



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



- |    |                        |    |                                  |
|----|------------------------|----|----------------------------------|
| 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>xii</b>
<b>Vorwort</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Intelligenz . . . . .	1
1.1.1 Einführung . . . . .	1
1.1.2 Struktur der Intelligenz . . . . .	1
1.1.3 Der $g$ -Faktor . . . . .	3
1.2 Erklärungsansätze für Intelligenzunterschiede . . . . .	3
1.2.1 Mental-Speed-Ansatz . . . . .	3
1.2.2 Spatial-Suppression . . . . .	5
1.3 Das Impurity-Problem und Fixed-Links Modelle . . . . .	5
1.4 Fragestellungen . . . . .	6
<b>2 Methode</b>	<b>11</b>
2.1 Stichprobe . . . . .	11
2.2 Die Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	12
2.2.1 Apparatur und Material . . . . .	12
2.2.2 Versuchsablauf . . . . .	12
2.3 Die Hick-Aufgabe . . . . .	16
2.3.1 Apparatur und Material . . . . .	16
2.3.2 Versuchsablauf . . . . .	18

2.4	Erfassung der psychometrischen Intelligenz . . . . .	19
2.5	Weitere Instrumente . . . . .	24
2.5.1	Fragebögen . . . . .	24
2.5.2	Zeitverarbeitungsaufgaben . . . . .	25
2.5.3	Inspection-Time-Aufgabe . . . . .	26
2.6	Untersuchungsablauf . . . . .	26
2.6.1	Sitzung 1 . . . . .	26
2.6.2	Sitzung 2 . . . . .	27
2.7	Statistische Analyse . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>31</b>
3.1	Deskriptiv- und Inferenzstatistik . . . . .	31
3.1.1	Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	31
3.1.2	Hick-Aufgabe . . . . .	34
3.1.3	BIS-Test . . . . .	37
3.1.4	Zusammenhänge zwischen den Aufgaben . . . . .	40
3.2	1. Fragestellung . . . . .	42
3.3	2. Fragestellung . . . . .	44
3.4	3. Fragestellung . . . . .	50
3.5	4. Fragestellung . . . . .	52
3.5.1	Fixed-Links-Messmodell . . . . .	52
3.5.2	Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell . . . . .	56
3.6	5. Fragestellung . . . . .	58
3.6.1	Analyse auf manifester Ebene . . . . .	58
3.6.2	Analyse auf latenter Ebene . . . . .	66
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>75</b>
	<b>Literatur</b>	<b>87</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>89</b>
A.1	Alter . . . . .	89
A.2	Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	89
A.3	BIS-Test . . . . .	90



---

<b>B Anhang</b>	<b>91</b>
B.1 Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	91
B.2 Hick-Aufgabe . . . . .	91
B.3 BIS-Test . . . . .	92
B.4 Zusammenhangsmasse . . . . .	92



# Abbildungen

1	Die Spatial-Suppression-Bedingungen . . . . .	13
2	Die Hick-Bedingungen . . . . .	17
3	Das Berliner Intelligenzstrukturmodell . . . . .	20
4	Streudiagramme der 82 %-Erkennungsschwellen in der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	32
5	Dichtefunktion des Suppression-Index . . . . .	34
6	Streudiagramme der Reaktionszeiten in der Hick-Aufgabe . . . . .	35
7	Dichtefunktion des $z$ -Werts aus dem Berliner Intelligenzstruktur-Test (BIS-Test) . . . . .	38
8	Zusammenhang zwischen dem Suppression-Index und $z$ -Wert des BIS-Tests . . . . .	43
9	Exponentielles Modell zur Vorhersage der 82 %-Erkennungsschwelle durch die Mustergrösse der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	45
10	Dichtefunktion des aus der Spatial-Suppression-Aufgabe mit einer exponentiellen Regression abgeleiteten Root Mean Square Error ( $RMSE$ ) . . . . .	46
11	Einfluss des $RMSE$ -Grenzwerts der Spatial-Suppression-Aufgabe auf den Zusammenhang zwischen der Asymptote, der Steigung und dem Suppression-Index . . . . .	47
12	Einfluss des $RMSE$ -Grenzwerts der Spatial-Suppression-Aufgabe auf den Zusammenhang zwischen der Asymptote, der Steigung und dem $z$ -Wert des BIS-Tests . . . . .	49
13	Modell 1: Kongenerisches Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	51

14	Modell 2: Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage des $g$ -Faktors durch die Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	51
15	Modell 8: Fixed-Links-Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	56
16	Modell 9: Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage des $g$ -Faktors durch die Spatial-Suppression-Aufgabe . .	57
17	Lineares Modell zur Vorhersage der Reaktionszeit durch das Bit der Hick-Aufgabe . . . . .	61
18	Dichtefunktion des aus der Hick-Aufgabe mit einer linearen Regression abgeleiteten $RMSE$ . . . . .	62
19	Einfluss des $RMSE$ -Grenzwerts der Hick-Aufgabe auf den Zusammenhang zwischen dem $y$ -Achsenabschnitt, der Steigung und dem $z$ -Wert des BIS-Tests . . . . .	63
20	Modell 14: Kongenerisches Messmodell der Hick-Aufgabe . . .	67
21	Modell 15: Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage des $g$ -Faktors durch die Spatial-Suppression- und die Hick-Aufgabe	68
22	Modell 22: Fixed-Links-Messmodell der Hick-Aufgabe . . . . .	71
23	Modell 23: Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell zur Vorhersage des $g$ -Faktors durch die Spatial-Suppression- und die Hick-Aufgabe . . . . .	73

# Tabellen

1	Die verwendeten Subtests des BIS-Tests . . . . .	23
2	Deskriptive Angaben zu den 82 %-Erkennungsschwellen in der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	31
3	Effektstärken für die Mittelwertsunterschiede in der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	33
4	Deskriptive Angaben zu den Reaktionszeiten in der Hick-Aufgabe . . . . .	36
5	Effektstärken für die Mittelwertsunterschiede in der Hick-Aufgabe . . . . .	37
6	Deskriptive Angaben zur Anzahl richtig gelöster Items der Subtests im BIS-Test . . . . .	38
7	Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den Subtests des BIS-Tests . . . . .	39
8	Produkt-Moment-Korrelationen zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe, dem Suppression-Index, der Hick-Aufgabe, dem $z$ -Wert und dem $g$ -Faktor des BIS-Tests . . . . .	41
9	Deskriptive Angaben zur exponentiellen Regression für die Vorhersage der 82 %-Erkennungsschwellen durch die Mustergrößen der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	44
10	Modell-Fits der Fixed-Links-Messmodelle der Spatial-Suppression-Aufgabe . . . . .	54
11	Multiple Regression zur Vorhersage des $z$ -Werts des BIS-Tests durch die Bedingungen der Spatial-Suppression- und der Hick-Aufgabe . . . . .	59

---

12	Deskriptive Angaben zur linearen Regression für die Vorhersage der Reaktionszeiten durch die Bits der Hick-Aufgabe . .	62
13	Produkt-Moment-Korrelationen zwischen dem $z$ -Wert des BIS-Tests und den Aufgabenparameter der Spatial-Suppression- und der Hick-Aufgabe . . . . .	64
14	Multiple Regression zur Vorhersage des $z$ -Werts des BIS-Tests durch die Aufgabenparameter der Spatial-Suppression- und der Hick-Aufgabe . . . . .	65
15	Modell-Fits der Fixed-Links-Messmodelle der Hick-Aufgabe .	69
A1	Übersicht über die Datenbereinigung . . . . .	90
A2	Spearman's Rangkorrelationen zwischen den Subtests des BIS-Tests . . . . .	93
A3	Spearman's Rangkorrelationen zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe, dem Suppression-Index, der Hick-Aufgabe, dem $z$ -Wert und dem $g$ -Faktor des BIS-Tests . . . . .	94

# 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) (Pahud, 2016)

Alle Berechnungen sind nachvollziehbar auf Diese Arbeit ist verfügbar unter <http://www.github.com/pipomas>.

Philipp Thomas

13. September 2016





# 1 Einleitung

## 1.1 Intelligenz

### 1.1.1 Einführung

Intelligenz ist eines der ältesten Konstrukte in der Forschungsgeschichte der Psychologie und beeinflusst den Menschen in den unterschiedlichsten Lebensbereichen. Intelligenter Personen sind im Vergleich zu weniger intelligenten Personen zum Beispiel politisch liberaler eingestellt ([Kanazawa, 2010](#)), weniger religiös ([Zuckerman, Silberman & Hall, 2013](#)), sie leben gesünder und länger ([Gottfredson & Deary, 2004](#)), sind beruflich erfolgreicher ([Salgado et al., 2003](#)) oder verhalten sich weniger aggressiv ([Ackerman & Heggstad, 1997](#)). Was aber genau ist unter Intelligenz zu verstehen? Während sich die Wissenschaftsgemeinde über die Bedeutung der Intelligenz für das Erleben und Verhalten des Menschen im klaren ist, besteht bezüglich der Definition des Konstrukts weniger Einigkeit ([Neisser et al., 1996](#)). Trotz dem heterogenen Verständnis darüber, was Intelligenz ausmacht, lässt sich innerhalb der verschiedenen Ansichten einen gemeinsamen Nenner finden: Kognitive Fähigkeiten wie abstraktes Denken, Problemlösen und Entscheidungsfindung sind wiederkehrende Bestandteile in vielen Definitionen und können als Kernmerkmale von Intelligenz aufgefasst werden ([Sternberg & Berg, 1986](#)).

### 1.1.2 Struktur der Intelligenz

Intelligenz ist kein direkt beobachtbares Merkmal. Sie ist vielmehr ein theoretisches Konstrukt, das mit Hilfe von psychometrischer Tests erfasst werden muss. Psychometrische Intelligenztests gehören zu den am weitesten entwickelten Instrumente zur Erfassung interindividueller Fähigkeitsunterschiede

und kamen vor allem im 20. Jahrhundert mit Entwicklung der Faktorenanalyse ([Spearman, 1904](#)) auf. Diese neu entwickelte Methode ermöglichte es, die strukturellen Bestandteile menschlicher kognitiver Fähigkeiten zu identifizieren und daraus Theorien zu bilden.

Die Zwei-Faktorentheorie von [Spearman \(1904, 1927\)](#) führte die Idee einer allgemeinen Intelligenz ( $g$ ) ein. [Spearman](#) machte die Beobachtung, dass Leistungen zwischen unterschiedlichen (zum Beispiel räumlichen, sprachlichen oder mathematischen) Tests substanziell miteinander zusammenhängen. Mit Hilfe der Faktorenanalyse konnte er zeigen, dass ein Faktor (der  $g$ -Faktor) die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Tests erklären konnte. [Spearman](#) schloss daraus auf eine allgemeine Intelligenz, welche für jegliche Art von kognitiver Leistung verantwortlich sein muss. Der zweite Faktor seiner Theorie besteht aus dem aufgabenspezifischen Teil einer Aufgabe, welche unabhängig vom  $g$ -Faktor ist und ausschliesslich für die Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe erforderlich ist. Für [Spearman](#) setzt sich die Leistung in einer Gedächtnisaufgabe also aus der aufgabenspezifischen Fähigkeit zusammen, Informationen im Gedächtnis zu erhalten respektive wiederzugeben und aus der allgemeinen, aufgabenunspezifischen Fähigkeit ( $g$ ) kognitive Leistung zu erbringen.

Die Primärfaktorentheorie von [Thurstone \(1938\)](#) stellte die Zwei-Faktorentheorie von [Spearman \(1904, 1927\)](#) in Frage. Er wies darauf hin, dass [Spearman](#) nur gezeigt hatte, dass kognitive Leistungen in verschiedenen Bereichen positiv miteinander korrelierten. Die Annahme, dass der  $g$ -Faktor für alle Leistungen in allen Bereichen verantwortlich sei, schien [Thurstone](#) nicht plausibel. Er postulierte deshalb eine Theorie mit sieben Primärfaktoren und sah den  $g$ -Faktor von [Spearman](#) vielmehr als ein Artefakt seiner Primärfaktoren.

Nach diesen ersten beiden einflussreichen Strukturmodellen folgten noch viele mehr, die alle mehr oder weniger gemeinsam hatten (siehe [Cattell, 1971](#); [Guilford, 1950](#); [Jäger, 1984](#); [P. E. Vernon, 1950](#)). Diese Vielfalt an Strukturmodellen veranlasste [Carroll \(1993\)](#) dazu eine umfassende, empirisch begründete Taxonomie der menschlichen kognitiven Fähigkeiten zu entwickeln. Er reanalysierte dafür nahezu alle Datensätze, die für die Entwicklung früherer Strukturmodelle verwendet wurden und versuchte ein Modell zu finden,

das den Daten am besten entsprach. Seine Ergebnisse formulierte [Carroll](#) in der Three-Stratum-Theorie (TS-Theorie). Das hierarchische Strukturmodell postulierte auf dritter Ebene einen allgemeinen Intelligenzfaktor ( $g$ ), der alle kognitiven Fähigkeiten beeinflusst. Auf zweiter Hierarchieebene identifizierte [Carroll](#) acht generelle Fähigkeiten (*broad abilities*): Fluide Intelligenz, kristalline Intelligenz, allgemeines Gedächtnis und Lernen, visuelle Wahrnehmung, auditive Wahrnehmung, Wiedergabefähigkeit, kognitive Schnelligkeit und Verarbeitungsgeschwindigkeit. Diese acht generellen Fähigkeiten der zweiten Ebene wurden faktorenanalytisch aus 68 spezifischen Fähigkeitskonstrukten (*narrow abilities*) der ersten Ebene abgeleitet.

