

# Akustische Analysen in der Dysarthriediagnostik bei Kindern mit infantiler Cerebralparese: Ein Überblick

engl: Acoustic analyses of speech in the assessment of dysarthria in children with cerebral palsy: An Overview

Anja Kuschmann

## **Institut**

School of Psychological Sciences and Health  
University of Strathclyde, Glasgow, Schottland

## **Korrespondenzadresse**

Dr. Anja Kuschmann  
School of Psychological Sciences and Health  
University of Strathclyde Glasgow  
40 George Street  
Glasgow, G1 1QE  
Schottland  
E-mail: [anja.kuschmann@strath.ac.uk](mailto:anja.kuschmann@strath.ac.uk)

Die Autorin gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## **Zusammenfassung**

Der Beitrag befasst sich mit der Anwendung akustischer Sprachsignalanalysen zur klinischen Diagnostik von Dysarthrien bei Kindern mit infantiler Cerebralparese (ICP). Es werden verschiedene akustische Parameter vorgestellt und ihre diagnostische Bedeutung wird in Beziehung zu den Funktionskreisen des Sprechens gesetzt.

Schlüsselwörter: akustische Analysen, Diagnostik, kindliche Dysarthrie, infantile Cerebralparese, Funktionskreise des Sprechens

## **Abstract**

Acoustic analyses can be a useful addition to assess dysarthria features in children with cerebral palsy (CP). This paper introduces a range of acoustic parameters and outlines their relevance for the assessment of different speech subsystems.

Key words: acoustic analyses, assessment, childhood dysarthria, cerebral palsy, speech subsystems

## **Lernziel**

Der Beitrag gibt einen aktuellen Überblick über die Anwendung akustischer Analysen in der klinischen Dysarthriediagnostik bei Kindern mit ICP. Der Leser erfährt, wie diese durchgeführt werden, und welche akustischen Messungen in Bezug auf die Funktionskreise des Sprechens bisher beschrieben worden sind.

## **Dysarthrie bei infantiler Cerebralparese**

Die infantile Cerebralparese (ICP) ist die häufigste neurologische Ursache von Störungen der motorischen Entwicklung im Kindesalter. Neben den motorischen Einschränkungen werden bei ICP auch oftmals kommunikative Defizite beobachtet [1], wobei die kindliche Dysarthrie die weitaus häufigste Kommunikationsstörung darstellt. Es wird davon ausgegangen, dass bei einer kindlichen Dysarthrie sämtliche am Sprechen beteiligten Funktionskreise betroffen sind, d.h. Sprechatmung (Respiration), Stimmgebung (Phonation), Resonanz, Artikulation und Prosodie.

**Merke:** Eine Dysarthrie betrifft oftmals alle Funktionskreise des Sprechens.

## **Akustische Analysen in der Diagnostik kindlicher Dysarthrien**

Dysarthrien werden im klinischen Alltag primär durch auditiv-perzeptive Methoden und Verfahren diagnostiziert z.B. die Frenchay Dysarthrie Untersuchung [2], oder die Bogenhausener Dysarthrieskalen, BoDyS [3]. Die auditive Beurteilung der Sprechermerkmale basiert dabei auf Beschreibungskategorien, anhand derer die Leitsymptome der Dysarthrie identifiziert und die relative Beteiligung der einzelnen Funktionskreise am Gesamtbild der sprechmotorischen Störung erfasst werden. Ausgehend davon können Rückschlüsse hinsichtlich der Ausprägung der Störungsmerkmale sowie der potentiellen Einschränkungen im Alltag gezogen werden.

**Infobox:** Skalen für im Erwachsenenalter erworbene Dysarthrien sind für das kindliche Sprechen nur bedingt aussagekräftig. Ein mögliches auditives Verfahren für kindliche Dysarthrien schlagen Haas et al. vor (siehe Beitrag in diesem Heft).

