

## **UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback**

*Cornelia Heyde<sup>1</sup>, Joanne Cleland<sup>2</sup>, James Scobbie<sup>1</sup> & Zoe Roxburgh<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Queen Margaret Universität, Edinburgh, UK

<sup>2</sup> Strathclyde Universität, Glasgow, UK

### **1 Zusammenfassung**

In einer Interventionsstudie mit 20 Kindern wird die Effektivität von visuellem Ultraschall-Biofeedback in der Therapie verschiedener Sprechstörungen untersucht. Die Studie umfasst mehrere standardisierte Tests, um die Sprach- und Sprechfähigkeiten der Kinder vor, während und nach der sprachtherapeutischen Intervention (in multiplen Baselineerhebungen) zu erheben. Alle Teilnehmer waren zum Zeitpunkt der ersten Aufnahme zwischen 6 und 15 Jahren alt und wiesen Sprachentwicklungsstörungen mit einer persistierenden Symptomatik auf der phonologisch-phonetischen Ebene auf, die sich in einer Vielzahl von Konsonant- und Vokalfehlern widerspiegelten. Die Produktion der Ziellaute wurde an Übungswörtern trainiert und deren Genauigkeit anhand von ungeübten Wörtern (Kontrollwörtern) beobachtet und ausgewertet. Klinisch bedeutende Verbesserungen direkt im Anschluss und drei Monate nach Beendigung der Ultraschall-Biofeedback-Therapie werden im Vergleich zur den Aufnahmen vor Therapiebeginn vorgestellt.

### **2 Hintergrundinformation**

Ultraschall als Biofeedback-Tool bietet eine visuelle Unterstützung in der Sprachtherapie, indem die Zunge in Realzeit abgebildet wird. Besonders in der Therapie von (insbesondere persistierenden) Sprachentwicklungsstörungen gewinnt Ultraschall zunehmend an Popularität. Medizinische Standardultraschallgeräte werden verwendet, um die Zungenbewegungen (mit sagittalem/seitlichem oder koronalem/frontalem anatomischem Schnittbild; vgl. Abb. 1

und 2) in Realzeit aufzunehmen und darzustellen. Dies bietet dem Patienten (zusätzlich zu der propriozeptiven Wahrnehmung) visuelle Information über die Bewegung der Zunge, die hilft, die artikulatorische Koordinierung besser zu reflektieren und zu verstehen (Preston, Brick & Landi, 2013) und somit die zuvor fehlerhaft ausgeübte Artikulation von Lauten nun mit überarbeiteten, präziseren motorischen Programmen zu produzieren.

Schatten des Zungenbeins      Zungen-  
kontur      Schatten des Kieferknochen

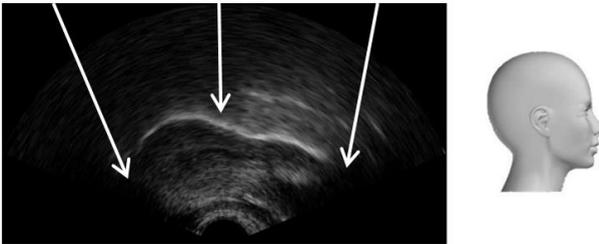


Abbildung 1. *Ultraschallbild mit sagittaler Perspektive*

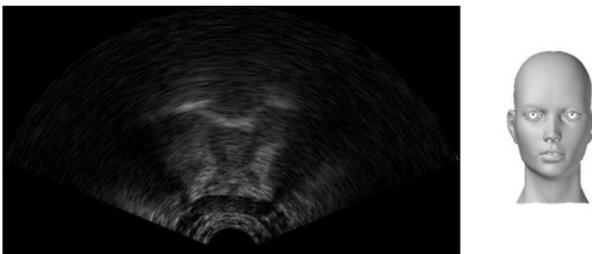


Abbildung 2. *Ultraschallbild mit koronaler Perspektive*

Wissenschaftlich ist der Nutzen von visueller Ultraschall-Biofeedback-Therapie bisher noch nicht ausreichend erwiesen – mit über 20 Einzelfall- oder kleineren Gruppenstudien jedoch recht vielversprechend. In vielen Fällen wird Ultraschall verwendet um