### 1.1.3 Der $g$ -Faktor

Die Untersuchungen von [Carroll \(1993\)](#) und deren Erweiterungen im Rahmen des Cattell-Horn-Carroll-Modells (siehe [McGrew, 2005, 2009](#)) haben gezeigt, dass das Gemeinsame aus vielen unterschiedlichen Tests zur Erfassung kognitiver Fähigkeiten ( $g$ ) eine wichtige Erkenntnis aus über 100 Jahren Intelligenzforschung darstellt. Viele Intelligenztests versuchen deshalb den  $g$ -Faktor zu erfassen und damit Aussagen über die allgemeine Intelligenz einer Person zu machen. Untersuchungen haben gezeigt, dass der  $g$ -Faktor dafür gut eignet. Er ist invariant gegenüber der faktorenanalytischen Methode ([Jensen & Weng, 1994](#)) und der eingesetzten Testbatterie ([Johnson, Bouchard, Krueger, McGue & Gottesman, 2004](#); [Johnson, te Nijenhuis & Bouchard, 2008](#)).

Jensen (1998) emphasized that a composite score will have relatively more psychometric  $g$  and less specific variance if it is based on a large number of distinct mental tests.

## 1.2 Erklärungsansätze für Intelligenzunterschiede

### 1.2.1 Mental-Speed-Ansatz

Untersuchungen der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass Verarbeitungsgeschwindigkeit und psychometrische Intelligenz zusammenhängen (für Übersichtsarbeiten siehe [Deary, 2000](#); [Jensen, 2006](#); [Sheppard & Vernon, 2008](#)).

Verarbeitungsgeschwindigkeit wird dabei mit einer elementaren kognitiven Aufgabe (EKA) erfasst. Eine EKA ist eine sehr einfache Aufgabe, die so wenig mentale Anstrengung benötigt, dass sie von jeder gesunden Person gelöst werden kann. Unterschiede zwischen Personen können dann nur durch die Geschwindigkeit verursacht werden, mit welcher die Personen die Aufgabe verarbeiten und auf Stimuli reagieren (Carroll, 1993, S. 11).

Die Hick-Aufgabe (Hick, 1952) ist eine der ältesten und meist eingesetzten EKA. Die Hick-Aufgabe erfasst einfache Reaktionszeit und die Reaktionszeit für eine Mehrfachauswahl. Die Reaktionszeit in der Hick-Aufgabe kann gemäss Jensen (1987, S. 105) mit der linearen Funktion *Reaktionszeit* =  $a + b \log_2 n$  beschrieben werden, wobei  $a$  durch den y-Achsenabschnitt,  $b$  durch die Steigung der Regressionsgeraden und  $\log_2 n$  durch den Logarithmus zur Basis 2 der Anzahl Antwortalternativen ( $n$ ) bestimmt ist. 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>1</sup> (siehe auch Jensen, 2006, S. 27). Der y-Achsenabschnitt ( $a$ ) widerspiegelt dann Prozesse wie die Wahrnehmungsgeschwindigkeit oder die benötigte Zeit, um eine motorische Antwort abzugeben. In der Steigung ( $b$ ) wird die Geschwindigkeit der kognitiven Prozesse abgebildet die benötigt wird, um eine Antwort auszuwählen.

Die Reaktionszeiten der Hick-Aufgabe und die daraus abgeleiteten Aufgabenparameter (y-Achsenabschnitt und Steigung) korrelieren negativ mit psychometrischer Intelligenz (Helmbold & Rammsayer, 2006; Jensen, 1982a, 1982b, 1987; A. C. Neubauer, 1991; A. C. Neubauer, Bauer & Höller, 1992; A. C. Neubauer & Knorr, 1997; Rammsayer & Brandler, 2007; Rammsayer & Troche, 2010).

Der Mental-Speed-Ansatz (Jensen, 1982a, 1982b; P. A. Vernon, 1983) erklärt diese Zusammenhänge damit, dass die Geschwindigkeit der benötig-

---

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

ten Prozesse mit der Qualität und der Effizienz der benötigten Prozesse zusammenhängt. Intelligentere Personen haben eine schnellere und effizientere mentale Operationen, was sich in kürzeren Reaktionszeiten niederschlägt.

Erklärungsversuche für den Zusammenhang gibt es: Neuronale Effizienz (Bates, 1995; Sternberg & Kaufman, 1998)

Bei diesem Ansatz wird davon ausgegangen, dass neuronale Übertragung zuverlässiger ist (Hendrickson & Hendrickson, 1980)

Die Neuronen besser myelinisiert sind (Miller, 1994)

oder Plastizität (Garlick, 2002)

oder spezifische Aktivierung (A. Neubauer, Freudenthaler & Pfurtscheller, 1995)

warum mental speed am stärksten mit g? warum hat es als Maß für mental speed?

### 1.2.2 Spatial-Suppression

Das Phänomen der Spatial-Suppression wurde von Tadin, Lappin, Gilroy und Blake (2003)

## 1.3 Das Impurity-Problem und Fixed-Links Modelle

Messungen von kognitiven Prozessen sind in der Regel keine reinen Masse. In vielen experimentellen Aufgaben werden verschiedene zum Teil aufeinanderfolgende kognitive Prozesse benötigt, um zu einer Lösung zu gelangen. Einer Aufgabe muss Aufmerksamkeit zugewendet werden, Informationen müssen enkodiert und verarbeitet werden und zum Schluss muss eine motorische Antwort erfolgen. Die motorische Antwort endet meistens in der Erfassung der abhängigen Variable, die dann als Indikator für den kognitiven Prozess verwendet wird. Der eigentlich interessierende kognitive Prozess fließt also

nur zu einem gewissen Grad in die abhängige Variable mit ein und wird von anderen Prozessen der Informationsverarbeitung überlagert, was zu ungültigen Schlussfolgerungen führen kann. Mit Hilfe einer Variante der CFA, dem Fixed-Links Modell (Schweizer, 2006a?, 2006b?), kann dem Impurity-Problem entgegen getreten werden. Die Idee von Fixed-Links-Modellen besteht darin, die Varianz eines (vermeintlich) eindimensionalen Konstrukts in verschiedene Varianzquellen bzw. Prozesse aufzutrennen. Mit dieser Trennung der Varianz des Konstrukts wird die Überlagerung von verschiedenen Prozessen auf statistischer Ebene rückgängig gemacht, so dass nach dieser Trennung der Varianz die Zusammenhänge der Variablen mit Drittvariablen bereinigt sind. Voraussetzung für eine solche Trennung der Varianz mit Fixed-Links Modellen ist die experimentelle Manipulation von Aufgaben. Die Idee der experimentellen Manipulation besteht darin, alle Prozesse bis auf den eigentlich interessierenden Prozess über alle Bedingungen hinweg konstant zu halten. Anschliessend kann mit der Fixed-Links-Technik die Varianz des Konstrukts in unabhängige Varianzquellen aufgetrennt werden. Dabei lässt sich die Varianzquelle der experimentellen Manipulation, die den eigentlich interessierenden kognitiven Prozess abbildet, von der Varianzquelle aller anderen Prozesse, die nicht durch die experimentelle Manipulation verursacht werden, trennen.

Um das Impurity-Problem und die Fixed-Links-Technik verständlicher zu machen, wird als nächstes ein Beispiel gegeben. Als Grundlage für dieses Beispiel dient die Arbeit von Troche und Rammsayer (2009)

## 1.4 Fragestellungen

Der Spatial-Suppression-Ansatz zur Erklärung individueller Intelligenzunterschiede ist neu und unterscheidet sich von der Art der Aufgabenstellung her deutlich von reaktionszeitbasierten Mental-Speed-Massen. Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht darin, zu überprüfen, ob sich die Spatial-Suppression-Aufgabe als Prädiktor psychometrischer Intelligenz bewährt und inwiefern der Spatial-Suppression-Ansatz zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede neuartige Erklärungsmöglichkeiten liefert, welche nicht bereits der Mental-Speed-Ansatz bietet. Dieses Ziel 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 Zusammenhang gebracht wurde, weniger als Schwachpunkt, sondern vielmehr als eine Notwendigkeit.
2. Der Suppression-Index, die in der Arbeit von [Melnick et al. \(2013\)](#) ab-

hängige 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 psychometrischer 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 hin-

zugezogen. 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 Methode

### 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.– entlöhnt.

## 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 (räumliche Frequenz von  $1^\circ$  Sehwinkel pro Periode) 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 Seh winkeln  $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$  und  $7.2^\circ$  wurden um die Mustergrösse von  $5.4^\circ$  ergänzt, wodurch sich für diese Arbeit die Mustergrößen mit den Seh winkeln  $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$ ,  $5.4^\circ$  und  $7.2^\circ$  ergaben (siehe Abbildung 1). Die Seh winkel 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

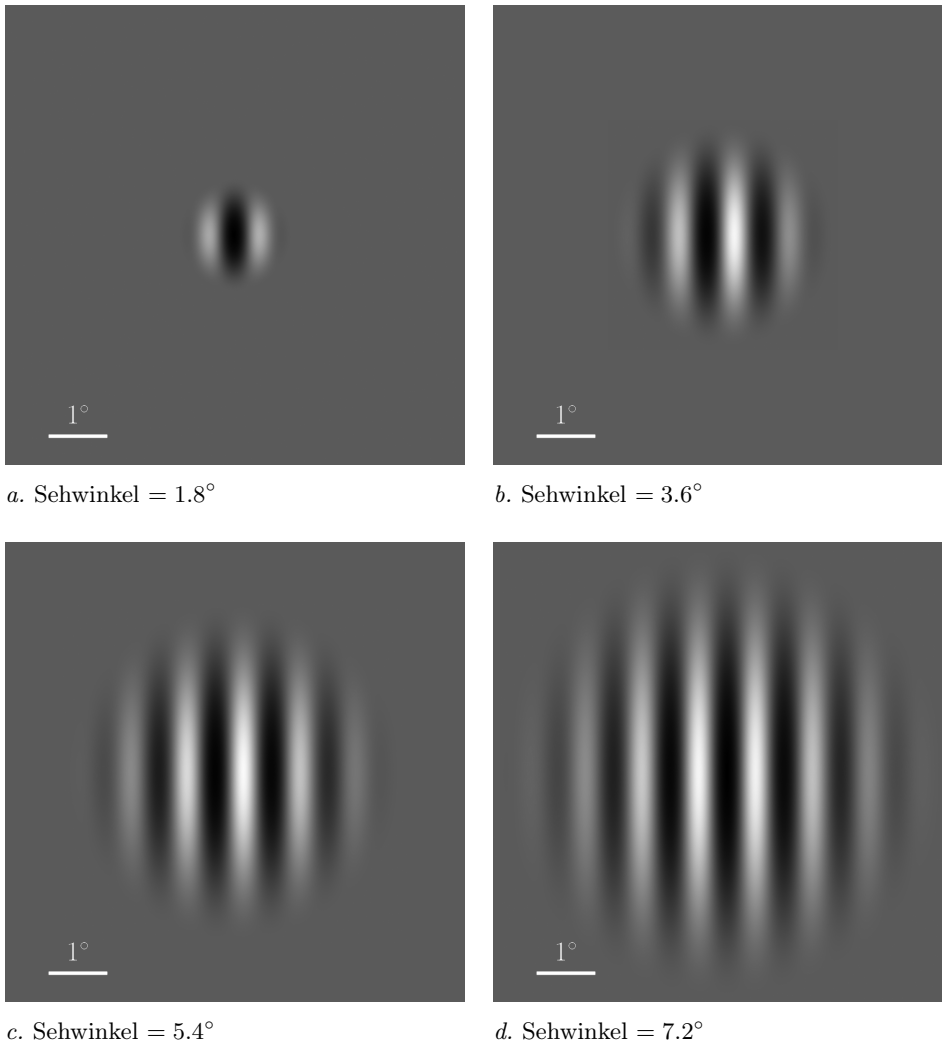


Abbildung 1. Die vier Mustergrößen (a–d) der Spatial-Suppression-Aufgabe.

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 und bei einer wahrgenommenen Bewegung nach Rechts mit ihrem rechten Zeigefinger die rechte Pfeiltaste 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. Das QUEST-Verfahren ist adaptiv und arbeitet mit logarithmierten Werten, das heisst alle Berechnungen des Verfahrens finden im logarithmierten Raum statt. Der Algorithmus schätzt dabei mit Hilfe von Grundprinzipien der Bayes-Statistik nach jeder Antwort eine  $\log_{10}$ -Erkennungsschwelle für einen im Voraus bestimmten Prozentsatz an korrekten Antworten (in der hier vorliegenden Aufgabe betrug der Prozentsatz 82 %). Die geschätzte  $\log_{10}$ -Erkennungsschwelle wird dann vom Algorithmus 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 Schätzungen der 82 %- $\log_{10}$ -Erkennungsschwelle pro Mustergröße. Jede der vier Mustergrößen wurde innerhalb einer Schätzung sieben Mal präsentiert. Gesamthaft bearbeiteten die Vpn folglich  $3 \times 2 \times 4 \times 7 = 168$  Durchgänge. Die Mustergrößen wurden allen Vpn in einer pseudorandomisierten Abfolge präsentiert. Die Darbie-

tungszeit 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 zuzulassen und die Leistung der Vpn auf ihrem individuellem Niveau zu festigen.

Als Drittes wurde den Vpn die eigentliche Aufgabe vorgelegt. Die Vpn bearbeiteten drei Wiederholungen, die durch eine Pause von etwa einer Minute getrennt waren. Eine Wiederholung bestand aus zwei Schätzungen der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle pro Mustergröße. Jede der vier Mustergrößen wurde innerhalb einer Schätzung 22 Mal präsentiert. Gesamthaft bearbeiteten die Vpn somit  $3 \times 2 \times 4 \times 22 = 528$  Durchgänge. Daraus resultierten für jede Vp 24 Schätzungen der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle (sechs pro Mustergröße). 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. Die Aufgabe dauerte etwa 25 Minuten.

