

# Die altersabhängige Lokalisationsfähigkeit bei Kindern im Alter von drei bis acht Jahren gemessen mit dem ERKI-System

Franziska Behnen<sup>1</sup>, Andrea Bohnert<sup>2,3</sup>, Katharina Schmidt<sup>1</sup>, Karsten Plotz<sup>1</sup>, Tobias Rader<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut für Hörtechnik und Audiologie (IHA), Jade Hochschule, Oldenburg

<sup>2</sup>Abteilung für Kommunikationsstörungen, Klinik für HNO-Heilkunde, Universitätsmedizin Mainz

<sup>3</sup>Abteilung für Audiologische Akustik, Klinik für HNO-Heilkunde, Universitätsmedizin Mainz

**Schlüsselwörter: Richtungshören, ERKI-Setup, altersabhängige Lokalisationsleistung**

## Einleitung

Das Richtungshören, also die Lokalisation von Schallquellen, ist ein wichtiger Bestandteil im alltäglichen Leben. Neben der visuellen Wahrnehmung, die nur auf einen bestimmten Blickwinkel beschränkt ist, können Geräusche aus beliebigen Richtungen lokalisiert werden. Bei gewöhnlicher Lokalisation, im Unterricht oder auch beim Spiel, ist das Richtungshören von großer Bedeutung (Kühnle, 2008; Geldermann, 2012). Rudimentäre Fähigkeiten zur Schalllokalisation können schon bei Säuglingen beobachtet werden (Northern, 2014). Ein funktionierendes Richtungshören ist daher schon bei kleinen Kindern wichtig. Daher sollte eine Überprüfung des Richtungshörens schon im Kindesalter möglich sein. Jedoch gibt es keine einheitliche und standardisierten Testverfahren für Kinder. Aufgrund dessen wird seit 2012 an der Jade Hochschule ein Diagnostikverfahren entwickelt, dass bei der Überprüfung des Richtungshörens bei Kindern eingesetzt werden soll. Dabei handelt es sich um das ERKI-System (Erfassung des Richtungshörens bei Kindern). Diese Studie evaluiert die Möglichkeit, das Richtungshörvermögen von Kindern ab drei Jahren mit Hilfe des ERKI-Systems zu überprüfen.

## Materialien und Methoden

Es nahmen 49 Kinder im Alter von 3;03 (Jahr; Monat) bis 8;08 an dieser Studie teil. Alle Probanden sind Patienten der Abteilung für Kommunikationsstörungen der Universitäts-HNO-Klinik Mainz. Es wurden zunächst Vortests wie Tonaudiometrie, Sprachaudiometrie, Tympanometrie und die Erfassung der otoakustischen Emissionen (OAE) durchgeführt. Die Kinder, die an der Studie teilnahmen wurden nach Einschlusskriterien wie gute Mitarbeit, gute Deutschkenntnisse und eine stabile Konzentration ausgewählt. Die gemittelten Hörschwellen aller Kinder lagen beim linken wie beim rechten Ohr zwischen 10 und 15 dB HL (für die Frequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz und 8000 Hz).

