

Interkantonale Hochschule für Heilpädagogik Zürich
Studiengang Logopädie 14/18

Bachelorarbeit

Das auditive Arbeitsgedächtnis im Kontext von Sprache und Musik

Kann das auditive Arbeitsgedächtnis, als
Grundlage einer adäquaten Sprachentwicklung,
durch musikalische Intervention gefördert werden?

Eingereicht von:
Bianca Hottinger

Begleitung:
Christina Arn

18.05.2018

Abstract

Seit vielen Jahren untersuchen Forscher der Psychologie und Neuropsychologie mögliche Strukturen und Funktionsweisen des Arbeitsgedächtnisses. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem auditiven Arbeitsgedächtnis als möglicher Schnittstelle in der Verarbeitung von Kognition, Sprache und Musik. Dafür werden aktuelle Erkenntnisse aus der linguistischen, psycholinguistischen, logopädischen und musikwissenschaftlichen Literatur zusammengefasst und mit den Funktionen des Arbeitsgedächtnisses in Verbindung gebracht. Die Auswirkungen von Arbeitsgedächtnisdefiziten auf den kindlichen Spracherwerb werden aufgezeigt und die mögliche Beeinflussung der neuronalen Strukturen und Prozesse durch Musik werden erörtert. Diese Bachelorarbeit geht der Frage nach, ob die Leistung des auditiven Arbeitsgedächtnisses durch musikalische Förderung verbessert werden kann und betrachtet dafür Resultate aus Studien zu Transfereffekten verschiedener Formen von Musiktraining auf Kognition und Sprache.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
1.1. Motivation und Zielsetzung	4
1.2. Fragestellung	5
2. Methodik	6
2.1. Aufbau	6
2.2. Vorgehen und Kriterien	6
2.3. Entscheidungen und Prozess	7
3. Theorieteil.....	8
3.1. Das Arbeitsgedächtnis	8
3.1.1. Theorien und Modelle	8
3.1.2. Funktion	11
3.1.3. Entwicklung	13
3.1.4. Zusammenfassung und Definition.....	15
3.1.5. Störungen des Arbeitsgedächtnisses.....	16
3.2. Die Sprache	17
3.2.1. Spracherwerb: Phonetik/Phonologie, Syntax, Lexikon, Sprachverständnis.....	17
3.2.2. Sprachverarbeitung.....	19
3.2.3. Zusammenhänge Sprache und Arbeitsgedächtnis	20
3.2.4. Sprachentwicklungsstörungen im Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis...	22
3.3. Die Musik	25
3.3.1. Wahrnehmung und Verarbeitung von Musik.....	25
3.3.2. Zusammenhänge Musik und Sprache	26
3.3.3. Zusammenhänge Musik und Arbeitsgedächtnis	28
3.4. Kombination von Arbeitsgedächtnis, Sprache und Musik	30
4. Diskussion	34
4.1. Schlussfolgerung und Beantwortung der Fragestellung	34
4.2. Methodenkritik.....	35
4.3. Ausblick.....	36
5. Verzeichnisse	38
5.1. Abbildungsverzeichnis	38
5.2. Quellenverzeichnis.....	38

1. Einleitung

Jeder Themenwahl liegt eine persönliche Motivation zugrunde. Diese wird im nächsten Kapitel dargestellt. Zudem wird die Forschungsfrage hergeleitet und vorgestellt.

1.1. Motivation und Zielsetzung

Grundlegende Motivation für die Themenwahl rund um das auditive Arbeitsgedächtnis ist auf der einen Seite die grosse Faszination für neuropsychologische Themen und auf der anderen Seite der Wunsch, logopädisches und musikpädagogisches Wissen zusammenzuführen. Seit Jahren werden zudem in verschiedenen Ländern Europas und in den USA Studien über die Beschäftigung mit Musik und deren positive Auswirkung auf das menschliche Gehirn veröffentlicht. Sehr häufig werden dabei positive Veränderungen der verbalen Fähigkeiten der Probanden festgestellt.

Jaschke, Honing und Scherder publizierten Anfang dieses Jahres eine Studie zu Instrumentalunterricht bei durchschnittlich sechsjährigen Kindern. Gemäss den Autoren zeigen diese Kinder eine signifikant höhere verbale Intelligenz, sowie bessere Kurzzeitgedächtnisleistungen, Konzentration und Organisationsfähigkeit. Dies führt in der Folge zu besseren schulischen Leistungen (vgl. Jaschke et al., 2018).

Für diese Arbeit stellt sich nun die Frage, was die musikalische Förderung bewirken kann und wo mögliche Verbindungen zwischen Musik, Sprache und Kognition angesiedelt werden könnten. Nach ausführlicher Literaturrecherche wurde das auditive Arbeitsgedächtnis als Kernthematik gewählt, weil es eine wichtige Schlüsselfunktion zwischen auditivem Input respektive sprachlichem Output und Langzeitwissen wahrnimmt. Somit kann es als aktive Schnittstelle zwischen Sprache und Kognition betrachtet werden.

Sollte sich herausstellen, dass die Entwicklung und die Funktion des auditiven Arbeitsgedächtnisses, wie die anfängliche Recherche vermuten lässt, eine wichtige Grundlage für einen funktionierenden Spracherwerb darstellt, könnte dies ein Weg sein, um Spracherwerbsstörungen in der logopädischen Therapie bei den Wurzeln anzupacken. Die Relevanz der Arbeit für die logopädische Tätigkeit liegt daher einerseits darin, dass aktuelle Erkenntnisse über das Arbeitsgedächtnis zusammengefasst und mit Wissen über die Sprachverarbeitung, den Spracherwerb und mögliche Störungen verknüpft wird. Andererseits werden die verschiedenen Formen der Verarbeitung von auditivem Input in einen Zusammenhang gebracht. Gerade bei der Logopädie im Früh- und Vorschulbereich, aber auch für die präventive logopädische Arbeit, besteht ein Interesse an vielseitigen und effizienten Interventionsmöglichkeiten, um Blockaden in der sprachlichen Entwicklung grundlegend anzugehen. Musikalische Interventionen könnten dafür vielfältige Chancen bieten.

Die Möglichkeiten, Überschneidungsstellen zwischen Sprache und Musik zu finden, sind äusserst vielfältig. Dennoch hat sich die Autorin für den Bereich der Kindersprache, genauer den Erwerb und die Entwicklung der Lautsprache entschieden. Hierbei sprangen die Bereiche Phonetik/Phonologie, Syntax, Lexikon und Sprachverständnis sofort ins Auge.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es einerseits den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse im Bereich der kognitiven, sprachwissenschaftlichen und musikwissenschaftlichen Forschung zusammenfassend darzustellen. Andererseits möchte sie die einzelnen Forschungsfelder miteinander in Verbindung bringen und Zusammenhänge aufzeigen, die als Ressourcen für Interventionen und Therapien bereits genutzt werden oder in Zukunft vermehrt genutzt werden können. Wünschenswert wäre, wenn aus der Arbeit in einem nächsten Schritt Ansätze für eine musikalisch-logopädische Förderung der Sprachentwicklung resultieren würden.

1.2. Fragestellung

Aufgrund der Auseinandersetzung mit der Thematik und dem aktuellen Forschungsstand in den Bereichen Psychologie, Linguistik und Musikwissenschaft wurden folgende, für diese Arbeit grundlegenden, Hypothesen festgelegt:

- Die Entwicklung und Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses haben einen Einfluss auf den kindlichen Spracherwerb.
- Die Beschäftigung mit Musik bewirkt neurophysiologische Effekte, die sich positiv auf kognitive Prozesse auswirken.
- Sowohl für die Wahrnehmung, Verarbeitung und Analyse von Lautsprache und Musik sind ähnliche Strukturen und Prozesse beteiligt.

Aus diesen Hypothesen hat sich folgende Forschungsfrage herauskristallisiert:

Kann das phonologische Arbeitsgedächtnis, als wichtige Voraussetzung einer adäquaten Sprachentwicklung, durch musikalische Intervention gezielt gefördert werden?

Sowohl die Hypothesen, als auch die Forschungsfrage werden in den nachfolgenden Kapiteln fundiert erläutert.

2. Methodik

Die nachfolgenden drei Kapitel beschreiben den Aufbau der Arbeit und das methodische Vorgehen und begründen die Entscheidungen, die im Laufe des Arbeitsprozesses immer wieder getroffen wurden.

2.1. Aufbau

Ausgehend von Modellen zur Funktion des Arbeitsgedächtnisses wird ein Bezug zur Sprache und Musik gesucht und hergestellt. Inhaltlich werden die Bereiche Entwicklung, Verarbeitung, Störungen und Möglichkeiten der Beeinflussung bearbeitet.

Im Zentrum steht das Arbeitsgedächtnis. Jedes Kapitel des Theorieteils besteht aus einer differenzierten Erläuterung der Funktionsweise oder Verarbeitung anhand von Modellen, der Entwicklung während der Kindheit und möglichen Störungen. Diese werden anhand von aktuellen, disziplinspezifischen und interdisziplinären Studien schrittweise mit den anderen Forschungsbereichen in Verbindung gebracht. Abschliessend werden die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Fragestellung ausgewertet, diskutiert und kritisch hinterfragt.

2.2. Vorgehen und Kriterien

Die vorliegende Arbeit ist im Forschungsdesign einer Dokumentenanalyse verfasst und verknüpft drei verschiedene Themenbereiche. Grundlage der Arbeit sind Studien, Fachliteratur und Fachartikel aus den Disziplinen Neuropsychologie, Linguistik, Psycholinguistik und Musikwissenschaft. Diese wurden gemäss nachfolgenden Kriterien systematisch ausgewählt:

- Die verwendeten Studien sind, von begründeten Ausnahmen abgesehen, nicht älter als zehn Jahre, um den aktuellen Forschungsstand abzubilden.
- Literatur und Fachartikel sind nicht älter als fünfzehn Jahre. Ältere Modelle und Ansätze werden jedoch berücksichtigt, wenn die Inhalte noch aktuell und anerkannt sind und wissenschaftliche Relevanz haben.
- Verwendete Inhalte stammen aus anerkannten Forschungszeitschriften und wurden von Experten des jeweiligen Gebiets publiziert.

Die Studien wurden nach qualitativen Analysemethoden, im Sinne einer kategorienbasierten Analyse ausgewertet. Auswertung und Interpretation sind daher nicht zu trennen (Mayring, 2008).

Die Arbeit stellt das Arbeitsgedächtnis ins Zentrum. Erkenntnisse darüber werden mit dem sprachlichen und musikalischen Bereich in Zusammenhang gebracht.

Die Basis der Arbeit bildet eine intensive Literaturrecherche. Die Kernaussagen der verwendeten Studien werden dargestellt, qualitativ miteinander in Verbindung gebracht und kritisch reflektiert, um ein Gesamtbild herzustellen.

2.3. Entscheidungen und Prozess

Da die Thematik sehr komplex ist, haben sich während des Prozesses der Literaturrecherche immer wieder neue und in Bezug auf die Forschungsfrage relevante Themenbereiche eröffnet. Die vorliegende Arbeit ist das Resultat einer Reihe von Entscheidungen, die immer wieder getroffen werden mussten, um die Rahmenbedingungen einer Bachelorarbeit einzuhalten.

Als im Herbst die definitive Entschluss feststand, das Arbeitsgedächtnis als aktiven und daher beeinflussbaren Prozess ins Zentrum der Arbeit zu stellen, begann die vertiefte Recherche nach Fachartikeln. Die erste Frage war, ob überhaupt genügend Literatur zu diesem Thema existiert. Diese Frage wurde dann bald durch methodische Fragen abgelöst. Da in den Jahren 2003 bis ca. 2008 relativ viel über die Thematik geforscht wurde, machte es Sinn diese Arbeiten einzubeziehen.

Anfangs stand noch die Idee einer empirischen Arbeit im Raum. Aufgrund zeitlicher und terminlicher Engpässe und der zu grossen Komplexität der Thematik war jedoch die Entscheidung für eine reine Literaturarbeit naheliegend.

Im Winter tauchte die Frage auf, welches Modell des Arbeitsgedächtnisses die Grundlage für diese Arbeit bilden sollte. Bei der Recherche tauchte immer wieder das Modell von Baddeley und Hitch (vgl. Baddeley & Hitch, 1974) als Basis der meisten Studien auf. Daher stellt es auch die Grundlage dieser Bachelorarbeit dar. Trotzdem sollte jedoch aufgezeigt werden, dass durchaus andere Theorien und Modelle existieren.

Bei der Zusammenfassung der Papers stellte sich heraus, dass wichtige Grundlagen fehlten, um die komplexe Thematik zu verstehen. Daher wurde intensiv nach zusätzlicher, fundierter Fachliteratur in Form von Büchern und Artikeln gesucht. Während der Lesephasen tauchten immer wieder interessante Artikel zur Materie auf. Um die mehrdimensionale Thematik schliesslich in eine lineare Form zu bringen, wurde ein Mindmap mit allen möglichen Überschneidungen und Zusammenhängen erstellt.

Im Februar wurde entschieden, dass bestimmte Bereiche, wie zum Beispiel die Schriftsprache, ausgeklammert werden mussten, da dies den Rahmen einer Bachelorarbeit gesprengt hätte. Die Einschränkung auf den Bereich der Kindersprache erlaubte eine weitere Präzisierung. Da es in der Forschung rund um das Arbeitsgedächtnis viele Untersuchungen mit Aphasiepatienten gab, wurden diese für das Kapitel der Arbeitsgedächtnisentwicklung über

die Lebensspanne miteinbezogen. Für das letzte Kapitel wurde der Rahmen über das auditive Arbeitsgedächtnis hinaus erweitert, da bislang zu wenig Studien zur spezifischen Thematik publiziert wurden.

Nach und nach tauchten viele Fragen nach der frühen Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses und der Bedeutung für den Spracherwerb auf, die auch zu spannenden Diskussionen mit Fachkolleginnen führten.

Schliesslich entstanden die Texte dieser Arbeit. Hier war es wichtig, sich für eine sinnvolle Terminologie zu entscheiden, um die Begriffe möglichst einheitlich verwenden zu können.

3. Theorieteil

Der Theorieteil vermittelt einerseits die Grundlagen zu den drei beteiligten Teilbereichen und versucht andererseits diese Teilbereiche bezüglich der Forschungsfrage in einen sinnvollen Zusammenhang zu bringen.

3.1. Das Arbeitsgedächtnis

Im ersten Unterkapitel werden zunächst Theorien, Funktion und Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses erläutert. Anschliessend wird der Stand der Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt und eine Begriffsdefinition hergeleitet, um eine verständliche und einheitliche Verwendung der Begrifflichkeiten für die weitere Arbeit zu gewährleisten. Mögliche Störungen des Arbeitsgedächtnisses ermöglichen Anknüpfungspunkte zu den nachfolgenden Themenbereichen. Die differenzierte Beschäftigung mit der Thematik dient als Basis für die Verknüpfung mit den weiteren Kapiteln.

3.1.1. Theorien und Modelle

Das Arbeitsgedächtnis stellt, als Teil des kognitiven Systems, sehr komplexe Strukturen und Prozesse dar, die in den letzten Jahrzehnten von zahlreichen Forschern der Psychologie und Neuropsychologie untersucht wurden. Bis heute existieren verschiedene Theorien und Modelle über die Physiologie und die Funktion des Arbeitsgedächtnisses. Einige der Theorien sind bis heute anerkannt und dienen somit als Grundlage für die moderne Forschung. Eine Auswahl davon wird in diesem Kapitel vorgestellt und erläutert.