Für jede Vp wurden die sechs pro Mustergröße erhaltenen 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwellen in eine Rangreihenfolge gebracht, die tiefste und höchste Schätzung entfernt und die restlichen vier 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwellen gemittelt. Damit resultierte für jede Vp pro Mustergröße (1.8°, 3.6°, 5.4° und 7.2°) eine 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle für horizontale Bewegung. Alle Berechnungen wurden mit diesen 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwellen getätigt. Ausnahme bildete die exponentielle Regression (siehe Abschnitt 3.3), bei welcher die vier 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwellen auf Anraten von D. Tadin (persönl. Mitteilung, 11.02.2016) als Exponenten zur Basis 10 verrechnet und in dieser invertierten Form analysiert wurden. Um die Interpretation der logarithmierten Werte zu erleichtern, wurden die Werte für die Ergebnisdarstellung (in Tabellen und Abbildungen) invertiert. Der Suppression-Index wurde gemäss der Vorgehensweise von [Melnick et al. \(2013\)](#) als Differenz zwischen der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle für die Mustergröße 7.2° und der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle für die Mustergröße 1.8° gebildet.

## 2.3 Die Hick-Aufgabe

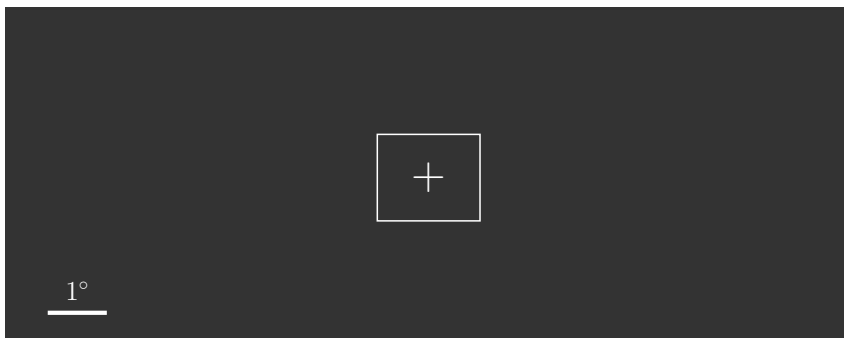
Angelehnt an die Versuchsanordnung von [Rammsayer und Brandler \(2007\)](#) wurde als Mass für Mental-Speed eine Hick-Aufgabe eingesetzt.

### 2.3.1 Apparatur und Material

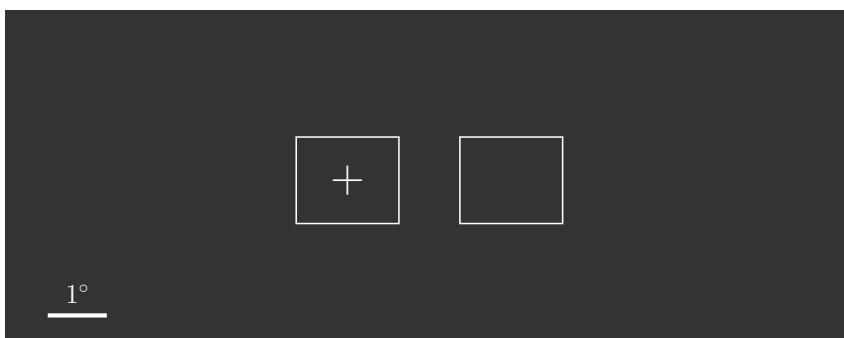
Präsentiert wurde die Aufgabe auf dem in Unterabschnitt 2.2.1 beschriebenen Computer, mit dem einzigen Unterschied, dass die Auflösung des Monitors für die Hick-Aufgabe  $1280 \times 1024$  Pixel betrug. Die Antworten der Vpn wurden mit einer Cedrus RB-830 Tastatur erfasst.

Die Stimuli wurden mit E-Prime<sup>®</sup> ([Psychology Software Tools, 2012](#)) generiert. 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 Abbildung 2): 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.

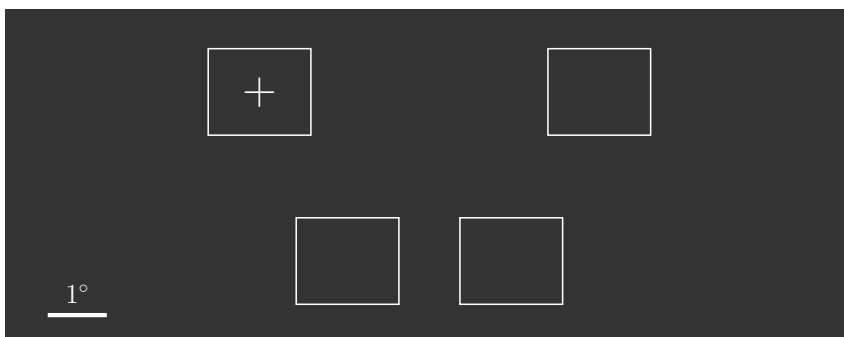




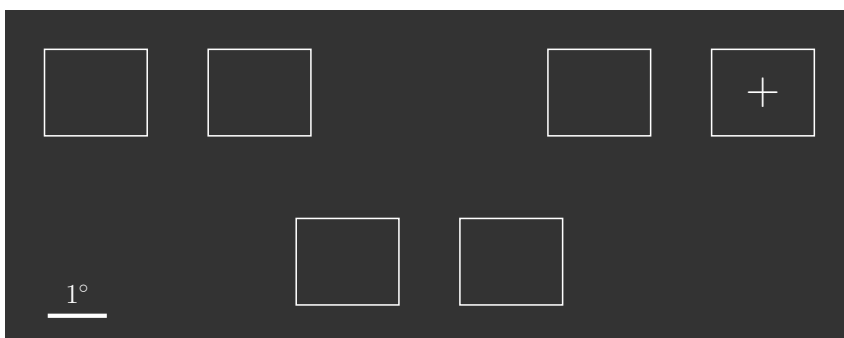
a. 0-Bit-Bedingung



b. 1-Bit-Bedingung



c. 2-Bit-Bedingung



d. 2.58-Bit-Bedingung

*Abbildung 2.* Die vier Bedingungen (a – d) der Hick-Aufgabe.

### 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 3).

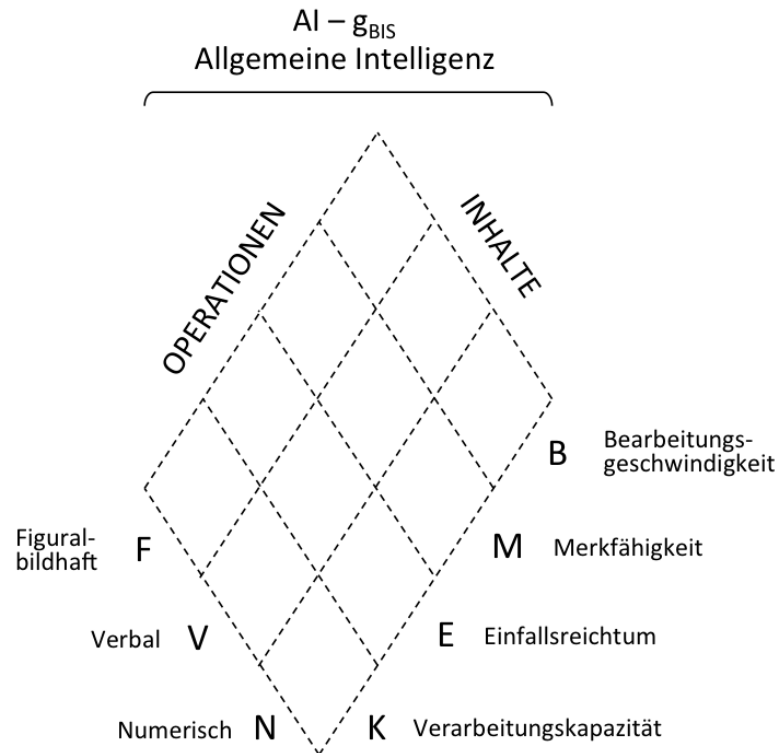


Abbildung 3. Das Berliner Intelligenzstrukturmodell von Jäger (1984).

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-Tests*

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 aufgebaute 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 27 13 18 21 ...)
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 ausschliessend 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. sysxkdhiyx...)
10	Schätzen	SC	✓				✓		Rechenaufgaben der Form $118492 - 3684 - 2106 - 4768 = ?$ 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>2</sup> die Vpn über den Zweck der Untersuchung auf, informierte sie über den Ablauf der bevorstehenden Sitzung und nahm die

---

<sup>2</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, schallgedämpften 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 entlöhnt. 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), dplyr (Wickham & Francois, 2014), effsize (Torchiano, 2016), ez (Lawrence, 2015), ggplot2 (Wickham, 2016), lavaan (Rosseel, 2012), lm.beta (Behrendt, 2014), lmSupport (Curtin, 2016), MASS (Venables & Ripley, 2015), Metrics (Hamner, 2012), multcomp (Hothorn, Bretz & Westfall, 2008), nlme (Pinheiro, Bates, DebRoy, Sarkar & R Core Team, 2016), nlstools (Baty et al., 2015), pacman (Rinker & Kurkiewicz, 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 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)

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.

Bei der Bewertung der berichteten konfirmatorischen Faktorenanalysen wurde das Ergebnis des Modelltests (im Vergleich zu den weiter unten beschriebenen Kennwerten) am stärksten gewichtet. Diese Art der Modellbeurteilung entspricht der Vorstellung von Jöreskog (1985, zitiert nach [McIntosh, 2012](#), S. 1620), der sich dafür aussprach alle andere Kennwerte weniger zu gewichten (siehe auch [Hayduk, Cummings, Boadu, Pazderka-Robinson & Boulianne, 2007](#)).

### 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  $\text{RMSEA} \leq .08$  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

Mittelwerte, Verteilungsangaben und die Reliabilitäten der Bedingungen sind in Tabelle 2 abgetragen. Die Splithalf-Reliabilitäten der vier Bedingungen fielen mit  $r_{tt} = .96$  sehr hoch aus und bestätigten die von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Reliabilitäten. Die Streudiagramme der 82 %-Erkennungsschwellen sind in Abbildung 4 zu sehen.

Als erstes wurde geprüft, ob die experimentelle Manipulation (die Mustergrösse) einen Einfluss auf die abhängige Variable (die 82 %-Erkennungsschwelle) ausübte. Dafür wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Mess-

Tabelle 2

*Deskriptive Angaben zu den 82 %-Erkennungsschwellen der Spatial-Suppression-Aufgabe in Millisekunden (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) sowie Kennwerte zur Verteilungsform und der Reliabilität der Daten*

Bedingung	$M$	$SD$	Min	Max	Schiefe	Kurtosis	S-W $p$ -Wert	$r_{tt}$
1.8°	82	28	31	216	-0.25	0.19	.39	.96
3.6°	89	31	37	282	0.02	0.80	.03	.96
5.4°	109	40	45	422	0.73	1.78	<.001	.96
7.2°	136	60	61	705	1.14	1.86	<.001	.96

*Anmerkungen.* Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test;  $r_{tt}$  = nach der Odd-Even-Methode berechnete, mit der Spearman-Brown-Formel (Spearman 1910; Brown 1910; zitiert nach [Schermelleh-Engel & Werner, 2007](#), S. 123) korrigierte Splithalf-Reliabilität.



Abbildung 4. Streudiagramme der 82 %-Erkennungsschwellen für horizontale Bewegung in der Spatial-Suppression-Aufgabe. Die horizontale Linie kennzeichnet jeweils den Mittelwert innerhalb einer Bedingung (siehe Tabelle 2). Siehe Anhang A für eine Beschreibung der Ausreisserkontrolle. Vp = Versuchsperson.



wiederholung<sup>3</sup> gerechnet. Weil Sphärizität gemäss einem Mauchly-Test nicht gegeben war,  $\chi^2(5) = 202.12$ ,  $p < .001$ , wurden die Freiheitsgrade des  $F$ -Tests mit der Greenhouse-Geisser-Methode korrigiert ( $\hat{\varepsilon} = .55$ ). Der  $F$ -Test hat ergeben, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungsmitteiwerten signifikant von 0 abwichen,  $F(1.65, 290.40) = 275.26$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_G^2 = .27$ . Der Effekt der Mustergrösse auf die 82 %-Erkennungsschwelle konnte dabei gemäss generalisiertem  $\eta_G^2$  (Olejnik & Algina, 2003) als gross bezeichnet werden (Bakeman, 2005, S. 383). 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 82 %-Erkennungsschwellen der Vpn verschlechterte sich also mit zunehmender Mustergrösse signifikant. Die Effektstärken für die Mittelwertsunterschiede wurden mit Cohens  $d$  für abhängige Stichproben (Gibbons, Hedeker & Davis, 1993) 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 ( $p < .001$ ).

<sup>3</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.

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 5) 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 ( $p < .001$ ).

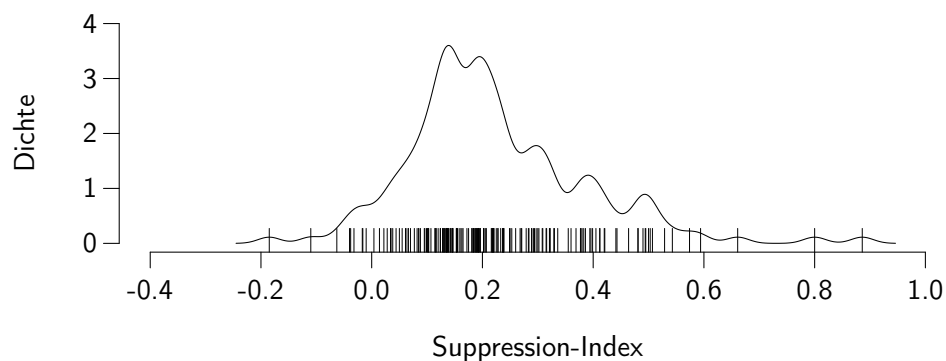


Abbildung 5. Dichtefunktion des Suppression-Index. Der Suppression-Index wurde als Differenz zwischen der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle für die Mustergrösse 7.2° und der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle für die Mustergrösse 1.8° gebildet. Alle Datenpunkte sind auf der x-Achse mit vertikalen Strichen markiert.

### 3.1.2 Hick-Aufgabe

In Abbildung 6 sind die mittleren Reaktionszeiten aller Vpn als Streudiagramme abgebildet. Mittelwerte, Verteilungsangaben und die Reliabilitäten der Bedingungen lassen sich in Tabelle 4 finden.