Heyde, C., Cleland, J., Scobbie, J., & Roxburgh, Z. (2017) UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback. *Spektrum Patholinguistik*, 10.

die verzögerte oder gestörte Produktion des Lautes /r/ zu untersuchen (vgl. Bacsfalvi, 2010; McAllister, Hitchcock & Swartz, 2014; Preston et al., 2015). In einigen neueren Studien wurde die Bandbreite der untersuchten Ziellaute erweitert. So wurde Ultraschall zum Beispiel für die Untersuchung von velaren und alveolaren Plosiven oder Sibilanten verwendet (Cleland, Scobbie & Wrench, 2015; Heng, McCabe, Clarke & Preston, 2016).

Die vorliegende Studie untersucht den Nutzen von Ultraschall in der visuellen Biofeedback-Therapie von heterogenen persistierenden Sprachentwicklungsstörungen bei Kindern. Die dieser Studie zugrundeliegende Annahme ist, dass Ultraschall-Biofeedback die Sprachproduktion bei vorliegender phonetischer Sprech- (z.B. Sigmatismus, Kappazismus oder Vokalstörungen), wie auch phonologischer Sprachstörung (z.B. Auslassung oder Reduktion, Alveolarisierung, Velarisierung) positiv beeinflusst. Zwei Stufen der Sprachlautentwicklung werden unterschieden: (1) der Erwerb, wenn ein Kind die Artikulation des Ziellautes erstmals erfolgreich realisiert und (2) die Generalisierung, wenn die neu erworbene artikulatorische Geste in unbekanntem Kontext produziert wird (Schmidt & Lee, 1999). Für die akustische wie auch die artikulatorische (Ultraschall-) Analyse der Daten wird die Produktion von Übungs- und Kontrollitems ausgewertet.

### 3 Methode

Zwanzig Kinder im Alter von 6;0 bis 15;0 Jahren mit persistierenden Sprachentwicklungsstörungen (ohne Anzeichen von anatomisch-strukturellen Anomalitäten), die die Produktion von Vokalen und/oder lingualen Konsonanten beeinflussen, haben an der Studie teilgenommen. Die Datenerfassung ist noch nicht abgeschlossen. Zum derzeitigen Zeitpunkt haben sechs Probanden die Therapie

abgeschlossen, fünf Probanden wurden von der Therapie ausgeschlossen und weitere neun Probanden befinden sich in der Endphase und werden bis voraussichtlich Februar 2017 die Therapie abschließen.

Die Studie ist eine Interventionsstudie mit multiplen Baseline-Erhebungen (Tab. 1), um den Entwicklungsstand vor, während und nach der Therapie zuverlässig feststellen zu können. Wortlisten (mit ungeübten Wörtern) wurden auf die Sprachentwicklungsstörung jedes Probanden individuell abgestimmt. Probanden wurden von der Teilnahme an der Studie ausgeschlossen, wenn sie bei den Aufnahmen vor Therapiebeginn (Baseline 1, 2 und 3) im Durchschnitt 20% oder mehr der Ziellaute in der unbehandelten Wortliste korrekt produzieren konnten. Parallel zu den Audiodaten wurden Ultraschalldaten der Zunge aufgenommen.