Mehrkomponentenmodell nach Baddeley und Hitch (1974)

Bereits 1974 entwickelten Baddeley und Hitch das sogenannte Mehrkomponentenmodell, welches bis heute grösstenteils anerkannt ist. Sie schlagen vor, dass das Arbeitsgedächtnis

kein einheitliches System darstellt, sondern aus verschiedenen Komponenten besteht. Dieses kapazitätsbegrenzte System hält temporär Informationen aufrecht, speichert sie und unterstützt Denkprozesse, indem es als Schnittstelle zwischen Wahrnehmung, Langzeitgedächtnis (LZG) und Handlung fungiert (Baddeley & Hitch, 1974). Anfangs bestand das Modell aus zwei Subsystemen. Dem *auditiven Arbeitsgedächtnis*, auch *phonologische Schleife* genannt, für die Verarbeitung verbaler Informationen einerseits und dem *räumlich-visuellen Notizblock* für die Verarbeitung visueller, spatialer und objekt-bezogener Informationen andererseits. 1986 wurde das Modell um die *Zentrale Exekutive* erweitert, welche den beiden Subsystemen übergeordnet ist und 2000 wurde die vierte Komponente, der *Episodische Puffer*, von Baddeley hinzugefügt (Heidler, 2013). Die Theorie des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch basiert auf der Annahme, dass man grundsätzlich zwischen Kurzzeitgedächtnis (KZG) und LZG unterscheiden kann (Berti, 2010).

Die Zentrale Exekutive, als modalitätsunabhängige Kontrollinstanz des Systems, verarbeitet Information dynamisch und verteilt die Verarbeitungskapazität in Abhängigkeit von der aktuellen Priorität (Heidler, 2013). Sie koordiniert die Subsysteme und kontrolliert und manipuliert Arbeitsgedächtnisinhalte. So ermöglicht sie den Zugriff auf Repräsentationen des LZGs (Barnard et al., 2001) und ist zentral an der Aufmerksamkeitskoordination und Fokussierung beteiligt. Sie lenkt die Aufmerksamkeit auf verhaltensrelevante Reize und sorgt für die Inhibition verhaltensirrelevanter Reize. Anatomisch wird die Zentrale Exekutive im Präfrontalkortex angesiedelt (Heidler, 2013).

Das auditive Arbeitsgedächtnis ist ein modalitätsspezifisches, aktives Speichersystem auf der Ebene des Kurzzeitgedächtnisses und besteht aus zwei Komponenten; einem passiven, phonologischen Speicher, der auditorisch-verbale Informationen für ca. 1,8 Sekunden repräsentieren kann und dem aktiven, subvokalen artikulatorischen Kontrollprozess, auch Rehearsal genannt. Letzterer ermöglicht inneres Sprechen, um Informationen länger verfügbar zu halten (Hasselhorn & Grube, 2003). Auditive Informationen werden hier phonologisch enkodiert und für die weitere Verarbeitung verfügbar gehalten. Das auditive Arbeitsgedächtnis stellt somit ein funktionales Netzwerk dar, welches auditiv-motorische Integrationen unterstützt. Es nimmt sowohl sprachliche, als auch aussersprachliche Funktionen wahr. Lokalisiert wird das auditive Arbeitsgedächtnis in fronto-temporo-parietalen Arealen und hauptsächlich linkshemisphärisch (Baddeley, 2003). Grundsätzlich gilt, je grösser die Anforderung, desto mehr Areale, auch rechtshemisphärisch, werden aktiviert, was folglich zu einem höheren Vernetzungsgrad zum rechten Präfrontalkortex führt (Heidler, 2013).

Der Episodische Puffer integriert modalitätsübergreifend Information und nimmt Zugriff auf LZG-Inhalte vor. Er kann dieses Wissen kurzfristig halten und weiter verknüpfen. (Baddeley, 2000)

Auf die genaue Erläuterung des visuell-räumlichen Notizblocks wird an dieser Stelle abgesehen, da diese Komponente für diese Arbeit keine direkte Relevanz hat.

Informationen passieren das Arbeitsgedächtnis sowohl in Inputrichtung, das heisst vom akustischen Reiz hin zur verarbeiteten und gespeicherten Repräsentation im LZG, als auch in die entgegengesetzte Richtung vom Abruf hin zum Output.

Es sind verschiedene Phänomene nachweisbar, die für die Existenz des auditiven Arbeitsgedächtnisses sprechen. Dazu gehören der phonologische Ähnlichkeitseffekt und der Wortlängeneffekt. Der phonologische Ähnlichkeitseffekt bewirkt, dass die Gedächtnisspanne für akustisch ähnliche Items geringer ausfällt. Der Wortlängeneffekt hat zur Folge, dass pro Zeiteinheit weniger lange als kurze Wörter nachgesprochen werden können, da längere Wörter mehr Zeit zum inneren Nachsprechen benötigen (Hasselhorn & Grube, 2003). Diese Phänomene werden in vielen Untersuchungen rund um die Funktion und Entwicklung des auditiven Arbeitsgedächtnisses verwendet.

Besonders in Forschungsgebieten, die sich mit sprachlichem und visuellem Material beschäftigen, wie beispielsweise der experimentellen Psychologie und der Lernforschung, stellt das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (1974) bis heute die Grundlage dar.

Modell der eingebetteten Prozesse nach Cowan (1999)

Im Gegensatz zu Baddeley und Hitch unterscheidet Cowan nicht zwischen LZG und KZG als separaten, strukturellen Gedächtnissystemen. In seinem Modell geht es um den funktionalen Zustand, in dem sich Information befinden kann (Berti, 2010). Er versteht die aktivierten Gedächtnisinhalte des Arbeitsgedächtnisses als Teilmenge des LZGs, die im Fokus der Aufmerksamkeit stehen (Chein, Ravizza & Fiez, 2003). Die Inhalte gelangen also willentlich, gesteuert durch die Zentrale Exekutive, oder automatisch, ausgelöst durch eine Orientierungsreaktion, in den Fokus der Aufmerksamkeit und werden somit aktiviert und bewusst wahrgenommen. In diesem Zustand können die Informationen verarbeitet werden. Die Aufmerksamkeit kann nach innen, auf bereits vorhandene Repräsentationen oder nach aussen, gerichtet werden. Inhalte, die bereits aktiviert wurden, bleiben auch ausserhalb des Aufmerksamkeitsfokus noch leicht zugänglich (Heidler, 2013)

Das Modell umfasst folgende vier Komponenten (Cowan, 1999):

- Die *Zentrale Exekutive* kontrolliert den Aufmerksamkeitsfokus und koordiniert das Arbeitsgedächtnissystem.
- Das *Langzeitgedächtnissystem* repräsentiert Elemente, die in der Vergangenheit gespeichert wurden oder aktuell im Aufmerksamkeitsfokus liegen.
- Das *aktive Gedächtnis* ist die Teilmenge des LZG, die sich in einer temporär hohen Aktivierungsstufe befindet.
- Der *Fokus der Aufmerksamkeit* wird durch die Zentrale Exekutive kontrolliert.

Sprachproduktionsmodell nach Acheson und MacDonald (2009)

Das Modell von Acheson und MacDonald erklärt vor allem die Funktionsweise des verbalen Arbeitsgedächtnisses. Sie konnten in einer Studie durch funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) nachweisen, dass beim phonologischen Enkodieren, bei Sprachproduktionsprozessen und bei der temporären Aufrechterhaltung der Lautsprache dieselben Hirnregionen aktiviert sind und gehen daher davon aus, dass verbale Arbeitsgedächtnisprozesse durch temporäre Aktivierung des Sprachsystems erfolgen (Acheson & MacDonald, 2009). Gemäss den Autoren sind alle Prozesse, die eine flüssige Sprachproduktion ermöglichen, auch für die Aufrechterhaltung im auditiven Arbeitsgedächtnis zuständig. Alle Effekte, die beim Mehrkomponentenmodell auftreten, lassen sich auch durch das Sprachproduktionsmodell erklären. Es wird angenommen, dass das verbale Arbeitsgedächtnis sowohl phonologische und akustische, als auch linguistische Repräsentationen, wie semantisch-lexikalische Faktoren, integriert (Acheson, Postle & MacDonald, 2010).

Auf den ersten Blick widersprechen sich einzelne Modelle des Arbeitsgedächtnisses teilweise, andererseits bilden sie häufig auch einfach unterschiedliche Aspekte des Gedächtnisses ab oder beleuchten spezifische Teilaspekte. So liegt der Fokus beim Mehrkomponentenmodell von Baddeley und Hitch (1974) beispielsweise eher auf der Struktur des Arbeitsgedächtnisses, während das Modell von Cowan (1999) die Prozesse erläutert. Es könnte also durchaus möglich sein, verschiedene Standpunkte zusammenzuführen.

3.1.2. Funktion

Bezüglich der Forschungsfrage ist interessant, welche Funktionen das Arbeitsgedächtnis erfüllt und inwiefern das Arbeitsgedächtnis an Prozessen der Sprachverarbeitung oder des Spracherwerbs beteiligt ist. Betrachtet wird hierbei einerseits die Funktion des Arbeitsgedächtnisses allgemein, sowie die Funktion des auditiven Arbeitsgedächtnisses und der Zentralen Exekutive als übergeordneter, koordinierender Komponente im Mehrkomponentenmodell von Baddeley und Hitch (vgl. Baddeley & Hitch, 1974) im Speziellen.

Die allgemeine Funktion des Arbeitsgedächtnisses ist das kurzfristige Speichern und Bereithalten von Information für die weitere Verarbeitung oder Speicherung im LZG. Das Arbeitsgedächtnis stellt somit eine aktive Schnittstelle zwischen Input und Langzeitspeicherung dar. Umgekehrt unterstützt es den Abruf von Wissen und hält Informationen für den Output oder die erneute Verknüpfung bereit (Heidler, 2013). Gemäss Konieczny und Müller (2010) soll es für prozedurale und deklarative Inhalte trennbare Arbeitsgedächtniskapazitäten geben.

Die Zentrale Exekutive sorgt dafür, dass Speicherung und Verarbeitung parallel möglich ist. Sie koordiniert und kontrolliert die laufenden kognitiven Prozesse und ist für die Bewältigung

komplexer, im Sinne von mehrteiligen, Aufgaben von grösster Bedeutung. Zudem bildet sie die Grundlage für die Fähigkeit zum logischen und abstrakten Denken. Somit wird ihr eine zentrale Bedeutung beim Verstehen von Information, durch Abruf aus dem LZG, und für jegliche Lernprozesse zugeschrieben. Eine funktionierende Zentrale Exekutive ermöglicht die flexible Anwendung von Speicher- und Abrufstrategien (Heidler, 2013).

Zu den Funktionen, die der Zentralen Exekutive zugeschrieben werden, gehört auch die Lenkung des Aufmerksamkeitsfokus auf verhaltensrelevante Reize (Cowan, 1999) und die Fähigkeit zu Inhibition nichtrelevanter Reize. Diese beiden Funktionen nehmen besonders bei Lernprozessen eine wichtige Rolle ein.

Die Messung der Leistung der Zentralen Exekutive erfolgt meist über mehrteilige Aufgabenstellungen, bei denen Probanden beispielsweise einerseits Aufgaben lösen und sich parallel jeweils bestimmte Aspekte jeder Aufgabe merken müssen.

Wie bereits in Kapitel 4.1.1. beschrieben besteht das auditive Arbeitsgedächtnis aus einem kapazitätsbegrenzten phonologischen Speicher und einem aktiven und bewusst einsetzbaren Rehearsalmechanismus, was die zeitlich begrenzte Möglichkeit zur Aufnahme und Aufrechterhaltung von auditivem Material bietet. Die Wissenschaft geht davon aus, dass die Leistungsfähigkeit des auditiven Arbeitsgedächtnisses stark von der Qualität der Repräsentation, sowie von der strukturellen Speicherkapazität abhängt (Hasselhorn & Grube, 2003).

Je nach Alter der Person erfüllt das auditive Arbeitsgedächtnis verschiedene sprachspezifische Funktionen. Es wird vermutet, dass es bei kleinen Kindern den Spracherwerbsprozess unterstützt, insbesondere in den Bereichen Syntax und Wortschatz (Baddeley, 2003). Auch die Feineinstellung von Artikulationsprozessen während der Sprachentwicklung wird laut einer Studie von Hickok und Poeppel (2004) unterstützt.

Bei Erwachsenen laufen einfache Sprachverarbeitungsprozesse automatisiert ab. Hier wird das auditive Arbeitsgedächtnis für die Verarbeitung komplexer Sätze, das Erlernen neuer Wörter und das Fremdsprachenlernen genannt (Baddeley, 2003). Zudem soll beim Leseprozess der visuelle Input im auditiven Arbeitsgedächtnis phonologisch enkodiert werden.

Aussersprachlich erfüllt es die Funktion der akustischen Orientierung (Hickok & Poeppel, 2004).

Zur Messung der auditiven Arbeitsgedächtnisleistung wird meist das Nachsprechen von Pseudowörtern, Realwörtern und Zahlen angewendet.

Beim Lernen wird dem Arbeitsgedächtnis eine bedeutsame Funktion zugesprochen. Es hält neue Information für den Abgleich mit dem LZG und deren Verarbeitung und Speicherung bereit. Bereits vorhandenes Wissen bzw. Schemata entlasten das Arbeitsgedächtnis. Je nach Automatisationsgrad einer Aufgabe fällt die Belastung folglich höher oder geringer aus (Feldman Barrett, Tugade, & Engle, 2004).

3.1.3. Entwicklung

Die Frage nach der Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses spielt bezüglich der Forschungsfrage eine wichtige Rolle. Im Hinblick auf eine mögliche Arbeitsgedächtnisförderung ist relevant, wie sich das Arbeitsgedächtnis während der Entwicklung verändert, ab wann welche strukturellen Kapazitäten zu erwarten sind und ob das Arbeitsgedächtnis trainierbar ist. Diese Informationen geben Hinweise zur Frage, wo therapeutische Interventionen ansetzen könnten.

Die Arbeitsgedächtnisentwicklung beginnt ungefähr ab dem siebten Lebensmonat. Mit einem Jahr dann können sich die Kinder merken, wo beispielsweise ein Spielzeug versteckt wurde. Hulme et al. halten in ihrer Studie erstmals fest, dass Kinder ab vier Jahren bis ins Erwachsenenalter soviel erinnern können, wie sie in 1,5 - 1,8 Sekunden artikulieren können. Somit gehen sie davon aus, dass eine höhere Artikulationsgeschwindigkeit im Verlaufe der Entwicklung zu einer höheren auditiven Arbeitsgedächtnisspanne führt. Mehrere Studien der nachfolgenden Jahre bestätigen diese Ergebnisse (vgl. Hulme et al., 1984 in Henry, 2012). Gathercole und Adams fanden 1993 jedoch heraus, dass dies für sehr kleine Kinder im Alter von zwei bis vier Jahren noch nicht gilt (Gathercole & Adams, 1993).