Wie bei der Spatial-Suppression-Aufgabe wurde bei der Hick-Aufgabe als erstes geprüft, ob die experimentelle Manipulation (die Anzahl an Antwortalternativen) einen Einfluss auf die abhängige Variable (die Reaktionszeit) ausübte. Dafür wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung gerechnet. Weil Sphärizität gemäss einem Mauchly-Test nicht gegeben war,  $\chi^2(5) = 219.06$ ,  $p < .001$ , wurden die Freiheitsgrade des  $F$ -Tests

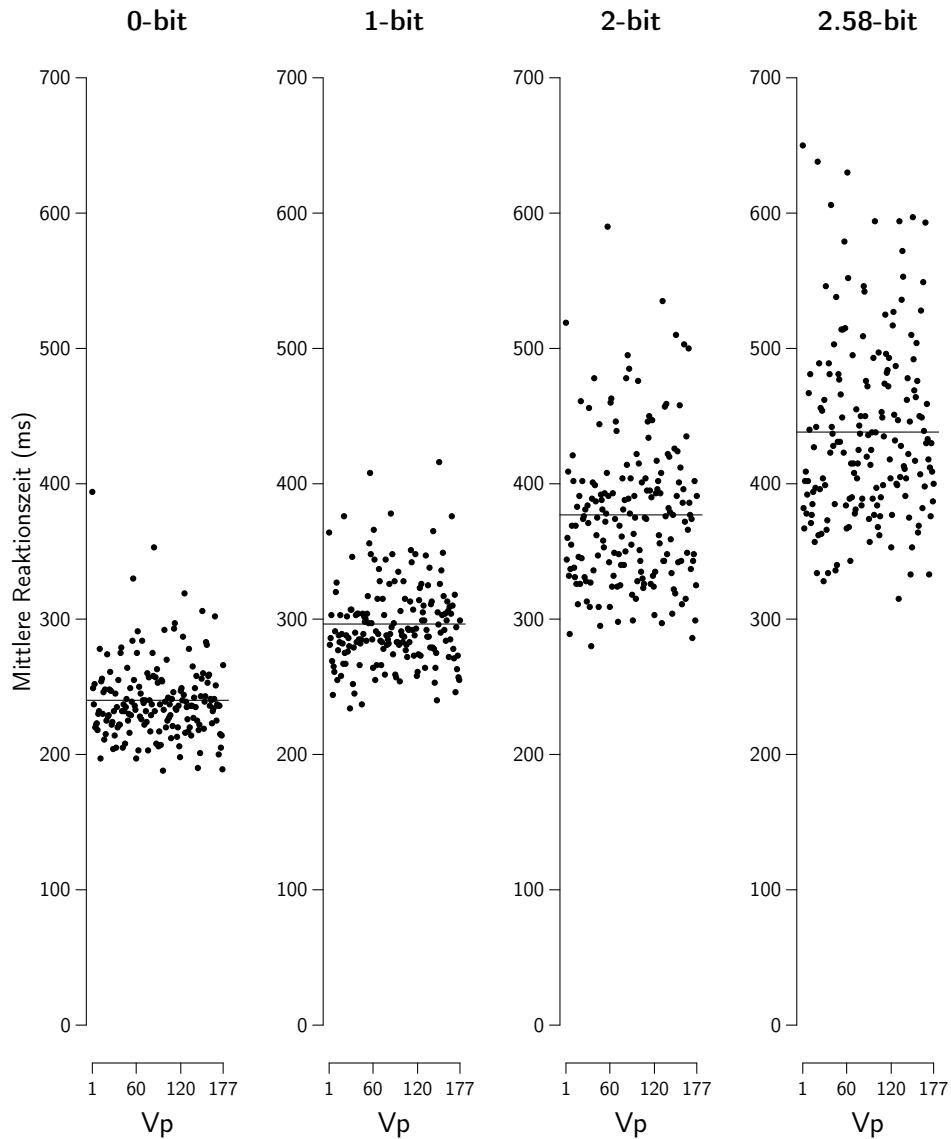


Abbildung 6. Streudiagramme der mittleren Reaktionszeiten in der Hick-Aufgabe. Die horizontale Linie kennzeichnet jeweils den Mittelwert innerhalb einer Bedingung (siehe Tabelle 4). Siehe Unterabschnitt 2.3.2 für eine Beschreibung der Datenaufbereitung. Vp = Versuchsperson.

Tabelle 4

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

Bedingung	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Schiefe	Kurtosis	S-W <i>p</i> -Wert	<i>r<sub>tt</sub></i>
0-bit	240	29	188	394	1.58	4.99	<.001	.90
1-bit	296	32	234	416	0.94	1.33	<.001	.93
2-bit	377	54	280	590	0.88	1.01	<.001	.94
2.58-bit	438	67	315	650	0.82	0.41	<.001	.93

*Anmerkungen.* Min = Minimum; Max = Maximum; S-W = Shapiro-Wilk-Test; *r<sub>tt</sub>* = nach der Odd-Even-Methode berechnete, mit der Spearman-Brown-Formel (Spearman 1910; Brown 1910; zitiert nach Schermelleh-Engel & Werner, 2007, S. 123) korrigierte Splithalf-Reliabilität.

mit der Greenhouse-Geisser-Methode korrigiert ( $\hat{\varepsilon} = .57$ ). Der *F*-Test hat ergeben, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungs-mittelwerten signifikant von 0 abweichen,  $F(1.71, 300.96) = 1434.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_G^2 = .71$ . Der Effekt der Anzahl Antwortalternativen auf die Reaktionszeit konnte dabei gemäss generalisiertem  $\eta_G^2$  (Olejnik & Algina, 2003) als gross bezeichnet werden (Bakeman, 2005, S. 383). Um zu erfahren, ob sich alle oder nur bestimmte Mittelwertpaare signifikant voneinander unterscheiden, wurden post hoc alle Mittelwerte miteinander verglichen. Tukey-Tests haben gezeigt, dass sich alle Mittelwertpaare signifikant voneinander unterscheiden (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 (Gibbons et al., 1993) bestimmt und lagen alle im hohen Bereich (Cohen, 1988, S. 40; siehe Tabelle 5).

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.

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 ( $p < .001$ ).

### 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-Tests, 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 7) hatte eine negative Schiefe ( $-0.02$ ) und eine positive Kurtosis ( $0.16$ ), wick damit aber gemäss einem Shapiro-Wilk-Test nicht signifikant von der Normalverteilung ab ( $p = .82$ ).

Tabelle 6

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

Subtest	<i>M</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Schiefe	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.



*Abbildung 7.* 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.

Tabelle 7  
*Produkt-Moment-Korrelationen zwischen den Subtests des BIS-Tests*

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*	.13	.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).

### 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 respektive 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 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle für die Mustergrösse 7.2° und der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle 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-Tests ( $r = -.12$ ,  $p = .10$ ) 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-Tests*

	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°	.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 8). 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 tieferen 82 %-Erkennungsschwellen bei kleiner Mustergrösse und mit höheren 82 %-Erkennungsschwellen bei grosser Mustergrösse verbunden. In der vorliegenden Arbeit betrug der Semipartialkorrelationsko-

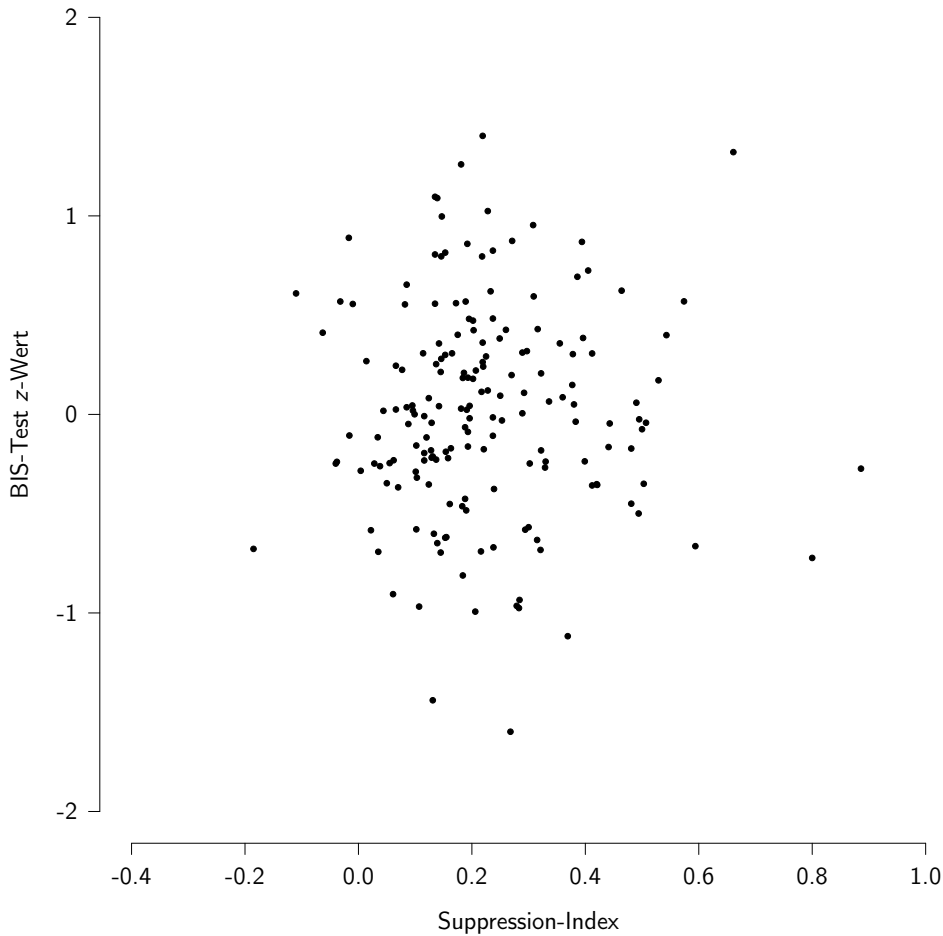


Abbildung 8. Streudiagramm des Zusammenhangs zwischen dem Suppression-Index und dem  $z$ -Wert aus dem BIS-Test ( $r = .00$ ,  $p = .98$ ).

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 82 %-Erkennungsschwellen mit einer exponentiellen Regression der von [Melnick et al. \(2013\)](#) vorgeschlagenen Form  $y = a \times e^{bx}$  vorhergesagt (siehe Abbildung 9). 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  $RMSE$  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 10). Der Median betrug 6 ms und das dritte Quartil lag bei 9 ms (Minimum = 0.47 ms, Maximum = 65.47 ms).

Tabelle 9

*Deskriptive Angaben zur exponentiellen Regression ( $y = a \times e^{bx}$ ) für die Vorhersage der 82 %-Erkennungsschwellen durch die Mustergrössen der Spatial-Suppression-Aufgabe und Kennwerte zur Verteilungsform 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 9. Exponentieller Einfluss der Mustergrösse auf die 82 %-Erkennungsschwelle für horizontale Bewegung in der Spatial-Suppression-Aufgabe. Eingezeichnet sind die Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler der Mittelwerte. Die x- und die y-Achse sind beide logarithmiert.  $y = 70 \times e^{0.103x}$ .

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-Tests 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 wurde für jeden  $RMSE$  zwischen 1 ms und 70 ms eine Teilstichprobe mit Vpn

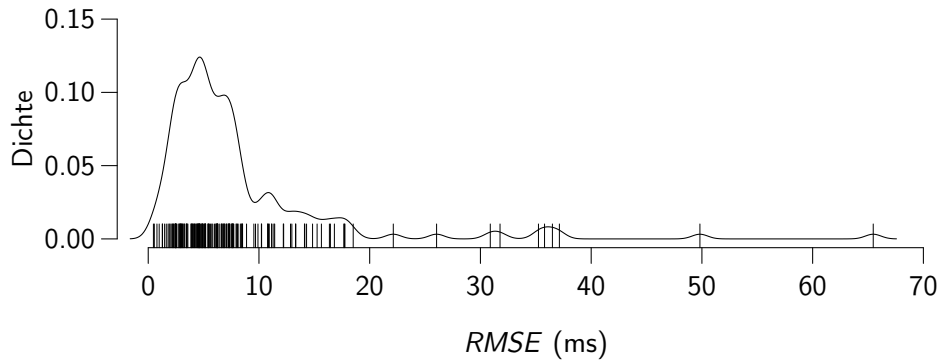


Abbildung 10. Dichtefunktion des aus der Spatial-Suppression-Aufgabe mit einer exponentiellen Regression abgeleiteten Root Mean Square Error ( $RMSE$ ; in Millisekunden). Alle Datenpunkte sind auf der x-Achse mit vertikalen Strichen markiert.

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 zusammenhingen ( $r = -.57$  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 11a).

Die Steigung korrelierte über den ganzen  $RMSE$ -Grenzwertbereich stark positiv mit dem Suppression-Index ( $r = .96$  bis  $.99$ , alle  $ps < .001$ ; siehe



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



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

Abbildung 11. Einfluss des *RMSE*-Grenzwerts auf (a) den Zusammenhang zwischen den aus der Spatial-Suppression-Aufgabe mit einer exponentiellen Regression abgeleiteten Aufgabenparametern 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.

