft werden, ob die aus der Spatial-Suppression-Aufgabe mit einer exponentiellen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter benutzt werden können, um psychometrische Intelligenz vorherzusagen.

Für jede Vp wurden die vier Schwellenschätzungen mit einer exponentiellen Regression der von [Melnick et al. \(2013\)](#) vorgeschlagenen Form  $y = a \times e^{bx}$  vorhergesagt (siehe Abbildung 7). Deskriptive Angaben zu den daraus resultierenden Parametern, der Asymptote  $a$  und der Steigung  $b$ , sind in Tabelle 9 zu finden. Weil der Determinationskoeffizient  $R^2$  bei nicht-linearen Modellen kein adäquates Mass für die Anpassungsgüte des Modells an die Daten darstellt ([Spiess & Neumeyer, 2010](#)), wurde für jede Person der Root Mean Square Error ( $RMSE$ ) berechnet. Der  $RMSE$  ist die Quadratwurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Fehler und damit ein Mass für die durchschnittliche Abweichung der vorhergesagten Werte von den empirischen Werten. Obwohl der  $RMSE$  für einige Vpn sehr gross ausfiel, eignete sich ein exponentielles Modell zur Beschreibung der Daten für einen grossen Teil der Vpn sehr gut (siehe Abbildung 8). Der Median betrug 6 ms und das

Tabelle 9

*Deskriptive Angaben zur exponentiellen Regression ( $y = a \times e^{bx}$ ) für die Vorhersage der Wahrnehmungsleistung durch die Mustergrössen der Spatial-Suppression-Aufgabe (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) und Kennwerte zur Verteilung der Daten*

Parameter	$M$	$SD$	Min	Max	Schiefe	Kurtosis	S-W $p$ -Wert
$a$	70	28	5	195	0.97	1.87	<.001
$b$	0.103	0.081	-0.079	0.650	2.17	10.80	<.001

*Anmerkungen.*  $a$  = Asymptote (in ms);  $b$  = Steigung; Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test.

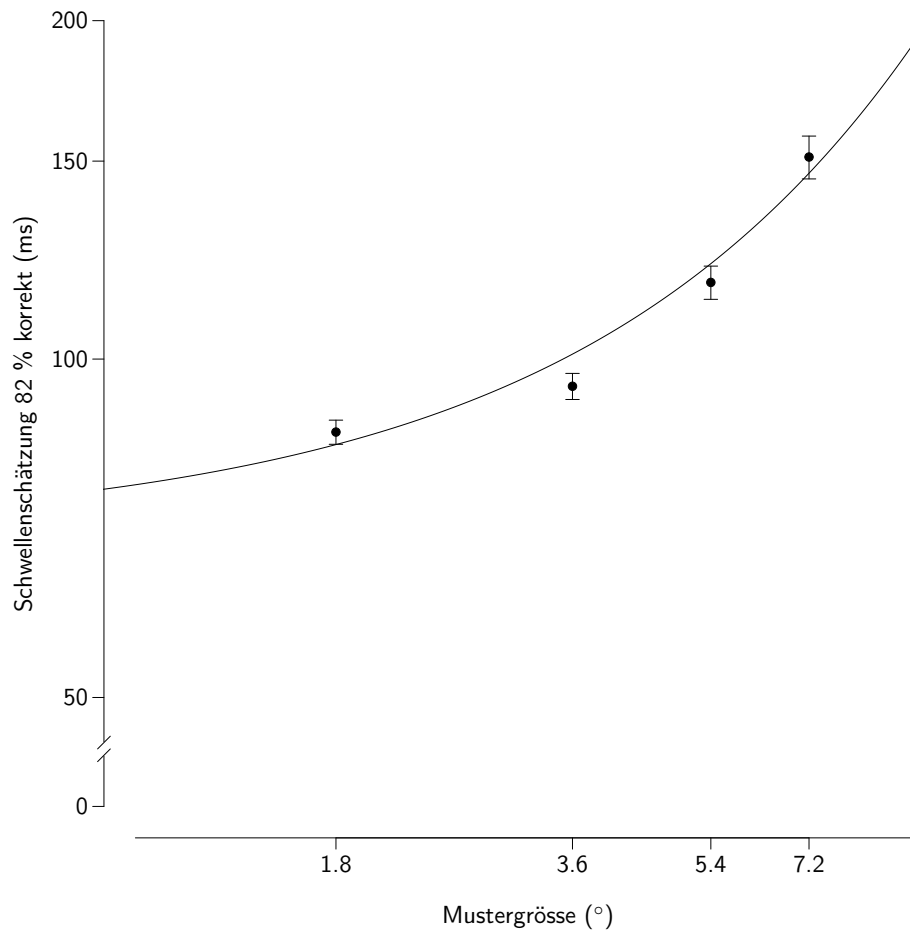


Abbildung 7. Exponentieller Einfluss der Mustergrösse auf die Wahrnehmungsleistung in der Spatial-Suppression-Aufgabe. Eingezeichnet sind die Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler der Mittelwerte. Die  $x$ - und die  $y$ -Achse sind beide logarithmiert.  $y = 70 \times e^{0.103x}$ .

dritte Quartil lag bei 9 ms (Minimum = 0.47 ms, Maximum = 65.47 ms).

Um erkennen zu können, ob der Zusammenhang zwischen den beiden Aufgabenparametern (Asymptote und Steigung), der Zusammenhang zwischen der Steigung und dem Suppression-Index oder der Zusammenhang zwischen der Asymptote respektive der Steigung mit dem  $z$ -Wert des BIS-Test durch diejenigen Vpn verzerrt wurde, bei welchen eine Beschreibung der Daten mit einem exponentiellen Modell nicht angebracht war, wurden diese Zusammenhänge in Abhängigkeit des  $RMSE$  bestimmt. Dafür wur-



Abbildung 8. Dichtefunktion des aus der exponentiellen Regression abgeleiteten Root Mean Square Error ( $RMSE$ ; in Millisekunden) der Spatial-Suppression-Aufgabe. Alle Datenpunkte sind auf der  $x$ -Achse mit vertikalen Strichen markiert.

de für jeden  $RMSE$  zwischen 1 ms und 70 ms eine Teilstichprobe mit Vpn gebildet, welche den gewählten  $RMSE$  ( $RMSE$ -Grenzwert) nicht überschritten haben. Die erste Teilstichprobe ( $n = 4$ ) bestand also aus Vpn, welche einen  $RMSE$  von nicht grösser 1 ms aufwiesen. Die zweite Teilstichprobe ( $n = 11$ ) setzte sich aus Vpn zusammen, welche einen  $RMSE$  von nicht grösser 2 ms aufwiesen. Die dritte Teilstichprobe ( $n = 32$ ) beinhaltete Vpn, welche einen  $RMSE$  von nicht grösser 3 ms aufwiesen (usw.). Dieses Vorgehen wurde solange weitergeführt, bis die Teilstichprobe bei einem  $RMSE$ -Grenzwert von 65.47 ms alle Vpn ( $N = 177$ ) beinhaltete. Damit liessen sich die Zusammenhänge über den ganzen  $RMSE$ -Grenzwertbereich bestimmen. Eine Teilstichprobe bei einem tiefen  $RMSE$ -Grenzwert umfasste also Vpn, welche Modell-konforme Daten aufwiesen, während eine Teilstichprobe bei einem hohen  $RMSE$ -Grenzwert auch Vpn beinhaltete, welche stärker vom exponentiellen Modell abwichen.

Die Analyse hat ergeben, dass die Asymptote und die Steigung ab einem  $RMSE$ -Grenzwert von 1.4 ms stark negativ miteinander zusammenhängen ( $r = -.57$  bis  $-.98$ , alle  $ps < .05$ ). Eine visuelle Inspektion des Verlaufs deutete darauf hin, dass der  $RMSE$ -Grenzwert einen negativen Einfluss auf die Höhe des Zusammenhangs ausübte (siehe Abbildung 9a).

Die Steigung korrelierte über den ganzen  $RMSE$ -Grenzwertbereich stark





a. Zusammenhang ( $r$ ) zwischen der Asymptote und der Steigung.



b. Zusammenhang ( $r$ ) zwischen der Steigung und dem Suppression-Index.

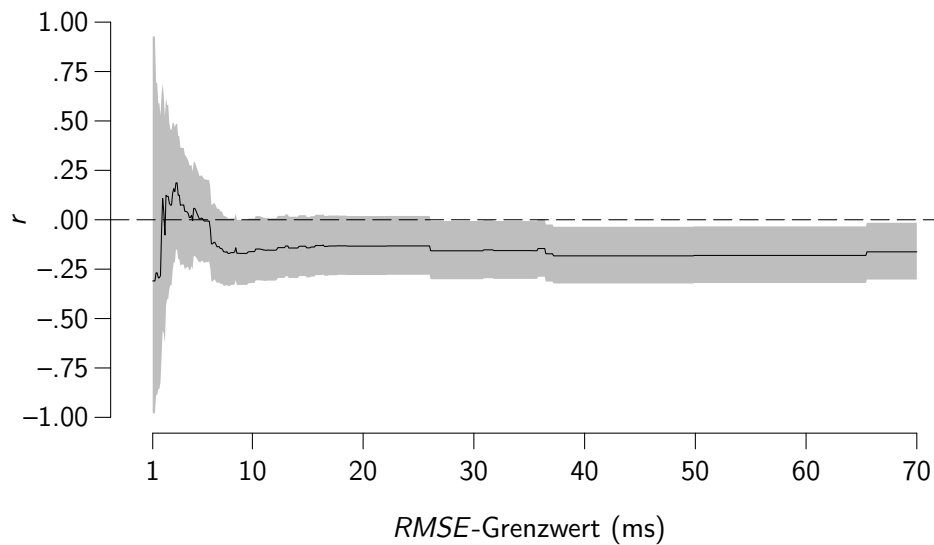
Abbildung 9. Einfluss des *RMSE*-Grenzwerts auf (a) den Zusammenhang der aus der Spatial-Suppression-Aufgabe mit einer exponentiellen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter der Asymptote und der Steigung respektive auf (b) den Zusammenhang zwischen der Steigung und den Suppression-Index. Die durchgezogene Linie kennzeichnet den Verlauf des Zusammenhangs. Der graue Bereich beschreibt das 95%-Konfidenzintervall.

positiv mit dem Suppression-Index ( $r = .96$  bis  $.99$ , alle  $ps < .001$ ; siehe Abbildung 9b). Die tiefste Schätzung ( $r = .96$ ,  $p < .001$ ) unterschied sich dabei signifikant ( $z = 7.85$ ,  $p < .001$ ) von dem von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhang ( $r > .996$ ).

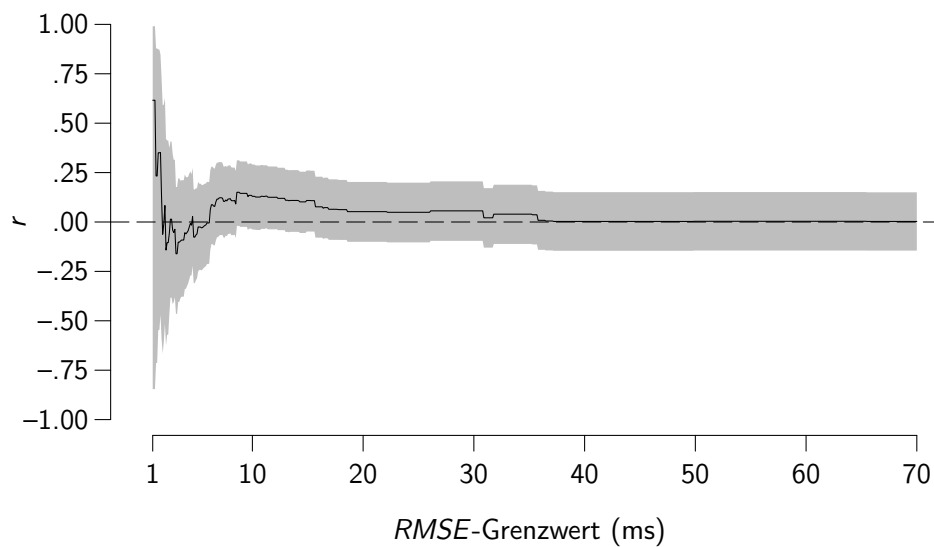
Der Zusammenhang zwischen der Asymptote und dem  $z$ -Wert des BIS-Test fiel in Abhängigkeit des *RMSE*-Grenzwerts weniger eindeutig aus (siehe Abbildung 10a). Während der Zusammenhang über einen grossen Teil des tieferen *RMSE*-Grenzwertbereichs nicht signifikant war, unterschritt der Zusammenhang zwischen 8.6 und 9.5 ms ( $r = -.17$ ,  $p = .049$ ), zwischen 26.1 und 35.7 ms ( $r = -.15$  bis  $-.16$ , alle  $ps < .048$ ) und ab 36.5 ms ( $r = -.16$  bis  $-.18$ , alle  $ps < .03$ ) die Signifikanzgrenze. In den erwähnten Bereichen war eine tiefe Asymptote also tendenziell mit einem hohen  $z$ -Wert verbunden. Eine visuelle Inspektion des Verlaufs liess keine Aussage darüber zu, ob der *RMSE*-Grenzwert einen positiven oder negativen Einfluss auf die Höhe des Zusammenhangs ausübte.

