



universität
wien

Diplomarbeit

Raumvorstellung und visuell-räumliches Arbeitsgedächtnis:
Eine vergleichende Analyse von originalen und
abgeänderten 3DW-Aufgaben

Ingeborg Marek

Angestrebter akademischer Grad
Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im August 2011

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Georg Gittler

Vorwort

Der Themenbereich der Raumvorstellung und des räumlichen Arbeitsgedächtnis von Univ.-Prof. Dr. Georg Gittler erweckte sofort Interesse, da gerade diese Thematik sehr gut in mein berufliches Umfeld passt. In den letzten Jahren ist die Berufsorientierung im Schulunterricht der 13- und 14-jährigen zunehmend zentraler in das Blickfeld der Bildungsdiskussionen gerückt. Die Schulform der Kooperativen Mittelschule setzt den Schwerpunkt auf Projekte, die das Thema Berufs- und Bildungslaufbahnorientierung beinhalten. Räumliches Vorstellungsvermögen, wie auch räumliches Arbeitsgedächtnis sind häufig gestellte Anforderungen vieler Berufe. So kann, der schon in Verwendung stehende 3DW-Test das Raumvorstellungsvermögen der SchülerInnen testen und darüber hinaus sollen die veränderten Aufgaben das räumliche Arbeitsgedächtnis der SchülerInnen überprüfen. Ob die neuartigen Aufgaben die Forderung nach Rasch-Homogenität erfüllen, sollte im Anschluss daran untersucht werden.

Für die unterstützende Betreuung möchte ich mich bei Univ.-Prof. Dr. Georg Gittler, sowie den Studienassistentinnen, Mag. Christiane Heider und Mag. Eva Adlmann, herzlich bedanken.

Spezieller Dank gilt meinen Kollegen und Freunden, besonders Dipl.-Päd. Gabrielle Huber, Dipl.-Päd. Maria Liebhart und Dipl.-Päd. Elisabeth Leisentritt, allen voran Direktor OSR Erich Steinbauer.

Ein besonderes Dankeschön geht an meine Familie, die mich stets motivierte durchzuhalten.

Vielen Dank!

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	9
THEORETISCHER TEIL	11
1. Räumliches Vorstellungsvermögen	13
1.1 Zum Begriff Raumvorstellung	13
1.2 Faktorenanalytische Ansätze	14
1.2.1 Phase I (1904 – 1938)	14
1.2.2 Phase II (1938 – 1961)	16
1.2.3 Phase III (1961 – 1982)	18
1.2.4 Phase IV (1982 – 2009)	19
1.3 Kognitivistische Ansätze	21
1.3.1 Die Komponententheorie	21
1.3.2 Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung	22
1.3.3 Kapazität des Arbeitsgedächtnis	22
2. Mentale Rotation	23
2.1 Experiment von Shepard & Metzler (1971)	23
2.2 Imagery – debate	25
2.3 Zerebrale Lateralisation	33
3. Räumliches Arbeitsgedächtnis	35
3.1 Was ist das Gedächtnis?	35
3.2 Kurzzeitgedächtnis	36
3.3 Arbeitsgedächtnis	37
3.3.1 Zentrale Exekutive	38
3.3.1.1 SAS – Modell	38
3.3.1.2 Baddeleys Modell der ZE	41
3.3.1.3 Modell von Logie (1995)	43
3.3.2 Episodischer Puffer	44

3.4	Visuell – räumlicher Notizblock (VSSP)	46
3.4.1	Visuell – räumliche Manipulation	47
3.4.2	Räumliche Kodierung (Brooks Matrix)	48
4.	Die Spezifität von räumlichem Arbeitsgedächtnis und räumlichem Vorstellungsvermögen	48
4.1	Visuelles Lernen	48
4.2	Räumliche Kognition	50
4.3	Räumlicher Prozess	51
5.	Räumliches Arbeitsgedächtnis bei Jugendlichen	52
5.1	Entwicklung des räumlichen Arbeitsgedächtnis	52
5.2	Individuelle Unterschiede	56
5.3	Genderspezifische Unterschiede	57
6.	Relevanz der Raumvorstellung	59
6.1	Raumvorstellung im Rahmen des Lehrplanes	59
6.2	Raumvorstellung im schulischen Bereich	60
6.3	Raumvorstellung im beruflichen Bereich	61
7.	Methodik	62
7.1	Das dichotome logistische Modell von Rasch	62
7.1.1	Modelldarstellung mit logarithmierten Parametern	63
7.1.2	Grafische Modellkontrolle	64
7.1.3	Signifikanztest	64
7.1.4	Likelihoodquotiententest nach Andersen (1973)	65
7.1.5	Martin – Löf – Test (1973)	65
7.1.6	Testkonstruktion nach dem Rasch Modell	65
7.1.7	Speed and Power	66
7.1.8	Erschöpfende Statistiken	66
7.1.9	Inhomogene Daten	67

EMPIRISCHER TEIL	69
8. Eingesetzte Testverfahren	73
8.1 Demografische Daten	73
8.2 Teil1: 3DW	74
8.3 Teil2: 3DW-m	76
9. Datenerhebung	78
9.1 Stichprobenbeschreibung	79
9.2 Kooperative Mittelschule	83
9.3 Deskriptivstatistik	83
10. Itemanalysen zur Rasch-Konformität (3DW/3DW-m)	86
10.1 Modellprüfungen 3DW	87
10.2 Modellprüfungen 3DW-m	90
10.3 Modellprüfungen Gesamttest	91
10.3.1 Globale Modellkontrollen	91
10.3.1.1 Stelzl (1979)	92
10.3.1.2 Martin – Löff – Test	92
10.3.1.3 Einzelitem als Teilungskriterium (Formann, 1981)	93
10.4 Diskussion zu Rasch – Ergebnissen	93
10.5 Reliabilitätsstatistik (3DW/3DW-m)	94
10.6 Bearbeitungszeiten	95
11. Zusätzliche Fragestellungen	98
11.1. <u>3DW</u> : Geschlechts- und Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS)	98
11.2 <u>3DW-m</u> : Geschlechts- und Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS)	99

11.3 Ergebnisse zu Raumvorstellung/räumliches Arbeitsgedächtnis und Berufsorientierung	100
11.4 Notenanalysen	101
11.4.1 Zusammenhänge zwischen Schulnoten und Scores	101
11.4.2 Zusammenhänge zwischen Leistungsgruppen und Scores	103
12. Zusammenfassung	105
Abstract	108
Literaturverzeichnis	109
Abbildungsverzeichnis	119
Tabellenverzeichnis	121
Lebenslauf	123

Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung neuartiger 3DW-Aufgaben zur Messung der Leistung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses. Als Basis dient der R a s c h - skalierte Dreidimensionale Würfeltest 3DW von Gittler (1990), der zur Messung des räumlichen Vorstellungsvermögens verwendet wird.

Schon seit Jahren ist der Trend erkennbar, dass vermehrt psychologische diagnostische Verfahren eingesetzt werden, um verschiedene Fähigkeiten zu erheben. Dazu gibt es eine Vielzahl verschiedener Tests mit unterschiedlichen Aufgabentypen. Das Ziel dieser Arbeit ist, ausgehend von den 3DW-Aufgaben, diese so zu verändern, dass visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisprozesse erhoben werden können. Dazu sollten diese Aufgaben räumliche Transformationen, wie Rotation, und Merkfähigkeit beinhalten. Erforderlich dabei ist, dass die veränderten Testaufgaben dem R a s c h - Modell entsprechen und nachweislich eine Dimension erheben. Gegebenenfalls sind auffällige Items nach „inhaltlich begründeter Selektionsstrategie“ herauszunehmen (Gittler, 1986, S. 386).

Theoretische Grundlage zum Raumvorstellungsvermögen lieferte die faktorenanalytische Raumvorstellungsforschung, die im Wesentlichen drei Faktoren, wie „Spatial Relations“ (S1), „Visualization“ (S2) und „Spatial Orientation“ (S3) identifizieren konnte. Bezüglich des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses werden diverse Gedächtnismodelle betrachtet. Anschließend erfolgt eine kurze Darstellung der hier zur Anwendung gekommenen Auswertungsverfahren.

Die Datenerhebung fand computerisiert in der 8. Schulstufe der Kooperativen Mittelschulen statt und erlaubte darüber hinaus auch Untersuchungen verschiedener Zusammenhänge bezüglich Geschlecht, Alter, Muttersprache, Schultyp und Berufsorientierung. Abschließend erfolgten Notenanalysen.

Bezüglich der neu entwickelten Aufgaben wurden erste testtheoretische Überprüfungen vorgenommen.

THEORETISCHER TEIL

1. Räumliches Vorstellungsvermögen

1.1 Zum Begriff Raumvorstellung

Raumvorstellung wurde so unterschiedlich definiert, dass bis heute keine einheitliche Begriffsklärung vorliegt. So wurde Raumvorstellung vielfältig im Hinblick auf individuelle Unterschiede betrachtet, einerseits bei der Bearbeitung nicht-sprachlicher Informationen und andererseits in der Darstellung der Leistung von Raumvorstellungstests. Das Problem der Definition wurde noch komplizierter bezüglich der Unterschiede in Methode und Maßstäbe, die benutzt wurden, um Raumvorstellung zu studieren.

Eliot und Smith (1983) gliederten die Geschichte der Bemühungen Raumvorstellung zu definieren in drei Phasen. In der ersten Phase (1904-1938) wurde der Beweis für und gegen die Existenz eines räumlichen Faktors erforscht. In der zweiten Phase (1938-1961) erfolgte der Versuch, das Ausmaß zu untersuchen, wie weit sich räumliche Faktoren gegenseitig voneinander unterscheiden. Und in der dritten Phase (1961-1982) sollte der Versuch unternommen werden, den Status der Raumvorstellung innerhalb des komplexen Zusammenhangs von anderen Faktoren zu bestimmen (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 1).

Die moderne Version einer Definition mithilfe eines psychologischen Lexikons aus dem Internet beschreibt Raumvorstellungsfähigkeit

„auch: räumliche Fähigkeit, Raumvorstellung, *spatial ability*; die Begabung, in der Vorstellung räumlich zu sehen und zu denken, d.h. im Gedächtnis gespeicherte mehrdimensionale Vorstellungsbilder zu reproduzieren und mit ihnen mental zu operieren. Bei der Raumvorstellung handelt es sich um eine eigenständige intellektuelle Fähigkeit mit interindividueller Variation wie beim logisch-schlussfolgernden Denken, beim Umgang mit sprachlichem Material und bei der Fähigkeit, rasch und exakt wahrzunehmen.“¹

¹ <http://www.psychology48.com/deu/d/raumvorstellungsfahigkeit/raumvorstellungsfahigkeit.htm> (27.08.2009)

1.2 Faktorenanalytische Ansätze

1.2.1 Phase I (1904-1938)

Der geschichtliche Rückblick reicht eigentlich noch weiter zurück, denn die ersten Studien von Raumvorstellung lassen sich schon in Galton's (1883) Ermittlungen von bildlichen Darstellungen finden.

Dennoch kann das von Eliot und Smith (1983) festgelegte Jahr 1904 als guter Ausgangspunkt angesehen werden, da es das Jahr war, in welchem der Engländer Spearman (1904) seine Zweifaktorentheorie präsentierte. Seiner Meinung nach konnte in jedem Intelligenztest ein Generalfähigkeitsfaktor G und mehrere spezifische Gruppenfaktoren S beobachtet werden. Faktor G repräsentiert die gemeinsamen Fähigkeiten und Faktor S die speziellen (z.B. räumliche) Fähigkeiten. Spearman untersuchte den Gruppenfaktor räumliche Fähigkeit mit einer Korrelationsmatrix. Die sich daraus entwickelte "*Spearman's Tetrad-differences method*" diente als Basis für viele Forschungen früherer Wissenschaftler.

Zu einem ähnlichen Zeitpunkt (1908) stellten Binet und Simon ihre *Scales of Intelligence* vor, wo hauptsächlich Leistungstests enthalten waren mit verbalen, literarischen oder akademischen Hintergrund. Allerdings kam es beim Testen von Versuchspersonen zur Kritik, besonders dann, wenn die Personen Probleme mit der Sprache oder Ausdrucksschwierigkeiten hatten. Solche Beschwerden führten zu einem Anstieg der Entwicklung von sprachfreien Tests.

1918 initiierte die U.S. Armee ein groß angelegtes Testprogramm, welches eine systematische Untersuchungsmethode für das Militärpersonal enthielt. Es wurden zwei Testbatterien *Examination Alpha* und *Examination Beta* für dieses Programm entwickelt. *Examination Alpha* enthielt verbales Material und *Examination Beta* wurde entwickelt für Probanden, die Schwierigkeiten mit der Sprache hatten. Diese Untersuchung enthielt eine Vielzahl von Leistungsaufgaben, wie Würfelaufgaben, geometrische Konstruktionen und Labyrinth Aufgaben, die zuerst in Einzeltestung bearbeitet wurden. Die Entwicklung von Gruppentests war ein wirtschaftlicher Schritt. Nach dem Ersten Weltkrieg wurde eine Anzahl von Papier-Bleistift-Versionen der *Examination Beta* als Gruppentest veröffentlicht (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 2).

Daran anschließend erstellte El Koussy (1935) eine Batterie von Tests und verteilte diese an 162 Buben zwischen 11 und 13 Jahren. Er benutzte eine Modifikation von Spearman's "*Tetrad-differences*" Technik und partialisierte den Einfluss des Generalfaktors aus der Tabelle der Interkorrelationen. Obwohl er „*no evidence for a group factor running through the whole field of spatial perception*“ fand, entdeckte er einen Anhaltspunkt für einen Gruppenfaktor und nannte ihn "K". El Koussy schloss daraus, basierend auf den Tests (*Memory of Designs*), dass dieser Faktor "K" „*the ability to obtain and the facility to utilize visual spatial imagery*“ repräsentierte (El Koussy, 1935, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 3). Diese "K-Tests" stellten Anforderungen an räumliche Vorstellung und die Fähigkeit diese zu manipulieren. El Koussy's Studie zeigte die ersten Anhaltspunkte für die Existenz von einem Gruppenfaktor für räumliche Fähigkeit.

Thurstone (1931) führte eine "*multiple-factor methodology*" ein, welche es möglich machte, statistisch eine Anzahl von Faktoren zu entdecken. Er kam zu der Annahme, dass menschliche Intelligenz aus vielen unabhängigen Faktoren zusammengesetzt war. 1938 veröffentlichte Thurstone seine groß angelegte Studie. Dafür entwickelte er 56 Tests, die er an 218 Collegestudenten oder Collegeabgängern verteilte. Unter Verwendung seiner Multiplen Faktorenmethode extrahierte er unter anderem einen Faktor, den er *space* nannte und definierte ihn als „*requiring a facility in spatial or visual imagery*“. Dabei dachte er, dass wichtige Charakteristiken dieser Tests „*facility in holding a mental image and mentally, twisting, turning, or rotating it to a different position and then matching this transformed image with a suggested solution*“ darstellen (Thurstone, 1931, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 3).

El Koussy's (1935) Identifikation eines "K"-Faktors und Thurstone's (1938) Studie von "*primary mental abilities*" kennzeichneten das Ende der ersten Phase. Ihre Studien bewiesen die Existenz von einem räumlichen Faktor.

1.2.2 Phase II (1938-1961)

Während Thurstone's (1938) Studie als Ende der ersten Phase betrachtet werden konnte, wurde sie auch gleichzeitig, mit dem Bestreben den Umfang in welchem sich räumliche Faktoren voneinander unterscheiden, als Beginn der zweiten Phase gesehen.

Thurstone und Thurstone (1941) führten eine weitere Studie an unterschiedlichen Gruppen von 18-jährigen Versuchspersonen durch, analysierten die Ergebnisse wieder mit Faktorenanalyse und kamen zu denselben "*seven primary mental abilities*", wie sie schon 1938 extrahiert wurden. Diese waren V (*verbal*), R (*reasoning*), N (*numerical*), S (*spatial*), W (*word fluency*), M (*memory*) und P (*perceptual speed*), (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 4).

Mit dem Beginn des Zweiten Weltkrieges wurden auf beiden Seiten des Atlantiks neue Maßstäbe für die Selektion von Militärpersonal benötigt. Dies bezog sich besonders auf die Klassifikation von Männern, die in der Lage waren Flugzeuge zu fliegen. Zu diesem Zweck wurden viele neue Tests erfunden. So wurde in den USA der erste haltbare Hinweis auf die Existenz von **räumlichen Faktoren** gefunden. Um eine bessere Übersicht der Forschungsberichte zu erhalten, erfolgt die Aufteilung in:

Berichte mit zwei Faktoren

- 1) Einige der Tests untersuchten "*spatial relation*", die anderen "*visualization*". Von Guilford und Lacey (1947) wurde "*spatial relation*" als „*ability to determine the relationships between different spatially-arranged stimuli and responses, and the comprehension of the elements within a visual stimulus pattern*“ und "*visualization*" als „*ability to imagine the rotation of depicted objects, the folding and unfolding of flat patterns, and the relative changes of position of objects in space*“ angesehen (Guilford & Lacey, 1947, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 4).
- 2) Der Forschungsbericht von Thurstone und Thurstone (1949) beschrieb „*Space Factor S1*“ und „*Space Factor S2*“ (Thurstone & Thurstone, 1949, S. 18, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 4).

Berichte mit drei Faktoren

- 1) Anschließend erbrachte J. W. French (1951) den Beweis für die Existenz von mindestens drei separaten räumlichen Faktoren.
 1. *Spatial factor*: „an ability to perceive spatial patterns accurately and to compare them with each other“
 2. *Orientation*: „the ability to remain unconfused by the varying orientations in which a spatial pattern may be presented“
 3. *Visualization*: „an ability to comprehend imaginary movement in three-dimensional space or to manipulate objects in imagination“ (French, 1951, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 4).
- 2) Ungefähr zur selben Zeit präsentierte Thurstone (1950) seinen dritten Faktor und unterschied nun zwischen „*Spatial Relations*“ (S1), „*Visualization*“ (S2) und „*Spatial Orientation*“ (S3) (Gittler, 1990, S. 10).
- 3) In England stellte Vernon (1950) sein Modell, aufbauend auf Spearman's Generalfaktorenmodell vor (siehe Abbildung 1). Sein Modell bestand einerseits aus einem Generalfaktor G und andererseits aus einem bipolaren Faktor, der verbale Fähigkeiten V auf dem einen und räumliche Fähigkeiten S auf dem anderen Extrem beinhaltet. Der Verbalfaktor schließt numerische und bildnerische Unterfaktoren ein, während der räumliche Faktor mechanische und praktische Unterfaktoren inkludiert (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 443).

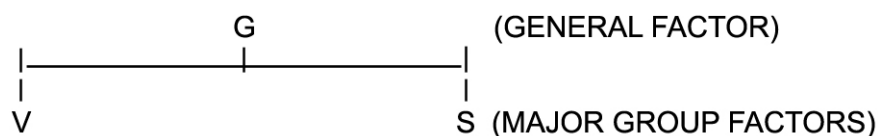


Abbildung 1. Das Modell nach Vernon (1950); (in Eliot & Smith, 1983, S. 443)

Am Ende dieser Phase war die Situation ziemlich unübersichtlich, allein durch die Tatsache, dass ähnliche Faktoren unterschiedlich benannt wurden und umgekehrt.

1.2.3 Phase III (1961-1982)

Guter Startpunkt ist Werdelin's (1961) Studie mit geometrischen und räumlichen Faktoren, die an Hochscholstudenten durchgeführt wurde. Er fand Faktoren, bei denen er dachte, sie wären äquivalent zu Thurstone's S1- und S2-Faktoren. Allerdings ergaben sich Unterschiede zwischen Burschen und Mädchen. Auf geschlechts- und altersabhängige Differenzen wird später noch genauer eingegangen.

Ein weiterer Aspekt dieser Phase ist die Präsentation von unterschiedlichen Modellen. Guilford (1967, 1971) veröffentlichte eine dreidimensionale Struktur eines Intelligenzmodells. Räumliche Fähigkeit wurde nicht länger als eine Gemeinschaft von zusammenhängenden Faktoren angesehen, sondern wurde mithilfe von Tests gemessen, die unterschiedliche Kombinationen von Operationen, Inhalten und Produkten beinhaltet. Guilford demonstrierte sein Modell mit räumlichen Tests, sogenannte CFT (*Cognitive operation, Figural content, Transformational product*) Tests. Ein *Block Rotation* Test ist ein Beispiel für einen solchen CFT-Test (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 6).

Guilford Strukturintelligenzmodell löste eine Anzahl von alternativen Modellen aus, beispielsweise das Modell von Cattell (1971). Sein Konzept ist einfacher und sieht insgesamt drei oder vier Faktoren vor (vgl. Rost, 2006, S. 275).

Im Jahre 1979 wurden gleich zwei Studien mit zwei bzw. drei Faktoren präsentiert.

Berichte mit zwei Faktoren

McGee (1979) beharrte auf zwei Faktoren „*orientation and visualization*“. Er beschrieb räumliche Visualisierung als „*the ability mentally to rotate, manipulate and twist two- and three-dimensional stimulus objects*“ (McGee, 1979, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 447). Jedoch sahen viele Autoren diese Definition über mentale Rotation oder Drehung eher der räumlichen Orientierung zugehörig. Smith hielt aber lange an seiner Meinung fest, dass sowohl der *visualizations factor* (Wahrnehmung, Beibehalten oder Wiedererkennung einer Anordnung, Muster oder Gestalt als organisiertes Ganzes), als auch der *orientation factor* (mentale Manipulation) beinhaltet. Allerdings bezieht sich der *orientation factor* nur auf die mentale Manipulation derselben Gestalt und nicht auf die Unterscheidung zwischen verschiedenen Formen (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 447).

Berichte mit drei Faktoren

Lohmann (1979) berichtete in seinen Ergebnissen einer systematischen Re-Analyse von faktorenanalytischen Studien vieler hier schon namhaft erwähnten Autoren, über drei bedeutende räumliche Hauptfaktoren. So definierte er den „*spatial relations*“ Faktor, der die Leistung der mentalen Rotation von Figuren oder Objekten beschreibt. Weiters den „*spatial orientation*“ Faktor, der die Fähigkeit der Vorstellung beschreibt, wie ein Motiv in unterschiedlichen Perspektiven erscheinen würde. Der „*visualization*“ Faktor, war ein Komplex der beiden anderen Faktoren. Neben diesen drei Hauptfaktoren fand Lohmann einige geringfügige Faktoren, diese erschienen, wenn sehr ähnliche Aufgaben in einer Testbatterie inkludiert waren. Sie waren definiert durch Leistungsaufgaben, die visuelle „*Memory*“, Abgleichungsgeschwindigkeit visueller Reize, Geschwindigkeit in der Links-Rechts-Diskrimination u. ä. hervorhoben (Lohmann, 1979, zit. n. Eliot & Smith, 1983, S. 8).

Zusammenfassend ließ sich auch in diesem Zeitabschnitt keine endgültige Charakterisierung räumlicher Fähigkeit finden. Allerdings durch Einführung von Computergrafik und Verfügbarkeit von Computertechnologien konnte die Konstruktion und Präsentation grundlegend verändert werden.

1.2.4 Phase IV (1982-2009)

Viele Erkenntnisse wurden nun aufgegriffen und erweitert. Nach dem ersten hierarchischen Modell von Vernon (1950) entwickelte ein Student von Cattell, John Horn, eine Theorie in seiner Dissertation, indem er nicht nur die Faktoren zweiter Ordnung Gf (fluide Intelligenz) und Gc (kristallisierte Intelligenz) enthüllte, sondern ebenso allgemeine Visualisierungs- und Geschwindigkeitsfaktoren (Horn & Cattell, 1967, 1982). Weitere Studien von Horn, Cattell und andere haben die Gf-Gc Theorie verfeinert. Beispielsweise enthüllte eine beeindruckende Studie durch Hakistan und Cattell (1978) sechs Faktoren zweiter Ordnung, nicht nur Gf und Gc, sondern Gv (*Visualization Capacity*), Gps (*General Perceptual Speed*), Gm (*General Memory Capacity*) und Gr (*General Retrieval Capacity*).

In seinem Hauptwerk verband Cattell (1971) die Gf-Gc-Theorie in eine neue, viel allgemeinere Theorie – die *triadic theory*, in welcher er vorschlug, kognitive Fähigkeiten in drei Arten zu gliedern, *capacities*, *provincial powers* und *agencies*. Cattell setzte weitere Dimensionen voraus, u. a. die Beteiligung von *experiential-*

cultural dimensions und *neural-organization dimensions*, so wie ein gewisses Maß an Komplexität, Memory und Geschwindigkeit.

Das Cattell-Horn Modell, welches Horn (1985, 1988) zusammenfassend darstellte, war ein echtes hierarchisches Modell, das alle Hauptbereiche intellektueller Fähigkeiten abdeckte (vgl. Carroll, 1993, S. 62).

Zu den Faktorenmodellen der jüngsten Zeit zählt das hierarchische Konzept des Berliner Intelligenzmodells (BIS) von Jäger (Jäger, Süß & Beauducel, 1997). In diesem Modell wird zwischen einer Inhalts- und einer Operationsmodalität unterschieden (vgl. Abbildung 2).

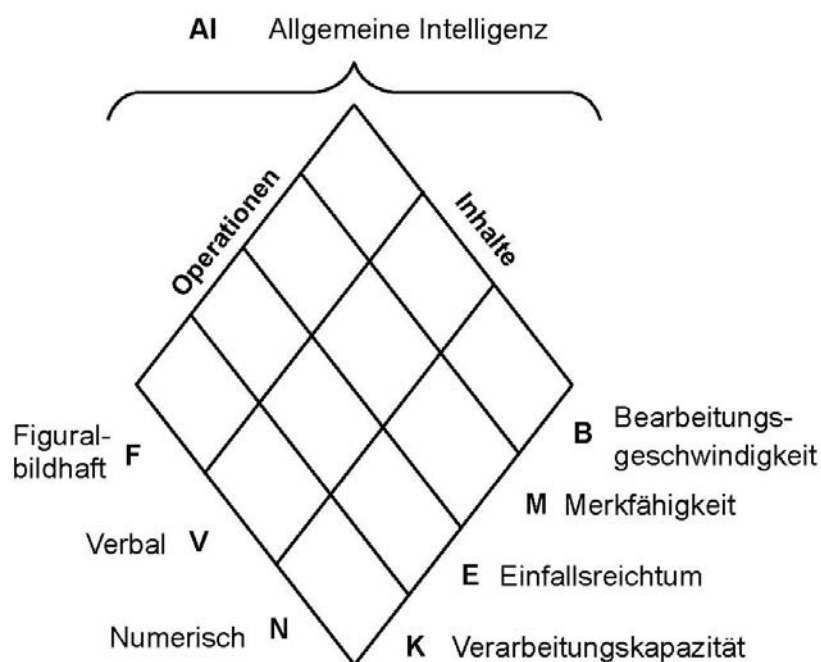


Abbildung 2. Das Berliner Intelligenzmodell von Jäger et al. (1997)

Bei Inhalten wird zwischen verbalen Komponenten (sprachgebundenes Denken) auch numerische (zahlengebundenes Denken) und **figural-bildhafte** Komponenten (anschauungsgebundenes Denken) differenziert. Hingegen werden die vier Operationen (Bearbeitungsgeschwindigkeit, Gedächtnis, Einfallsreichtum und Verarbeitungskapazität) für die Bearbeitung einer bestimmten Aufgabe benötigt. Durch Kreuzkombinationen (Jäger, 1984) können Intelligenzleistungen von Personen genau beschrieben werden (vgl. Krapp & Weidemann, 2006, S. 240).

1.3 Kognitivistische Ansätze

Klauer (2006) unterscheidet als mögliche Ansätze: die Komponententheorie, die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und die Arbeitsgedächtniskapazität (vgl. Rost, 2006, S. 276).

1.3.1 Die Komponententheorie

Sternberg (1977) benützte ausschließlich kognitive Annäherungen um intellektuelle Prozesse beim Lösen komplexer Aufgaben zu untersuchen. Sein Ziel war es herauszufinden, warum Versuchspersonen Analogien, Zahlen- oder Figurenreihen und Syllogismen unterschiedlich lösen. Dabei nahm er Aufgaben konventioneller Intelligenztests und isolierte die Komponenten der Intelligenz – die mentalen Prozesse und Strategien, die beim Ausführen dieser Aufgaben angewendet werden. Das Ergebnis dieser Analyse (vgl. Abbildung 3) weist darauf hin, dass Versuchspersonen Analogien und ähnliche Aufgaben durch mehrere Komponentenprozesse, „(1) *encoding the terms of the problem*; (2) *inferring relations among at least some of the terms*; (3) *mapping the inferred relations to other terms, which would presumed to show similar relations*; and (4) *applying the previously inferred relations to the new situations*“ lösen (Sternberg, 1977, zit. n. Sternberg, 1996, S. 471).

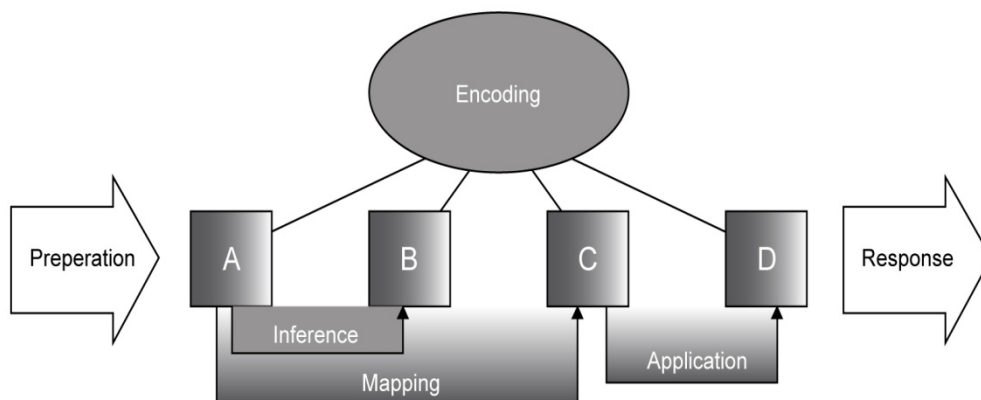


Abbildung 3. Die Komponententheorie nach Sternberg (1977)

Sternberg (1981) fand signifikante Korrelationen zwischen Geschwindigkeit und Ausführung der Aufgaben. Dabei machte er die verblüffende Entdeckung, dass

Versuchspersonen, die bei traditionellen Intelligenztests höhere Punktwerte erreichen, längere Zeit beim Enkodieren benötigen, als Personen mit einer niederen Anzahl. Es zeigte sich, dass intelligentere Versuchspersonen länger brauchten während *global planning*, d. h. Enkodieren eines Problems und Formulieren einer allgemeinen Strategie. Jedoch wenden sie weniger Zeit für *local planning*, d. h. Ausbilden und Ausführen dieser Strategie an den Details dieser Aufgaben auf (vgl. Sternberg, 1996, S. 471).

1.3.2 Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung

Wie schon zuvor erwähnt, wurde der Ansatz hinsichtlich der Geschwindigkeit bei der Informationsverarbeitung unter anderem von Oswald und Roth (1978) erneut aufgegriffen. Sie orientierten sich an der Erkenntnis von Hick (1952), der einen linearen Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit im Wahlreaktionsexperiment und dem Informationsgehalt des Stimulus entdeckt hatte (Hick'sches Gesetz): Je komplexer der Stimulus, auf den zu reagieren ist, desto länger wird die Reaktionszeit.

Aber nicht nur die Variante der Wahlreaktionen wurde als Indikator herangezogen, sondern die Variante der *short term memory scanning* – Aufgabe von Sternberg (1969), die Variante der Buchstabenvergleichsaufgaben von Posner (Posner, Boies, Eichelman & Taylor, 1969) und verschiedene Varianten von visuellen Inspektionszeitaufgaben wurden bekannt. In allen Fällen konnten geringfügige systematische Zusammenhänge festgestellt werden.