Die auditive Diagnostik dysarthrischer Merkmale erfordert ein hohes Maß an Hörerfahrung. Studien zeigen jedoch, dass selbst erfahrene Sprachtherapeuten Schwierigkeiten haben können, spezifische Aspekte einer Sprechstörung verlässlich zu beurteilen [6]. Mitunter sind die Beschreibungskategorien auch nicht sensitiv genug, um z.B. spezifische Eigenschaften ausreichend beurteilen zu können oder geringfügige Veränderungen im Verlauf einer Therapie adäquat zu erfassen. So sind zum Beispiel kleine Veränderungen der Sprechgeschwindigkeit perzeptiv schwer messbar.

Methoden, die akustische Eigenschaften des Sprachschalls messen und auswerten, stellen daher für die Charakterisierung und Diagnose kindlicher Dysarthrien eine wertvolle Ergänzung zu den auditiven Skalen dar [7, 8, 9]. Zum einen erlauben akustische Analysen eine objektive Quantifizierung dysarthrischer Merkmale; zum anderen können sie als Maß für die Effizienz einer Dysarthrietherapie dienen. Beispielsweise kann der auditive Eindruck

einer höheren Sprechstimmlage, einer leisen Sprechweise oder eines langsamen Sprechtempos gezielt durch Messungen der Grundfrequenz (für Sprechstimmlage), Intensität (für Lautstärke) und Dauer (für Sprechtempo) quantifiziert werden. Darauf aufbauend können gezielte therapeutische Maßnahmen ergriffen werden, die mittels wiederholter akustischer Messungen evaluiert werden können.

Aus der Praxis: Ein weiterer Vorteil akustischer Analysen besteht darin, dass diese auch gezielt in der Dysarthrietherapie eingesetzt werden können, um Patienten visuelles Feedback bezüglich ihres Sprechens zu geben. Es kann beispielsweise hilfreich sein, zu sehen, dass die Lautstärke am Ende einer Äußerung wesentlich abfällt.

### **Durchführung akustischer Analysen**

Die Akustik befasst sich mit der Entstehung von Schall und dessen Ausbreitung, wobei der Begriff Schall jene Töne, Klänge und Geräusche bezeichnet, die wir mit unserem Gehör wahrnehmen. Sprachschallanalysen sind computergestützte Verfahren, die mit wenigen technischen Geräten und Software das Sprachsignal aufnehmen, darstellen und gegebenenfalls direkt analysieren.

Infobox: Es gibt eine Reihe kostenlos im Internet erhältlicher Programme (z.B Praat [10]), die das Sprachsignal darstellen und hinsichtlich spezifischer akustischer Parameter auswerten.

Trotz der oben genannten Vorteile haben sich akustische Analysen im klinischen Alltag bisher nicht durchgesetzt [11]. Dafür gibt es mehrere Gründe. Zum einen wird ein gewisses phonetisches Fachwissen vorausgesetzt, um das Sprachsignal bearbeiten und die gemessenen Werte sinnvoll interpretieren zu können, da nicht jede akustische Abweichung aufgrund möglicher Artefakte bedeutsam ist. Diese können z.B. entstehen, wenn nicht konsequent das gleiche Material oder dieselben technischen Geräte für die Untersuchungsdurchführung verwendet werden. Zum anderen umfassen akustische Analysen oft ein zeitaufwendiges manuelles Segmentieren des Signals. Desweiteren mögen akustische Analysen objektiver sein als auditive Verfahren, aber die Aufbereitung des Signals obliegt zum großen Teil dem Untersucher. Solange es keine standardisierten Verfahren für akustische Analysen gibt, bleiben auditive Befunderhebungen der Goldstandard in der klinischen Diagnostik. Es ist jedoch zu hoffen, dass durch die zunehmende Entwicklung und Verwendung anwendungsfreundlicher mobiler Technologien und geeigneter Apps, die das Sprachsignal und dessen Eigenschaften darstellen und messen können, akustische Sprachschallanalysen vermehrt Anwendung im klinischen Alltag finden.

