

# STIMMSCHALLANALYSE BEI SCHWERHÖRIGEN SÄUGLINGEN

Sebastian Möller\*, Rainer Schönweiler\*\*

\*Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum, email: moeller@aea.ruhr-uni-bochum.de

\*\*Klinik und Polyklinik für Phoniatrie und Pädaudiologie, Medizinische Hochschule Hannover

## KURZFASSUNG

In einem zweiteiligen Hörversuch wurde die auditive Unterscheidbarkeit der Schreie von hochgradig schwerhörigen und normalhörenden Säuglingen untersucht. Obwohl die meisten Versuchspersonen zu einer Klassifikation nicht in der Lage sind, scheinen Unterschiede zu existieren, die von geschulten Versuchspersonen als auffällig wahrgenommen werden. Attribute, die diese Unterschiede beschreiben, beziehen sich auf die Schreistimme, die Melodie und den emotionalen Zustand des Säuglings. Die Ergebnisse wurden mit signalanalytisch gewonnenen Parametern verglichen und lassen vermuten, daß sich die fehlende auditive Rückkopplung in einer modifizierten Lautformung und einer veränderten globalen Schreiecharakteristik bemerkbar macht.

## MOTIVATION

Die Früherkennung mittel- und hochgradiger Schwerhörigkeit bei Säuglingen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Obwohl die Lautäußerungen gesunder wie auch kranker Kinder in der Vergangenheit eingehend untersucht wurden (ein Rückblick findet sich z.B. in [8]), so ist doch wenig über die Vokalisationen schwerhöriger Säuglinge bekannt. Die meisten Untersuchungen beziehen sich dabei auf die Lallphase [1], [2]. Dies liegt darin begründet, daß selbst hochgradige Schwerhörigkeit häufig erst zu einem sehr späten Zeitpunkt diagnostiziert wird (> 2 Jahre). Bei rechtzeitig einsetzender Hörgeräteversorgung und lautsprachlicher Förderung sind aber nicht selten normale Sprachleistungen möglich.

Ziel der beschriebenen Untersuchungen ist es deshalb, die Einsatzmöglichkeiten des Säuglingsschreies zur Diagnose kindlicher Schwerhörigkeit zu überprüfen. Diese Wahl basiert auf der Aussage speziell geschulter Frühförderkräfte und Pädaudiologen, bei hochgradig schwerhörigen Säuglingen ein „anderes“ Schreien wahrzunehmen. Nach Einsatz der Hörgeräteversorgung sei diesen Angaben zufolge eine Veränderung der Schreistimme zu bemerken. In einen zweiteiligen Hörversuch wurden diese Aussagen überprüft, und es wurde versucht, die Andersartigkeit in interpretierbaren Begriffen zu beschreiben und zu quantifizieren. Die Ergebnisse des Hörversuches wurden mit verschiedenen Parametern in Beziehung gesetzt, die signalanalytisch aus den Schreisignalen extrahiert wurden.

Golub [4] entwickelte ein Modell des Schreiprozesses, welches auf dem Quelle-Filter-Modell der Spracherzeugung basiert und neben anatomischen Gesichtspunkten auch eine Steuerung auf verschiedenen Prozessor-Ebenen berücksichtigt. Dennoch ist vergleichsweise wenig über die Steuerungs- und Kontrollmechanismen bekannt, die dem Schreiprozess zugrunde liegen. Die Ergebnisse der beschriebenen Experimente können deshalb, neben ihrer diagnostischen Anwendbarkeit, auch dazu beitragen, Aufschluß über die zerebrale Organisation der Sprachentwicklung zu erhalten.

## AUDITIVE UNTERSCHIEDBARKEIT

Unbehaglichkeitsschreie von 7 hochgradig schwerhörigen (aber ansonsten gesunden) und 7 normalhörenden Säuglingen im Alter von 2-11 Monaten wurden während der Sprechstunde aufgezeichnet. Die Schreie wurden durch das Aufsetzen eines unbequemen Audiometrikopfhörers ausgelöst, welcher eine gezielte auditive Rückkopplung (im Rahmen des Hörvermögens des betreffenden Säuglings) ermöglicht und sich darüber hinaus als geeigneter Auslöser für Unbehaglichkeitsschreie erwiesen hat. Wichtig ist, daß die Schreie durch einen relativ moderaten Trigger ausgelöst wurden, um bei den Säuglingen keine maximale Schreireaktion (wie z.B. bei Schmerzen) zu verursachen.