Abbildung 1 zeigt den allgemeinen Messaufbau des ERKI-Systems. In einem Bereich von  $\pm 90^\circ$  ist es möglich, die Lokalisation in einem Winkelabstand von  $5^\circ$  zu überprüfen. Diese geringe Auflösung wird mit Hilfe von fünf Lautsprechern an den Positionen  $\pm 90^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  und  $0^\circ$  und zusätzlichen 32 virtuellen Schallquellen erzielt. Diese werden über Lautsprecher-Pegeldifferenzen (engl.: loudspeaker level differences, LSLD) oder über Lautsprecher-Zeitdifferenzen (engl.: loudspeaker time differences, LSTD) generiert (Plotz und Schmidt, 2017). Bei dieser Studie werden Messungen im Bereich von  $\pm 75^\circ$  mit einer Winkelauflösung von  $15^\circ$  durchgeführt. Der Aufbau beinhaltet neben den drei realen Schallquellen bei  $\pm 45^\circ$  und  $0^\circ$  acht virtuelle Schallquellen. Verwendet wird hierbei die Berechnungsmethode der LSLD. Bei den verwendeten Lautsprechern handelt es sich zum einen um Aktivlautsprecher des Modells AT 965-S (zwei äußeren Lautsprecher) mit der Größe 31,5 cm x 31,5 cm x 32,0 cm. Zum anderen werden Passivlautsprecher des Modells AT 964-S mit einer Größe von 17,0 cm x 30,0 cm x 14,5 cm verwendet. Das System wird über das Audiometer AT900 von Auritec mit der Software „AT900“ betrieben. Die Probanden saßen in einem Abstand von 1 m zu den Lautsprechern. Die Ohren der Probanden sollten sich dabei auf der Höhe der äußeren Lautsprecher (Mittelpunkt der Lautsprechermembran) befinden. Die Kopfausrichtung des Kindes lag bei  $0^\circ$ . Während der Präsentation des Stimulus war eine Bewegung des Kopfes nicht erlaubt, um mögliche Vorteile durch Änderungen der interauralen Zeitdifferenzen (engl.: interaural time differences, ITD) und interauralen Pegeldifferenzen (engl.: interaural level differences, ILD) auszuschließen. Die Messungen wurden in einer Hörkabine mit den Maßen 3,60 m x 5,10 m x 2,60 m durchgeführt, die mit Teppichboden ausgelegt und durch schallabsorbierende Wände und Decken schallgeschützt war.

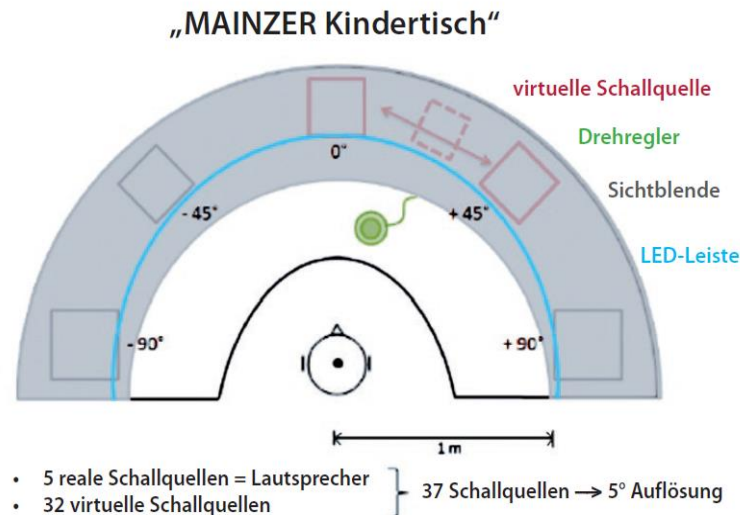


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbaus des ERKI-Setups. Als Grundlage dient der Mainzer Kindertisch mit 5 Lautsprechern in den Positionen  $\pm 90^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$  und  $0^\circ$ . Der Radius zur Versuchsperson beträgt 1 m. Als Sichtschutz dient ein schwarzer Akustikstoff. Mit Hilfe des Drehreglers und der LED-Lichtleiste kann der Winkel angewählt und bestätigt werden. (Bildquelle: Plotz und Schmidt, 2017)

Die Messung wurde in Testmessung und Hauptmessung eingeteilt. Die Testmessung galt der Erklärung des Messaufbaus sowie der Aufgabenstellung und beinhaltete neun Winkelpräsentationen. Die Aufgabe bestand darin, nach der Präsentation des Stimulus den Punkt der LED-Leiste mit Hilfe des Drehreglers in die Position zu drehen, aus der der wahrgenommene Schall kam. Für diese Messung wurde der 300 ms lange Ausschnitt /alors/ aus dem International Speech Test Signal (ISTS) verwendet (Holube et al., 2010).