Die Steigung und der  $z$ -Wert des BIS-Test korrelierten unabhängig vom *RMSE*-Grenzwert nicht signifikant miteinander ( $r = -.16$  bis  $.62$ , alle  $ps > .08$ ; siehe Abbildung 10b). Um für den Vergleich zwischen dem von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhang zwischen ihrer Steigung (Studie 1:  $b = 0.116$  und Studie 2:  $b = 0.139$ ) und IQ-Punkten und dem in der vorliegenden Arbeit ermittelten Zusammenhang zwischen der Steigung ( $b = 0.103$ ) und dem  $z$ -Wert die bestmögliche Teststärke zu erhalten, wurde die Gesamtstichprobe (*RMSE*-Grenzwert = 65.47 ms) verwendet. Die Analyse hat ergeben, dass sich der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Zusammenhang ( $r = .00$ ,  $p = .97$ ) signifikant von dem von [Melnick et al.](#) berichteten Zusammenhang ( $r = .68$ ) unterschied ( $z = 5.61$ ,  $p < .001$ ).

Betrachtet man die mit der Gesamtstichprobe erhaltenen Ergebnisse, kann abschliessend zur zweiten Fragestellung Folgendes festgehalten werden: Die aus der exponentiellen Regression abgeleitete Asymptote korrelierte in der vorliegenden Arbeit leicht negativ mit dem  $z$ -Wert des BIS-Test. Die Steigung, der zweite mit der exponentiellen Regression abgeleitete Aufgabenparameter, hing nicht signifikant mit dem  $z$ -Wert zusammen. Der von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichtete Zusammenhang zwischen der Steigung und psychometrischer Intelligenz konnte damit nicht bestätigt werden.



a. Zusammenhang ( $r$ ) zwischen der Asymptote und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests.



b. Zusammenhang ( $r$ ) zwischen der Steigung und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests.

Abbildung 10. Einfluss des *RMSE*-Grenzwerts auf die Zusammenhänge der aus der Spatial-Suppression-Aufgabe mit einer exponentiellen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter (*a*) der Asymptote und (*b*) der Steigung mit dem  $z$ -Wert des BIS-Tests. Die durchgezogene Linie kennzeichnet den Verlauf des Zusammenhangs. Der graue Bereich beschreibt das 95%-Konfidenzintervall.

### 3.4 3. Fragestellung

Mit der dritten Fragestellung sollte der Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz auf latenter Ebene untersucht werden. Alle konfirmatorischen Faktorenanalysen wurden mit der Satorra-Bentler Maximum-Likelihood Schätzmethode (Satorra & Bentler, 1994) berechnet, weil diese bei nicht-normalverteilten, intervallskalierten Daten empfohlen wird (z.B. Curran, West & Finch, 1996; Finney & DiStefano, 2006). Um die aus den Aufgaben extrahierten Faktoren auf latenter Ebene miteinander in Verbindung zu bringen, wurden als erstes für jede Aufgabe einzeln kongenerische Messmodelle (Jöreskog, 1971) gerechnet. Diese dem Strukturgleichungsmodell vorausgehende Prüfung der Modellannahmen erlaubte es, allfällige Fehlspezifikationen bereits auf Aufgabenebene zu erkennen.

Das kongenerische Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (Modell 1; siehe Abbildung 11) bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen schlecht ab. Der  $\chi^2$ -Test zeigte eine überzufällig hohe Abweichung zwischen der theoretische und der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix an und der CFI und RMSEA lagen weit weg vom akzeptablen Bereich,  $\chi^2(2) = 103.13$ ,  $p < .001$ , CFI = .78, RMSEA = .53, SRMR = .06.

Um den  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test zu bilden, wurden die gemittelten  $z$ -Werte der Operationen K, B und M als Indikatoren verwendet (für ein gleiches Vorgehen siehe Stauffer, Troche, Schweizer & Rammsayer, 2014). Weil dieses kongenerische Messmodell mit drei Indikatoren genau identifiziert war, konnte es nicht getestet werden (Kline, 2011, S. 125).

Trotz des schlechten kongenerischen Modell-Fits der Spatial-Suppression-Aufgabe wurden die beiden Messmodelle in einem Strukturgleichungsmodell miteinander verbunden. Das theoretische Modell (Modell 2; siehe Abbildung 12) bildete die empirischen Daten erneut schlecht ab. Der  $\chi^2$ -Test zeigte eine überzufällig hohe Abweichung zwischen der theoretische und der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix an und der CFI und RMSEA lagen nicht im akzeptablen Bereich,  $\chi^2(13) = 123.88$ ,  $p < .001$ , CFI = .85, RMSEA = .22, SRMR = .06. Der Regressionskoeffizient zwischen der aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe extrahierten latenten



Abbildung 11. Modell 1: Kongenerisches Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (S). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten.

<sup>1</sup>Um die Identifizierung der Varianz der latenten Variable zu ermöglichen, wurde diese unstandardisierte Faktorladung auf 1 fixiert.

\*\*\* $p < .001$ .



Abbildung 12. Modell 2: Latenter Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe (S) und dem  $g$ -Faktor des BIS-Test. Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. K = Kapazität; B = Bearbeitungsgeschwindigkeit; M = Merkfähigkeit.

<sup>1</sup>Um die Identifizierung der Varianz der latenten Variable zu ermöglichen, wurde diese unstandardisierte Faktorladung auf 1 fixiert.

\*\* $p = .01$ . \*\*\* $p < .001$ .

Variable und dem  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test betrug  $\beta = -.23$  ( $p = .01$ ). Die aus der Spatial-Suppression-Aufgabe extrahierte latente Variable erklärte damit 5 % der Varianz im  $g$ -Faktor.

Abschliessend zur dritten Fragestellung kann festgehalten werden, dass sich zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz auf latenter Ebene ein geringer bis mittlerer negativer Zusammenhang zeigte. Eine schnellere Erkennung der Bewegungsrichtung in der Spatial-Suppression-Aufgabe war also tendenziell mit besserer kognitiver Leistung im BIS-Test verbunden. Dieser Zusammenhang muss jedoch aufgrund des schlechten theoretischen Modells mit Vorsicht interpretiert werden.

### 3.5 4. Fragestellung

Mit der vierten Fragestellung sollte versucht werden, die Spatial-Suppression-Aufgabe mit einem Fixed-Links-Modell zu beschreiben und die zwei aus der Aufgabe abgeleiteten latenten Variablen mit dem  $g$ -Faktor des BIS-Test in Verbindung zu bringen.

#### 3.5.1 Fixed-Links-Messmodell

Weil die Aufgabe bisher noch nie mit einem Fixed-Links-Modell beschrieben wurde, sind unterschiedliche Modelle getestet und miteinander verglichen worden. Bei allen berechneten Modellen wurden zwei voneinander unabhängige latente Variablen angenommen:

Die erste latente Variable beinhaltet aufgabenrelevante Prozesse, deren Einflüsse sich über die vier Bedingungen hinweg nicht verändert haben. In den Messmodellen wurde dieser gleichbleibende Einfluss hergestellt, indem die unstandardisierten Faktorladungen aller manifesten Variablen auf den Wert 1 fixiert wurden. Diese latente Variable wird im Folgenden *konstante* latente Variable genannt.

Die zweite latente Variable beinhaltet aufgabenrelevante Prozesse, die durch die vier Bedingungen systematisch manipuliert wurden. Der unterschiedlich starke Einfluss der in der latenten Variable abgebildeten Prozesse auf die Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe wurde in den Messmodellen durch sich unterscheidende unstandardisierte Faktorladungen herge-

stellt. Diese latente Variable wird im Folgenden *dynamische* latente Variable genannt.

Die konstante latente Variable wurde in allen Messmodellen unabhängig von der dynamischen latenten Variable gehalten. Diese Unabhängigkeit der beiden extrahierten Variablen ist im Rahmen der Anwendung von Fixed-Links-Modellen üblich (z.B. Schweizer, 2007; Wagner, Rammsayer, Schweizer & Troche, 2014; Wang, Ren & Schweizer, 2015), weil sich dadurch die Interpretation der latenten Variablen vereinfacht. Alle Modell-Fits der in den folgenden Paragraphen berichteten Fixed-Links-Modelle sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Das erste berechnete Fixed-Links-Modell (Modell 3) berücksichtige das Ergebnis der exponentiellen Regression (siehe Abschnitt 3.3), welches auf manifester Ebene eine Steigung von  $e^{0.103x}$  ergeben hat. Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable wurden deshalb mit diesem Parameter ( $y = e^{0.103x}$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) gebildet. Modell 3 bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Spatial-Suppression-Aufgabe nicht gut ab. Der  $\chi^2$ -Test war hochsignifikant und der CFI, der RMSEA und das SRMR lagen nicht im akzeptablen Bereich.

Modell 4 beachtete die Tatsache, dass die den Vpn vorgelegten Mustergrößen ( $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$ ,  $5.4^\circ$ ,  $7.2^\circ$ ) in gleichmässigen Abständen zueinander lagen. Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable in Modell 4 wurden deshalb linear ansteigend ( $y = x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) fixiert. Modell 4 bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Spatial-Suppression-Aufgabe ebenfalls nicht gut ab. Der  $\chi^2$ -Wert reduzierte sich im Vergleich zu Modell 3 zwar beträchtlich, war aber immer noch hochsignifikant. Die schlechte Passung des Modells wurde weiter durch einen hohen RMSEA und ein hohes SRMR angezeigt.

Nach diesen zwei Modellen, welche klare Annahmen über den Verlauf der Faktorladungen der dynamischen latenten Variable beinhalteten, wurden Verläufe von Faktorladungen gesucht, welche die empirischen Daten bestmöglich beschreiben. Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable von Modell 5 wurden mit einer exponentiellen Funktion ( $y = 2^x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) bestimmt. Dieses Modell konnte nicht interpretiert werden, weil die Fehlervarianz der  $7.2^\circ$ -Bedingung negativ geschätzt wurde.

Tabelle 10

*Modell-Fits der berichteten Fixed-Links-Modelle der Spatial-Suppression-Aufgabe. Der Ladungsverlauf bezieht sich auf die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable. Die unstandardisierten Faktorladungen der konstanten latenten Variable betrugen immer 1*

Modell	Ladungsverlauf	$\chi^2$	$df$	$p$	CFI	RMSEA	SRMR
3	$y = e^{0.103x}$	68.43	4	<.001	.861	.302	.084
4	$y = x$	22.67	4	<.001	.960	.162	.317
5*	$y = 2^x$	16.70	4	.001	.973	.134	.182
6	$y = \log_e x$	14.13	4	.007	.978	.120	.215
7	$y = x^2$	9.20	4	.056	.989	.086	.127
8	$y = x$	6.09	4	.193	.995	.054	.123

*Anmerkungen.* Es gilt für alle Funktionen  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$  (ausgenommen Modell 8, in welchem  $x \in \{0, 1, 2, 3\}$ ).  $\chi^2$  = Satorra-Bentler (1994) korrigierter  $\chi^2$ -Wert;  $df$  = Freiheitsgrade; CFI = comparative fit index; RMSEA = root mean square error of approximation; SRMR = standardized root mean square residual.

