

W. v. Suchodoletz
A. Alberti
D. Berwanger

Sind umschriebene Sprachentwicklungsstörungen Folge von Defiziten in der auditiven Wahrnehmung?

Are Specific Developmental Language Disorders Caused by Deficits in Auditory Perception?

Zusammenfassung

Hintergrund: Auditive Wahrnehmungsstörungen werden als pathogenetischer Hintergrund von Sprachentwicklungsstörungen vermutet, und ein Training auditiver Fähigkeiten zu deren Behandlung wird empfohlen. In der Studie wird der Frage nachgegangen, ob sich ein Zusammenhang zwischen Sprachentwicklungsstörung und auditiver Wahrnehmungsfähigkeit empirisch absichern lässt. **Patienten:** Untersucht wurden 23 sprachentwicklungsgestörte und 52 Kontrollkinder im Grundschulalter. **Methode:** Zur Erfassung der auditiven Wahrnehmungsfähigkeit wurden nonverbale Tests zur Differenzierung von Tönen (Tonhöhe, Lautstärke, Tonmuster, Tondauer) und von Geräuschen (Einzelgeräusche, Geräuschgemische) sowie Verfahren mit „sensibilisierter“ Sprache (Störgeräusch, zeitkomprimiert, hoch- bzw. tiefpassgefiltert, binaurale Summation) eingesetzt. Außerdem wurden Lautdifferenzierungsfähigkeit und auditive Merkfähigkeit beurteilt. **Ergebnisse:** Sprachentwicklungsstörte Kinder zeigten signifikant schlechtere Leistungen bei der Lautdifferenzierung und der auditiven Merkfähigkeit, nicht jedoch hinsichtlich der Ergebnisse in nonverbalen und verbalen auditiven Wahrnehmungstests. Zwischen der expressiven Sprachfähigkeit und den Ergebnissen in einzelnen Bereichen der Lautdifferenzierung, der auditiven Merkspanne und dem Erkennen von Tondauerunterschieden ergaben sich bedeutsame Zusammenhänge. **Schlussfolgerung:** Bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen bestehen keine Defizite in der auditiven Wahrnehmung, jedoch finden sich Hinweise auf Schwächen hinsichtlich der auditiven Merkfähigkeit und der Zeitverarbeitung. Ein Training der auditiven Wahrnehmung scheint somit zur Behandlung sprachentwicklungsstörter Kinder kaum geeignet zu sein.

Schlüsselwörter

Sprachentwicklungsstörung · auditive Wahrnehmungsstörung

Abstract

Background: Specific language impairment is assumed to be caused by deficits in auditory perception and therefore the training of auditory abilities is recommended as a treatment. Our study focussed on the question of whether a correlation between language disorders and auditory perception abilities can be proven empirically. **Patients:** 23 language impaired children and 52 controls aged 7 to 11 years were examined. **Method:** Auditory abilities were measured by means of a battery of nonverbal and verbal tests. The children had to identify tones of different frequencies, loudness, duration or patterns as well as every day sounds and mixtures of such sounds. Noise-overlaid, time-compressed and frequency-limited speech tasks, and binaural summation tasks were also used. In addition, phoneme discrimination ability and auditory memory were assessed. **Results:** Language impaired children scored low on phoneme discrimination and auditory memory tests but not on nonverbal or verbal auditory perception tasks. There are significant correlations between their expressive language ability and their scores on phoneme discrimination, auditory memory and sound duration identification tests. **Conclusions:** The results do not support the assumption that developmental language disorders are associated with auditory perception deficits. However, there are indications that auditory memory and time processing are deficient. Thus, training of auditory perception does not appear to be a suitable treatment for language impaired children.

Keywords

Specific developmental language disorders · central auditory processing disorders

Institutsangaben

Institut und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie,
Ludwig-Maximilians-Universität München

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Waldemar von Suchodoletz · Institut und Poliklinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie, Ludwig-Maximilians-Universität München · Nußbaumstraße 7 · 80336 München

Bibliografie

Klin Pädiatr 2004; 216: 49–56 · © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York · ISSN 0300-8630

Einleitung

Trotz Jahrzehntelanger Forschung sind zur Pathogenese umschriebener Sprachentwicklungsstörungen viele Fragen offen geblieben. In der ICD-10 wird genauer ausgeführt, welche Faktoren umschriebene Sprachentwicklungsstörungen nicht bedingen. Danach sind diese nicht Folge sensorischer, neurologischer oder sonstiger organischer Erkrankungen und nicht Ausdruck einer Retardierung der allgemeinen kognitiven Entwicklung oder einer unzureichenden Anregung durch die Umwelt [15]. Hingegen wird nicht gesagt, wodurch Sprachentwicklungsstörungen hervorgerufen werden. Die Diagnose ist somit durch den Ausschluss verschiedener Ursachen zu stellen und nicht durch den Nachweis eines zugrunde liegenden Defizits.

Zur Erklärung von Sprachentwicklungsstörungen können derzeitig nur Vermutungen angestellt werden. Eine der am häufigsten vertretenen Hypothesen ist die Annahme, dass Defizite in der auditiven Wahrnehmung den pathogenetischen Hintergrund bilden. So heißt es z.B. bei Lauer [23]: „Einig ist man sich darin, dass es einen engen Zusammenhang zwischen auditiven Verarbeitungsstörungen und Sprachentwicklungsstörungen gibt.“

In der Regel werden unter auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen modalitätsspezifische, auditive Wahrnehmungsschwächen, die nicht durch eine periphere Hörstörung bedingt sind, verstanden [12]. Unterschiedliche Definitionen führen jedoch bei der Diskussion über die klinische Relevanz auditiver Schwächen nicht selten zu Missverständnissen. Nach der Definition der American Speech-Language-Hearing Association [3] und des Konsensuspapiers der Pädaudiologen [30], an die wir uns im Folgenden halten, handelt es sich um Defizite bei der Analyse von Zeit-, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen akustischer Signale und bei Prozessen der binauralen Interaktion. Verwirrung entsteht dadurch, dass im deutschsprachigen Raum häufig auch Sprachanalyseprozesse (Lauterkennen in Silben, Wörtern und Sätzen; Laute zu Wörtern verbinden) sowie die auditive Merkfähigkeit und auditive Aufmerksamkeit, die in ganz anderen neuronalen Strukturen verankert sind, als Teifunktionen der zentral-auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung aufgefasst werden [23, 29].