Bei Kleinkindern können bereits alle drei Komponenten des Mehrkomponentenmodells nachgewiesen werden. Genannt werden hier die Zentrale Exekutive, die phonologische Schleife und der visuell-räumliche Notizblock. Allerdings sind diese Komponenten noch nicht vollumfänglich nutzbar. Die Informationsverarbeitung verläuft modalitätsspezifisch. Verbaler Input wird nur über die phonologische Schleife verarbeitet, visueller Input über den räumlichen Notizblock. Kleine Kinder im Alter von vier bis fünf Jahren nutzen nur den phonologischen Speicher und wenden keine automatisierten Rehearsalstrategien, im Sinne von bewusstem inneren Wiederholen, an (Schmid, Zoelch & Roebers, 2008). Aufgrund von neueren Erkenntnissen geht die Wissenschaft jedoch momentan davon aus, dass sehr kleine Kinder allenfalls eine primitive Form des Rehearsals nutzen (Henry, 2012). Sie können in diesem Alter zwei Items in Erinnerung behalten (Thomason et al., 2009). Mit fünf Jahren sind sie in der Lage Rehearsalstrategien nach Anleitung anzuwenden (Schmid et al., 2008).

Ab sechs bis sieben Jahren sind bei Untersuchungen der Merkspanne sowohl der phonologische Ähnlichkeitseffekt als auch der Wortlängeneffekt nachweisbar. Diese Effekte treten bei automatischer Aktivierung des subvokalen Rehearsals auf (Hasselhorn & Grube, 2003). Ab nun wird das komplette strategische Rehearsal auch zur Umwandlung von visuellem Material in phonologische Form genutzt (Henry, 2012).

Zehnjährige Kinder können drei bis fünf Elemente im Arbeitsgedächtnis aufrechterhalten. Ab dann erhöht sich die Kapazität bis 25 Jahre stetig, was sich in einer zunehmenden parietalen, frontalen und zingulären Aktivität manifestiert. Es wurde festgestellt, dass Kinder diesel-

ben Areale für spatiale und verbale Arbeitsgedächtnisleistungen aktivieren wie Erwachsene. Bei höheren Anforderungen sind jedoch die neuronalen Ressourcen noch nicht gleichermaßen aktivierbar (Thomason et al., 2009).

Gemäss Klingberg (2009) ist mit 25 Jahren eine Art Plateau erreicht. Danach nimmt die Arbeitsgedächtniskapazität stetig ab. Diese Leistungsabnahme wird jedoch durch erworbenes Langzeitwissen und bewusste Gedächtnisstrategien kompensiert (Klingberg, 2009).

Während man sich in der Arbeitsgedächtnisforschung bis vor 25 Jahren über die Bedeutung der Artikulationsgeschwindigkeit, als treibender Kraft für die Entwicklung der Arbeitsgedächtnisleistung, mehrheitlich einig war, werden heute bedeutend mehr Einflusskomponenten vermutet. Ferguson und Bowey argumentieren, dass die Artikulationsgeschwindigkeit zwar eine Rolle spiele, jedoch nicht die Hauptrolle. Sie stellten fest, dass phonologische Fähigkeiten ebenfalls zur Entwicklung beitragen (Ferguson & Bowey, 2005).

Dies bestätigt auch Henry (2012). Sie hält zudem fest, dass Langzeitwissen, sowohl phonologisch als auch semantisch, die Merkspanne beeinflusst. Das verfügbare Wissen hat einen grossen Einfluss auf die Gedächtnisleistung und -entwicklung, da mit mehr Wissen grössere Informationseinheiten, sogenannte Chunks, gebildet werden können. Somit wird die Verarbeitung von mehr Information im gleichen Zeitraum ermöglicht (Weinert, 2010).

Eine Schlüsselrolle für die Entwicklung des auditiven Arbeitsgedächtnisses schreibt Henry (2012) den verbalen Rehearsalstrategien zu. Diese werden, wie bereits beschrieben, ungefähr ab dem siebten Lebensjahr angewendet und entwickeln sich graduell mit dem Alter der Kinder. Besonders bedeutsam für Entwicklungsveränderungen ist die höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit (Schmid et al., 2008).

Zur laufenden Effizienzsteigerung des Rehearsals kommt hinzu, dass die Nutzung von Strategien immer bewusster übernommen und angewendet wird. Exekutive Funktionen scheinen bei Kindern und Erwachsenen im Allgemeinen ähnlich zu funktionieren. Auch sie werden jedoch effektiver. Dies sorgt dafür, dass weitere Verarbeitungsressourcen und Kapazität für Speicherung und Abruf von Gedächtnisinhalten zur Verfügung stehen. Die Kinder werden mit zunehmendem Alter zwar ablenkbarer, jedoch funktioniert auch die Inhibition zunehmend besser (Henry, 2012). Die wichtigsten Entwicklungen im Arbeitsgedächtnis zeigen sich zusammengefasst in der höheren Effizienz der Subsysteme und in der effektiveren Nutzung von Strategien.

Wenn Hasselhorn und Grube (2003) von einer Altersinvarianz in der strukturellen Kapazität des phonologischen Speichers ab vier Jahren sprechen, könnte man auf den ersten Blick daraus schliessen, dass das Arbeitsgedächtnis der Kinder nicht trainierbar ist. Zusammengefasst zeigen sich jedoch verschiedene Faktoren, die die Veränderung der Arbeitsgedächtnisleistung beeinflussen und so auch mögliche Ansatzpunkte für Interventionen anbieten.

3.1.4. Zusammenfassung und Definition

In der psychologischen und neuropsychologischen Forschung werden bis heute verschiedene Gedächtnistheorien und -modelle diskutiert. Die Frage, ob es einen Unterschied zwischen KZG und LZG gibt, ist für diese Arbeit nicht relevant und wird daher nicht behandelt. Wichtiger ist, dass es sich dabei um aktive und passive Strukturen und Vorgänge handelt. Gerade für den späteren Bezug zur Sprache und Musik ist es wichtig, ein Verständnis für ablaufende Prozesse zu bekommen, die die auditive Modalität mit einbeziehen. Daher liegt dieser Arbeit das, allenfalls erweiterbare, Mehrkomponentenmodell nach Baddeley und Hitch (1974) zugrunde, weil es am besten erforscht ist und bis heute den Ausgangspunkt der meisten Untersuchungen zum Arbeitsgedächtnis mit sprachlichem Bezug darstellt. Wenn man das Gedächtnismodell der Informationsverarbeitungsstufen von Gerrig und Zimbardo (2008) einbezieht (siehe Abbildung 1), könnte man bereits Aspekte des Ultrakurzzeitgedächtnisses mit Funktionen des auditiven Arbeitsgedächtnisses vergleichen. Es würde sich um eine Art auditiven Speicher mit Rehearsal handeln, um das Echophänomen in dieser Phase zu ermöglichen. Information, die dann im Aufmerksamkeitsfokus der Zentralen Exekutive liegt, gelangt somit ins auditive Arbeitsgedächtnis, welches auf 7 ± 2 Items oder Chunks beschränkt ist. Offen bleibt, ob unterschiedliche Formen des auditiven Inputs in separaten Komponenten verarbeitet werden. Denkbar wäre allenfalls die funktionale Erweiterung der phonologischen Schleife für nicht explizit phonologisch encodierte Information, wie Melodien, was ein inneres Hören von musikalischen Phrasen erklären könnte. Allenfalls müssten weitere Komponenten für Modalitäten wie Geruch, Geschmack etc. integriert werden.

Allgemein könnte man das LZG als passive Speicherstruktur für Wissen definieren, während es sich bei Arbeitsgedächtnisinhalten, um kurzfristig aktivierte Informationen handelt, die temporär für die Verarbeitung oder den Abruf verfügbar gehalten werden. Somit fungiert das Arbeitsgedächtnis als Verbindung für aktive kognitive Verarbeitungs- und Speicherprozesse zwischen Wahrnehmung, Gedächtnis und Handeln im Zusammenhang mit erhöhter Aufmerksamkeit. Als aktive Schnittstelle stellt das auditive Arbeitsgedächtnis den Dreh- und Angelpunkt zwischen Sprache und Kognition, respektive In-/Output und Speichergefäßen, dar.

Das Arbeitsgedächtnis ist zeitlich und mengenmässig kapazitätsbegrenzt. Die verschiedenen Komponenten und mögliche Verarbeitungswege werden in Abbildung 1 dargestellt.

Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses scheint sich über die Lebensspanne zu verändern, ebenso verändert sich die Relevanz des Arbeitsgedächtnisses in Bezug auf sprachliche Prozesse. Beim Spracherwerb wird dem auditiven Arbeitsgedächtnis eine grundlegende Bedeutung beigemessen, welche mit zunehmendem Alter der sprachlichen Automatisierung und dem Einbezug von Wissen weicht.

In der Literatur werden diverse Bezeichnungen für die auditive Komponente des Arbeitsgedächtnisses verwendet. Im Folgenden beschränkt sich die Arbeit auf den Begriff *auditives Arbeitsgedächtnis* für das gesamte auditive Subsystem. Zudem werden die Begriffe *phonologischer Speicher* und *aktives Rehearsal* für die untergeordneten Strukturen verwendet.

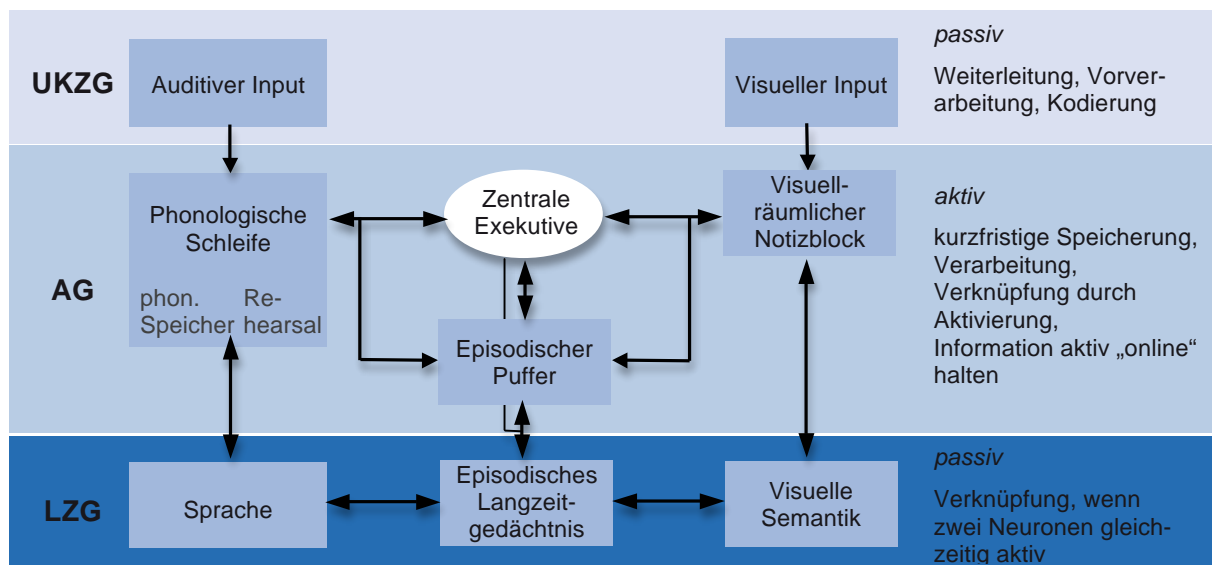


Abbildung 1: Gedächtnissmodell zur Speicherung und Verarbeitung auditiver und visueller Information nach Spitzer (2014), Gerrig und Zimbardo (2008) und Piefke und Fink (2013).

3.1.5. Störungen des Arbeitsgedächtnisses

Nun stellt sich die Frage, welche Störungsbilder sich im Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis zeigen und wie sich diese auf das Verhalten der Kinder auswirken können. Im Fokus stehen Störungen des auditiven Arbeitsgedächtnisses und der Zentralen Exekutive.

Auf der Ebene des auditiven Arbeitsgedächtnisses kann eine eingeschränkte Kapazität des phonologischen Speichers die Aufnahmefähigkeit vermindern. Man geht auch davon aus, dass die Qualität der Repräsentation der Information gestört oder verzerrt sein könnte, was die weitere Verarbeitung in der Folge beeinträchtigt. Zudem könnte die Verarbeitungsgeschwindigkeit reduziert sein.

Auf der Ebene der Zentralen Exekutive können vielfältige Probleme mit der Aufmerksamkeit und der Inhibition zu Schwierigkeiten bei Lernprozessen, bei der Problemlösung und mit der Gleichzeitigkeit von Aufgabestellungen führen (Heidler, 2013).

Dies kann bei Kindern negative Folgen für den Spracherwerb, die Sprachverarbeitung und schulische Leistungen haben. Bei Erwachsenen können das Verständnis von komplexen Sätzen und das Fremdsprachenlernen erschwert sein.

Grundlegend für Lernschwierigkeiten können Einschränkungen der Verarbeitungsfähigkeit oder der Arbeitsgedächtniskapazität sein, dies hat Auswirkungen auf die Arbeitsgedächtnisspanne und die schulischen Leistungen (Gathercole & Alloway, 2006).

Kinder mit Arbeitsgedächtnisproblemen wirken unkonzentriert oder abgelenkt, weil ihnen häufig wichtige Informationen fehlen. Sie sind bei Gruppenaktivitäten eher zurückhaltend, pflegen jedoch normale Beziehungen zu Gleichaltrigen. Sie haben Schwierigkeiten, sich längere Instruktionen zu merken und sie haben Mühe mit Aufgaben, die sowohl Speicherung als auch Verarbeitung erfordern (Gathercole & Alloway, 2008).

Es gibt viele mögliche Ursachen für Arbeitsgedächtnisstörungen. Sie können aufgrund von hirnganischen Läsionen auftreten oder auch genetisch bedingt sein, wie dies bei Trisomie 21 beispielsweise der Fall ist. Ein weiterer möglicher Grund für Arbeitsgedächtnisdefizite kann der sozioökonomische Status der Familie darstellen. Ist ein Mensch in seiner Kindheit permanentem Stress ausgesetzt, kommt es zur Ausschüttung von Kortisol. Dieses Hormon kann die Entwicklung verschiedener Hirnareale stören, wie zum Beispiel den Präfrontalkortex, das Brocca-Areal oder auch den Hippokampus, was wiederum Auswirkungen auf Arbeitsgedächtnisprozesse hat (Wolf, 2009).

3.2. Die Sprache

Die folgenden Kapitel befassen sich mit dem Erwerb und der Verarbeitung von Sprache und der Rolle des Arbeitsgedächtnisses im Kontext von Sprache und Sprachentwicklungsstörung. Die Arbeit beschränkt sich auf die Lautsprache, da sie sich in erster Linie mit dem auditiven Arbeitsgedächtnis befasst.