\*Das Modell konnte nicht interpretiert werden, weil die Fehlervarianz der 7.2°-Bedingung negativ geschätzt wurde.

In Modell 6 wiesen die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable einen logarithmischen Verlauf ( $y = \log_e x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) auf. Das Modell bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Spatial-Suppression-Aufgabe nicht adäquat ab. Zwar reduzierte sich der  $\chi^2$ -Wert im Vergleich zu Modell 4 erneut, der  $\chi^2$ -Test war aber immer noch signifikant. Weiter deuteten der RMSEA und das SRMR mit Werten ausserhalb des akzeptablen Bereichs auf eine schlechte Modellpassung hin.

Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable von Modell 7 wurden mit einer quadratischen Funktion ( $y = x^2$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) bestimmt. Der  $\chi^2$ -Test erkannte keine signifikante Abweichung zwischen der von Modell 7 implizierten und der empirische Varianz-Kovarianzmatrix. Obwohl der CFI im akzeptablen Bereich lag, deuteten der RMSEA und das SRMR auf keine gute Passung des Modells hin.

In Modell 8 (siehe Abbildung 13) wurden die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable erneut linear ansteigend fixiert.



Im Gegensatz zu Modell 4 wurde die Faktorladung der ersten Bedingung

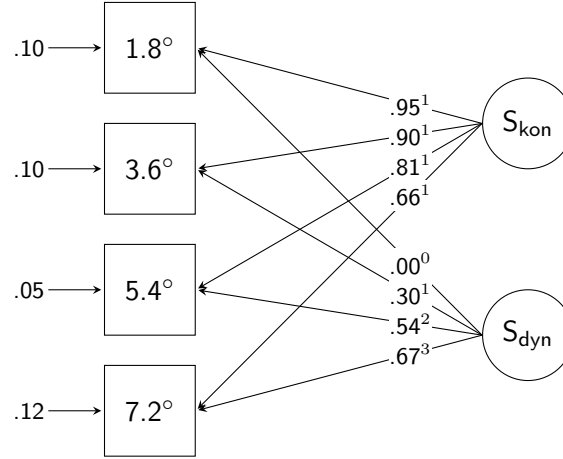


Abbildung 13. Modell 8: Fixed-Links-Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (S). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. Hochgestellt sind die fixierten unstandardisierten Faktorladungen.  $S_{kon}$  = konstante latente Variable;  $S_{dyn}$  = dynamische latente Variable.

aber auf 0 gesetzt ( $y = x$ ,  $x \in \{0, 1, 2, 3\}$ ). Verglichen mit den Modellen 3 bis 7 wich die vom Modell 8 implizierte Varianz-Kovarianzmatrix am wenigsten von der empirische Varianz-Kovarianzmatrix ab. Der  $\chi^2$ -Test war nicht signifikant und der CFI und RMSEA deuteten auf eine gute Modellpassung hin. Das SRMR lag nicht unter dem von [Hu und Bentler \(1999\)](#) vorgegebenen Wert von  $\leq .08$ , fiel aber deshalb nicht tiefer aus, weil die beiden latenten Variablen unabhängig voneinander gehalten wurden<sup>3</sup>. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 0.018 ( $z = 8.45$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 0.002 ( $z = 5.53$ ,  $p < .001$ ). Der relative Anteil dieser beiden Varianzen an der in den manifesten Variablen erklärten Varianz liess sich aufgrund der in konfirmatorischen Faktorenanalysen gegebenen multiplikativen Verknüpfung von Faktorladungen und Vari-

<sup>3</sup> Gestützt wurde diese Erklärung durch der Tatsache, dass das SRMR deutlich tiefer ausfiel, als die Unabhängigkeit zwischen der konstanten latenten Variable und der dynamischen latenten Variable aufgehoben wurde,  $\chi^2(4) = 1.98$ ,  $p = .58$ , CFI = .999, RMSEA = .036, SRMR = .023. Die beiden latenten Variablen korrelierten in diesem Fall mit  $r = -.22$  ( $p = .02$ ). Das SRMR wurde bei der Beurteilung der folgenden Modelle deshalb nicht mehr berücksichtigt.

anzen nicht direkt ermitteln. Um die Varianzen miteinander vergleichen zu können, wurde der Einfluss der Faktorladungen auf die Varianzen mit der Methode von Schweizer (2011) kontrolliert. Die Skalierung der Varianzen hat ergeben, dass die konstante latente Variable 72 % und die dynamische latente Variable 28 % von der in den manifesten Variablen gemeinsamen Varianz band.

Im Vergleich zum kongenerischen Messmodell (Modell 1) vermochte das Fixed-Links-Messmodell (Modell 8) die empirischen Daten deutlich besser abzubilden. Die bessere Passung von Modell 8 äusserte sich im Vergleich zu Modell 1 in zwei zusätzlichen Freiheitsgraden, einem nicht-signifikanten  $\chi^2$ -Wert, im höheren CFI und im kleineren RMSEA. Modell 8 war Modell 1 also aufgrund höherer Sparsamkeit und adäquaterer Abbildung der empirischen Daten vorzuziehen.

### 3.5.2 Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell

Als nächstes wurde Modell 8 mit dem  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test in Verbindung gebracht (Modell 9; siehe Abbildung 14). Das Modell bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen gut ab. Der  $\chi^2$ -Test war nicht signifikant und der CFI und RMSEA lagen im akzeptablen Bereich,  $\chi^2(14) = 19.06$ ,  $p = .16$ , CFI = .99, RMSEA = .05, SRMR = .09. Der Regressionskoeffizient zwischen der konstanten latenten Variable und dem  $g$ -Faktor betrug  $\beta = -.25$  ( $p = .02$ ). Tiefe Faktorwerte auf der konstanten latenten Variable waren also tendenziell mit höheren Faktorwerten im  $g$ -Faktor verbunden. Der Regressionskoeffizient zwischen der dynamischen latenten Variable und dem  $g$ -Faktor betrug  $\beta = -.08$  ( $p = .43$ ). Gemeinsam erklärten die konstante und die dynamische latente Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe 7 % der Varianz im  $g$ -Faktor.

Im Vergleich zum herkömmlichen Strukturgleichungsmodell (Modell 2) bildete das Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell (Modell 9) die empirischen Daten deutlich besser ab. Die bessere Passung von Modell 8 äusserte sich im Vergleich zu Modell 2 in einem zusätzlichen Freiheitsgrad, einem nicht-signifikanten  $\chi^2$ -Wert, im höheren CFI und im kleineren RMSEA. Modell 9 war Modell 2 folglich aufgrund höherer Sparsamkeit und adäquaterer Abbil-

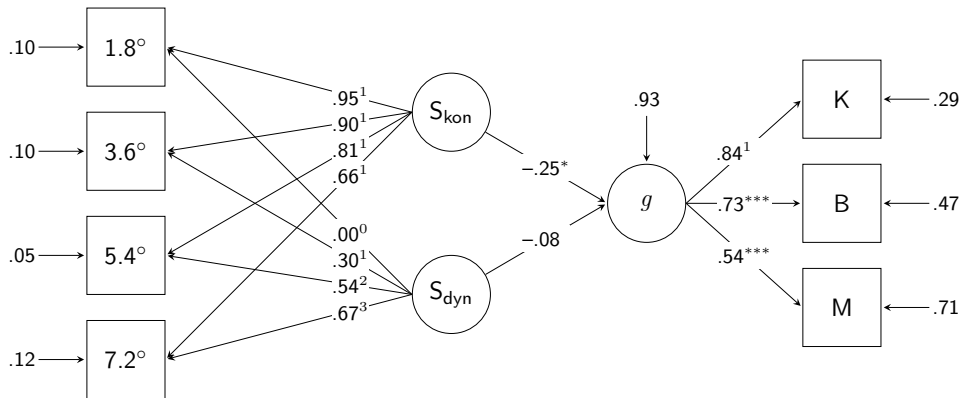


Abbildung 14. Modell 9: Latenter Zusammenhang zwischen dem Fixed-Links-Messmodell (Modell 8) der Spatial-Suppression-Aufgabe (S) und dem  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test. Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. Hochgestellt sind die fixierten unstandardisierten Faktorladungen.  $S_{kon}$  = konstante latente Variable;  $S_{dyn}$  = dynamische latente Variable.  $K$  = Kapazität;  $B$  = Bearbeitungsgeschwindigkeit;  $M$  = Merkfähigkeit.

\* $p < .05$ . \*\*\* $p < .001$ .

dung der empirischen Daten vorzuziehen.

Abschliessend zur vierten Fragestellung kann Folgendes festgehalten werden: Auf Messmodellebene vermochte das Fixed-Links-Modell (Modell 8) die empirischen Daten der Spatial-Suppression-Aufgabe besser zu beschreiben als das kongenerische Messmodell (Modell 1). Auch im Zusammenhang mit dem  $g$ -Faktor war die Beschreibung der empirischen Daten mittels Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell (Modell 9) dem herkömmlichen Strukturgleichungsmodell (Modell 2) überlegen. Bezüglich der Varianzaufklärung im  $g$ -Faktor waren sich Modell 2 und Modell 9 hingegen ähnlich.

### 3.6 5. Fragestellung

Mit der fünften Fragestellung sollte die Frage geklärt werden, ob die Spatial-Suppression-Aufgabe zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede neuartige Erklärungsmöglichkeiten bietet oder ob die Hick-Aufgabe den Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz vollständig zu erklären vermag. Geprüft wurde diese Frage

auf manifester und auf latenter Ebene.

### 3.6.1 Analyse auf manifester Ebene

#### Die Vorhersage psychometrischer Intelligenz durch die Aufgabenbedingungen der Hick- und Spatial-Suppression-Aufgabe

Die korrelative Analyse der Aufgaben in Unterabschnitt 3.1.4 hat gezeigt, dass alle vier Bedingungen der Hick-Aufgabe und drei von vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe mit dem  $z$ -Wert des BIS-Test zusammenhängen. Auch zwischen den Bedingungen der Aufgaben bestanden signifikante Zusammenhänge. Um diese Abhängigkeiten bei der Vorhersage des  $z$ -Werts zu berücksichtigen, wurden die Bedingungen in Gruppen zusammengefasst und nacheinander blockweise in eine multiple Regressionsanalyse aufgenommen.

Ausgangslage für die Beantwortung der Fragestellung bildete Modell 10, in welchem der  $z$ -Wert des BIS-Tests alleinig mit den vier Bedingungen der Hick-Aufgabe vorhergesagt wurde (siehe Tabelle 11). Die Regressionsanalyse hat ergeben, dass bei einer Kontrolle für die Zusammenhänge zwischen den Bedingungen keiner der Prädiktoren den  $z$ -Wert signifikant vorhersagte (alle  $ps > .22$ ). Gemeinsam sagten die Prädiktoren den  $z$ -Wert jedoch signifikant vorher und erklärten 9% der Varianz im  $z$ -Wert,  $F(4, 172) = 4.40$ ,  $p = .002$ ,  $R^2 = .09$ . Der Umstand, dass die einzelnen Bedingungen nicht signifikante Regressionskoeffizienten aufwiesen, das gesamte Regressionsmodell hingegen einen signifikanten Varianzanteil im  $z$ -Wert erklärte, konnte durch die hohen Abhängigkeiten zwischen den Prädiktoren (Multikollinearität) erklärt werden (Eid, Gollwitzer & Schmitt, 2013, S. 686). Während Multikollinearität die Interpretation der einzelnen Regressionskoeffizienten erschwert, ist sie bei einer reinen Prädiktion eines Kriteriums (wie sie hier vorlag) unproblematisch.