Eine kausale Beziehung zwischen Sprachentwicklung und auditiver Wahrnehmung erscheint durchaus plausibel. Eine differenzierte Verarbeitung akustischer Reize ist Voraussetzung für die Unterscheidung von Lauten und Silben und damit für das Verstehen von Sprache. Es ist nicht abwegig anzunehmen, dass auditive Wahrnehmungsstörungen den Spracherwerbsprozess erheblich behindern und zu Sprachentwicklungsverzögerungen führen.

Aufgrund der Annahme eines solchen Zusammenhangs wurden für die Behandlung sprachentwicklungsstörter Kinder zahlreiche Verfahren zum Training auditiver Wahrnehmungsfunktionen entwickelt. Die Übungen können in spielerischer Form erfolgen, z.B. mit Aufgaben zum Erkennen und zur Lokalisation von Geräuschen oder zur Differenzierung und zum Nachklopfen von Rhythmen. Neben diesen heilpädagogisch orientierten Methoden werden Geräte und Computerprogramme angeboten, mit denen Tonhöhen-, Lautstärken-, Rhythmus- bzw. Tonsequenzdifferenzierung trainiert werden [21, 28, 39]. Durch ca. 15 – 20 Trai-

ningseinheiten von jeweils 5 – 20 Minuten Dauer werden wesentliche Erfolge erwartet. Effektivitätsstudien liegen allerdings kaum vor. Lediglich Merzenich u. Mitarb. [27] berichteten über eine kontrollierte Studie, in der sprachgestörte Kinder durch ein dreiwöchiges Intensivtraining auditiver Fähigkeiten sprachliche Entwicklungsfortschritte von ein bis zwei Jahren erreichten. Allerdings sind diese Ergebnisse nicht unumstritten, da nur sehr wenige Kinder in die Studie einbezogen und die Sprachfortschritte mit Aufgaben überprüft wurden, die während der Behandlungsphase geübt worden waren [38].

Ein auditives Wahrnehmungstraining wird von dessen Befürwortern als Behandlung der eigentlichen Ursache der Sprachstörung angesehen. Es erscheint bei Kindern mit Störung des Spracherwerbs so einleuchtend, dass es nicht weiter hinterfragt wird und große Verbreitung gefunden hat. Die weitgehend akzeptierte Annahme einer engen Verbindung zwischen auditiver Wahrnehmungsschwäche und Sprachentwicklungsstörung kann sich jedoch auf nur wenige empirische Daten stützen.

Die wichtigsten Ergebnisse stammen von der Arbeitsgruppe um Tallal. In Experimenten wurden bei sprachentwicklungsstörten Kindern replizierbar akustische Diskriminationsschwächen beobachtet. Um zu klären, welche spezifischen Merkmale den Kindern bei der Differenzierung Probleme bereiten, wurden die Stimuli hinsichtlich ihrer akustischen Charakteristika variiert. Dabei ergab sich, dass Defizite nur nachgewiesen werden konnten, wenn sehr kurze Stimuli zu differenzieren oder die Abstände zwischen diesen sehr klein waren. Dies führte zu der Annahme, dass ein modalitätsspezifisches Zeitverarbeitungsdefizit im auditiven Bereich den pathogenetischen Hintergrund von Spracherwerbsstörungen bildet, nicht aber allgemeine akustische Diskriminationsschwächen [33, 34]. Da sich in folgenden Untersuchungen jedoch herausstellte, dass auch schnell aufeinander folgende visuelle Reize von sprachgestörten Kindern schlechter als von unauffällig entwickelten differenziert wurden, wurde ein allgemeines Zeitverarbeitungsdefizit als umschriebenen Sprachentwicklungsstörungen zugrunde liegend postuliert [35]. Allerdings wurden mit dem von Tallal erarbeiteten Untersuchungsinstrumentarium ähnliche Schwächen bei der Diskriminierung kurz dargebotener Stimuli auch bei sprachunauffälligen Kindern mit einem hyperkinetischen Syndrom gefunden [25].

Weitere Untersuchungsergebnisse wurden von Wright u. Mitarb. [42] mitgeteilt, die über verminderte Leistungen sprachentwicklungsstörter Kinder bei der Erkennung von Tönen im Störgeräusch berichteten und von Weinert [40], die Defizite bei der Zuordnung von Rhythmen nachweisen konnte.

Bishop u. Mitarb. [8, 9] gingen dem Zusammenhang zwischen auditiver Wahrnehmung und Sprachentwicklung in Zwillingsstudien nach. Neben der Untersuchungsbatterie von Tallal (Auditory Repetition Task – ART) setzten sie weitere nonverbale auditive Diskriminationsaufgaben ein. Sie konnten für keinen der auditiven Tests signifikante Differenzen zwischen Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörung nachweisen. Der Grad der Erblichkeit für auditive bzw. sprachliche Defizite unterschied sich deutlich. Die Konkordanz für eine Sprachentwicklungsstörung war bei eineiigen Zwillingen wesentlich höher als bei zweieiigen, nicht jedoch diejenige für eine auditive Wahrnehmungsschwäche.

che. Sprachentwicklungs- und auditive Wahrnehmungsstörung unterscheiden sich somit hinsichtlich ihres genetischen Hintergrundes.

Andere Arbeitsgruppen benutzten in ihren Experimenten zur Erfassung auditiver Wahrnehmungsschwächen ausschließlich verbale Stimuli. Aus diesen Studien ist aber eine Unterscheidung zwischen basalen auditiven Schwächen und Defiziten in der Sprachanalyse kaum möglich. Elliot u. Mitarb. [15] untersuchten je 200 sprachentwicklungsstörte bzw. sprachlich unauffällig entwickelte Kinder mit einer Testbatterie, die Aufgaben zur Differenzierung der Silben /ba/ und /pa/ bei variabler Stimmeinsatzzeit und der Silben /ba/, /da/ und /ga/ bei Veränderungen der Transitionen des zweiten und dritten Formanten enthielt. Sie konnten die Kinder anhand der Ergebnisse zu einem hohen Prozentsatz den Gruppen richtig zuordnen. Nach den Erfahrungen von Frumkin u. Rapin [16] haben nur diejenigen sprachentwicklungsstörten Kinder Schwierigkeiten bei der Verarbeitung von Silben mit kurzen Transitionen, bei denen eine phonologische Schwäche besteht. Den Kindern ohne eine solche fiel es eher schwer, kurze Vokale zu identifizieren.