Nach Klauer wären zwei Möglichkeiten denkbar: Einerseits führt das höhere Tempo elementarer Operationen zu einer höheren Intelligenz. Umgekehrt könnten aber anspruchsvollere geistige Operationen, wie kognitive Strategien, in elementare Operationen eingreifen und deren schnelleren Ablauf ermöglichen (vgl. Rost, 2006, S. 277).

1.3.3 Kapazität des Arbeitsgedächtnisses

Gerade in den letzten Jahren wurde versucht Beweise zu erbringen, dass allgemeine Intelligenz in enger Beziehung zur Kapazität des Arbeitsgedächtnisses steht. Naheliegend ist die Schlussfolgerung, wenn eine Vielfalt von Gesichtspunkten einer komplexen Aufgabe berücksichtigt wird, eine höhere Verarbeitungskapazität nötig ist. In einer bemerkenswerten Untersuchung konnten

Kyllonen und Christal (1990), eben diese Zusammenhänge zwischen *reasoning* und Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nachweisen. Genauere Darstellungen des Arbeitsgedächtnisses erfolgen im Kapitel 3.1 (vgl. Rost, 2006, S. 277).

2. Mentale Rotation

Bereits 1996 beschäftigte sich Anderson mit den Theorien zur Wissensrepräsentation, vor allem der Verarbeitung von Information. So geht er von der Situation aus, wo wir vor "unserem geistigen Auge" Bilder entstehen lassen können, wenn wir an vergangene Szenen oder früher wahrgenommene Objekte denken. Diese anschaulichen Vorstellungen, auch mentale Bilder genannt, werden häufig mit der Theorie von dualer Kodierung von Paivio (1971, 1986) in Verbindung gebracht. Seine Erkenntnisse beruhen auf Untersuchungen des menschlichen Gedächtnisses, bei denen sich zeigte, dass bildhaftes Material besser behalten wird, als verbales. Besonderes Hauptaugenmerk liegt hier auf der Verarbeitung visueller Information im Gegensatz zu räumlicher Information (vgl. Anderson, 1996, S. 108).

2.1 Experiment von Shepard & Metzler (1971)

Eines der klassischsten Experimente zur mentalen Rotation ist das von Shepard und Metzler (1971). Die Probanden wurden angewiesen, Paare zweidimensionaler Darstellungen dreidimensionaler Objekte zu beobachten, ähnlich wie in Abbildung 4 zu sehen ist. Die Versuchspersonen mussten nun herausfinden, ob die beiden Objekte, von ihrer räumlichen Ausrichtung abgesehen, identisch sind. Dies trifft auf Abbildung 4a und 4b zu. Die Abbildung 4c stellt eine Fehlpaarung dar. In der Abbildung 4a unterscheiden sich die Objekte durch eine Drehung um 80° in der Bildebene und in der Abbildung 4b durch eine Drehung um 80° in der Bildtiefe. Bei Abbildung 4c ist es nicht möglich, die beiden Objekte durch eine Rotation zur Deckung zu bringen (Metzler & Shepard, 1974).

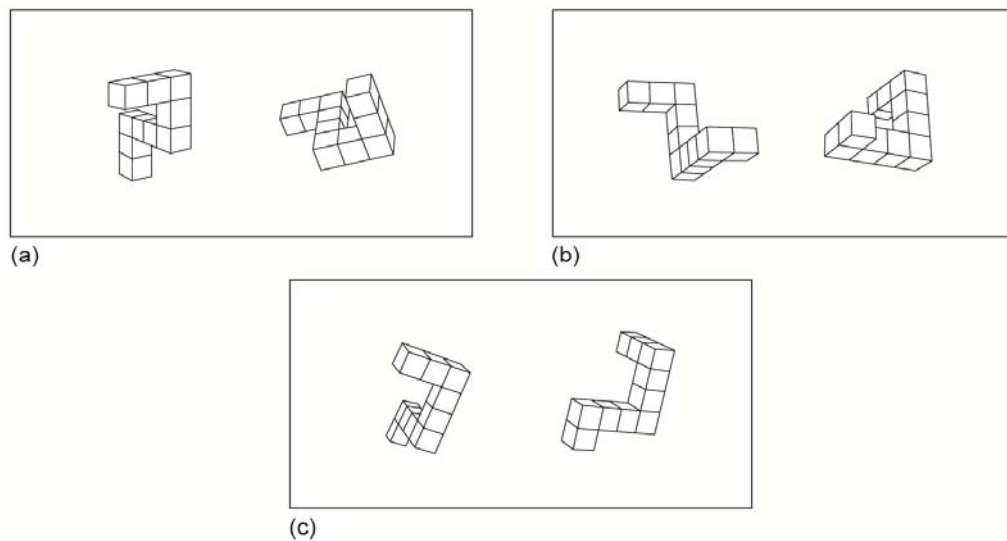


Abbildung 4. Experiment von Metzler und Shepard (1974)

Danach meinten die Versuchspersonen auf die ersten beiden Fälle (4a, 4b) bezogen, sie erreichten die Übereinstimmung der Objekte, indem sie eines der Objekte in der Vorstellung so weit drehten, bis es mit dem anderen Objekt zur Deckung kam.

In den dargestellten Funktionen (Abbildung 4.1.a und Abbildung 4.1.b) sind jeweils lineare Zusammenhänge zwischen Reaktionszeiten und Winkeldisparität erkennbar. Da beide Funktionen sehr ähnlich sind, kann daraus geschlossen werden, dass eine Rotation in die Bildtiefe (drei Dimensionen) anscheinend nicht mehr Zeit benötigt, als eine Rotation in der Bildebene und „jede Zunahme des Rotationswinkels geht mit einer proportionalen Erhöhung der benötigten Reaktionszeit einher“ (Anderson, 1996, S. 109).

Der Unterrichtsgegenstand Geometrisches Zeichnen beginnt in der 7. Schulstufe der Hauptschule, Kooperativen Mittelschule, Neue Mittelschule und AHS-Unterstufe. Genau diese Abbildung 4 wird in dem häufig verwendeten Arbeitsbuch für die 3. Klasse „Geometrische Bilder“ von Felzmann, Weidinger, Blümel und Tittler (2005) zu Übungszwecken verwendet, wenn es um die Abbildung eines räumlichen Objekts durch Projektion geht (Felzmann et al., 2005, S. 53).

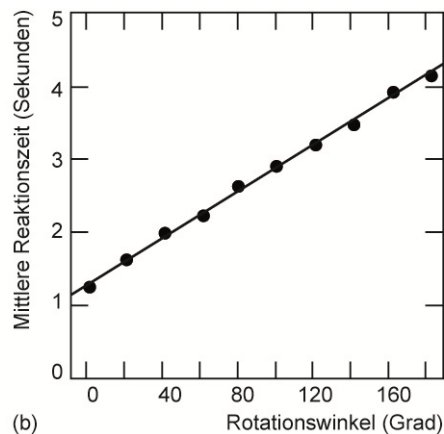
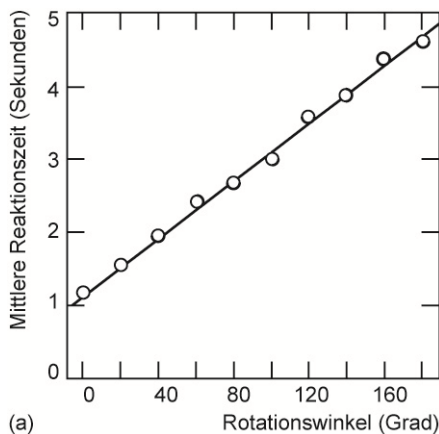


Abbildung 4.1 Zusammenhänge zwischen Reaktionszeiten und Winkeldisparität (Metzler & Shepard, 1974)

Zusammenfassend liefern die Daten Hinweise darauf, dass die Versuchspersonen die Objekte mental in einem dreidimensionalen Raum rotieren und wie immer dieser Prozess auch aussehen mag, er scheint analog zur physikalischen Rotation abzulaufen.

2.2 Imagery - debate

Mental imagery ist in der Vergangenheit vielfach untersucht und diskutiert worden, Kosslyn (1994) griff dieses Thema in Zusammenarbeit mit vielen Kollegen erneut auf. Ausgehend davon, dass *imagery* eine Basisform für Kognition darstellt und eine zentrale Rolle in vielen menschlichen Aktivitäten spielt, reicht sie von Orientierung, über Gedächtnis bis hin zum kreativen Problemlösen.

Kosslyn sieht *imagery* als eine höhere kognitive Funktion, die im Gehirn fest verwurzelt ist, und er beschreibt in seinem Buch *Image and Brain* den Mechanismus, wie *visual mental images* produziert, aufrechterhalten, interpretiert und transformiert werden.

Um die Entwicklung der Untersuchungen zu *imagery* besser verdeutlichen zu können, ist ein kurzer historischer Rückblick notwendig. Schon Plato setzte *imagery* in den Mittelpunkt seiner berühmten Wachstafelmetapher. Dabei glaubte er, dass mentale Vorstellungen wie Muster in Wachs geätzt sind und dass individuelle Unterschiede so zu verstehen sind, wie sich Temperatur, Reinheit usw. auf die Eigenschaften des Wachses auswirken.

Die eindrucksvollsten Untersuchungen von *imagery* sind jene von Cooper und Shepard (1973), sowie Shepard und Cooper (1982). Sie zeigten in ihrer Forschung zusammenfassend die komplexe Beschaffenheit von *imagery*. Dabei demonstrierten sie, dass Menschen Objekte mental rotieren können und diese Rotationsoperationen schrittweise ablaufen (vgl. Kapitel 2.1). Menschen benötigen stufenweise mehr Zeit für jeden Hinzurechnungsbetrag beim mentalen Rotieren eines vorgestellten Objektes.

Sie errechneten den Anteil der Rotation und forderten ihre Versuchspersonen auf sich eine Musterrotation vorzustellen. Anschließend präsentierten sie einen Reiz und die Versuchspersonen sollten diesen in ihrer Vorstellung abgleichen. Dies gelang sehr schnell, wenn nicht noch Hinzurechnungsrotationen notwendig waren (Cooper, 1976; Metzler & Shepard, 1974).

Für das Programmieren der Computer musste eine bildliche Repräsentation (*image representation*) mit besonderen Eigenschaften festgelegt werden. Eine Repräsentation ist eine Art von Code, ein Weg von spezifischen Informationen. Es entwickelten sich viele Diskussionen zu „*mental imagery representation*“ (Kosslyn, 1994, S. 4). Um eine bessere Übersicht über die Entwicklung der *debates* zu ermöglichen erfolgte die Gliederung in drei Phasen:

Phase 1: Alternative Mental Representations

Es war eine Herausforderung sich Repräsentationen im Gehirn vorzustellen, bis man feststellte, dass die Informationsspezifizierung im Computer mit der des Gehirns zu vergleichen war – die Situation ist analog.

So behauptete Marr (1982), dass unterschiedliche Repräsentationen verschiedene Informationen spielend abrufen und in einem Aufbereitungssystem benützen könnten. An einem Beispiel versuchte er die Unterschiede darzulegen. Auf der einen Seite das Bild des Buchstaben **A** und auf der anderen die Beschreibung dessen: zwei symmetrische Linien, die sich an der Spitze treffen und die unterhalb verbunden sind durch eine horizontale Linie. Beide, das Bild und die Beschreibung sind Repräsentationen derselben Sache und entsprechen „*depictive and propositional representation*“ (Kosslyn, 1994, S. 5).

Während der ersten Phase der „*imagery debates*“ beschäftigten sich Wissenschaftler hauptsächlich damit, welcher Art von Repräsentationen Vorstellungen zuzuordnen sind und in welchen Details sie zu differenzieren sind.

Eine propositionale Repräsentation spezifiziert eindeutig die Meinung einer Aussage. Sie beinhaltet eine Beziehung, genannt „*a predicate*“, die eine oder mehrere Einheiten (Argumente) zusammenbindet.

Kosslyn (1980) benutzte dazu ein anschauliches Beispiel "BALL ON BOX". Hier ist die propositionale Repräsentation die Bezeichnung ON (BALL, BOX). In diesem Fall ist ON das Prädikat, das die Argumente, BALL und BOX vereint. Das Basiselement einer propositionalen Repräsentation sind Symbole. Beispielhaft ist hier ON ein Symbol für eine bestimmte Beziehung, BALL und BOX sind Symbole für gewisse Einheiten (vgl. Kosslyn, 1994, S. 5).

Eine depiktive Repräsentation ist eine Art von Bild, welche Standorte und Ausprägungen von Konfigurationen von Punkten im Raum spezifiziert. Zum Beispiel wäre eine Zeichnung eines Balles auf einer Schachtel eine depiktive Repräsentation. In einer depiktiven Repräsentation ist jeder Teil eines Objektes repräsentiert erstens durch ein Muster von Punkten, zweitens den räumlichen Relationen innerhalb der Muster in einem funktionalen Raum und drittens in Korrespondenz zu den räumlichen Relationen unter den Teilen ihrerseits. Dies bedeutet auch, wenn ein Objekt in Teile zerschnitten ist, so korrespondiert ein Teil immer noch zu einem Teil von dem Objekt.

Kurz formuliert, die zwei Arten von Repräsentationen sind klar unterschiedlich. *Imagery* hat sehr unterschiedliche Eigenschaften abhängig von der Art der Repräsentation. In dieser Phase drehte sich alles um den Kernpunkt, ob "*visual mental images*" angewiesen waren auf depiktive Repräsentation oder propositionale Repräsentationen.

Daraufhin stellte Kosslyn (1973) in *Image scanning* die Hypothese auf, wenn "*visual mental images*" Muster in einem funktionalen Raum sind, dann ist mehr Zeit und Aufmerksamkeit erforderlich, entfernt vorgestellte Objekte zu scannen. Versuchspersonen wurden aufgefordert ihre Augen zu schließen, und die vorher in das Gedächtnis eingprägten Zeichnungen von Objekten zu visualisieren.

Im gegebenen Fall sollten die Versuchspersonen ein Boot mit einem Motor an dem linken Ende, eine Luke in der Mitte und einen Anker an dem rechten Ende sich veranschaulichen. Anschließend hörten sie eine Bezeichnung eines

Bootteiles, wie z. B. „Luke“, „Anker“ oder „Mast“ (nicht vorhanden). Die Versuchspersonen waren angehalten den genannten Teil in dem vorgestellten Objekt zu suchen. Wenn die Versuchspersonen den Teil "sahen" mussten sie einen Knopf drücken. Auch, wenn sie ihn nicht "sahen" hätte eine Rückmeldung zu erfolgen. Je ferner die Versuchspersonen beim Scannen der Teile des Objektes waren, desto mehr Zeit war erforderlich. Allerdings stellte sich bald heraus, dass diese Experimente nicht beweiskräftig genug waren. Im Allgemeinen war klar, dass *propositional theory* zum Thema Vorstellung ein bewegtes Ziel war. Ein Teil dieser Problematik war, dass die zwei Arten von Theorien nicht auf derselben Ebene analysiert wurden. Die **depiktive** Theorie postulierte eine ziemlich spezifische Art von Repräsentationen mit fixen Eigenschaften. Hingegen die **propositionale** Theorie postulierte einen Formalismus, welcher ein Set von Elementen spezifiziert, welche kombiniert werden können um jede Anzahl von Arten von Repräsentationen zu formieren. Angefangen bei Listen bis hin zu komplexen Netzwerken. Erkenntnisse dieser Art stellten die Basis von Computerprogrammierungen dar. Schlussendlich zeigte sich, dass Vorstellungen sowohl auf depiktive Repräsentationen, wie auch propositionale Repräsentationen angewiesen waren (vgl. Kosslyn, 1994, S. 9).

Phase 2: Methodological Problems

In dieser Phase von *imagery debates* wurden vor allem die Experimente kritisiert. Die Diskussion drehte sich hauptsächlich um zwei Arten von methodologischen Problemen.

Auf der einen Seite meinte Pylyshyn (1981), dass das Antwortverhalten der Versuchspersonen beeinflusst wird, wenn sie aufgefordert werden ihre Vorstellung zu benutzen.

Ähnlich versuchte auch Kosslyn (1973) den Begriff *scan* gewissenhaft bei seinen original Vorstellungsexperimenten in den Instruktionen zu vermeiden, möglich ist aber, dass die Versuchspersonen dies unbewusst ableiteten. Daraufhin wurden *imagery-scanning* Experimente entworfen in denen Begriffe wie *imagery*, *scannen* u. a. vermieden wurden.

Auf der anderen Seite des methodologischen Einflusses argumentierte Intons-Peterson (1983), dass die Experimente viele Fehler enthielten, weil die

Experimentatoren die Versuchspersonen unbewusst aufforderten, die zu erwarteten Ergebnisse zu produzieren. Ähnliche Arten von *experimenter expectancy effects* wurden bei Rosenthal (1976) gefunden. Eine wichtige Erkenntnis dieser Zeit war, dass Versuchspersonen vergleichsweise mehr Zeit zum Scannen für gebogene oder gekrümmte Trajekturen benötigen als von geraden. Andere Untersuchungen wiederum zeigten, dass *imagery* höchst abhängig ist und die Versuchspersonen einige Aspekte der Prozesse kontrollieren können, wie beispielsweise die Geschwindigkeit beim Scannen, allerdings nicht die Effekte, die bezüglich der Distanzen auftreten. Diese wiederkehrenden Ergebnisse reflektieren angeborene Eigenschaften von Repräsentationen und Prozesse.

Das Resümee der zweiten Phase von *imagery debates* endete darin, dass keine Einigkeit bezüglich Bildauflösung erreicht werden konnte und man zum Ausgangspunkt zurückkehren sollte (vgl. Kosslyn, 1994, S. 12).

Phase 3: Beyond Behavioral Results

Anderson (1978) versuchte zu zeigen, dass für *imagery debates* nicht nur eine Theorie seine Gültigkeit hatte. Sein Beweis beruhte auf der stets vorhandenen Möglichkeit von *structure – process – trade – offs*.

Dazu war es erforderlich zu den schon zuvor erwähnten Scann – Ergebnissen zurückzukehren. Die depiktive Theorie postuliert eine *depictive representation*, abbildende Darstellung (die Struktur) und eine schrittweise Scann – Operation, die die Aufmerksamkeit quer durch die Repräsentation (dem Prozess) ändert. Eine propositionale Theorie postuliert eine Liste oder Netzwerk von Propositionen (die Struktur) und eine schrittweise Liste von Suchoperationen (der Prozess). Diese zwei Mechanismen können dieselben Ergebnisse produzieren, weil der Unterschied in der Struktur durch einen Unterschied in dem Prozess, der daran arbeitet, ausgeglichen ist. Anderson wies darauf hin, dass die Eigenschaften von Struktur und Prozess noch durch etwas anderes erfolgen müssten, als Verhaltensdaten an sich.

Kosslyn (1994) hat diesen Kurs aufgegriffen und anhand der Neuroanatomie und Neurophysiologie von Affen die Entdeckung gemacht, dass es viele visuelle

Areale im Affenkortex gibt. Außerdem ist ungefähr die Hälfte von diesen visuellen Arealen retinotop abgebildet.

Tootell, Silverman, Switkes und De Valois (1982) boten einen tiefgreifenden Beleg der räumlichen Struktur in gewissen Regionen. Sie trainierten einen Affen dahin gehend in das Zentrum eines Musters zu starren (siehe Abbildung 5), unterstützt durch blinkende Lichter, die entlang des Musters laufen. Sie injizierten dem Tier 2 – Deoxyglucose während es auf das Display starrte. Je aktiver ein Neuron war, desto mehr nahm es radioaktiv auf. Bald danach wurde die Menge an Radioaktivität quer durch den Kortex gemessen.

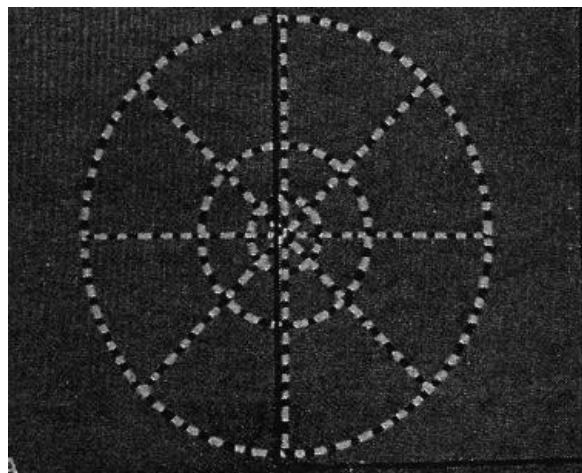


Abbildung 5. Experiment von Tootell et al. (1982)

Es erwies sich, dass ein Abbild des Musters in Areal V1, visueller Kortex der primären Sehrinde (OC und Areal 17) projiziert war. In der Vorstellung war das Muster in seinem Zentrum vergrößert und verdreht, aber die räumliche Struktur des Musters war klar ersichtlich. Obwohl V1 das größte visuelle Gebiet in den Affen ist, so ist es nicht das einzige, das retinotop organisiert ist.

Fox et al. (1986) benützte die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) um das Gebiet, das im Menschen retinotop abgebildet ist, zu demonstrieren. Sie baten Versuchspersonen auf eine Scheibe zu starren, die mit abwechselnd schwarzen und roten Karos bedeckt, in Ringen angeordnet war, die stufenweise größer wurden und im Zentrum freie größere Regionen aufwies. Ein Reizbeispiel ist illustriert in Abbildung 6.

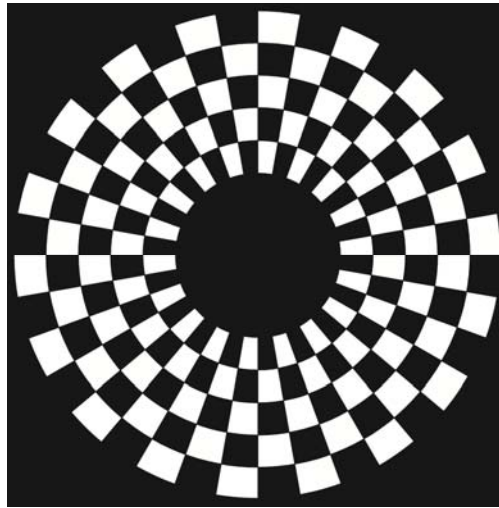


Abbildung 6. Experiment von Fox et al. (1986)

Die Versuchspersonen starrten gerade aus, so dass die größeren Ringe die peripheren Teile der Retina anwachsend stimulierten. Die Experimentatoren injizierten den Versuchspersonen eine kleine Menge von radioaktivem Wasser. Je mehr ein Teil des Gehirns während der Aufgabe arbeitete, desto mehr Blut wurde benötigt – und desto mehr radioaktives Wasser wurde transportiert. Dabei wurde bei Menschen festgestellt, dass das Areal V1 im mittleren Teil der Hinterseite des Gehirns lokalisiert ist. Fox und seine Kollegen demonstrierten, dass die Fovea Input bereitstellt zu den äußersten hinteren Regionen, sowie anwachsende periphere Teile der Retina Input bereitstellen zu vorhergehenden Teilen. Zu einer anderen wichtigen Entdeckung kamen Kosslyn und Kollegen. So zeigten sie, dass beinahe jedes visuelle Areal in den Affen, das Fasern zu anderen visuellen Arealen sendet, ebenso Fasern von diesen Arealen aufnimmt. Die Fasern laufen von vergleichbarer Größe stromauf- und -abwärts.

Eine enorme Menge von Information läuft anscheinend zurück in das System. Obwohl die präzise Funktion von diesen zurücklaufenden (efferent) Nervenbahnen nicht bekannt ist, schien es klar, dass diese Fasern auf niedrigeren Arealen modulierend verarbeiten. Aufgrund der neuroanatomischen Funktionen ging man davon aus, dass gespeicherte visuelle Informationen imstande seien, ein Muster von Aktivitäten hervorzurufen, in immerhin einigen retinotop abgebildeten Arealen – welche mentale Vorstellung produzieren.

Bei Patienten mit Hirnschädigungen wurden Vorstellungsdefizite und Wahrnehmungsdefizite festgestellt. Anhand des Blutflusses mithilfe eines SPECT bzw.

rCBF konnte Aktivierung im hinteren Teil des Gehirnes bei visueller mentaler Vorstellung vorgefunden werden (vgl. Kosslyn, 1994, S. 17).

Allerdings, jede bisherige Erforschung des Gehirnes bezüglich visueller mentaler Vorstellung beruht auf Methoden, welche relativ wenig räumliche Auflösung haben. Kosslyn und seine Kollegen, Alpert, Thompson, Maljkovic, Weise, Chabris, Hamilton, Rauch und Buonanno (1993), benützten PET um zu demonstrieren, ob bei topografisch organisiertem visuellen Kortex visuelle mentale Vorstellung beinhaltet ist. Kosslyn und seine Kollegen forderten die Versuchspersonen auf, ihre Augen zu schließen und auf den Namen von Buchstaben des Alphabets zu hören. Die Versuchspersonen waren angehalten, die einheitliche Großschriftversion von jedem Buchstaben zu visualisieren und dann eine von ihren Eigenschaften zu beurteilen. Beispielweise fragten sie, ob die Buchstaben irgendeine gekrümmte Linie hatten (z.B. B und C, nicht aber A und E). In einem Teil der Versuche mussten die Versuchspersonen ihre Vorstellung von dem Buchstaben darstellen, wenn dieser ein sehr kleines, gerade noch erkennbares Format hatte. Bei dem anderen Teil der Versuche mussten die Versuchspersonen ihre Vorstellung der Buchstaben so groß wie möglich abbilden. Die Vorstellung, egal für welche Größe war mit drei Sekunden gleich, bevor die Suchanfrage zu präsentieren war. Wie gewöhnlich benötigten die Versuchspersonen mehr Zeit für die kleineren Vorstellungen (Kosslyn, 1975). Daraus schlossen Kosslyn und seine Kollegen, wenn der Buchstabe in kleinerem Format vorgestellt war, dann würden die Neuronen in einer kleinen Region innerhalb eines topografisch abgebildeten Areals schwerer zu arbeiten haben, um die feinkörnig räumliche Variation aufzubewahren, als wenn der Buchstabe größer vorgestellt war. Obwohl die Versuchspersonen diese Aufgabe mit geschlossenen Augen ausführten, war Areal V1 aktiviert (Abbildung 7). Interessant war, dass der vordere Teil dieses Areals – welches parafovealen Input repräsentiert – verglichen mit der Visualisierung des kleinen Formates aktiver war, wenn die Versuchspersonen die Buchstaben bei großem Format visualisierten. Der hintere Teil von diesem Areal – welcher foveal Input repräsentiert – war aktiver, wenn die Versuchspersonen die Buchstaben bei kleinem Format visualisierten, verglichen an dem großen Format.

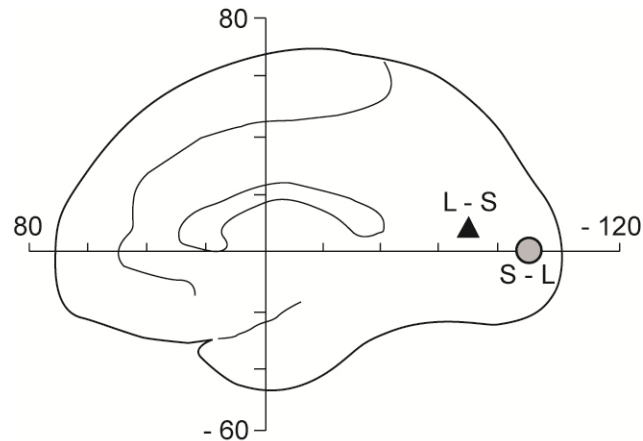


Abbildung 7. Ergebnisse von einem PET-Scannen Experiment überarbeitet von Kosslyn et al. (1993)

Die Topografie von Areal V1 ist beim Menschen jenem der Affen sehr ähnlich. Dieses und weitere Experimente waren wichtig, um zu zeigen, dass die Vorstellung auf topografisch organisierte Regionen des Kortex angewiesen ist, welche depiktive Repräsentationen belegen. Tatsächlich zeigte sich in PET, dass große Vorstellungen topografisch organisierte Areale nahe V1 aktivierten. Allerdings sind hier die Auflösungsgrenzen von PET zu berücksichtigen. Es gibt große individuelle Unterschiede im Ausmaß und in Positionen von speziellen anatomischen Arealen, besonders bei dem visuellen Kortex der primären Sehrinde (vgl. Rademacher et al., in press).

Nichtsdestotrotz ist es bemerkenswert, dass einige funktionale Magnetresonanz (fMRI) Vorstellungsstudien den konvergenten Beweis produziert haben, dass Areal V1 tatsächlich während visueller mentaler Vorstellung aktiviert wird. Kurz gesagt, Vorstellung beruht nicht nur, aber auch auf depiktive Repräsentationen. Areal V1 und benachbarte visuelle Areale sind räumlich organisiert und visuelle, mentale Vorstellungen benötigen solche Strukturen (vgl. Kosslyn, 1994, S. 21).

2.3 Zerebrale Lateralisation

Die zentrale Stelle vieler Kognitionen ist der cerebrale Kortex oder Neocortex. Er nimmt im Gehirn des Menschen drei Viertel aller Neuronen ein. Der Neocortex ist in die linke und rechte Hemisphäre geteilt, wobei beide Hemisphären in vier Bereiche gegliedert sind: den Frontal- oder Stirnlappen, den Parietal- oder

Scheitellappen, den Occipital- oder Hinterhauptlappen und den Temporal- oder Schläfenlappen (siehe Abbildung 8).

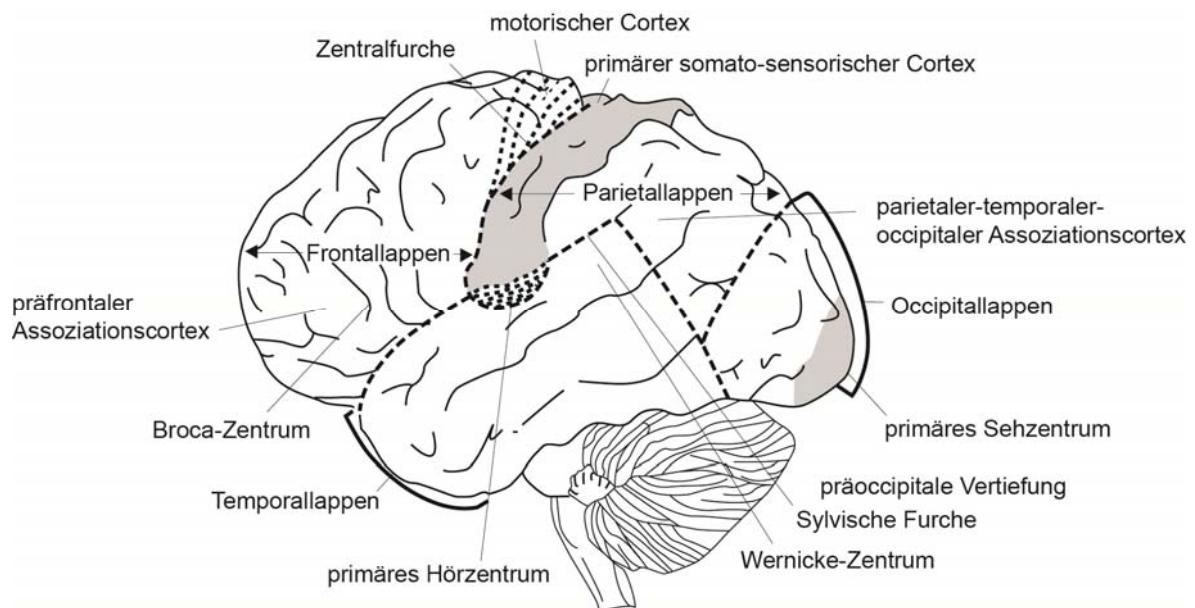


Abbildung 8. Cerebraler Cortex (Kandel & Schwartz, 1984, in Anderson, 1996, S. 25)

Jeder der Lappen ist an wichtigen Funktionen beteiligt, insbesondere der Parietallappen spielt bei der räumlichen Verarbeitung eine wichtige Rolle. Durch viele Experimente belegt, scheint die linke Hemisphäre stärker mit der sprachlichen und analytischen Verarbeitung assoziiert zu sein, während die rechte Hemisphäre mehr mit wahrnehmungsgebundenen und räumlichen Prozessen, wie Geometrie, Richtungssinn und mentale Rotation von Formen (vgl. Birbaumer & Schmidt, 1997, S. 438) beschäftigt ist. Beide Hirnhälften sind durch das sogenannte Corpus callosum (Balken) verbunden (vgl. Anderson, 1996, S. 26).