Während der Therapiephase wurde die Ultraschallsonde unter dem Kinn des Probanden mit einem Headset stabilisiert und das Ultraschallsignal wurde auf einen Bildschirm projiziert, wo es in Realzeit die Bewegungen der Zungenoberfläche (weiße Linie auf ansonsten schwarzem Hintergrund) abbildete. Eine Referenzlinie für den harten Gaumen wurde auf den Bildschirm gezeichnet, um einen visuellen anatomischen Kontext zu gewinnen, der die Interpretation der Zungenbewegung für Proband, wie auch Therapeut erleichterte. Diese Referenzlinie wurde benötigt, um selbst subtile artikulatorische Unterschiede, wie die von hohen und tiefen Vokalen oder von uvularen und velaren Konsonanten, sichtbar zu machen. Die Ultraschalldaten bieten dem Therapeuten Informationen über die Koordinierung der Zunge, was die Diagnose von Sprachfehlern erleichtert.

Heyde, C., Cleland, J., Scobbie, J., & Roxburgh, Z. (2017) UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback. *Spektrum Patholinguistik*, 10.

Tabelle 1

*Zeitverlauf und Inhalte der Therapie- und Baseline-Einheiten*

Baseline 1 - 3	Woche 1 - 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Diagnostic Evaluation of Articulation and Phonology (DEAP):</b> Bildbenanntest mit 50 Wörtern, die alle Konsonanten am Wortanfang und Wortende mit allen Vokalen kombinieren: zur Bestimmung des Ziellautes für die sprachtherapeutische Intervention</li> <li>• <i>Unbehandelte Liste: etwa 100 Wörter mit steigender Komplexität (CV, VC, CVC, CCVC bis zu mehrsilbigen Wörtern) und 10 Sätze, die den Ziellaut in verschiedenen Wortpositionen (Anfang, Mitte und Ende des Wortes) und in verschiedenen Vokalkontexten beinhalten; Wörter wurden gelesen oder nachgesprochen</i></li> <li>• <b>Intelligibility in Context Scale (ICS):</b> Fragebogen, der die Verständlichkeit der Kinder mit Personen im Familienkreis, wie auch mit unbekanntenen Personen widerspiegelt</li> </ul>	
Therapiephase 1	Woche 4 - 8
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 Einheiten visuelle Ultraschall-Biofeedback-Therapie</li> </ul>	
Midline	Woche 9
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DEAP (phonologischer Teil), unbehandelte Liste, ICS (siehe Baseline 1-3)</li> </ul>	
Therapiephase 2	Woche 10 - 14
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5 Einheiten visuelle Ultraschall-Biofeedback Therapie</li> </ul>	
Postline	Woche 15
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DEAP (phonologischer Teil), unbehandelte Liste, ICS (siehe Baseline 1-3)</li> </ul>	
Maintenance	Woche 30

- 
- DEAP (phonologischer Teil), unbehandelte Liste, ICS (siehe Baseline 1-3)
-

Heyde, C., Cleland, J., Scobbie, J., & Roxburgh, Z. (2017) UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback. *Spektrum Patholinguistik*, 10.

Während der Therapie (nicht jedoch während der Baseline-Aufnahmen) konnte der Proband die Oberflächenkontur seiner Zunge auf dem Ultraschallbildschirm sehen. Bewegungen der Zunge wurden in Realzeit mit hoher zeitlicher Auflösung (etwa 120 Bilder pro Sekunde) auf dem Bildschirm wiedergegeben. Diese visuelle Information über die Artikulation des Probanden wurde von dem Sprachtherapeuten genutzt, um Fehlartikulationen zu identifizieren und um diese mit dem Probanden gemeinsam zu korrigieren. Hierbei sollte die visuelle Darstellung dem Probanden ermöglichen, seine Artikulation unmittelbar zu modifizieren. Die Therapiemethode basierte auf den Prinzipien des motorischen Lernens (vgl. Cleland et al., 2015; Preston et al., 2013) mit Übungsitens, die motorisch zunehmend anspruchsvoller wurden (Tab. 2).