Die vorliegenden Untersuchungen lassen insgesamt keine eindeutige Entscheidung darüber zu, ob bei sprachentwicklungsstörten Kindern Defizite in der auditiven Wahrnehmung bestehen und ob ein auditives Training zur Behandlung geeignet ist. Therapeutische Erfolge, auf die häufig als Beleg für die Richtigkeit der Annahme eines Zusammenhangs zwischen auditiven und Sprachstörungen verwiesen wird, sind infolge methodischer Mängel der bisherigen Effektivitätsstudien wenig aussagefähig.

In der vorliegenden Untersuchung wird mit einer breit angelegten Testbatterie, die nonverbales und verbales Material benutzt, der Frage nachgegangen, ob bei Kindern mit umschriebenen Sprachentwicklungsstörungen Defizite in der auditiven Wahrnehmung nachweisbar sind. Es soll geklärt werden, ob sich die Grundannahmen, auf denen ein Training der auditiven Wahrnehmung zur Behandlung sprachentwicklungsstörter Kinder beruht, empirisch belegen lassen.

Methodik

In die Untersuchung wurden 52 unauffällig entwickelte und 23 sprachentwicklungsstörte Kinder im Alter von 7–11 Jahren einbezogen (Tab. 1). Als Ausschlusskriterien galten für alle Kinder periphere Hörstörungen, Mehrsprachigkeit, ein nonverbaler IQ unter 85 und neurologische oder psychiatrische Erkrankun-

gen in der Vorgeschichte. Die Kinder der Vergleichsgruppe besuchten Regelschulen und zeigten anamnestisch keine Hinweise auf Sprach- bzw. Lese-Rechtschreib-Störungen oder sonstige Schulprobleme. Die sprachentwicklungsstörten Kinder waren Patienten unserer Ambulanz für Entwicklungsstörungen. Zusätzlich wurden Kinder aus logopädischen Praxen und Sprachheilschulen zur Teilnahme an der Studie gewonnen.

Die diagnostische Einordnung als umschriebene expressive bzw. rezptive Sprachentwicklungsstörung (F80.1 bzw. F80.2) erfolgte nach den Kriterien der ICD-10. Die Sprachstörung wurde mit Untertests des Heidelberger Sprachentwicklungstests/HSET [19], die sich zur Erfassung von Sprachstörungen als besonders geeignet erwiesen haben [32], operationalisiert. Die Werte im Untertest „Imitation grammatischer Strukturformen – IS“ und/oder „Verstehen grammatischer Strukturformen – VS“ mussten $1\frac{1}{2}$ Standardabweichungen unterhalb der Altersnorm und unterhalb des nonverbalen IQ liegen. Da der HSET nur bis zum Alter von 9 Jahren normiert ist, wurden auch für die 10- und 11-jährigen Kinder die Normen für 9-jährige herangezogen. Wie bei den meisten sprachentwicklungsstörten Kindern, so war auch bei denen dieser Studie die Sprachproduktion (T-Wert „IS“: $25,4 \pm 7,7$) deutlich stärker als das Sprachverständnis beeinträchtigt (T-Wert „VS“: $40,9 \pm 5,7$).

Zum Ausschluss peripherer Hörstörungen wurde eine Screening-Reintonaudiometrie in drei Frequenzbereichen (250, 1000, 6000 Hz) durchgeführt. Kinder mit einer Hörschwelle über 25 dB HL wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen. Die Bestimmung des nonverbalen IQ erfolgte mit der sprachfreien Skala (NV) der Kaufman-Assessment-Battery for Children/K-ABC [26].

Für die Untersuchung auf auditive Wahrnehmungsstörungen wurde eine Testbatterie aus nonverbalem und verbalen Verfahren zusammengestellt (Details zu den einzelnen Verfahren bei [14, 20]). Außerdem wurden die Lautdifferenzierungs- und die auditive Merkfähigkeit überprüft (Tab. 2).

Zur Erfassung der Differenzierungsfähigkeit von Tonhöhe, Lautstärke, Tondauer und Tonomuster standen uns keine bereits von anderen Arbeitsgruppen eingesetzten Methoden zur Verfügung, so dass eigene Aufgabenserien zusammengestellt wurden. Dazu wurden jeweils 60 Ton- bzw. Musterpaare, die entweder gleich waren oder unterschiedlich stark ausgeprägte Differenzen und damit unterschiedliche Schwierigkeitsgrade aufwiesen, generiert und den Kindern über DAT-Rekorder angeboten. Bei der

Tab. 1 Beschreibung der Kindergruppen (Signifikanzberechnung auf Gruppenunterschiede mittels t-Test für unabhängige Stichproben, zweiseitige Fragestellung)

	N	Geschlecht (Jungen/Mädchen)	Alter (Jahre; Monate) MW \pm SD Min.-Max.	Sign.-Niveau (p-Wert)	NV-IQ (K-ABC) MW \pm SD Min.-Max.	Sign.-Niveau (p-Wert)
Kontrollgruppe	52	31/21 60%/40%	9;1 \pm 0;11 7;7 – 11;6	0,077	107 \pm 10 87 – 129	0,036
SES-Gruppe	23	17/6 74%/26%	9;8 \pm 1;4 7;7 – 11;6		102 \pm 9 87 – 119	

Tab. 2 Neuropsychologische Testbatterie zur Erfassung der auditiven Wahrnehmungsfähigkeit

- Differenzierung von Tönen - Tonhöhdifferenzierung - Lautstärkendifferenzierung - Mustererkennen - Erkennen von Tondauerunterschieden	
- Differenzierung von Alltagsgeräuschen - Erkennen von Einzelgeräuschen - Figur-Grund-Wahrnehmung	
- Differenzierung „sensibilisierter“ Sprache - Spracherkennen im Störgeräusch - Zeitkomprimierte Sprache - Sprache mit Frequenzbegrenzung (obere bzw. untere Grenzfrequenz 1500 Hz) - binaurale Summation	
- Lautdifferenzierung - auditive Merkfähigkeit - Zahlenfolgen - Kunstwörter	

Testdurchführung hatten diese die Tonpaare hinsichtlich „gleich“ bzw. „ungleich“ zu beurteilen.