Es gibt viele unterschiedliche Theorien zur Gehirnhemisphärenspezialisierung sowie auch geschlechtsspezifische Unterschiede. Die Theorie von Levy (1976) sei hier herausgegriffen. Seiner Ansicht nach ist für das optimale Funktionieren einer kognitiven Funktion eine maximale Spezialisierung jeder der beiden Hemisphären notwendig. Dies bedeutet, sofern sich die erforderliche Lateralisierung als schwach oder unvollständig erweist, Sprache und Raumvorstellung bilateral repräsentiert sind und beide Funktionen sich gegenseitig beeinträchtigen. Das Raumvorstellungsdefizit von Frauen erklärt sie damit, dass mehr *cortical space* für

die Sprache beansprucht wird und daher die Fähigkeit zur räumlichen Vorstellung beeinträchtigt ist. Zu ähnlichen Beobachtungen kam auch Kimura (1992), da das Corpus callosum bei Frauen dicker ist, wird die Annahme impliziert, dass Frauen einerseits beide Hemisphären zur Lösung von Raumvorstellungsaufgaben benutzen und andererseits mit größerer Wahrscheinlichkeit verbal vermittelte Strategien anwenden (vgl. Quaiser-Pohl, 1998, S. 59).

Eine Untersuchung hinsichtlich neuronaler Vorgänge während des Ausführens von mentalen Rotationen wurde von Georgopoulos, Lurito, Petrides, Schwartz und Massey (1989) mit Affen durchgeführt. Georgopoulos et al. gaben Affen eine Aufgabe, wobei diese einen Griff um einen bestimmten Winkel relativ zu einem Stimulus zu drehen hatten. Wenn beispielsweise der Griff in 12-Uhr-Position war, mussten sie diesen um 90 Grad nach links bewegen und ihn so in 9-Uhr-Position bringen, bzw. erschien der Reiz an der 6-Uhr-Position, so mussten sie ihn auf 3-Uhr-Position drehen. Wie davor bei Metzler und Shepard erwähnt, zeigten sich auch bei dieser Aufgabe ähnliche Zusammenhänge im Prozess des mentalen Rotierens. Je größer der Winkel war, desto länger brauchten die Affen, um die Bewegung zu initiieren. Außerdem beobachteten Georgopoulos et al. (1989) durch Aufzeichnungen des motorischen Cortex, dass unterschiedliche Zellen bei Bewegungen in unterschiedliche Richtungen feuerten.

Scheinbar ist die mentale Rotation eine allmähliche Verschiebung der Zellaktivität, ausgehend von Zellen, die für die Enkodierung des ursprünglichen Stimulus zuständig sind, bis hin zu Zellen, die den transformierten Stimulus enkodieren (vgl. Anderson, 1996, S. 110).

3. Räumliches Arbeitsgedächtnis

3.1 Was ist das Gedächtnis?

Gedanken zu "Das Gedächtnis" reichen weit zurück. Allerdings ist der Vergleich zweier Definitionen in der Zeitspanne eines Jahrhunderts nicht so unterschiedlich. So lautete die Definition im Lexikon von Meyer (1889):

Gedächtnis (Memoria), E r i n n e r u n g s v e r m ö g e n, die Fähigkeit, Sinneseindrücke, einfache oder zusammengesetzte Empfindungen, Vorstellungen und Gemütszustände auch dann noch, wenn sie aus dem Bewusstsein entschwunden sind, möglichst unverändert aufzubewahren, so dass sie auf gegebene Veranlassung teils willkürlich wiederkehren, teils mit Absicht wieder hervorgerufen werden können. (Meyer, 1889, S. 987)

Hingegen definierte Zimbardo und Gerrig (1999) „Gedächtnis bezeichnet nichts anderes als unsere Fähigkeit, Informationen aufzunehmen, zu speichern (aufzubewahren) und bei Bedarf wieder abzurufen“ (Zimbardo & Gerrig, 1999, S. 234). Die Erforschung des menschlichen Gedächtnisses nahm in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts einen besonderen Aufschwung.

3.2 Kurzzeitgedächtnis

Atkinson und Shiffrin (1968) stellten ein Gedächtnismodell vor, das von drei Untersystemen ausgeht: Sensorischer Speicher (Ultrakurzzeitgedächtnis) Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis (siehe Abbildung 9).

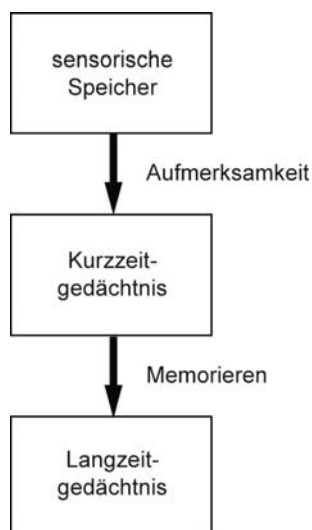


Abbildung 9. Gedächtnismodell (Atkinson & Shiffrin, 1968)

Informationen, die aus der Umgebung eintreffen, werden in sensorischen Gedächtnissystemen (ikonische und auditorische Gedächtnissysteme) für den Zeitraum von Millisekunden behalten. Informationen ohne Aufmerksamkeit gehen verloren und Informationen mit Aufmerksamkeit werden in das zwischen-

geschaltete Kurzzeitgedächtnis übergeführt, wo sie eine Zeitspanne von ungefähr einer Minute überdauern. So wies das Kurzzeitgedächtnis nur eine begrenzte Kapazität zum Behalten von Information auf, da ständig neue Informationen eintreffen und die alten Informationen verdrängen. Diese begrenzte Kapazität wurde eine Zeit lang mit der Gedächtnisspanne gleichgesetzt. „Die **Gedächtnisspanne** bezeichnet die Zahl der Elemente, die man unmittelbar nach der Darbietung wiedergeben kann“ (Anderson, 1996, S. 169). Informationen, die memoriert werden, gelangen in ein relativ andauerndes Langzeitgedächtnis. Viele Untersuchungen der Gedächtnisspanne und der Beschränkung der Informationsmenge im Kurzzeitgedächtnis bildeten die Grundlage für eine Alternative.

3.3 Arbeitsgedächtnis

Baddeley und Hitch (1974) formulierten erstmals ein Konzept zur Thematik des Arbeitsgedächtnisses. Das Arbeitsgedächtnismodell bestand aus einem dreiteiligen System: ein aufsichtsführendes Kontrollsystem, *Central Executive* (CE), unterstützt durch zwei Subsysteme, *Articulatory Loop* (AL) welches zur Bearbeitung von Sprachmaterial spezialisiert war, und *Visuo-Spatial Scratch Pad* (VSSP) welches sich mit visuell-räumlichen Informationen befasste (vgl. Baddeley, 1986, S. 71). Die Abbildung 10 zeigt eine einfache Repräsentation dieses Modells.

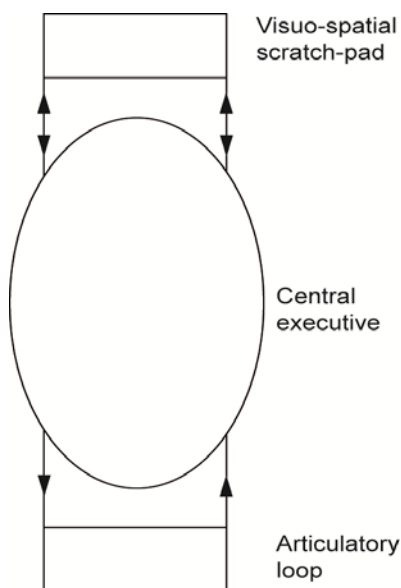


Abbildung 10. Eine vereinfachte Repräsentation des Arbeitsgedächtnismodells (Baddely & Hitch, 1974, in Baddley, 1986, S. 71)

Baddeley und Hitch haben angenommen, dass die zentrale Exekutive attentionale Kapazitäten hat und imstande ist, die Kontrollsysteme auszuwählen und zu steuern.

3.3.1 Zentrale Exekutive

Baddeley (1986) vermutete, dass die zentrale Exekutive eine entscheidende Komponente im Arbeitsgedächtnis sei. Aber bevor er sich mit dem Thema näher beschäftigte, studierte er ein neues Aufmerksamkeitssystem, das von Norman und Shallice (1980) entwickelt wurde. Dieses Modell stützte sich auf Analysen von Arbeitsleistungsdefiziten bei Patienten nach einer Frontallappenschädigung (Shallice, 1982).

3.3.1.1 SAS – Modell

Norman und Shallice (1980) präsentierten ein Modell, in dem es hauptsächlich um „*attention control of action*“ ging (Norman & Shallice, 1980, zit. n. Baddeley, 1986, S. 226). Ihre Annahme beruhte darauf, dass die meisten Aktionen, die automatisch ablaufen durch Schemata kontrolliert sind. Diese Schemata operieren auf einer Auswahl von unterschiedlichen Levels. So zum Beispiel kann man gehen und gleichzeitig mit dem Handy telefonieren. Beide dieser Aktivitäten laufen mit minimaler Aufmerksamkeitskontrolle ab, während aber die ganze Aufmerksamkeit konzentriert ist, möglicherweise auf die nächste Unterrichtseinheit. Um aber Probleme bei zu ähnlichen Schemata, die sich eventuell widersprechen könnten, zu vermeiden, schlugen Norman und Shallice einen halb-automatischen Konfliktlösungsprozess vor. Dieser sucht in einem Konfliktschema nach Dringlichkeit und umgebungsbedingten Hinweisen und erteilt den Vorrang. Zu diesem halb-automatischen Konfliktlösungsprozess kommt ein allgemeiner Kontroller, das überwachende Aufmerksamkeitssystem und wird wie in Abbildung 11 durch horizontale und vertikale Fasern repräsentiert.

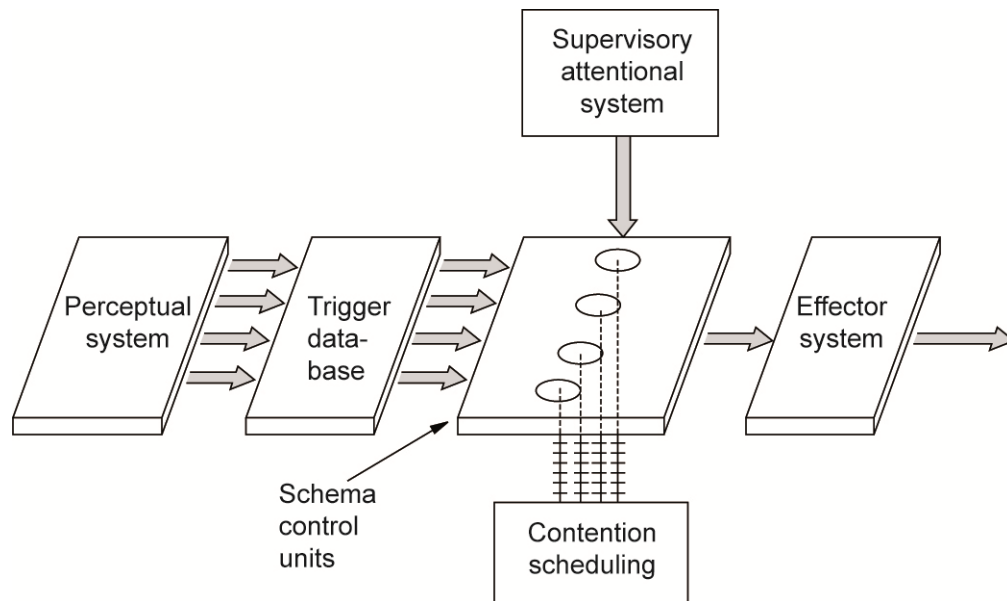


Abbildung 11. SAS-Modell von Norman und Shallice (1986)

Allerdings kann die bewusste Aufmerksamkeitskontrolle aufgehoben werden, wenn es externe Faktoren erfordern. Auf das oben erwähnte Beispiel übertragen, bedeutet dies, dass man telefonierend in eine Straße kommt, die man nicht kennt, man stoppen muss, das Telefonat beendet, den Stadtplan nimmt und sich orientiert.

Norman und Shallice (1986) nennen dies: überwachendes Aufmerksamkeits-system SAS (Supervisory Attentional System) und sie gehen von der Annahme aus, dass SAS, bedingt durch verschiedene Umstände, nur eine limitierte Kapazität hätte:

- a) Aufgaben, die Planen und Entscheidungen einschließen,
- b) Situationen mit automatischen Prozessen, wo „trouble-shooting“ notwendig ist,
- c) wo neuartige oder schlecht gelernte Sequenzen von Handlungen involviert sind,
- d) wo eine Situation gefährlich oder technisch schwierig erscheint,
- e) wo etwa stark gewohnte Reaktion oder Versuchung involviert ist.

Norman und Shallice brachten ihr Modell mit einer Anzahl von Phänomenen in Verbindung. Speziell diese Situationen, in denen Versuchspersonen in der Lage sind, zwei offenbar anspruchsvolle Aufgaben gleichzeitig auszuführen. Es wird

angenommen, dass *action* auf zwei Levels kontrolliert wird, und zwar einerseits durch Konfliktbewältigung durch horizontale Fasern oder Schemata. Dabei wird die Produktion von inkompatiblen Antworten oder die Überladung des Systems durch Subkomponenten umgangen. Andererseits durch *supervisory control*, trainiert durch das SAS-System (vgl. Baddeley, 1986, S. 228).

Um aber das SAS-Modell als Ausgangsbasis für die zentrale Exekutive verwenden zu können, ließ Baddeley eine Untersuchung vornehmen, die er *random generation* bezeichnete. Baddeley entwickelte dazu Versuchsreihen mit Buchstaben und Diagrammen. Bei diesen Aufgaben wurden die Versuchspersonen aufgefordert, ein Item aus einem gegebenen Ensemble von 26 Buchstaben des Alphabets willkürlich zu selektieren. Die Zeitangabe dazu lautete, die Beiträge folgendermaßen einzuordnen: beginnend von zwei pro Sekunde zu einer je vier Sekunden (Baddeley, 1966). Eine besondere Schwierigkeit stellte dar, einen willkürlichen Strom von Buchstaben (pro Sekunde) zu produzieren. Erstaunlicherweise fanden dies die meisten Versuchspersonen nach den ersten 15 oder 20 schwierig und tendierten dazu Antworten zu unterlassen oder eine überproportionale Anzahl von stereotypischen Sequenzen zu äußern. Gemeinsame Stereotypen waren häufig beispielsweise ABC, QR, XY oder häufige Initialen wie TV, VD und BBC. Baddeley kam immer wieder zu denselben Ergebnissen: Die Zufälligkeit und daher die Menge an Informationen wuchs generiert mit der Zeit, an. Analog zu Hick's Gesetz (1952) stieg die Beziehung linear an. Es schien eine Art von Selektionsprozess zu sein, welcher eine begrenzte Kapazität hatte. Dieser Prozess lässt sich mit dem Modell von Norman und Shallice (1986) vergleichen, in dem das *supervisory system* versucht, ein Set von Wiederauffindungsprozessen zu kontrollieren. Vermutlich funktioniert der Wiederauffindungsprozess automatisch, aber er produziert auch Antworten, die stark assoziiert sind. Tatsächlich ist dieser Prozess so verfestigt, dass Assoziationen einen anwachsenden stereotypen Output von Antworten hervorrufen. Bei langsamer Geschwindigkeit ist das SAS in der Ausführung sehr effektiv, allerdings ist die Kapazität überschritten, nimmt die Zufälligkeit des Outputs stetig ab. Das SAS-System kann nur eine begrenzte Anzahl von Quellen gleichzeitig kontrollieren (vgl. Baddeley, 1986, S. 234).

Infolge dessen konnten Baddeley und Hitch (1974) zeigen, sobald eine gleichzeitige Zahl von Gedächtnisspannaufgaben ausgeführt wird, die Leistung von Lernen, Verständnis und logischem Denken beeinflusst wird. Baddeley stellte beim gleichzeitigen Austausch verschiedener Leistungen Interferenzen fest. Er spekulierte, dass die Interferenz anfänglich bei zu hoher Beanspruchung bei der Bewältigung der Gedächtnisspannaufgabe entsteht und die Leistung zusammenbricht. Dies ist konsistent mit Norman und Shallice's Andeutung, nämlich, dass Problemlösung den Supervisor stark beansprucht.

Weitere Interferenzen ergaben sich auf dem Gebiet des Informationsabrufs. Behauptet wurde, dass der aktuelle Prozess von Informationsabruf den Ablauf von Schemata mehr involviert als den Supervisor. Die Messung der Exaktheit beim Informationsabruf war eher gegeben, wenn Latenz vorhanden war. Allerdings fand eine Beeinflussung der Leistung statt, wenn eine Aufgabe gleichzeitig behandelt wurde. Nach der Interpretation von Baddeley und Hitch (1974) war dies exakt das, was man von zwei größtenteils gleichzeitig ablaufenden automatischen Prozessen mit potenziellen Konflikten, aufgelöst durch den Konfliktlösungsprozess, erwarten würde. Wie bei der Aufgabenkategorie *random generation* klar zu erkennen war, beeinträchtigt gleichzeitige Belastung die Leistung. Genau dort erwartete man, dass der Supervisor eine bedeutende Rolle spielt.

3.3.1.2 Baddeleys Modell der ZE

Baddeley beschäftigte sich mit der Zentralen Exekutive (ZE) über viele Jahre hinweg. Wie schon im Kapitel 3.3.1 erwähnt, waren Norman und Shallice (1986) Vorreiter dazu. Sie nahmen zwei Arten von Kontrolle an: eine die automatisch ist und auf existierenden Gewohnheiten basiert, während die andere abhängig ist, von einer im Hinblick auf Aufmerksamkeit limitierte Exekutive. Ein Beispiel der ersten Art, jenes der halb-automatischen Kontrolle, ist mit einem Auto zu fahren, wo auch potenzielle Konflikte involviert sein können, wie beispielsweise das Abbremsen bei einer Ampel oder Reagieren auf andere Verkehrsteilnehmer. Diese Konflikte werden durch gut gelernte Methoden automatisch aufgelöst und erfordern wenig Aufmerksamkeit. Aber jedem Autofahrer ist es schon einmal passiert, dass er sich nicht mehr genau erinnern konnte, wie er an sein Fahrziel gekommen war, weil er während der Fahrt über andere Dinge nachgedacht hatte und eigentlich nicht bewusst gefahren ist. Er hatte die Routineentscheidungen

seinem Konfliktlösungssystem überlassen. Allerdings ist eine Straße wegen Reparaturen gesperrt, so ist ein zweites System erforderlich, nämlich das, „***supervisory attentional system (SAS)***“ (Baddeley et al., 2009, S. 53). Dieses System scheint die Fähigkeit zu haben, sich entweder für eine Lösung zu entscheiden oder andernfalls Strategien zu aktivieren um alternative Lösungen zu suchen. Diese SAS-Komponente ist es, von der angenommen wird, dass diese entscheidend für die **Zentrale Exekutive** ist.

Norman und Shallice (1986) hatten trotz gemeinsamen Modells unterschiedliche Absichten. Auf der einen Seite war Norman interessiert an „*slips of action*“ (Baddeley et al., 2009, S. 53), wodurch ein Fehler von Aufmerksamkeit unvorhergesehene Konsequenzen produziert. Diese sind manchmal trivial, wie an einem Samstagmorgen, wenn man vor hat in ein Lebensmittelgeschäft zu fahren und irgendwann feststellt, man hat die Route in die Arbeit genommen. Gelegentlich können solche „*slips*“ von Aufmerksamkeit auch fatale Konsequenzen haben, dann wenn ein Pilotenfehler zu einem Flugzeugabsturz führt. In beiden Fällen werden Situationen reflektiert, in denen die SAS einen Arbeitsausfall hat, obwohl sie eigentlich arbeiten sollte.

Shallice war demgegenüber prinzipiell an Patienten mit Frontallappenschädigungen interessiert, welche scheinbar Probleme bei der Aufmerksamkeitskontrolle haben. Dies zeigt sich in Perseveration, eine Handlung beharrlich zu wiederholen oder das Haftenbleiben an demselben Fehler. Vermutlich sind die Frontallappen - ein Teil des Gehirns - ausschlaggebend zum adäquaten Arbeiten des SAS. Beschädigungen führen zu Fehlern der Aufmerksamkeitskontrolle von Handlungen, vor allem, wenn die Beschädigung auf beide ausgedehnt ist, den rechten und den linken Frontallappen. Eine bedeutende Funktion der Zentralen Exekutive ist der Aufmerksamkeitsfokus, die Fähigkeit die Aufmerksamkeit auf eine vorliegende Aufgabe zu richten. Ausgangspunkt ist die komplexe Aufgabe eines Schachspiels.

Robbins et al. (1996) verglichen Effekte beim Abruf von Schachpositionen von artikulatorischer Unterdrückung, räumliches *tapping* und eine aufmerksamkeitsabfordernde Aufgabe, bekannt als *random generation* (siehe Kap. 3.1.1.1), in welcher die Teilnehmer versuchen einen Strom von Nummern zu produzieren, wobei die Abfolge so zufällig wie möglich sein sollte. Getestet wurden beide, sehr erfahrene und relativ unerfahrene Spieler. Die zwei Gruppen unterschieden sich

deutlich in der allgemeinen Leistung, aber alle zeigten dieselben Interferenzmuster. Artikulatorische Unterdrückung hatte keinen Einfluss, man kann daher sagen, dass die *phonological loop* nicht involviert war. Im Gegensatz dazu beeinflusste die visio-spatiale Aufgabe die Leistung, allerdings nicht wie die *random generation*. Anschließend wurde die Aufgabe verändert, das heißt vor dem Erinnern der Schachpositionen, sollte der nächste beste Zug gewählt werden. Dabei zeigte sich dasselbe Ergebnis und unterstrich so die wichtige Rolle der beiden, den *sketchpad* und die *Zentrale Exekution*.

Eine andere der Zentralen Exekutive zugeordnete Aufmerksamkeitskapazität ist, das Aufteilen der Aufmerksamkeit auf zwei oder mehrere Aufgaben. Angewendet auf das oben angeführte Beispiel des Autofahrens könnte man sich das Plaudern während der Fahrt mit dem Beifahrer vorstellen. Das ist relativ sicher, so lange die Verkehrssituation nicht kompliziert wird. Der Fahrer kann die Konversation sofort unterbrechen, dies ist auch für den Mitfahrer leicht verständlich. Anders ist es hingegen bei einer Konversation am Mobiltelefon. Hier ist bei gleichzeitigem Telefonieren die Kapazität gefordert, richtige Fahrentscheidungen zu treffen (vgl. Baddeley et al., 2009, S. 55).

3.3.1.3 Modell von Logie (1995)

Logie (1995) demonstrierte sein Mehrkomponenten-Arbeitsgedächtnismodell. In diesem Modell stellt das visuelle Speichersystem den Kontrapunkt zum phonologischen Speichersystem dar. Wie in Abbildung 12 zu sehen ist, hatte er für den ehemals *visuo-spatial sketchpad*, welcher einigermaßen analog zu der *phonological loop* ist, einen passiven Speicher vorgeschlagen, den er *visual cache* bezeichnete. In diesem Speicher wird ein visuell-räumlicher Arbeitsraum bereitgestellt, um komplexe Aufgaben ausführen zu können. Der *inner scribe* ist ein aktiver *rehearsal process*, welcher den visuell-räumlichen Kontrapunkt zu *subvocal or inner speech* darstellt (vgl. Baddeley et al., 2009, S. 53).

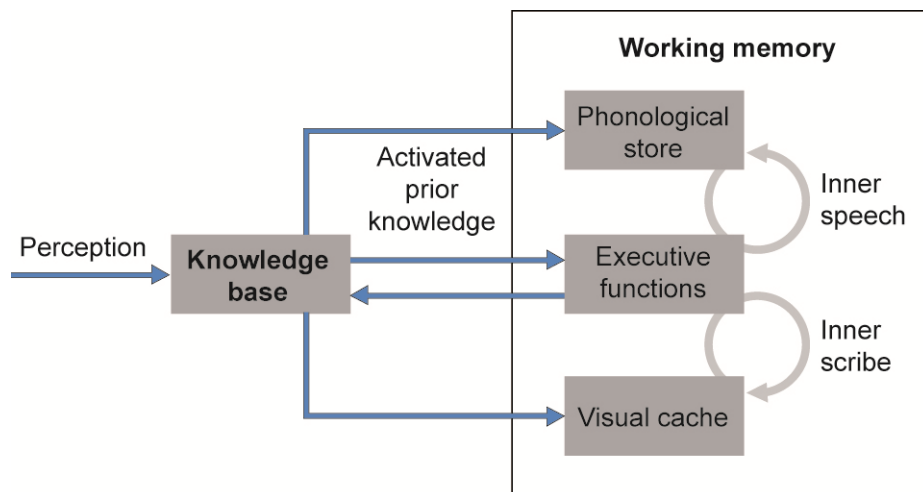


Abbildung 12. Arbeitsgedächtnismodell von Logie (1995); (in Baddeley et al., 2009, S. 52)

3.3.2 Episodischer Puffer

Eine der Hauptprobleme im Dreikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses stellte die Koppelung an das LTM (*Long-term memory*) dar. Immer wieder drängte sich die Frage auf: „Wie beeinflussen Arbeitsgedächtnis und LTM einander?“ Aber auf keinen Fall war dies das einzige Problem des Dreikomponentenmodells. Sowohl das Thema *memory span* als auch das Thema *digit span* bezüglich Speicherung konnten nicht ausreichend mit dem Dreikomponentenmodell erklärt werden. Im Bestreben diese Frage beantworten zu wollen, stellte Baddeley (2000) eine vierte Komponente vor, "den episodischen Puffer".

Er nahm an, dass der episodische Puffer ein Speichersystem sei, in welchem ungefähr vier Teilstücke von Informationen gehalten werden können, und zwar in einem multidimensionalen Code. Seiner Kapazität entsprechend, arbeitet er wie ein Link zwischen den verschiedenen Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses und verbindet diese Subsysteme mit dem Input von dem LTM und der Wahrnehmung. Jede dieser Informationsquellen benützt einen unterschiedlichen Code, der innerhalb des multidimensionalen Puffers kombiniert werden kann. Auch das Bewusstsein spielt hier eine wichtige Rolle.

Anfänglich hat Baddeley vermutet, dass der episodische Puffer ein aktives System sei, das vollkommen durch die Zentrale Exekutive kontrolliert wird. Er nahm an, der episodische Puffer sei eine Anbindung von unzusammenhängenden

Konzepten zu neuen Kombinationen. Zum Beispiel die Kombination der Konzepte von Eishockey und Elefanten zu der Vorstellung eines eishockeyspielenden Elefanten. Diese neue Repräsentation könne im Arbeitsgedächtnis manipuliert worden sein. Fragen, welche Positionen der Elefant denn spiele, die des zermalmenden Cracks oder sei er doch nützlicher im Tor wären schnell beantwortet.

In diesem Zusammenhang kam der Vorschlag, dass exekutive Prozesse notwendig seien, um Worte in einem Satz mit sinnvollen Unterteilungen zu binden oder die Bindung perzeptiver Funktionen, so wie Formen und Farben, in wahrgenommenen Objekten. Wenn das aber der Fall ist, dann wäre dies für die Exekutive zu viel. Eine gleichzeitige anspruchsvolle Aufgabe würde die Anbindung stören. Ein vor kurzem durchgeführter Beweis zeigte allerdings, dass dies wahrscheinlich nicht der Fall ist, sondern dass eine gleichzeitige anspruchsvolle Aufgabe zwar STM (*Short-term memory*) für Formen und Farben beeinträchtigt, aber die Kapazität diese Information in farbige Objekte einzubinden nicht unterbricht (Allen, Baddeley & Hitch, 2006).

So betrachtet ist der episodische Puffer ein *aktiver* Anbindungsprozess in einem passiven System. Das Konzept des episodischen Puffers ist noch in einem frühen Stadium der Entwicklung, aber einige wichtige Fragen, wie eben das Zusammenspiel von Arbeitsgedächtnis und LTM konnten erörtert werden.

In Abbildung 13 ist das aktuelle Modell des Arbeitsgedächtnisses dargestellt. Im Wesentlichen ist es eine Verfeinerung des Dreikomponentenmodells mit zwei wichtigen Veränderungen. Eine davon reflektiert die angenommene Verbindung zum LTM von den phonologischen und visuell-räumlichen Subsystemen. Wobei die Sprachanbindung besser erforscht ist, das andere System orientiert sich wahrscheinlich an visuellem und räumlichem Allgemeinwissen. Die zweite maßgebliche Veränderung ist die Aufnahme des episodischen Puffers. In der Originalversion von Baddeley (2000) konnte er von der Zentralen Exekutive aufgerufen werden. Bei Anbindung visueller und räumlicher Teilinformationen wird angenommen, dass der Puffer Information direkt aus dem visuell-räumlichen und phonologischen Subsystem abrufen kann und von LTM (Pfeile d und e).

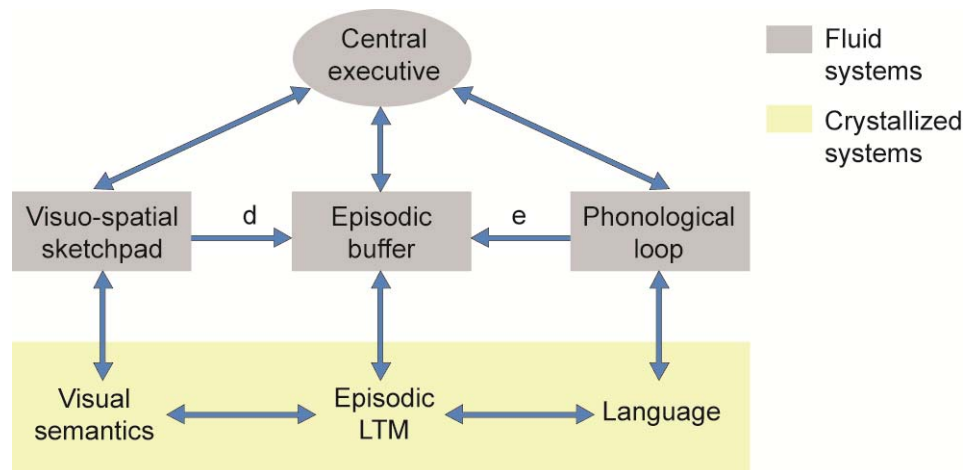


Abbildung 13. Arbeitsgedächtnismodell mit Episodischem Speicher von Baddeley (2000)

Ein erst in letzter Zeit durchgeführter Versuch von Baddeley (2007) zeigte, dass auch die Emotion eine Hauptrolle spielt und das Arbeitsgedächtnis beeinflusst. Letztendlich ist das Multikomponentenmodell nicht das einzige Modell des Arbeitsgedächtnisses, besonders in Nordamerika haben STM und Daten neuropsychologischer Patienten weniger Auswirkungen, sondern mehr die Methoden, die auf individuellen Unterschieden normaler Teilnehmer basieren (vgl. Baddeley et al., 2009, S. 58).