Es wurde ein zweiteiliger Hörversuch durchgeführt. Insgesamt 33 Versuchspersonen nahmen daran Teil, die gemäß ihrer Erfahrung mit Säuglingsschreien gruppiert wurden: 10 Hebammen und

Kinderkrankenschwestern, 7 Phoniatrieärzte und Audiologen, 7 Elternteile und 10 naive VPen. Im ersten Versuchsteil wurden Schreisequenzen (2-7 Schreie, Dauer ca. 7s) von je 5 normalhörenden und 5 schwerhörigen Säuglingen vorgespielt. Die VPen mußten dann entscheiden, ob die Sequenzen ihrer Meinung nach von einem schwerhörigen oder einem normalhörenden Säugling stammten. Nach jeweils 4 Stimuli wurde den VPen die Möglichkeit gegeben, Anmerkungen zu den Schreien, zu Klassifikationsstrategien und zu Unsicherheiten bei der Entscheidung zu machen. Diese von Schulte-Fortkamp [9] entwickelte Methode des Intermittierenden Lauten Denkens gibt zusätzlich Aufschluß über die Höreignisse sowie die Entscheidungsstrategien der VPen.

Im zweiten Teil des Versuches wurden die VPen aufgefordert, ausgewählte Eigenschaften der Säuglingsschreie nach der Methode des Semantischen Differentials zu bewerten. Im einzelnen wurden folgende Attributpaare verwandt:

- klingt angenehm - klingt unangenehm
- aggressiv - versöhnlich
- hoch - tief
- monoton - melodisch
- abgehackt - kontinuierlich
- rauh - glatt
- kreischend - harmonisch
- gepreßt - gelöst
- kräftig - schwach
- aufdringlich - zurückhaltend

Um die Varianz zu reduzieren und somit ein eindeutigeres Urteil zu ermöglichen wurden hier Einzelschreie als Stimuli gewählt. Zu den Attributen und den Teststimuli wurden die VPen nach Abschluß des zweiten Testabschnittes nochmals befragt.

## SIGNALANALYSE

Aus 153 Einzelschreien aller 14 Säuglinge wurden folgende Parameter extrahiert, die verschiedene Aspekte der Anregung und Lautformung beschreiben:

- Dauer
- Gesamtenergie
- Energieverteilung in verschiedenen Frequenzbändern
- mel-skalierte cepstrale Koeffizienten in versch. Bändern
- die ersten drei Formanten
- Schreigrundfrequenz  $F_0$
- Jitter
- Stimmgüteparameter (Anteil stimmhafter / stimmloser Anregung, *glottal-to-noise excitation ratio* [6])

Die Extraktion der Grundfrequenz gestaltet sich teilweise schwierig, da häufig Mischanregung (stimmhaft/stimmlos) vorliegt und ein  $F_0$ -Bereich von ca. 200-2000 Hz abgedeckt werden muß, z.T. mit extremen Sprüngen, *shifts*, etc. Es wurde ein Algorithmus entwickelt, der eine doppelte Detektion im Zeit- und Korrelationsbereich durchführt und für den Anwendungsfall „Säuglingsschrei“ recht zuverlässige Ergebnisse liefert [7].

Eine perzeptiv sehr wichtige Charakteristik des Säuglingsschreies ist die Melodiekurve. Da die Ergebnisse der Untersuchungen später in einem automatischen Diagnosetool Verwendung finden sollen, wurde eine Parametrisierung der  $F_0$ -Kontur angestrebt. Dazu wurde einerseits ein Verfahren implementiert, das auf einem mit Impulsen angeregten System 2. Grades beruht [3]. Ein anderer Algorithmus erlaubt die Parametrisierung mittels einer LPC-Analyse der Melodiekurve [5].