## **Akustische Analysen in Bezug auf die Funktionskreise des Sprechens**

Die Beurteilung der Funktionalität von Respiration, Phonation, Artikulation und Prosodie erfordert eine gezielte Auswahl aussagekräftiger akustischer Parameter. Um die einzelnen Parameter adäquat messen, auswerten und hinsichtlich ihrer diagnostischen Bedeutung interpretieren zu können, bedarf es zudem spezifischer Sprechproben. Im Folgenden wird beschrieben, welche akustischen Messungen in Bezug auf die Funktionskreise bisher in der Literatur berichtet worden sind. Dafür werden die einzelnen akustischen Parameter vorgestellt und ausgeführt, welche Aufnahmen erforderlich sind, um reliable Messergebnisse zu erhalten. Desweiteren wird das Alter der untersuchten Kinder für alle Studien berichtet, da sich nicht alle Aufgaben gleichermaßen für alle Altersgruppen eignen. Insbesondere bei jüngeren Kindern ist die Elizitierung der benötigten Sprechproben nicht immer erfolgreich.

### *Akustische Messungen des respiratorischen und phonatorischen Systems*

Bei kindlichen Dysarthrien kann die respiratorische Kapazität im Vergleich zu typisch entwickelten Kindern geringer sein. Eine erhöhte, zu geringe oder fluktuierende Spannung der Stimmlippen kann außerdem zu einer gepressten, behauchten oder variablen Stimmqualität führen.

Zur gezielten Untersuchung respiratorischer und phonatorischer Defizite, nicht nur bei Kindern, bieten sich Phonemhalteaufgaben an [12]. Dabei wird das Kind aufgefordert, einen Vokal - meist /a/ - so lange wie möglich zu halten. Damit kann die maximale Dauer von Vokalen untersucht werden. Wit et al. [12] zeigten, dass diese bei 6- bis 11-Jährigen mit spastischer Dysarthrie stark verkürzt war. Dies kann das Ergebnis einer eingeschränkten respiratorischen Kapazität, aber auch ein Indiz für die gestörte Koordination von Atmungs- und Phonationsprozessen sein. Ein Vergleich der Phonemhaldedauer von stimmlosem /s/ und stimmhaftem /z/ kann zudem Aufschluss darüber geben, ob das zugrundeliegende Problem die Vitalkapazität der Lunge ist oder ob Defizite in der Stimmlippenfunktion vorliegen. Diesbezügliche Untersuchungen zeigten, dass die Leistungen der Kinder mit ICP mit denen typischer entwickelter Kinder vergleichbar waren [12].

Ein weiterer relevanter Parameter ist die Variation der Grundfrequenz. Dieser erfasst, wie gut die Kinder Tonhöhe variieren können. Die Kinder werden gebeten, von ihrer normalen Sprechstimmelage ausgehend in kleinen Schritten mit ihrer Stimme nach oben oder unten zu gehen. Der höchste sowie der tiefste Grundfrequenzwert aller Versuche wird verwendet, um

den Stimmumfang zu ermitteln. Wit et al. [12] beobachteten, dass die Kinder mit ICP eine geringere Variationsbreite der Grundfrequenz aufwiesen als die Vergleichsgruppe.

Merke: Bei der Interpretation der Daten ist zu beachten, dass es sich um nicht-sprachliche Aufgaben handelt. Diese mögen Aufschluss über die respiratorischen und phonatorischen Maximalleistungen geben, können aber keine direkten Aussagen über Atmung und Phonation in verbundener Sprache treffen.