Tabelle 2

*Niveaus mit zunehmend komplexer werdender Motorik*

Level 0	CV oder VC erleichternde Vokale
Level 1	CV und VC
Level 2	CVC mit dem Ziellaut an Wortanfang und Wortende
Level 3	mehrsilbige Wörter
Level 4	Satzwiederholung mit dem Ziellaut an Wortanfang und Wortende
Level 5	Cloze Test (Vervollständigung von Sätzen)
Level 6	Cluster

---

**Level 7** komplexe Sätze wiederholen und ausdenken

---

Die Kinder begannen mit einem einfacheren Niveau und bei korrekter Produktion von 80 Prozent des individuell abgestimmten Ziellautes in den Übungsitens, wurde auf ein motorisch anspruchsvolleres Niveau gewechselt (z.B. von einsilbigen auf zweisilbige Wörter). Dieser schrittweise Ansatz erlaubte es uns zu beobachten, wie lange es im Durchschnitt dauerte, a) eine neue artikulatorische Geste zu erlernen und b) diese zu generalisieren und auch in ungeübten Wörtern (Kontrollitens) zu bilden. Insgesamt erhielt jedes Kind zehn Therapieeinheiten von 60min mit visuellem Ultraschall-Biofeedback mit drei vorangestellten Baseline-Aufnahmen, einer Zwischenstandsaufnahme (Midline) und zwei der Therapie folgenden Baseline-Aufnahmen, wovon eine direkt im Anschluss an die Therapie erfolgte (Postline) und die zweite drei Monate nach dem Ende der Ultraschall-Biofeedback Therapie (Maintenance), die der Nachhaltigkeitsreflektion (Tab. 1) dient.

#### **4 Analyse der Daten**

Bevor die Daten analysiert werden konnten, wurden sie von einem erfahrenen Sprachtherapeuten eng phonetisch transkribiert. Die Transkription wurde blind durchgeführt, was bedeutet, dass der Transkriptor keine Informationen darüber erhielt, zu welchem Zeitpunkt (ob vor, während oder nach der Ultraschall-Biofeedback Therapie) die Daten erhoben wurden. Für die Ziellaute wurde der Prozentsatz der korrekt produzierten Laute berechnet (Abb. 4). Für die Analyse der Ultraschalldaten wurden alle Wiederholungen eines Ziellautes annotiert – bei Plosiven die Öffnung des Verschlusses und bei Frikativlauten oder Sonoranten der akustische Mittelpunkt. Für jede Annotation wurde eine Linie (Spline), die der Zungenoberfläche nachempfunden ist, in das Ultraschallbild eingezeichnet. Für die Analyse wurden die verschiedenen Splines

Heyde, C., Cleland, J., Scobbie, J., & Roxburgh, Z. (2017) UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback. *Spektrum Patholinguistik*, 10.

verglichen – sowohl innerhalb einer Therapieeinheit, als auch über mehrere Therapieeinheiten hinweg (Abb. 3).