3.2.1. Spracherwerb: Phonetik/Phonologie, Syntax, Lexikon, Sprachverständnis

Der Erwerb der Grundstrukturen der Muttersprache erfolgt in den ersten drei bis vier Lebensjahren, danach werden Äusserungen stetig länger, komplexer und differenzierter verknüpft. Sprachlicher Input des Umfeldes wird von den kleinen Kindern laufend wahrgenommen, verarbeitet und gespeichert. Das Kind leitet gemäss seinen Möglichkeiten (kognitiv, artikulatorisch etc.) Hypothesen über das Sprachsystem ab und revidiert diese immerzu (Kannengieser, 2012). Es imitiert Laute und Äusserungen, setzt sie in Verbindung, speichert sie, sucht Blickkontakt, zeigt und fragt. Im Zusammenhang mit der Sprachentwicklung stehen eine Reihe weiterer Entwicklungsbereiche, die sich gegenseitig beeinflussen und bedingen. Die Sprache entwickelt und verändert sich ein Leben lang.

Die sprachlichen Entwicklungsbereiche, welche in der Forschung immer wieder mit dem Arbeitsgedächtnis in Verbindung gebracht werden, werden für einen groben Überblick tabellarisch zusammengefasst (siehe Tabelle 1) und nachfolgend jeweils kurz erläutert.

Tabelle 1: Sprachliche Entwicklungsbereiche: Eigene Zusammenstellung der Sprachentwicklung im frühen Kindesalter. Quellen gemäss nachfolgender Beschreibung.

Alter	1. Lautentwicklung	2. Syntaxentwicklung	3. Lexikon/4. Verständnis
0-0,5	gurren, erste Lallphase		prosodische Elemente erfassen
0,6-1,0	kanonische Lallphase		
1,0-1,5	m, b, d, t, n	Einwortsätze	10-20 Wörter passiv
1,6-1,11		2-3 Wortsätze	50 Wörter aktiv, 200-300 passiv
2,0-2,5	p, f, v, l	einfache Hauptsätze Verbzweitstellung im Hauptsatz	Vokabelspurt, fast mapping
2,6-2,11	ch, g, k, h, r, pf		500 Wörter aktiv, Kategorienbildung
3,0-3,5	j, ng	komplexe Sätze mit Nebensätzen	
3,6-3,11		Verbendstellung in Nebensätzen	
4,0-4,5			3000-5000 Wörter aktiv
4,6-4,11	sch, s		9000-14000 Wörter passiv

1. Der Bereich der Phonetik/Phonologie umfasst den Erwerb der Laute und Lautstrukturen von Wörtern. Während der Lallphasen werden die artikulatorischen Werkzeuge ausprobiert. Die phonologische Struktur der Wörter wird durch Auslassungen, Ersetzungen und Assimilationen anfangs noch stark und mit der Zeit immer weniger vereinfacht (Fox, 2011).

2. Regelmäßigkeiten zur Morphologie und Syntax leiten die Kinder aus dem Sprachfluss der Umwelt ab und revidieren diese Regeln laufend. So kann die grammatische Entwicklung anhand von Meilensteinen beobachtet werden. Besonders der Erwerb der Syntax ist für diese Arbeit von Bedeutung (Clahsen, 1986 in Kannengiesser, 2012).

3. Der lexikalische Bereich umfasst den Wortschatzerwerb. Der Umfang und die Differenzierung des aktiven Wortschatzes werden durch spontane Äusserungen des Kindes hörbar. Der passive Wortschatz zeigt sich über das Sprachverständnis (Kannengiesser, 2012).

4. Das Sprachverständnis lässt sich nur indirekt ableiten, beispielsweise über die Analyse der Reaktion des Kindes auf eine Aufforderung. Dies hängt eng mit der auditiven Merkfähigkeit des Kindes zusammen (ebd.).

Neueren Ansichten zufolge gewinnen die Silbenebene und die Silbenstruktur an Bedeutung für den Spracherwerb, da Kinder die Abfolge von Silbenbetonung heraushören und so den Sprachfluss in Funktions- und Inhaltswörter unterteilen können (Kölliker-Funk, 2015). Die Prosodie spielt im Spracherwerb eine wichtige Rolle bei der Identifikation von Wort- und Phrasengrenzen.

Sprach- und Kognitionsentwicklung überschneiden und bedingen sich vor allem in den ersten Lebensjahren stark.

3.2.2. Sprachverarbeitung

Zur Erläuterung der Verarbeitung von Sprache existieren verschiedene psycholinguistische Modelle, die sich häufig entweder auf die Prozesse der Sprachproduktion oder diejenigen der Sprachverarbeitung fokussieren. Das einflussreiche Logogenmodell von Morton (1969) wurde später von Patterson (1988) weiterentwickelt (siehe Abbildung 2) und beschreibt beide möglichen Verarbeitungsrichtungen. In diesem Modell werden sämtliche Verarbeitungsschritte in Serie aufgezeigt. Dies ermöglicht es, Teilleistungsstörungen funktional zu lokalisieren.

Von besonderem Interesse für diese Arbeit ist die linke Hälfte des Modells, welche Verarbeitungsprozesse der Lautsprache aufzeigt. Auditiver Input durchläuft zuerst die auditive Analyse (1), dabei wird sprachrelevante Information extrahiert, die dann in den auditiven Input-Buffer (3) weitergeleitet wird. Dort wird sie temporär aufrechterhalten und an das phonologische Input-Lexikon (7) weitergeleitet, in dem Wortformen gespeichert sind. Wird der auditive Input als korrektes Wort wiedererkannt, wird die passende Bedeutung im Semantischen System (11) abgerufen und für die weitere Verarbeitung aufrechterhalten.

Bei der Produktion eines Wortes gelangt der Eintrag aus dem Semantischen System ins phonologische Output-Lexikon (9), wo die passende Wortform gefunden wird. Diese wird anschliessend an den phonologischen Output-Buffer (5) geschickt. Dort wird sie temporär aufrechterhalten, bis die neuromuskuläre Planung und Ausführung abgeschlossen ist.

Im Modell wird zwischen dem auditiven Input- und dem phonologischen Output-Buffer eine phonologische Rückkoppelungsschleife (PRS) angenommen, die durch internes Sprechen eine wiederholte Aktivierung der Repräsentationen ermöglicht (Gathercole & Baddeley, 1993). Die Auditiv-Phonologische-Korrespondenz APK (12) ermöglicht zudem das direkte Nachsprechen von Pseudowörtern, während das Nachsprechen von neuem Sprachmaterial ohne Eintrag im Semantischen System über Verbindung 19 abläuft. Wörter können somit nachgesprochen werden, ohne dass man sie versteht.

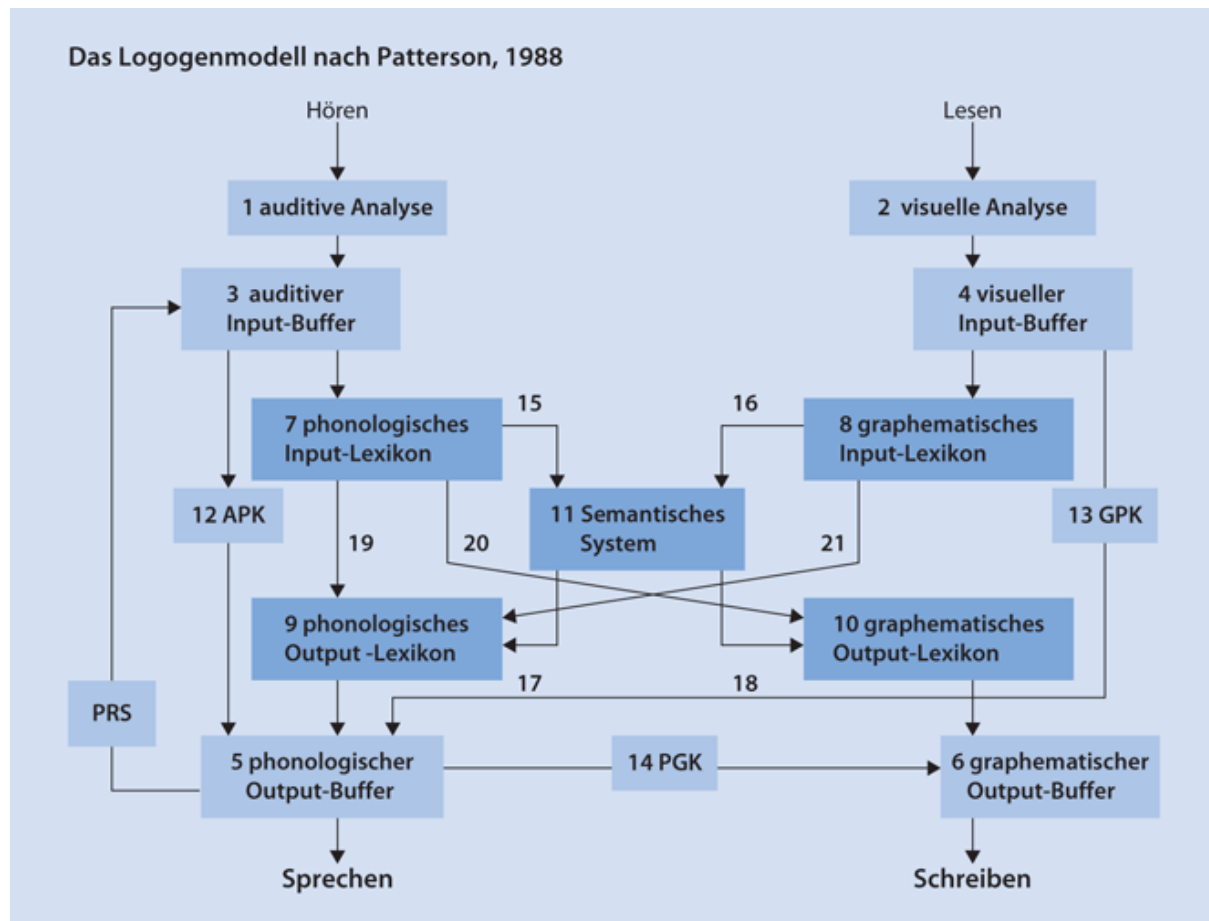


Abbildung 2: Das Logogenmodell nach Patterson (1988) beschreibt die verschiedenen Teilschritte der Sprachverarbeitung (aus Schneider, 2014).

Für die Wahrnehmung und Verarbeitung von Sprache ist die Analyse von extrem vielen Frequenzveränderungen in kürzester Zeit besonders bedeutsam. Die Dauer der einzelnen, gesprochenen Laute beträgt nur ca. 20 Millisekunden.

3.2.3. Zusammenhänge Sprache und Arbeitsgedächtnis

Gemäss Lieberman (2001) ist das Arbeitsgedächtnis möglicherweise eine Schlüsselkomponente in der Sprachverarbeitung. Es ermöglicht uns Sätze zu erzeugen und zu bewahren und komplexen, verbalen Input zu verarbeiten (Rodrigues & Befi-Lopes, 2009).

Die meisten Studien messen auditive Arbeitsgedächtniskapazität, sowie Entwicklung und Funktion des auditiven Arbeitsgedächtnisses mit sprachlichen Aufgaben. Dies weist bereits daraufhin, dass Sprache und Kognition in diesem Bereich zusammenzulaufen scheinen.

Meist wird die einfache Merkspanne und somit die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses anhand von Nachsprechaufgaben mit Pseudowörtern gemessen. Sucht man diesen Verarbeitungsweg im Logogenmodell (siehe Abbildung 2) liegt der Schluss nahe, dass das auditive Arbeitsgedächtnis starke Überschneidungen mit dem auditiven Input-Buffer und allenfalls dem phonologischen Output-Buffer aufweist. Die phonologische Rückkoppelungsschleife

wäre in diesem Fall dann mit dem aktiven Rehearsal zu vergleichen. Diese Hypothese findet auch in der Literatur bei Heidler (2013) Bestätigung. Zudem könnte man annehmen, dass im Logogenmodell weitere Schnittstellen zwischen Sprache und Kognition aufgezeigt werden. Das Semantische System wird als Teil des LZGs betrachtet. Durch das Arbeitsgedächtnis können Repräsentationen daraus für die weitere Verarbeitung aktiviert werden. Dies geschieht entweder über den Aufmerksamkeitsfokus der Zentralen Exekutive oder direkt über das auditive Arbeitsgedächtnis (siehe Abbildung 1).

Untersuchungen zeigen, dass bei Erwachsenen die Evidenz für eine Beteiligung des auditiven Arbeitsgedächtnisses an der Sprachproduktion allgemein gering ist. Die alltägliche Sprachverwendung läuft hochautomatisiert ab. Dadurch wird das Arbeitsgedächtnis kaum belastet. Die Hypothese, dass das aktive Rehearsal, als inneres Echo, auch für die artikulatorische Planung von Bedeutung sein könnte, ist nicht erwiesen.

Die Konstruktion des semantischen Gehalts einer Aussage könnte gemäss Power (1985) unter Kontrolle der Zentralen Exekutive sein. Versprecherstudien zeigen jedoch, dass der Zugriff auf das LZG-Lexikon für Planung und Produktion von Spontansprache nicht unbedingt erforderlich ist.

Beim Sprachverständnisprozess scheint das auditive Arbeitsgedächtnis bei Erwachsenen jedoch bei syntaktisch komplexen Sätzen oder mehrdeutigen Wörtern erforderlich zu sein (Gathercole & Baddeley, 1993). Bei komplexen Sätzen ist vermutlich zudem die Zentrale Exekutive beteiligt. Kognitive Prozesse sind auch für das Fehlermonitoring bedeutsam (Kolk & Chwilla, 2007). Für das Verstehen von Texten wird ebenfalls ein Zwischenspeicher benötigt. Ebenso verhält es sich mit Äusserungen, die zu lang sind, um sie simultan verarbeiten zu können. Hinzukommt das Fremdsprachenlernen. Hier zeigt sich besonders beim Erfassen der Syntax eine hohe Arbeitsgedächtnisbelastung. Beim Lernen von Vokabular ist die Belastung gering (Heidler, 2013).

Die erworbene Sprache betrachtet Weinert (2010) als prozedurales Wissen.

Das auditive Arbeitsgedächtnis ermöglicht gemäss Gathercole & Baddeley (1993) die temporäre Repräsentation gesprochener Strukturen und wirkt somit sozusagen als Fenster für die Sprachverarbeitung. Somit ist es eine Voraussetzung für den Wortschatz- und Syntaxerwerb. Es unterstützt das Lernen der phonologischen Struktur neuer Wörter funktional und nimmt dadurch besonders im frühen Spracherwerb eine wichtige Rolle ein. Später spielt dann vorwiegend das phonologisch-lexikalische Wissen eine zentrale Rolle (Weinert, 2010). Aus dem Sprachfluss müssen lexikalische Items herausgefiltert, erinnert und ihre semantischen und syntaktischen Spezifikationen erfasst werden. Zugleich soll die gesamte Information aufrechterhalten und die Satzbedeutung interpretiert werden. Wenn man sich die deutsche

Sprache mit der Spezialität der Verbklammer vorstellt, wird einem bewusst, welche Gedächtnisleistungen dafür erforderlich sind. Bei kleinen Kindern im Spracherwerb geht man zusätzlich davon aus, dass Ressourcen des auditiven Arbeitsgedächtnisses auch für die Artikulationsplanung genutzt werden. Die Sprach- und Hörfähigkeit von Vorschulkindern ist folglich eng an die Leistung des auditiven Arbeitsgedächtnisses gebunden.