### *Akustische Messungen des artikulatorischen Systems*

Eine verlangsamte Artikulationsgeschwindigkeit stellt eines der Hauptmerkmale kindlicher Dysarthrien dar [7]. Akustische Messungen der artikulatorischen Geschwindigkeit eignen sich gut, um die allgemeine Artikulationsfähigkeit der Kinder zu untersuchen. Daher kommt Aufgaben, die Vokal- und Silbendauer messen, eine wesentliche Rolle zu. Eine solche Aufgabe ist die orale Diadochokinese (DDK). Diese misst, wie schnell die Kinder eine mono- bzw. multisyllabische Plosiv-Vokal-Sequenz (z.B. /pa/, /ta/, /ka/) wiederholen können (z.B. /papapa/, /pataka/), und erlaubt somit Rückschlüsse auf die maximale Performanz des artikulatorischen Systems. Wit et al. [12] untersuchten die DDK-Rate bei 6- bis 11-Jährigen mit ICP und beobachteten, dass diese sowohl längere als auch variabelere Silben produzierten als die Kontrollgruppe. Ähnliche Beobachtungen machten Lee et al. [13], die die Vokaldauer in der Einzelwortproduktion von 4- bis 6-jährigen Kindern mit ICP maßen.

Eine signifikant verminderte Artikulationsgeschwindigkeit wurde bei Fünfjährigen mit ICP auch in verbundener Sprache gemessen [7]. Grundlage dieser Messungen waren kurze Sätze, die über eine Nachsprechaufgabe elizitiert wurden.

Infobox: Artikulationsgeschwindigkeit erfasst die Anzahl von Silben pro Zeiteinheit. Sie ist von der Sprechgeschwindigkeit abzugrenzen, welche Sprechpausen zwischen den einzelnen Artikulationseinheiten berücksichtigt, und sich somit auf die gesamte Sprechzeit bezieht.

Neben der Artikulationsgeschwindigkeit kann bei ICP-induzierten Dysarthrien auch die Artikulationsgenauigkeit einzelner Segmente betroffen sein. Bei Konsonanten wird eine reduzierte Artikulationsschärfe insbesondere bei der Produktion von Plosiven beobachtet. Diese ist oft das Resultat einer beeinträchtigten Fähigkeit, genügend intraoralen Druck zu erzeugen. Durch die unvollständige orale Verschlussbildung kann der sprunghafte Anstieg der spektralen Energie, welcher durch die Verschlusslösung entsteht, und im Sonagramm gut als schwarzes Energieband zu erkennen ist, nicht beobachtet werden. Diese visuelle Besonderheit von Plosiven machten sich Allison and Hustad [7] zu Nutze, um die

Artikulation von Konsonanten bei Fünfjährigen mit ICP zu quantifizieren. Basierend auf den Sätzen, die bereits Grundlage der oben erwähnten Analysen der Artikulationsrate waren, wurde der Anteil zu beobachtender Verschlusslösungen gemessen. Dabei zeigte sich bei den Kindern mit Dysarthrie ein signifikant verringerter Anteil vollständiger Verschlüsse. Neben Konsonanten kann auch die Produktion von Vokalen betroffen sein, wobei oft eine Zentralisierung von Vokalen beobachtet wird, d.h. der Vokalraum ist verkleinert [13]. Vokalanalysen erfordern die Bestimmung der Formantenstruktur. Diese erlaubt Rückschlüsse auf die Resonanzeigenschaften des Ansatzrohres bei der Vokalproduktion, die durch z.B. Kieferwinkel, Lippenrundung und Zungenstellung beeinflusst werden.

*Infobox: Analysen der zwei niedrigsten Formanten reichen aus, um die Vokale des Deutschen gut beschreiben zu können. Je deutlicher die Vokale artikuliert werden, desto besser können sie anhand ihrer Frequenzen unterschieden werden. Formantwerte zeigen somit, wie gut der Artikulationsraum von den Kindern ausgenutzt wird.*

Diesbezügliche Untersuchungen bei 4- bis 6-jährigen Kindern mit ICP zeigten, dass diese einen signifikant kleineren Vokalraum aufwiesen als typisch entwickelte Kinder [13]. Ein kleinerer Vokalraum korreliert mit reduzierter Vokal- sowie Wortverständlichkeit, weshalb diese Messung für die Beschreibung kindlicher Dysarthrien interessant ist.