3.4 Visuell-räumlicher Notizblock (VSSP)

Angenommen eine Aufgabe würde lauten: „Beschreibe ein berühmtes Gebäude, wie zum Beispiel das Taj Mahal.“ Baddeley meinte, die anschließende Beschreibung würde wahrscheinlich auf einer visuell-räumlichen Repräsentation basieren. Eventuell würde man zum verbalen Bericht als räumliche Ergänzung die Hände hinzunehmen (vgl. Baddeley et al., 2009, S. 49). Auf mehrere Personen verteilt, würden die Berichte sehr unterschiedlich ausfallen, weil das Ausmaß des visuellen Vorstellungsvermögens enorm groß und verschieden ist. Personen mit klarem, deutlichem Vorstellungsvermögen haben keine besseren *memories*, aber nützen Anschaulichkeit als ein Anzeichen der Abrufgenauigkeit. Sie sind sich sicher beim Falscheinschätzen einer deutlichen aber fehlerhaften Erinnerung. Trotz aller Überzeugung unseres anschaulichen Vorstellungsvermögens, reflektiert manch subjektiver Bericht eher subjektive Erfahrung als Fassungsvermögen oder Kapazität (Baddeley & Andrade, 2000).

3.4.1 Visuell-räumliche Manipulation

In einer frühen Studie bezüglich räumlicher Vorstellung in Zusammenhang mit dem Körper Würfel ist die Studie von Shepard und Feng (1972) zu nennen. Sie präsentierten in ihrer Studie eine Aufgabe mit Papierfaltproblemen. Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, sollten Versuchspersonen entscheiden, wie die Formen gefaltet werden müssten, so, dass ein Würfel entsteht. Treffen sich die Pfeile?

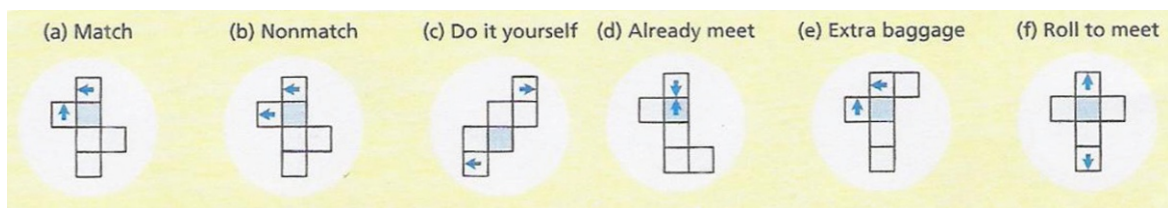


Abbildung 14. Einige Papierfaltprobleme

(Shepard & Feng, 1972, in Anlehnung an Baddeley et al., 2009, S. 50)

Aufgaben dieser Art, werden seither immer wieder eingesetzt, um Personen für bestimmte Jobs, wie Architekten und Techniker, richtig auswählen zu können. Diese Berufe erfordern besonders visuelles und räumliches Denken. Bei der Auswertung dieser Aufgaben wurde eine Tendenz erkannt, in der Weise, dass diese Aufgaben etwas besser von Männern ausgeführt werden, als von Frauen, aber diese wird in einem späteren Kapitel noch näher erläutert (Linn & Petersen, 1985).

Eine Analyse von Pearson, Logie und Gilhooly (1999) versuchte weitere Details, herauszuarbeiten. Dazu gaben sie ihren Versuchspersonen vier, sechs, oder acht Symbole (z.B. Quadrat, Dreieck, Kreis, etc.). Aus diesen Symbolen sollte ein Objekt mit Bezeichnung und einer anschließenden Zeichnung davon entstehen. Wenn sie nach zwei Minuten gescheitert waren ein Objekt zu entwerfen, wurden sie aufgefordert, einfach die memorierten Symbole abzurufen. Die Rolle des visuell-räumlichen Notizblocks und der phonologischen Schleife in der Aufgabe wurde durch Mittelwerte studiert. Entweder wurde die artikulatorische Suppression verwendet um die Schleife zu unterbrechen oder die Serie von räumlichen Orten wurde angezapft um den Notizblock (Skizzenblock) zu unterbrechen. Pearson et al. stellten fest, dass räumliches Erschließen die Kapazität neue Objekte zu

entwerfen, unterbrach. Er meinte, dieser Aspekt hänge von dem Notizblock ab, hätte aber keinen Effekt auf die Erinnerungskapazität, in welche die Formen involviert waren.

So, wie die räumliche Aktivität das Vorstellungsvermögen unterbrechen kann, so kann das Vorstellungsvermögen auch die räumliche Verarbeitung beeinträchtigen (vgl. Baddeley et al., 2009, S. 50-51).

3.4.2 Räumliche Kodierung (Brooks Matrix)

Brooks (1968) fand in seinen klassischen Matrix-Aufgaben interessante Ergebnisse. Er forderte in seinen Experimenten Versuchspersonen auf, ein mentales Bild zu scannen. Anschließend erfolgte eine Klassifikation durch Zeigen, Klopfen oder Sprechen. Bei der Zeitenerhebung ließ sich erkennen, dass die Probanden unter der Bedingung "Zeigen" wesentlich länger brauchten, wie unter jeder anderen. Scheinbar liegt beim Scannen einer mentalen Anordnung eine Repräsentation vor, die analog zu einer physikalischen Repräsentation ist. Weitere Experimente folgten, die alle zu dem Ergebnis führten, dass Scannen mentaler Bilder durch Interferenzen behindert wird, wenn gleichzeitig räumliche Strukturen der Umgebung verarbeitet werden (vgl. Anderson, 1996, S. 114).

4. Die Spezifität von räumlichem Arbeitsgedächtnis und räumlichem Vorstellungsvermögen

4.1 Visuelles Lernen

Im Schulbereich und überall dort, wo gelernt wird, geht man schon lange davon aus, dass verbale Informationen mit Bildern leichter zu lernen sind. Als Erklärung dient, wie schon im Kapitel 2 erwähnt, die Theorie der dualen Kodierung von Paivio (1978). Sprachliche Informationen werden „in einem verbalen System, bildhafte Informationen in einem imaginalen System und zusätzlich im verbalen System (also dual) kodiert“ (Pavio, 1978, zit. n. Rost, 2006, S. 854).

Egal, ob man einen Sachverhalt durch verbale Beschreibung oder mittels bildlicher Darstellung versteht, man konstruiert dafür eine mentale Repräsentation. Kosslyn (1994) und viele andere Wissenschaftler haben die Existenz derartiger

Repräsentationen aufgezeigt. Das menschliche Gehirn verarbeitet sowohl depiktionale als auch deskriptionale Darstellungen. Wir beschränken uns hier auf visuelle Darstellungen, depiktionale, als auch deskriptionale mentale Repräsentationen. Zunächst finden „subsemantische präattentive Prozesse statt, die im Erkennen in der Diskrimination und Identifikation von Punkten, Linien und Flächen, sowie in deren Gruppierung zu bestimmten Konfigurationen bestehen“ (Rost, 2006, S. 855).

Im Rahmenmodell (siehe Abbildung 15) von Schnotz und Bannert (1999) ist das Zusammenspiel von internen und externen Repräsentationen zu sehen.

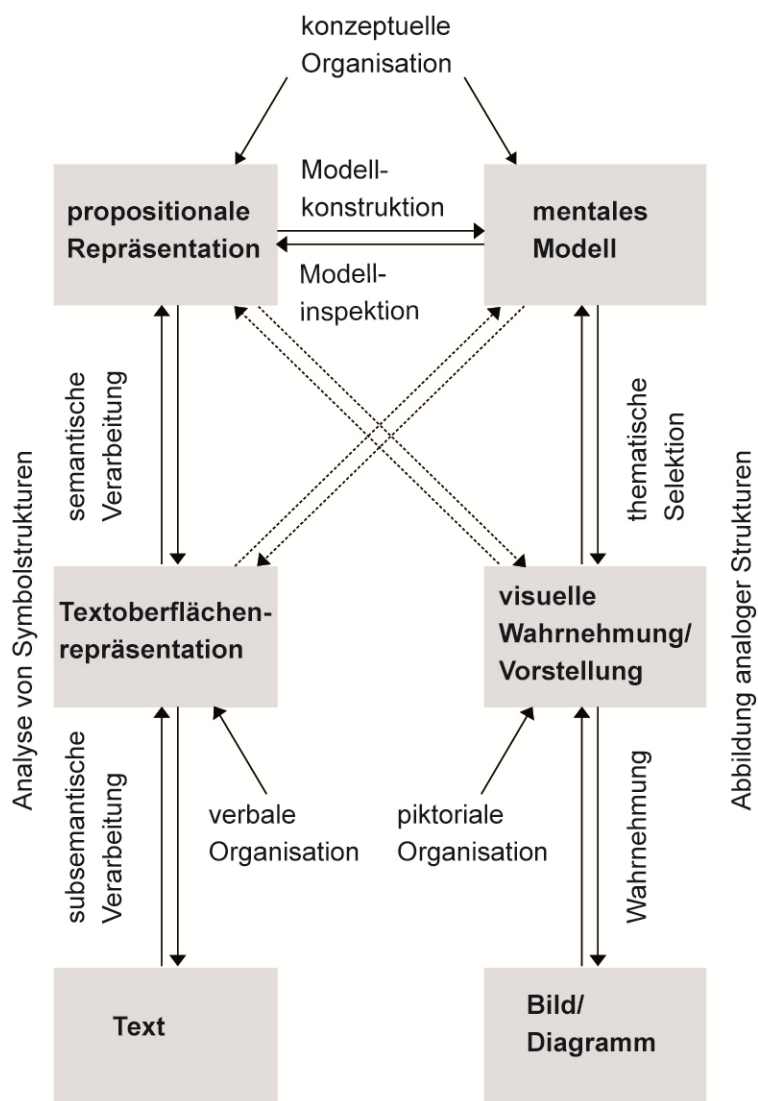


Abbildung 15. Rahmenmodell interner und externer Repräsentationen (Schnotz & Bannert, 1999, in Rost, 2006, S. 855)

Zwar wird eine visuelle Darstellung von präattentiven Verarbeitungsprozessen wahrgenommen, aber nicht verstanden. Erst wenn attentive semantische Prozesse im Arbeitsgedächtnis stattfinden, können sie verstanden werden. Bestimmte Informationen sind nur so abzulesen und sie werden durch das Vorwissen und die individuelle Zielsetzung beeinflusst. Die Ableseprozesse operieren seriell, sind schemageleitet und verlaufen sowohl *bottom-up*, als auch *top-down*. Anschließend wird das Resultat in Form von Propositionen fixiert und dem vorhandenen propositionalen Wissen hinzugefügt.

4.2 Räumliche Kognition

Räumliche Fähigkeiten sind oft mit geometrischen Eigenschaften assoziiert, wie Distanz und Abmessungen, ebenso wie mit physikalischen Eigenschaften, wie Geschwindigkeit und Masse. Die Vorstellung von räumlichen Fertigkeiten ist sehr oft mit einer persönlichen Fähigkeit sich im Raum zu bewegen verbunden und in der Umgebung zu steuern. Der Einblick in diese Konzepte ist über die phylogenetische Entwicklung von räumlichen Fähigkeiten beim Menschen und der Ontogenese von der Entwicklung in Kindern erhalten worden. Die Evaluation von räumlicher Kompetenz ist oft mit motorischer Funktion verknüpft. Wobei die Fähigkeit sich zu bewegen und einen Weg in der Umgebung zu finden, erfordert natürlich ein Verständnis von räumlichen Eigenschaften dieser Umgebung. Räumliche Informationen können nach Ansicht von Foreman und Gillet (1997) in einer egozentrischen oder allozentrischen Repräsentation enkodiert werden. Unter egozentrischer räumlicher Repräsentation betrachtet man die räumliche Enkodierung von Information als eine Funktion Körperposition oder Ich-bezogenem System von räumlichen Koordinaten. Während allozentrische Repräsentation auf einer Beziehung zwischen zwei oder mehreren Objekten im Raum basiert. Beide räumliche Repräsentationen: egozentrisch oder allozentrisch, sind eng mit motorischer Funktion, Körperbewegungen und navigatorischen Fähigkeiten verknüpft.

Ebenso zeigten Milner und Goodale (1995) diese enge Beziehung zwischen visuell-räumlicher Repräsentation und motorischer Fähigkeit in einem theoretischen Modell. Ihrer Ansicht nach bestehe dieses Modell aus zwei unterschiedlichen Systemen. Ein visuell-motorisches System um visuelle

Informationen zu enkodieren und weiterzuverarbeiten, die dann genutzt werden um Bewegungen zu planen. Die alternative Struktur arbeitet räumliche Informationen auf um komplexe mentale Vorstellungen und räumliche Repräsentationen zu erzeugen.

Diese Ideen führten zu einer Studie aus der Wahrnehmungspsychologie von Ungerleider und Mishkin (1982), welche zwischen dem *what*-System (Wiedererkennung der spezifischen Merkmale von einem wahr-genommenen Objekt) und dem *where*-System (Auffindung des Objektes im Raum) im visuellen Kortex differenzierten (vgl. Cornoldi & Vecchi, 2003, S. 3).

Ob es tagtägliche Aktivitäten, die räumliche Orientierung, die Unterscheidung der Verarbeitung zwischen was/visuell und wo/räumlich ist, vieles bleibt theoretisch und die Beziehung zwischen Vorstellung und innerlicher räumlicher Repräsentation bleibt noch etwas unklar. Oberflächlich betrachtet, ist die Entwicklung von räumlichen Fertigkeiten eine gegenseitige Abhängigkeit von Wahrnehmung und räumlicher Repräsentation, wie schon bei der Debatte in Bezug auf mentales Vorstellungsvermögen in Kapitel 2.2 angesprochen wurde.

4.3 Räumlicher Prozess

Die traditionelle Vorstellungsvermögenforschung hat besonders die nahe Beziehung zwischen Memory und Visualisierung oder Wahrnehmung und mentaler Repräsentation unterstrichen.

Cornoldi und Vecchi (2003) schlugen vor, dass mentales Vorstellungsvermögen und visuell-räumliche Prozesse ein Teil der Gedächtnisfunktionen oder spezieller der Arbeitsgedächtnisfunktionen sein sollten. Die Vorstellung vom Arbeitsgedächtnis als ein System der Speicherung und Manipulation von Information ermöglicht die Interpretation unterschiedlicher kognitiver Funktionen. Hintergrund dazu liefert die Studie von innerlichen Repräsentationen, charakterisiert durch das Vorhandensein sowohl visueller als auch räumlicher Eigenschaften. Welche Eigenschaft vorliegt variiert nach spezifischer Aufgabe. Innerliche mentale Repräsentation ist notwendig, beispielsweise für mentales Scannen, mentale Rotation oder der Koordination motorischer Aktivitäten. In

verschiedenen Situationen werden unterschiedliche Arten von Informationen ausgearbeitet um eine innerliche mentale Repräsentation zu entwickeln, basierend auf visuell-räumlichen Besonderheiten. Anschließend erfolgt die Integration dieser Informationen. Das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis liefert einen theoretischen Rahmen, der genutzt werden kann um unterschiedliche visuell-räumliche Prozesse zu interpretieren. Mentales Vorstellungsvermögen kann als eine Arbeitsgedächtnisfunktion interpretiert werden.

Die Ausprägung der Besonderheiten dieses komplexen Systems des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses (und Arbeitsgedächtnis als ein Ganzes), welches beide Extreme (verbale und räumliche Komponente) und geringe Unterschiede (z.B. die Unterscheidung zwischen visuellen und räumlichen Prozessen) berücksichtigt, wird bei der Ergebnisforschung noch weiter behandelt (vgl. Cornoldi & Vecchi, 2003, S. 8).

5. Räumliches Arbeitsgedächtnis bei Jugendlichen

Menschliches Denken ist individuell sehr unterschiedlich. Differentielle Unterschiede in der Kognition zeigen sich schon in jungen Jahren.

5.1 Entwicklung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses

Die Entwicklungspsychologie hat sich mit den intellektuellen Veränderungen während der Kindheit bis hin zum Erwachsenenalter beschäftigt. Besonders engagiert in diesem Zusammenhang war der Schweizer Psychologe, Jean Piaget (1975), der bei Untersuchungen der kognitiven Kindesentwicklung feststellte, dass einem Kind bei der Geburt nahezu alle grundlegenden kognitiven Fähigkeiten fehlen (vgl. Anderson, 1996, S. 441). Diese entwickeln sich erst mit der Zeit und er unterschied vier wichtige Stufen:

1. **Sensumotorische Stufe:** von der Geburt bis zum zweiten Lebensjahr; die Kinder entwickeln Schemata über die physikalische Welt, wie beispielsweise die Vorstellung von einem beständigen Gegenstand in der Welt.

2. **Präoperatorische Stufe:** reicht vom zweiten bis zum siebten Lebensjahr; die Kinder sind zu internalem Denken über die Welt fähig, wobei die mentalen Prozesse noch intuitiv sind und ihnen noch die Systematik fehlt.
3. **Konkret-operatorische Stufe:** umschließt den Zeitraum zwischen dem siebten und dem elften Lebensjahr; die Kinder entwickeln eine Reihe mentaler Operationen, um sich auf systematische Art und Weise mit der physikalischen Welt auseinanderzusetzen.
4. **Formal-operatorische Stufe:** verläuft vom elften bis zum fünfzehnten Lebensjahr; die Kinder können abstrakt denken und sind zum schlussfolgernden, wissenschaftlichen Denken fähig.

Das Stufenkonzept von Piaget wurde dahingehend kritisiert, dass vor allem die Übergänge nicht als sprunghaft angesehen werden dürfen. Zwischen Kindern gleichen Alters gibt es bemerkenswerte Unterschiede, wie auch zwischen einzelnen verschiedenartigen Kulturen.

Nach Meinung von Siegler (1991) sind Veränderungen in der Entwicklung während der ersten beiden Lebensjahren größtenteils auf neuronale Veränderungen zurückzuführen. Verschiedentlich wurde auch von Case (1985) betont, dass „ein Anwachsen der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses den Schlüssel zur Entwicklungsabfolge liefert“ (Case, 1985, zit. n. Anderson, 1996, S. 417). Case vertritt die Meinung, nur wenn Kinder vier Fakten im Gedächtnis behalten können, erreichen sie die vierte Stufe der Entwicklungssequenz. Für das Anwachsen des Arbeitsgedächtnisses ist die Erhöhung der Geschwindigkeit neuronaler Funktionen verantwortlich. Er stützt sich auf Unterlagen, die besagen, dass die Myelinisierung mit dem Alter zunimmt und „dieser Myelinisierungsgrad etwa zu den Zeitpunkten besonders stark steigt, zu denen auch die von Case postulierten Hauptveränderungen des Arbeitsgedächtnisses auftreten“ (Case, 1985, zit. n. Anderson, 1996, S. 418). Darüber hinaus meint Case, dass die erfolgreiche Ausführung mentaler Operationen durch die oftmalige Wiederholung erleichtert wird, daher auch weniger Kapazität im Arbeitsspeicher notwendig ist.

Kails (1992) Forschungsbericht war dem von Case sehr ähnlich. Wie schon im Kapitel 2.1 erwähnt, untersuchte auch er Aufgaben zur mentalen Rotation. Die Versuchspersonen erhielten Paare von Buchstaben, unterschiedlich angeordnet, und die Probanden sollten abschätzen, ob sie identisch oder spiegelbildlich dargestellt sind. Die Teilnehmer versuchten die Objekte bis zur Kongruenz mental zu rotieren. Das Alter der Probanden reichte von 8 bis 22 Jahren und Kail machte dabei die Feststellung, dass je älter die Versuchspersonen waren, desto schneller war die Rotationsgeschwindigkeit. Mentale Geschwindigkeit nimmt mit dem Alter zu, wobei grundsätzlich vor allem die vermehrte Übung eine wichtige Rolle spielt (vgl. Anderson, 1996, S. 419).

Die Untersuchungen von Siegler (1998) erstreckten sich die Kindheit hindurch und bezogen sich sowohl auf das deklarative als auch das implizite Gedächtnis. Es besteht eine wichtige theoretische Unterscheidung zwischen *expliziten oder deklarativen* Gedächtnis auf der einen Seite und *impliziten oder prozeduralem* Gedächtnis auf der anderen Seite. Unter dem *explicit/declarative memory* versteht man Gedächtnisinhalte, die bewusst wiedergegeben werden können, durch Erinnerung an persönliche Ereignisse (episodisches Gedächtnis) oder Gegebenheiten (semantisches Gedächtnis). *Implizites/non-declarative memory* basiert auf Abfragen von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis und kommt vor allem bei Erlangung, Speicherung und Anwendung von Fertigkeiten zum Tragen (vgl. Baddeley, 2009, S. 10).

Anfänglich beobachtete Siegler eine schrittweise Verfeinerung des deklarativen Gedächtnisses und bot hierfür vier mögliche Erklärungen. Erstens, die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses oder Arbeitsgedächtnisses wächst über die Jahre an. Zweitens, Kinder entwickeln mehr Gedächtnisstrategien. Drittens, ältere Kinder haben viel mehr Wissen, als Jüngere, was das Lernen und Erinnern an neue Informationen erleichtert. Viertens, *metamemory* ist das Wissen, das wir über unser eigenes Gedächtnis und seine Arbeitsweise besitzen. *Metamemory* entwickelt sich im Verlauf der Kindheit und es erscheint logisch, dass Kinder mit gutem *metamemory* ihre Gedächtnisspanne effektiver nutzen können, wie Kinder mit fehlendem *metamemory*. Wesentlich dabei ist aber, dass die vier Aspekte nicht völlig isoliert voneinander betrachtet werden (vgl. Baddeley, 2009, S. 274).

Wie schon im Kapitel 3.3 erwähnt, hatte das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1986) ursprünglich drei Komponenten, welche er später auf eine Vierte erweiterte. In diesem Zusammenhang ist interessant, ob es nun für einige oder alle Komponenten Veränderungen in der Entwicklung gibt. Eine sehr umfassende Untersuchung zum Thema Arbeitsgedächtnis führten Gathercole, Pickering, Ambridge, und Wearing (2004) durch, welche Buben und Mädchen im Alter von 4 bis 15 Jahren studierten. Die Kinder waren angewiesen eine größere Auswahl von Gedächtnisaufgaben, die sich auf jede der drei zuvor besprochenen Komponenten bezog, durchzuführen:

- Phonologische Schleife: Mithilfe eines Ziffernabruftests wurde der *digit span* getestet.
- Zentrale Exekutive: Ähnlich dem Ziffernabruftest wurden die Ziffern rückwärts angeboten und waren in dieser Anordnung anzugeben.
- Visuell-räumlicher Notizblock: Die Teilnehmer bekamen einen Test mit Muster, wo ein zwei-dimensionalen Raster mit ausgefüllten und nicht ausgefüllten Quadraten zu sehen war, anschließend Abruf der Muster.

Dabei beobachteten Gathercole et al. (2004), dass von Jahr zu Jahr eine zunehmende Verbesserung in allen drei Komponenten offensichtlich war, wie die Abbildung 16 zeigt. Zudem stellte er fest, dass die Struktur des Arbeitsgedächtnisses über die Jahre der Kindheit ziemlich konstant war.

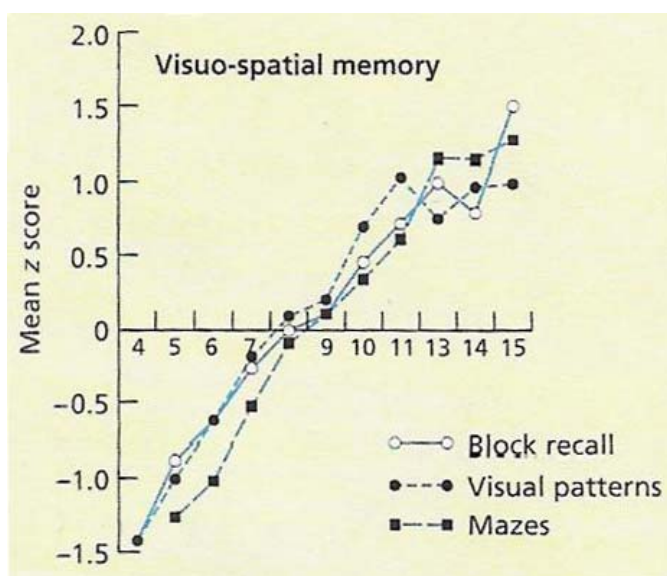


Abbildung 16. Veränderungen in der Entwicklung im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis (visuo-spatial sketchpad) zwischen dem 4. – 15. Lebensjahr (Gathercole et al., 2004, in Baddeley et al., 2009, S. 275)

Ältere Kinder wissen meist mehr als jüngere. Die Gedächtnisleistung ist generell besser, sofern das lernende Kind das Gelernte mit dem gespeicherten Wissen verknüpfen kann (vgl. Baddeley, 2009, S. 275).

5.2 Individuelle Unterschiede

Stets steht die Frage im Raum, in welcher Weise ist die Entwicklungsspezifität des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses zu sehen. Soll die Entwicklung mehr von einer allgemeinen Fähigkeit oder einer gemeinsamen Fähigkeit betrachtet werden? Piaget und Inhelder (1966) haben in ihrer Theorie ähnliche Positionen bezogen, wie auch Neo-Piaget-Theoretiker. So bot beispielsweise Case (1985) eine wichtige Konzeptualisierung des Arbeitsgedächtnisses an, in dem er einen Verarbeitungsraum mit Speichermöglichkeit und betriebsfähige Areale annahm. Der Speicherraum ist an der Aufrechterhaltung von Information beteiligt und der betriebsfähige Raum ist der Ausführung von Operationen bezüglich dieser Informationen gewidmet. Der gesamte Raum sollte mit dem Alter nicht variieren, wohingegen die Entwicklungsänderungen die Proportionen der zwei Raumarten betreffen. Tatsächlich ist ein Anwachsen von Effizienz und Automatisierung von mentalen Operationen mit dem Alter zu beobachten. Der operative Raum benötigt weniger Ressourcen, mit der Konsequenz, dass mehr Ressourcen für den Speicher abrufbar sind. Diese anwachsende Effizienz von Operationen hat auch Kail (1988) festgestellt, indem er Kinder unterschiedlichen Alters mit einer Serie von Aufgaben testete, die visuelle Überprüfung, Gedächtnisüberprüfung und mentale Rotation einschlossen. Die Entwicklungsänderung war durch eine Exponentialfunktion mit einer gemeinsamen Änderungsquote gut beschrieben. Die Ergebnisinterpretation bezog sich zentral auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit aller Aufgaben (vgl. Cornoldi & Vecchi, 2003, S. 71).

Die Vielzahl von Studien, in denen die verschiedensten Komponenten hinsichtlich der Entwicklung untersucht wurden, demonstriert die Spezifität des Systems. So war Millar (1994) der Ansicht, dass Unterschiede in räumlicher Repräsentation während der Entwicklung nicht korrespondieren mit Entwicklungsstufen. Vor allem die Ich-bezogene räumliche Repräsentation ist bei jungen Kindern vorherrschend. Bei älteren Kindern war der Vergleich verschiedener Altersgruppen hinsichtlich unterschiedlicher Aufgabenmodalitäten interessant, insbesondere die Unter-

scheidung zwischen visuell-räumlich simultaner und visuell-räumlich sequenzieller Modalität. Die Daten von Pickering, Gathercole, Hall und Lloyd (2001) belegen, dass verbale und räumliche Prozesse deutlich unterschieden werden können, aber dass innerhalb des räumlichen Areals eine weitere Unterscheidung zwischen räumlichen simultanen und räumlich sequenziellen Prozessen möglich sei.

In einer anderen Studie zur Entwicklungsspezifikation zeigten Cornoldi, De Beni, Giusberti und Massironi (1998), dass die Entwicklung der Fähigkeit eine hervorgerufene Vorstellung aufrechtzuerhalten langsamer war, als die Entwicklung des visuellen Kurzzeitgedächtnisses. Die Generation von mentaler Vorstellung scheint einen höheren Punkt in einem Aktivitätskontinuum zu repräsentieren. Mentale Vorstellungsvermögensaufgaben erfordern einen höheren Level an Aktivität, wobei auch Kinder zu komplexeren visuell-räumlichen Prozessaufgaben, wie mentale Rotation, fähig sind. Sie benötigen dafür nur mehr Zeit als Erwachsene. Auch die Strategien sind vergleichsweise relativ unterschiedlich. Eine Studie von Kosslyn und Kollegen (Kosslyn et al., 1990) ergab beim Vergleich der Leistung bei 6-, 8-, und 14-jährigen Kindern Unterschiede. Die Kinder hatten eine Batterie von mentalen Vorstellungsaufgaben, wie mentale Rotation oder Erzeugung, Aufrechterhaltung und Scannen von mentalen Vorstellungen, zu bearbeiten. Dabei erkannten sie, *„that differences were less evident in tasks requiring information to be simply maintained in memory“* (Kosslyn et al., 1990, zit. n. Cornoldi & Vecchi, 2003, S. 75).

5.3 Genderspezifische Unterschiede

Aus verschiedenartigen Gründen kam es durch frühere Forschungen zu der Annahme, dass Männer auf dem visuell-räumlichen Gebiet besser wären als Frauen. Die damaligen Daten bestätigten diese Sichtweise weitgehend.

Cornoldi und Vecchi (2003) widmeten sich sehr ausführlich dieser Thematik und zu allererst entschieden sie sich, statt des Begriffes Geschlecht, den Ausdruck Gender zu verwenden, da dieser ihrer Meinung nach, eine größere Flexibilität ermöglicht, wenn es um soziale und biologische Faktoren geht. Die daraus resultierende Veranlagung/Erziehung-Debatte reflektierte zwei extreme Positionen. Die eine stellt eine biologische Prädisposition in den Vordergrund, während sich die andere auf Erfahrung und erzieherische Faktoren stützt.

Die Erforschung der Genderunterschiede startete im frühen 19. Jahrhundert. Der Zeit entsprechend zeigten wissenschaftliche Ergebnisse männliche Überlegenheit und auch die Gedanken über den Gewichtsunterschied des männlichen und weiblichen Gehirns brachten keinen wissenschaftlichen Durchbruch. Erst die Arbeit von Maccoby und Jacklin (1974) bot eine beeindruckende Anzahl von Studien und Analysen zu verbalen, mathematischen und visuell-räumlichen Fähigkeiten. Anfängliche Ergebnisse demonstrierten eine weibliche Überlegenheit bei verbalen Fähigkeiten und eine männliche Überlegenheit bei mathematischen und arithmetischen Aufgaben. Auf visuell-räumliche Fähigkeiten bezogen, zeigten frühere Berichte vor allem männliche Überlegenheit in mentalen Transformationen und Rotationsaufgaben (vgl. Cornoldi & Vecchi, 2003, S. 58).

Einen entscheidenden Durchbruch gelang Linn und Petersen (1985) und D. Voyer, S. Voyer und Bryden (1995), die anhand von Metaanalysen zu Gendereffekten feststellten, dass es unmöglich wäre, visuell-räumliche Fähigkeiten als ein Ganzes zu betrachten. Erst die Unterscheidung zwischen passiven und aktiven Manipulationen in visuell-räumlichen Aufgaben zeigte eine besondere Signifikanz. Beide Linn und Petersen (1985) und Voyer et al. (1995) berichteten, dass signifikante Unterschiede die Männer favorisieren: in Aufgaben, die aktiv mentale Rotation und Manipulation fordern. Weniger signifikante Unterschiede zeigen sich bei passiven Aufgaben. Offenbar scheint die Art der spezifischen Aufgabe signifikante individuelle Unterschiede hervorzubringen. Jede Aufgabe erfordert ein unterschiedliches Maß an Aktivität. Sie beinhaltet einerseits aktive Arbeitsgedächtnisprozesse und eine spezifische visuell-räumliche Modalität.