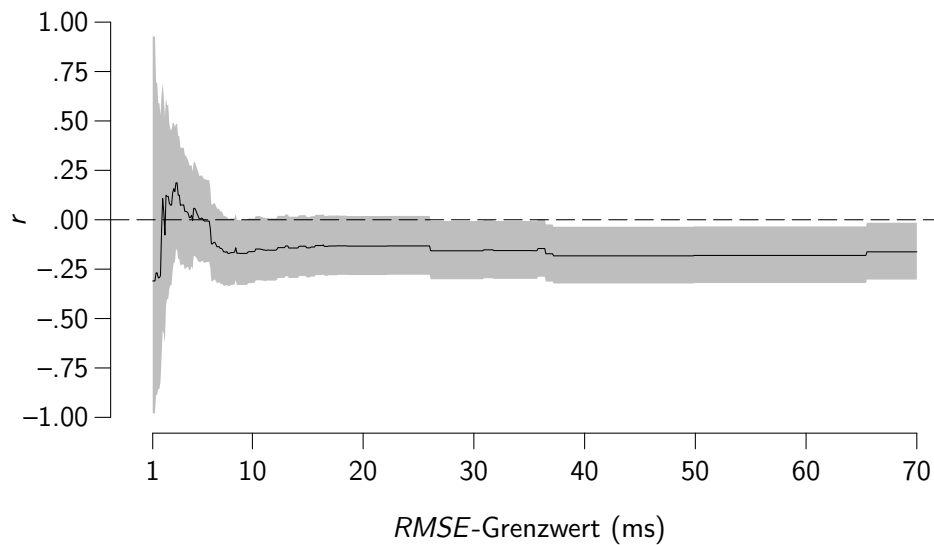
Abbildung 11b). Die tiefste Schätzung ( $r = .96$ ,  $p < .001$ ) unterschied sich dabei signifikant ( $z = 7.85$ ,  $p < .001$ ) von dem von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhang ( $r > .996$ ).

Der Zusammenhang zwischen der Asymptote und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests fiel in Abhängigkeit des *RMSE*-Grenzwerts weniger eindeutig aus (siehe Abbildung 12a). 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.

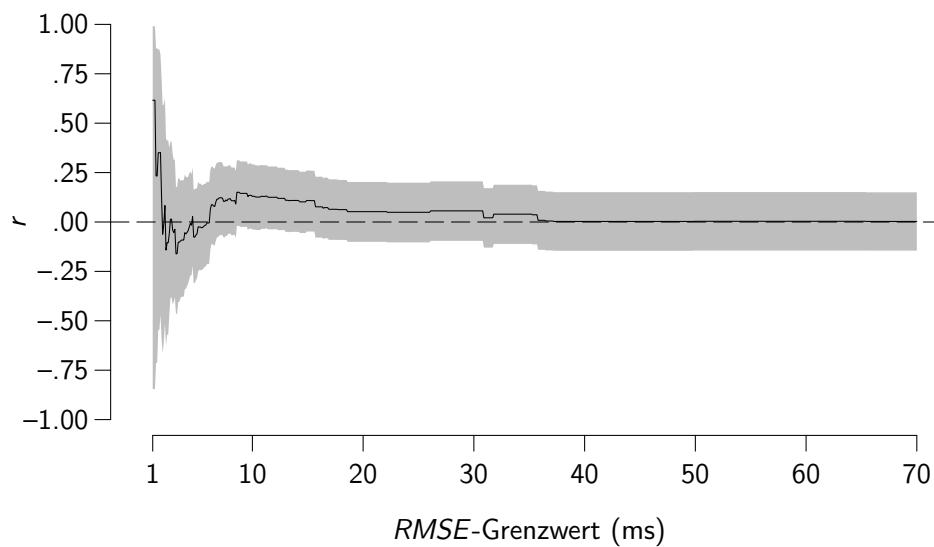
Die Steigung und der  $z$ -Wert des BIS-Tests korrelierten unabhängig vom *RMSE*-Grenzwert nicht signifikant miteinander ( $r = -.16$  bis  $.62$ , alle  $ps > .08$ ; siehe Abbildung 12b). Um für den Vergleich zwischen dem von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhang zwischen ihrer Steigung (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. \(2013\)](#) 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-Tests ( $r = -.16$ ,  $p = .03$ ). Die Steigung, der zweite mit der exponentiellen Regression abgeleitete Aufgabenparameter, hing nicht signifikant mit dem  $z$ -Wert zusammen ( $r = .00$ ,  $p = .97$ ) und bestätigte damit den von [Melnick et al. \(2013\)](#) berichteten Zusammenhang nicht.





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 12. 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 13) 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,  $\chi^2(2) = 103.13$ ,  $p < .001$ , 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 in Verbindung gebracht. Das theoretische Modell (Modell 2; siehe Abbildung 14) bildete die empirischen Daten erneut 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 nicht im akzeptablen Bereich,  $\chi^2(13) = 123.88$ ,  $p < .001$ , CFI = .85, RMSEA = .22, SRMR = .06. Der standardisierte Regressionskoeffizient zwischen der aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-



Abbildung 13. 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 14. 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.

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

Aufgabe extrahierten latenten 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. Tiefere Faktorwerte auf der aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe extrahierten latenten Variablen waren also tendenziell mit höheren Faktorwerten im  $g$ -Faktor 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 Spatial-Suppression-Aufgabe 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 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwellen der Spatial-Suppression-Aufgabe

wurde in den Messmodellen durch sich unterscheidende unstandardisierte Faktorladungen hergestellt. 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 ( $1.8^\circ$ ,  $3.6^\circ$ ,  $5.4^\circ$ ,  $7.2^\circ$ ) ein Vielfaches von  $1.8$  waren. 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 dynamische latente Variable von Modell 5 wurden mit einer exponentiellen Funktion ( $y = 2^x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) bestimmt. Dieses Modell konnte nicht interpretiert

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.

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 empirischen Varianz-Kovarianzmatrix. Obwohl der CFI im akzeptablen Bereich lag, deuteten der RMSEA und das SRMR auf eine schlechte Passung des Modells hin.

In Modell 8 (siehe Abbildung 15) wurden die unstandardisierten Faktor-

ladungen der dynamischen latenten Variable erneut linear ansteigend fixiert. Im Gegensatz zu Modell 4 wurde die Faktorladung der ersten Bedingung aber auf 0 gesetzt ( $y = x$ ,  $x \in \{0, 1, 2, 3\}$ ). Verglichen mit den Modellen 3 bis 7 wich die von Modell 8 implizierte Varianz-Kovarianzmatrix am wenigsten von der empirischen 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>4</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 Varianzen nicht direkt ermitteln. Um die Varianzen miteinander vergleichen zu können, wurde der Einfluss der Faktorladungen auf die Varianzen deshalb 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 einem nicht-signifikanten  $\chi^2$ -Wert, im akzeptablen CFI und RMSEA sowie in zwei zusätzlichen Freiheitsgraden. Modell 8 war Modell 1 also aufgrund adäquaterer Abbildung der empirischen Daten und höherer Sparsamkeit vorzuziehen.

<sup>4</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,  $\chi^2(3) = 1.98$ ,  $p = .58$ , 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.

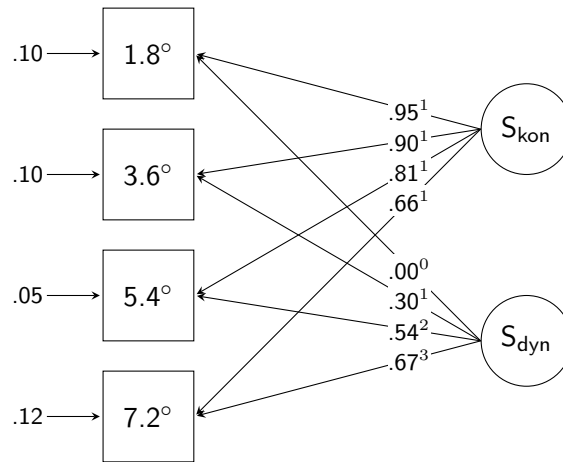


Abbildung 15. Modell 8: Fixed-Links-Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (S). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. Hochgestellt sind die fixierten unstandardisierten Faktorladungen. <sub>kon</sub> = konstante latente Variable; <sub>dyn</sub> = dynamische latente Variable.

### 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 16). 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 standardisierte Regressionskoeffizient zwischen der konstanten latenten Variable und dem  $g$ -Faktor betrug  $\beta = -.25$  ( $p = .02$ ). Der standardisierte 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 9 äusserte sich im Vergleich zu Modell 2 in einem nicht-signifikanten  $\chi^2$ -Wert, im akzeptablen CFI und RMSEA sowie in einem zusätzlichen Freiheitsgrad. Bezüglich der Varianzaufklärung im  $g$ -Faktor waren sich Modell 2 (5 %) und Modell 9 (7 %)



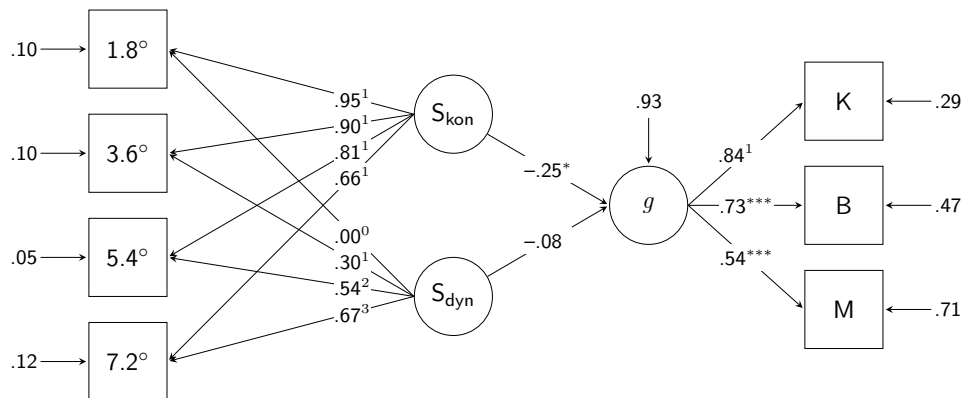


Abbildung 16. Modell 9: Latenter Zusammenhang zwischen dem Fixed-Links-Messmodell (Modell 8) der Spatial-Suppression-Aufgabe (S) und dem  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test. Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. Hochgestellt sind die fixierten unstandardisierten Faktorladungen.  $kon$  = konstante latente Variable;  $dyn$  = dynamische latente Variable.  $K$  = Kapazität;  $B$  = Bearbeitungsgeschwindigkeit;  $M$  = Merkfähigkeit.

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

vergleichsweise ähnlich. Modell 9 war Modell 2 folglich aufgrund adäquaterer Abbildung der empirischen Daten und höherer Sparsamkeit 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) klar überlegen. In Modell 9 zeigte sich zwischen der konstanten latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor ein (geringer bis) mittlerer negativer Zusammenhang. Tiefere Faktorwerte auf der konstanten latenten Variable waren also tendenziell mit höheren Faktorwerten im  $g$ -Faktor verbunden. Zwischen der dynamischen latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor bestand ein so geringer Zusammenhang, dass er bei gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % nicht von 0 unterschieden werden konnte.

## 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-Tests 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 (siehe Tabelle 11), in welchem der  $z$ -Wert des BIS-Tests alleinig mit den vier Bedingungen der Hick-Aufgabe vorhergesagt wurde. 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

Tabelle 11

*Multiple Regression zur Vorhersage des  $z$ -Werts des BIS-Tests 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).

einer reinen Prädiktion eines Kriteriums (wie sie hier vorlag) unproblematisch.

Modell 11 (siehe Tabelle 11) beinhaltete als Prädiktoren sowohl die Bedingungen der Hick- als auch der Spatial-Suppression-Aufgabe. Erneut sagte bei einer Kontrolle für die Abhängigkeiten zwischen den acht Bedingungen keiner der Prädiktoren den  $z$ -Wert signifikant vorher (alle  $ps > .16$ ). Zusammen aber sagten die Prädiktoren den  $z$ -Wert signifikant vorher 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-Tests 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-Tests mit den abgeleiteten Aufgabenparametern beider Aufgaben vorherzusagen, mussten die Aufgabenparameter der Hick-Aufgabe noch bestimmt werden (für die Bestimmung der Aufgabenparameter der Spatial-Suppression-Aufgabe siehe Abschnitt 3.3). 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>5</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 17). 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* berech-

<sup>5</sup> Entsprechend dieser Definition gab das *Bit* den Bedingungen der Hick-Aufgabe ihre Namen: In der 0-bit-Bedingung steht eine Antwortalternative zur Verfügung ( $\log_2 1 = 0$ ), in der 1-bit-Bedingung stehen zwei Antwortalternativen zur Verfügung ( $\log_2 2 = 1$ ), in der 2-bit-Bedingung stehen vier Antwortalternativen zur Verfügung ( $\log_2 4 = 2$ ) und in der 2.58-bit-Bedingung stehen sechs Antwortalternative zur Verfügung ( $\log_2 6 = 2.58$ ).



Abbildung 17. 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.

net. Dabei hat sich gezeigt, dass sich ein lineares Modell zur Beschreibung der Daten für einen grossen Teil der Vpn gut eignete (siehe Abbildung 18). Der Median betrug 12 ms und das dritte Quartil lag bei 19 ms (Minimum = 0.96 ms, Maximum = 54.23 ms).

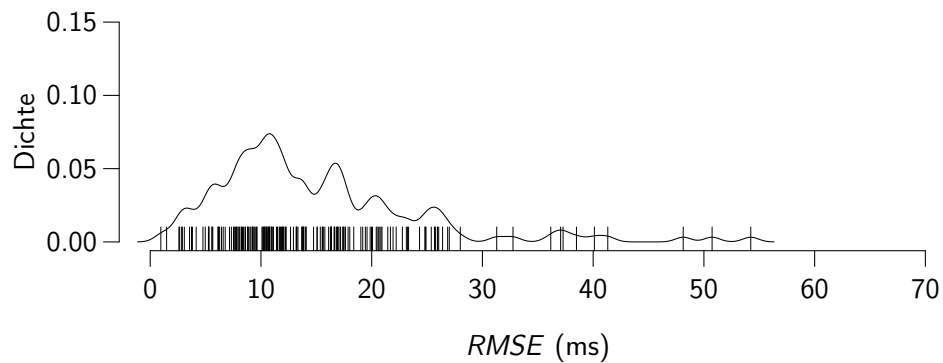
Wie bei der Spatial-Suppression-Aufgabe (siehe Abschnitt 3.3) wurde der Zusammenhang zwischen den Aufgabenparametern ( $y$ -Achsenabschnitt und Steigung) und dem  $z$ -Wert des BIS-Tests in Abhängigkeit des  $RMSE$  betrachtet. Die Analysen haben ergeben, dass der  $y$ -Achsenabschnitt und der  $z$ -Wert bei einem  $RMSE$ -Grenzwert zwischen 9.6 und 10.4 ms ( $r = -.28$

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 und Kennwerte zur Verteilungsform 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 18.* Dichtefunktion des aus der Hick-Aufgabe mit einer linearen Regression abgeleiteten Root Mean Square Error ( $RMSE$ ; in Millisekunden). Alle Datenpunkte sind auf der x-Achse mit vertikalen Strichen markiert.