Modell 11 beinhaltete als Prädiktoren sowohl die Bedingungen der Hick- als auch der Spatial-Suppression-Aufgabe (siehe Tabelle 11). Wie in Modell 10 sagte bei einer Kontrolle für die Abhängigkeiten zwischen den acht Bedingungen keiner der Prädiktoren den  $z$ -Wert signifikant vorher (alle  $ps > .16$ ). Zusammen hingegen sagten die Prädiktoren den  $z$ -Wert signifikant vorher

Tabelle 11

*Multiple Regression zur Vorhersage des  $z$ -Werts des BIS-Test durch die Bedingungen der Hick-Aufgabe (Modell 10) respektive durch die Bedingungen der Hick- und der Spatial-Suppression-Aufgabe (Modell 11)*

Prädiktor	$B$	$SE(B)$	$\beta$	$p$	$F$	$R^2$	$\Delta F$	$\Delta R^2$
Modell 10					4.40**	.09		
0-bit	0.0008	0.0020	.04	.70				
1-bit	-0.0027	0.0022	-.16	.22				
2-bit	-0.0008	0.0014	-.08	.56				
2.58-bit	-0.0010	0.0010	-.12	.36				
Modell 11					2.71**	.11	1.02	.02
0-bit	0.0018	0.0021	.10	.40				
1-bit	-0.0031	0.0022	-.19	.16				
2-bit	-0.0009	0.0014	-.09	.51				
2.58-bit	-0.0008	0.0010	-.11	.41				
1.8°	-0.0536	0.5444	-.01	.92				
3.6°	-0.4192	0.7062	-.11	.55				
5.4°	-0.1077	0.7183	-.03	.88				
7.2°	0.0157	0.4532	.01	.97				

*Anmerkungen.*  $B$  = unstandardisiertes Regressionsgewicht;  $\beta$  = standardisiertes Regressionsgewicht;  $F$  =  $F$ -Wert des Regressionsmodells;  $R^2$  = erklärte Varianz;  $\Delta F$  =  $F$ -Wert der Veränderung der erklärten Varianz;  $\Delta R^2$  = zusätzlich erklärte Varianz.

\*\* $p < .01$  (zweiseitig).

und erklärten 11 % der Varianz im  $z$ -Wert,  $F(8, 168) = 2.71$ ,  $p = .008$ ,  $R^2 = .11$ .

Um zu prüfen, ob die Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe einen inkrementellen Beitrag zur Varianzaufklärung im  $z$ -Wert des BIS-Test leisteten, wurde der Zuwachs an erklärter Varianz im  $z$ -Wert zwischen Modell 10 und Modell 11 auf Signifikanz getestet. Dabei hat sich ergeben, dass  $\Delta R^2 = .02$  kein signifikanter Zuwachs an erklärter Varianz darstellte,  $F(4, 168) = 1.02$ ,  $p = .40$ . Die Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe haben also auf Ebene der Aufgabenbedingungen keinen inkrementellen

Beitrag zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede geleistet.

### Die Vorhersage psychometrischer Intelligenz durch die Aufgabenparameter der Hick- und Spatial-Suppression-Aufgabe

Um den  $z$ -Wert des BIS-Test mit den abgeleiteten Aufgabenparametern beider Aufgaben vorherzusagen, mussten die Aufgabenparameter der Hick-Aufgabe noch bestimmt werden (die Aufgabenparameter der Spatial-Suppression-Aufgabe wurden bereits in Abschnitt 3.3 ermittelt). Die Reaktionszeit (RZ) in einer Auswahl Aufgabe (wie sie die Hick-Aufgabe darstellt) kann gemäss [Jensen \(1987, S. 105\)](#) mit der linearen Funktion  $RZ = a + b \log_2 n$  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. Das Produkt  $\log_2 n$  wurde von [Hick \(1952\)](#) als *Bit* bezeichnet und entspricht derjenigen Menge an Information, welche die Entscheidung zwischen zwei gleich wahrscheinlichen Antwortalternativen ermöglicht<sup>4</sup> (siehe auch [Jensen, 2006, S. 27](#)).

Die Reaktionszeiten der Hick-Aufgabe wurden für jede Person mit einer linearen Regression der Form  $y = a + b \log_2 n$  vorhergesagt (siehe Abbildung 15). Deskriptive Angaben zu den daraus resultierenden Parametern, dem y-Achsenabschnitt  $a$  und der Steigung  $b$ , sind in Tabelle 12 zu finden. Wie bei der Analyse der Spatial-Suppression-Aufgabe wurde als Mass für die Anpassungsgüte des Modells an die Daten für jede Person der *RMSE* berechnet. Dabei hat sich gezeigt, dass sich ein lineares Modell zur Beschreibung der Daten für einen grossen Teil der Vpn gut eignete (siehe Abschnitt 3.3). Der Median betrug 12 ms und das dritte Quartil lag bei 19 ms (Minimum = 0.96 ms, Maximum = 54.23 ms).

Wie bei der Spatial-Suppression-Aufgabe (siehe Abschnitt 3.3) wurde

<sup>4</sup> Entsprechend dieser Definition gab das *Bit* den Bedingungen der Hick-Aufgabe ihre Namen: In der ersten Bedingung steht eine Antwortalternative zur Verfügung ( $\log_2 1 = 0$ -Bit-Bedingung), in der zweiten Bedingung stehen zwei Antwortalternativen zur Verfügung ( $\log_2 2 = 1$ -Bit-Bedingung), in der dritten Bedingung stehen vier Antwortalternativen zur Verfügung ( $\log_2 4 = 2$ -Bit-Bedingung) und in der vierte Bedingung stehen sechs Antwortalternative zur Verfügung ( $\log_2 6 = 2.58$ -Bit-Bedingung).

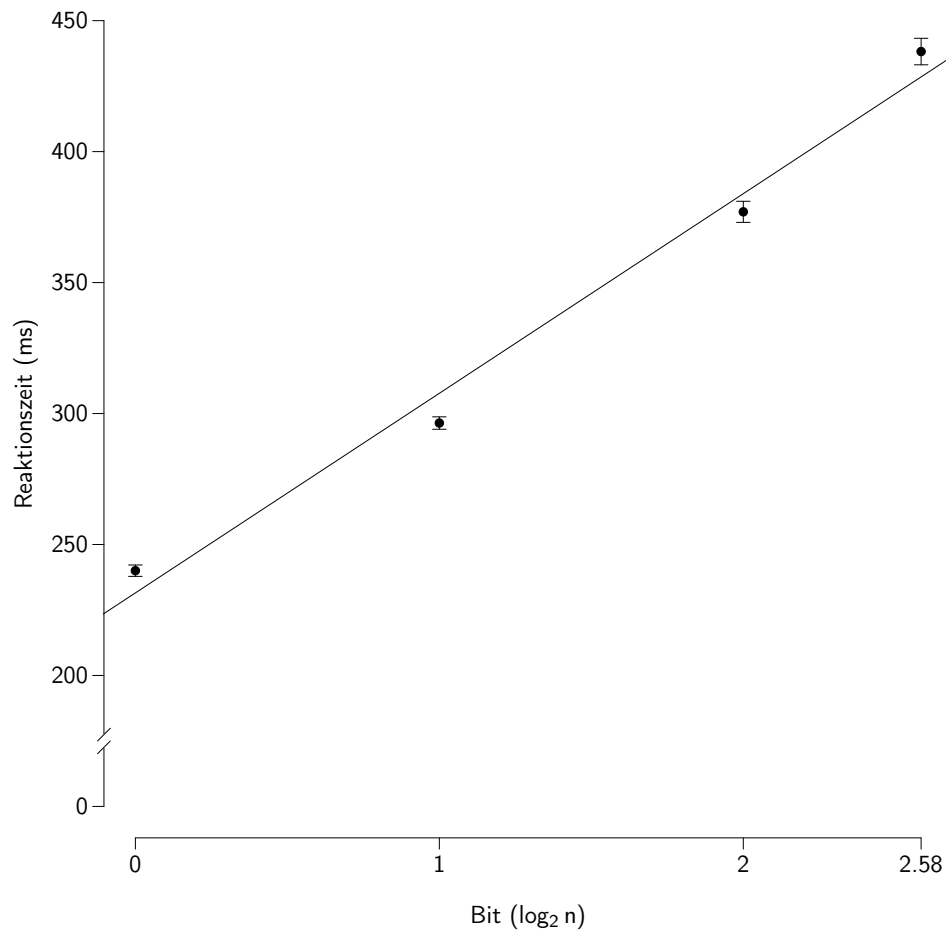


Abbildung 15. Linearer Einfluss des Bits auf die Reaktionszeit in der Hick-Aufgabe. Eingezeichnet sind die Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler der Mittelwerte.  $y = 232 + 76 \log_2 n$ .  $n$  = Anzahl Antwortalternativen.

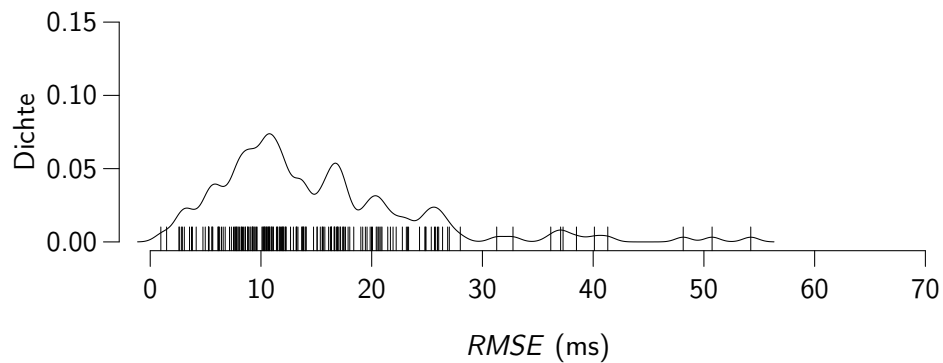
der Zusammenhang zwischen den Aufgabenparametern (y-Achsenabschnitt und Steigung) und dem  $z$ -Wert des BIS-Test in Abhängigkeit des  $RMSE$  betrachtet. Die Analysen haben ergeben, dass der y-Achsenabschnitt und der  $z$ -Wert bei einem  $RMSE$ -Grenzwert zwischen 9.6 und 10.4 ms ( $r = -.28$  bis  $-.29$ , alle  $ps < .03$ ), zwischen 11 und 15.7 ms ( $r = -.24$  bis  $-.31$ , alle  $ps < .04$ ), zwischen 17.2 und 22.2 ms ( $r = -.17$  bis  $-.20$ , alle  $ps < .04$ ) und ab 23.3 ms ( $r = -.15$  bis  $-.17$ , alle  $ps < .049$ ) signifikant miteinander korrelierten (siehe Abbildung 17a). In den erwähnten Bereichen war ein tiefer y-Achsenabschnitt also tendenziell mit einem hohen  $z$ -Wert verbunden. Ei-

Tabelle 12

*Deskriptive Angaben zur linearen Regression ( $y = a + b \log_2 n$ ) für die Vorhersage der Reaktionszeiten durch die Anzahl Antwortalternativen  $n$  der Hick-Aufgabe (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) und Kennwerte zur Verteilung der Daten*

Parameter	$M$	$SD$	Min	Max	Schiefe	Kurtosis	S-W $p$ -Wert
$a$	232	28	168	347	1.18	2.95	<.001
$b$	76	22	33	142	0.53	-0.12	.003

*Anmerkungen.*  $a$  = y-Achsenabschnitt (in ms);  $b$  = Steigung; Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test.



*Abbildung 16.* Dichtefunktion des aus der linearen Regression abgeleiteten Root Mean Square Error ( $RMSE$ ; in Millisekunden) der Hick-Aufgabe. Alle Datenpunkte sind auf der  $x$ -Achse mit vertikalen Strichen markiert.

ne visuelle Inspektion des Verlaufs liess keine Aussage darüber zu, ob der  $RMSE$ -Grenzwert einen positiven oder negativen Einfluss auf die Höhe des Zusammenhangs ausübte.