Die Aufgaben zur Differenzierung von Alltagsgeräuschen wurden uns von Heinemann (unveröffentlicht) zur Verfügung gestellt. Im Subtest „Einzelgeräusche“ waren mittels Rekorder vorgespielte Geräusche (Kirchturmglöckle, Fahrradklingel usw.) Bildern zuzuordnen und im Subtest „Figur-Grund-Wahrnehmung“ aus einem Geräuschgemisch einzelne zu identifizieren und zu benennen (Zähne putzen, Gurgeln usw.).

Häufig eingesetzte Testverfahren zur Erfassung auditiver Wahrnehmungsstörungen sind Tests mit „sensibilisierter“ Sprache. Hiervon gibt es zahlreiche Varianten, von denen sich bislang keine allgemein durchgesetzt hat. In der vorliegenden Studie wurden einzelne Verfahren der Westra Digital Audiometric Discs [41] benutzt. Zur Beurteilung der Hörfähigkeit im Störgeräusch wurde der Göttinger Kindersprachverständnistest II (Westra CD Nr. 4) über einen Lautsprecher, der sich im Abstand von einem Meter vor dem Kind befand, vorgespielt. Als Störgeräusch wurde ein weißes Rauschen gleicher Lautstärke (60 dB) aus einem Lautsprecher einen Meter hinter dem Kind verwendet. In einem weiteren Test hatten die Kinder zeitkomprimierte Sprache zu erkennen. Die Wörter dieses Tests waren durch eine digitale Bearbeitung beschleunigt worden, ohne die Frequenzen zu verzerrn (Westra CD Nr. 18). In zwei weiteren Tests erhielten die Kinder die Aufgabe, hoch- bzw. tiefpassgefilterte Wörter zu erkennen (untere bzw. obere. Grenzfrequenz 1500 Hz). Diese frequenzduzierten Wörter wurden im Test „Binaurale Summation“ gleichzeitig dem rechten (untere Grenzfrequenz 1500 Hz) und linken (obere Grenzfrequenz 1500 Hz) Ohr angeboten und waren wiederum vom Kind zu identifizieren und zu benennen (Westra CD Nr. 18).

Zur Überprüfung der Lautdifferenzierungsfähigkeit wurden mit einem Computerprogramm ([6] Untertest „Zwillinge“) Wörter vorgespielt. Auf dem Bildschirm erschienen gleichzeitig zwei Bilder (Minimalpaare, die sich nur in einem Laut unterschieden) und das Kind hatte auf das zugehörige Bild zu zeigen (insgesamt

102 Aufgaben in 8 Blöcken). Bewertet wurde der Prozentsatz richtig benannter Bilder.

Die auditive Merkfähigkeit wurde mit dem Test „Nachsprechen von Kunstwörtern“ [31] und dem Untertest „Zahlenfolgen“ aus dem K-ABC [26] erfasst.

Die Untersuchungen verteilten sich auf zwei Termine. Zwischen den einzelnen Testteilen wurden Pausen eingelegt, deren Länge sich nach den Bedürfnissen des Kindes richtete. In der zur Verfügung stehenden Zeit konnte von den Kindern nicht die gesamte Testbatterie absolviert werden. Da aber jeweils andere Testbausteine fortgelassen wurden, liegen für alle Bereiche ausreichend viele Untersuchungsergebnisse vor.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS.

Ergebnisse

In Tab. 3 sind die für die einzelnen auditiven Bereiche erhaltenen Mittelwerte und deren Standardabweichungen aufgeführt. Ein Mittelwertsvergleich zwischen den Gruppen ist jedoch von geringer Aussagekraft, da Ergebnisse in auditiven Wahrnehmungstests altersabhängig sind und die Gruppen sich signifikant im Alter unterscheiden (Tab. 1). Bei der Interpretation ist auch zu berücksichtigen, dass Gruppendifferenzen hinsichtlich der Intelligenz bestehen. Nach den Erfahrungen mit anderen neuropsychologischen Tests ist nicht auszuschließen, dass Ergebnisse der Untersuchung auditiver Wahrnehmungsbereiche durch die Intelligenz beeinflusst werden. Eine Aussage darüber, ob sprachentwicklungsstörte Kinder auditive Schwächen aufweisen, ist somit nur möglich, wenn bei der statistischen Analyse neben dem Alter der Kinder auch das Intelligenzniveau in die Berechnung eingeht.

Zur genaueren Datenanalyse erfolgte in einem ersten Schritt eine Überprüfung der Werte auf Normalverteilung. Diese ergab, dass eine solche bei den meisten Zielvariablen nicht gegeben war. Normalverteilung konnte auch durch eine Transformation nicht befriedigend erreicht werden. Ein Gruppenvergleich mit parametrischen Verfahren ist somit nicht möglich. Um zu klären, ob Sprachentwicklungsstörungen mit Defiziten in der auditiven Wahrnehmung einhergehen, wurde deshalb eine ordinale Regressionsanalyse mit der Gruppenzuordnung als Faktor und den Ergebnissen in den auditiven Tests als abhängige Variable durchgeführt. Alter und Intelligenz wurden als Kovariaten in die Berechnung einbezogen. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens ist Ordinalskalenniveau, weshalb vor der Regressionsberechnung eine Umkodierung der Originalwerte in solche auf einer 5-stufigen Skala vorgenommen wurde. Die Anzahl der Signifikanzberechnungen fand durch eine Alpha-Korrektur nach Bonferroni Berücksichtigung.

Wie aus Tab. 3 zu entnehmen ist, sind bei den Kindern mit einer Sprachentwicklungsstörung signifikante Schwächen lediglich in den Bereichen der auditiven Merkfähigkeit und in einigen Lautdifferenzierungsaufgaben nachweisbar.