Die Hauptmessung bestand aus verschiedenen Blöcken, die jeweils 22 Winkelpräsentationen beinhalteten – die elf Winkel im Bereich von  $\pm 75^\circ$  in  $15^\circ$ -Schritten plus einer Wiederholung dieser. Je nach Alter und nach Aufmerksamkeitsspanne, die subjektiv vom Versuchsleiter bewertet wurde, wurden bis zu fünf Blöcken, also max. 110 Winkelpräsentationen getestet. Jedoch wurden nach Ermüdungserscheinungen des Kindes bzw. nach einer Messdauer von 10 min die Messung beendet. Angelehnt an die Studie von Zheng et al. (2015) werden in dieser Studie bis zu 10 Winkelwiederholungen durchgeführt. Schmidt et al. (2017) führten eine Winkelwiederholung bei bimodal oder frühversorgten Erwachsenen durch und fanden eine große Streuung der Daten vor. Jedoch ist noch nicht klar, wie diese bei Kindern aussieht. Weiterhin können Kinder in manchen Momenten der Messung unkonzentriert sein. Dies kann dazu führen, dass sie nicht mehr wissen, wo das Geräusch herkam. Eine Wiederholung der Winkel ist sinnvoll, um sich der tatsächlichen Lokalisationsleistung anzunähern.

## Ergebnisse

Bei der Betrachtung der Ergebnisse und der Auswertung wurden von den insgesamt 49 Kindern 39 Datensätze einbezogen. Aufgrund von nicht ausreichender Konzentration und Mitarbeit, sowie Verständnisproblemen der Aufgabenstellung, konnten 10 Datensätze nicht betrachtet werden.

Die 39 Datensätze der unterschiedlich alten Kinder wurden dann in Altersklassen unterteilt. Diese richten sich unter anderem daran, dass bereits von Schmidt und Plotz u.a. Referenzwerte für die Altersstufen 6-7 Jahren bzw. 8-9 Jahren und 10-13 Jahren aufgenommen wurden. Die Einteilung erfolgte in folgende Altersklasse (AK) in der Schreibweise [Jahr;Monate] :

- AK 3<4: 3;05 – 3;11 (n=3)
- AK 4<5: 4;03 – 4;11 (n=9)
- AK 5<6: 5;00 – 5;11 (n=15)
- AK 6<8: 6;02 – 7;06 (n=10)
- AK ab 8: 8;06 – 8;08 (n=2)

Die Lokalisationsleistung wird im Folgenden in den verschiedenen AK betrachtet. In Anlehnung an die Darstellungsvariante von Zheng et al. (2015), werden die Ergebnisse in einem Blasendiagramm abgebildet. Dabei wird die angegebene Schallrichtung in Grad in Abhängigkeit der präsentierten Schallrichtung in Grad gezeigt. Für die Darstellung der Ergebnisse werden die Daten von allen einbezogenen Probanden (n=39) der Altersklasse für jeden Trial aus allen Blöcken betrachtet. In jeder Grafik ist eine Winkelhalbierende eingezeichnet, die eine ideale Lokalisationsleistung beschreibt. Die Größe der Blasen wird durch die Häufigkeit, wie oft ein bestimmter Winkel angegeben wurden geteilt durch die Anzahl der Trials berechnet. D.h., je größer ein Bubble, desto häufiger wurde dieser Winkel angegeben.

Weiterhin wurde die Interquartilsperiode (IQS) als ein Maß der Streuung betrachtet. Die folgende Tabelle zeigt die IQS über alle Winkel und für jede Altersklasse.

Tabelle 1: Auflistung der Interquartilsperiode (IQS) für jeden Winkel pro Altersklasse (AK) und die mittlere IQS über alle Winkel pro AK.

AK	Interquartilsperiode (IQS) pro Winkel											mittlere IQS
	-75°	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	
3<4	41	15	35	21	14	24	16	31	17	68	42	29,45
4<5	42	31	27	23	38	20	35	52	20	48	46	34,73
5<6	43	26,5	17	30	31,5	14,5	24	19	17	26,5	35	25,82
6<8	20	13	12	16	19	10	18	18	15	11	28	16,36
ab 8	31	16	19	16	14	2	14	15	10	17	45	18,09

### Lokalisationsfehler nach Altersklassen

Da für jede Altersklasse und für jeden Probanden eine individuelle Anzahl von Wiederholungen gemessen wurden, können die Blasendiagramme untereinander nicht verglichen werden. Daher wird zum Vergleich zwischen den Altersklassen der Lokalisationsfehler (LokFehler) betrachtet. Dieser berechnet sich durch den Betrag der Differenz von präsentierter Schallquelle (Sp) und angegebener Schallquelle (Sa) (siehe folgende Gleichung).

$$|LokFehler = Sp - Sa|$$

Die grafische Darstellung sowie die statistische Auswertung erfolgte mit Matlab 2016a. Es wurde der Kolmogorov-Smirnov Test zur Überprüfung einer Normalverteilung der Daten angewendet. Aufgrund eines nicht normalverteilten Datensatzes wurde dann der nichtparametrische Kruskal-Wallis Test angewendet. Zum Anpassen des Signifikanzniveaus wurde die Bonferroni-Methode gewählt.