Mentale Rotation und Manipulation sind höchst aktive visuell-räumliche Arbeitsgedächtnisaufgaben, die Genderunterschiede implizieren. Im Gegensatz dazu erfordert visuelle *Memory* weniger aktive Operationen und verfügt daher über weniger Genderunterschiede.

Derzeit existieren die unterschiedlichsten Modelle basierend auf sozialisationsbedingten, genetischen, hormonellen und neuropsychologischen Hypothesen und möglichen Wechselwirkungen. Eine Interaktion wird von Fausto-Sterling (1988) so erläutert: „Da geschlechtsspezifische Differenzen in der Raumvorstellung erstmals deutlich zur Zeit der Pubertät auftreten, kommen manche Forscher zum Schluß, daß sich die hormonellen Veränderungen, die mit der körperlichen einhergehen,

unterschiedlich auf die männliche und weibliche Gehirnentwicklung auswirken“ (Fausto-Sterling, 1988, zit. n. Maier, 1999, S. 228).

Kürzlich durchgeführte neuropsychologische Analysen verifizieren die Theorie der funktionalen Asymmetrie, die davon ausgeht, dass visuell-räumliche Fähigkeiten in der rechten Hemisphäre anzusiedeln sind. Fausto-Sterling (1988) meint demnach, wenn typische schulische Aktivitäten, wie Sprechen, Schreiben und Rechnen der linken Hemisphäre zuzuordnen sind, könnte durch Training des räumlichen Vorstellungsvermögens die scheinbar vernachlässigte rechte Hirnhälfte aktiviert werden (vgl. Maier, 1999, S. 229).

6. Relevanz der Raumvorstellung

Wie schon erwähnt, stellt Raumvorstellung einen bedeutsamen Intelligenzfaktor dar. In letzter Zeit hat man sich auch im schulischen Bereich vermehrt um diese wichtige Fähigkeit gekümmert, vor allem wenn es um Berufsorientierung geht. Dieses Fach wird im Schultyp der Kooperativen Mittelschule angeboten, um die Schüler auf das spätere Berufsleben gezielt vorzubereiten. Verschiedene Schulbücher aus Mathematik und Geometrisches Zeichnen weisen berufsbezogen auf dieses zentrale Thema hin. Bei vielen Tätigkeiten sind visuell-räumliche Wahrnehmungen vorhanden (vgl. Maier, 1999, S. 123).

6.1 Raumvorstellung im Rahmen des Lehrplanes

Am 11. Mai 2000 wurde der (neue) AHS-Lehrplan im Bundesgesetzblatt kundgemacht (BGBl. II Nr. 133/2000). In den Lehrplänen der AHS-Unterstufe vom Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur ist die Förderung des räumlichen Vorstellungsvermögens in einigen Unterrichtsgegenständen eigens erwähnt. Der Lehrplan gliedert sich in das Allgemeine Bildungsziel, die Allgemeinen Didaktischen Grundsätze, den Teil Schul- und Unterrichtsplanung, die Stundentafeln und die Lehrpläne für die einzelnen Unterrichtsgegenstände. So fordert der erste Teil des Allgemeinen Bildungszieles, im Bildungsbereich Natur und Technik: im Unterricht ist grundlegendes Wissen, Entscheidungsfähigkeit und Handlungskompetenz zu vermitteln.

„Die Schülerinnen und Schüler sind zu befähigen, sich mit Wertvorstellungen und ethnischen Fragen im Zusammenhang mit Natur und Technik sowie Mensch und Umwelt auseinander zu setzen. Als für die Analyse und Lösung von Problemen wesentliche Voraussetzungen sind Formalisierung, Modellbildung, Abstraktions- und Raumvorstellungsvermögen zu vermitteln“ (BGBl. II Nr. 133/2000).

In der Präambel des Lehrplanes Mathematik ist bei Unterrichtszielen und Unterrichtsinhalten im Gebiet Geometrie „[...] räumliches Vorstellungsvermögen entwickeln [...]“ (BGBl. II Nr. 133/2000) explizit erwähnt. Weiters kommt im Lehrplan für das Unterrichtsfach Geometrisches Zeichnen in den Beiträgen zu den Bildungsbereichen *Natur und Technik* unter anderem „Erfassen, Strukturieren, Modellieren geometrischer Objekte, Erfassen und Diskutieren von Bewegungsvorgängen und Transformation im Raum, Raumvorstellung- und Intelligenztraining“ vor.²

6.2 Raumvorstellung im schulischen Bereich

Maier (1999) beschäftigte sich ausführlich mit Raumvorstellung im schulischen Bereich. Als Basis diente ihm das Schulgesetz für Baden-Württemberg, in dem unter anderem das Hauptaugenmerk auf die Aufgabe gerichtet ist, die der Schule gegenüber SchülerInnen zukommt, nämlich sie auf die Anforderungen der Berufs- und Arbeitswelt vorzubereiten. Ähnlich formuliert ist dies auch im österreichischen Schulwesen vorgesehen und lässt sich somit gut vergleichen. Gemeint ist die interaktive Auseinandersetzung der SchülerInnen mit der „räumlichen Umwelt, die in vielen Schulfächern zum Tragen kommt“ (Maier, 1999, S. 124).

Beispielsweise im Unterrichtsgegenstand **Geografie und Wirtschaftskunde** spielt die Betrachtung und räumliche Orientierung im 2- und 3- dimensionalen Raum eine zentrale Rolle. Im **Chemie- und Physikunterricht** ist außerordentlich hohe Raumvorstellung gefordert, wenn es um die Vorstellung von Atommodellen und Kristallstrukturen geht, wie auch verschiedene Beiträge zum Thema Subfaktor *Räumliche Orientierung* von Eliot und Hauptman (1981) belegen. Im Lehrplan sind diese Wissensgebiete erst in der achten Schulstufe vorgesehen, was auch der Meinung entspricht, dass die SchülerInnen erst sodann über ausreichend Raumvorstellung verfügen. Besonderes räumliches Vorstellungsvermögen ist auch im

² http://www.bmukk.gv.at/medienpool/878/lp_hs_geomzeichnen_878.pdf S. 1 (29.08.2011)

Unterrichtsfach **Biologie und Umweltkunde** nötig, wenn es um die Erfassung von pflanzlichen und tierischen Zellen geht. Allerdings sind im Fach **Technisches Werken** sicher „stärkste Zusammenhänge mit dem räumlichen Vorstellungsvermögen“ zu finden (Maier, 1999, S. 127). Vergleichsweise geht dies auch in einer Korrelationstabelle von Smith hervor. So zeigten sich bei Korrelationsberechnungen bei Raumvorstellungstestergebnissen und Noten in Fächern, in denen räumliche Fähigkeiten vermutet wurden, wie zum Beispiel Technischem Werken, besonders hohe Korrelationen (vgl. Eliot & Smith, 1983, S. 442).

6.3 Raumvorstellung im beruflichen Bereich

Auf der Suche nach Informationen zu verschiedenen Berufen findet sich bei Anforderungen im Bereich Sachkompetenz sehr häufig die Angabe „räumliches Vorstellungsvermögen“. Daher sind Raumvorstellungstests in vielen Berufseinstellungsverfahren enthalten. Diesbezüglich merkte Maier an, dass solche Testaufgaben im Unterricht „nur selten oder gar nicht anzutreffen sind“ (Maier, 1999, S. 142).

Neubrand und Neubrand (1988) stellten in ihrer Analyse von Berufseignungstests fest, dass ein Einsatz von derartigen Testaufgaben in jeder Phase des Geometrieunterrichtes möglich wäre.

Bei einer Vielzahl von Berufen aus dem Bereich Technik (wie Ingenieure, Architekten usw.), Wissenschaft (wie Biologen, Chemiker, Geophysiker, Mathematiker, usw.), Technisches Zeichnen, Medizin und Design ist außerordentlich hohes räumliches Vorstellungsvermögen erforderlich. Dies gilt auch für viele Bau- und Handwerksberufe. Erst in letzter Zeit wurde in diversen Mathematikschulbüchern bei speziellen Übungsbeispielen darauf hingewiesen, dass für verschiedene Bau- und Handwerksberufe, die Berufsvoraussetzung "räumliches Vorstellungsvermögen" nötig ist. Dies gilt natürlich auch für Berufe aus dem EDV-Bereich (vgl. Achleitner et al., 2008, S. 52).

Schüler, die Berufsschulen der Metalltechnik, Elektrotechnik, Bau- und Holztechnik und Farb- und Raumgestaltung besuchen, sind im Geometrisch Zeichnen Unterricht mit Übungen zur Entwicklung des Vorstellungsvermögens konfrontiert. Die Durchführung ähnlicher Aufgaben schon im Vorfeld, würde für viele Schüler

eine Erleichterung darstellen. Derzeit bestehen bei Betrachtung verschiedener Anforderungsprofile noch „beträchtliche Diskrepanzen zum allgemeinbildenden Schulwesen“ (Maier, 1999, S. 146).

7. Methodik

Zum besseren Verständnis bei der Überprüfung der Fragestellungen und Annahmen, ob die veränderten 3DW-Aufgaben "verrechnungsfair" sind, wird im Folgenden näher auf verschiedene Modellkontrollen eingegangen (vgl. Kubinger, 2006, S. 84).

7.1 Das dichotome logistische Modell von Rasch

Grundsätzlich geht man davon aus, dass die H_0 stets lautet: „Das Modell gilt“ (Formann, 2004, S. 88). Bei jedem Test und auch jedem Item ist vorauszusetzen, dass es um eine einzige Eigenschaftsdimension geht, die damit erfasst wird. Eine weitere Voraussetzung stellt die „lokale stochastische Unabhängigkeit“ dar. Damit wird gefordert: „Ob eine T_p ein Item löst oder nicht löst, hängt, abgesehen vom Zufall, nur von ihrer Fähigkeit und von der Schwierigkeit des Items ab, nicht aber davon, welche anderen Items sie schon gelöst hat oder noch lösen wird“ (Kubinger, 2006, S. 85).

Somit wird im Rasch-Modell die Wahrscheinlichkeit beschrieben, dass die Person v das Item i löst („+“), in Abhängigkeit von der Fähigkeit der Person v (Personenparameter ξ_v) und Schwierigkeit des Items i (Itemparameter σ_i).

$$P(+|\xi_v, \sigma_i) = \frac{e^{\xi_v - \sigma_i}}{1 + e^{\xi_v - \sigma_i}}$$

Eine wesentliche Eigenschaft ist die *Eindimensionalität* darunter versteht man, dass es nebensächlich ist, in welcher Population getestet wird, die Items messen immer dieselbe Fähigkeit. Wenn dies zutrifft, spricht man von Rasch-homogen. Items, die dem nicht entsprechen, sollten herausgenommen werden. Um die Stichprobenunabhängigkeit zu prüfen, teilt man die Gesamtstichprobe der SchülerInnen anhand sogenannter Teilungskriterien. Für jede so entstandene Teilstichprobe der SchülerInnen wird eine Schätzung der Itemparameter durchgeführt. Die entsprechende H_0 , die geprüft werden soll, sieht wie folgt aus:

$$\sigma_i^{(1)} = \sigma_i^{(2)} = \sigma_i, \text{ wobei}$$

$\sigma_i^{(1)}$ die Itemparameterschätzwerte der ersten Teilstichprobe,

$\sigma_i^{(2)}$ jene der zweiten Teilstichprobe und

σ_i die der Gesamtstichprobe bezeichnet.

Im Allgemeinen ist die Alternativhypothese ungerichtet, das heißt $\sigma_i^{(1)} \neq \sigma_i^{(2)}$ (vgl. Formann, 2004, S. 88).

In dieser Arbeit werden als Teilungskriterien die externen Kriterien (Geschlecht, Alter, Bearbeitungsgeschwindigkeit und Muttersprache) sowie das interne Kriterium des Rohscores verwendet. Dieses interne Kriterium teilt die Stichprobe nach der Leistungsfähigkeit im Test selbst (hoher bzw. niedriger Rohscore).

7.1.1 Modelldarstellung mit logarithmierten Parametern

In Abbildung 17 ist die Itemfunktion des Rasch-Modells dargestellt für den Schwierigkeitsparameter des Items $\sigma_i = 0$.

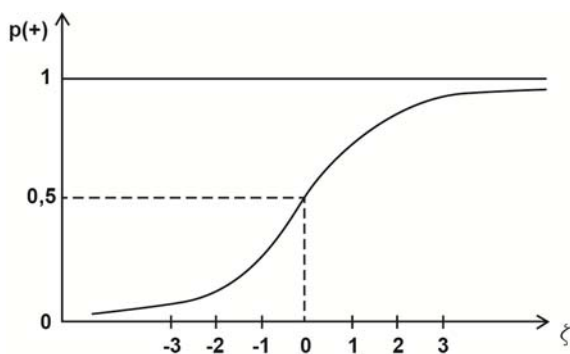


Abbildung 17. IC-Kurve eines Rasch-Items mit $\sigma_i = 0$ (Formann, 2004, S. 71)

Die Wahrscheinlichkeit ein Item zu lösen, hängt nicht davon ab, wie groß ξ_v und wie groß σ_i ist, sondern von der Differenz $d_{vi} = \xi_v - \sigma_i$. Mit anwachsendem ξ_v wächst auch die Wahrscheinlichkeit einer positiven ("+") Antwort. Die beiden Parameter sind reelle Zahlen und liegen zwischen $-\infty$ und $+\infty$. Die Itemcharakteristik (IC-Kurve) des Rasch-Modells zeigt sich in einer streng monoton wachsenden Funktion.

In Abbildung 18 sind leichte und schwierige Items zu sehen mit dem typischen Verlauf kennzeichnend für das Rasch-Modell (vgl. Formann, 2004, S. 73).

Die Summe aller Itemparameter ergibt 0 und wird *Summennormierung* ($\sum_{i=1}^k \sigma_i = 0$) genannt.

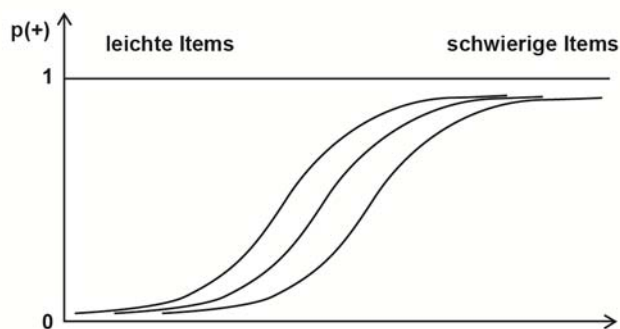


Abbildung 18. IC-Kurven dreier Items im Rasch-Modell (Formann, 2004, S. 73)

7.1.2 Grafische Modellkontrolle

Jedem Item wird ein Punkt $P(\hat{\sigma}_i^{(1)}, \hat{\sigma}_i^{(2)})$ in einem rechtwinkligen Koordinatensystem zugeordnet. Gilt das Modell ($\sigma_i^{(1)} = \sigma_i^{(2)} = \sigma_i$), dann liegen alle Punkte auf der Geraden, die durch den Ursprung geht. Diese Gerade hat den Anstieg 1. Wenn die Items nicht mit dem Modell konform sind, dann liegen sie nicht auf der Geraden. Allerdings wird über die statistische Signifikanz hiermit keine Auskunft gegeben. Im mittleren Schwierigkeitsbereich der Items wiegen Abweichungen von der 45°-Geraden schwerer, als in den Extrembereichen (vgl. Formann, 2004, S. 89).

7.1.3 Signifikanztest

R. A. Fisher vertritt die Ansicht, dass jedes Item das von einer Person bearbeitet wird, Information liefert. Dies birgt eine gewisse Symmetrie, da diese Information, sowohl etwas über die Schwierigkeit des Items, als auch über die Fähigkeit der Person aussagt. Die dichotome Bearbeitung (lösen/nicht lösen) eines Items von einer Person hat die größte Unsicherheit bei $\xi = \sigma$ (Lösungswahrscheinlichkeit = $\frac{1}{2}$). Hingegen ist die Information in Extrembereichen sehr gering (vgl. Formann, 2004, S. 90).

7.1.4 Likelihoodquotiententest nach Andersen (1973)

Zur Überprüfung, ob das Modell für alle Items gemeinsam gilt, kann die Summe der quadrierten z_i -Werte gebildet werden, $X^2 = \sum_{i=1}^k z_i^2$.

Diese Prüfgröße weist asymptotische X^2 -Verteilung mit $df = k - 1$ auf (Formann, 2004, S. 93).

Nach Andersen (1973) wird der Likelihood-Quotienten-Test nach der Formel berechnet:³

$$LRT = -2 [\ln L_{gesamt} - (\ln L_{gruppe1} + \ln L_{gruppe2})] \approx \chi^2 \text{ mit } df = (h-1)(k-1)$$

k... Anzahl Items

h... Anzahl Gruppen

$\ln L_i$...logarithmierte Likelihood der Gruppe i

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} \eta_j$$

Mit dem LRT wird verglichen, ob die Schwierigkeitsparameter in allen (Sub)-Gruppen gleich sind.

7.1.5 Martin-Löf-Test (1973)

Der Martin-Löf-Test (1973) teilt nach Untergruppen von Items und prüft die Homogenität der Items. Dazu werden die Summenscores beider Testhälften herangezogen (vgl. Rost, 2004, S. 353).

7.1.6 Testkonstruktion nach dem Rasch-Modell

Das Modell ist nur auf dichotome Daten anwendbar. Folgende wichtige Punkte sind zu beachten:

1. Itemkonstruktion und -auswahl richtet sich danach, welche Dimension von den Items erfasst werden soll.

³ nach Handout von Matthias Gabriel, 2003: Kurze Einführung in LpcM Win 1.0, S. 9

2. Die Stichprobe sollte möglichst groß sein und wegen relevanter Teilungskriterien heterogen sein.
3. Anschließend an die Datenerhebung erfolgt die Schätzung der Parameter für die Gesamtstichprobe und für jede nach den Teilungskriterien gebildete Teilstichprobe.
4. Für die Modellprüfung sind alle externen Kriterien wie auch das interne Kriterium (Teilung nach Rohscore) heranzuziehen. Die Itemselektion erfolgt dann nach den grafischen Modellkontrollen und z_i -Werten. Auffällige Items sind so lange zu eliminieren, bis χ^2 nicht signifikant ist (vgl. Formann, 2004, S. 94).

7.1.7 Speed and Power

Rasch (1960) beobachtete bei Teilung nach dem Rohscore, dass bei Tests mit Zeitbegrenzung die schwierigen Items gegen Ende zunehmend inhomogen waren. Er erklärte dies damit, dass leistungsfähigere Personen, die im Allgemeinen schneller voranschreiten auch bis zum Ende gut arbeiten und weniger leistungsfähigere Personen schon viel Zeit für die Bearbeitung für die ersten Aufgaben benötigen und die letzten Items nur mehr sehr ungenau oder gar nicht lösen. Das heißt, die am Ende eines Tests liegenden Items sind für weniger leistungsfähigere Personen schwieriger als für leistungsfähigere. Rasch entdeckte ohne Zeitbegrenzung keine Inhomogenität (vgl. Formann, 2004, S. 95).

7.1.8 Erschöpfende Statistiken

Likelihood ist im Englischen der Begriff für Mutmaßlichkeit und meint eigentlich die „erwartete Wahrscheinlichkeit“. Auch die Definition der dazugehörigen Funktion sei an dieser Stelle noch einmal herausgestrichen: „Die Likelihoodfunktion beschreibt die Wahrscheinlichkeit der Daten in Abhängigkeit von den Modellparametern unter der Annahme, dass das Modell gilt“ (Rost, 2004, S. 112).

Von den Testdaten braucht man für die Likelihoodfunktion nur die Testscores r_v bzw. die Häufigkeit n_v der Scores r . Alle Personen mit dem selben Score r erhalten dieselben Personenparameter.

Folglich hängt die Wahrscheinlichkeit nicht davon ab, welche Items eine Person gelöst hat, sondern wie viele. Das Ergebnis dieser Betrachtung besteht darin, dass man für die Schätzung der Modellparameter des Binomialmodells nur die

Testscores r_v (r_v ist die *Summe* aller 1-Antworten von Person v) der Personen benötigt. Somit gibt diese „Summenstatistik“ eine „erschöpfende“ Auskunft über die getestete Person; r_v wird auch die „*erschöpfende Statistik*“ für die Personenparameter genannt (Rost, 2004, S. 114).

7.1.9 Inhomogene Daten

In einem Artikel von Stelzl (1979) wird von der Annahme ausgegangen, dass ein Test aus zwei Itemgruppen besteht und jede im Sinne des Rasch-Modells für sich homogen ist. Allerdings messen die Itemgruppen Verschiedenes, so dass für jede Versuchsperson zwei statt einem Parameter ins Spiel kommen. Ihrer Meinung nach können diese beiden Personenparameter unabhängig oder korreliert sein. Weiters meinte sie, dass der LRT von Andersen nicht geeignet ist, wenn in den Daten Rasch-konforme Subskalen enthalten sind, die unterschiedliche latente Dimensionen erfassen (vgl. Gittler, 1999, S. 77). In Simulationsstudien konnte Stelzl zeigen, dass eine Aufteilung nach Testrohwerten und üblichen Kriterien wie Alter und Geschlecht nicht geeignet ist, „Inhomogenität gleichsam automatisch“ aufzudecken (Stelzl, 1979, S. 652).

In einem Bericht weist Gittler (1986) darauf hin, dass Items, die im Rahmen der Modellgeltungskontrolle aufgrund „technisch“ gegebener Kriterien (z. B. z-Werte, grafische Modelltests) als inhomogen identifiziert wurden, zwar zu selektieren sind, was aber nicht selten zu Problemen führt. Wenn die Items routinemäßig ausgeschieden werden, kann das aber nicht selten zu einer „artificialen Modellanpassung“ führen. Er vertritt die Ansicht, dass die üblichen Modelltests an Bedeutsamkeit gewinnen, wenn sie im Zusammenhang mit psychologisch-theoretischen Überlegungen eingesetzt werden (vgl. Gittler, 1986, S. 386).

Hinsichtlich der Fragestellung, ob im 3DW und 3DW-m möglicherweise unterschiedliche latente Fähigkeiten gemessen werden könnten, wird auf den Forschungsbericht von Gittler (1999) zurückgegriffen. In diesem Beitrag werden die zwei Rasch-skalierte Tests 3DW und WMT verglichen. Es wurde untersucht, „ob nicht zwei diagnostische Verfahren, die vorgeben verschiedene gut etablierte Fähigkeitsdimensionen zu messen, nicht doch mehr oder weniger dasselbe erfassen“ (Gittler, 1999, S. 69). Die Untersuchung dieser Thematik wurde mit dem

Modell von Rasch vorgenommen und jeder Test wurde auf Rasch-Homogenität kontrolliert. Nach diversen Itemselektionen konnte die Eindimensionalität sowohl des 3DW als auch des WMT bestätigt werden. Kubinger (1995) formulierte: „Das problematische an Raumvorstellungstests ist ihre häufig konstruktbedingte Affinität zu *reasoning* Tests“ (Kubinger, 1995, zit. n. Gittler, 1999, S. 72). Bezugnehmend auf die zentrale Fragestellung wurden die homogenen 3DW- und WMT-Aufgaben zu einem „kombinierten Test“ zusammengefügt. Anschließend sollte die Dimensionalität der kombinierten Tests mit dem Likelihood-Ratio-Test nach Andersen untersucht werden, wobei die schon erwähnten Vorbehalte von Stelzl (1979) aktuell werden. Formann (1981) konnte das Besondere bei Verwendung von Einzelitems als Teilungskriterien zeigen und er argumentierte:

Denn ohne genauere Vorkenntnisse sind nur die einzelnen Items unmittelbarer Ausdruck all dessen, was an verschiedenen Eigenschaften durch einen Test gemessen wird, so daß durch eine derartige Modellprüfung alle Inhomogenitäten aufdeckbar sein müßten, die auf das Zusammenspiel mehrerer Dimensionen zurückführbar sind (Formann, 1981, S. 553f, zit. n. Gittler, 1999, S. 77).

Daraufhin wurde ein Item des 3DW ausgewählt und anhand insignifikanter Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass die Kombination von 3DW- und WMT-Aufgaben nicht Rasch-homogen ist und „daher auch nicht dieselbe latente Dimension erfassen“ (Gittler, 1999, S.78). Die Alternativmethode dazu wäre der Martin-Löf-Test, siehe Kap. 7.1.5.

EMPIRISCHER TEIL

Kommentare von Schülern zu diesem Testverfahren

„Guter Test, bin aber erst bei den letzten Aufgaben so richtig reingekommen. Das gefällt mir, kann ich den noch einmal machen?“ (Schüler, 14 J.)

„Komisch, bin sonst nicht gut in Mathe, hab aber da viel richtig.“ (Schülerin, 14 J.)

„So etwas Ähnliches habe ich schon in der Berufsberatung gemacht, super!“ (Schüler, 15 J.)

Im empirischen Teil wird vor allem untersucht, ob der „neue“ Testteil mit den veränderten Aufgaben die Forderungen nach Eindimensionalität und Homogenität der Items erfüllt. Der vorliegende Testteil wird einer Modellprüfung nach RASCH unterzogen. Sofern eine Passung des Modells vorliegt, kann Rasch-Konformität angenommen werden.

Ist der Test zuverlässig?

Bedeutsam ist auch die Frage, ob nicht vielleicht in den beiden Testteilen unterschiedliche Fähigkeitsdimensionen ermittelt werden? Zusätzlich erfolgt eine Analyse eventueller Unterschiede in den Bearbeitungszeiten. Im Anschluss werden mögliche Zusammenhänge dieser Thematik im schulischen Bereich erforscht. An der Untersuchung sollen SchülerInnen der vierten Klassen (achte Schulstufe) Kooperativer Mittelschulen (KMS) in Wien teilnehmen.

8. Eingesetzte Testverfahren

Der hier zur Anwendung gekommene Test wurde auf Vorschlag des Betreuers dieser Arbeit entwickelt. Die Basis stellte der 3DW-Test (Gittler, 1990) dar, wobei der erste Teil des Tests das räumliche Vorstellungsvermögen und der zweite Teil das räumliche Arbeitsgedächtnis untersuchen sollte. Die Veränderung der 3DW-Aufgaben für den zweiten Testteil erfolgte insofern, dass eine „Memoryphase“ eingeplant wurde. Die Bezeichnung 3DW-m vereinfachte die Unterscheidung. Vor der Untersuchung wurden die demografischen Daten und beide Testteile als Computerverfahren von Univ. Prof. Dr. Georg Gittler unter Mitarbeit von Frau Mag. Christiane Heider programmiert.

8.1 Demografische Daten

Die Erhebung der demografischen Daten musste anonym erfolgen. Daher waren die SchülerInnen angehalten, ihre Namen nicht einzugeben. Anschließend sollte das Datum, Geschlecht, Alter, Händigkeit, Muttersprache Deutsch, Schultyp (1. Kooperative Mittelschule-KMS, 2. Kooperative Sportmittelschule-KSMS) und voraussichtlicher Bildungsweg angeführt werden:

1. Berufsschule/Fachschule/Lehre
2. Polytechnische Schule/Fachmittelschule
3. Berufsbildende Mittlere Schulen
4. Handelsschule/Handelsakademie
5. Höhere Technische Lehranstalt
6. Allgemeinbildende und Berufsbildende Höhere Schulen
7. Sonstiges

Die Erhebung der Noten des letzten Jahreszeugnisses erfolgte in den Unterrichtsfächern Mathematik, Deutsch und Englisch zusätzlich zu der Leistungsgruppeneinstufung (1.LG/2.LG/3.LG). Die Notenangabe zu den Gegenständen Physik/-Chemie, Biologie und Umweltkunde, Geografie und Wirtschaftskunde, Informatik, Geometrisches Zeichnen und Bewegung und Sport wurde um die Eingabe „nicht

beurteilt“ erweitert. Auch bei der Einstufung in Leistungsgruppen wurde auch die Möglichkeit „nicht eingestuft“ in Betracht gezogen.

8.2 Teil 1: 3DW

Die Entwicklung des 3DW-Tests (Gittler, 1978) ergab sich ursprünglich aus dem I-S-T (Subtest 8) von Amthauer (1953). Durchgeführte Itemanalysen zeigten, dass die I-S-T-Testaufgaben nicht dem RASCH-Modell entsprechen, das bedeutet, nicht nur eine einzige latente Fähigkeitsdimension untersuchen. Dies machte eine Entwicklung neuer Testaufgaben notwendig. In diesem Zusammenhang konstruierte Gittler (1978) 30 neue Würfelaufgaben. Diese unterschieden sich trotz einiger Ähnlichkeiten zu den I-S-T-Aufgaben vor allem dadurch, dass eine zusätzliche Antwortmöglichkeit G („kein Würfel richtig“) bzw. die Antwort H („ich weiß die Lösung nicht“) angegeben war. Zudem durfte auf den Antwortwürfeln A bis F im Vergleich zu den drei sichtbaren Mustern des Vorgabewürfels X nur maximal ein neues Muster aufscheinen. Eine anschließende Überprüfung auf Raschhomogenität brachte signifikante Modellabweichungen. Dies führte zu weiteren Überlegungen bezüglich der „90°-Drehungen“, auch Lösungsschritte bzw. LS genannt. Um einen Vorgabewürfel in einen Lösungswürfel überführen zu können sind entweder 1LS, 2LS beziehungsweise 3LS notwendig. Somit konnten die Aufgaben in diese drei Gruppen eingeteilt werden. Das Bewegen des Würfels in der Vorstellung gilt als „Raumvorstellungsleistung“. Hypothetisch sollte das einmalige Bewegen den Versuchspersonen leichter fallen, als das zwei- bzw. dreimalige Bewegen. Gittler (1984) untersuchte daran anschließend mithilfe des LLTM, ob diese Rangreihe gegeben war, und stellte dabei fest, dass zweimaliges Bewegen leichter fällt als einmaliges. Die gewonnene Erkenntnis führte zu verschiedener Strategieeinteilung: Raumstrategie, Relationsstrategie und Flächenstrategie. Die **Raumstrategie** besagt, dass sich alle Testaufgaben „durch ein- bzw. mehrmaliges Drehen und/oder Kippen um 90° entweder des Vorgabewürfels oder des jeweiligen Lösungswürfels richtig bearbeiten“ lassen (Gittler, 1990, S. 18). Welche Vorstellungsmöglichkeiten nun auch vorherrschen, es geht dabei immer um „Bewegungen“ im dreidimensionalen Raum und daher um die grundlegende Voraussetzung für einen Raumvorstellungstest.

Die **Relationsstrategie** meint, dass die drei sichtbaren Muster des Vorgabewürfels aufgrund ihrer besonderen räumlichen Anordnung und Position zueinander in Beziehung gesetzt werden können. Besondere „Muster-Relationen“ lassen den Lösungswürfel einfach identifizieren. In weiterer Folge ergaben sich vergleichbare Ähnlichkeiten der faktorenanalytischen Beschreibungen einerseits des Faktors *Spatial Visualisation* (McGee, 1979, S. 20) mit der Raumstrategie und andererseits des Faktors *Spatial Orientation* mit der Relationsstrategie. Die dritte Strategie, die **Flächenstrategie**, kann nur bei Aufgaben mit zwei Lösungsschritten angewendet werden, erfordert aber eine „mindere“ Raumvorstellungsleistung. Daher sind die Aufgaben mit Flächenwürfel nicht geeignet die entsprechende Raumvorstellungsdimension zu erfassen. Untersuchungen mit dem Likelihood-Quotienten-Test nach Andersen (1973) und mithilfe des Martin-Löf-Test (1973) bestätigten die „Eindimensionalitätsvoraussetzung“ (Gittler, 1990, S. 20). Für ein homogenes Testmaterial wurden somit Raumwürfelaufgaben, die LS1- und LS3-Lösungsschritte enthalten, verwendet. Der aktuelle RASCH-homogene Würfeltest 3DW besteht aus 17 Raumwürfelaufgaben und einer Warming-Up-Aufgabe (Item Nr. 1: Flächenwürfel Aufgabe). Dieses Item wird zur Ermittlung des Rohwertes nicht herangezogen.