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 19a). In den erwähnten Bereichen war ein tiefer y-Achsenabschnitt 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-Tests 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.



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



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

Abbildung 19. Einfluss des *RMSE*-Grenzwerts auf die Zusammenhänge der aus der Hick-Aufgabe mit einer linearen Regression abgeleiteten Aufgabenparameter dem (a) y-Achsenabschnitt und der (b) Steigung mit dem z-Wert des BIS-Tests. Die durchgezogene Linie kennzeichnet den Verlauf des Zusammenhangs. Der graue Bereich beschreibt das 95 %-Konfidenzintervall.

der (siehe Abbildung 19b). In diesen Bereichen waren geringe Steigungen also tendenziell mit höheren  $z$ -Werten 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-Tests korrelierte.

Nachdem die Aufgabenparameter der Hick-Aufgabe bestimmt waren, konnte der  $z$ -Wert des BIS-Tests mit den Aufgabenparameter der Hick- und der Spatial-Suppression-Aufgabe vorhergesagt werden. Für diese multiple Regressionsanalyse wurde die Gesamtstichprobe verwendet, weil die Analysen zum Einfluss des  $RMSE$ -Grenzwerts auf die Zusammenhänge der Aufgabenparameter mit dem  $z$ -Wert kein eindeutiges Ergebnis lieferten (siehe Abbildung 12 und Abbildung 19). Um die Abhängigkeiten der Aufgabenparameter zwischen den beiden Aufgaben (siehe Tabelle 13) bei der Vorhersage des  $z$ -Werts zu berücksichtigen, wurden die Aufgabenparameter in Gruppen zusammengefasst und nacheinander blockweise in die multiple Regressionsanalyse aufgenommen.

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 Steigung	-.08				
3 Asymptote	.16*	.03			
4 Steigung	-.02	-.03	-.57***		
5 $z$ -Wert	-.17*	-.23**	-.16*	.00	

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



Grundlage für die Beantwortung der Fragestellung bildete Modell 12, in welchem der  $z$ -Wert des BIS-Tests alleinig mit den Aufgabenparametern der Hick-Aufgabe vorhergesagt wurde (siehe Tabelle 14). Die Regressionsanalyse hat ergeben, dass bei einer Kontrolle für den Zusammenhang zwischen den Aufgabenparametern sowohl der y-Achsenabschnitt ( $\beta = -.19, p = .009$ ) als auch die Steigung ( $\beta = -.24, p < .001$ ) den  $z$ -Wert signifikant vorhersagten. Gemeinsam erklärten sie mit 9% einen signifikanten Varianzanteil im  $z$ -Wert,  $F(2, 174) = 8.52, p < .001, R^2 = .09$ . Tiefere y-Achsenabschnitte und geringere Steigungen gingen also tendenziell mit höheren  $z$ -Werten einher.

Tabelle 14

*Multiple Regression zur Vorhersage des  $z$ -Werts des BIS-Tests 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					8.52***	.09		
H-y-Achsenabschnitt	-0.0037	0.0014	-.19	.009				
H-Steigung	-0.0058	0.0017	-.24	<.001				
Modell 13					5.58***	.12	2.49	.03
H-y-Achsenabschnitt	-0.0031	0.0014	-.16	.03				
H-Steigung	-0.0057	0.0017	-.24	.001				
S-Asymptote	-0.0037	0.0017	-.20	.03				
S-Steigung	-0.7887	0.5695	-.12	.17				

*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; H = Hick-Aufgabe; S = Spatial-Suppression-Aufgabe.

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

Modell 13 beinhaltete als Prädiktoren die Aufgabenparameter der Hick- und der Spatial-Suppression-Aufgabe (siehe Tabelle 14). Die Regressionsanalyse hat ergeben, dass bei einer Kontrolle für die Zusammenhänge zwischen den Aufgabenparametern der y-Achsenabschnitt der Hick-Aufgabe ( $\beta = -.16, p = .03$ ), die Steigung der Hick-Aufgabe ( $\beta = -.24, p = .001$ ) und die Asymptote der Spatial-Suppression-Aufgabe ( $\beta = -.20, p = .03$ ) den  $z$ -Wert signifikant vorhersagten. Die Steigung der Spatial-Suppression-Aufgabe war mit ( $\beta = -.12, p = .17$ ) kein signifikanter Prädiktor des

$z$ -Werts. Gemeinsam erklärten die Prädiktoren mit 12 % einen signifikanten Varianzanteil im  $z$ -Wert,  $F(4, 172) = 5.58$ ,  $p < .001$ ,  $R^2 = .12$ . Tiefere  $y$ -Achsenabschnitte und geringere Steigungen in der Hick-Aufgabe sowie tiefere Asymptoten in der Spatial-Suppression-Aufgabe gingen also tendenziell mit höheren  $z$ -Werten einher.

Um zu prüfen, ob die Aufgabenparameter der Spatial-Suppression-Aufgabe einen inkrementellen Beitrag zur Varianzaufklärung im  $z$ -Wert des BIS-Tests leisteten, wurde der Zuwachs an erklärter Varianz im  $z$ -Wert zwischen Modell 12 und Modell 13 auf Signifikanz getestet. Dabei hat sich ergeben, dass  $\Delta R^2 = .03$  kein signifikanter Zuwachs an erklärter Varianz darstellte,  $F(2, 172) = 2.49$ ,  $p = .09$ . Obwohl die Asymptote der Spatial-Suppression-Aufgabe ein signifikanter Prädiktor des  $z$ -Werts war, haben die Asymptote und die Steigung der Spatial-Suppression-Aufgabe auf Ebene der Aufgabenparameter also keinen inkrementellen Beitrag zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede geleistet.

### 3.6.2 Analyse auf latenter Ebene

#### Mess- und Strukturgleichungsmodell

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 bestimmt werden. Modell 14 (siehe Abbildung 20) bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe 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.

Trotz des schlechten kongenerischen Modell-Fits der Hick-Aufgabe wurde Modell 14 in einem Strukturgleichungsmodell mit dem kongenerischen Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (Modell 1; siehe Abbildung 13) und dem  $g$ -Faktor des BIS-Test in Verbindung gebracht. Das theoretische Modell (Modell 15; siehe Abbildung 21) bildete die empirischen Daten erneut schlecht ab. Der  $\chi^2$ -Test zeigte eine überzufällig hohe Abweichung zwischen der theoretischen und der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix an und

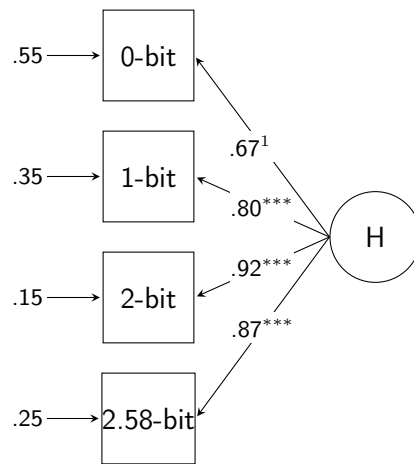


Abbildung 20. Modell 14: Kongenerisches Messmodell der Hick-Aufgabe (H). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten.

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

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

der CFI und RMSEA lagen nicht im akzeptablen Bereich,  $\chi^2(41) = 205.68$ ,  $p < .001$ , CFI = .86, RMSEA = .15, SRMR = .06. Der standardisierte Regressionskoeffizient zwischen der aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe extrahierten latenten Variable und dem  $g$ -Faktor betrug  $\beta = -.19$  ( $p = .03$ ). Der standardisierte Regressionskoeffizient zwischen der aus den vier Bedingungen der Hick-Aufgabe extrahierten latenten Variable und dem  $g$ -Faktor betrug  $\beta = -.33$  ( $p < .001$ ). Der Korrelationskoeffizient zwischen den aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression- und Hick-Aufgabe extrahierten latenten Variablen betrug  $r = .14$  ( $p = .16$ ). Gemeinsam erklärten diese beiden latenten Variablen 16 % der Varianz im  $g$ -Faktor.

### Fixed-Links-Mess- und Strukturgleichungsmodell

Für die Analyse der Zusammenhänge auf latenter Ebene mittels Fixed-Links-Modellen musste für die Hick-Aufgabe zuerst ein Fixed-Links-Messmodell gefunden werden. Das Vorgehen bei der Bestimmung des Fixed-Links-Messmodells war dabei identisch mit dem Vorgehen bei der Bestimmung des

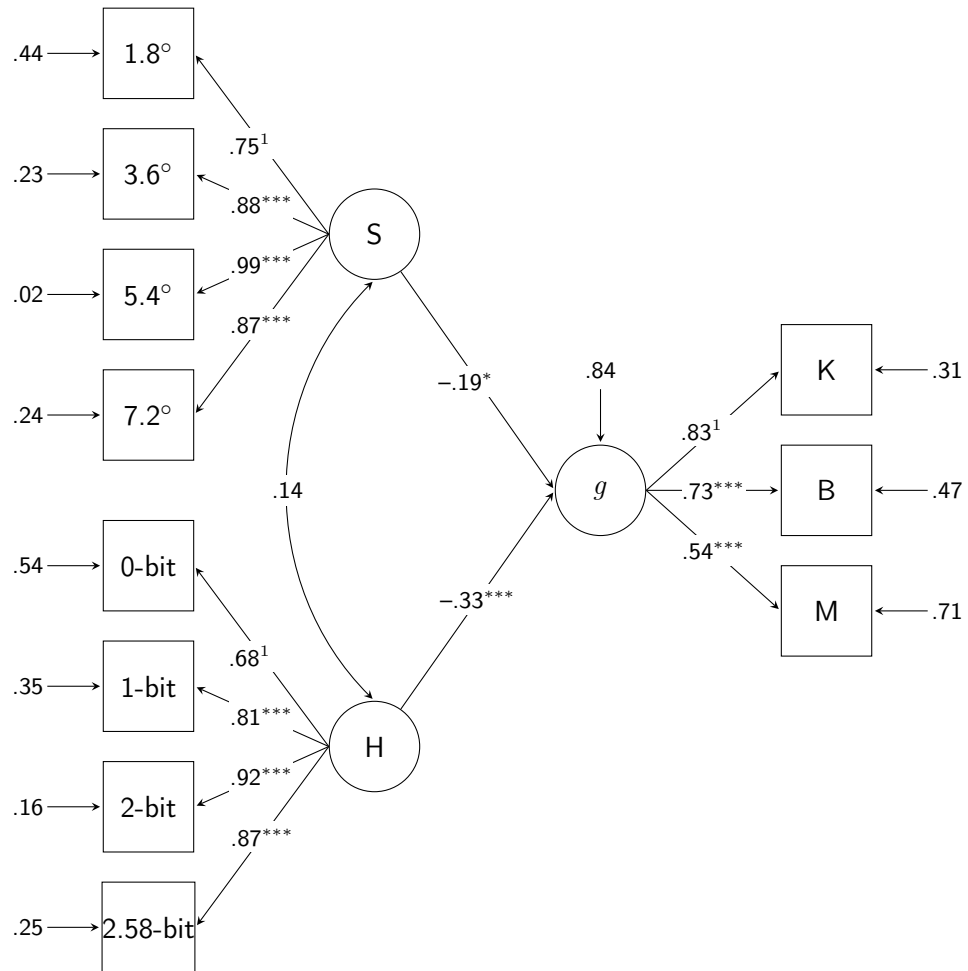


Abbildung 21. Modell 15: Latenter Zusammenhang zwischen der Spatial-Suppression-Aufgabe (S), der Hick-Aufgabe (H) und dem  $g$ -Faktor des BIS-Test. K = Kapazität; B = Bearbeitungsgeschwindigkeit; M = Merkfähigkeit.

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

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

Fixed-Links-Messmodells für die Spatial-Suppression-Aufgabe (siehe Unterabschnitt 3.5.1). Alle Modell-Fits der in den folgenden Paragraphen berichteten Fixed-Links-Modelle sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Tabelle 15

*Modell-Fits der Fixed-Links-Messmodelle 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
16*	$y = \log_e x$	57.55	4	<.001	.825	.275	.197
17	$y = x$	37.60	4	<.001	.890	.218	.169
18	$y = \log_2 x$	32.20	4	<.001	.908	.200	.136
19	$y = 2^x$	13.33	4	.010	.970	.115	.072
20	$y = x^2$	11.37	4	.023	.976	.102	.070
21	$y = x$	8.76	4	.067	.984	.082	.089
22	$y = \frac{1}{1 + e^{(-x/.8)}}$	4.50	4	.342	.998	.027	.076

*Anmerkungen.* Für Modelle 16, 17, 19 und 20 gilt  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ . Für Modelle 18 und 21 gilt  $x \in \{1, 2, 4, 6\}$  und für Modell 21  $x \in \{-3, -1, 1, 3\}$ .  $\chi^2$  = 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 die Fehlervarianz der 0-bit-Bedingung negativ geschätzt wurde.

Das erste berechnete Fixed-Links-Modell (Modell 16) berücksichtige die von Blank (1934; zitiert nach Jensen, 1987, S. 103) formulierte logarithmische Beziehung zwischen der Anzahl Antwortalternativen und der Reaktionszeit. Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variablen wurden deshalb mit einer logarithmischen Funktion ( $y = \log_e x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) bestimmt. Dieses Modell konnte nicht interpretiert werden, weil die Fehlervarianz der 0-bit-Bedingung negativ geschätzt wurde.

Schweizer (2006) hat in seiner Arbeit für die dynamische latenten Variable der Hick-Aufgabe unter anderen Verläufen auch einen linearen Verlauf eingesetzt. Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable in Modell 17 wurden deshalb linear ansteigend ( $y = x$ ,  $x \in$

$\{1, 2, 3, 4\}$ ) fixiert. Das Modell bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe nicht gut ab. Der  $\chi^2$ -Wert war hochsignifikant und der CFI, der RMSEA und das SRMR lagen weit weg vom akzeptablen Bereich.