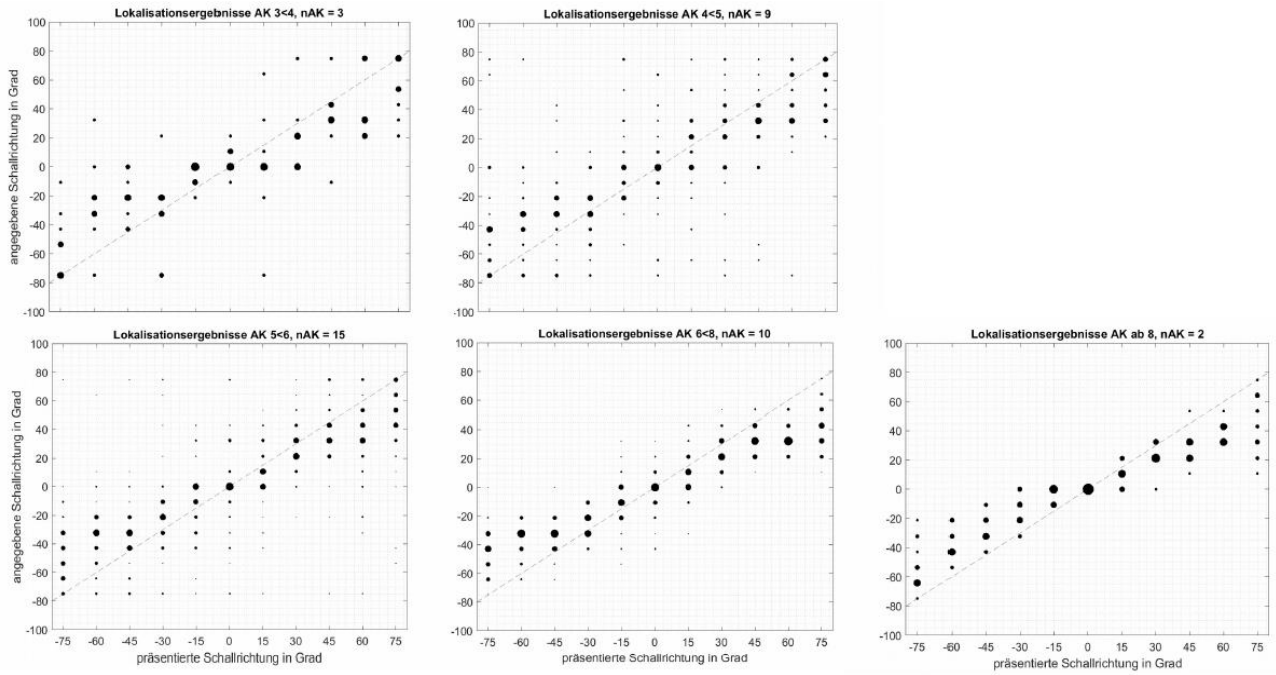


Abbildung 2: Lokalisationsergebnisse aller Altersklassen sind in Anlehnung an die Darstellungsvariante von Zheng et al. (2015) als Blasendiagramm dargestellt. Die angegebene Schallrichtung in Grad ist in Abhängigkeit der präsentierten Schallrichtung in Grad. Eine ideale Lokalisationsleistung wird durch die Winkelhalbierende (---) dargestellt.

Die Abbildung 3 zeigt den Lokalisationsfehler in Abhängigkeit der Altersklassen. Dabei wurden pro Proband in jeder Altersklasse zunächst der Median über alle Winkelwiederholungen gebildet. Dann wurde der Median über alle Trials bzw. Winkel gebildet, sodass nur ein Wert pro Proband vorlag. In der Abbildung ist ein Abfall des Lokalisationsfehlers mit Zunahme des Alters zu erkennen. Dieser Abfall wird auch durch eine negative Korrelation nach Spearman bestätigt ( $r = -0,597$ ,  $p \ll 0,001$ ). Es ergaben sich zudem signifikante Unterschiede in den Ergebnissen der Altersklassen AK 4<5 und AK 6<8 mit  $p < 0,05$ .