#### *Akustische Messungen prosodischer Störungsmerkmale*

Akustische Analysen können auch aufschlussreich sein, um zu verstehen, wie Kinder mit ICP prosodische Aspekte von Sprache umsetzen. Prosodie umfasst all jene Eigenschaften von Sprache, die über das einzelne Segment hinweg realisiert werden. Daher wird diese Funktion sinnvollerweise in verbundener Sprache untersucht. Zu den sogenannten suprasegmentalen Eigenschaften der Sprache gehören Satzakkzent und Intonation, aber auch Tempo, Rhythmus und Pausenverhalten. Linguistische Funktionen der Prosodie tragen wesentlich zur erfolgreichen Kommunikation zwischen Sprechern bei. So übermitteln Satzakkzent, Intonation und Pausen informationsstrukturelle Eigenschaften. Der Satzakkzent signalisiert, welcher Teil der Äußerung besonders relevant ist (z.B. Bellt der große Hund? Nein, der *kleine* Hund bellt.); Intonation kann helfen, zwischen Deklarativ- und Interrogativsätzen zu unterscheiden (z.B. Sie haben Hunger. vs. Sie haben Hunger?); und Pausen unterteilen längere Äußerungen in kleinere Sinneinheiten. Während prosodische Funktionen bei erwachsenen Sprechern mit Dysarthrie gut erforscht sind, ist die Forschungslage bei kindlichen Dysarthrien bisher eher dünn. Es ist aber anzunehmen, dass Defizite auf Ebene der Respiration und Phonation einen

Einfluss darauf haben, wie Kinder mit ICP akustische Parameter verwenden, um prosodische Aspekte der Sprache zu realisieren.

Ein Aspekt, der bei Kindern mit ICP in den letzten Jahren mittels akustischer Analysen untersucht wurde, ist die Intonation [8, 9]. Intonation wird akustisch primär durch die Modulation des Tonhöhenverlaufs, d.h. der Grundfrequenzvariation, signalisiert. Für die Markierung einiger linguistischer Funktionen wie Satzakzent und Satztyp spielen jedoch auch die Parameter Dauer und Intensität eine wesentliche Rolle. In ihren Untersuchungen zum Satzakzent bei 7- bis 16-jährigen Probanden mit ICP zeigten Kuschmann und Lowit [8], dass diese von den obengenannten drei Parametern lediglich Dauer verwendeten, um Wörter in kurzen Äußerungen hervorzuheben. Im Gegensatz dazu realisierten die typisch entwickelten Kinder Satzakzent durch Wörter, die nicht nur länger, sondern auch lauter waren, und eine höhere Grundfrequenz aufwiesen, d.h. sie verwendeten alle drei akustischen Parameter. Die Tatsache, dass die Kinder mit ICP Satzakzent nur über den temporalen Parameter signalisierten, spiegelte sich auch in den anschließend durchgeführten perzeptiven Studien wieder. Diese zeigten, dass Hörer signifikant öfter in der Lage waren, die akzentuierten Wörter in den Äußerungen der Kontrollgruppe zu identifizieren als in denen der Kinder mit ICP.

Ähnliche Beobachtungen wurden bezüglich der prosodischen Realisierung von Frage- und Deklarativsätzen gemacht [9]. Fragen werden primär über eine steigende Grundfrequenz am Äußerungsende signalisiert, während in Aussagesätzen die Grundfrequenz abfällt.