Tab. 3 Nonverbale und verbale auditive Wahrnehmungs-, Lautdifferenzierungs- sowie auditive Merkfähigkeit bei Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörungen (Anzahl richtiger Antworten: Mittelwerte und Standardabweichung sowie Ergebnisse der Signifikanzberechnung mittels ordinaler Regression mit den Kovariaten Alter und IQ und Alpha-Korrektur nach Bonferroni)

Test		Mittelwerte und Standardabweichungen				Ergebnisse der ordinalen Regression	
		Kontrollgruppe		Gruppe sprachgestörter Kinder		Sign.	Sign. nach α -Korrektur
		N	M + SD	N	M + SD	p-Wert	
nonverbale Tests	Tonhöhendifferenzierung	33	57,9 ± 3,1	11	54,2 ± 6,8	0,077	n.s.
	Lautstärkendifferenzierung	15	57,9 ± 2,2	10	56,7 ± 2,1	0,047	n.s.
	Mustererkennen	45	56,7 ± 8,2	9	54,3 ± 7,1	0,326	n.s.
	Erkennen von Tondauerunterschieden	45	54,4 ± 5,3	15	49,4 ± 8,1	0,007	n.s.
	Geräuscherkennen (Einzelgeräusche)	51	25,0 ± 0,9	23	25,1 ± 1,1	0,790	n.s.
„sensibilisierte“ Sprache	Geräuscherkennen (Figur-Grund)	51	13,9 ± 2,6	21	15,6 ± 2,4	0,028	n.s.
	Spracherkennen im Störgeräusch	50	45,1 ± 2,8	23	43,9 ± 4,7	0,507	n.s.
	zeitkomprimierte Sprache	49	33,1 ± 3,2	49	35,3 ± 2,1	0,043	n.s.
	obere Grenzfrequenz 1500 Hz	52	10,7 ± 3,2	13	15,2 ± 2,5	0,381	n.s.
	untere Grenzfrequenz 1500 Hz	52	6,9 ± 2,4	13	6,4 ± 6,0	0,000	sign.
Laudifferenzierung (Prozent richtige Antworten)	b, p - d, t		95,5 ± 7,5		89,7 ± 8,5	0,004	n.s.
	b, p - k, g		92,9 ± 6,9		83,7 ± 12,8	0,010	n.s.
	d, t - k, g Anlaut		98,6 ± 3,3		96,4 ± 3,8	0,010	n.s.
	d, t - k, g In- und Auslaut	51	95,9 ± 6,0	15	87,7 ± 7,6	0,000	sign.
	f, pf, w - s Anlaut		99,6 ± 2,6		98,9 ± 4,4	0,466	n.s.
	f, pf, w - s In- und Auslaut		95,3 ± 8,3		92,5 ± 7,2	0,104	n.s.
	l - r		97,7 ± 4,2		94,2 ± 6,8	0,060	n.s.
	s - sch		98,4 ± 3,7		92,0 ± 6,8	0,001	sign.
auditive Merkfähigkeit	Kunstwörter	32	9,3 ± 2,6	21	7,1 ± 1,7	0,000	sign.
	Zahlenfolgen (RW)	51	11,5 ± 2,1	23	9,4 ± 2,1	0,000	sign.

Tab. 4 Korrelationen zwischen nonverbaler und verbaler auditiver Wahrnehmungs-, Lautdifferenzierungs- sowie auditive Merkfähigkeit und Fähigkeiten in Sprachproduktion (Untertest „Imitation grammatischer Strukturformen“ des HSET) und Sprachverständnis (Untertest „Verstehen grammatischer Strukturformen“ des HSET)
(Korrelation nach Spearman, * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$, Alpha-Korrektur nach Bonferroni)

Test		Verstehen grammatischer Strukturen		Imitation grammatischer Strukturen	
		r _{Sp}	Sign. nach α -Korr.	r _{Sp}	Sign. nach α -Korr.
nonverbale Tests	Tonhöhendifferenzierung	0,281	n.s.	0,562*	n.s.
	Lautstärkendifferenzierung	0,059	n.s.	0,155	n.s.
	Mustererkennen	0,006	n.s.	-0,010	n.s.
	Erkennen von Tondauerunterschieden	0,389	n.s.	0,627**	sign.
	Geräuscherkennen (Einzelgeräusche)	-0,081	n.s.	-0,293	n.s.
„sensibilisierte“ Sprache	Geräuscherkennen (Figur-Grund)	-0,136	n.s.	0,009	n.s.
	Spracherkennen im Störgeräusch	0,195	n.s.	0,349	n.s.
	zeitkomprimierte Sprache	0,273	n.s.	0,054	n.s.
	obere Grenzfrequenz 1500 Hz	0,255	n.s.	-0,201	n.s.
	untere Grenzfrequenz 1500 Hz	-0,088	n.s.	-0,185	n.s.
Laudifferenzierung (Prozent richtige Antworten)	binaurale Summation	0,170	n.s.	0,090	n.s.
	b, p - d, t	0,510*	n.s.	0,407	n.s.
	b, p - k, g	0,302	n.s.	0,736***	sign.
	d, t - k, g Anlaut	0,627**	sign.	0,336	n.s.
	d, t - k, g In- und Auslaut	0,530*	n.s.	0,365	n.s.
	f, pf, w - s Anlaut	-0,093	n.s.	0,264	n.s.
	f, pf, w - s In- und Auslaut	-0,032	n.s.	0,032	n.s.
	l - r	0,200	n.s.	-0,074	n.s.
Auditive Merkfähigkeit	s - sch	0,284	n.s.	0,708***	sign.
	Kunstwörter	0,372	n.s.	0,317	n.s.
	Zahlenfolgen (RW)	0,248	n.s.	0,725***	sign.

Hinsichtlich der nonverbalen und verbalen auditiven Wahrnehmungsfähigkeit waren die Ergebnisse widersprüchlich. Keine Gruppenunterschiede wurden in der Tonhöhendifferenzierung, dem Erkennen von Tonmustern, Einzelgeräuschen, Sprache im Störgeräusch und Sprache mit einer Begrenzung im oberen Fre-

quenzbereich gefunden. Unterschiede bei der Identifikation von Lautstärken- und Tondauerunterschieden, von Alltagsgeräuschen in einem Geräuschgemisch (Figur-Grund-Wahrnehmung) sowie von zeitkomprimierter Sprache wurden nach Alpha-Korrektur nicht mehr als statistisch signifikant ausgewiesen. Nach

Alpha-Korrektur blieben signifikante Gruppendifferenzen lediglich bestehen bei der Identifikation von frequenzreduzierter Sprache (Begrenzung im unteren Frequenzbereich) mit schlechteren Ergebnissen der sprachentwicklungsgestörten Kinder und im Test „Binaurale Summation“, in welchem die Kinder der Kontrollgruppe schlechtere Leistungen erreichten.