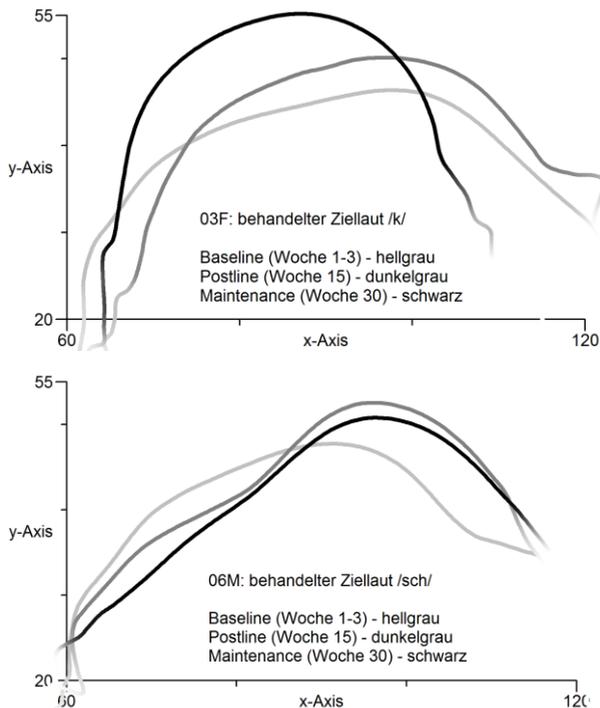


Abbildung 3. Splines der Zungenoberfläche (Zungenspitze rechts, Zungenwurzel links) für den Ziellaut /k/ (Sprecher 03F, oben) und /ʃ/ (Sprecher 06M, unten). Splines wurden für die Zeitpunkte vor, direkt nach und 3 Monate nach Therapie gemittelt.

So wurde anhand von Minimalpaaren (zum Beispiel /top/ - /cop/ bei Alveolarisierung) untersucht, (1) ob sich die artikulatorischen

Gesten für verschiedene Ziellaute (in diesem Fall /t/ und /k/) innerhalb einer Einheit unterschieden und (2) ob sich die artikulatorischen Gesten nach der Therapie im Vergleich zu vor der visuellen Ultraschall-Biofeedback-Therapie verbesserten. Die Abbildungen der Zungenkontur wurden so auf einen eventuellen verdeckten Kontrast, d.h., Covert Contrast (differenzierte Artikulation bei gleichem akustischem Lautbild) oder nicht-differenzierte Zungenkonturen untersucht (Gibbon, 1999).

## 5 Ergebnisse

Tabelle 3

*Prozentzahl der korrekt produzierten Ziellaute an sechs Zeitpunkten erhoben (d.h. vor der Intervention – BL1, BL2, BL3, während – MID, direkt im Anschluss an – POST und drei Monate nach Abschluss der Therapie – MAINT)*

Teilnehmer / Ziellaute	BL1	BL2	BL3	MID	POST	MAINT
01F - k	12,2	17,1	3,7	9,8	22,0	-
03F - k	1,2	2,4	1,2	18,3	29,3	59,8
04M - k	1,2	2,4	6,1	41,5	54,9	61,0
05M - ε	10,0	15,0	5,0	90,0	35,0	100,0
06M - j	0,0	2,4	0,0	0,0	61,9	88,1
07M - j	7,1	16,7	9,5	33,3	88,1	-
08M - s	0,0	0,0	0,0	1,7	32,0	37,1
10M - s	3,1	2,0	2,0	2,0	3,1	2,0
11M - k	0,0	2,4	1,2	1,2	0,0	0,0
15M - k	1,2	9,8	0,0	8,5	41,5	81,7
16M - s	0,0	0,0	0,0	32,7	87,8	72,4
17M - k	1,2	2,4	0,0	2,4	18,3	17,1
18F - s	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19M - j	2,4	9,5	7,1	64,3	69,0	28,6

Heyde, C., Cleland, J., Scobbie, J., & Roxburgh, Z. (2017) UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback. *Spektrum Patholinguistik*, 10.

20M - s	2,0	8,2	0,0	0,0	3,1	-
---------	-----	-----	-----	-----	-----	---

*\* in grau unterlegt sind Steigerungen der korrekt produzierten Ziellaute um 20% (im Vergleich zum Mittelwert der Baselineaufnahmen BL1, BL2, BL3)*

Die akustischen Ergebnisse der Probanden, die die Therapie bereits abgeschlossen haben, zeigen einen relativ schnellen Erwerb von neuen Artikulationen innerhalb der ersten Therapieeinheit mit Ultraschall-Biofeedback. Die Generalisierung dieser neu erlernten artikulatorischen Gesten auch auf ungeübte Kontrollwörter tritt hingegen etwas verzögert ein.