Die durchschnittliche Äusserungslänge lässt auf die Kapazität des auditiven Arbeitsgedächtnisses schliessen. Eine Studie zeigt, dass dreijährige Kinder mit längeren maximalen Äusserungen eine höhere grammatikalische Komplexität und ein reichhaltigeres Vokabular verwenden. Die Zentrale Exekutive nimmt beim Spracherwerb gemäss Heidler (2013) eine vermittelnde Rolle ein. Rieser (2015) beschreibt die Aufmerksamkeit jedoch als Grundlage für den Spracherwerb sehr kleiner Kinder. Weinert (2010) bestätigt die Gedächtnis- und Lernfähigkeit als Grundvoraussetzungen für den Spracherwerb, einerseits für die Verarbeitung und Analyse des Sprachangebots und andererseits für die Speicherung, Vernetzung und Abruf.

Bei der Entwicklung der Sprache und des Gedächtnisses zieht Weinert (2010) viele Parallelen. Gewisse Entwicklungen verlaufen unabhängig, viele bedingen und unterstützen sich jedoch gegenseitig. Bei Kindern im Alter von fünf bis zehn Jahren nehmen die sprachlichen Gedächtnisleistungen zu, weil sich ihre Wissensbasis vergrössert, Basisprozesse immer effizienter ablaufen, ihre Artikulationsgeschwindigkeit zunimmt und sie Strategien bewusst einsetzen und anwenden können.

Die Qualität der Gedächtnisspur spielt eine grosse Rolle für die Leichtigkeit des Lernens (Gathercole & Baddeley, 1993). In der Schule tangiert dies unter anderem das Schreiben und Lesen, sowie das Verstehen mehrteiliger Informationen (Alloway et al., 2005).

Die Bedeutung der Sprache ist für die Gedächtnisentwicklung und als effizientes Vermittlungsmedium für den Aufbau von Wissen, gemäss Weinert (2010), kaum zu überschätzen.

3.2.4. Sprachentwicklungsstörungen im Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis

Die Sprache scheint also einen wichtigen Beitrag zur Gedächtnisentwicklung zu leisten und umgekehrt ist die Gedächtnisleistung sehr bedeutsam für die Entwicklung der Sprache. Nun stellt sich die Frage, welche konkreten Verbindungen sich zwischen Arbeitsgedächtnisdefiziten und Sprachentwicklungsstörungen zeigen, welche Schwierigkeiten dadurch beim Spracherwerb auftreten können und welche Auswirkungen dies für die Kinder haben kann.

Bei sehr unterschiedlichen Entwicklungsstörungen findet sich eine deutlich verminderte Gedächtnisspanne; bei allgemeinen Lernbehinderungen, bei Lese-Rechtschreibschwäche und bei spezifischen Sprachentwicklungsstörungen (SSES) insbesondere in den Bereichen Verständnis, Grammatik und Wortschatz. Gathercole äussert aufgrund seiner Studie die Hypothesen, dass das auditive Arbeitsgedächtnis wichtig für Erwerb neuer Wörter sei und dass eine enge Verbindung zwischen dem Nachsprechen von Pseudowörtern und dem Erlernen

neuer phonologischer Wortformen bestehe (vgl. Gathercole, 2006). Daneben seien natürlich andere Komponenten, wie sprechmotorische und auditive Fähigkeiten, sowie die Aufmerksamkeit von Bedeutung, die Arbeitsgedächtnisdefizite allenfalls kompensieren könnten (Gathercole, 2006). Bei Kindern mit SSES sind das auditive Arbeitsgedächtnis und die Zentrale Exekutive und somit die Nachsprechleistung insbesondere für längere mehrsilbige Wörter meist beeinträchtigt. Dies wirkt sich negativ auf das Sprachverständnis, das Lesen und den Wortschatz aus (Gathercole & Alloway, 2006).

Logopädische Fachpersonen können diese auditive Merkspanne beispielsweise anhand des Mottiertests prüfen. Bei vier- bis sechsjährigen Kindern besteht eine enge Relation zwischen dem Nachsprechen von Pseudowörtern und der Wortschatzmenge (Gathercole & Baddeley, 1996). Dies bestätigt Weinert (2010) für kleine Kinder. Sie schreibt, dass die Pseudowortreproduktion bei vierjährigen Kindern prädiktiv für die Wortschatzentwicklung im nächsten Jahr sei. Kinder mit schlechter auditiver Merkspanne brauchen mehr Wiederholungen um unbekannte Namen oder neue Wörter zu erwerben. Bei Fünfjährigen gelte der Wortschatz dann allerdings umgekehrt als prädiktiv für die Entwicklung des Kurzzeitgedächtnisses. Die beiden Entwicklungen scheinen also auch später in einem wichtigen Zusammenhang zu stehen.

Kinder mit Sprachverständnisstörungen werden oft als unaufmerksam, unmotiviert und wenig leistungsbereit beschrieben, genau dies trifft auch auf Kinder mit Arbeitsgedächtnisdefiziten zu. In der Schule wirken diese Kinder oft zurückhaltend, sie können sich Instruktionen nicht merken und haben Probleme bei Lernaktivitäten, die sowohl Verarbeitungs- als auch Speicherkapazitäten erfordern. Bei Aphasiepatienten konnte man feststellen, dass der Einfluss von Müdigkeit und Stress bewirkt, dass bei sonst automatisierten Sprachprozessen vermehrt auf das Arbeitsgedächtnis zurückgegriffen wird (Glück, 2000). Dies könnte allenfalls auch bei Kindern schwankende sprachliche Leistungen erklären.

Weinert (2010) hält fest, dass sich Kinder mit auditiven Arbeitsgedächtnisdefiziten längere Pseudowörter und prosodisch gruppiertes Material besonders schlecht merken können. Sie schliesst daraus, dass diese Kinder prosodische Merkmale nicht nutzen können.

Man geht davon aus, dass Einschränkungen in den Subsystemen des Arbeitsgedächtnisses zu breitgefächerten Verzögerungen und Störungen der Sprachentwicklung führen können, unter anderem weil phonologische Formen nur unsicher abgespeichert werden und dadurch die Verknüpfung mit und der Aufbau von semantischem Wissen erschwert ist (Reeh & Kiese-Himmel, 2006). Das auditive Material wird nicht adäquat abgespeichert oder das Rehearsal funktioniert, gemäss Gathercole und Alloway (2006), nicht. Sie gehen zudem davon aus, dass ein schlechtes Sprachverständnis bei Kindern durch weniger konstruktive Gedächtnisprozesse zustande kommen könnte.

Im Bereich Grammatikerwerb geht Grimm (2003) davon aus, dass bereits repräsentierte Modelle dem Kind ermöglichen, grammatische Kategorien abzuleiten. In ihrer Studie übernahm-

men sprachgestörte Kinder selten längere Äusserungen. Sie führt dies auf ein Defizit bei der Nutzung ganzheitlicher Verarbeitungsstrategien zurück. Denn basierend auf Einwortäusserungen können keine grammatischen Regeln abgeleitet werden.

Auch Hasselhorn und Grube (2003) stellen fest, dass eine reduzierte Merkspanne Auswirkungen auf die grammatische Entwicklung hat. In seiner Studie verglich er die Merkspanne achtjähriger Dysgrammatiker mit der Merkspanne jüngerer Kinder auf gleicher grammatischer Entwicklungsstufe. Die Nachsprecheleistung der Dysgrammatiker gegenüber den jüngeren Kindern war ab viersilbigen Pseudowörtern auffällig. Gemäss den Autoren war die Geschwindigkeit und automatische Aktivierung des subvokalen Rehearsalprozesses kein Problem. Ihre Hypothese einer Störung in der klanglichen Qualität der akustischen Repräsentation von Information im phonologischen Speicher wird in einer Folgestudie bestätigt. Die Präsentation der Information in verrauschter Version scheint Dysgrammatiker nicht zu irritieren, während sie die Leistung der Vergleichsgruppe beeinträchtigt. Sie ziehen damit die gestörte Repräsentationsqualität des phonologischen Speichers als ursächlichen Faktor einer SSES in Betracht.

Gemäss Heidler (2013) kann verbales Material möglicherweise nicht adäquat phonologisch enkodiert und somit nicht sicher differenziert werden oder die phonologischen Spuren zerfallen zu schnell. Das bedeutet, die Spuren zerfallen, bevor die Information verarbeitet werden konnte. Qualität und Geschwindigkeit der akustischen Vorverarbeitung der Sprachlaute spielt eine wichtige Rolle für das Verstehen von Sprache.

Gathercole (2006) nimmt an, dass Kinder mit SSES die reduzierten Leistungen des auditiven Arbeitsgedächtnisses teilweise durch Ressourcen anderer Komponenten kompensieren können. Dies führt jedoch zu einer höheren Beanspruchung für den Spracherwerb und wird dann problematisch, wenn weitere Verarbeitungsressourcen hinzukommen, wie beispielsweise die Erschliessung der Semantik (Gathercole, 2006). Heidler (2013) beschreibt es so, dass Arbeitsgedächtnisdefizite insgesamt zu einer Beeinträchtigung der Leichtigkeit und Geschwindigkeit des Wortschatzerwerbs führen.

Gemäss Pickering & Gathercole (2004) weisen Kinder mit isolierten Sprachproblemen ausschliesslich Defizite des auditiven Arbeitsgedächtnisses und der Zentralen Exekutive auf, während bei Kinder mit generellen Lernstörungen meist alle Komponenten des Arbeitsgedächtnisses betroffen sind (Gathercole & Alloway, 2004).

Kinder mit Lernbehinderungen zeigen meist keinen bedeutsamen Wortlängeneffekt und wenden demzufolge kein inneres Nachsprechen an. Dadurch können nicht mehr Informationen gleichzeitig verarbeitet werden, als innerhalb von 1,8 Sekunden nachsprechbar sind. Dieses Rehearsal als zusätzliche Ressource wird ab sechs bis sieben Jahren vermehrt als aktive Strategie angewendet. Eine zusätzliche Ressource stellt die Nutzung der Schriftsprache dar (Heidler, 2013).

Probleme mit dem auditiven Arbeitsgedächtnis sind zusammenfassend besonders für kleine Kinder bis fünf Jahre im Wortschatz- und Grammatikerwerb problematisch. Danach können immer mehr Analogien zu bereits erworbenen Repräsentationen genutzt werden. Später können diese Kinder jedoch beim Erlernen von Fremdsprachen und beim Schriftspracherwerb beeinträchtigt sein.

Weinert (2010) formuliert die Hypothese, dass sowohl ein zu kleiner, als auch ein zu grosser Arbeitsgedächtnisspeicher zu Problemen im Spracherwerb führen könne. Für den Wortschatzerwerb ist ein grosser Speicher von Vorteil. Für den Grammatikerwerb ist die Kapazitätsbegrenzung wichtig. So können zuerst Teilkomponenten des komplexen Angebots verarbeitet und somit Regularitäten erworben werden, die dann als Basis für komplexe Information dienen.

3.3. Die Musik

Nun kommt der dritte Teilbereich hinzu, die Musik. Die nachfolgenden Kapitel vermitteln einen Einblick in die Verarbeitung von Musik und die Parallelen, die sich zur Sprachverarbeitung zeigen. Anschliessend wird erläutert, welche Aufgaben das Arbeitsgedächtnis im Zusammenhang mit der Musikverarbeitung übernimmt und alle drei Teilbereiche werden in Verbindung gesetzt.

3.3.1. Wahrnehmung und Verarbeitung von Musik

Musik besteht, physikalisch betrachtet, aus Schallwellen, die unser Gehör über die Luft erreichen. Sie werden über den äusseren Gehörgang zum Trommelfell transportiert und im Mittelohr durch Steigbügel, Hammer und Amboss verstärkt. So gelangen sie zur Cochlea und werden dort in Nervenimpulse umgewandelt. Über den Hörnerv erreicht die akustische Information den primären auditorischen Kortex, wo sie kurzzeitig gespeichert und für die Weiterverarbeitung bereitgehalten wird. Auf diesem Weg wird die Information bereits vorverarbeitet. An der Weiterleitung und Schallanalyse sind bis zu diesem Zeitpunkt bereits über eine halbe Million Neuronen beteiligt (Spitzer, 2014). Für die eigentlichen Analysen ist der sekundäre auditorische Kortex zuständig.

Die Verarbeitung von Musik geschieht in einem umfangreichen neuronalen Netzwerk, welches viele Hirnregionen umfasst und auf beide Hemisphären aufgeteilt ist.

Der rechtshemisphärische auditorische Kortex arbeitet eher ganzheitlich und ist auf die Verarbeitung von langsameren akustischen Reizen spezialisiert. Hier werden beispielsweise Frequenzinformationen, wie Obertöne, Harmonien und Melodien wahrgenommen und analysiert. Während der linkshemisphärische auditorische Kortex auf schnellere akustische Reize

spezialisiert ist, die in ihrer zeitlichen Beziehung nacheinander ablaufen. So können hier rhythmische Muster wahrgenommen und verarbeitet werden (Jäncke, 2008; Jourdain, 1998). Um verschiedene Geräusche und Klänge voneinander abzugrenzen, werden im Hör- und Wahrnehmungsprozess verschiedene Inputregelmässigkeiten beigezogen, um den Auslöser des auditiven Reizes zu rekonstruieren. Hinzu kommen für die Interpretation spezifische Repräsentationen aus dem LZG. So können beispielsweise verschiedene Instrumente, eine Stimme oder Geräusch aus der Umwelt durch akustische Analyse rekonstruiert und auseinandergehalten werden (Spitzer, 2014).

Musik ist eine Struktur in der Zeit. Sie ist abhängig vom Gedächtnis, sonst würde Musik nicht funktionieren. Vergangenes und Gegenwärtiges wird dabei in Beziehung gesetzt und dies setzt somit Gedächtnisprozesse voraus. Damit Musik entstehen kann, müssen einzelne Töne oder Akkorde verfügbar gehalten werden. Nur so können sie miteinander in Beziehung gesetzt werden. Dies ermöglicht in einem nächsten Schritt das Erleben von Spannungszuständen, die ohne Beziehung zwischen den Tönen und Akkorden nicht möglich wären. Beim Hören eines ganzen Stückes wird dann zudem das Wissen über Musik miteinbezogen und bereits gehörte Strukturen werden erinnert. Durch Spannungszustände und assoziierter Erinnerung können Emotionen ausgelöst werden (ebd.).

Beim aktiven Musizieren kann bei Elektroenzephalographiemessungen zudem ein stark erhöhter Austausch neuronaler Botschaften zwischen beiden Hemisphären beobachtet werden (Altenmüller, 2002 in Pathe, 2008). Speziell beim Singen wurde beobachtet, dass sprachliche und musikalische Syntax in parallelen Arealen und neuronalen Verknüpfungen verarbeitet werden (Pathe, 2008). Gemäss Koelsch und Fritz (2007) sind beim Musizieren praktisch alle kognitiven Prozesse wie Wahrnehmung, Handlung, soziale Kognition, Emotionen, Lernen und Gedächtnis beteiligt.

3.3.2. Zusammenhänge Musik und Sprache

Luftdruckschwankungen werden sowohl bei Musik als auch Sprache durch unser Hörsystem registriert, verarbeitet und interpretiert. Akustische Gemeinsamkeiten sind unter anderem komplizierte, rasch wechselnde zeitliche Muster, Frequenzfolgen und Modulationen. Die Musik wie auch die Sprache sind folglich hochkomplexe Bereiche, die beide eine komplizierte und differenzierte Schallanalyse voraussetzen (Spitzer, 2014).