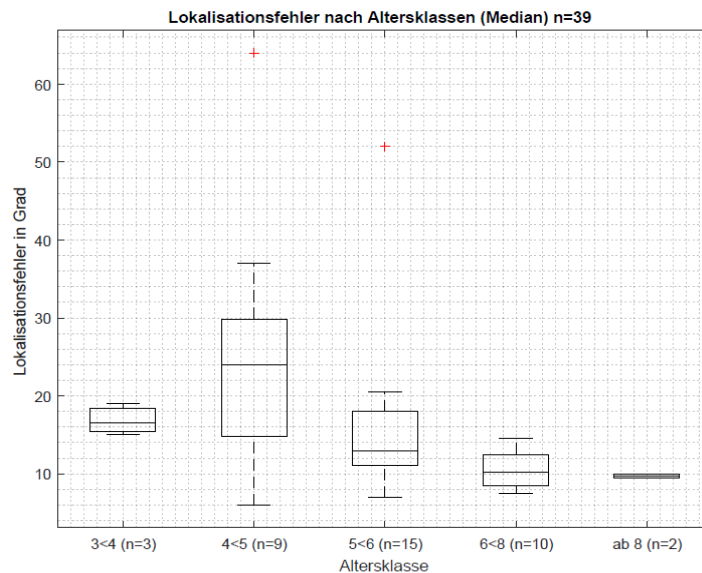


Abbildung 3: Darstellung des Lokalisationsfehlers in Grad in Abhängigkeit der Altersklassen. Pro Proband in jeder Altersklasse wurde zunächst der Median über alle Winkelwiederholungen gebildet. Dann wurde der Median über alle Trials bzw. Winkel gebildet, sodass nur ein Wert pro Proband vorlag.

## Anzahl der Winkelwiederholungen

Weiterhin zeigte diese Studie in Bezug auf die Winkelwiederholungen, dass mit zunehmendem Alter die Anzahl der Wiederholungen ansteigt (Spearman;  $r=0,75$ ;  $p<<0,001$ ). Dies ist in Abbildung 4 zu erkennen. Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Altersklassen AK 3<4 und AK 6<8 ( $p<<0,001$ ) und zwischen AK 4<5 und AK 6<8 ( $p<<0,001$ ).

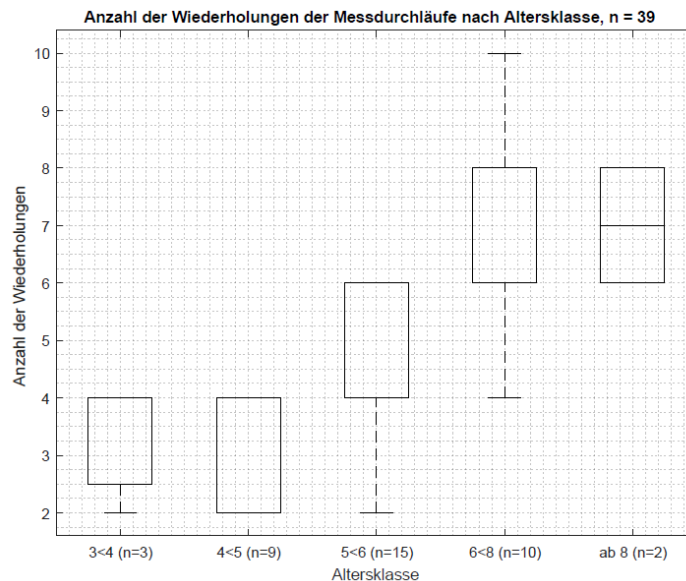


Abbildung 4: Darstellung der Anzahl der Winkelwiederholungen in Abhängigkeit der Altersklassen.

## Diskussion

Werden die Lokalisationsergebnisse der einzelnen Altersklassen betrachtet (s. Abbildung 2, sowie Abbildung 3) ist eine deutliche Abnahme des Lokalisationsfehlers mit höherer Altersklasse zu erkennen. Diese Abnahme ist jedoch erst ab der AK 4<5 zu sehen. Der geringe Lokalisationsfehler, sowie die geringe Streuung der Daten der AK 3<4 und AK ab 8 kann durch die geringe Probandenanzahl dieser Gruppe ( $n=3$ , bzw.  $n=2$ ) zustande gekommen sein.