In Modell 18 wiesen die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variablen einen Verlauf entsprechend den verwendeten Bit-Bedingungen auf ( $y = \log_2 x$ ,  $x \in \{1, 2, 4, 6\}$ ). Das Modell bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe nicht adäquat ab. Zwar reduzierte sich der  $\chi^2$ -Wert im Vergleich zu Modell 17 leicht, der  $\chi^2$ -Test war aber immer noch signifikant. Weiter deuteten der CFI, der RMSEA und das SRMR mit Werten ausserhalb des akzeptablen Bereichs auf eine schlechte Modellpassung hin.

Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variablen von Modell 19 wurden mit einer exponentiellen Funktion ( $y = 2^x$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) bestimmt. Der  $\chi^2$ -Test zeigte eine überzufällig hohe Abweichung zwischen der theoretischen und der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix an. Gemeinsam mit dem hohen RMSEA deutete dies darauf hin, dass das Modell die empirischen Varianzen und Kovarianzen der Hick-Aufgabe nicht adäquat abbildete.

In Modell 20 wurden die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variablen mit dem von [Schweizer \(2006\)](#) verwendeten quadratischen Verlauf ( $y = x^2$ ,  $x \in \{1, 2, 3, 4\}$ ) gebildet. Der  $\chi^2$ -Wert reduzierte sich im Vergleich zu Modell 19 zwar leicht, war aber immer noch signifikant. Die schlechte Passung des Modells wurde weiter durch einen hohen RMSEA angezeigt.

Modell 21 testete die Annahme, dass die Ladungen der unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable entsprechend der Anzahl Antwortalternativen verlaufen ( $y = x$ ,  $x \in \{1, 2, 4, 6\}$ ). Der  $\chi^2$ -Test erkannte keine signifikante Abweichung zwischen der von Modell 21 implizierten und der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix. Der RMSEA und das SRMR hingegen lagen ausserhalb des akzeptablen Bereichs.

Die unstandardisierten Faktorladungen der dynamischen latenten Variable von Modell 22 (siehe Abbildung 22) wurden mit einer logistischen Funktion bestimmt  $\{y = 1/[1 + e^{(-x/.8)}], x \in \{-3, -1, 1, 3\}\}$ . Verglichen

mit den Modellen 17 bis 21 wich die von Modell 22 implizierte Varianz-Kovarianzmatrix am wenigsten von der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix ab. Der  $\chi^2$ -Test war nicht signifikant und der CFI, der RMSEA und das SRMR deuteten auf eine gute Modellpassung hin. Die Varianz der konstanten latenten Variable betrug 653.98 ( $z = 5.75$ ,  $p < .001$ ) und die Varianz der dynamischen latenten Variable betrug 2573.97 ( $z = 6.90$ ,  $p < .001$ ). Die Skalierung der Varianzen (Schweizer, 2011) hat ergeben, dass die konstante latente Variable 39 % und die dynamische latente Variable 61 % von der in den manifesten Variablen gemeinsamen Varianz band.

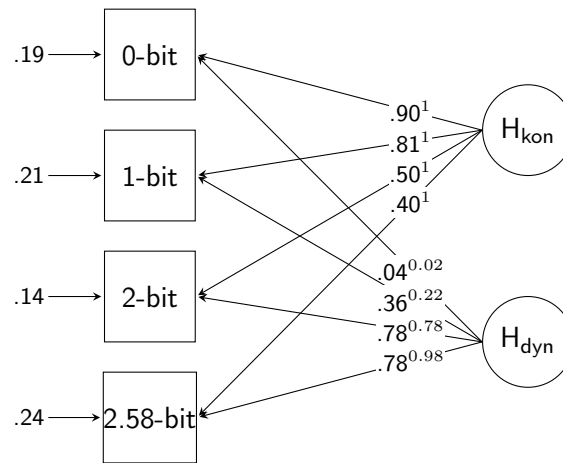


Abbildung 22. Modell 22: Fixed-Links-Messmodell der Hick-Aufgabe (H). Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten. Hochgestellt sind die fixierten unstandardisierten Faktorladungen.  $_{kon}$  = konstante latente Variable;  $_{dyn}$  = dynamische latente Variable.

Im Vergleich zum kongenerischen Messmodell der Hick-Aufgabe (Modell 14) vermochte das Fixed-Links-Messmodell (Modell 22) die empirischen Daten deutlich besser abzubilden. Die bessere Passung von Modell 22 äusserte sich im Vergleich zu Modell 14 in einem nicht-signifikanten  $\chi^2$ -Wert, im akzeptablen CFI und RMSEA sowie in zwei zusätzlichen Freiheitsgraden. Modell 8 war Modell 1 also aufgrund adäquaterer Abbildung der empirischen Daten und höherer Sparsamkeit vorzuziehen.

In einem letzten Schritt wurde das Fixed-Links-Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (Modell 8) mit dem Fixed-Links-Messmodell der Hick-

Aufgabe (Modell 22) und dem  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test in Verbindung gebracht (Modell 23; siehe Abbildung 23). Das Modell bildete die empirischen Varianzen und Kovarianzen gut ab. Der  $\chi^2$ -Test war nicht signifikant und der CFI, der RMSEA und das SRMR lagen im akzeptablen Bereich,  $\chi^2(40) = 48.81$ ,  $p = .16$ , CFI = .99, RMSEA = .04, SRMR = .08. Die standardisierten Regressionskoeffizienten betrugen zwischen der konstanten latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor  $\beta = -.21$  ( $p = .06$ ), zwischen der dynamischen latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor  $\beta = -.08$  ( $p = .38$ ), zwischen der konstanten latenten Variable der Hick-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor  $\beta = -.17$  ( $p = .06$ ) und zwischen der dynamischen latenten Variable der Hick-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor  $\beta = -.26$  ( $p = .002$ ). Gemeinsam erklärten die konstanten und dynamischen latenten Variablen der Spatial-Suppression- und Hick-Aufgabe 16 % der Varianz im  $g$ -Faktor. Die Korrelationskoeffizient betrug zwischen den beiden konstanten latenten Variablen  $r = .21$  ( $p = .005$ ), zwischen den beiden dynamischen latenten Variablen  $r = -.13$  ( $p = .11$ ), zwischen der konstanten latenten Variable der Hick-Aufgabe und der dynamischen latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe  $r = .15$  ( $p = .09$ ) und zwischen der konstanten latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe und der dynamischen latenten Variable der Hick-Aufgabe  $r = .00$  ( $p = .97$ ).

Im Vergleich zum herkömmlichen Strukturgleichungsmodell (Modell 15) vermochte das Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell (Modell 23) die empirischen Daten deutlich besser abzubilden. Die bessere Passung von Modell 23 äusserte sich im Vergleich zu Modell 15 in einem nicht-signifikanten  $\chi^2$ -Wert und in einem akzeptablen CFI und RMSEA. Bezüglich der Varianzaufklärung im  $g$ -Faktor waren Modell 15 (16 %) und Modell 23 (16 %) identisch. Modell 23 war Modell 15 folglich aufgrund adäquaterer Abbildung der empirischen Daten vorzuziehen.

Abschliessend zur fünften Fragestellung kann folgendes Festgehalten werden: Auf manifester Ebene vermochte die Spatial-Suppression-Aufgabe (sowohl auf Ebene der Aufgabenbedingungen als auch auf Ebene der Aufgabenparameter) bei einer Kontrolle des Zusammenhang zwischen der Hick-Aufgabe und psychometrischer Intelligenz keinen inkrementellen Beitrag zur



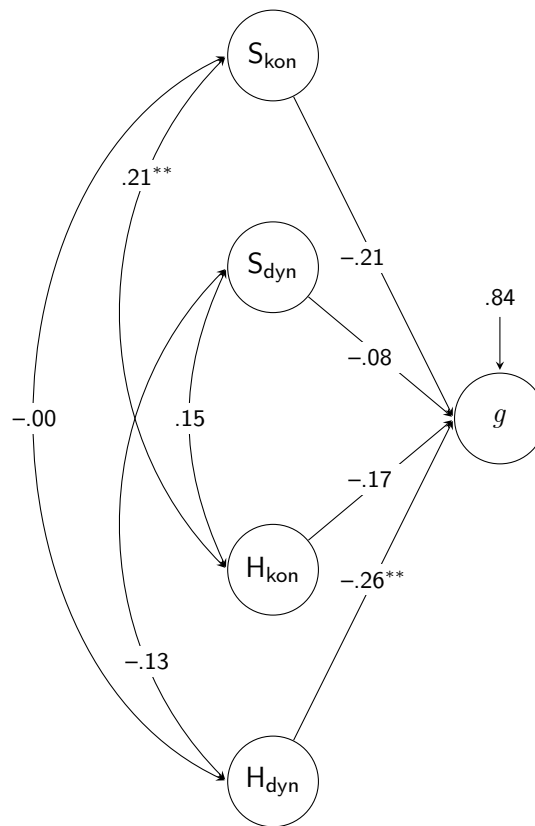


Abbildung 23. Modell 23: Latenter Zusammenhang zwischen dem Fixed-Links-Messmodell der Spatial-Suppression-Aufgabe (S; Modell 8), dem Fixed-Links-Messmodell der Hick-Aufgabe (H; Modell 22) und dem  $g$ -Faktor aus dem BIS-Test. Abgebildet ist das Strukturmodell. Eingezeichnet sind die standardisierten Koeffizienten.  $_{kon}$  = konstante latente Variable;  $_{dyn}$  = dynamische latente Variable.

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

Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede leisten.

Auf latenter Ebene zeigte sich in einem herkömmlichen Strukturgleichungsmodell (Modell 15) ein geringer bis mittlerer negativer Zusammenhang zwischen der aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe abgeleiteten latenten Variable und dem  $g$ -Faktor. Tiefere Faktorwerte auf der aus den vier Bedingungen der Spatial-Suppression-Aufgabe extrahierten latenten Variable waren also tendenziell mit höheren Faktorwerten im  $g$ -Faktor verbunden. Dieser latente Zusammenhang erklärte ungefähr

4 % der Varianz im  $g$ -Faktor und leistete damit bei Berücksichtigung des Zusammenhangs zwischen der Hick-Aufgabe und dem  $g$ -Faktor einen inkrementellen Beitrag zur Aufklärung individueller Intelligenzunterschiede. Diese Resultate müssen jedoch aufgrund des schlechten Modell-Fits mit Vorsicht interpretiert werden.

Bei der Analyse der Zusammenhänge mittels Fixed-Links-Strukturgleichungsmodell zeigte sich zwischen der konstanten latenten Variable der Spatial-Suppression-Aufgabe und der konstanten latenten Variable der Hick-Aufgabe ein geringer bis mittlerer positiver Zusammenhang. Tiefere Faktorwerte in der einen latenten Variable waren also tendenziell mit tieferen Faktorwerten in der anderen latenten Variable verbunden. Signifikanter Prädiktor des  $g$ -Faktors war bei dem gewählten  $\alpha$ -Fehler von 5 % nur die dynamische latente Variable der Hick-Aufgabe, welche einen (geringen bis) mittleren negativen Zusammenhang mit dem  $g$ -Faktor aufwies. Tiefere Faktorwerte in der dynamischen latenten Variable der Hick-Aufgabe waren also tendenziell mit höheren Faktorwerten im  $g$ -Faktor verbunden.

## 4 Diskussion

- konsistent über alle modelle, zusammenhang da latent
- 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 \(2014\)](#) [Hayduk \(2014\)](#) Shame on disrespecting evividenc p 6 of 10

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

- Ackerman, P. L. & Heggstad, E. D. (1997). Intelligence, personality, and interests: Evidence for overlapping traits. *Psychological Bulletin*, 121 (2), 219–245. doi:[10.1037/0033-2909.121.2.219](https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.2.219)
- 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)
- Bates, T. (1995). Intelligence and complexity of the averaged evoked potential: An attentional theory. *Intelligence*, 20 (1), 27–39. doi:[10.1016/0160-2896\(95\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0160-2896(95)90004-7)
- 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)
- Behrendt, S. (2014). lm.beta: Add standardized regression coefficients to lm-objects (Version 1.5-1) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=lm.beta>
- 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: Erlbaum.
- 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>
- Deary, I. J. (2000). *Looking down on human intelligence*. New York, NY: Oxford University Press.
- 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/>
- Garlick, D. (2002). Understanding the nature of the general factor of intelligence: The role of individual differences in neural plasticity as an explanatory mechanism. *Psychological Review*, 109 (1), 116–136. doi:[10.1037/0033-295x.109.1.116](https://doi.org/10.1037/0033-295x.109.1.116)
- 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)
- Gibbons, R. D., Hedeker, D. R. & Davis, J. M. (1993). Estimation of effect size from a series of experiments involving paired comparisons. *Journal of Educational Statistics*, 18 (3), 271–279. doi:[10.2307/1165136](https://doi.org/10.2307/1165136)
- Gottfredson, L. S. & Deary, I. J. (2004). Intelligence predicts health and longevity, but why? *Current Directions in Psychological Science*, 13 (1), 1–4. doi:[10.1111/j.0963-7214.2004.01301001.x](https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2004.01301001.x)
- Guilford, J. P. (1950). *Way beyond the IQ: Guide to improving intelligence and creativity*. Buffalo, NY: Creative Education Foundation.
- Hamner, B. (2012). Metrics: Evaluation metrics for machine learning (Version 0.1.1) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=Metrics>
- Hayduk, L. (2014). Shame for disrespecting evidence: the personal consequences of insufficient respect for structural equation model testing. *BioMed Central: Medical Research Methodology*, 14 (124), 1–10. doi:[10.1186/1471-2288-14-124](https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-124)
- Hayduk, L., Cummings, G., Boadu, K., Pazderka-Robinson, H. & Boulianne, S. (2007). Testing! testing! one, two, three – Testing the theory in structural equation models! *Personality and Individual Differences*, 42 (5), 841–850. doi:[10.1016/j.paid.2006.10.001](https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.10.001)
- Helmbold, N. & Rammsayer, T. H. (2006). Timing performance as a predictor of psychometric intelligence as measured by speed and power tests. *Journal of Individual Differences*, 27 (1), 20–37. doi:[10.1027/1614-0001.27.1.20](https://doi.org/10.1027/1614-0001.27.1.20)