Studien zeigen, dass diese Verarbeitung im Gehirn teilweise mit denselben kognitiven Prozessen abläuft. Der Neurowissenschaftler und Musikpsychologe Stefan Koelsch schreibt: „Die Verarbeitung von Sprache und Musik basiert auf stark überlappenden, teilweise sogar identischen, neuronalen Ressourcen.“ (Koelsch & Schröger, 2007).

Jentschke und Koelsch (2011), sowie Sallat (2008) unterstützen dies und gehen sogar von einem musiksprachlichen Netzwerk im Gehirn aus.

Eine Studie von Warren et al. (1969) untersuchte die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Schallereignissen. Sie stellten fest, dass Geräusche weniger schnell differenziert wahrgenommen werden können als Sprache und Musiknoten. Auch dieser Befund könnte für eine gemeinsame Verarbeitung der beiden Bereiche sprechen.

Gemäss Koelsch und Fritz (2005) ist es naheliegend, dass das menschliche Gehirn, zumindest im Kindesalter, Sprache als spezielle Art von Musik versteht.

Musik und Sprache weisen auf verschiedenen Ebenen Analogien auf:

- prosodische Ebene: Intonation, Dynamik, Sprechrhythmus, Sprechtempo, Sprachmelodie, Betonungen, emotionaler Gehalt, Pausen, Phrasierung als Gestaltung des Spannungsbogens
- phonetisch-phonologische Ebene: gesungene Vokale und Konsonanten, Artikulation, Atmung, Resonanz, einzelne Töne
- syntaktisch-morphologische Ebene: Betonungsmuster, rhythmische Struktur als zeitliche Gliederung, Motive, Phrasen, hierarchisch strukturierte Sequenzen, Harmonik
- semantisch-lexikalische Ebene: Vermittlung von Bedeutungen und Inhalten (z.B. durch textgebundenes Singen) oder Melodien als Ausdrucks- und Transportmedium für emotionale Zustände, Assoziationen (Pathe, 2008; Früchtenicht, 2017)

Töne werden oft mit einzelnen Lauten oder Silben, Motive mit Wörtern und musikalische Phrasen mit einfachen Sätzen verglichen. Pausen grenzen Satz- oder Melodieteile gegeneinander ab. Im emotionalen Bereich werden das Tempo und die Stimmung von Musik mit Affekten wie Freude oder Trauer in Verbindung gebracht. Ein schnelles Tempo wird mit Fröhlichkeit verbunden, ein langsames eher mit Trauer. Auch das Sprechtempo variiert nach inneren Stimmungen und Emotionen wie Freude, Nervosität, Trauer etc. (Spitzer, 2014).

Die Gemeinsamkeit von Musikverständnis und Text- respektive Sprachverständnis ist, dass Vergangenes und Gegenwärtiges in Beziehung gesetzt werden muss. Dies gilt auch für das Erkennen syntaktischer Strukturen und Regularitäten. So können Akkordfunktionen als Teil einer musikalischen Syntax angesehen werden. Gemäss Koelsch und Fritz (2007) wird dieses implizite Wissen durch Hörerfahrungen erworben und ist sowohl bei Musikern, als auch bei Nicht-Musikern und Kindern beobachtbar.

Wie differenziert unsere Hör-, Verarbeitungs- und Inhibitionsfähigkeiten sein können, wird am Beispiel einer Opernarie gezeigt. Hier wird über die Stimme sowohl Sprache, als auch Musik transportiert, während man zeitgleich die Orchesterbegleitung aus verschiedensten Instrumenten problemlos wahrnehmen und identifizieren kann. Auch das Phänomen relevante Sprache aus einem Stimmengewirr herausfiltern zu können und dasselbe mit Melodien zu tun, ist eine erstaunliche Fähigkeit des Gehirns.

Sehr differenzierte Hörfähigkeiten sind auch zur Identifizierung der Formanten in Sprache und Musik nötig. Nach Nickisch und Massinger (2011) sind Defizite in der Verarbeitung von Formantenübergängen für Lautdiskriminationsprobleme verantwortlich, was Probleme mit Phonetik, Phonologie, Morphologie und Verständnis zur Folge haben kann. Die Tonhöhendifferenzierung und Verarbeitungsgeschwindigkeit sind dafür entscheidend.

Schwierigkeiten beim Erkennen der Phonationsdauer führen zu einer verlangsamten akustischen Signalverarbeitung in Kortex (Spitzer, 2014; Wirth, 2000).

Manche Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen haben Mühe, prosodisch enkodierte Informationen zu entschlüsseln, wie zum Beispiel betonte und unbetonte Silbenmuster zu erkennen. Besonders Kinder mit Sprachverständnisstörungen fallen dadurch auf, dass sie Regelverletzungen in Bezug auf Töne und Rhythmen in bekannten Kinderliedern nicht erkennen können. Jentschke und Koelsch (2011) führen dies auf fehlende Automatisierung der Verarbeitung musikalischer Parameter der Sprachsignale zurück. Sie stellen zudem fest, dass Kinder mit SSES auch syntaktische Unregelmässigkeiten sowohl in der Sprache als auch in der Musik nicht erkennen.

Gemäss Grube (1998) und Sallat (2008; 2011) ist bei sprachgestörten Kindern neben der Speicherkapazität des auditiven Arbeitsgedächtnisses auch die Speicherkapazität für Tonfolgen eingeschränkt (Grube, 1998; Sallat, 2008; 2011 in Früchtenicht, 2017). Früchtenicht (2017) erwähnt in ihrem Artikel, dass manche Kinder mit SSES sich Melodien und Liedtexte nicht merken können.

Im Musikunterricht werden musikalische Phänomene oftmals über Sprache verständlich gemacht und umgekehrt werden mathematische Aspekte wie Harmonie, Rhythmik oder Intervalle sowie abstrakte (Zeit-)Begriffe in der Musik erlebbar gemacht. Dies stellt bereits eine Form der sprachlichen Förderung im Musikunterricht dar.

3.3.3. Zusammenhänge Musik und Arbeitsgedächtnis

Nun stellt sich die Frage, welche Bedeutung das Arbeitsgedächtnis für die Verarbeitung von Musik hat und welche Komponenten des Arbeitsgedächtnisses dafür zuständig sind. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, erfordert die Wahrnehmung und Verarbeitung von Musik das kurzzeitige „Verfügbarhalten“ von Tönen und Motiven. Für das Verständnis von Musik ist dies unerlässlich und wird durch Arbeitsgedächtnisprozesse ausgeführt. Auch bei der Verknüpfung von Melodien mit Erinnerungen aus dem LZG sind diese Prozesse beteiligt.

Genauso wie man sich Wörter und Sätze innerlich vorstellen kann, kann man sich auch Töne, Melodien und ganze Musikstücke vorstellen. Es muss angefügt werden, dass das akustische Vorstellungsvermögen deutlich weniger untersucht wurde, als beispielsweise das bildliche Vorstellungsvermögen. Dennoch weisen Studien darauf hin, dass auch bei Schall

che Vorstellungsvermögen. Dennoch weisen Studien darauf hin, dass auch bei Schall und Musik analoge Repräsentationen aktiviert werden (Spitzer, 2014).

Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (1974) gibt keine Antwort auf die Frage, ob das auditive Arbeitsgedächtnis sprachliche und musikalische Information gemeinsam oder getrennt verarbeitet. Während zahlreiche Studien zur Verarbeitung von verbalem Material existieren, wurde zur spezifischen Verarbeitung von Musik noch wenig geforscht. In der Wissenschaft werden momentan zwei unterschiedliche Auffassungen der Verarbeitung von Tönen diskutiert (Schulze & Koelsch, 2012).

Chan, Ho und Cheung (1998) konnten belegen, dass musikalisches Training die Leistungsfähigkeit des Arbeitsgedächtnisses auch für verbale Aufgaben steigert. Daher haben sie die Hypothese aufgestellt, dass es sich um überlappende Mechanismen handeln muss, die für die Verarbeitung von Musik und Sprache zuständig sind. Gestützt wird diese Hypothese aus neuroanatomischer Sicht von Gaab, Gaser und Zaehle (2003). Sie konnten durch bildgebende Verfahren feststellen, dass bei Arbeitsgedächtnisaufgaben, sowohl mit verbalem als auch mit musikalischem Material, erstaunlich viele ähnliche neuronale Netzwerke aktiviert werden. Eine Studie von Koelsch et al. (2009) bestätigt diesen Befund für Nichtmusiker.

Salame und Baddeley (1989) argumentieren dagegen, dass instrumentale Musik bei auditiven Arbeitsgedächtnisaufgaben mit sprachlichem Material weniger stört als vokale Musik. Aus diesem Grund gehen sie eher von einer separaten Komponente aus, die musikalische Information zur Verarbeitung bereithält. In einer Studie von Schulze et al. (2011) mit Musikern zeigte sich einerseits, dass überlappende Hirnareale bei Musikern stärker aktiviert werden und andererseits zusätzliche Strukturen entweder nur bei verbalen oder nur bei musikalischen Aufgaben aktiviert wurden. Dies könnte ebenfalls dafür sprechen, dass musikalische Information womöglich durch eine separate, musikalische Schleife verfügbar gehalten wird.

Allgemein wird die Möglichkeit anerkannt, dass Tonfolgen durch eine Rehearsalfunktion innerlich hörbar gemacht werden können und so über längere Zeit „online“ gehalten werden können. Untersuchungen von Koelsch et al. (2009) zeigen, dass das Rehearsal eines musikalischen Arbeitsgedächtnisses jedoch nur dann nützlich ist, wenn der Proband die Stimuli imitieren kann. Dies spricht für die Bedeutung von sensomotorischen Repräsentationen. Musiker scheinen mehr sensomotorische Repräsentationen zu haben als Nichtmusiker und können diese sozusagen strategisch nutzen.

Schulze und Koelsch (2012) erwähnen in ihrem Artikel auch die Bedeutung weiterer Gedächtnisstrategien im Zusammenhang mit musikalischen Arbeitsgedächtnisaufgaben. So zeigen insbesondere musikalisch trainierte Probanden signifikant bessere Resultate bei tonalen Tonfolgen als bei freien, atonalen Tonfolgen. Dies könnte darauf hindeuten, dass tonale Tonfolgen eher zu bekannten Motiven verknüpft werden, was dem Chunking entspräche.

In einigen Studien wird die positive Wirkung von aktiven Musiktrainings auf die Kognition und auch auf das Arbeitsgedächtnis beschrieben. Musizieren erfordert die parallele Koordination verschiedenster Modalitäten. Komplexe, motorische Handlungsmuster werden aufgrund visueller oder auditiver Reize abgerufen und ausgeführt, während Phrasen innerlich vorausgehört und entsprechend umgesetzt werden. Jederzeit wird der Output über das Gehör, in einer Art Monitoring, kontrolliert und falls nötig blitzschnell korrigiert und angepasst. Gerade gemeinsames Musizieren erfordert zusätzliche Flexibilität und Anpassung aufgrund akustischer Reize. Dies stellt hohe Anforderungen an die Konzentration und Aufmerksamkeit. Sowohl das auditive Arbeitsgedächtnis als auch die Zentrale Exekutive werden dabei gefördert und gefordert.

Wenn Musik als Mittel zur Entspannung eingesetzt wird, kann auch dies insofern zu besseren Arbeitsgedächtnisleistungen führen, weil dadurch Stress reduziert wird. Umgekehrt kann Musik auch eine aktivierende Wirkung erzeugen und Kinder in einen optimalen Tonus versetzen.

3.4. Kombination von Arbeitsgedächtnis, Sprache und Musik

Bereits im vorhergehenden Kapitel hat sich gezeigt, dass einige Autoren in ihren Studien (Chan et al., 1998; Früchtenicht, 2017; Sallat, 2008; 2001; Schulze & Koelsch, 2012; Spitzer, 2014;) nach Erklärungen für Verbindungen zwischen den Bereichen Arbeitsgedächtnis, Sprache und Musik gesucht haben. Fest steht, dass das Arbeitsgedächtnis sowohl sprachliche als auch musikalische Informationen temporär speichert und für die weitere Verarbeitung verfügbar hält. Ob dies in gemeinsamen oder separaten Komponenten abläuft bleibt offen. Klar ist jedoch, dass das auditive Arbeitsgedächtnis damit eine wichtige Funktion im kindlichen Spracherwerb übernimmt und zum Verständnis von komplexer Sprache und Musik beiträgt. Ebenfalls hat sich gezeigt, dass musikalische Fähigkeiten die Kinder im Spracherwerb unterstützen können.

Die Kombinationen der einzelnen Teilbereiche wurden in den vorhergehenden Kapiteln bereits besprochen. Interessant ist es nun, Studien zu betrachten, welche diese Teilbereiche integrieren und sich mit der Auswirkung von verschiedenen Formen von musikalischem Training beschäftigen.

Schlaug, Norton, Overy und Winner (2005) führten eine Langzeit-fMRT-Studie durch und untersuchten die Neuroplastizität und die kognitiven Leistungen von fünf- bis siebenjährigen Kindern, die ein Jahr ein Instrument spielten und neun- bis elfjährigen Kindern, die über vier Jahre ein Instrument spielten und verglichen diese mit Kindern die kein Instrument spielten. Nach einem Jahr Musikunterricht waren sowohl in den Gebieten Unterschiede zu erkennen, die durch den Instrumentalunterricht direkt trainiert wurden, als auch in der auditiven Diskri-

minationsfähigkeit. Kinder mit vierjährigem Instrumentalunterricht wiesen mehr graue Masse im Bereich des Kortex auf. Sie zeigten mehr Spiegelneuronen, waren signifikant besser im Wortschatztest und zeigten eine starke, jedoch nichtsignifikante, Verbesserung der phonologischen Bewusstheit. Die Autoren erklären sich die Resultate dadurch, dass Notenlesen und das Spielen eines Instrumentes eine grosse Vielfalt an Fähigkeiten erfordert. Verbesserungen der phonologischen Bewusstheit führen sie auf die überlappenden Verarbeitungsprozesse von Sprache und Musik in Bereichen der Segmentierung von Klängen in kleinere Einheiten zurück.

Moreno et al. (2008) stellten bei ihrer neuroanatomischen Untersuchung fest, dass Musiker ein dickeres Corpus callosum haben. Dadurch wird eine effizientere Kommunikation der beiden Hemisphären ermöglicht. Ihre Resultate zeigten, dass musikalisches Training innerhalb eines Jahres die auditive Verarbeitung im Gehirn, besonders die Klangverarbeitung und den auditorischen Kortex, sowie das Verhalten der Probanden verändert. Die sie finden in ihrer Studie signifikante Hinweise dafür, dass musikalisches Training die Sensibilität für emotionale Sprachprosodie fördert.