Weiterhin zeigte sich eine negative Korrelation zwischen Lokalisationsfehler und Altersklasse, die eine altersabhängige Verbesserung des Lokalisationsfehlers, ab AK 4<5, bestätigt. Eine solche altersabhängige Lokalisationsleistung fand auch van Deun et al. (2009) heraus. Der Median der „mean absolute error“-Werte (MAE) betrug für vierjährige, normalhörende Kinder  $5^\circ$ , für fünfjährige  $2,5^\circ$  und für sechsjährige war dieser bei nahezu  $0^\circ$ . Auch Plotz weist auf einen altersabhängigen Zusammenhang zwischen der Entwicklung des Kindes und der Lokalisationsleistung hin (Plotz und Schmidt, 2017).

Eine weitere Betrachtung der Daten dieser Studie lässt erkennen, dass die Streuung der Daten mit zunehmendem Alter abnimmt (ausgenommen der AK 3<4). Während bei den vierjährigen Kindern eine enorme Streuung der Daten vorliegt, liegt bei den achtjährigen kaum eine vor. Jedoch ist auch hier zu beachten, dass die AK ab 8 eine geringe Probandenanzahl ( $n=2$ ) vorweist. Eine geringe Streuung der Daten der AK ab 8 kann auch an den Interquartilspannen (IQS) in der Tabelle 1 abgelesen werden. Hier ist eine deutliche Abnahme der IQS mit zunehmendem Alter zu sehen, wobei die AK 3<4 und AK 4<5, sowie die AK 6<8 und AK ab 8 ähnliche IQS aufweisen. Dies kann jedoch wiederum auf die geringe Anzahl der Probanden bei den AK 3<4 und AK ab 8 zurückzuführen sein.

Die Auswertung der Winkelwiederholungen pro Altersklasse (siehe Abb. 4) lässt erkennen, dass mit zunehmendem Alter eine höhere Anzahl an Winkeln gemessen werden kann. Grund dafür kann die Länge der Messung und die Konzentrationsfähigkeit sein. Kleinere Kinder neigen dazu, sich schneller ablenken zu lassen

oder nach einer bestimmten Zeit das Interesse an der Aufgabe zu verlieren. Daher ist es wichtig, die Aufgabenstellung und das Setup interessant zu gestalten und die Kinder zu motivieren.

Die Ergebnisse der Lokalisationsleistung bei Kindern zeigen, dass bei unterschiedlicher Methodik unterschiedliche Ergebnisse in verschiedenen Altersklassen auftreten. Interaktive Aufgaben, wie die ERKI-Methode oder auch in der Studie von Zheng et al. (2015) oder Johnstone et al. (2010) können oft nur von älteren Kindern (ab fünf Jahren) zur Erfassung von Lokalisationsleistungen zuverlässig verwendet werden. Johnstone beschreibt, dass sogar sechsjährige Kinder Probleme hatten, den entsprechenden Lautsprecher am Bildschirm anzuwählen. Die Auswahl und Bestätigung der Winkel mit Hilfe des Drehreglers stellte allerdings für Sechsjährige kein Problem dar. Jedoch zeigte sich bei den Messungen mit dem ERKI-Setup, dass jüngere Kinder (< fünf Jahre) teilweise Schwierigkeiten hatten, den Drehregler zu betätigen. Diese Schwierigkeiten bei interaktiven Aufgaben führen dann zu Messergebnissen, die nicht altersgerecht sind und nicht der wahren Lokalisationsleistung entsprechen. Denn es bedeutet nicht, dass Kinder unter fünf Jahren keine Schallquellen lokalisieren können, sondern nur, dass die Methode, wie die Antworten der Kinder erfasst und bestätigt werden, einen entscheidenden Einfluss auf die Messergebnisse hat. Grieco-Calub und Litovsky (2008) haben bereits Richtungshörtests mit 26-36 Monate alten Kindern erfolgreich durchführen können. Sie haben die Reaktionen der Kinder aufgenommen und diese später analysiert. Auch van Deun et al. (2009) zeigten, dass vierjährige Kinder ebenfalls Schallquellen lokalisieren können. Die hier vorgestellte Studie zeigt, dass die ERKI schon bei dreijährigen Kindern durchgeführt werden kann. Jedoch sollten die Mitarbeit und die Fähigkeit zur Teilnahme des Kindes individuell bewertet werden.