Das hier verwendete Testverfahren enthielt im ersten Teil neun Items der Originalversion des dreidimensionalen Würfeltests (Gittler, 1990) mit erklärender Testinstruktion.

8.3 Teil 2: 3DW-m

Der Testteil 2, hier kurz mit 3DW-m bezeichnet, sollte das räumliche Arbeitsgedächtnis erfassen. Hierzu wurden die verbliebenen Items des originalen 3DW (Nr. 10 bis Nr. 18) verändert. Die Lösung der Items erfolgte hier in zwei Abschnitten. Im ersten Abschnitt, hier Lernphase genannt, waren ein bzw. drei Denkschritte angegeben, in denen der Vorgabewürfel in der Vorstellung gedreht oder gekippt werden sollte, wobei die genaue Reihenfolge der Denkschritte einzuhalten war. Dieser wichtige Punkt wurde in der Testinstruktion des zweiten Testteiles besonders herausgestrichen. Die Denkschritte sind mit den Lösungsschritten (LS) im 3DW vergleichbar. Je Denkschritt sollte der Vorgabewürfel um genau 90 Grad gedreht oder gekippt werden. Sobald die „korrekte“ Repräsentation des Lösungswürfels im Kopf vorhanden war, sollte im zweiten Abschnitt, Antwortphase, die richtige Lösung auf dem nächsten Bildschirmbild der Antwortmöglichkeiten wiedererkannt werden. Um die SchülerInnen mit der gedanklichen Vorgangsweise vertraut zu machen, waren eingangs zwei Übungsbeispiele durchzuführen. Nach einer fehlerhaften Bearbeitung wurde die Aufgabenstellung noch einmal gezeigt. Vor der Bearbeitung der eigentlichen neun Testitems erfolgten noch wichtige Hinweise, wie „nicht nur so **richtig** wie möglich, sondern auch **so rasch wie möglich**“ zu arbeiten, oder „im Test wird die **Aufgabenstellung** (= Denkschritte) **nur ein Mal präsentiert**, ein Zurückgehen ist **nicht möglich**“.

In den Illustrationen (vgl. Abbildung 19 und Abbildung 20) sind diese beiden Abschnitte (Lernphase und Antwortphase) eines Übungsbeispiels mit einem Denkschritt anschaulich dargestellt.



Abbildung 19. Testteil 2: Übungsbeispiel 2 (Lernphase). *)

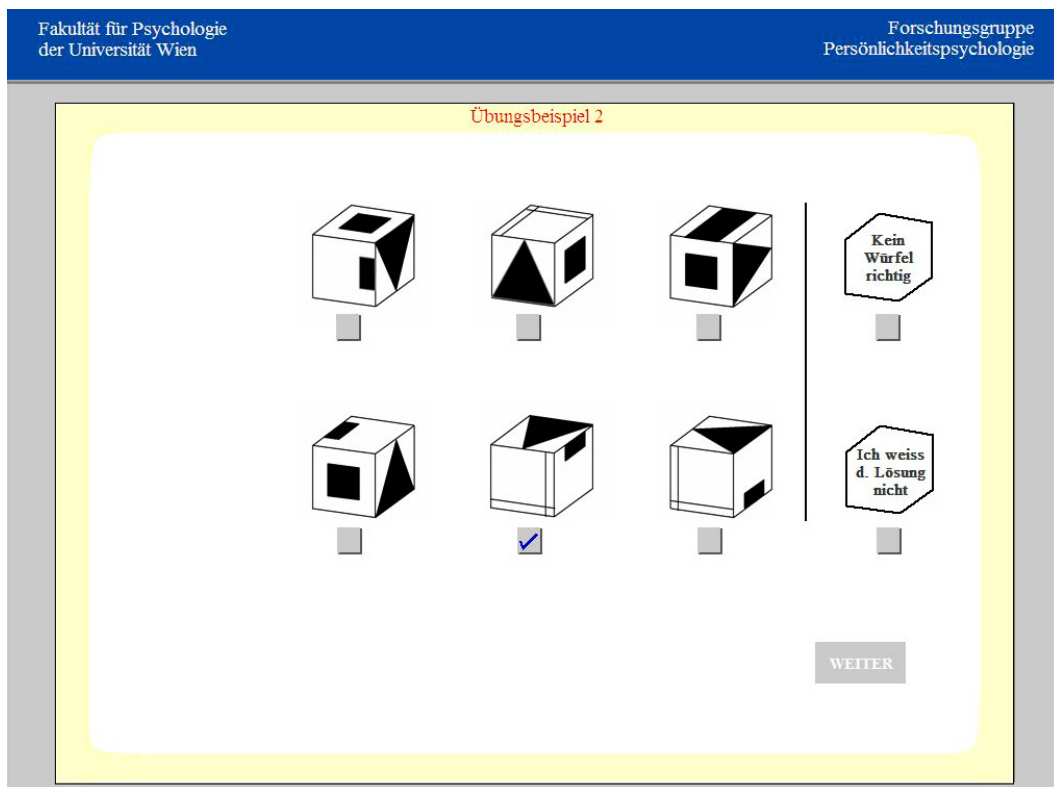


Abbildung 20. Testteil 2: Übungsbeispiel 2 (Antwortphase). *)

*) Die Rechte an diesem noch unveröffentlichten Testverfahren (3DW-m) hält Prof. Dr. G. Gittler. Die Genehmigung zum Abdruck der Bilder wurde mir von Prof. Gittler erteilt.

9. Datenerhebung

Wie vorgesehen sollte die Untersuchung in der 8. Schulstufe Kooperativer Mittelschulen stattfinden. Da es sich bei dieser Schulform um eine Bundesschule handelt und die ausgewählten Schulen im Wiener Bereich liegen, wurde eine Genehmigung des Stadtschulrates für Wien benötigt. Diese erfolgte am 19.10.2009 mit einem Zeitrahmen bis längstens Ende Februar 2010. Anonymität und eine schriftliche Einverständniserklärung der Eltern musste gewährleistet sein. Inspektoren und Direktoren der jeweiligen Schulen wurden über den Dienstweg von dieser Untersuchung in Kenntnis gesetzt. Die ursprünglich geplante Auswahl der Schulen, KSMS 2, Wittelsbachstraße 6, KMS 10, Absberggasse 50 und KMS 20, Stromstraße 40 musste wegen der noch zu geringen Teilnehmerzahl erweitert werden und die Schule KMS 2, Feuerbachstr.1 erklärte sich gerne dazu bereit.

Da für diese Datenerhebung Gruppentestungen vorgesehen waren, sollte an den oben genannten Standorten ein Computerraum mit vernetzten Geräten zur Verfügung stehen. Für eine komplette Testung war ungefähr eine Unterrichtsstunde einzuplanen.

Der Test bestand aus zwei Teilen. Der eine Teil, die erste Hälfte der Originalversion des 3DW und der andere Teil, die zweite Hälfte des 3DW war neuartig verändert worden. Unmittelbar vor Beginn der Testung erfolgte die Erhebung der demografischen Daten.

Anschließend wurden die Datensätze der einzelnen Schulen zusammengefügt, wobei für einige Fälle die Datensätze wegen kleinerer Computer- oder Netzwerkprobleme auszuschließen waren. Letztendlich konnten für die Stichprobe 161 Testpersonen herangezogen werden.

Alles in allem war bei den Schülern sofort Begeisterung vorhanden und sie waren mit Freude und Einsatz dabei. Einige der Schüler kannten diese Art der Befragung in ähnlicher Form vom BIWI (Berufsinformation der Wiener Wirtschaft) bzw. BIZ (Berufsinformationszentrum). Manche hätten den Test gerne noch einmal wiederholt, weil ihnen die Bearbeitung zunehmend leichter erschien. In der Beurteilung der beiden unterschiedlichen Teile zeigte sich keine Präferenz. Manche Schüler fanden den ersten Teil interessanter, andere den zweiten.

9.1 Stichprobenbeschreibung

Von den 161 teilnehmenden SchülerInnen konnten nicht alle Angaben der demografischen Daten (Geschlecht, Alter, Händigkeit, deutsche Muttersprache, Schultyp und voraussichtlicher Bildungsweg) verwendet werden.

Hinsichtlich des **Geschlechts** ergab sich eine Verteilung von 94 männlichen Schüler und 67 weiblichen Schülerinnen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1. Mädchen- und Burschenanteil

		Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig	männlich	94	58,4	58,4
	weiblich	67	41,6	100,0
	Gesamt	161	100,0	

Zum Zeitpunkt der Untersuchung lag das **Alter** der getesteten SchülerInnen im Bereich zwischen 13 und 15 Jahren. Die Werte der Burschen ($n = 94$) liegen durchschnittlich bei 13,62 ($\bar{x} = 13,62$; $SD = 0,606$) und die der Mädchen ($n = 67$) bei 13,76 ($\bar{x} = 13,76$, $SD = 0,698$).

Bezüglich der **Händigkeit** ergab sich eine Verteilung von 142 Rechtshänder (88,2%), 14 Linkshänder (8,7 %) und 4 (2,5 %) Angaben zur Beidhändigkeit (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2. Verteilung der Händigkeit

		Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig	Fehlend	1	,6	,6
	beidhändig	4	2,5	3,1
	linkshändig	14	8,7	11,8
	rechtshändig	142	88,2	100,0
	Gesamt	161	100,0	

Die Stichprobe setzte sich in Bezug auf die **Muttersprache** aus 99 SchülerInnen (61,5 %) mit nichtdeutscher und 62 SchülerInnen (38,5 %) mit deutscher Muttersprache zusammen (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3. Verteilung deutscher und nichtdeutscher Muttersprache

	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig deutsch	62	38,5	38,5
nicht deutsch	99	61,5	100,0
Gesamt	161	100,0	

Betreffend des **Schultyps** erfolgten 118 (73,3 %) Angaben zur Kooperativen Mittelschule (KMS) und 43 (26,7 %) Angaben zur Kooperativen Sportmittelschule (KSMS); (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4. Anteil der SchülerInnen in Kooperativen Mittelschulen und Kooperativen Sportmittelschulen

	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig KMS	118	73,3	73,3
KSMS	43	26,7	100,0
Gesamt	161	100,0	

Am häufigsten wurden zur Frage nach dem **voraussichtlichen Bildungsweg** die Kategorien Handelsschule (HAS)/Handelsakademie (HAK) mit 22,4 % und Berufsschule (BS) mit 21,1 % genannt. Gefolgt von den Kategorien Polytechnikum (PL) mit 16,2 %, Höhere Technische Bildungsanstalt (HTL) mit 13,7 %. 13,7 % konnten keine speziellen Angaben machen. Geringere Anteilswerte sind bei den Kategorien Allgemeinbildende höhere Schulen (AHS)/Berufsbildende höhere Schulen (BHS) mit 8,1 % und Berufsbildende mittlere Schulen (BMS) mit 5 % zu finden (vgl. Abbildung 21).

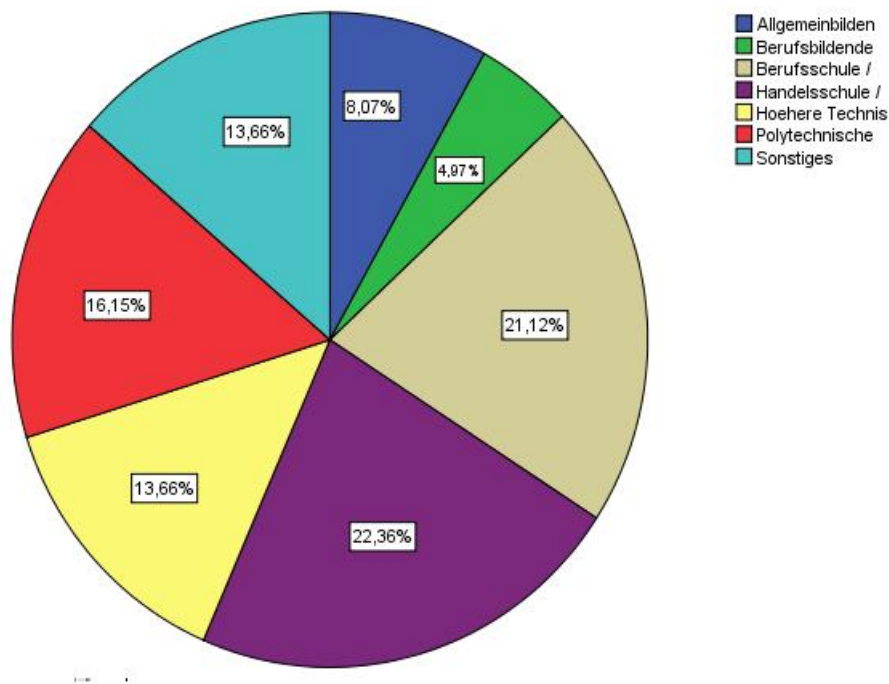


Abbildung 21. Kreisdiagramm mit den Anteilswerten für den zukünftigen Bildungsweg

In Kooperativen Mittelschulen (KMS) werden die SchülerInnen nach einem Beobachtungszeitraum von ungefähr drei Monaten nach ihren Fähigkeiten in drei **Leistungsgruppen** in den Unterrichtsgegenständen Mathematik, Englisch und Deutsch eingeteilt. SchülerInnen mit den besten Leistungen werden der ersten Leistungsgruppe (1.LG), SchülerInnen mit mittlerem Leistungsniveau der zweiten Leistungsgruppe (2.LG) und SchülerInnen mit schwächeren Leistungen der dritten Leistungsgruppe (3.LG) zugeordnet. Eine Umstufung ist jederzeit möglich, wenn LehrerInnen der Meinung sind die Leistungen hätten sich verbessert bzw. verschlechtert. Zuzüge von SchülerInnen aus dem Ausland führten auch dazu, dass keine Einstufung vorliegt. In der Tabelle 5 wird dies mit n (nicht eingestuft) gekennzeichnet. Die Angabe der Notenverteilung bezüglich der Leistungsgruppen in Mathematik, Englisch und Deutsch sind in den Diagrammen der Abbildung 22 zu sehen.

Tabelle 5. Verteilung der SchülerInnen in den drei Leistungsgruppen der Unterrichtsgegenstände Mathematik, Englisch und Deutsch

Leistungsgruppen	Mathematik		Englisch		Deutsch	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
1.LG	46	28,6	41	25,5	31	19,3
2.LG	80	49,7	88	54,6	89	55,3
3.LG	34	21,1	32	19,9	40	24,8
n (nicht eingestuft)	1	0,6			1	0,6
Gesamt	161	100,0	161	100,0	161	100,0

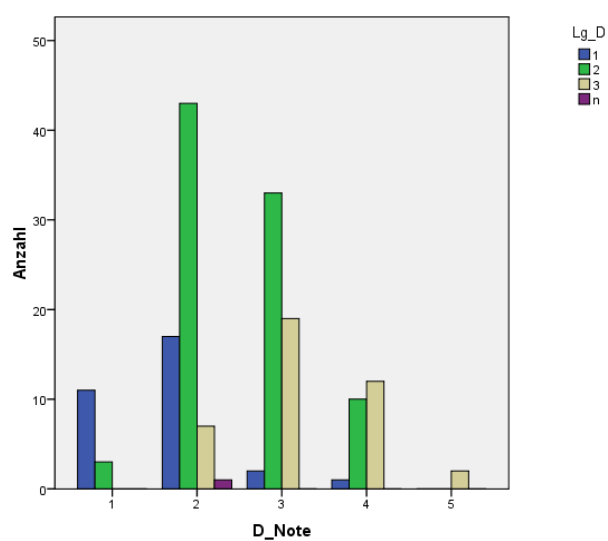
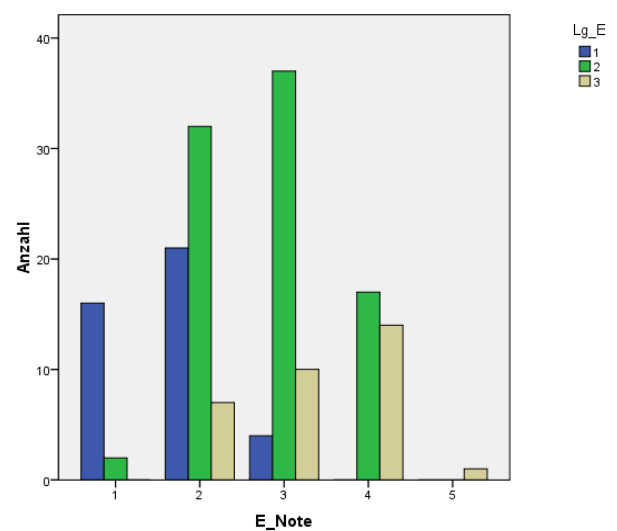
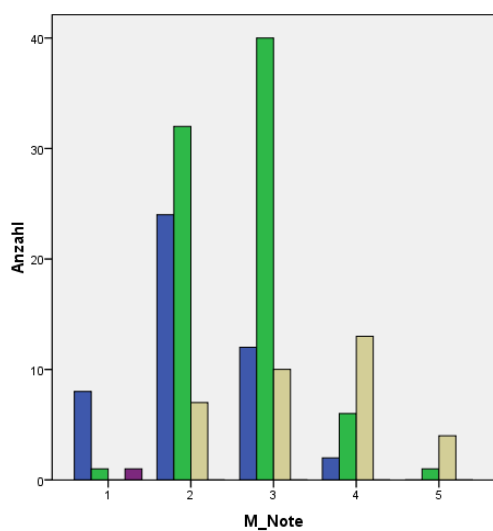


Abbildung 22. Notenverteilung der Leistungsgruppen in M, E, D

9.2 Kooperative Mittelschule

Die Kooperative Mittelschule (KMS) ist eine Schulform, neben Allgemeinbildender höherer Schulen (AHS), Hauptschulen (HS) und Neue Mittelschule (NMS), für 10- bis 14-jährige. Wie in den grundlegenden Organisationsmerkmalen der KMS vom 28.02.2007 des Schulversuchsreferats verankert, unterrichten an KMS-Standorten LandeslehrerInnen und BundeslehrerInnen gemeinsam, um eine Förderung von Interessen, Neigungen und Begabungen zu ermöglichen. Die SchülerInnen sollen im Sinne der Berufs- und Bildungslaufbahnorientierung einerseits auf das Berufsleben und andererseits auf den Übertritt in weiterführende Schulen der Sekundarstufe II vorbereitet werden. Weitere Ziele sind der Erwerb von sozialen Kompetenzen und lebenslanges Lernen. Formen alternativer Leistungsbeurteilung, wie Portfolio, Lernfortschrittsdokumentation oder Kommentierte Direkte Leistungsvorlage, ermöglichen individuelle Rückmeldungen an SchülerInnen und Eltern. In der KMS gilt der Lehrplan der AHS-Unterstufe. Die SchülerInnen sind in den Fächern, Mathematik, Englisch und Deutsch in Leistungsgruppen eingeteilt, wobei jeweils die erste Leistungsgruppe mit einer AHS-Unterstufe vergleichbar wäre. Jeder KMS-Standort hat die Möglichkeit, sich für einen Schwerpunkt (z. B. Informatik, Ökologie oder Sport) zu entscheiden und den Lehrplan danach auszulegen, wobei Kooperative Sportmittelschulen (KSMS) zusätzliche Eignungstests haben.

9.3 Deskriptivstatistik

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse beider Messinstrumente auf Personenparameterniveau demonstriert. Die Personenparameter wurden nach der WLE-Methode (Weighted-Likelihood-Estimates) ermittelt. Die Parameterschätzungen wurden mir vom Betreuer der Arbeit zur Verfügung gestellt; dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt. So geschätzte Personenparameter (Warm, 1989) sind die besten *Punktschätzer* der individuellen Messwerte. Sie treffen die Fähigkeitsausprägungen für eine einzelne Person am besten (vgl. Rost, 2004, S. 315).

Von den 161 SchülerInnen wurden alle Items beantwortet. "Ab Stichprobenumfängen größer oder gleich 30 kann auf die Prüfung der Voraussetzung normalverteilter Zufallsvariablen jedenfalls verzichtet werden" (Kubinger, Rasch & Moder, 2009, S. 26).

In den nachfolgenden Tabellen 6 und 7 ist zu erkennen, dass den SchülerInnen der 3DW-Test doch recht schwer gefallen ist, da 51 (31,7 %) SchülerInnen kein einziges Item richtig beantworten konnten.

Im Vergleich dazu waren es nur acht (5 %) SchülerInnen im 3DW-m-Test, denen es nicht möglich war, zumindest ein Item richtig zu lösen. Zur besseren Veranschaulichung sind diese Ergebnisse in Abbildung 23 und Abbildung 24 mit Personenparameter dargestellt.

Tabelle 6. Rohwertverteilungen im 3DW-Test (k = 9 und einer Warming-Up-Aufgabe, Item Nr. 1)

	Häufigkeit	ξ_v	Prozent	Kumulierte Prozente
0	51	- 2,8874	31,7	31,7
1	49	- 1,6126	30,4	62,1
2	19	- ,8947	11,8	73,9
3	23	- ,3083	14,3	88,2
4	6	,2558	3,7	91,9
5	11	,8688	6,8	98,8
6	2	1,6366	1,2	100,0
Gesamt	161		100,0	

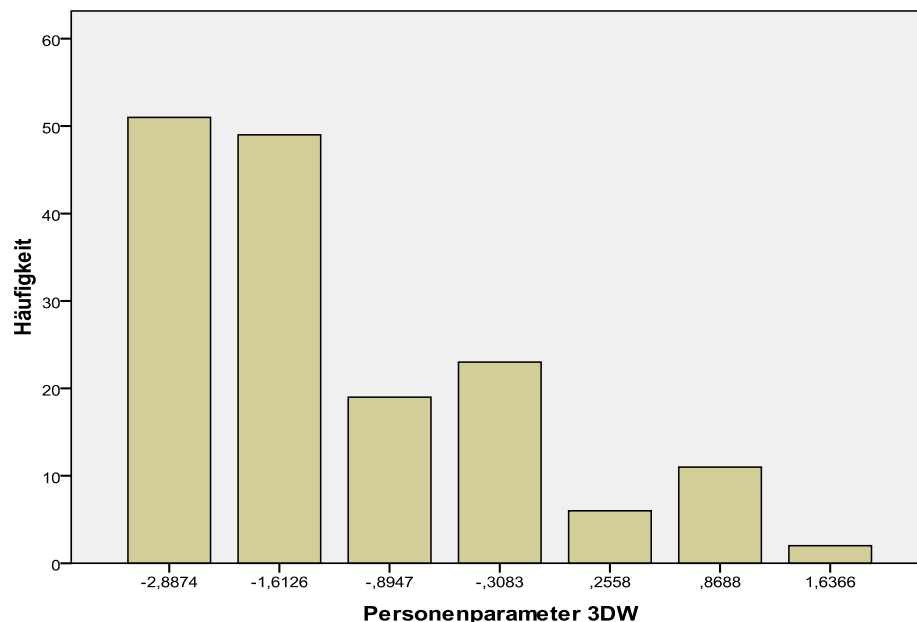


Abbildung 23. Verteilungen im 3DW-Test

Tabelle 7. Rohwertverteilungen im 3DW-m Test (k = 9)

	Häufigkeit	ξ_v	Prozent	Kumulierte Prozente
0	8	-3,4240	5,0	5,0
1	20	-2,1397	12,4	17,4
2	19	-1,4153	11,8	29,2
3	19	-,8323	11,8	41,0
4	23	-,2968	14,3	55,3
5	23	,2314	14,3	69,6
6	23	,7831	14,3	83,9
7	12	1,4026	7,5	91,3
8	14	2,1883	8,7	100,0
Gesamt	161		100,0	

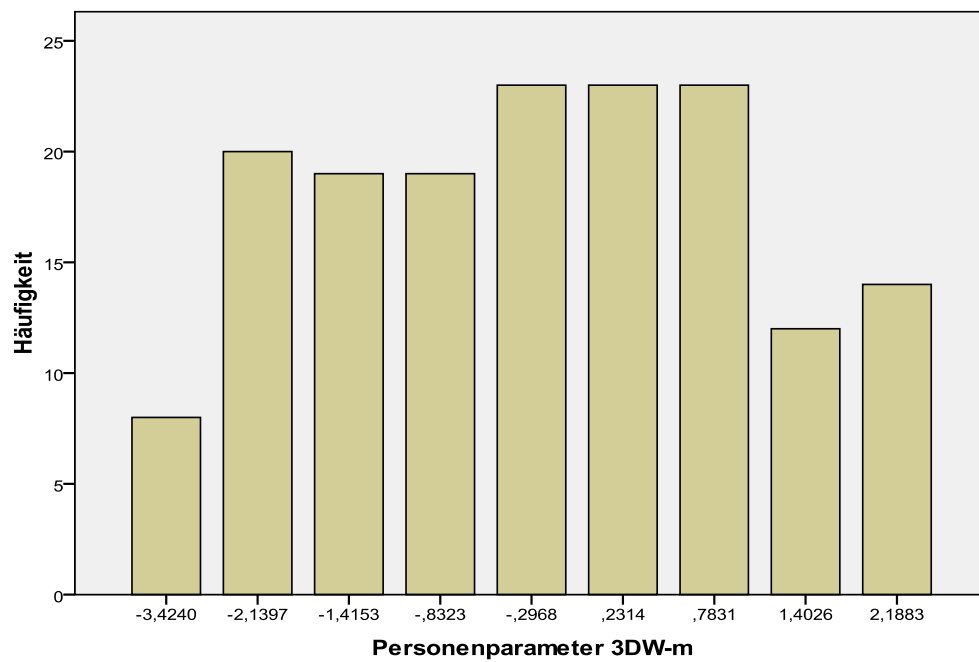


Abbildung 24. Verteilung im 3DW-m Test

10. Itemanalysen zur Rasch-Konformität (3DW/ 3DW-m)

Für die Modellprüfungen und die Analysen wurde die Programmsoftware LpcM-WiN verwendet, in dem die Likelihood-Quotienten-Tests nach Andersen, Tests auf Personenhomogenität und der Martin-Löf-Test, Test für Itemhomogenität automatisch berechnet werden können. Erwähnenswert ist hier auch, „dass sich Itemheterogenität nicht unbedingt in Tests auf Personenhomogenität zeigen muss und umgekehrt“ (Rost, 2004, S. 345).

Signifikante Items sind in der grafischen Modellkontrolle durch schwarze Punkte gekennzeichnet.

Teilungskriterien

a) Interne Kriterien

Als interne Kriterien werden der Mittelwert, der Median bzw. Score herangezogen.

- Score

Als internes Teilungskriterium dient die Anzahl (Score) der gelösten Aufgaben. Die Gesamtstichprobe von 161 Probanden wurde in eine Gruppe mit niedrigem Rohscore (0) bzw. eine Gruppe mit hohem Rohscore (1) geteilt. Daraus folgt, dass SchülerInnen mit wenig gelösten Items mit SchülerInnen, die viele Items gelöst haben, verglichen werden.

b) Externe Kriterien

Als externe Kriterien dienen die binären bzw. dichotomisierten Variablen Geschlecht, Alter, Bearbeitungszeit und Muttersprache.

- Geschlecht

Das externe Kriterium Geschlecht soll zeigen, ob Unterschiede zwischen Burschen und Mädchen in der Bearbeitung der Items

bestehen. Dazu teilte sich die Stichprobe in einem Verhältnis von 94 Burschen (0) zu 67 Mädchen (1).

- Alter

Das externe Kriterium Alter teilt die SchülerInnen in zwei Teilgruppen einerseits in die Gruppe ≤ 13 Jahre (0) und andererseits > 13 Jahre (1).

- Bearbeitungszeit

Getrennt nach den Medianen ($Md_{3DW} = 6,24$ min, $Md_{3DW-m} = 4,07$ min, $Md_{Gesamt} = 10,60$ min) lassen sich die Bearbeitungszeiten dichotomisieren, in „viel Bearbeitungszeit“ (langsam = 0), und „wenig Bearbeitungszeit“ (schnell = 1).

- Muttersprache

Als viertes externes Kriterium wird die Muttersprache herangezogen. Hier erfolgt der Vergleich von SchülerInnen mit nichtdeutscher Muttersprache (0) mit SchülerInnen deutscher Muttersprache (1).

10.1 Modellprüfungen 3DW

Modellprüfung 1

Der empirische cLR – Testwert [bedingter (conditional) Likelihoodquotient (Ratio)] wird mit dem kritischen χ^2 - Wert (Signifikanzniveau 1%) verglichen. Dieser beträgt hier jeweils 18,5063 ($df = 7$). Nicht berücksichtigt wird Item 1 (*Warming up*).

Alle externen Teilungskriterien (Geschlecht, Alter, Bearbeitungszeit, Muttersprache) erwiesen sich in den Likelihood-Ratio Tests als nicht signifikant, was bedeutet, dass sich die Itemparameter in den Subgruppen für die hier untersuchten externen Kriterien nicht signifikant unterscheiden (vgl. Tabelle 8).

Das Ergebnis des internen Teilungskriteriums Median ist ebenso nicht signifikant, lediglich das interne Teilungskriterium *Mean* zeigt signifikante Werte.

Tabelle 8. cLR-Testwerte für 8 Items des 3DW (Testteil 1 exkl. warming-up Item; *df* ist jeweils 7)

Kriterium	n = 161		cLR-Testwert	p	
Geschlecht	$n_m = 94$	$n_w = 67$	3,4198	0,8436	nicht sign.
Alter	$n_{\leq 13} = 67$	$n_{>13} = 94$	13,6963	0,0569	nicht sign.
Bearbeitungszeit	$n_{slow} = 80$	$n_{fast} = 81$	8,7896	0,2681	nicht sign.
Muttersprache	$n_{nd} = 99$	$n_d = 62$	9,5549	0,2152	nicht sign.
Score (Mean)	$n_{low} = 107$	$n_{high} = 54$	19,8005	0,0060	sign.
Total Log – Likelihood		-234,516855			

Wie in der grafischen Modellkontrolle (Abbildung 25) zu erkennen ist, liegt **Item 9** ($z = 4,0743$, $p = 0,0001$) von der 45°-Geraden relativ weit entfernt.

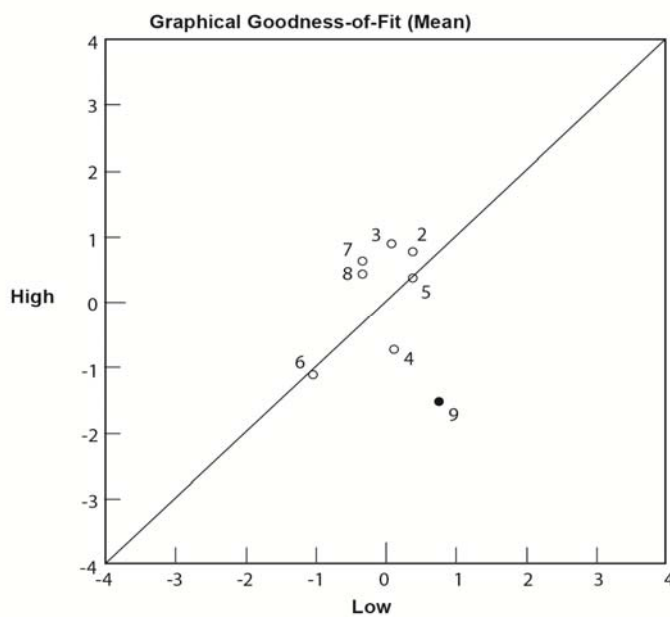


Abbildung 25. Grafischer Modelltest der 8 Items (3DW)

Das routinemäßige Ausscheiden von Items, die aufgrund von auffälligen *z*-Werten bzw. grafischen Modelltests als inhomogen identifiziert wurden, kann, wie schon von Gittler 1986 kritisch bemerkt wurde, zu artifizieller Modellanpassung führen. Vielfach ist eine inhaltliche begründete Selektionsstrategie zielführender (vgl. Gittler, 1986, S. 386).