Die Beziehung zwischen rezeptiven bzw. expressiven Sprachleistungen und der auditiven Wahrnehmungsfähigkeit wurde unabhängig von der diagnostischen Zuordnung der Kinder mittels Korrelationsberechnung nach Spearman beurteilt (Tab. 4). Zwischen Sprachverständnis und auditiven Parametern fand sich nach Alpha-Korrektur lediglich in einem Bereich der Lautdifferenzierung eine signifikante Korrelation. Die Leistungen in der Sprachproduktion hingegen korrelierten außer mit einigen Dimensionen der Lautdifferenzierung auch mit der Merkfähigkeit für Zahlenfolgen und dem Erkennen von Tondauerunterschieden.

Diskussion

Die auditive Wahrnehmung wird bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen am aussagefähigsten mit nonverbalen Methoden untersucht. Verbale Tests erlauben beim Nachweis von Minderleistungen keine eindeutigen Rückschlüsse auf auditive Wahrnehmungsschwächen. Wenn im Test Laute, Silben oder Wörter zu differenzieren sind, können Defizite sowohl durch basale auditive Schwächen als auch durch spezifisch sprachliche Verarbeitungsprobleme bedingt sein. In der vorliegenden Studie wurden als nonverbale Tests Aufgaben zur Tondifferenzierung (Tonhöhe, Lautstärke, Tonmuster, Tondauer) und zum Erkennen von Alltagsgeräuschen (Einzelgeräusche, Differenzierung von Geräuschen in einem Geräuschgemisch) verwendet. Nonverbale auditive Tests haben allerdings den Nachteil, dass jüngere Kinder, auch wenn sie altersgerecht entwickelt sind, die Testinstruktionen nicht immer verstehen. Sie sind somit im Kindergartenalter kaum reliabel einsetzbar. Die Stichprobe dieser Studie beschränkt sich deshalb, wie die fast aller vergleichbarer Studien anderer Arbeitsgruppen, auf Kinder im Grundschulalter.

Wie die Ergebnisse zeigen, erreichen sprachentwicklungsgestörte Kinder in den meisten nonverbalen Tests im Mittelwert zwar etwas schlechtere Ergebnisse, doch ist die Differenz zur Kontrollgruppe gering. Die Gruppenunterschiede sind nach Alpha-Korrektur statistisch nicht signifikant und damit nicht als bedeutsam anzusehen. Auch zwischen nonverbalen auditiven Wahrnehmungsleistungen und rezeptiver sowie expressiver Sprachfähigkeit konnten kaum signifikante Beziehungen nachgewiesen werden. Lediglich das Erkennen von Tondauerunterschieden korrelierte deutlicher mit expressiven Sprachleistungen.

Insgesamt sprechen unsere Befunde somit gegen auditive Wahrnehmungsschwächen bei sprachentwicklungsgestörten Kindern. Defizite bei der Differenzierung von Tönen unterschiedlicher Tondauer weisen in Anbetracht fehlender Gruppendifferenzen bei den anderen nonverbalen auditiven Tests eher auf generelle Schwächen bei der Zeitwahrnehmung als auf primär auditive Störungen hin. Diese Ergebnisse korrespondieren mit denen von Tallal u. Mitarb. [36], die aufgrund ihrer Jahrzehntelangen Aus-

einandersetzung mit der Thematik modalitätsunabhängige Defizite bei der Zeitverarbeitung, nicht aber bei der auditiven Wahrnehmung annehmen.

Wenn es darum geht, Kinder auf auditive Wahrnehmungsstörungen hin zu untersuchen, kommen häufiger als nonverbale Verfahren Tests mit „sensibilisierter“ Sprache zum Einsatz. Nach dem Konsenspapier der deutschen Pädaudiologen [30] und dem der American Speech-Language-Hearing Association [3] sind diese zur Erfassung auditiver Wahrnehmungsstörungen besonders gut geeignet. In der vorliegenden Untersuchung wurden Aufgaben zum Erkennen von Störgeräusch überlagerter, zeitkomprimierter bzw. frequenzgefilterter Sprache sowie zum Spracherkennen bei binauraler Summation eingesetzt. Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen zeigten in einem dieser Tests (Sprache mit einer unteren Grenzfrequenz von 1500 Hz) eine signifikant schlechtere und in einem anderen eine signifikant bessere Leistung (Binaurale Summation). Da diese Ergebnisse nicht mit der Korrelationsanalyse, die keinerlei Zusammenhänge zwischen expressiver bzw. rezeptiver Sprachfähigkeit und Leistungen in einem oder mehreren dieser Sprachtests erkennen ließ, übereinstimmen, sind sie kaum weitreichend interpretierbar. Insgesamt sprechen diese Untersuchungsergebnisse somit gegen einen Zusammenhang zwischen der Fähigkeit zum Erkennen von „sensibilisierter“ Sprache und Sprachentwicklungsstörungen bzw. Sprachvermögen und damit gegen auditive Wahrnehmungsstörungen bei sprachentwicklungsgestörten Kindern.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen in nonverbalen auditiven Tests und solchen mit „sensibilisierter“ Sprache zeigten die von uns untersuchten Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen in einzelnen Aufgaben zur Lautdifferenzierung signifikante Schwächen. Auch waren zwischen Lautdifferenzierungsfähigkeit und Sprachleistungen bedeutsame Korrelationen zu beobachten. In Verbindung mit den oben genannten Ergebnissen sind diese Befunde aber nicht als Beleg für auditive Wahrnehmungsstörungen, sondern als Ausdruck sprachspezifischer Schwäche zu interpretieren. In die gleiche Richtung deuten mit neurophysiologischen Methoden erhobene Befunde. Sprachentwicklungsgestörte Kinder zeigen Auffälligkeiten bei der automatischen Analyse von Silben (erniedrigte Amplitude der Mismatch Negativity), nicht jedoch bei der von Tönen unterschiedlicher Frequenz bzw. Tondauer [37]. Defizite in der Lautdiskrimination sind bei sprachentwicklungsgestörten Kindern bereits mehrfach beschrieben worden. Sie sind für das Sprachverstehen insbesondere bei solchen Phonemen von Bedeutung, die in der Alltagssprache verschliffen ausgesprochen werden. Nach Auffassung von Leonhard u. Mitarb. [24] fällt es sprachentwicklungsgestörten Kindern deshalb schwer, morpho-syntaktische Merkmale am Wortauslaut zu identifizieren, was den Dysgrammatismus dieser Kinder erklären.