## Zusammenfassung

Ein Überprüfen des Richtungshörens von drei- und vierjährigen Kindern ist mit dem ERKI-System durchführbar. Eine Schwierigkeit in dieser jungen Altersgruppe bestand u.a. darin, die Aufgabenstellung zu vermitteln. Es sollte jedoch bei Messungen mit jungen Kindern bedacht werden, dass diese eine kürzere Aufmerksamkeitspanne als Erwachsenen aufweisen und leichter abgelenkt werden. Daher sollten die Mitarbeit des Kindes und die Konzentration individuell und während verschiedener Zeitpunkte der Messung überprüft werden. Ältere Kinder ab fünf Jahren weisen oftmals eine bessere Mitarbeit auf. Ein Testen des Richtungshörens führt bei ihnen zu zuverlässigeren Ergebnissen im Vergleich zu den jüngeren Probanden (< fünf Jahre). Auch die Auswahl und Bestätigung der wahrgenommenen Schallrichtung mit Hilfe des Drehreglers kann von fünfjährigen Kindern ausgeführt werden, wobei kleinere Kinder mitunter Probleme dabei hatten. Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass fünfjährige Kinder mehr Winkelwiederholungen in kürzerer Zeit absolvierten als drei- und vierjährige Kinder. Wie vermutet steigt auch die Lokalisationsgenauigkeit mit dem Alter an. Die Altersgruppe ab acht wies eine nahezu identische Lokalisationsgenauigkeit zu den Ergebnissen der Erwachsenen auf. Jedoch ist die geringe Probandenanzahl (n=2) zu beachten. Das ERKI-System stellt somit ein Diagnoseverfahren dar, das im klinischen Alltag und auch bei der Messung mit Kleinkindern verwendet werden kann.

## Literatur

Geldermann, C. (2012) Lokalisation von Phantomschallquellen am Mainzer Kindertisch zur Entwicklung eines Diagnoseverfahrens von Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. Bachelorarbeit. Jade Hochschule

Grieco-Calub, T., Litovsky, R. (2012) Spatial acuity in two-to-three-year-old children with normal acoustic hearing, unilateral cochlear implants and bilateral cochlear implants. In: *Ear and hearing* 33.5, S. 561-572

Holube, I., Fredelake, S., Vlaming, M., & Kollmeier, B. (2010) Development and analysis of an international speech test signal (ISTS). *International Journal of Audiology*, 49(12), 891-903.

Johnstone, P., Náblek, A. und Robertson, V. (2010) Sound localization skills of unilaterally hearing-impaired children. In: *Journal of the American Academy of Audiology* 21.8, S. 522-534

Kühnle, S., Fuchs, M. und Meuret, S. (2008) Entwicklung der Lokalisationsgenauigkeit bei hörgesunden sechs- bis zwölfjährigen Kindern für Rauschsignale im horizontalen Halbkreis. In: 25. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP), Düsseldorf.

Northern, J und Downs, M. (2014) Hearing in Children. Plural Publishing. S. 114-118

Plotz K., und Schmidt, K. (2017) Lokalisation realer und virtueller Schallquellen mit einem automatisierten Erweiterungsmodul am Mainzer – Kindertisch – Entwicklung des ERKI-Verfahrens. In: Zeitschrift für Audiologie 56.1, S. 6 – 18

Schmidt K., Bomke K., Rüdiger S., Radeloff A. und Plotz K (2017) Vergleich der Reproduzierbarkeit bei Lokalisationsmessungen nach einer Cochlear-Implant-Versorgung, gemessen am erweiterten Mainzer Kindertisch. In: 34. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie (DGPP)- Dreiländertagung, Bern.

Van Deun, L., Van Wieringen, A., Van den Bogaert, T (2009) Sound localization, sound lateralization, and binaural masking level differences in young children with normal hearing. In: Ear and hearing 30.2, S. 178-190

Zheng, Y., Godar, S. und Litovsky, R. (2015) Development of sound localization strategies in children with bilateral cochlear implant. In: PloS one 10.8