- Hendrickson, D. E. & Hendrickson, A. E. (1980). The biological basis of individual differences in intelligence. *Personality and Individual Differences*, 1 (1), 3–33. doi:[10.1016/0191-8869\(80\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0191-8869(80)90003-3)
- 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)
- Jensen, A. R. (1982a). The chronometry of intelligence. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Bd. 1, S. 255–310). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jensen, A. R. (1982b). Reaction time and psychometric *g*. In H. J. Eysenck (Hrsg.), *A model for intelligence* (S. 93–132). Heidelberg, Deutschland: Springer.
- Jensen, A. R. (1987). Individual differences in the Hick paradigm. In P. A. Vernon (Hrsg.), *Speed of information-processing and intelligence* (S. 101–175). Norwood, NJ: Ablex.
- Jensen, A. R. (2006). *Clocking the mind: Mental chronometry and individual differences*. Oxford, England: Elsevier.
- Jensen, A. R. & Weng, L.-J. (1994). What is a good *g*? *Intelligence*, 18 (3), 231–258. doi:[10.1016/0160-2896\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0160-2896(94)90029-9)
- Johnson, W., Bouchard, T. J., Krueger, R. F., McGue, M. & Gottesman, I. I. (2004). Just one *g*: consistent results from three test batteries. *Intelligence*, 32 (1), 95–107. doi:[10.1016/S0160-2896\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(03)00062-X)



- Johnson, W., te Nijenhuis, J. & Bouchard, T. J. (2008). Still just 1 *g*: Consistent results from five test batteries. *Intelligence*, 36 (1), 81–95. doi:[10.1016/j.intell.2007.06.001](https://doi.org/10.1016/j.intell.2007.06.001)
- Jäger, A. O. (1984). Intelligenzstrukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau*, 35 (1), 21–35.
- Jäger, A. O., Süß, H.-M. & Beauducel, A. (1997). *Berliner Intelligenzstruktur-Test*. Göttingen, Deutschland: Hogrefe.
- 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)
- Kanazawa, S. (2010). Why liberals and atheists are more intelligent. *Social Psychology Quarterly*, 73 (1), 33–57. doi:[10.1177/0190272510361602](https://doi.org/10.1177/0190272510361602)
- 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:

Erlbaum.

- McGrew, K. S. (2005). The Cattell–Horn–Carroll theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Hrsg.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (2. Aufl., S. 136–181). New York, NY: Guilford Press.
- McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37 (1), 1–10. doi:[10.1016/j.intell.2008.08.004](https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.08.004)
- McIntosh, C. N. (2012). Improving the evaluation of model fit in confirmatory factor analysis: A commentary on Gundy, C.M., Fayers, P.M., Groenvold, M., Petersen, M. Aa., Scott, N.W., Sprangers, M.A.J., Velikov, G., Aaronson, N.K. (2011). Comparing higher-order models for the EORTC QLQ-C30. quality of life research, doi:[10.1007/s11136-011-0082-6](https://doi.org/10.1007/s11136-011-0082-6). *Quality of Life Research*, 21 (9), 1619–1621. doi:[10.1007/s11136-011-0084-4](https://doi.org/10.1007/s11136-011-0084-4)
- 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)
- Miller, E. M. (1994). Intelligence and brain myelination: A hypothesis. *Personality and Individual Differences*, 17 (6), 803–832. doi:[10.1016/0191-8869\(94\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0191-8869(94)90049-3)
- Murphy, K. R. & Davidshofer, C. O. (2005). *Psychological testing: Principles and applications* (6. Aufl.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard, T. J., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., ... Urbina, S. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *American Psychologist*, 51 (2), 77–101. doi:[10.1037/0003-066x.51.2.77](https://doi.org/10.1037/0003-066x.51.2.77)
- Neubauer, A., Freudenthaler, H. H. & Pfurtscheller, G. (1995). Intelligence and spatiotemporal patterns of event-related desynchronization (ERD). *Intelligence*, 20 (3), 249–266. doi:[10.1016/0160-2896\(95\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0160-2896(95)90010-1)
- Neubauer, A. C. (1991). Intelligence and RT: A modified Hick paradigm and a new RT paradigm. *Intelligence*, 15 (2), 175–193. doi:[10.1016/0160-2896\(91\)90029-D](https://doi.org/10.1016/0160-2896(91)90029-D)
- Neubauer, A. C., Bauer, C. & Höller, G. (1992). Intelligence, attention, mo-

- tivation and speed-accuracy trade-off in the Hick paradigm. *Personality and Individual Differences*, 13 (12), 1325–1332. doi:[10.1016/0191-8869\(92\)90175-O](https://doi.org/10.1016/0191-8869(92)90175-O)
- Neubauer, A. C. & Knorr, E. (1997). Elementary cognitive processes in choice reaction time tasks and their correlations with intelligence. *Personality and Individual Differences*, 23 (5), 715–728. doi:[10.1016/S0191-8869\(97\)00108-6](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(97)00108-6)
- 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)
- Pahud, O. (2016). *Cash Money Bling Bling #RIPdiss* (Unveröffentlichte Dissertation). Institut für Psychologie, Universität Bern, Schweiz.
- 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)
- Rammsayer, T. H. & Troche, S. J. (2010). Effects of age and the relationship between response time measures and psychometric intelligence in younger adults. *Personality and Individual Differences*, 48 (1), 49–53. doi:[10.1016/j.paid.2009.08.013](https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.08.013)
- 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>
- Rinker, T. W. & Kurkiewicz, D. (2015). pacman: Package management for R (Version 0.4.1) [Software]. Verfügbar unter <http://github.com/>

[trinker/pacman](#)

- 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](#)
- 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](#)
- Salgado, J. F., Anderson, N., Moscoso, S., Bertua, C., de Fruyt, F. & Rolland, J. P. (2003). A meta-analytic study of general mental ability validity for different occupations in the European community. *Journal of Applied Psychology*, 88 (6), 1068–1081. doi:[10.1037/0021-9010.88.6.1068](#)
- 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.
- Schermelleh-Engel, K. & Werner, C. (2007). Methoden der Reliabilitätsbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 114–133). Heidelberg, Deutschland: Springer.
- Schweizer, K. (2006). The fixed-links model in combination with the polynomial function as a tool for investigating choice reaction time data. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 13 (3), 403–419. doi:[10.1207/s15328007sem1303\\_4](#)
- 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](#)
- Schweizer, K. (2011). Scaling variances of latent variables by standardizing loadings: Applications to working memory and the position effect. *Multivariate Behavioral Research*, 46 (6), 938–955. doi:[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>
- Spearman, C. (1904). "General intelligence," objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15 (2), 201–292. doi:[10.2307/1412107](https://doi.org/10.2307/1412107)
- Spearman, C. (1927). *The abilities of man*. London, England: Macmillan.
- 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)
- Sternberg, R. J. & Berg, C. A. (1986). Quantitative integration: Definition of intelligence: A comparison of the 1921 and 1986 symposia. In R. J. Sternberg & D. K. Detterman (Hrsg.), *What is intelligence? Contemporary viewpoints on its nature and definition* (S. 155–162). Norwood, NJ: Ablex.
- Sternberg, R. J. & Kaufman, J. C. (1998). Human abilities. *Annual Review of Psychology*, 49 (1), 479–502. doi:[10.1146/annurev.psych.49.1.479](https://doi.org/10.1146/annurev.psych.49.1.479)
- 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)
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- 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)
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2015). MASS: Support functions and datasets for Venables and Ripley’s mass (Version 7.3-45) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=MASS>
- Vernon, P. A. (1983). Speed of information processing and general intelligence. *Intelligence*, 7 (1), 53–70. doi:[10.1016/0160-2896\(83\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(83)90006-5)
- Vernon, P. E. (1950). *The structure of human abilities*. London, England: Methuen.
- 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 Indivi-*

- dual 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. (2016). ggplot2: An implementation of the grammar of graphics (Version 2.1.0) [Software]. Verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=ggplot2>
- 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.
- Zuckerman, M., Silberman, J. & Hall, J. A. (2013). The relation between intelligence and religiosity: A meta-analysis and some proposed explanations. *Personality and Social Psychology Review*, 17 (4), 325–354. doi:[10.1177/1088868313497266](https://doi.org/10.1177/1088868313497266)





# 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 Daten der sieben ersten getesteten Vpn wurde in Absprache mit Duje Tadin entschieden, den Kontrast der Aufgabe 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 (für den Zusammenhang zwischen Kontrast und Wahrnehmungsleistung siehe [Tadin et al., 2003](#)). Den restlichen Vpn wurde die Aufgabe folglich mit einem Kontrast von 99 % dargeboten und die Daten der ersten sieben Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Der Code, welcher die Darbietungszeiten generierte, hatte eine festcodierte Darbietungszeitlimite von 1000 ms. Immer wenn der adaptive Algorithmus des QUEST-Verfahrens ([Watson & Pelli, 1983](#)) eine Darbietungszeit von  $> 1000$  ms ermittelte, wurde den Vpn deshalb der Stimulus mit

einer Darbietungszeit von exakt 1000 ms präsentiert. Die Daten von 12 Vpn mussten vor der Analyse entfernt werden, weil sie bei den sechs Schätzungen der 82 %-Erkennungsschwelle innerhalb einer Mustergrösse mehr als ein Mal eine 82 %-Erkennungsschwelle von  $> 1000$  ms erzielt hatten. Dasselbe Ausschlussverfahren verwendeten auch [Melnick et al. \(2013\)](#).

Die Daten von zwei Vpn wurden von der Analyse ausgeschlossen, weil sie verglichen mit den restlichen Vpn in der  $1.8^\circ$ -Bedingung eine gemittelte 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle hatten, die über das dreifache der *SD* der 82 %-log<sub>10</sub>-Erkennungsschwelle der Gesamtstichprobe betrug. Diese drei Vpn wurden nicht zur Grundpopulation gezählt und vor der Analyse entfernt.

### 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 ([Jäger et al., 1997](#)) 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	99	-2	-2
	Spatial-Suppression-Aufgabe	182	-21	-24	88	-10	-12
	BIS-Test	177	-5	-29	86	-2	-14
Analysiert	-	177			86		

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

## B Anhang

Dieser Anhang beinhaltet Ergebnisse der Deskriptiv- und Inferenzstatistik, welche sich bei der Anwendung nonparametrischer Analyseverfahren ergeben haben. Die Ergebnisse dieser nonparametrischer Analyseverfahren wichen nicht bedeutend von den mit parametrischen Verfahren ermittelten Ergebnissen ab (vgl. Abschnitt 3.1).

### B.1 Spatial-Suppression-Aufgabe

Um zu prüfen, ob die experimentelle Manipulation (die Musterrösse) einen Einfluss auf die abhängige Variable (die 82 %-Erkennungsschwelle) ausübte, wurde ein Friedman-Test durchgeführt. Der Globaltest hat gezeigt, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungen signifikant 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.

### B.2 Hick-Aufgabe

Um zu testen, ob die experimentelle Manipulation (die Anzahl an Antwortalternativen) einen Einfluss auf die abhängige Variable (die Reaktionszeit) ausübte, wurde ein Friedman-Test durchgeführt. Der Globaltest belegte, dass die Unterschiede zwischen den Bedingungen signifikant waren,  $\chi^2(3) = 516.12$ ,  $p < .001$ . 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 unterscheiden (alle  $ps < .001$ ).

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

Die Zusammenhänge der Subtests wurden mit Spearmans Rangkorrelationen bestimmt und sind in Tabelle A2 unterhalb der Diagonale abgetragen. Oberhalb der Diagonale sind die Differenzen zwischen den Produkt-Moment-Korrelationen und Spearmans Rangkorrelationen abgetragen.

### **B.4 Zusammenhangsmasse**

Die Zusammenhänge der Subtests wurden mit Spearmans Rangkorrelationen bestimmt und sind in Tabelle A3 unterhalb der Diagonale abgetragen. Oberhalb der Diagonale sind die Differenzen zwischen den Produkt-Moment-Korrelationen und Spearmans Rangkorrelationen abgetragen.

Tabelle A2

*Spearman's Rangkorrelationen (unterhalb der Diagonale) zwischen den Subtests des BIS-Test. Oberhalb der Diagonale sind die Differenzen zwischen der Produkt-Moment-Korrelation und Spearman's Rangkorrelation abgetragen*

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).

Tabelle A3  
*Spearman's Rangkorrelationen (unterhalb der Diagonale) 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. Oberhalb der Diagonale sind die Differenzen zwischen der Produkt-Moment-Korrelation und Spearman's Rangkorrelation abgetragen*

Mass	Spatial-Suppression-Aufgabe					Hick-Aufgabe				BIS-Test	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 1.8°		.01	.00	-.01	.05	.05	.06	.01	.07	-.02	-.01
2 3.6°	.84***		.01	-.04	.02	.05	.05	-.03	.04	-.05	-.02
3 5.4°	.73***	.86***		-.01	.08	.09	.10	.01	.10	-.07	-.06
4 7.2°	.55***	.76***	.88***		.13	.02	.07	.00	.08	-.06	-.06
5 SI	-.33***	.03	.26***	.53***		.00	.05	.02	.05	-.04	-.03
6 0-bit	.12	.19**	.16*	.12	.01		.04	.06	.12	-.04	-.04
7 1-bit	.03	.06	.03	.00	-.05	.72***		.01	.03	.05	.04
8 2-bit	.11	.11	.07	.04	-.08	.52***	.71***		.02	.03	.04
9 2.58-bit	.07	.05	.02	-.01	-.09	.40***	.63***	.81***		.03	.03
10 z-Wert	-.14	-.12	-.09	-.06	.04	-.15*	-.32***	-.31***	-.31***		.00
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).