Die Steigung und der  $z$ -Wert des BIS-Test korrelierten bei einem  $RMSE$ -Grenzwert zwischen 8.9 und 10.7 ms ( $r = -.24$  bis  $-.37$ , alle  $ps < .048$ ) und ab 15.7 ms ( $r = -.19$  bis  $-.28$ , alle  $ps < .046$ ) signifikant miteinander (siehe Abbildung 17b). In diesen Bereichen war eine geringe Steigung also tendenziell mit einem hohen  $z$ -Wert verbunden. Wie beim Zusammenhang zwischen dem y-Achsenabschnitt und dem  $z$ -Wert konnte eine visuelle Inspektion des Verlaufs keine klaren Hinweise dafür liefern, ob der  $RMSE$ -Grenzwert einen



positiven oder negativen Einfluss auf die Höhe des Zusammenhangs zwischen der Steigung und dem  $z$ -Wert ausübte.

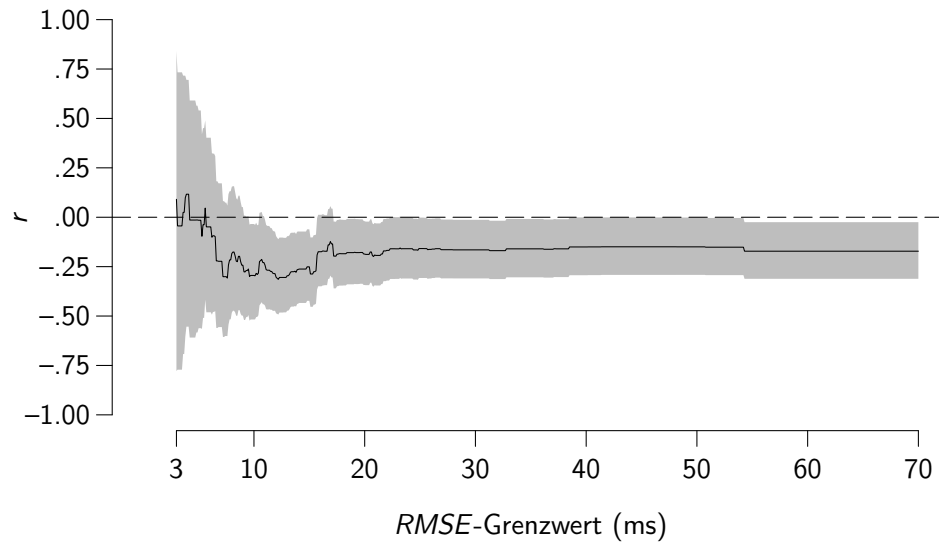
Betrachtet man die mit der Gesamtstichprobe ermittelten Ergebnisse, kann festgehalten werden, dass sowohl der  $y$ -Achsenabschnitt ( $r = -.17$ ,  $p = .02$ ) als auch die Steigung ( $r = -.23$ ,  $p = .002$ ) der Hick-Aufgabe leicht negativ mit dem  $z$ -Wert des BIS-Test zusammenhing. Diese Zusammenhänge waren vergleichbar mit den von [Jensen \(1987\)](#) berichteten Ergebnissen.

Tabelle 13

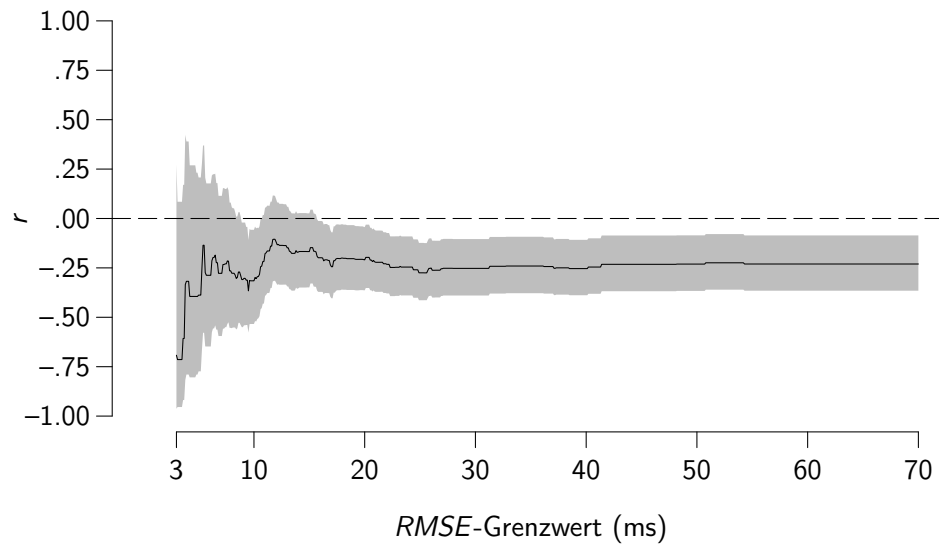
*Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den aus der Spatial-Suppression- und der Hick-Aufgabe regressionsanalytisch abgeleiteten Aufgabenparametern und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests*

	Parameter	Hick-Aufgabe		Spatial-Suppression-Aufgabe		BIS-Test
		1	2	3	4	5
1	$y$ -Achsenabschnitt					
2	$b$	-.08***				
3	$a$	.16*	.03			
4	$b$	-.02	-.03	-.57***		
5	$z$ -Wert	-.17*	-.23***	-.16*	.00	

\* $p < .05$ . \*\*\* $p < .001$  (zweiseitig).



a.  $r$  = Zusammenhang zwischen dem  $y$ -Achsenabschnitt und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests.



b.  $r$  = Zusammenhang zwischen der Steigung und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests.

Abbildung 17. Einfluss des *RMSE*-Grenzwerts auf die Zusammenhänge der aus der Hick-Aufgabe mit einer linearen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter (a) dem  $y$ -Achsenabschnitt und (b) der Steigung mit dem  $z$ -Wert des BIS-Tests. Die durchgezogene Linie kennzeichnet den Verlauf des Zusammenhangs. Der graue Bereich beschreibt das 95 %-Konfidenzintervall.

Tabelle 14

*Multiple Regression zur Vorhersage des z-Werts des BIS-Test durch die Aufgabenparameter der Hick-Aufgabe (Modell 12) respektive durch die Aufgabenparameter der Hick- und der Spatial-Suppression-Aufgabe (Modell 13)*

Prädiktor	$B$	$SE(B)$	$\beta$	$p$	$F$	$R^2$	$\Delta F$	$\Delta R^2$
Modell 12					4.40**	.09		
H-y-Achsenabschnitt	0.0008	0.0020	.04	.70				
H-Steigung	-0.0027	0.0022	-.16	.22				
Modell 13					2.71**	.11	1.02	.02
H-y-Achsenabschnitt	0.0018	0.0021	.10	.40				
H-Steigung	-0.0031	0.0022	-.19	.16				
S-Asymptote	-0.0009	0.0014	-.09	.51				
S-Asymptote	-0.0008	0.0010	-.11	.41				

*Anmerkungen.*  $B$  = unstandardisiertes Regressionsgewicht;  $\beta$  = standardisiertes Regressionsgewicht;  $F$  =  $F$ -Wert des Regressionsmodells;  $R^2$  = erklärte Varianz;  $\Delta F$  =  $F$ -Wert der Veränderung der erklärten Varianz;  $\Delta R^2$  = zusätzlich erklärte Varianz.

\*\* $p < .01$  (zweiseitig).

### 3.6.2 Analyse auf latenter Ebene

#### Messmodelle

Bevor die Hick-Aufgabe mit der Spatial-Suppression-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor in Verbindung gesetzt werden konnte, musste für die Hick-Aufgabe das kongenerische Messmodell und ein Fixed-Links-Messmodell bestimmt werden. Das kongenerische Messmodell der Hick-Aufgabe (Modell 14; siehe Abbildung 18) bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen schlecht ab. Der  $\chi^2$ -Test zeigte eine überzufällig hohe Abweichung zwischen der theoretischen und der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix an und der CFI und RMSEA lagen weit weg vom akzeptablen Bereich,  $\chi^2(2) = 42.58$ ,  $p < .001$ , CFI = .87, RMSEA = .33, SRMR = .06.

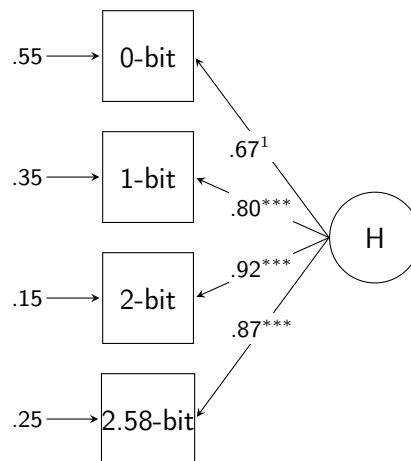


Abbildung 18. Modell 14: Kongenerisches Messmodell der Hick-Aufgabe (H). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten.

<sup>1</sup>Um die Identifizierung der Varianz der latenten Variable zu ermöglichen, wurde diese unstandardisierte Faktorladung auf 1 fixiert.

\*\*\* $p < .001$ .

Das Vorgehen bei der Bestimmung des Fixed-Links-Messmodells für die Hick-Aufgabe war identisch mit dem Vorgehen bei der Bestimmung des Fixed-Links-Messmodells für die Spatial-Suppression-Aufgabe und kann in Unterabschnitt 3.5.1 nachgelesen werden. Alle Modell-Fits der in den folgenden Paragraphen berichteten Fixed-Links-Modelle sind in Tabelle 15 aufge-

führt.

Tabelle 15

*Modell-Fits der berichteten Fixed-Links-Modelle der Hick-Aufgabe. Der Ladungsverlauf bezieht sich auf die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable. Die unstandardisierten Faktorladungen der konstanten latenten Variable betrugen immer 1*

Modell	Ladungsverlauf	$\chi^2$	$df$	$p$	CFI	RMSEA	SRMR
10	$y = x$	37.34	4	<.001	.89	.22	.17
11	$y = \log_2 x$	32.19	4	<.001	.91	.20	.14
12	$y = x$	8.64	4	.07	.99	.08	.09
13*	$y = \log_e x$	—	—	—	—	—	—
14	$y = x^2$	11.36	4	.02	.98	.10	.07
15	$y = \frac{1}{1 + e^{(-x/.8)}}$	4.59	4	.33	1.00	.03	.08

*Anmerkungen.* Der Ladungsverlauf bezieht sich auf die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable. Die unstandardisierten Faktorladungen der konstanten latenten Variable betrugen immer 1. Für Modelle 10, 13 und 14 gilt  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ . Für Modelle 11 und 12 gilt  $x \in \{1, 2, 4, 6\}$ , für Modell 15  $x \in \{-3, -1, 1, 3\}$ .  $\chi^2$  = Satorra-Bentler (1994) korrigierter  $\chi^2$ -Wert;  $df$  = Freiheitsgrade; CFI = comparative fit index; RMSEA = root mean square error of approximation; SRMR = standardized root mean square residual.

\*Das Modell konnte nicht interpretiert werden, weil eine geschätzte Varianz negativ war.

#### Das erste berechnete Fixed-Links-Modell

Die regressionsanalytische Analyse der Hick-Aufgabe (siehe ??) hat zwischen der Anzahl Bits und der Reaktionszeit einen linearen Zusammenhang ergeben. In Modell 10 wurden die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable deshalb linear ansteigend gewählt ( $y = x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ). Modell 10 bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe nicht gut ab,  $\chi^2(4) = 37.34$ ,  $p < .001$ , CFI = .89, RMSEA = .22, SRMR = .17. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 470.13 ( $z = 3.81$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 186.10 ( $z = 6.53$ ,  $p < .001$ ). In Modell 11 wurden die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable entsprechend der Anzahl Bit der Bedingung gewählt ( $y = \log_2 x$ ,  $x \in$

$\{1, 2, 4, 6\}$ ). Modell 11 bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe ebenfalls nicht gut ab,  $\chi^2(4) = 32.19$ ,  $p < .001$ , CFI = .91, RMSEA = .20, SRMR = .14. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 759.80 ( $z = 6.72$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 310.18 ( $z = 5.74$ ,  $p < .001$ ). Modell 12 testete die Annahme, dass die Ladungen der unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable entsprechend der Anzahl Antwortalternativen verlaufen ( $y = x$ ,  $x \in \{1, 2, 4, 6\}$ ). Modell 12 bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe erstmals gut ab,  $\chi^2(4) = 8.64$ ,  $p = .07$ , CFI = .99, RMSEA = .08, SRMR = .09. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 559.73 ( $z = 4.87$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 102.83 ( $z = 7.26$ ,  $p < .001$ ).