Von den Kindern, die die Postline (Aufnahme direkt nach der letzten Therapieeinheit) abgeschlossen haben, zeigten alle eine deutliche Verbesserung in der Anzahl der korrekt produzierten Ziellaute (Konsonanten oder Vokale). Im Durchschnitt konnte eine perzeptuelle Verbesserung von 37 Prozent im Vergleich zu den Aufnahmen vor Therapiebeginn beobachtet werden – mit weiterer Besserung in der Maintenance (Aufnahme drei Monate nach Abschluss der Therapie). Artikulatorisch deuten die bereits ausgewerteten Ultraschalldaten nicht auf Covert Contrasts (akustisch nicht wahrnehmbare Kontraste) in der Produktion der Minimalpaare hin. Stattdessen wurden nicht-differenzierte Zungenkonturen bei den Kindern mit Alveolarisierung und einige abnorme Zungenkonturen beobachtet. Die akustisch-perzeptiven Verbesserungen in der Postline spiegelten sich in signifikanten Veränderungen der Zungenkonfiguration wider.

## 6 Diskussion

Mit unserer Studie konnten wir einen vorläufigen Beleg für die Wirksamkeit von visuellem Ultraschall-Biofeedback in der Therapie

von Sprechlauten bei Kindern erbringen. Zu Beginn der Studie zeigten die Probanden eine Vielzahl an persistierenden Sprachentwicklungsstörungen. Mithilfe eines Headsets wurde die Position der Ultraschallsonde stabilisiert, was dazu führte, dass sich die Zunge in Bezug auf die palatal eingezeichnete Referenzlinie wesentlich stabiler verhielt. Weiterhin ermöglichte die Stabilisierung der Sonde den Vergleich von Zungenkonfigurationen zwischen mehreren Aufnahmen vor und nach der Ultraschall-Biofeedback Therapie. Die Analyse dieser Zungenkonfigurationen lässt eine Vielzahl an abnormen artikulatorischen Gesten, einschließlich der undifferenzierten Gesten, erkennen, was (zumindest für die Probanden dieser Studie) auf eine motorische Ursache der persistierenden Sprach-Laut-Störungen hinweist und der Diagnose „phonologische Störung“, mit der einige der Kinder an uns überwiesen wurden, entgegensteht.

## 7 Literatur

- Bacsfalvi, P. (2010). Attaining the lingual components of /r/ with ultrasound for three adolescents with cochlear implants. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 34(3), 206–217.
- Cleland, J., Scobbie, J. M. & Wrench, A., (2015). Using ultrasound visual biofeedback to treat persistent primary speech sound disorders. *Clinical Linguistics and Phonetics*, 29(8-10), 575–597.
- Gibbon, F. E. (1999). Undifferentiated lingual gestures in children with articulation/phonological disorders. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42(2), 382–397.

Heyde, C., Cleland, J., Scobbie, J., & Roxburgh, Z. (2017) UltraPhonix: Das Erlernen von artikulatorischen Gesten mit Ultraschall-Biofeedback. *Spektrum Patholinguistik*, 10.

Heng, Q., McCabe, P., Clarke, J. & Preston, J. L. (2016). Using ultrasound visual feedback to remediate velar fronting in preschool children: A pilot study. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 30(3-5), 382–397.

McAllister Byun, T. M., Hitchcock, E. R. & Swartz, M. T. (2014). Retroflex versus bunched in treatment for rhotic misarticulation: Evidence from ultrasound biofeedback intervention. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(6), 2116–2130.

Preston, J. L., Brick, N. & Landi, N. (2013). Ultrasound biofeedback treatment for persisting childhood apraxia of speech. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 22(4), 627–643.

Preston, J. L., McCabe, P., Rivera-Campos, A., Whittle, J. L., Landry, E. & Maas, E. (2014) Ultrasound visual feedback treatment and practice variability for residual speech sound errors. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 57(6), 2102–2115.

Schmidt, R. A. & Lee, T. D. (1999). *Motor Control and Learning* (3. Aufl.). Champaign, IL: Human Kinetics.

## **Kontakt**

Cornelia Heyde  
[cheyde@qmu.ac.uk](mailto:cheyde@qmu.ac.uk)