Die deutlichsten Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und der Gruppe der Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen zeigten sich hinsichtlich der auditiven Merkfähigkeit. Sprachgestörten Kindern gelang es signifikant schlechter, Kunstwörter und Zahlenfolgen nachzusprechen. Vergleichbare Ergebnisse wurden in der Literatur wiederholt mitgeteilt [4,11,17,18]. In einer Faktorenanalyse konnten Schöler u. Mitarb. [31] bei sprachentwicklungsgestörten Kindern neben Faktoren für sprachliches Können,

sprachliches Wissen und intellektuelle Leistungsfähigkeit einen Faktor für phonologisches Arbeitsgedächtnis isolieren, der sich aus den Variablen „Zahlnachsprechen vorwärts“, „Zahlnachsprechen rückwärts“, „Wiedergabe von Wortlisten“, „Diskriminieren von Rhythmen“ und „Strukturieren von Geschichten“ zusammensetzte.

In unserer Untersuchung korrelierte das Zahnenfolgegedächtnis hoch signifikant mit der expressiven Sprachleistung. Über vergleichbare Korrelationen wurde auch von Grimm [18] und Kushnir u. Blake [22] berichtet. Die auditive Merkfähigkeit erklärte bei jüngeren Kindern 44% der Varianz der Äußerungslänge [10]. Sie erwies sich auch als wichtigster Prädiktor für die frühe Sprachentwicklung [2].

Im Gegensatz zur auditiven Merkfähigkeit ist die visuelle bei sprachentwicklungsstörten Kindern unauffällig [4,31,2].

Defizite in der auditiven Merkfähigkeit werden recht unterschiedlich interpretiert. Zum einen wird diskutiert, ob eine auditive Merkfähigkeitsschwäche Ursache der Sprachstörung sei. Kinder mit einer verminderten Merkspanne könnten nur kurze Ausschnitte aus Sätzen im Arbeitsgedächtnis speichern und hinsichtlich ihrer morphologischen und syntaktischen Struktur analysieren. Dadurch falle es ihnen schwer, grammatischen Regeln, die den Satz als Ganzes betreffen, zu entnehmen und ein persistierender Dysgrammatismus sei die Folge [31].

Von anderen Autoren werden Merkfähigkeitsschwächen eher als Folge von Sprachentwicklungsstörung angesehen. Bishop [7] erklärt Defizite in der auditiven Merkfähigkeit mit einer zu langsam Verarbeitungsgeschwindigkeit. Bei verzögert ablaufender phonologischer Kodierung können in einer festgelegten Zeitspanne entsprechend weniger Inhalte im Arbeitsspeicher abgelegt werden, so dass die Kinder in Merkfähigkeitstests schlechter abschneiden. Amorosa [5] beschreibt bei sprachgestörten Kindern Defizite bei der Umwandlung von Lauten in Sprechmuster und erklärt damit deren Minderleistungen bei der Aufnahme verbaler Informationen in den Arbeitsspeicher. Beim Memorieren werden zu speichernde Inhalte mehrfach innerlich gesprochen (Rehearsal). Wenn dies nur mühsam gelingt, so äußere es sich in Defiziten der auditiven Merkfähigkeit [18].

Signifikant schlechtere Leistungen beim Nachsprechen oder Erinnern von Kunstwörtern und Zahlen sind somit nicht unbedingt Zeichen für ein eingeschränktes Arbeitsgedächtnis, sondern könnten auch Folge sprachspezifischer Defizite sein. Um eine Abgrenzung zwischen Merkfähigkeits- und sprachspezifischer Schwäche vorzunehmen, werden bei uns derzeitig Untersuchungen mit sprachfreien akustischen Stimuli in Kombination mit neurophysiologischen Methoden durchgeführt.

Insgesamt fanden sich in unserer Untersuchung bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen keine Hinweise auf spezifische Schwächen im Bereich der auditiven Wahrnehmung. Die Bedeutung auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen für die Pathogenese von Sprachentwicklungsstörungen wird somit weit überschätzt. Defizite betreffen die zeitliche Analyse von Informationen und spezifisch sprachliche Fähigkeiten. Ob auditive Merkfähigkeitsschwächen sprachentwicklungsstörter Kinder

auf eine Beeinträchtigung des Arbeitsspeichers zurückzuführen oder sekundäre Folge der Sprachschwäche sind, muss offen bleiben. Für die Richtigkeit der Grundhypothese von Therapieverfahren zum Training auditiver Fähigkeiten bei sprachentwicklungsstörten Kindern gibt es derzeit keine ausreichenden empirischen Belege. Die Behandlung sollte sich demzufolge auf Übungen sprachlicher Fähigkeiten konzentrieren und nicht versuchen, an basalen auditiven Prozessen anzusetzen.

Literatur

- ¹ Adams AM, Gathercole SE. Phonological working memory and speech production in preschool children. *J Speech Hear Res* 1995; 38: 403–414
- ² Adams AM, Gathercole SE. Limitations in working memory: Implications for language development. *Int J Lang Commun Disord* 2000; 35: 95–116
- ³ American Speech-Language-Hearing Association (Hrsg). Central auditory processing: Current status of research and implications for clinical practice. *Am J Audiol* 1996; 5: 41–54
- ⁴ Amorosa H. Störungen des Kurzzeitgedächtnisses bei sprachentwicklungsstörten Kindern. *Fundamenta Psychiatrica* 1997; 11: 68–70
- ⁵ Amorosa H. Auffälligkeiten in der Sprechmotorik. In: Suchodoletz W von (Hrsg). Sprachentwicklungsstörung und Gehirn. W. Kohlhammer, München, 2000
- ⁶ Audiolog Version 2.0 – Computerprogramm zur Förderung der auditiven Funktionen. Copyright by Flexsoft, 1996
- ⁷ Bishop DVM. The underlying nature of specific language impairment. *J Child Psychol Psychiatry* 1992; 33: 3–66
- ⁸ Bishop DVM, Carlyon RP, Deeks JM, Bishop SJ. Auditory temporal processing impairment: Neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *J Speech Lang Hear Res* 1999a ; 42: 1295–1310
- ⁹ Bishop DVM, Bishop SJ, Bright P, James C, Delaney T, Tallal P. Different origin of auditory and phonological processing problems in children with language impairment: Evidence from a twin study. *J Speech Lang Hear Res* 1999b ; 42: 155–168
- ¹⁰ Blake J, Austin W, Cannon M, Lisus A, Vaughan A. The relationship between memory span and measures of imitative and spontaneous language complexity in preschool children. *Int J Beh Dev* 1994; 17: 91–108
- ¹¹ Botting N, Conti-Ramsden G. Non-word repetition and language development in children with specific language impairment (SLI). *Int J Lang Commun Disord* 2001; 36: 421–432
- ¹² Cacace AT, McFarland DJ. Central auditory processing disorder in school-aged children: A critical review. *J Speech Lang Hear Res* 1998; 41: 355–373
- ¹³ Dilling H, Mombour W, Schmidt MH. Internationale Klassifikation psychischer Störungen – ICD-10 Kapitel V (F). Verlag Hans Huber, Bern, 1993
- ¹⁴ Eberl B. Evaluation von nonverbalen Messverfahren zur Erfassung auditiver Wahrnehmungsstörungen. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2003
- ¹⁵ Elliott L, Hammer M, Scholl M. Fine-grained auditory discrimination in normal children and children with language-learning problems. *J Speech Hear Res* 1989; 32: 112–119
- ¹⁶ Frumkin B, Rapin I. Perception of vowels and consonant-vowels of varying duration in language impaired children. *Neuropsychol*. 1980; 18: 443–454
- ¹⁷ Gathercole SE, Baddeley AD. Phonological memory deficits in language disordered children: Is there a causal connection? *J Memory Lang* 1990; 29: 336–360
- ¹⁸ Grimm H. Störungen der Sprachentwicklung. Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen, 2003
- ¹⁹ Grimm H, Schöler H. Heidelberger Sprachentwicklungsstest (HSET). Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen, 1991
- ²⁰ Henger E. Evaluation von Testverfahren zur Diagnostik auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) mit Schwerpunkt auf der Sprachwahrnehmung. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2003