## ERGEBNISSE

Der erste Teil des Hörversuches belegt, daß eine auditive Unterscheidung der Schreie schwerhöriger und normalhörender Säuglinge von ungeübten Versuchspersonen nicht erreicht wird. Wie

der Boxplot in Abb. 1 zeigt bewegen sich die Klassifikationsergebnisse um die statistisch motivierten 50% (der breite Strich kennzeichnet die Lage des Medians, die grauen Bereiche die der Interquartile, die Linien bezeichnen reguläre Minima und Maxima, die Kreise Ausreißer). Eine bessere Unterscheidung wird nur von den Hebammen und Kinderkrankenschwestern erzielt. VPen in dieser Gruppe haben besonders häufigen Kontakt sowohl zu kranken als auch zu gesunden Säuglingen; ihr Gehör kann deshalb als besonders geschult betrachtet werden.

Während der Pausen und des anschließenden Interviews wurden Angaben zu den Klassifikationsstrategien gemacht. VPen mit überdurchschnittlichen Klassifikationsergebnissen berichteten, das Schreien der schwerhörigen Säuglinge als „jämmerlich“,

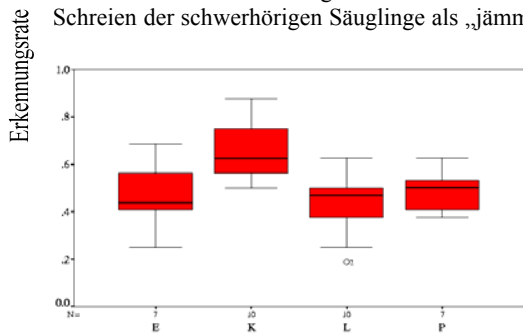


Abb. 1: Klassifikationsergebnisse für verschiedene VP-Gruppen (E: Eltern; K: Hebammen & Kinderkrankenschwestern; L: Laien; P: Phoniatrizeur & Audiologen)

„weinend“ oder „leidend“ zu empfinden, außerdem schwächer und monotoner. Die Stimme wirkte „flacher“ und „kehlig“.

Die Analyse des zweiten Versuchsteils zeigt eine große Varianz bei den VP-Urteilen. Da außerdem nicht alle Attribute für jeden Schrei zu bewerten waren, gestaltet sich eine statistische Analyse der Urteile schwierig. Führt man eine Faktorenanalyse durch und trägt die Stimuli im rotierten Faktorraum auf (Abb. 2), so läßt sich erkennen, daß die Schreie der normalhörenden Kinder 1, 3, 4 und 5 in einem anderen Gebiet des Faktorraumes liegen als die Schreie der schwerhörigen Kinder.

Die Signalanalyse der Schreie zeigt statistisch signifikante Unterschiede vor allem bei der Energieverteilung in verschiedenen Frequenzbändern, der Schreidauer und einigen Melodie-Parametern.

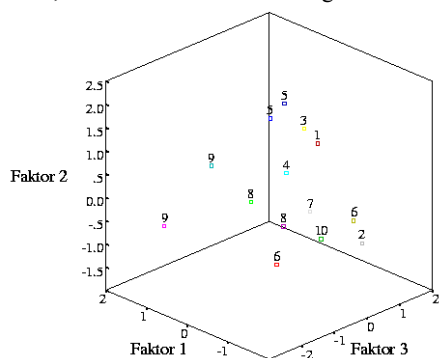


Abb. 2: Schreie des zweiten Versuchsteils im rotierten Faktorraum (Indizes bezeichnen Säuglinge: 1-5 normalhörend, 6-10 schwerhörig)

Die Schreie schwerhöriger Säuglinge sind länger und haben einen komplexeren Melodieverlauf, d.h. die Anzahl der Maxima und Minima ist größer. Dies ist ein Widerspruch zur Aussage der VPen, die die Schreie monotoner empfanden. Ursache dafür könnte eine andere Interpretation des Begriffes „monoton“ durch die VPen sein, oder Probleme der Algorithmen bei der Parametrisierung der Grundfrequenzkontur. Bei der spektralen Analyse fällt eine geringere Energie im Bereich 2-4 kHz und 6,4-9,5 kHz auf. Eine ansonsten bei kranken Kindern häufig beobachtete erhöhte Grundfrequenz wurde nicht festgestellt.