Modelle 10 bis 12 beinhalteten klare Annahmen über den Verlauf der unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable. Als nächstes wurden explorativ Ladungsverläufe getestet, um die empirischen Daten bestmöglich zu beschreiben. In Modell 13 wiesen die Faktorladungen der dynamischen latenten Variable einen logarithmischen Verlauf ( $y = \log_e x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) auf. Dieses Modell konnte nicht interpretiert werden, weil eine geschätzte Fehlervarianz negativ war. Modell 14 beinhaltete einen quadratisch ansteigenden Ladungsverlauf der dynamischen latenten Variable ( $y = x^2$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ). Modell 14 bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe nicht gut ab,  $\chi^2(4) = 11.36$ ,  $p = .02$ , CFI = .98, RMSEA = .10, SRMR = .07. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 624.88 ( $z = 5.49$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 13.53 ( $z = 6.93$ ,  $p < .001$ ). Die besten Ergebnisse erzielte Modell 15, in welchem ein logistischer Ladungsverlauf der dynamischen latenten Variable eingesetzt wurde  $\{y = 1/[1 + e^{(-x/.8)}], x \in \{-3, -1, 1, 3\}\}$ . Das theoretische Modell (siehe Abbildung 19)

bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe sehr gut ab,  $\chi^2(4) = 4.59$ ,  $p = .33$ , CFI = 1.00, RMSEA = .03, SRMR = .08. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 654.91 ( $z = 5.74$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 2586.48 ( $z = 6.89$ ,  $p < .001$ ). Nach Skalierung der Varianzen (Schweizer, 2011) betrug die Varianz der konstanten latenten Variable 654.91 ( $z = 5.74$ ,  $p < .001$ )

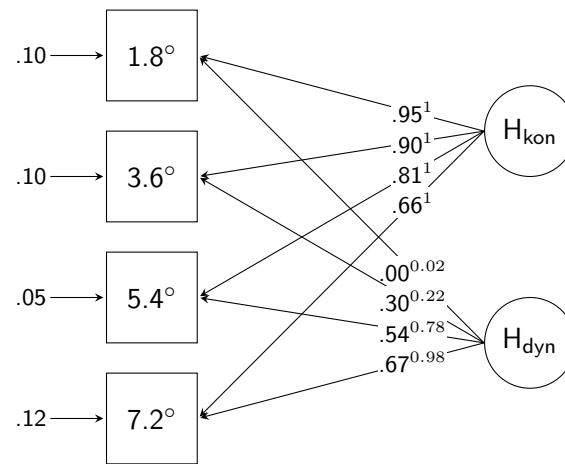


Abbildung 19. Modell 15: Fixed-Links-Messmodell der Hick-Aufgabe (H). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. Hochgestellt sind die fixierten unstandardisierten Faktorladungen.  $H_{\text{kon}}$  = konstante latente Variable;  $H_{\text{dyn}}$  = dynamische latente Variable.

und die Varianz der dynamischen latenten Variable 1040.34 ( $z = 6.89$ ,  $p < .001$ ). Die in der dynamischen latenten Variable gebundenen Prozesse waren also für die Bearbeitung der Hick-Aufgabe fast eineinhalb Mal so wichtig wie die in der konstanten latenten Variable gebundenen Prozesse. Weil Modell 15 die empirischen Daten am besten abbildete, wurde für alle weiteren Berechnungen Modell 15 verwendet. Eine Übersicht über alle Fixed-Links-Modelle der Hick-Aufgabe gibt ??.

## Strukturgleichungsmodelle

(siehe Abbildung 20)

### Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell

Für die Analyse der Zusammenhänge auf latenter Ebene musste für die Hick-Aufgabe zuerst ein Fixed-Links-Messmodell gefunden werden. Dabei wurden analog zum Vorgehen in ?? zwei unabhängige latente Variablen angenommen, die die Varianz und Kovarianz der vier Hick-Bedingungen erklären. Die unstandardisierten Faktorladungen der konstanten latenten Variable betrugen bei allen Messmodellen 1, die unstandardisierten Faktorladungen der

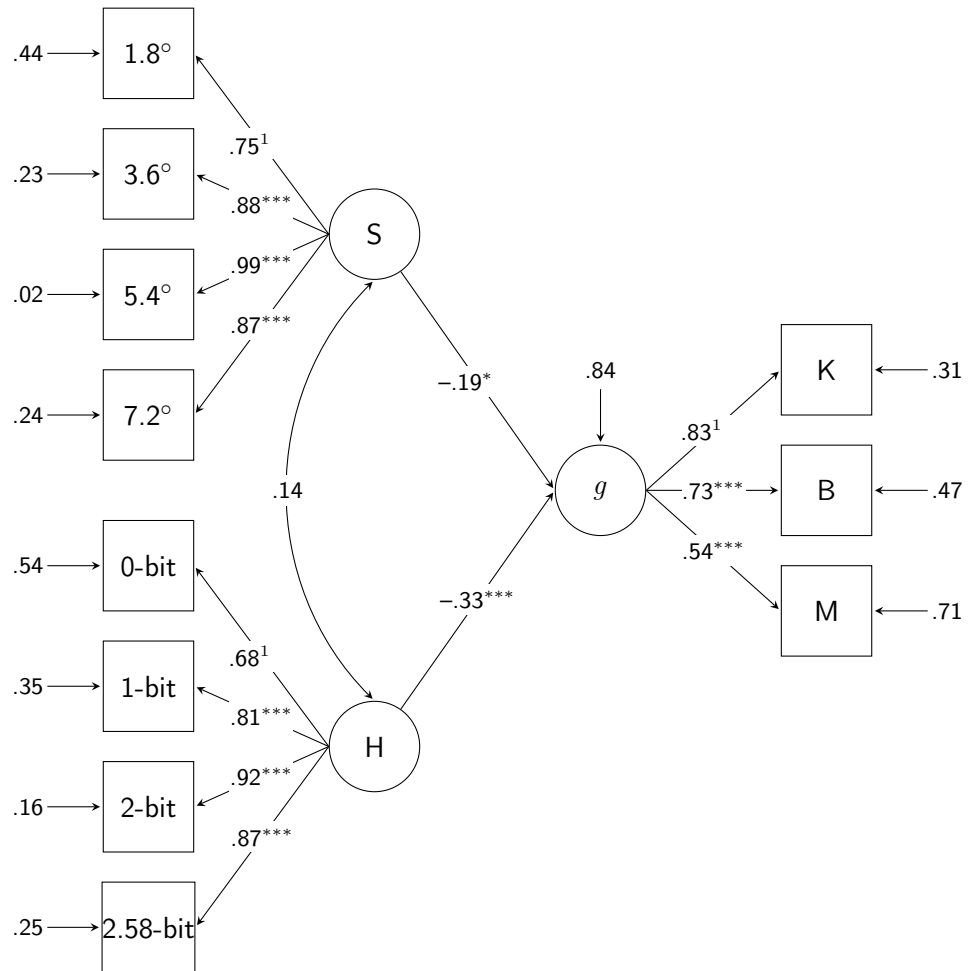


Abbildung 20. Modell 14: Latenter Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe (S), der Hick-Aufgabe (H) und dem  $g$ -Faktor des BIS-Test. K = Kapazität; B = Bearbeitungsgeschwindigkeit; M = Merkfähigkeit.

<sup>1</sup>Um die Identifizierung der Varianz der latenten Variable zu ermöglichen, wurde diese unstandardisierte Faktorladung auf 1 fixiert.

\* $p < .05$ . \*\*\* $p < .001$ .



---

dynamischen latenten Variable hingegen wurden variiert.

Mit Modell 8 und 15 wurde in einem letzten Schritt der  $g$ -Faktor vorhergesagt (siehe Abbildung 21).

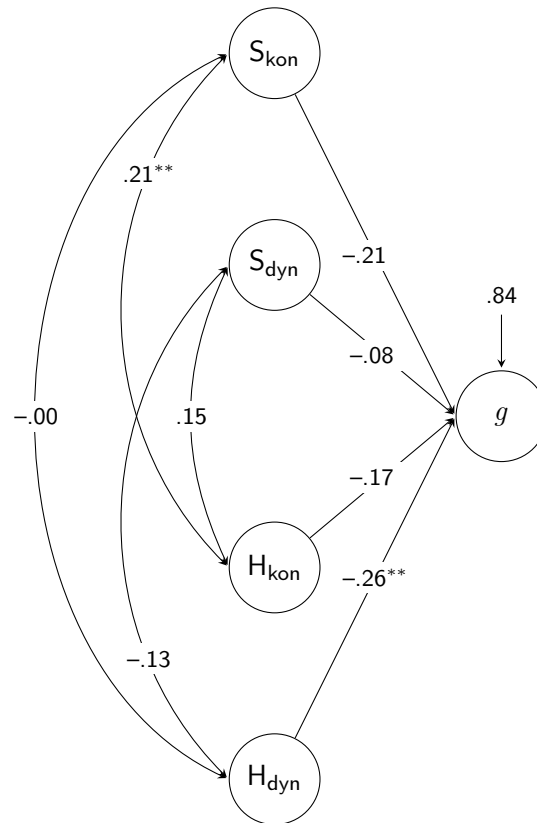


Abbildung 21. Modell 16: Strukturmodell Fixed-Links-Modell der Hick-Aufgabe. Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten.  $S_{kon}$  = konstante latente Variable;  $S_{dyn}$  = dynamische latente Variable.

$^{**}p < .01$ .

## 3.7 Weitere Analysen

### 3.7.1 trololol

Hier folgt noch:

- Korrelationen der Spatial-Suppression-Bedingungen mit dem  $g$ -Faktor
- Eine Mental-Speed mit hick und suppression bedingungen auf  $g$ ?

## 4 Diskussion

- Anderes Resultate, weil anderer IQ-Test eingesetzt?
- Anderes Resultat, weil nicht Projektor eingesetzt?
- für diese kurzversion betsehenkeine normen. wir sind aber auch nicht am iq sondern an der varianzaufklärung interessiert. deshalb nicht relevant.

p-Wert problematisch:

[Gelman und Stern \(2006\)](#)

[Wasserstein und Lazar \(2016\)](#)

[Nuzzo \(2014\)](#)

fixed-links als Lösung für exponentielle Regression, da hats einfach ein paar Leute mit hohem RMSE gehabt. im sem drückt lässt sich der missfit quantifizieren (modelltest)



# Literatur

- 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)
- Bakeman, R. (2005). Recommended effect size statistics for repeated measures designs. *Behavior Research Methods*, 37 (3), 379–384. doi:[10.3758/bf03192707](https://doi.org/10.3758/bf03192707)
- Baty, F., Ritz, C., Charles, S., Brutsche, M., Flandrois, J.-P. & Delignette-Muller, M.-L. (2015). A toolbox for nonlinear regression in R: The package nlstools. *Journal of Statistical Software*, 66 (5), 1–21. doi:[10.18637/jss.v066.i05](https://doi.org/10.18637/jss.v066.i05)
- 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//1015-5759.18.2.97](https://doi.org/10.1027//1015-5759.18.2.97)
- Bengtsson, H. (2014). R.matlab: Read and write of mat files together with r-to-matlab connectivity (Version 3.1.1) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=R.matlab>
- Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, 107 (2), 238–246. doi:[10.1037/0033-2909.107.2.238](https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238)
- Browne, M. W. & Cudeck, R. (1993). Alternative ways of assessing model fit. In K. A. Bollen & J. S. Long (Hrsg.), *Testing structural equation models* (S. 136–162). Newbury Park, CA: Sage.
- Bucik, V. & Neubauer, A. C. (1996). Bimodality in the Berlin Model of Intelligence Structure (BIS): A replication study. *Personality and Individual Differences*, 21 (6), 987–1005. doi:[10.1016/S0191-8869\(96\)00129-8](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(96)00129-8)