Sallat (2011) vergleicht die prosodische und die musikalische Verarbeitung. Er bemerkt, dass kleine Kinder Sprache durch musikalisch-akustische Analyse erfassen. Speziell Kindern mit SSES gelingt dies jedoch weniger gut. Sie sind nicht in der Lage prosodische Zusatzfaktoren automatisiert zu erfassen und für die Verarbeitung zu nutzen. Er sieht dies als grundlegenden ursachlichen Faktor für eine SSES. Sallat (2011) stellt zudem fest, dass sich Kinder mit SSES auch in den musikalischen Leistungen von gleichaltrigen Kindern unterscheiden. Er schreibt: „Wenn das musikalische Stimulusmaterial durch die Veränderung von Tempo, Klangfarbe oder wechselnde Tonhöhen (Transponieren) komplexer gemacht wird, dann scheinen die SSES-Kinder in der Verarbeitung ähnlich behindert zu werden wie bei sprachlichem Material. Dieser Befund deutet auf Probleme in der Verarbeitungskapazität und damit auf Arbeitsgedächtnisprozesse hin.“ Sallat weist darauf hin, dass die Ergebnisse im Bereich des musikalischen Arbeitsgedächtnisses allenfalls zu neuen Wegen für eine sprachfreie Diagnostik von SSES führen könnten (Sallat, 2011). Das Arbeitsgedächtnis spielt laut Sallat (2011) eine bedeutende Rolle im frühen Spracherwerb. Die musikalisch-akustische Analyse wird bei sprachgesunden Kindern mit der Zeit automatisiert und bietet mit zunehmender Arbeitsgedächtniskapazität Platz für sprachstrukturelle Analyse. Bei Kindern mit SSES entwickelt sich die Arbeitsgedächtniskapazität langsamer und Automatisierungsprozesse scheinen zu fehlen. Dadurch kommt es zu Verzögerungen im Spracherwerb, da diese Kinder ihr einzelsprachspezifisches Wissen viel langsamer aufbauen können. Einige Testresultate dieser Kinder, die Sallat (2011) auf eine mangelhafte Nutzung der Prosodie zurückführt, könnten auch durch schwache auditive Arbeitsgedächtnisleistungen erklärt werden, wie beispielsweise Schwierigkeiten mit der Rhythmusreproduktion, der Melodieverarbeitung, der rhythmisch-

melodischen Verarbeitung und natürlich Vergleichsaufgaben zu Tonfolgen für das musikalische Arbeitsgedächtnis. Konkret hält Sallat (2011) fest, dass Kinder mit SSES in Sprachlernsituationen nicht von prosodischen Zusatzinformationen profitieren: „Die Kombination von Sprache und Musik in Liedern, Bewegungsliedern und Reimen führt bei Kindern mit SSES demzufolge zu einer erhöhten Komplexität, die das Lernen behindert.“ Er schlägt daher vor, dass die Verarbeitung und Automatisierung musikalischer Parameter in einer Musiktherapie zunächst getrennt gefördert werden sollte. Melodie, Klangfarbe, Rhythmus und Tempo stellen solche relevanten Parameter dar.

Die Befunde von Jentschke und Koelsch (2009) zeigen, dass zehn- bis elfjährige Kinder mit Musikunterricht oder Chor im Verständnis von musikalischer Syntax besser abschnitten und sensibler auf die Verletzung von syntaktischen Regelmäßigkeiten reagierten, als Kinder ohne Musiktraining. Sie schliessen daraus, dass Musiktraining die neurophysiologischen Mechanismen, die grundlegend für linguistische und musikalische Syntaxverarbeitung sind, verändert.

2011 untersuchten Moreno et al. die Auswirkungen eines musikalischen Computertrainings auf vier- bis sechsjährige Kinder. Trainiert wurde während vier Wochen täglich. Die Ergebnisse zeigten einen Transfereffekt des Musiktrainings auf verbale Fähigkeiten, insbesondere beim Wortschatz, sowie einen positiven Effekt auf exekutive Fähigkeiten. Die Verbindung zwischen Musik und exekutiven Funktionen erklären sie durch die hohen Anforderungen des Musiktrainings an Kontrolle, Aufmerksamkeit und Gedächtnisleistungen (Moreno et al., 2011).

Suchodoletz (2006) befasst sich mit der Wirksamkeit von musikalischen Hörtrainings für Kinder mit auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. Bei dieser Störung treten Defizite bei der Tondifferenzierung, dem Richtungshören, der sequentiellen auditiven Analyse und beim Erkennen auditiver Signale unter Störeinflüssen auf. Die Einordnung der vielfältigen auditiven Umweltreize ist erschwert. Die Kinder zeigen bei der Diagnostik Schwierigkeiten mit der Lautdifferenzierung und in der auditiven Merkspanne. Die Ergebnisse zur Wirksamkeit auditiver Therapiemethoden sind gemäss Suchodoletz (2006) widersprüchlich. Autoren und Verfechter der Hörtrainings versprechen signifikante, spektakuläre Erfolge. Suchodoletz (2006) hält jedoch fest, dass ihre Studien oft mangelhaft seien. Alle Nachprüfungen durch unabhängige Arbeitsgruppen würden keine Steigerung der Leistungen aufgrund der Methoden zeigen (Tallal, 2001 in Suchodoletz, 2006). Bei Sprachstörungen könnten auditive Trainingsverfahren folglich nicht als eine kausale Therapie angesehen werden. Sie sollten nicht im Mittelpunkt einer Intervention stehen, sondern allenfalls ergänzend eingesetzt werden.

Früchtenicht (2017) stellt das auditive Arbeitsgedächtnis 2017 ins Zentrum ihres Artikels. Ihre Forschungen im Zusammenhang mit musikalischen Hörtrainings zeigen ein anderes Bild. Sie

fasst zusammen, dass aktives Musizieren günstige Auswirkungen auf die Verarbeitung sprachlicher Reize hat (Patel, 2012; Trainor et al., 2003, in Früchtenicht 2017) und dass sogar der informelle Umgang mit Musik sprachliche Fähigkeiten begünstigt (Putkinen 2013, in Früchtenicht 2017). Sie begründet dies mit der Vielfalt an synaptischen Verbindungen und der Präzision, die für das Musizieren und die schnelle Verarbeitung von Musik notwendig sind. Für ihre Studie verwendete sie das Hörtraining AUDIVA. Dabei wird Musik von barocken und klassischen Komponisten verändert, indem die tiefen Frequenzen herausgeschnitten und die hohen Frequenzen noch höher gefiltert werden. Die so bearbeitete Musik wird über Kopfhörer abwechselnd dem linken und dem rechten Ohr zugespielt. Die Probanden waren Kinder im Alter von durchschnittlich 4,9 Jahren, deren auditive Arbeitsgedächtnisleistung im Risikobereich lag. Das Hörtraining wurde während zwölf Wochen, dreimal wöchentlich während 30 Minuten durchgeführt. Durch das Hörtraining verbesserte sich das auditive Arbeitsgedächtnis signifikant in einem kurzen Zeitraum gegenüber Kontrollgruppen. Die Kinder zeigten signifikant bessere Leistungen in den folgenden Bereichen: Nachsprechen von Sätzen und Kunstwörtern, Wiederholen von Zahlenfolgen und im Hochtönenverstehen über 4000Hz. Einige Kinder wurden fünf bis sechs Wochen nach dem Programm erneut getestet, dabei zeigte sich keine deutliche Veränderung, was für eine nachhaltige Wirkung des Trainings spricht. Eltern und Erzieher meldeten zudem, dass die Kinder ruhiger und aufmerksamer wurden. Die Aussprache wurde teilweise deutlicher und die Kinder beteiligten sich mehr am Gruppengeschehen.

Jaschke et al. (2018) publizierten eine Studie, in der sechsjährige Kinder während zweieinhalb Jahren strukturierten Musikunterricht erhielten. Eine zweite Gruppe bekam strukturierten Kunstunterricht und eine dritte Kontrollgruppe genoss keine spezifische Förderung. Die Resultate zeigen bei der Musikgruppe signifikant bessere Leistungen in Bereichen der exekutiven Funktionen wie Inhibition und Planung, sowie beim verbalen IQ. Auf einen sehr ausführlichen Sprachtest mussten sie aus Zeitgründen verzichten, besonders das Sprachverständnis erhielt jedoch einen Stellenwert.

Zuk, Kenyon und Gaab (2015) beschreiben, dass exekutive Subfunktionen wie Planung, Inhibition und Arbeitsgedächtnis beim Spielen eines Instruments gleichermassen herbeigezogen werden, wie beim Lösen mathematischer Probleme.

4. Diskussion

Die letzten Kapitel widmen sich der Diskussion der bisher beschriebenen Forschungsergebnisse und der Beantwortung der Forschungsfrage. Anschliessend werden die Methoden kritisch hinterfragt und es folgt ein Ausblick für zukünftige Forschungsansätze.

4.1. Schlussfolgerung und Beantwortung der Fragestellung

Aufgrund von Modellen der psychologischen Forschung wurde ein Überblick über einige derzeit geläufige Sichtweisen über das Arbeitsgedächtnis vermittelt. Im Zentrum stand das auditive Arbeitsgedächtnis, sowie die Zentrale Exekutive als übergeordnetes Kontrollorgan.

Dadurch, dass das Arbeitsgedächtnis Information kurzfristig speichern und für die weitere Verarbeitung oder Speicherung im LZG bereithalten kann, wird seine Leistung als grundlegend für den kindlichen Spracherwerb betrachtet.

Ob die Kapazität des auditiven Arbeitsgedächtnisses durch Training erweitert werden kann ist umstritten. Studien zeigen jedoch, dass neben der Kapazität auch die Qualität der Repräsentationen im auditiven Arbeitsgedächtnis, die Nutzung der Rehearsalfunktion und die Anwendung von Strategien und exekutiven Funktionen eine Rolle spielen.

Es zeigt sich, dass Kinder mit SSES meistens Defizite bei der auditiven Merkspanne aufweisen. Ebenso haben diese Kinder Mühe bei der Verarbeitung von Musik. Dieser Befund kann dadurch erklärt werden, dass beide Bereiche in überlappenden Hirnregionen verarbeitet werden, dass vermutlich ähnliche Arbeitsgedächtnisstrukturen für die Verarbeitung von Sprache und Musik existieren und dass Sprache und Musik aus vergleichbaren Parametern bestehen.

Die Auswirkungen verschiedener Formen von Musiktraining auf kognitive und sprachliche Fähigkeiten wurden untersucht und im vorhergehenden Kapitel vorgestellt. Zur Beantwortung der Forschungsfrage, ob das phonologische Arbeitsgedächtnis, als wichtige Voraussetzung einer adäquaten Sprachentwicklung, durch musikalische Intervention gezielt gefördert werden kann, werden diese Resultate nochmals zusammengefasst.

Unterschiedliche Formen von musikalischen Trainings wie Instrumentalunterricht, Computertaining, Musikunterricht und passives Hörtraining wurden untersucht. Eine direkte Verbesserung der auditiven Arbeitsgedächtnisleistung wurde beim passiven Hörtraining festgestellt. Beim Instrumentalunterricht verbesserte sich die prosodischen und syntaktischen Fähigkeiten, was teilweise ebenfalls auf stärkere Leistungen des auditiven Arbeitsgedächtnisses zurückgeführt werden kann. Wortschatz, Sprachverständnis und vor allem exekutive Funktionen verbesserten sich durch Computertaining und strukturierten Musikunterricht.

Es muss angemerkt werden, dass zu wenige Studien existieren, die auf die spezifischen Auswirkungen von musikalischem Training auf das auditive Arbeitsgedächtnis abzielen, um diese Frage klar beantworten zu können. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die Beschäftigung mit Musik im menschlichen Gehirn Veränderungen bewirkt, die Transfereffekte mit positiven Auswirkungen auf die Verarbeitung von Sprache (Prosodie, Syntax, Wortschatz, Sprachverständnis), auf exekutive Funktionen wie Konzentration, Inhibition und Planung, wie auch auf die Leistung des auditiven Arbeitsgedächtnisses haben.

Ob die Funktionen des auditiven Arbeitsgedächtnisses bei den verbesserten sprachlichen Leistungen eine Rolle spielt, könnte aufgrund der Ergebnisse bloss interpretiert werden. Eine gezielte musikalische Intervention innerhalb der logopädischen Therapie oder Prävention könnte allerdings nur dann unterstützt werden, wenn mehr wissenschaftliche Evidenz vorhanden wäre.

Es ist unbestritten, dass viele für den Spracherwerb bedeutsame Komponenten im Instrumental- oder Musikunterricht gefördert werden. Lernverhalten wird beispielsweise exemplarisch geübt und somit eine mögliche Kompensationsstrategie erarbeitet. Dieses Erarbeiten von Strategien ist auch in der logopädischen Arbeit bei Kindern mit SSES wichtig. Zudem können diese Kinder in der Schule durch adäquate Präsentation des Lernmaterials, Unterteilung der Aufgaben in mehrere Einzelschritte und Reduktion der sprachlichen Komplexität kompensatorisch unterstützt werden.

Ob passive Hörtrainings, eine geeignete Methode sind, um die Arbeitsgedächtnisdefizite grundlegend verbessern zu können, ist zurzeit noch umstritten und wird sich in der Zukunft zeigen.

4.2. Methodenkritik

Gerade bei vielschichtigen Disziplinen, wie der neuropsychologischen und psycholinguistischen Forschung, können verschiedenste ungewollte, äussere Einflüsse auf die Resultate der erwähnten Studien einwirken. Jede Studie versucht einen kleinen Ausschnitt der Wirklichkeit abzubilden und zu erklären. Gerade hochkomplexe Strukturen werden dafür in Modellen dargestellt, die dann als Grundlage für die Experimente dienen. Modelle sind jedoch immer heruntergebrochen und vereinfacht, es handelt sich auch dabei um eine Annäherungen an die Realität. Oft widersprechen sich Modelle auch diametral oder versuchen weitere Betrachtungsmöglichkeiten aufzuzeigen und legen andere Schwerpunkte. Betrachtet man die Komplexität des Arbeitsgedächtnisses, scheint es beinahe unmöglich, einzelne Teilbereiche wirklich unabhängig erforschen zu können. Allein die Entscheidung für bestimmte Fördermassnahmen oder Testmaterial kann die Ergebnisse solcher Studien massiv beeinflussen. Daneben spielen Faktoren wie der soziokulturelle Kontext, die Motivation der Kinder an den vorgeschriebenen Förderprojekten aktiv teilzunehmen oder auch die wenig attraktiven

Merkspannenaufgaben auszuführen, die meist aus der Reproduktion von Pseudowörtern oder Zahlen bestehen, eine Rolle. Auch bei der Auswertung der Ergebnisse besteht meist ein gewisser Interpretationsspielraum.

Eine gewisse Schwierigkeit besteht, wenn es darum geht die Wirksamkeit von Therapieansätzen nachzuweisen oder zu widerlegen. Der Aufbau der Studie bestimmt das Resultat teilweise mit. Zudem kann die Wirksamkeit von Therapieansätzen auch von der Überzeugung der Therapeutin abhängen.

Für diese Arbeit wurden teilweise auch ältere Publikationen einbezogen. Einerseits aufgrund der geringen Menge aktuellerer Studien und andererseits um bewusst ein besseres Verständnis der heutigen Sichtweise aufzubauen. Gerade in der Neuropsychologie haben bildgebende Verfahren, wie fMRT oder EEG, grosse Veränderungen ausgelöst. Auch durch die Bilder können viele Prozesse jedoch nach wie vor noch nicht sicher interpretiert werden. Gerade bei kognitiven Prozessen werden daher weiterhin auch Testbatterien angewendet.