Anhand eigener Beobachtungen war offensichtlich, dass sich die SchülerInnen bei Item 9 einfach „keine Mühe mehr machten, nachzudenken.“

Vielleicht lag es an der mangelnden Konzentration, fehlenden Motivation, da der Testteil für die Personen doch recht schwierig war. Unter Umständen war auch die Aufmerksamkeit zu gering, weil schon „routiniert“? Eine mögliche Begründung könnte die Position des Items an der letzten Stelle des ersten Teiles sein.

Modellprüfung 2

Itemselektion: ohne Item 1 (*Warming up*) und Item 9 (*Fading out*)

Der cLR-Testwert liegt bei 4,0261 verglichen an $\chi^2(1\%) = 16,8429$ ($df = 6$, $p = 0,6731$). Die Modellgeltung kann angenommen werden und als Rasch-konform angesehen werden (vgl. Abbildung 26).

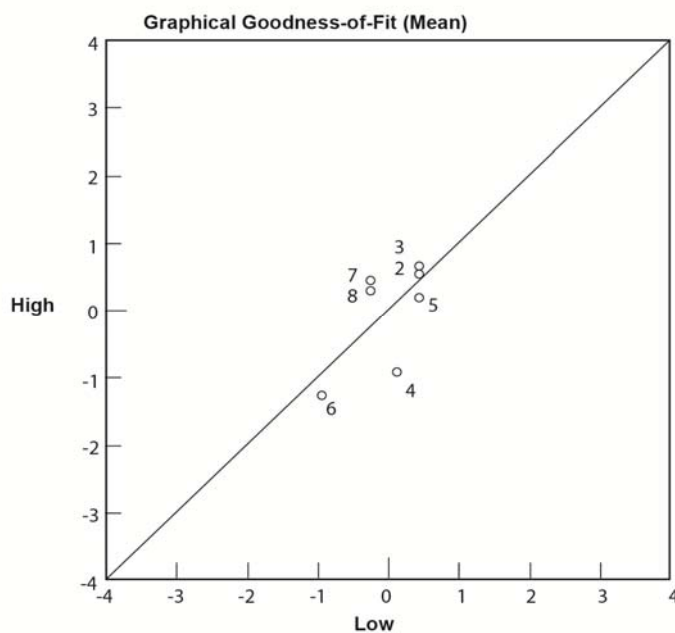


Abbildung 26. Grafischer Modelltest der 7 Items ohne Item 9 (3DW)

10.2 Modellprüfungen 3DW-m

Die Modellgeltungskontrolle erfolgt für neun Items. Alle cLR-Testwerte werden mit $\chi^2(1\%) = 20,1209$, $df = 8$ verglichen. Sowohl externe, wie auch interne Teilungskriterien liefern nicht signifikante Ergebnisse (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9. cLR-Testwerte für 9 Items des 3DW-m (Testteil 2; df ist jeweils 8)

Kriterium	n = 161		cLR-Testwert	p	
Geschlecht	$n_m = 94$	$n_w = 67$	6,1004	0,6360	nicht sign.
Alter	$n_{\leq 13} = 67$	$n_{> 13} = 94$	8,6448	0,3731	nicht sign.
Bearbeitungszeit	$n_{\text{slow}} = 80$	$n_{\text{fast}} = 81$	19,0805	0,0144	nicht sign.
Muttersprache	$n_{nd} = 99$	$n_d = 62$	14,1375	0,0783	nicht sign.
Score (Mean)	$n_{\text{low}} = 89$	$n_{\text{high}} = 72$	8,7878	0,3605	nicht sign.
Total Log – Likelihood			-468,24634		

Da vor allem die Analyse der veränderten 3DW-m Aufgaben im Vordergrund steht, werden diese Items im grafischen Modelltest (vgl. Abb. 27) dargestellt. Alle Punkte sind entweder auf oder in der Nähe der 45°- Geraden angesiedelt. Die Modellgeltung kann angenommen werden.

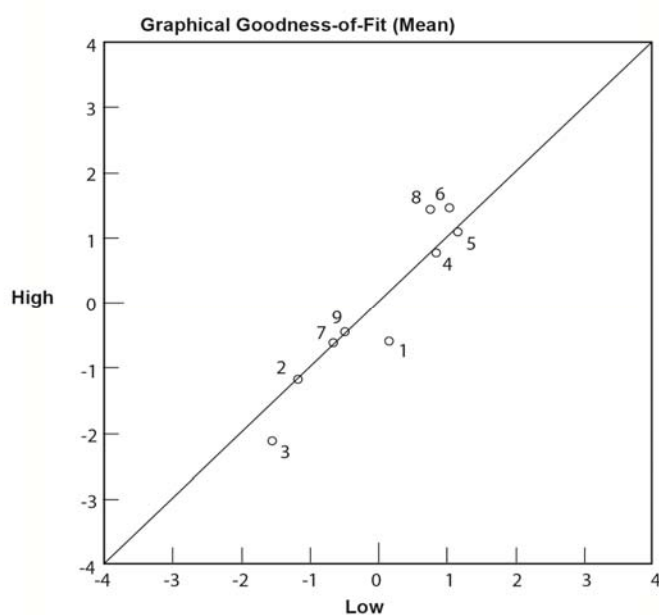


Abbildung 27. Grafischer Modelltest der 9 Items (3DW-m)

10.3 Modellprüfungen - Gesamttest

Um die Vermutung zu überprüfen, dass die beiden Itemgruppen eventuell Verschiedenes messen könnten, wird der Gesamttest untersucht. Die sieben Aufgaben des 3DW Tests und neun Aufgaben des 3DW-m Tests werden zu insgesamt 16 Items zusammengelegt. Als externe Teilungskriterien werden wieder dieselben, nämlich Geschlecht, Alter, Bearbeitungszeit und Muttersprache herangezogen. Beim internen Teilungskriterium wird auf den *Mean* des Scores zurückgegriffen. Item 9 wurde a priori ausgeschlossen und Item 1 (Warming up) wird nicht berücksichtigt.

10.3.1 Globale Modellkontrollen

Itemselektion von Item 9. Alle externen und internen cLR-Testwerte werden mit χ^2 (1%) = 30,6049 und $df = 15$ verglichen. Wie in Tabelle 10 dargestellt, zeigen alle Ergebnisse keine Signifikanz. Rasch-Homogenität muss zunächst einmal angenommen werden (siehe Abbildung 28).

Tabelle 10. cLR-Testwerte für die Kombination 3DW und 3DW-m (ohne Item 9); df ist jeweils 15

Kriterium	n = 161		cLR-Testwert	p	
Geschlecht	n _m = 94	n _w = 67	8,8949	0,8829	nicht sign.
Alter	n _{≤13} = 67	n _{>13} = 94	18,0778	0,2586	nicht sign.
Bearbeitungszeit	n _{slow} = 80	n _{fast} = 81	18,1309	0,2558	nicht sign.
Muttersprache	n _{nd} = 99	n _d = 62	19,2596	0,2022	nicht sign.
Score(Mean)	n _{low} = 90	n _{high} = 71	24,4159	0,0584	nicht sign.

Total Log – Likelihood

-881,207294

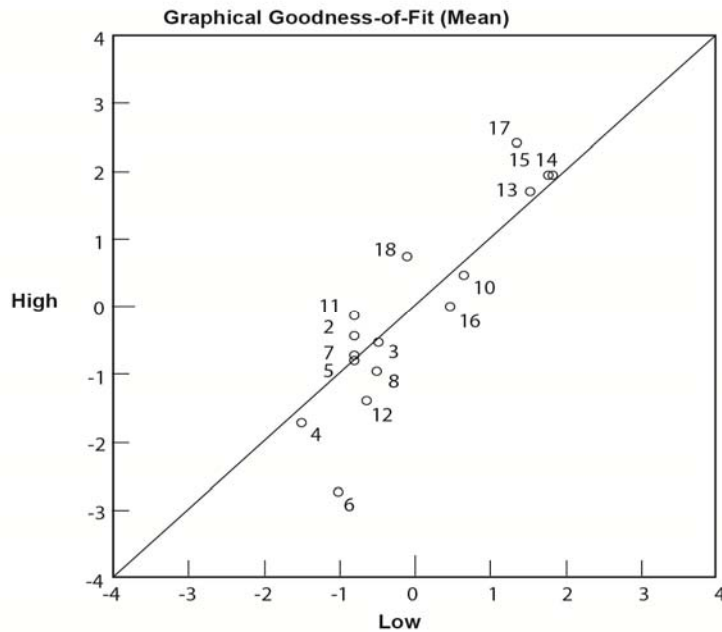


Abbildung 28. Grafischer Modelltest des Gesamttests ohne Item 9

10.3.1.1 Stelzl (1979)

Die Annahme von Stelzl (1979), wie in Kapitel 7.1.9 erwähnt, dass die Itemgruppen möglicherweise Verschiedenes messen könnten, wird mit einer Korrelation beider Personenparameter untersucht. Wie zu erwarten war, bestätigt die Höhe des Koeffizienten ($r = 0,24$, $p = 0,003$) diese Vermutung.

10.3.1.2 Martin-Löf-Test

Zur Überprüfung der Hypothese, dass die beiden Itemgruppen (3DW/3DW-m) unterschiedliche Fähigkeiten messen könnten, wird der Martin-Löf Test herangezogen.

Group 1 (3DW): 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Group 2 (3DW-m): 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18

LogLikelihood (Group 1): - 195,478228

LogLikelihood (Group 2): - 468,246340

Martin-Löf-Statistic: 131,1520 **sign.**

(χ^2 (5%) = 81.3780, χ^2 (1%) = 90.8173, $df = 62$)

Anhand dieser Ergebnisse wird die Annahme bestätigt, dass die beiden Testteile (3DW/3DW-m) verschiedene Fähigkeitsdimensionen erfassen.

10.3.1.3 Einzelitem als Teilungskriterium (Formann, 1981)

Das Item 3 wurde zufällig aus der Subskala 3DW ausgewählt. Erwartungsgemäß zeigte die anschließende Modellprüfung ein **signifikantes** Ergebnis mit einem cLR-Testwert von 54,4203 verglichen an $\chi^2 = 29,1688$ ($df = 14$, $p = 0,0001$). Obwohl 3DW und 3DW-m einzeln Rasch-homogen sind, zeigt sich dies in ihrer Kombination nicht und die Nullhypothese wird endgültig verworfen.

10.4 Diskussion zu Rasch-Ergebnissen

Wie in Tabelle 7 bei der Modellgeltungskontrolle des 3DW zu sehen ist, zeigen sich bei den Testwerten des internen Teilungskriteriums *Mean* signifikante Ergebnisse. Die äußeren Teilungskriterien (Geschlecht, Alter, Bearbeitungszeit, Muttersprache) weisen keine Signifikanz auf. Im anschließenden grafischen Modelltest ist Item 9 als auffällig zu erkennen. Die nach der Selektion des Items 9 durchgeführte Modellprüfung ergibt schließlich nicht signifikante Werte.

Auffällig während des Testteils 1 war, dass sich die Bearbeitung der Items des 3DW scheinbar für die SchülerInnen recht schwierig gestaltete und gegen Ende die Motivation nachgelassen hatte und somit das letzte Item des ersten Testteils nicht mehr mit der nötigen Konzentration bearbeitet werden konnte.

Wie in der Literatur bei Gittler (1986) angeführt, ist die „inhaltlich begründete Selektionsstrategie“ zudem besonders sinnvoll.

Hingegen sind im Testteil 2 mit den veränderten Items des originalen 3DW, hier 3DW-m bezeichnet, keine signifikanten Testwerte, sowohl bei externen, wie auch internen Teilungskriterien zu erkennen, wie in Tabelle 8 zu erkennen ist.

Um die Vermutung zu bestätigen, dass Testteil 1 bzw. Testteil 2 separate Fähigkeitsdimensionen untersuchen könnte, erfolgt eine Untersuchung des Gesamttests. Angelehnt an die Literatur, die Simulationsstudien von Stelzl (1979) wird die Korrelation der beiden Personenparameter (3DW, 3DW-m) überprüft. Es ergibt sich nur ein schwacher Zusammenhang. Weiters wird der Martin-Löf-Test (1973) berechnet, um zu überprüfen, ob es innerhalb des Gesamttestes zwei Subgruppen gibt. Auch hier fiel das Ergebnis signifikant aus. In einer weiteren Erhebung nach Formann (1981) wurde die Verwendung von Einzelitems als Teilungskriterium herangezogen. Die Auswahl fiel zufällig auf Item 3 aus dem originalen Testteil 3DW und abermals zeigten sich signifikante Werte.

Schließlich kann jeder der beiden Testteile (3DW, 3DW-m) als Rasch-homogen angesehen werden, aber 3DW und 3DW-m untersuchen doch unterschiedliche Fähigkeitsdimensionen.

10.5 Reliabilitätsstatistik (3DW/3DW-m)

Gittler (1990) führt im Manual zum 3DW für $k = 17$ Testaufgaben, bezogen auf die Stichprobe von SchülerInnen (männlich und weiblich) folgende Reliabilitäten an: 0,90 (*Cronbach-Alpha*), 0,88 (*Testhalbierung „split-half“*), 0,90 (*Testhalbierung „odd-even“*, Gittler, 1990, S.32).

Die Reliabilitätsstatistik beim vorliegenden 3DW-m zeigt für die Stichprobe SchülerInnen (männlich und weiblich) bei $k = 9$ Aufgaben ein *Cronbach-Alpha* von 0,71. Dieser relativ niedrige Wert kann einerseits mit dem niedrigeren k zu tun haben und andererseits dadurch erklärt werden, dass dieser Untersuchung eine relativ homogene Stichprobe zugrunde liegt.

Daher wird das *Cronbach-Alpha* für eine Testverlängerung auf 17 Items gebildet. Unter Berücksichtigung des Verlängerungsfaktors n (Formann, 2004), wo die Anzahl der Items im verlängerten Test n_v , gebrochen durch die Anzahl im ursprünglichen Test n_u berechnet wird:

$$n = \frac{n_v}{n_u} \quad n = \frac{17}{9} = 1,89$$

Der Verlängerungsfaktor beträgt hier nun 1,89. Anschließend wird mittels der Spearman-Brown-Formel die zu erwartende Reliabilität berechnet (vgl. Formann, 2004, S. 24):

$$\rho(X, X') = \frac{n\rho(X_1, X'_1)}{1 + (n - 1)\rho(X_1, X'_1)}$$

$$r(X, X') = \frac{1,89 \cdot 0,71}{1 + (1,89 - 1) \cdot 0,71} = 0,82$$

Für Tests, die im Rahmen der *item-response-theory* konstruiert wurden, kann die innere Konsistenz (Homogenität der Items) angenommen werden.

Der korrigierte Trennschärfekoeffizient gibt zusätzlich an, wie gut ein einzelnes Item das Gesamtergebnis eines Tests repräsentiert. Der Koeffizient wird für jedes einzelne Item berechnet und kann aus Tabelle 11 unter korrigierter Item-Skala-Korrelation abgelesen werden (vgl. Rost, 2004, S. 133). Alle Items weisen zufriedenstellende Trennschärfe auf.

Tabelle 11. Korrigierte Item-Skala-Korrelationen der 9 Items des 3DW-m

3DW-m	Korrigierte Item-Skala-Korrelation	Cronbach's Alpha, wenn Item weggelassen
Item 1	,308	,703
Item 2	,384	,688
Item 3	,165	,720
Item 4	,391	,687
Item 5	,494	,666
Item 6	,427	,680
Item 7	,296	,705
Item 8	,572	,650
Item 9	,419	,681

10.6 Bearbeitungszeiten

Laut Testinstruktion war die Bearbeitungszeit für die Aufgaben des 3DWs nicht limitiert, hingegen sollten die 3DW-m Aufgaben so schnell, wie möglich bearbeitet werden. Um einen besseren Überblick hinsichtlich der benötigten Zeiten für einerseits der neun 3DW-Items (inklusive Warming-Up-Aufgabe und ohne Zeitdruck) und andererseits der neun 3DW-m Items (mit Zeitdruck) zu erhalten, werden die Bearbeitungszeiten deskriptiv in Tabelle 12 und Tabelle 13 dargestellt. Für die Zeiteinheiten werden Sekunden gewählt. Gemessen werden die Zeiten jeweils ab Itempräsentation. Die mittlere Itembearbeitungszeit der 3DW-m Items, dargestellt in Tabelle 13, ergibt sich aus der Zeit der Lernphase und der Zeit der Antwortphase.

Tabelle 12. Mittlere Itembearbeitungszeiten [sec] im 3DW (k = 9 und einer Warming-Up-Aufgabe, Item Nr. 1); N = 161

3DW (ohne Zeitdruck)	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	Minimum	Maximum	Spannweite
Item 1(W.u.)	38,7	26,5	37,3	2,9	221,2	218,2
Item 2	51,9	34,0	47,8	2,6	261,4	258,8
Item 3	51,7	35,8	47,7	2,6	223,3	220,7
Item 4	60,1	42,8	52,7	2,2	267,4	265,2
Item 5	47,4	34,2	47,8	2,3	307,9	305,7
Item 6	45,4	27,1	46,4	1,9	235,2	233,4
Item 7	45,6	29,4	45,4	2,0	210,8	208,8
Item 8	41,8	33,0	39,4	1,4	282,3	280,8
Item 9	42,6	27,5	45,9	1,6	259,27	257,7

Tabelle 13. Mittlere Itembearbeitungszeiten [sec] (Lern- und Antwortphase) im 3DW-m (k = 9, N = 161)

3DW-m (mit Zeitdruck)	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	Minimum	Maximum	Spannweite
Item 1	26,5	23,4	15,3	4,2	80,3	76,1
Item 2	51,2	42,6	40,0	3,4	269,7	266,3
Item 3	42,8	33,3	33,5	3,5	175,0	171,5
Item 4	21,3	16,2	15,8	3,3	134,9	131,6
Item 5	17,9	14,6	11,4	3,5	65,6	62,2
Item 6	18,5	15,3	11,5	3,0	77,9	75,0
Item 7	33,4	26,9	24,1	3,9	118,2	114,3
Item 8	17,5	14,2	11,1	3,3	62,1	58,8
Item 9	31,4	26,9	25,6	2,8	127,0	124,2

Zusätzlich wurden im 3DW-m Teil die Zeiten für Lernphase und Antwortphase getrennt erhoben. Um eine bessere Übersichtlichkeit zu erhalten, sind in Tabelle 14 folgende Angaben abgekürzt: Minimum (Min), Maximum (Max), Spannweite (Spw).

Um zu prüfen, ob die Bearbeitungszeiten der neun 3DW-Items beziehungsweise die Bearbeitungszeiten der neun 3DW-m Items unterschiedlich sind, wird ein verteilungsunabhängiger Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben gerechnet. Die Berechnung der entsprechenden Prüfgröße fällt mit $z = -7,537$, $p < 0,001$ signifikant aus.

Tabelle 14. Mittlere Bearbeitungszeiten der Lernphase und Antwortphase im 3DW-m [sec]; N = 161

3DW-m	LERNPHASE						ANTWORTPHASE					
	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Spw	<i>M</i>	<i>Md</i>	<i>SD</i>	Min	Max	Spw
Item 1	11,7	9,6	9,0	1,1	60,4	59,3	14,8	9,2	13,5	1,9	72,4	70,5
Item 2	31,3	23,9	28,2	0,9	166,8	165,8	19,9	11,2	25,2	2,0	183,9	181,9
Item 3	27,3	21,3	25,1	0,4	121,9	121,5	15,4	10,0	17,1	1,7	136,1	134,4
Item 4	10,1	7,2	11,3	0,9	108,6	107,6	11,2	7,2	9,8	2,4	50,2	47,9
Item 5	8,8	6,9	8,0	1,1	59,9	58,8	9,1	6,6	7,8	1,5	51,3	49,8
Item 6	8,3	6,3	6,6	0,9	36,7	35,8	10,2	7,0	9,8	1,7	75,5	73,8
Item 7	22,1	16,4	19,9	0,8	106,3	105,5	11,3	7,5	11,3	2,3	64,5	62,2
Item 8	8,3	5,8	8,1	0,9	53,8	52,9	9,2	6,9	6,6	2,0	35,9	33,9
Item 9	19,8	14,6	21,0	1,0	122,8	121,8	11,6	6,5	15,4	1,7	113,7	112,0

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass überwiegend längere Bearbeitungszeiten bei 3DW-Items zu beobachten sind. Zudem wird sowohl bei den 3DW-Items (4, 6, 9), als auch bei den 3DW-m Items (2, 3, 7, 9) mehr Zeit für die Bearbeitung benötigt, wenn mehr als ein Lösungsschritt (Denkschritt) angegeben ist. Sehr interessant zeigt sich beim Vergleich der Zeiten für Lernphase und Antwortphase, dass in der Lernphase, Einprägen der Vorgabewürfel nach Denkschritten, weitgehend mehr Zeit benötigt wird, als in der Antwortphase.

11. Zusätzliche Fragestellungen

11.1 3DW: Geschlechts- und Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS)

Ausgehend von der Hypothese (H_0), dass es keine Unterschiede zwischen Burschen und Mädchen, jüngeren und älteren SchülerInnen, Schülergruppen mit deutscher oder nichtdeutscher Muttersprache bzw. SchülerInnen der Kooperativen Sportmittelschule vs. Kooperativen Mittelschule im Raumvorstellungsvermögen gibt, werden entsprechende t -Tests auf Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ durchgeführt (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15. 3DW: Geschlechts- und Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS; df ist jeweils 159)

	n	M/Sco	ξ_v	t_ξ	p
Geschlecht					
männlich	94	1,60	-1,386778	0,974	0,332
weiblich	67	1,45	-1,576763		
Alter (in Jahren)					
≤ 13	67	1,52	-1,491094	-0,221	0,825
> 13	94	1,54	-1,447839		
Muttersprache					
nicht-deutsch	99	1,42	-1,561044	-1,254	0,212
deutsch	62	1,71	-1,313819		
Schultyp					
KSMS(Sport)	43	1,63	-1,367467	0,616	0,538
KMS	118	1,50	-1,501687		

M/Sco = Mittelwert der Scores... ξ_v = Personenparameter

Schließlich ist bei den einzelnen Gruppenvergleichen bezüglich des 3DW kein signifikanter Unterschied feststellbar (siehe Tabelle 15). Interessanterweise aber ist die durchschnittliche Beantwortung von etwa 1,5 pro Item auffallend gering. Im Manual des 3DW von Gittler (1990) wird der Einsatz des Testes ab einem Alter von 13 Jahren empfohlen. Nach Beobachtungen während der Testphase hatten die SchülerInnen bei der Bearbeitung der originalen 3DW-Aufgaben mehrfach

Probleme, in Folge dessen hätte die untere Altersangabe in diesem Kontext höher angesetzt werden können. Wie Fausto-Sterling (1988) schon erkannte, ist auch hier kein wesentlicher Geschlechtsunterschied erkennbar. Viele SchülerInnen stehen in diesem Alter knapp vor oder während der Pubertät, wo überhaupt erstmals Raumvorstellungsunterschiede nachzuweisen waren.

11.2 3DW-m: Geschlechts- und Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS)

Hypothesengeleitet wird nunmehr von keinem Unterschied (s.o.) bezüglich des räumlichen Arbeitsgedächtnisses ausgegangen (vgl. Tabelle 16)

Tabelle 16. 3DW-m: Geschlechts- und Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS; *df* ist jeweils 159)

	n	<i>M</i>/Sco	ξ_v	t_ξ	<i>p</i>
Geschlecht					
männlich	94	4,24	-0,197401	1,115	0,267
weiblich	67	3,84	-0,453137		
Alter (in Jahren)					
≤ 13	67	4,39	-0,116739	1,400	0,163
> 13	94	3,85	-0,437174		
Muttersprache					
nicht-deutsch	99	3,86	-0,423299	-1,338	0,183
deutsch	62	4,42	-0,113053		
Schultyp					
KSMS (Sport)	43	4,49	-0,070640	1,246	0,214
KMS	118	3,92	-0,388800		

Letztendlich können hier keine Unterschiede in den einzelnen Gruppen (Geschlecht, Alter, Muttersprache, Schultyp) sowohl in der Raumvorstellung als auch im räumlichen Arbeitsgedächtnis angenommen werden, die H_0 wird beibehalten.

„Sportliche“ SchülerInnen und SchülerInnen deutscher Muttersprache zeigen geringfügig höhere Leistungen. Betrachtet man beide Tabellen 15 und 16, so ist zu erkennen, dass die Stichprobe nicht optimal ist.

11.3 Ergebnisse zu Raumvorstellung/ räumliches Arbeitsgedächtnis und Berufsorientierung

3DW/3DW-m: H_0 : Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (zukünftiger Berufswunsch) im Raumvorstellungsvermögen bzw. im räumlichen Arbeitsgedächtnis.

Für die 161 SchülerInnen der Stichprobe hat sich folgende Verteilung ergeben (vgl. Tabelle 17).

3DW:

Tabelle 17. Verteilung im zukünftigen Bildungsweg

AHS/BHS	BMS	Berufsschule	Handelssch./HAK	HTL	Polytechnikum	Sonstiges
13	8	34	36	22	26	22

Tabelle 18. Ergebnisse der Varianzanalyse (3DW)

Quelle	SS	df	MS	F	p
Zukünftiger BW	45,578	6	7,596	3,338	0,004
Fehler	350,484	154	2,276		
Gesamt	775,000	161			
Korr. Gesamtvar.	396,062	160			

Das Ergebnis der Berechnungen mittels Varianzanalyse (vgl. Tab. 18) zeigt einen signifikanten Unterschied, was die Annahme bestätigt, dass in den angegebenen zukünftigen Ausbildungsmöglichkeiten Tendenzen bestehen. Im besonderen Fall weisen die Post-hoc-Tests keine signifikanten Werte auf. Nur in den Gruppenvergleichen konnte bei HTL das höchste Ergebnis ($\bar{x} = 2,59$, $SD = 1,84$), gefolgt von Handelsschule/Handelsakademie mit einem Wert von ($\bar{x} = 1,89$, $SD = 1,72$) abgelesen werden.

3DW-m:

Tabelle 19. Ergebnisse der Varianzanalyse (3DW-m)

Quelle	SS	df	MS	F	p
Zukünftiger BW	55,377	6	9,230	1,791	0,104
Fehler	793,729	154	5,154		
Gesamt	3522,000	161			
Korr. Gesamtvar.	849,106	160			

Bei den Untersuchungen zum räumlichen Arbeitsgedächtnis lassen sich keine signifikanten Unterschiede in den Angaben zwischen den einzelnen Gruppen nachweisen (vgl. Tabelle 19).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass diejenigen SchülerInnen, die einen HTL-Schulwunsch haben, auch die besten Ergebnisse im 3DW-Test aufweisen, während im 3DW-m diesbezüglich keine Unterschiede festzustellen sind.

11.4 Notenanalysen

11.4.1 Zusammenhänge zwischen Schulnoten und Scores

Mit den demografischen Daten wurden die jeweils aktuellen Schulnoten erhoben, um eventuelle Zusammenhänge zwischen Schulnoten und Raumvorstellung bzw. Schulnoten und räumlichen Arbeitsgedächtnis analysieren zu können. In Kooperativen Mittelschulen (KMS) wird der Lehrstoff der Unterstufe sowohl für Physik als auch Chemie in einem Unterrichtsgegenstand gelehrt. Im Gegensatz dazu wird in den Allgemeinbildenden höheren Schulen (AHS) jeweils Physik als auch Chemie als eigener Unterrichtsgegenstand angesehen (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20. Unterrichtsgegenstände und deren Abkürzungen

PhCh	Physik und Chemie
BU	Biologie und Umweltkunde
GW	Geografie und Wirtschaftskunde
Inf	Informatik
GZ	Geometrisches Zeichnen
BwSp	Bewegung und Sport

Bei der Notenanalyse soll die Beziehung zwischen Schulnoten und 3DW bzw. 3DW-m zum Ausdruck gebracht werden. Die Schulnoten werden als Grundlage für die Dichotomisierung herangezogen. In Tabelle 21 ist die Aufteilung farblich unterschiedlich gekennzeichnet. Die Noten „Sehr gut“ (1) und „Gut“ (2) sind in einer Gruppe (gelb) und die Noten „Befriedigend“ (3), „Genügend“ (4) und „Nicht genügend“ (5) in der anderen Gruppe (grün) zusammengefasst (siehe Tabelle 21).

Tabelle 21. Schulnotenaufteilung einzelner Unterrichtsgegenstände

Schulnoten	PhCh _{n=161}	BU _{n=161}	GW _{n=161}	Inf _{n=81}	GZ _{n=161}	BwSp _{n=161}
1	49	54	51	62	63	103
2	44	53	54	17	64	49
3	45	37	38	2	27	6
4	20	11	14	0	7	3
5	3	6	4	0	0	0

Da somit die jeweilige Schulleistung dichotom vorliegt, kann eine punktbiseriale Korrelation (siehe Tabelle 22) berechnet werden. Im Falle von Schulnoten ist ein negativer Zusammenhang zu erwarten, da anzunehmen ist, dass mit schlechten Schulnoten (höhere Zahl) eine niedrigere Punkteanzahl und mit besseren Schulnoten (niedrigere Zahl) höhere Werte erreicht werden.

Tabelle 22. Punktbiseriale Korrelation (r_{pb}) zwischen Schulnoten und 3DW und 3DW-m Scores (der jeweilige Stichprobenumfang ist angegeben)

Unterrichtsgegenstand	3DW		3DW-m	
	r_{pb}	N	r_{pb}	N
Physik/Chemie	-,003	161	,043	161
Biologie und Umweltkunde	-,057	161	-,030	161
Geographie und Wirtschaftskunde	-,182*	161	-,163*	161
Informatik	,084	81	,135	81
Geometrisches Zeichnen	,030	161	,015	161
Bewegung und Sport	-,142	161	,015	161

*Die Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau signifikant (zweiseitig).

Ausgehend von der Annahme, dass "Schulnoten negativ korrelieren mit Leistungsscores" sind im 3DW sehr schwache, negative Zusammenhänge in den Unterrichtsgegenständen Physik/Chemie, Biologie und Umweltkunde, sowie etwas höhere, negative Zusammenhänge in den Fächern Geographie und Wirtschaftskunde und Bewegung und Sport zu beobachten. Nur im dem Fach Geografie und Wirtschaftskunde zeigt sich sowohl im 3DW als auch im 3DW-m ein etwas höherer negativer Zusammenhang. Dies bedeutet, dass die Varianz der Noten zu 3% durch Raumvorstellungsvermögen bzw. räumlichen Arbeitsgedächtnis erklärt werden kann. Neben dem Unterrichtsfach Geographie und Wirtschaftskunde ist im 3DW-m nur noch ein sehr schwacher, negativer Zusammenhang im Unterrichtsgegenstand Biologie und Umweltkunde zu erkennen. Interessanterweise sind im Fach Geometrisches Zeichnen sowohl im 3DW als auch im 3DW-m so gut wie keine Zusammenhänge festzustellen.