- 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.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). New York, NY: Psychology Press.
- Cohen, J. & Cohen, P. (1983). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Curran, P. J., West, S. G. & Finch, J. F. (1996). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological Methods*, 1 (1), 16–29. doi:[10.1037/1082-989X.1.1.16](https://doi.org/10.1037/1082-989X.1.1.16)
- Curtin, J. (2016). lmSupport: Support for linear models (Version 2.9.4) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=lmSupport>
- Doebler, P. & Scheffler, B. (2015). The relationship of choice reaction time variability and intelligence: A meta-analysis. *Learning and Individual Differences*, IN PRESS CHECK AGAIN!!! doi:[10.1016/j.lindif.2015.02.009](https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.02.009)
- Eid, M., Gollwitzer, M. & Schmitt, M. (2013). *Statistik und Forschungsmethoden* (3., korrigierte Aufl.). Basel, Schweiz: Beltz.
- Epskamp, S. (2014). semplot: Path diagrams and visual analysis of various sem packages' output (Version 1.0.1) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=semPlot>
- Finney, S. J. & DiStefano, C. (2006). Non-normal and categorical data in structural equation modeling. In G. R. Hancock & R. O. Mueller (Hrsg.), *Structural equation modeling: A second course* (S. 269–314). Greenwich, CT: Information Age.
- Galili, T. (2010, 22. Februar). Post hoc analysis for Friedman's Test (R code) [Blog-Eintrag]. Verfügbar unter <http://www.r-statistics.com/2010/02/post-hoc-analysis-for-friedmans-test-r-code/>
- Gelman, A. & Stern, H. (2006). The difference between “significant” and “not significant” is not itself statistically significant. *The American*

- Statistician*, 60 (4), 328–331. doi:[10.1198/000313006X152649](https://doi.org/10.1198/000313006X152649)
- Hamner, B. (2012). Metrics: Evaluation metrics for machine learning (Version 0.1.1) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=Metrics>
- 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)
- Hollander, M., Wolfe, D. A. & Chicken, E. (2014). *Nonparametric statistical methods*. doi:[10.1002/9781119196037](https://doi.org/10.1002/9781119196037)
- Hothorn, T., Bretz, F. & Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal*, 50 (3), 346–363. doi:[10.1002/bimj.200810425](https://doi.org/10.1002/bimj.200810425)
- Hothorn, T., Hornik, K., van de Wiel, M. A. & Zeileis, A. (2008). Implementing a class of permutation tests: The coin package. *Journal of Statistical Software*, 28 (8), 1–23. doi:[10.18637/jss.v028.i08](https://doi.org/10.18637/jss.v028.i08)
- Hu, L. & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 6 (1), 1–55. doi:[10.1080/10705519909540118](https://doi.org/10.1080/10705519909540118)
- Ihaka, R., Murrell, P., Hornik, K., Fisher, J. C. & Zeileis, A. (2015). color-space: Color space manipulation (Version 1.2-6) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=colorspace>
- 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. (2006). *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*. Oxford, England: Elsevier.
- 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.
- Jöreskog, K. G. (1971). Statistical analysis of sets of congeneric tests. *Psychometrika*, 36 (2), 109–133. doi:[10.1007/BF02291393](https://doi.org/10.1007/BF02291393)

- Kim, K. H. (2005). Can only intelligent people be creative? A meta-analysis. *The Journal of Secondary Gifted Education*, 16 (2/3), 57–66. doi:[10.4219/jsge-2005-473](https://doi.org/10.4219/jsge-2005-473)
- Kim, S. (2015). ppcor: Partial and semi-partial (part) correlation (Version 1.1) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=ppcor>
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (3. Aufl.). New York, NY: Guilford Press.
- Kuhmann, W. & Ising, M. (1996). *Dickman Impulsivitätsskala (DIS)* (Unveröffentlichter Fragebogen). Institut für Psychologie der Pädagogischen Hochschule, Erfurt, Deutschland.
- Lawrence, M. A. (2015). ez: Easy analysis and visualization of factorial experiments (Version 4.3) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=ez>
- Lemon, J. (2006). plotrix: Various plotting functions (Version 3.6-2) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=plotrix>
- Mahr, T. (2015). rprime: Functions for working with 'eprime' text files (Version 0.1.0) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=rprime>
- MathWorks Inc. (2013). Matlab (Version 8.1.0.604, r2013a) [Software]. Verfügbar unter <http://mathworks.com/downloads/>
- McDonald, R. P. (1999). *Test theory: A unified treatment*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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)
- Morris, S. B. & DeShon, R. P. (2002). Combining effect size estimates in meta-analysis with repeated measures and independent-groups designs. *Psychological Methods*, 7 (1), 105–125. doi:[10.1037/1082-989x.7.1.105](https://doi.org/10.1037/1082-989x.7.1.105)
- Murphy, K. R. & Davidshofer, C. O. (2005). *Psychogological testing: Principles and applications* (6. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Nuzzo, R. (2014). Scientific method: Statistical errors. *Nature*, 506, 150–152. doi:[10.1038/506150a](https://doi.org/10.1038/506150a)
- Olejnik, S. & Algina, J. (2003). Generalized eta and omega squared statistics:



- Measures of effect size for some common research designs. *Psychological Methods*, 8 (4), 434–447. doi:[10.1037/1082-989x.8.4.434](https://doi.org/10.1037/1082-989x.8.4.434)
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. & R Core Team. (2016). nlme: Linear and nonlinear mixed effects models (Version 3.1-128) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>
- Psychology Software Tools (2012). E-prime 2 (Version 2.0.10.242) [Software]. Verfügbar unter <https://www.pstnet.com/eprime.cfm>
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing (Version 3.3.0) [Software]. Verfügbar unter <http://www.R-project.org/>
- Rammsayer, T. H. & Brandler, S. (2007). Performance on temporal information processing as an index of general intelligence. *Intelligence*, 35 (2), 123–139. doi:[10.1016/j.intell.2006.04.007](https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.04.007)
- Revelle, W. (2015). psych: Procedures for psychological, psychometric, and personality research (Version 1.5.8) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=psych>
- Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R package for structural equation modeling. *Journal of Statistical Software*, 48 (2), 1–36. doi:[10.18637/jss.v048.i02](https://doi.org/10.18637/jss.v048.i02)
- RStudio Team (2012). Rstudio: Integrated development environment for R (Version 0.99.903) [Software]. Verfügbar unter <http://www.rstudio.com/>
- Ruch, W. (1999). Die revidierte Fassung des Eysenck Personality Questionnaire und die Konstruktion des deutschen EPQ-R bzw. EPQ-RK. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 20 (1), 1–24. doi:[10.1024//0170-1789.20.1.1](https://doi.org/10.1024//0170-1789.20.1.1)
- Satorra, A. & Bentler, P. M. (1994). Corrections to test statistics and standard errors in covariance structure analysis. In A. von Eye & C. C. Clogg (Hrsg.), *Latent variable analysis: Applications to developmental research* (S. 399–419). Thousand Oaks, CA: Sage.
- 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. (2011). Scaling variances of latent variables by stan-

- standardizing loadings: Applications to working memory and the position effect. *Multivariate Behavioral Research*, 46 (6), 938–955. doi:[10.1080/00273171.2011.625312](https://doi.org/10.1080/00273171.2011.625312)
- 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)
- Solymos, P. & Zawadzki, Z. (2016). pbapply: Adding progress bar to '\*apply' functions (Version 1.2-1) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=pbapply>
- Spiess, A.-N. & Neumeyer, N. (2010). An evaluation of  $R^2$  as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach. *BioMed Central Pharmacology*, 10 (6), 1–11. doi:[10.1186/1471-2210-10-6](https://doi.org/10.1186/1471-2210-10-6)
- Stauffer, C. C., Haldemann, J., Troche, S. J. & Rammsayer, T. H. (2011). Auditory and visual temporal sensitivity: Evidence for a hierarchical structure of modality-specific and modality-independent levels of temporal information processing. *Psychological Research*, 76 (1), 20–31. doi:[10.1007/s00426-011-0333-8](https://doi.org/10.1007/s00426-011-0333-8)
- Stauffer, C. C., Troche, S. J., Schweizer, K. & Rammsayer, T. H. (2014). Intelligence is related to specific processes in visual change detection: Fixed-links modeling of hit rate and reaction time. *Intelligence*, 43, 8–20. doi:[10.1016/j.intell.2013.12.003](https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.12.003)
- Steiger, J. H. (1990). Structural model evaluation and modification: An interval estimation approach. *Multivariate Behavioral Research*, 25 (2), 173–180. doi:[10.1207/s15327906mbr2502\\_4](https://doi.org/10.1207/s15327906mbr2502_4)
- Stough, C., Mangan, G., Bates, T., Frank, N., Kerkin, B. & Pellett, O. (1995). Effects of nicotine on perceptual speed. *Psychopharmacology*, 119 (3), 305–310. doi:[10.1007/BF02246296](https://doi.org/10.1007/BF02246296)
- Süss, H.-M., Oberauer, K., Wittman, W. W., Wilhelm, O. & Schulze, R. (2002). Working-memory capacity explains reasoning ability – and a little bit more. *Intelligence*, 30 (3), 261–288. doi:[10.1016/S0160-2896\(01\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(01)00100-3)
- 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)
- Torchiano, M. (2016). effsize: Efficient effect size computation (Version 0.6.2) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=effsize>
- Upper, D. (1974). The unsuccessful self-treatment of a case of “writer’s block”. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 7 (3), 497–497. doi:[10.1901/jaba.1974.7-497a](https://doi.org/10.1901/jaba.1974.7-497a)
- 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)
- Vickers, D., Nettelbeck, T. & Willson, R. J. (1972). Perceptual indices of performance: The measurement of ‘inspection time’ and ‘noise’ in the visual system. *Perception*, 1 (3), 263–295. doi:[10.1068/p010263](https://doi.org/10.1068/p010263)
- Wagner, F. L., Rammsayer, T. H., Schweizer, K. & Troche, S. J. (2014). Relations between the attentional blink and aspects of psychometric intelligence: A fixed-links modeling approach. *Personality and Individual Differences*, 58, 122–127. doi:[10.1016/j.paid.2013.10.023](https://doi.org/10.1016/j.paid.2013.10.023)
- Wang, T., Ren, X. & Schweizer, K. (2015). The modeling of temporary 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)
- Wasserstein, R. L. & Lazar, N. A. (2016). The ASA’s statement on *p*-values: Context, process, and purpose. *The American Statistician*, 70 (2), 129–133. doi:[10.1080/00031305.2016.1154108](https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1154108)
- Watson, A. B. & Pelli, D. G. (1983). Quest: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, 33 (2), 113–120. doi:[10.3758/BF03202828](https://doi.org/10.3758/BF03202828)
- Wechsler, D. (2008). *Wechsler Adult Intelligence Scale-Fourth Edition (WAIS-IV)*. San Antonio, TX: Pearson.
- Wickham, H. (2007). Reshaping data with the reshape package. *Journal of Statistical Software*, 21 (12), 1–20. doi:[10.18637/jss.v021.i12](https://doi.org/10.18637/jss.v021.i12)
- Wickham, H. (2015). readxl: Read excel files (Version 0.1.0) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=readxl>

- Wickham, H. & Francois, R. (2014). dplyr: A grammar of data manipulation (Version 0.3.0.2) [Software]. Verfügbar unter <http://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Wicki, J. (2014). *Struktur- und Reliabilitätsanalyse einer modifizierten Kurzversion des Berliner Intelligenzstruktur-Tests* (Unveröffentlichte Masterarbeit). Institut für Psychologie, Universität Bern, Schweiz.

# A Anhang

Dieser Anhang beschreibt die Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung, welche zum Ausschluss von Vpn geführt hat (vgl. Abschnitt 2.1). Am Ende des Anhangs fasst Tabelle A1 die Datenbereinigung zusammen.

## A.1 Alter

Trotz sorgfältiger Auswahl der Vpn hat sich nachträglich bei der Altersberechnung herausgestellt, dass drei Vpn zum Testzeitpunkt noch nicht 18 Jahre alt waren. Sie wurden vor der Analyse entfernt.