## DISKUSSION

Die Ergebnisse der Hörversuche und der Signalanalyse unterstützen die Vermutung, daß sich die Schreie der getesteten Kinder sowohl auditiv als auch signalanalytisch unterscheiden lassen. Die Hauptunterschiede scheinen in der spektralen Stimmcharakteristik zu liegen, und dies wird von erfahrenen VPen zur Klassifikation herangezogen. Weitere Unterschiede zeigen sich bei der Melodie und der Schreidauer.

Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist aufgrund des geringen Umfangs des zur Verfügung stehenden Datenmaterials nur sehr eingeschränkt möglich. In der Literatur sind bei verschiedenen zentralnervösen Erkrankungen erhöhte Grundfrequenzen nachgewiesen worden (besonders auffällig ist dies z.B. beim *Cri-du-Chat*-Syndrom). Auch wurde bei Säuglingen, bei denen erst Monate später zentralnervöse Störungen auftauchten, ein geringerer  $F_0$ -Jitter festgestellt. Demgegenüber ist bei den schwerhörigen Säuglingen zu vermuten, daß sich eine fehlende auditive Rückkopplung vor allem in einer modifizierten Lautformung und einer veränderten globalen Schreiecharakteristik (wie z.B. der Melodiekurve) bemerkbar macht. Dieser Effekt bestätigt sich in der weiteren Lautentwicklung schwerhöriger Kinder. Das kanonische Lallen ist dort stark eingeschränkt und setzt verspätet ein [1], [2]. Wenn sich der beschriebene Effekt auch für eine größere Datenbasis bestätigen sollte, könnte der Säuglingsschrei als ein sehr frühes und leicht zugängliches Diagnosemittel eingesetzt werden. Damit kann eine weitaus frühere Hörgeräteversorgung schwerhöriger Säuglinge ermöglicht werden.

Die Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Az. Bl 189/20-1) unterstützt.

## LITERATUR

- [1] Clement, C.J., Koopmans-van Beinum, F.J. (1995), *Influence of lack of auditory feedback: Vocalizations of deaf and hearing infants compared*, Proc. of the Institute of Phonetic Sciences Amsterdam (19), pp. 25-37.
- [2] Eilers, R.E., Oller, D.K. (1992), *Infant vocalizations and the early diagnosis of severe hearing impairment*, Journal of Pediatrics (124), pp.199-203.
- [3] Gerhard, J. (1996), *Parametrische Beschreibung von Grundfrequenzkonturen angewandt auf Säuglingsschreie*, Studienarbeit, Lehrstuhl für allg. Elektrotechnik und Akustik, Ruhr-Universität Bochum.
- [4] Golub, H.L. (1980), *A physioacoustic model of the infant cry and its use for medical diagnosis and prognosis*, Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston.
- [5] Mersdorf, J., Rinscheid, A., Brüggem, M. (1996), *Ein LPC-basiertes Verfahren zur Analyse und Synthese von Sprachgrundfrequenzverläufen mittels Filterparametrisierung und Restsignalapproximation*, angemeldet als Deutsches Patent P-19629946.2.
- [6] Michaelis, D. (1995), *Akustische Parameter zur Klassifikation der Stimmgüte*, Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen.
- [7] Pilger, T. (1995), *Entwicklung eines Algorithmus zur Grundfrequenzbestimmung im Zeit- und Transformationsbereich und Anwendung auf Säuglingsschreie*, Diplomarbeit, Lehrstuhl für allg. Elektrotechnik und Akustik, Ruhr-Universität Bochum.
- [8] Rosenhouse, J. (1980), *Duration in infants' communication by cries*, Journal of Phonetics (8), pp. 135-156.
- [9] Schulte-Fortkamp, B. (1994), *Geräusche beurteilen im Labor*, VDI-Verlag, Düsseldorf.