11.4.2 Zusammenhänge zwischen Leistungsgruppen und Scores

Mathematik, Englisch und Deutsch werden in den Kooperativen Mittelschulen (KMS) als sogenannte Hauptfächer bzw. Hauptgegenstände angesehen, da für diese Fächer normalerweise mehr Wochenstunden vorgesehen sind, wie für andere Unterrichtsgegenstände. Die SchülerInnen werden in drei Leistungsgruppen aufgeteilt. In der ersten Leistungsgruppe (1.LG) werden leistungsstarke, in der zweiten Leistungsgruppe (2.LG) mittlere und in der dritten Leistungsgruppe (3.LG) leistungsschwache SchülerInnen unterrichtet. Einteilungen und Übertritte werden jeweils von den LehrerInnen vorgenommen. Mehrere Wochenstunden sind sonst nur in Kooperativen Mittelschulen (KMS) mit besonderen Schwer-

punkten eingeplant, wie beispielsweise für das Fach Bewegung und Sport in Kooperativen Sportmittelschulen (KSMS).

Um der Frage „Wie gut ist das Leistungsgruppenprinzip?“ nachzugehen, werden die Zusammenhänge zwischen den dreikategoriellen Leistungsgruppen und den Scores des 3DW und 3DW-m untersucht. Diese werden mit Rangkorrelationen nach Spearman (r_s) berechnet (siehe Tabelle 23). Angenommen wird ein negativer Zusammenhang, da zu erwarten ist, dass SchülerInnen der dritten Leistungsgruppe (3.LG) weniger und SchülerInnen der ersten Leistungsgruppe (1.LG) mehr Punktwerte erreichen.

Tabelle 23. Korrelationstabellen der Leistungsgruppenzugehörigkeit und Scores im Vergleich 3DW und 3DW-m (der jeweilige Stichprobenumfang ist angegeben)

Leistungsgruppen (1.LG/2.LG/3.LG)	3DW		3DW-m	
	r_s	N	r_s	N
Mathematik	-,175*	160(46/80/34)	-,178*	160(46/80/34)
Englisch	-,193*	161(41/88/32)	-,131	161(41/88/32)
Deutsch	-,109	160(31/89/40)	-,125	160(31/89/40)

*Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant(zweiseitig).

Somit kann die Annahme als bestätigt angesehen werden. Es können schwache, negative Zusammenhänge zwischen Leistungsgruppenzugehörigkeit und Scores, sowohl im 3DW als auch 3DW-m beobachtet werden, d. h. die leistungsschwächste Leistungsgruppe (3.LG) geht mit niedrigeren Scores einher. Das Leistungsgruppenprinzip kann als zufriedenstellend angesehen werden.

12. Zusammenfassung

Die Raschmodellprüfungen des Tests mit den veränderten Aufgaben (3DW-m) erbringen keine signifikanten Werte. Es kann festgehalten werden, dass das Modell Gültigkeit besitzt und das Messinstrument Rasch-Konformität aufweist. Hingegen ergibt die Modellgeltungskontrolle des 3DW signifikante Werte. Unter Berücksichtigung inhaltlicher Aspekte erfolgt die Itemselektion (Gittler, 1986). Im gegebenen Fall wurde das letzte Item der 3DW-Aufgaben selektiert, da zu vermuten ist, dass Konzentration und Aufmerksamkeit der für die SchülerInnen nicht leicht zu lösenden Beispielen, nicht mehr ausreicht. In der anschließenden Modellkontrolle ergibt sich Rasch-Homogenität.

Eine Analyse des Gesamttests bestätigt den Verdacht, dass hier zwei unterschiedliche Fähigkeitsdimensionen untersucht werden. Wie sich herausstellt, erweist sich die Kombination der 3DW und 3DW-m Aufgaben als nicht Rasch-homogen. Dies kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass hiermit nicht dieselbe latente Dimension erfasst wird (Gittler, 1999). Diese Erkenntnisse wurden anschließend mithilfe des Martin-Löf Tests und Einsatz eines Einzelitems als Teilungskriterium bestätigt (Formann, 1981). Nachweislich wird in 3DW und 3DW-m nicht dieselbe latente Fähigkeitsdimension erhoben. Der gut erforschte 3DW erfasst Raumvorstellungsvermögen, im 3DW-m wird zudem *reasoning* oder *memory* vermutet. Cornoldi und Vecchi (2003) unterstützen diese Annahme in ihrer Untersuchung innerlichen Repräsentationen (siehe Kapitel 4.3). Außerdem kann bei Anbindung visueller und räumlicher Teilinformationen der Episodische Puffer Informationen direkt aus dem visuell-räumlichen Subsystem abrufen, wie Baddeley (2000) in seinem *Working memory* Modell darstellt.

Wie der große Leistungsunterschied zwischen 3DW und 3DW-m zeigt, scheinen die Aufgaben im 3DW-m Teil einfacher in ihrer Lösung. Eine Begründung könnte darin liegen, dass *memory* weniger aktive Operationen erfordert (Cornoldi & Vecchi, 2003).

In der Zusammenschau einzelner mittleren Itembearbeitungszeiten (Gesamtzeit) der 3DW-Aufgaben und 3DW-m-Testaufgaben ist zu erkennen, dass die Raumvorstellungsaufgaben des 3DW-Testes größtenteils mehr Zeit in Anspruch nehmen. Wie besonders bei den 3DW-m Items zu sehen ist, verändert die Anzahl der Denkschritte die Zeitspanne wesentlich. Mehr kognitive Operationen benötigen

mehr Zeit. Wie Case (1985) bereits feststellte, wird die erfolgreiche Ausführung mentaler Operationen durch oftmalige Wiederholungen erleichtert, was im 3DW-m bei späteren Aufgaben gut deutlich wird. Wie auch die vergleichende Betrachtung der Lernphase- und Antwortphasezeiten zeigt, weisen 3DW-m Testaufgaben mit drei Denkschritten eine durchwegs längere "Lernphasenzeit" auf.

In Bezug auf die Schulnoten lässt sich ein etwas höherer Zusammenhang der Unterrichtsgegenstände Geografie und Wirtschaftskunde bzw. Bewegung und Sport mit Raumvorstellung beobachten. Der Zusammenhang Raumvorstellung und die persönliche Fähigkeit sich im Raum zu bewegen wurde schon von Cornoldi und Vecchi (2003) im Kapitel 4.2 erwähnt. Die erwarteten hohen Korrelationen von Geometrisches Zeichnen mit Raumvorstellungsvermögen oder räumlichem Arbeitsgedächtnis zeigen sich sowohl im 3DW als auch 3DW-m nicht. Das Leistungsgruppenprinzip der sogenannten Hauptfächer, Mathematik, Englisch und Deutsch, ist entsprechend.

SchülerInnen, die über höheres Raumvorstellungsvermögen verfügen, entscheiden sich tendenziell für eine technische Schule (HTL). Signifikante Unterschiede zwischen Mädchen und Burschen bezüglich Raumvorstellungsvermögen und räumlichen Arbeitsgedächtnis sind in diesem Alter nicht erkennbar. Ebenso sind auch keine signifikanten Werte in dem geringen Altersunterschied, in deutscher oder nichtdeutscher Muttersprache, und in Kooperativen Sportmittelschulen bzw. Kooperativen Mittelschulen zu beobachten.

Zusammenfassend kann festhalten werden, dass die veränderten 3DW-m Aufgaben den testtheoretischen Anforderungen weitgehend entsprechen und zur Testung des räumlichen Arbeitsgedächtnisses herangezogen werden können. Darüber hinaus scheinen sie für diese Altersgruppe gut geeignet, wobei die SchülerInnen die Art der Untersuchung mit „sehr interessant“ bewertet haben. Beide Testversionen stellen eine Orientierungshilfe für den Bereich Berufswahl/Berufsorientierung dar.

An dieser Stelle sind als Kritikpunkte festzuhalten, dass das Alter der Testpersonen in dieser Stichprobe zu jung ist und sich die Testung nicht nur auf Kooperative Mittelschulen in Wien beschränken, sondern auch zukunftsorientiert auf die neue Schulform der Neuen Mittelschule (NMS) ausdehnen sollte. Da es sich um eine relativ kleine Stichprobe handelt, ist die Erhebung einiger demografischer Daten, wie zum Beispiel „Händigkeit“, nicht aussagekräftig. Aufschlussreich könnte sich auch das Untersuchungsdesign darstellen, wo jeweils die beiden Testteile vertauscht dargeboten werden.

Als Ausblick ist es sicher interessant festzustellen, ob die 3DW-m Testaufgaben nicht auch als Training der 3DW-Testaufgaben verwendet werden könnten.

Aussichtsreich, nicht nur für den Themenbereich Berufsorientierung, wäre eine Testversion der 3DW-m Aufgaben in voller Länge, besonders für jüngere Altersgruppen.

ABSTRACT

This study investigates modified items for testing visuo-spatial working memory. The test instrument consists of two parts. The first part uses the original Rasch-scaled items of 3DW (Gittler, 1990) to collect spatial abilities while the second part (3DW-m) contains modified items, which were generated for testing visuo-spatial working memory. The new designed items should be analysed according to Rasch-homogeneity and construction criteria. If necessary, suspicious items were to be selected by stating the reasons. Technical item-selection (Gittler, 1986) is to be avoided.

The data collection includes 161 boys and girls between 13 and 15 years in a secondary school (KMS). Results show that the revised items are one-dimensional and therefore valid. Investigations that regard ability dimensions demonstrate differences according to an appropriate literature (Stelzl, 1979; Gittler, 1999).

Paired t-tests, that compare spatial imagination, alternatively visuo-spatial working memory, sex, age, native language and types of schools, show no significant results. The ANOVA analysis by career orientation (3DW) reveals differences. Expected correlations regarding grades were not found.

In conclusion the original 3DW items are complexer than the modified item 3DW-m for this age group of pupils.

Literaturverzeichnis

- Achleitner, R., Ratzberger-Klampfer, A., & Weikinger, M.** (2008). *Ganz klar: Mathematik 4*. Wien: Verlag Jugend & Volk GmbH.
- Allen, R., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J.** (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, 298-313.
- Amthauer, R.** (1953). *Intelligenz-Struktur-Test I-S-T*. Göttingen: Hogrefe.
- Andersen, E. B.** (1973). A goodness of fit test for the Rasch model. *Psychometrika*, 38, 1, 123-140.
- Anderson, J. R.** (1978). Arguments concerning representations for mental imagery. *Psychological Review* 85, 249-277.
- Anderson, J. R.** (1996). *Kognitive Psychologie* (2. Auflage). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M.** (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. Spence & J. Spence (Hrsg.) *The psychology of learning and motivation* (Bd. 2). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D.** (1966). The capacity for generating information by randomization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 18, 119-29.
- Baddeley, A. D., & Andrade, J.** (2000). Working memory and the vividness of imagery. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 126-145.
- Baddeley, A. D., Eysenck, M. W., & Anderson, M. C.** (2009). *Memory*. Hove, New York: Psychology Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J.** (1974). Working memory. In *Recent advances in learning and motivation Vol. VIII* (G. Bower, ed.) pp. 47-90. New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D.** (1986). Working memory. *Oxford psychology series; no. 11*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D.** (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D.** (2007). *Working Memory, Thought and Action*. Oxford: Oxford University Press.

- Binet, A., & Simon T.** (1908). Le developpement d'intelligence chez les enfants. *L'Annee Psychologique*, 14, 9-94.
- Birbaumer, N., & Schmidt, R. F.** (1997). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer Verlag.
- Brooks, L. R.** (1968). Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*, 22, 349 – 368.
- Carroll, J. B.** (1993). *Human cognitive abilities*. Cambridge: University Press.
- Case, R.** (1985). *Intellectual development: A systematic reinterpretation*. New York: Academic Press.
- Cattell, R. B.** (1971). *Abilities: Their Structure, Growth and Action*. Boston: Houghton Mifflin.
- Cornoldi, C., De Beni, R., Giusberti, F., & Massironi, M.** (1998). Memory and imagery: A visual trace is not a mental image. In M. A. Conway, S. E. Gathercole, & C. Cornoldi (Eds.), *Theories of memory* (Vol. II, pp. 87-110). Hove, UK: Psychology Press.
- Cornoldi, C., & Vecchi, T.** (2003). *Visuo-spatial Working Memory and Individual Differences*. Hove: Psychology Press.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N.** (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In *Visual information processing*, edited by W. G. Chase, 76-176. New York: Academic Press.
- Cooper, L. A.** (1976). Demonstration of a mental analog of an external rotation. *Perception and Psychophysics* 19, 296-302.
- Eliot, J., & Smith, I. M.** (1983). *An International Directory of Spatial Tests*. Windsor: NFER-NELSON.
- Eliot, J., & Hauptman, A.** (1981). Different Dimensions of Spatial Ability. In: *Studies in Science Education*, 8, S. 137-170.
- El Koussy, A. A. H.** (1935). The Visual Perception of Space. *British Journal of Psychology. Monograph Supplement*, 20, 1-80.
- Fausto-Sterling, A.** (1988). Gefangene des Geschlechts? Was biologische Theorien über Mann und Frau sagen; Übers.: B. Stein, München und Zürich, Einheitsacht.: Myths of Gender, Biological Theories About Women and Men <dt.>

- Felzmann, R., Weidinger, W., Blümel, M., & Tittler, L.** (2005). *Geometrische Bilder*. Arbeitsbuch der 3.Klasse. (1.Auflage) Wien: öbv&hpt Verlagsgesellschaft mbH.
- Formann, A. K.** (1981). Über die Verwendung von Items als Teilungskriterium für Modellkontrollen im Modell von Rasch. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 28, 541-560.
- Formann, A. K.** (2004). *Testtheorie und Testkonstruktion*. Institut für Psychologie der Universität Wien. Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- Foreman, N., & Gillet, R. (Eds.)** (1997). *Handbook of spatial research paradigms and methodologies* (Vol. 1). Hove, UK: Psychology Press.
- Fox, P. T., Mintun, M. A., Raichle, M. E., Miezin, F. M., Allman, J. M., & Van Essen, D. C.** (1986). Mapping human visual cortex with positron emission tomography. *Nature* 323, 806-809.
- French, J. W.** (1951). Description of Aptitude and Achievement Tests in Terms of Rotated Factors. *Psychometric Monograph Nr. 5*.
- Galton, F.** (1883). *Inquiries into Human Faculty and its Development*. London: E.P. Dutton.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H.** (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177-190.
- Georgopoulos, A. P., Lurito, J. T., Petrides, M. Schwartz, A. B., & Massey, J. T.** (1989). Mental rotation of the neuronal population vector. *Science*, 243, 234-236.
- Gittler, G.** (1978). *Analyse erfolgskontingenten Lernens unter verschiedenen Rückmeldungsbedingungen*. Wien: Dissertation der Universität Wien.
- Gittler, G.** (1984). Entwicklung und Erprobung eines neuen Testinstruments zur Messung des räumlichen Vorstellungsvermögens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 5, 141-165.
- Gittler, G.** (1986). Inhaltliche Aspekte bei der Itemselektion nach dem Modell von Rasch. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, Band 23, Heft 3, 386-412.
- Gittler, G.** (1990). *Dreidimensionaler Würfeltest 3DW*. Weinheim: Beltz Test GmbH.

- Gittler, G.** (1999). Sind Raumvorstellung und Reasoning separierbare Fähigkeitsdimensionen? Dimensionalitätsanalysen zweier Rasch-skalierte Tests: 3DW und WMT. In *Diagnostica*, 45, Heft 2, 69-81, Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Guilford, J. P., & Lacey J. I.** (1947). *Printed Classification Tests*. Washington, D.C.: AAF Aviation Psychology Research Report 5.
- Guilford, J. P.** (1967). *Nature of Human Intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Guilford, J. P., & Hoepfner, R.** (1971). *Analysis of Intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Hakstian, A. R., & Cattell, R. B.** (1978). Higher-stratum ability structures on a basis of twenty primary abilities. *Journal of Educational Psychology*, 70, 657-669.
- Hick, W. E.** (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 11-26.
- Horn, J. L.** (1985). Remodeling old models of intelligence. In B. B. Wolman (Ed.), *Handbook of intelligence: Theories, measurements, and applications* (pp. 267-300). New York: Wiley.
- Horn, J. L.** (1988). Thinking about human abilities. In J. R. Nesselroade & R. B. Cattell (Eds.), *Handbook of multivariate experimental psychology*, Second edition (pp. 645-685). New York: Plenum.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B.** (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychologica*, 26, 107-129.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B.** (1982). Whimsy and misunderstandings of Gf-Gc theory: A comment on Guilford. *Psychological Bulletin*, 91, 623-633.
- Intons-Peterson, M. J.** (1983). Imagery paradigms: How vulnerable are they to experimenters' expectations? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 9, 394-412.
- Jäger, A. O.** (1984). Intelligenz-Strukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau*, 35, 21-35. (Kap.6 in Krapp & Weidemann).
- Jäger, A. O., Süß, H. M., & Beauducel, A.** (1997). *Berliner Intelligenzstruktur-Test (BIS- Test)*. Form 4. Göttingen: Hogrefe. (Kap. 6, 11).
- Kail, R.** (1988). Developmental functions for speeds of cognitive processes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 45, 339-364.

- Kail, R.** (1992). *Gedächtnisentwicklung bei Kindern*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kandel, E. R., & Schwartz, J. H.** (1984). *Principles of neural science* (2. Aufl.). New York: Elsevier.
- Kimura, D.** (1992). Weibliches und männliches Gehirn. *Spektrum der Wissenschaft*, November 1992, 104-113.
- Klauer, K. J.** (2006). Intelligenz und Begabung. In Detlef H. Rost (Hrsg.). *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (3. überarb. u. erw. Aufl. 275-280). Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Kosslyn, S. M.** (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception and Psychophysics* 14, 90-94.
- Kosslyn, S. M.** (1975). Information representation in visual images. *Cognitive Psychology* 10, 356-389.
- Kosslyn, S. M.** (1980). *Image and Mind*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M., Margolis, J. A., Barrett, A. M., Goldknopf, E. J., & Caly, P. F.** (1990). Age differences in imagery disabilities. *Child Development*, 61, 995-1010.
- Kosslyn, S. M.** (1994). *Image and Brain*. Cambridge, London: A Bradford Book, The MIT Press.
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., Thompson, W. L., Maljkovic, V., Weise, S. B., Chabris, C. F., Hamilton, S. E., Rauch, S. L. & Buonanno, F. S.** (1993). Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience* 5, 263-287.
- Krapp, A., & Weidenmann, B. (Hrsg.).** (2006). *Pädagogische Psychologie*. 5. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Kubinger, K. D.** (1995). *Einführung in die Psychologische Diagnostik*. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.
- Kubinger, K. D.** (2006). *Psychologische Diagnostik*. Göttingen, Bern, Wien, Toronto, Seattle, Oxford, Prag: Hogrefe Verlag GmbH.
- Kubinger, K. D., Rasch, D., & Moder, K.** (2009). Zur Legende der Voraussetzungen des *t*-Tests für unabhängige Stichproben. *Psychologische Rundschau*, Volume 60, Number 1, 26-27. Hogrefe Verlag.

- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E.** (1990). Reasoning ability is (little more than) working- memory capacity?! *Intelligence*, 14, 389-433.
- Levy, J.** (1976). Cerebral lateralization and spatial ability. *Behavior Genetics*, 6, 171-188.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C.** (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Logie, R. H.** (1995). *Visuo-spatial Working Memory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lohman, D. F.** (1979). *Spatial Ability; A Review and Re-analysis of Correlational Literature*. Aptitude Research Project, Report Nr.8, Stanford University.
- Maier, P. H.** (1999). *Räumliches Vorstellungsvermögen*. 1. Auflage. Donauwörth: Auer Verlag GmbH.
- Maccoby, E. E., & Jacklin, C. N.** (1974). *The psychology of sex differences*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Marr, D.** (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. New York: Freeman.
- Martin-Loef, P.** (1973). *Statistika modeller*. (Statistical models. Notes from seminars 1969-70 by Rolf Sundberg. 2nd ed.). Stockholm.
- McGee, M. G.** (1979). *Human Spatial Abilities; Sources of Sex Differences*. New York: Praeger Publishers.
- Metzler, J., & Shepard, R. N.** (1974). Transformational studies of the internal representations of three dimensional objects. In R. L. Solso (Hrsg.), *Theories of cognitive psychology: The Loyola Symposium*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Meyer, Konversations-Lexikon.** (1889). Sechster Band. Leipzig: Verlag des Bibliographischen Instituts.
- Millar, S.** (1994). *Understanding and representing space*. New York: Oxford University Press.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A.** (1995). *The visual brain in action*. New York: Oxford University Press.
- Neubrand, J., & Neubrand, M.** (1988). Inhalte von Berufseignungstests im regulären Mathematikunterricht der Realschule. In: Die Realschule, 96, 211-214.

- Norman, D. A., & Shallice, T.** (1980). Attention to action. Willed and automatic control of behavior. *University of California San Diego CHIP Report 99*.
- Norman, D. A., & Shallice, T.** (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Selfregulation. Advances in Research and Theory* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Plenum Press.
- Oswald, W. D., & Roth, E.** (1978). *Der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT)*. Göttingen: Hogrefe.
- Paivio, A.** (1971). *Imagery and verbal processes*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Paivio, A.** (1978). A dual coding approach to perception and cognition. In H. L. Pick & E. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 39- 52). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Paivio, A.** (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Pearson, D. G., Logie, R. H., & Gilhooly, K. J.** (1999). Verbal representations and spatial manipulation during mental synthesis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11(3), 295-314.
- Piaget, J.** (1975). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Piaget, J., & Inhelder, B.** (1966). *L'image mentale chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., Hall, M., & Lloyd, S. A.** (2001). Development of memory for pattern and path: Further evidence for the fractionation of visual and spatial short-term memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54 A, 397-420.
- Posner, M. I., Boies, S., Eichelman, W., & Taylor, R.** (1969). Retention of visual and name codes of single letters. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 10-15.
- Pylyshyn, Z. W.** (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review* 87, 16-45.
- Quaiser-Pohl, C.** (1998). *Die Fähigkeit zur räumlichen Vorstellung: zur Bedeutung von kognitiven und motivationalen Faktoren für geschlechtsspezifische Unterschiede*. Berlin: Waxmann Verlag GmbH.

- Rademacher, J., Caviness, Jr., V. S., Steinmetz, H., & Galaburda, A.** In press. Topographical variation of the human primary cortices: Implications for neuroimaging, brain mapping and neurobiology. *Cerebral Cortex*.
- Rasch, G.** (1960). *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*. Copenhagen: Nielsen & Lydiche (Expanded Edition, Chicago, University of Chicago Press, 1980).
- Robbins, T., Anderson, E. Barker, D. Bradley, A., Fearneyhough, C., Henson, R. et al.** (1996). Working memory in chess. *Memory and Cognition*, 24(1), 83-93.
- Rosenthal, R.** (1976). *Experimenter effects in behavioral research*. New York: Irvington.
- Rost, D. H. (Hrsg.).** (2006). *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie*. 3. Auflage. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Verlag.
- Rost, J.** (2004). *Lehrbuch Testtheorie-Testkonstruktion*. 2. Auflage. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Schnotz, W., & Bannert, M.** (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text-und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46, 217-236.
- Shallice, T.** (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B* 298, 199-209.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A.** (1982). *Mental images and their transformations*. Cambridge Mass.: MIT Press.
- Shepard, R. N., & Feng, C.** (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology* 3, 228-243.
- Shepard, R. N., & Metzler, J.** (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Siegler, R. S.** (1991). *Children's thinking* (2. Aufl.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Siegler, R. S.** (1998). *Children's Thinking* (3rd edn). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Spearman, Ch.** (1904). "General intelligence", objectively determined and measured. *American Journal of Psychology*, 15, 201-293.
- Stelzl, I.** (1979). Ist der Modelltest des Rasch-Modells geeignet, Homogenitätshypothesen zu prüfen? Ein Bericht über Simulationsstudien

- mit inhomogenen Daten. In: *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, Band 16, Heft 4*, 652-672.
- Sternberg, S.** (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donder's method. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- Sternberg, R. J.** (1977). *Intelligence, information processing, and analogical reasoning: The componential analysis of human abilities*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sternberg, R. J.** (1981). Intelligence and nonentrenchment. *Journal of Educational Psychology*, 73, 1-16.
- Sternberg, R. J.** (1996). *Cognitive Psychology*. Fort Worth: Harcourt Brace College Publ.
- Thurstone, L. L.** (1931). Multiple-factor analysis of vocational interests. *Personnel Journal*, 10, 198-205.
- Thurstone, L. L.** (1938). *Primary Mental Abilities*. Chicago: University of Chicago Press.
- Thurstone, L. L.** (1950). *Some primary abilities in visual thinking* (Research Report 59). Chicago: Psychometric Laboratory.
- Thurstone, L.L., & Thurstone, T.G.** (1941). *Factorial studies of intelligence*. Chicago: University of Chicago Press.
- Thurstone, L. L., & Thurstone, T. G.** (1949). *Mechanical Aptitude*. United States Navy.
- Tootell, R. B. H., Silverman, M. S., Switkes, E., & De Valois, R. L.** (1982). Deoxyglucose analysis of retinotopic organization in primate striate cortex. *Science* 218, 902-904.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M.** (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. S. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *The analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Voyer, D. Voyer, S., & Bryden, M. P.** (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117, 250-270.
- Vernon, P. E.** (1950). *The structure of human abilities*. London: Methuen.
- Warm, T. A.** (1989). Weighted likelihood estimation of ability in item response models. *Psychometrika*, 54, 427-450.
- Werdelin, I.** (1961). *Geometrical Ability and the Space Factor*. Lund: Gleerup.

Zimbardo, P. G., & Gerrig, R. J. (1999). *Psychologie* (7. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Internet

<http://www.psychology48.com/deu/d/raumvorstellungsfahigkeit/raumvorstellungsfahigkeit.htm> (27.08.2009).

<http://www.bmukk.gv.at/medienpool/785/ahs10.pdf> (08.08.2010).

http://www.bmukk.gv.at/medienpool/878/lp_hs_geomzeichnen_878.pdf (29.08.2011).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Das Modell nach Vernon (1950)	17
Abbildung 2. Das Berliner Intelligenzmodell von Jäger (1997)	20
Abbildung 3. Die Komponententheorie nach Sternberg (1977)	21
Abbildung 4. Experiment von Metzler und Shepard (1974)	24
Abbildung 4.1. Zusammenhänge zwischen Reaktionszeiten und Winkeldisparität (Metzler & Shepard, 1974)	25
Abbildung 5. Experiment von Tootell et al. (1982)	30
Abbildung 6. Experiment von Fox et al. (1986)	31
Abbildung 7. Ergebnisse von einem PET- Scannen Experiment überarbeitet von Kosslyn et al. (1993)	33
Abbildung 8. Cerebraler Cortex (Kandel & Schwartz, 1984)	34
Abbildung 9. Gedächtnismodell (Atkinson & Shiffrin, 1968)	36
Abbildung 10. Eine vereinfachte Repräsentation des Arbeitsgedächtnismodells von Baddeley und Hitch (1974)	37
Abbildung 11. SAS-Modell von Norman und Shallice (1986)	39
Abbildung 12. Arbeitsgedächtnismodell von Logie (1995)	44
Abbildung 13. Arbeitsgedächtnismodell mit Episodischem Speicher von Baddeley (2000)	46
Abbildung 14. Papierfaltprobleme (Shepard & Feng, 1972)	47
Abbildung 15. Rahmenmodell interner und externer Repräsentationen (Schnotz & Bannert, 1999)	49
Abbildung 16. Veränderungen in der Entwicklung im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis (visuo-spatial sketchpad) zwischen dem 5. – 15. Lebensjahr (Gathercole et al. 2004)	55
Abbildung 17. IC-Kurve eines Rasch-Items mit $\sigma_i = 0$	63
Abbildung 18. IC-Kurven dreier Items im Rasch Modell	64
Abbildung 19. Testteil 2: Übungsbeispiel 2 (Lernphase)	77
Abbildung 20. Testteil 2: Übungsbeispiel 2 (Antwortphase)	77
Abbildung 21. Kreisdiagramm für den zukünftigen Bildungsweg	81
Abbildung 22. Notenverteilung der Leistungsgruppen in M,E,D	82
Abbildung 23. Verteilung im 3DW Test	84
Abbildung 24. Verteilung im 3DW-m Test	85

Abbildung 25. Grafischer Modelltest der 8 Items 3DW	88
Abbildung 26. Grafischer Modelltest ohne Item 9(3DW)	89
Abbildung 27. Grafischer Modelltest der 9 Items (3DW-m)	90
Abbildung 28. Grafischer Modelltest des Gesamttests ohne Item 9	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Mädchen- und Burschenanteil	79
Tabelle 2. Verteilung der Händigkeit	79
Tabelle 3. Verteilung deutscher und nichtdeutscher Muttersprache	80
Tabelle 4. Anteil der SchülerInnen in Kooperativen Mittelschulen und Kooperativen Sportmittelschulen	80
Tabelle 5. Verteilung der SchülerInnen in den drei Leistungsgruppen der Unterrichtsgegenstände Mathematik, Englisch und Deutsch	82
Tabelle 6. Rohwertverteilungen im 3DW-Test	84
Tabelle 7. Rohwertverteilungen im 3DW-m Test	85
Tabelle 8. cLR-Testwerte für 8 Items des 3DW (Testteil 1)	88
Tabelle 9. cLR-Testwerte für 9 Items des 3DW-m (Testteil 2)	90
Tabelle 10. cLR- Testwerte für die Kombination 3DW und 3DW-m (ohne Item 9)	91
Tabelle 11. Korrigierte Item-Skala-Korrelationen der 9 Items des 3DW-m	95
Tabelle 12. Mittlere Itembearbeitungszeiten [sec] im 3DW	96
Tabelle 13. Mittlere Itembearbeitungszeiten [sec] im 3DW-m (L und A)	96
Tabelle 14. Mittlere Bearbeitungszeiten der Lernphase und Antwortphase	97
Tabelle 15. 3DW: Geschlechts- und, Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS)	98
Tabelle 16. 3DW-m: Geschlechts- und, Altersunterschiede, Unterschiede zwischen deutscher und nichtdeutscher Muttersprache bzw. zwischen den Schultypen (KMS vs. KSMS)	99
Tabelle 17. Verteilung im zukünftigen Bildungsweg	100
Tabelle 18. Ergebnisse der Varianzanalyse (3DW)	100
Tabelle 19. Ergebnisse der Varianzanalyse (3DW-m)	101
Tabelle 20. Unterrichtsgegenstände und deren Abkürzungen	102
Tabelle 21. Schulnotenaufteilungen einzelner Unterrichtsgegenstände	102
Tabelle 22. Punktbiseriale Korrelation (rpb) zwischen Schulnoten und 3DW und 3DW-m Scores	103
Tabelle 23. Korrelationstabellen der Leistungsgruppenzugehörigkeit und Scores im Vergleich 3DW und 3DW-m	104

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name:	Ingeborg MAREK, geb. NIESS
Geburtsdaten:	24.08.1957 in Wien
Familienstand:	Verheiratet, 2 Kinder
Staatsbürgerschaft:	Österreich

Bildungsweg

1963 – 1967	Volksschule in Wien 21
1967 – 1971	Hauptschule in Wien 21
1971 – 1975	Musisch – pädagogisches Realgymnasium f. Mädchen in Wien 1
1975 – 1978	Lehramtsstudium für Mathematik und Physik/Chemie an der Pädagogischen Akademie der Erzdiözese in Wien 21
1994	Schülerberaterausbildung an dem Pädagogischen Institut der Stadt Wien
Seit 1998	Psychologiestudium an der Universität Wien

Berufstätigkeit

Seit 1978	Diplompädagogin an Hauptschulen, tätig beim Stadtschulrat für Wien
-----------	---

Psychologisches Praktikum

April – September 2006	Praktikum beim Psychologischen Dienst im Landesjugendheim Korneuburg
------------------------	---