## A.2 Spatial-Suppression-Aufgabe

Zu Beginn der Datenerhebung wurde die Spatial-Suppression-Aufgabe mit einem Kontrast von 74 % dargeboten. Nach Inspektion der ersten Daten wurde in Absprache mit Duje Tadin entschieden, den Kontrast der Aufgabe nach sieben getesteten Vpn auf 99 % zu erhöhen. Mit dieser Erhöhung des Kontrasts wurde sichergestellt, dass die über die vier Mustergrößen hinweg erwartete Verschlechterung der Wahrnehmungsleistung möglichst gross ausfällt ([Tadin, Lappin, Gilroy & Blake, 2003](#)). Den restlichen Vpn wurde die Aufgabe folglich mit einem Kontrast von 99 % dargeboten und die Daten der ersten sieben Vpn der Untersuchung wurden ausgeschlossen.

Der Code, der die Darbietungszeiten generierte, hatte eine fest-codierte obere Darbietungszeitlimite von 1000 ms. Immer wenn der adaptive Algorithmus des QUEST-Verfahrens ([Watson & Pelli, 1983](#)) eine Darbietungszeit von  $> 1000$  ms ermittelte, wurde der Stimulus deshalb der Vp mit einer Darbietungszeit von exakt 1000 ms präsentiert. Die Daten von 12 Vpn wur-

den vor der Analyse entfernt, weil sie bei den sechs Schwellenschätzungen pro Mustergrösse mehr als ein Mal eine Schwellenschätzung von  $> 1000$  ms erzielt haben. Exakt dasselbe Ausschlussverfahren verwendeten [Melnick et al. \(2013\)](#).

Die Daten von zwei Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen, weil sie verglichen mit den restlichen Vpn auf der Stimulusgrösse von  $1.8^\circ$  eine  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung hatten, die über das dreifache der  $SD$  der Gesamtstichprobe betrug. Diese drei Vpn wurden nicht zur Grundpopulation gezählt und vor der Analyse entfernt. **Eventuell ausführlicher beschreiben? Darauf hinweisen, dass diese Kontrolle im log-space stattgefunden hat!!!**

### A.3 BIS-Test

Bei den Subtests Buchstaben-Durchstreichen (BD), Klassifizieren von Wörtern (KW), Old English (OE), Rechen-Zeichen (RZ), Teil-Ganzes (TG), UW und X-Grösser (XG) ist der Rohwert Null im Manual des BIS-Test keinem Punktwert zugeordnet. Vier Vpn erzielten beim Subtest XG einen Rohwert von Null, was den Subtest nicht auswertbar machte. Die Daten dieser vier Vpn wurden vor der Analyse aufgrund dieses nicht auswertbaren Subtests entfernt. Eine Vp wurde von der Analyse ausgeschlossen, weil sie bei den B-Subtests deutlich schlechter abschnitt als der Rest der Stichprobe und damit einen Einfluss auf die berechneten Zusammenhänge gehabt hätte.

Tabelle A1

#### *Übersicht über die Datenbereinigung*

Beschrieb	Korrektur für	absolut			relativ (%)		
		<i>N</i>	<i>D</i>	<i>D</i> kum.	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>D</i> kum.
Getestet	-	206			100		
	Alter	203	-3	-3	89	-2	-2
	BIS-Test	198	-5	-8	87	-2	-4
	Spatial-Suppression-Aufgabe	177	-21	-29	86	-10	-14
Analysiert	-	177			86		

*Anmerkungen.* *N* = Stichprobengrösse, *D* = Differenz, *D* kum. = kumulierte Differenz.

## B Anhang

Dieser Anhang gibt die nicht parametrischen Verfahren wieder (vgl. Abschnitt 3.1).

### B.1 Spatial-Suppression-Aufgabe

Dafür wurde ein Friedman-Test durchgeführt. Der Globaltest hat gezeigt, dass die mittleren Schwellenschätzungen in den vier Bedingungen nicht identisch waren,  $\chi^2(3) = 345.26$ ,  $p < .001$ . Um zu erfahren, welche Bedingungen sich voneinander unterschieden, wurden Post-hoc-Tests ([Galili, 2010](#); [Hollander, Wolfe & Chicken, 2014](#)) gerechnet. Diese haben ergeben, dass sich von den (durch die vier Bedingungen bestimmten) sechs Einzelvergleichen nur die 1.8°- und 3.6°-Bedingung nicht signifikant voneinander unterschieden ( $p = .09$ ). Die restlichen fünf Einzelvergleiche waren mit  $p < .001$  alle statistisch signifikant. Mit Ausnahme des Wahrnehmungsleistungsunterschieds zwischen der 1.8°- und der 3.6°-Bedingung verschlechterte sich die Wahrnehmungsleistung der Vpn also mit zunehmender Mustergrösse signifikant.

### B.2 Hick-Aufgabe

Um zu testen, ob die mittlere Reaktionszeit der Vpn von der Anzahl Antwortalternativen abhing, wurde ein Friedman-Test durchgeführt. Der Globaltest war mit  $\chi^2(3) = 516.12$ ,  $p < .001$ , hochsignifikant und belegte, dass die mittlere Reaktionszeit der Vpn in den vier Bedingungen nicht identisch war. Welche Bedingungen sich voneinander unterschieden, wurde mit Post-hoc-Tests ([Galili, 2010](#); [Hollander et al., 2014](#)) geprüft. Diese haben gezeigt, dass sich alle Bedingungen signifikant voneinander unterschieden (alle  $ps < .001$ ).

Die mittlere Reaktionszeit der Vpn erhöhte sich also über die Bedingungen hinweg signifikant.

### **B.3 BIS-Test**



Tabelle A2  
Spearman's Rangkorrelationen zwischen den Subtests des BIS-Test

Subtest	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 OG		.02	.05	.00	.04	-.05	.01	-.12	-.02	.04	.03	-.01	-.02	.00	.01	-.02	.04	-.03
2 ZN	.25***		.00	.01	.00	.02	.00	.00	.01	.04	.02	-.03	.01	.01	.00	.03	.06	.04
3 AN	.26***	.42***		-.03	.02	-.02	.03	-.12	-.01	.01	.01	-.03	-.01	.05	.00	.01	.05	.02
4 XG	.21**	.55***	.35***		.01	.01	-.04	-.08	.00	.01	.02	-.05	.00	.00	-.03	.01	.01	.03
5 WA	.31***	.41***	.47***	.34***		-.01	.03	-.03	.01	.01	.01	-.02	-.01	.06	.01	.01	.05	.00
6 ZP	.27***	.15 <sup>a</sup>	.15*	.30***	.17*		-.03	-.04	.00	.02	-.01	-.03	-.02	.01	.00	.03	-.02	.02
7 TM	.29***	.26***	.41***	.36***	.48***	.24**		-.07	.00	.02	.02	-.04	-.03	.05	.02	.01	.01	.02
8 BD	.19*	.08	.17*	.19*	.02	.08	.10		-.05	.02	-.05	-.07	-.05	-.05	-.04	-.02	-.12	-.06
9 SC	.16*	.51***	.35***	.48***	.22**	.17*	.32***	.25***		.01	.01	.01	.00	-.03	.02	.01	.01	.01
10 ST	.34***	.15*	.23**	.30***	.31***	.22**	.37***	-.03	.22**		.04	.02	.00	-.05	.03	.02	.04	.03
11 CH	.33***	.49***	.51***	.29***	.50***	.14	.30	.12	.31***	.13		-.01	.01	.01	.00	.02	.07	.02
12 TG	.33***	.36***	.30***	.48***	.45***	.19*	.47***	.18*	.26***	.36***	.23**		-.08	.00	-.05	.02	.00	.00
13 RZ	.32***	.52***	.42***	.55***	.44***	.29***	.45***	.13	.44***	.34***	.37***	.41***		-.03	.01	.01	.02	.01
14 WM	.41***	.10	.24**	.18*	.20**	.26***	.34***	.13	.13	.45***	.16*	.18*	.15*		-.01	.01	-.02	-.03
15 KW	.26***	.24***	.28***	.39***	.39***	.24**	.54***	.19*	.26***	.49***	.21**	.60***	.35***	.34***		.03	.04	-.01
16 ZZ	.31***	.02	.03	.20**	.00	.34***	.09	.11	.04	.28***	.05	.05	.08	.38***	.10		.02	.01
17 OE	.06	-.01	-.01	.07	-.05	.04	.12	.46***	.15*	-.01	-.13	.15*	.13	.03	.13	-.05		.02
18 WE	.42***	.27***	.26***	.19*	.29***	.25***	.06	.04	.14	.21**	.25**	.20**	.33***	.19*	.23**	.18*	-.12	

Anmerkung. Siehe Tabelle 1 für eine Beschreibung der Subtests.

<sup>a</sup>Der exakte Zusammenhang betrug  $r_s = .147$ ,  $p = .051$ . Alle restlichen in der Tabelle mit  $r_s = .15$  bezeichneten Korrelationskoeffizienten wiesen  $p$ -Werte  $< .05$  auf.

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . \*\*\* $p < .001$  (zweiseitig).

## B.4 Zusammenhangsmasse

Bevor ausgewählte Zusammenhänge zwischen den Aufgaben in den folgenden Abschnitten mit den Fragestellungen abgearbeitet werden, ist der Vollständigkeit halber in Tabelle A3 eine umfassende Korrelationsmatrix abgebildet.

Abgesehen von den bereits erwähnten Zusammenhängen innerhalb der Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe respektive der Hick-Aufgabe und den noch zu besprechenden Zusammenhängen ist an dieser Stelle gesondert auf Folgendes hinzuweisen. Der Suppression-Index wies eine negative Korrelation mit der 1.8°-Bedingung auf ( $r_s = -.33$ ,  $p < .001$ ) und korrelierte positiv mit der 7.2°-Bedingung ( $r_s = .53$ ,  $p < .001$ ). Diese Zusammenhänge können als Hinweis dafür gesehen werden, dass der Suppression-Index als Differenz zwischen der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse 7.2° und der  $\log_{10}$ -Schwellenschätzung für die Mustergrösse 1.8° korrekt gebildet wurde. Weiter korrelierte einzig die 0-bit-Bedingung der Hick-Aufgabe signifikant mit der 3.6°- und der 5.4°-Bedingung der Spatial-Suppression-Aufgabe ( $r_s = .19$  respektive  $r_s = .16$ , beide  $ps < .05$ ), während alle restlichen Zusammenhänge zwischen den beiden Aufgaben so gering ausfielen, dass sie die gewählte Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % nicht erreichten. Und als letztes sei noch erwähnt, dass die Bedingungen der Hick-Aufgabe alle erwartungsgemäss signifikant negativ mit dem  $z$ -Wert des BIS-Test korrelierten ( $r_s = -.15$  bis  $-.32$ , alle  $ps < .05$ ; vgl. [Sheppard & Vernon, 2008](#)), während die Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe hingegen alle nicht signifikant mit dem  $z$ -Wert zusammenhingen ( $r_s = .04$  bis  $-.14$ , alle  $ps > .05$ ).

Tabelle A3  
*Spearman's Rangkorrelationen zwischen den Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe, dem Suppression-Index, den Bedingungen der Hick-Aufgabe, dem z-Wert und dem g-Faktor des BIS-Test*

	Mass	Spatial-Suppression-Aufgabe					Hick-Aufgabe				BIS-Test	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.8°											
2	3.6°	.84**										
3	5.4°	.73**	.86**									
4	7.2°	.55**	.76**	.88**								
5	SI	-.33**	.03	.26**	.53**							
6	0-bit	.12	.19**	.16*	.12	.01						
7	1-bit	.03	.06	.03	.00	-.05	.72**					
8	2-bit	.11	.11	.07	.04	-.08	.52**	.71**				
9	2.58-bit	.07	.05	.02	-.01	-.09	.40**	.63**	.81**			
10	z-Wert	-.14	-.12	-.09	-.06	.04	-.15*	-.32**	-.31**	-.31**		
11	g-Faktor	-.18*	-.18*	-.14	-.11	.03	-.15*	-.29**	-.29**	-.28**	.97**	

Anmerkungen. SI = Suppression-Index. z-Wert = Mittelwert aus allen 18 z-standardisierten Subtests.

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . \*\*\* $p < .001$  (zweiseitig).