- ²¹ Karma K. Audilex: Computer and communication aids for people with special needs. CompAid, <http://www.compaid.fi/english/audilex-eng.htm>, 0907 2003
- ²² Kushnir CC, Blake J. The nature of the cognitive deficit in specific language impairment. First Language 1996; 16: 21–40
- ²³ Lauer N. Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen im Kindesalter. Grundlagen – Klinik – Diagnostik – Therapie. In: Springer L, Schrey-Dern D (Hrsg.). Forum Logopädie. Thieme, Stuttgart, 1999
- ²⁴ Leonhard LB, Eyer JA, Bedore LM, Grela BG. Three accounts of the grammatical morpheme difficulties of English-speaking children with specific language impairment. J Speech Hear Res 1997; 40: 741–753
- ²⁵ Ludlow CL, Cudahy EA, Bassich C, Brown GL. Auditory processing skills of hyperactive, language-impaired and reading-disabled boys. In: Laskey ZE, Katz J (Hrsg.). Central auditory processing disorders. Problems of speech, language, and learning. University Park Press, Baltimore, 1983
- ²⁶ Melchers P, Preuß U. Kaufman-Assessment Battery for Children von A. S. Kaufman und N. L. Kaufman. Deutschsprachige Fassung. Swets & Zeitlinger, Amsterdam, 1994
- ²⁷ Merzenich MM, Jenkins WM, Johnston P, Schreiner C, Miller SL, Tallal P. Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. Science 1996; 271: 77–81
- ²⁸ Minning S, Minning U. Praktischer Einsatz des Hörtrainings in der Therapie und Förderung. In: Minning S, Minning U, Rosenkötter H (Hrsg.). Auditiv Wahrnehmung und Hörtraining. AUDIVA, Kandern-Holzen, 2001
- ²⁹ Nickisch A, Heber D, Burger-Gartner J. Auditiv Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen bei Schulkindern. Diagnostik und Therapie. Verlag modernes lernen Borgmann KG, Dortmund, 2002
- ³⁰ Ptak M, Berger R, Deuster C von, Gross M, Lamprecht-Dinnesen A, Nickisch A, Radü HJ, Uttenweiler V. Auditiv Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen – Konsensus-Statement. HNO 2000; 48: 357–360
- ³¹ Schöler H, Fromm W, Kany W. Spezifische Sprachentwicklungsstörung und Sprachlernen – Erscheinungsformen, Verlauf, Folgerungen für Diagnostik und Therapie. In: Programm „Edition Schindele“. Heidelberg: Universitätsverlag C. Winter, Heidelberg, 1998
- ³² Suchodoletz W von, Höfler C. Stellenwert des Heidelberger Sprachentwicklungstests (HSET) in der Diagnostik von Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen. Z Kinder- Jugendpsychiat 1996; 24: 4–11
- ³³ Tallal P, Piercy M. Defects of non-verbal auditory perception in children with developmental aphasia. Nature 1973; 241: 468–469
- ³⁴ Tallal P, Stark R, Kallman C, Mellits D. A reexamination of some non-verbal perceptual abilities of language-impaired and normal children as a function of age and sensory modality. J Speech Hear Res 1981; 24: 351–357
- ³⁵ Tallal P. Fine-grained discrimination deficits in language-learning impaired children are specific neither to the auditory modality nor to speech perception. J Speech Hear Res 1990; 33: 616–617
- ³⁶ Tallal P, Galaburda AM, Llinás RR, Euler C von. Temporal information processing in the nervous system. Annals of the New York Academy of Sciences, 1993; 682
- ³⁷ Uwer R, Albrecht R, Suchodoletz W von. Automatic processing of tones and speech stimuli in specifically language impaired children. Dev Med Child Neurol 2002; 44: 527–532
- ³⁸ Veale TK. Targeting temporal processing deficits through Fast For-Word: Language therapy with a new twist. Language, Speech, and Hearing in Schools 1999; 30: 353–362
- ³⁹ Warnke F. Kinder mit verzögertem Laut- und Schriftsprachaufbau. In: Rosenkötter H, Minning S, Minning U (Hrsg.). Hörtraining und Klangtherapie. AUDIVA, Lörrach-Hausingen, 1997
- ⁴⁰ Weinert S. Prosodie – Gedächtnis – Geschwindigkeit: Eine vergleichende Studie zu Sprachverarbeitungsdefiziten dysphasisch-sprachgestörter Kinder. Sprache & Kognition 1996; 1–2: 46–69
- ⁴¹ Westra Digital Audiometric Disk. Westra Electronic GmbH, 1997
- ⁴² Wright BA, Bowen RW, Zecker SG. Nonlinguistic perceptual deficits associated with reading and language disorders. Curr Opin Neurobiol 2000; 10: 482–486