Die Entscheidung für das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (1974) gibt für diese Arbeit natürlich bereits eine bestimmte Richtung vor. Es könnte sein, dass zu wenige oder die falschen Subsysteme angenommen werden. Selbstverständlich spielen auch der visuelle Notizblock und der episodische Buffer eine Rolle für den Spracherwerb und die Sprachverarbeitung. Aus Kapazitätsgründen mussten diese beiden Komponenten, jedoch ausgeklammert werden.

Zu den Messungen der einfachen, auditiven Arbeitsgedächtnisleistungen muss folgendes noch festgehalten werden. Phonotaktisches, grammatisches und lexikalisch-semantisches Wissen beeinflussen die Leistung je nach Aufgabenstellung sogar bei Aufgaben mit Pseudowörtern. Andererseits sind komplexe Spannenaufgaben zur Messung der Leistung der Zentralen Exekutive heikel, da sie immer auch mindestens ein Subsystem einbeziehen (Schmid et al., 2008).

Einzelne kognitive Leistungen sind oft nur schwer voneinander abzugrenzen, was den Aufbau dieser Arbeit erschwert hat. Gerade in der Kindheit verlaufen verschiedene Entwicklungen parallel oder scheinbar nebeneinander, bedingen sich streckenweise jedoch auch gegenseitig.

4.3. Ausblick

Um eindeutige Aussagen zur Wirksamkeit musikalischer Förderung auf Teilbereiche machen zu können, wäre eine vertiefte Forschung in Bezug auf das auditive Arbeitsgedächtnis im Speziellen oder auch andere Komponenten der Sprachentwicklung nötig. Verschiedene Formen des musikalischen Trainings müssten ausgearbeitet und ihre spezifischen Effekte auf die Sprache untersucht werden. An die Bedeutung einzelner musikalischer Parameter für

den Spracherwerb könnte hier beispielsweise angeknüpft werden, um allenfalls Hinweise für die Praxis gewinnen zu können.

Interessant wäre es weitere sprachliche Bereiche wie die Schriftsprache oder den Fremdspracherwerb im Zusammenhang mit dem Arbeitsgedächtnis einzubeziehen. Für die Logopädie wäre es wünschenswert, konkrete Wege zu finden, um das auditive Arbeitsgedächtnis gezielt fördern zu können, da es eine grundlegende Funktion im Spracherwerb einnimmt. Ein gezieltes Vorgehen erfordert jedoch auch eine differenzierte Diagnostik, dafür braucht es wiederum noch fundierteres Wissen über mögliche Störungen des auditiven Arbeitsgedächtnisses. In einem nächsten Schritt wäre es wichtig, gerade im Zusammenhang mit Hörtrainings, die Beeinflussbarkeit der Qualität der Repräsentationen im auditiven Arbeitsgedächtnis genauer zu untersuchen. Auch die Komponenten Verarbeitungsgeschwindigkeit und Konzentration könnten im Zusammenhang mit Musiktraining überprüft werden.

5. Verzeichnisse

5.1. Abbildungsverzeichnis

Piefke, M. & Fink, G. (2013). *Gedächtnisstörungen*. Berlin: Springer Verlag.

Schneider, B. (2014). *Aphasie*. Berlin: Springer Verlag.

5.2. Quellenverzeichnis

Acheson, D.J., MacDonald, M.C. (2009). Twisting tongues and and memories: Explorations of the relationship between language production and verbal working memory. *Journal of Memory and Language*, 60, 329-350.

Acheson, D.J., Postle, B.R. & MacDonald, M.C. (2010). The interaction of concreteness and phonological similarity in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 36, 17-36.

Alloway, T.P., Gathercole, S.E., Adams, A.-M., Willis, C., Eaglen, R. & Lamont, E. (2005). Working memory and phomological awareness as predictors of progress towards early learning goals at school entry. *British Journal of Developmental Psychology*, 23, 417-426.

Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). *Working Memory*. In Bower, G.H. (Ed). *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory (47-89)*. New York: Academic Press.

Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory?. *Trends in Cognitiv Sciences*, 4, 417-423.

Baddeley, A.D. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36, 189-208.

Barnard, P.J., Scott, S.K. & May, J. (2001). When the central executive lets us down: Schemas, attention, and load in a generative working memory task. *Memory*, 9, 209-221.

Berti, S. (2010). Arbeitsgedächtnis: Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft eines theoretischen Konstruktes. *Sonderdruck aus: Psychologische Rundschau*, 61 (1), 3–9.

Chan, A.S., Ho, Y.C. & Cheung, M.C. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature* 396, 128.

Chein, S.H.A., Ravizza, S.M. & Fiez, J.A. (2003). Using meuroimaging to evaluate models of working memory and their implications for language processing. *Journal of Neurolinguistics*, 16, 315-339.

Cowan, N. (1999). *An Embedded-Processes Model of Working Memory*. In: Miyake, A. & Shah, P. (Eds.): *Models of Working Memory. Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control (62-101)*. New York: Cambridge University Press.

Deutsche Gesellschaft für Psychologie. (Hrsg.). (2007). *Richtlinien zur Manuskriptgestaltung*. (3. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.

Feldman Barrett, L., Tugade, M.M & Engle, R.W. (2004). Individual differences in working memory capacity and dual process theories of the mind. *Psychological Bulletin*, 130, 553-573.

Ferguson, A.N. & Bewey, J.A. (2005). Global processing speed as a mediator of developmental changes in children's auditory memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 89-112.

Fox, A. (2011). *Kindliche Aussprachestörungen*. Idstein: Schulz Kirchner Verlag.

Früchtenicht, K. (2017). Hörtraining mit Musik und das auditive Arbeitsgedächtnis. *Praxis Sprache* 4/2017, 209-214.

Gaab, N., Gaser, C., Zaehle, T., et al. (2003). Functional anatomy of pitch memory - an fMRI study with sparse temporal sampling. *NeuroImage*, 19, 1417-1426.

Gathercole, S.E. (2006). Nonword repetition and word learning: The nature of the relationship. *Applied Psycholinguistics*, 27, 513-543.

Gathercole, S.E. & Adams, A.M. (1993). Phonological working memory in very young children. *Developmental Psychology*, 29, 770-778.

Gathercole, S.E. & Alloway, T.P. (2004). Working memory and classroom learning. *Professional Association for Teachers of Students with Specific Learning Difficulties*, 17, 2-12.

Gathercole, S.E. & Alloway, T.P. (2006). Practitioner review: Short-term and working memory impairments in neurodevelopmental disorders: Diagnosis and remedial support. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 4-15.

Gathercole, S.E. & Baddeley, A.D. (1993). *Working Memory and Language*. Hove: Psychology Press.

Gathercole, S.E. & Baddeley, A.D. (1996). *The Children's Test of Nonword Repetition*. London: Psychological Corporation.

Gathercole, S.E., Lamont, E. & Alloway, T.P. (2008). *Working Memory in the Classroom*. In: Pickering, S.J. (Ed.). *Working memory and Education*. Oxford: Elsevier.

Gathercole, S.E. & Alloway, T.P. (2008). *Working Memory and Learning: A Practical Guide for Teachers*. London: Sage.

Gerrig, R.J. & Zimbardo, P.G. (2008). *Psychologie*. Hallbergmoos: Pearson.

Glück, C.W. (2000). *Kindliche Wortfindungsstörungen. Ein Bericht des aktuellen Kenntnisstandes zu Grundlagen, Diagnostik und Therapie*. Frankfurt am Main: Peter Lang.

Grimm, H. (2003). *Störungen der Sprachentwicklung*. Göttingen: Hogrefe.

Hasselhorn, M. & Grube, D. (2003). Das Arbeitsgedächtnis: Funktionsweise, Entwicklung und Bedeutung für kognitive Leistungsstörungen. *Sprache-Stimme-Gehör*, 27, 31-37.

- Heidler, M. (2013). *Das Arbeitsgedächtnis, Ein Überblick für Sprachtherapeuten, Linguisten und Pädagogen*. Bad Honnef: Hippocampus Verlag.
- Henry, L. (2012). *The development of working memory in children*. London: Sage.
- Hickok, G. & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92, 67-99.
- Jäncke, L. (2008). *Macht Musik schlau? Neue Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften und der kognitiven Psychologie (2. Nachdruck, 2012)*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Jaschke, A.C., Honing, H. & Scherder E.J.A. (2018). Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 1-11.
- Jentschke, S. & Koelsch, S. (2009). Musical training modulates the development of syntax processing in children. *NeuroImage*, 47, 735-744.
- Jentschke, S. & Koelsch, S. (2011). Neurokognition von Musik und Sprache. *Sprachheilarbeit*, 178-185.
- Jourdain, R. (1998). *Das wohltemperierte Gehirn. Wie Musik im Kopf entsteht und wirkt (1. Nachdruck 2011)*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kannengiesser, S. (2012). *Sprachentwicklungsstörungen, Grundlagen, Diagnostik und Therapie*. München: Urban&Fischer.
- Klingenberg, T. (2009). *The Overflowing Brain. Information Overload and the Limits of Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Kölliker Funk, M. (2015). *Schnittstellen zwischen sprachlichen Ebenen*. In Siegmüller, Bartels (Hrsg.), *Leitfaden Sprache, Sprechen, Stimme, Schlucken*. München: Urban&Fischer.
- Koelsch, S. & Fritz, T. (2007). Musik verstehen - Eine neurowissenschaftliche Perspektive. In Becker und Vogel (Hrsg.), *Musikalischer Sinn*. Suhrkamp. Internet unter http://www.stefan-koelsch.de/papers_html_german.html, Zugriff am 11.03.2018.
- Koelsch, S. & Schröger, E. (2007). *Neurowissenschaftliche Grundlagen der Musikverarbeitung*. In Bruhn, Kopiez, Lehmann (Hrsg.), *Musikpsychologie (2. Auflage, 2009)*. Rowohlt. Internet unter http://www.stefan-koelsch.de/papers_html_german.html, Zugriff am 11.03.2018.
- Koelsch, S. et al. (2009). Functional architecture of verbal and tonal working memory: an fMRI study. *Hum. Brain Mapp*, 30, 859-873.
- Kolk, H.H.J. & Chwilla, D. (2007). Late positivities in unusual situations. *Brain and Language*, 100, 257-261.
- Konieczny, L. & Müller, D. (2010). Das sprachliche Arbeitsgedächtnis: Kapazität oder Erfahrung?. *Psychologische Rundschau*, 61, 43-50.
- Lieberman, P. (2001). Human language and our reptilian brain. The subcortical bases of speech, syntax, and thought. *Perspectives in Biology and Medicine*, 44, 32-51.
- Mayring, P. (2008). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Beltz.

Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S.L. & Besson M. (2008). Musical Training Influences Linguistic Abilities in 8-Year-Old Children: More Evidence for Brain Plasticity. *Cerebral Cortex*, 19, 712-723.

Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E.G., Cepeda, N.J. & Chau, T. (2011). Short-Term Music Training Enhances Verbal Intelligence and Executive Function. *Psychological Science* 22, 1425-1433.

Morton, J.M. (1969). Interaction of information in word recognition. *Psychological Review*, 76, 165-178.

Nickisch, A. & Massinger, C. (2011). *Sprachfreie auditive Verarbeitung bei Kindern mit spezifischer Sprachentwicklungsstörung (SSES)*. In T. Hellbrügge & B. Schneeweiß (Hrsg.), *Frühe Störungen behandeln – Elternkompetenz stärken*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Pathe, R. (2008). *Zusammenhänge musikalischen und sprachlichen Lernens – eine Untersuchung*. In Merkt, I. (Hrsg.), *InTakt. Dortmunder Schriftenreihe. Musik und Menschen mit Behinderung, Bd. 3*. Regensburg: Conbrio.

Patterson, K.E. (1988). *Acquired Disorders of Spelling*. In: Denes, G, Semenza, C. & Bissiachi, P. (Eds.). *Perspectives on Cognitive Neuropsychology*. Hove: Lawrence Erlbaum.

Pickering, S.J. & Gathercole, S.E. (2004). Distinctive working memory profiles in children with special educational needs. *Educational Psychology*, 24, 393-408.

Power, M.J. (1985). Sentence production and working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37, 367-386.

Reeh, M. & Kiese-Himmel, C. (2006). Zusammenhänge zwischen phonologischem Arbeitsgedächtnis und rezeptivem Wortschatz bei schallempfindungsgestörten Kindern. 23. *Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie e.V. vom 15. bis 17.09.2006 in Heidelberg*: <http://www.egms.de>.

Rieser, R. (2015). *Spracherwerbsstörungen im Kleinkindalter*. Rorschach: SAL Verlag.

Rodrigues, A. & Befi-Lopes, D.M. (2009). Phonological working memory and its relationship with language development in children. *Pro-Fono Revista de Atualização Científica*, 21, 63-68.

Salame, P. & Baddeley, A.D. (1989). Effects of background music on phonological shortterm memory. *Q. J. Exp. Psychol.*, 41, 107-122.

Sallat, S. (2008). *Musikalische Fähigkeiten im Fokus von Sprachentwicklung und Sprachentwicklungsstörungen*. Idstein: Schulz-Kirchner-Verlag.

Sallat, S. (2011). Prosodische und musikalische Verarbeitung im gestörten Spracherwerb. *Sprache, Stimme, Gehör*, 35, 105-111.

Schlaug, G., Norton, A., Overy, K. & Winner, E. (2005). Effects of Training on the Child's Brain and Cognitive Development. *Annals New York Academy of Science*, 1060, 219-230.

Schmid, C., Zoelch, C. & Roebbers, C. (2008). Das Arbeitsgedächtnis bei 4- bis 5-jährigen Kindern, Theoretische und empirische Analyse seiner Funktionen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 40 (1), 2-12.

Schulze, K., Zysset S., Mueller, K., et al. (2011). Neuroarchitecture of verbal and tonal working memory in nonmusicians and musicians. *Hum. Brain Mapp*, 32, 771–783.

Schulze, K. & Koelsch, S. (2012). Working memory for speech and music. *Annals of the New York Academy of Science*, 229-236.

Spitzer, M. (2014). *Musik im Kopf. Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk*. Stuttgart: Schattauer.

Suchodoletz, W. (2006). Neue Studien zeigen: Training auditiver Funktionen für sprachgestörte Kinder ohne Nutzen, *Forum Logopädie Heft 5*, 20, 18-23.

Thomason, M.E., Race, E., Burrows, B., Whitfield-Gabrieli, S., Glover, G.H. & Gabrieli, J.D.E. (2009). Development of spatial and verbal working memory capacity in the human brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 133-158.

Warren, R.M., Obusek, C.J., Farmer, R.M., Warren, R.P. (1969). Auditory sequence: confusion of patterns other than speech or music. *Science*, 164, 586-587.

Weinert, S. (2010). *Brennpunkte der Gedächtnisforschung, Beziehungen zwischen Sprachentwicklung und Gedächtnisentwicklung (147-166)*. Göttingen: Hogrefe.

Wirth, G. (2000). *Sprachstörungen, Sprechstörungen, Kindliche Hörstörungen – Lehrbuch für Ärzte, Logopäden und Sprachheilpädagogen (5. Aufl. überarbeitet von M. Ptak & R. Schönweiler)*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.

Wolf, C. (2009). Macht Armut dumm?. *Gehirn und Geist*, 10, 14-19.

Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2015). Behavioural and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PloS ONE*, 10, 137–145.