Untersuchungen in derselben Gruppe von Kindern ergaben, dass diese erneut nur den Parameter Dauer verwendeten, um Fragen von Aussagen zu unterscheiden [9]. Die Kontrollgruppe hingegen zeigte zusätzlich die erwartete steigende Grundfrequenzkurve am Ende von Fragen, um zwischen den Satztypen zu differenzieren. Es muss jedoch betont werden, dass in beiden Gruppen individuelle Unterschiede in der Verwendung der einzelnen Parameter zu beobachten waren. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die prosodischen Fähigkeiten der Kinder individuell zu erfassen, und darauf aufbauend die Therapie zu gestalten.

#### *Fazit: Anwendung im klinischen Alltag*

Akustische Analysen des Sprachschalls in der klinischen Dysarthriediagnostik stellen eine wertvolle Ergänzung zu den auditiven Beurteilungen kindlicher Dysarthrien dar. Die quantitative Beschreibung dysarthrischer Merkmale ermöglicht es, selbst kleine

Veränderungen der sprechmotorischen Fähigkeiten im Therapieverlauf zu erfassen. Auf diese Weise können akustische Messungen zur Evaluation der Effizienz von Therapien beitragen.

Aus der Praxis: Folgende deutschsprachige Ressourcen sind empfehlenswert, um mehr über akustische Analysen zu erfahren:

- Auf der Webseite von Dr. Jörg Mayer (<http://praatpfanne.lingphon.net/>) kann ein ausführliches Praat-Handbuch heruntergeladen werden. Es ist an Einsteiger gerichtet, die schnell mit Praat produktiv arbeiten wollen.
- Desweiteren bietet die Webseite das Praat-Stimmprofil zum Herunterladen an. Das Plug-in erlaubt die Erstellung einer weitgehend automatisierten Stimmanalyse für ausgesuchte akustische Parameter.
- Wer sein Wissen bezüglich akustischer Phonetik erweitern bzw. auffrischen möchte, dem sei das Manuskript *Linguistische Phonetik* empfohlen, was ebenfalls auf der Webseite zu finden ist.



## Literatur

- [1] Bax M, Goldstein M, Rosenbaum P et al. Proposed definition and classification of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2005; 47: 571–576. doi:10.1017/s001216220500112x
- [2] Enderby P, Palmer R. *Frenchay Dysarthria Assessment 2.* Aufl. Texas: Proed; 2007.
- [3] Ziegler W, Schölderle T, Staiger A et al. Die Bogenhausener Dysarthrieskalen (BoDyS): Ein standardisierter Test für die Dysarthriediagnostik bei Erwachsenen. *Sprache Stimme Gehör* 2015; 39: 171–175. doi:10.1055/s-0041-102792
- [4] Workinger MS, Kent RD. Perceptual analysis of the dysarthrias in children with athetoid and spastic cerebral palsy. In: Moore CA, Yorkston KM, Beukelman DR, eds. *Dysarthria and Apraxia of Speech: Perspectives on Management*. Baltimore, MD: Paul Brookes; 1991: 109-126.
- [5] Nordberg A, Miniscalco C, Lohmander A. Consonant production and overall speech characteristics in school-aged children with cerebral palsy and speech impairment. *Int J Speech Lang Pathol* 2014; 16: 386-395. doi:10.3109/17549507.2014.917440
- [6] Sheard C, Adams RD, Davis PJ. Reliability and agreement of ratings of ataxic dysarthric speech samples with varying intelligibility. *J Speech Hear Res* 1991; 34: 285-293. doi:10.1044/jshr.3402.285
- [7] Allison KM, Hustad KC. Acoustic predictors of pediatric dysarthria in cerebral palsy. *J Speech Lang Hear R* 2018; 61: 462–478. doi:10.1044/2017\_JSLHR-S-16-0414
- [8] Kuschmann A, Lowit A. Sentence stress in children with dysarthria and cerebral palsy. *Int J Speech Lang Pathol* 2018; 21: 336-346. doi:10.1080/17549507.2018.1444093
- [9] Kuschmann A. Acoustic realisation of the question-statement contrast in children with dysarthria and cerebral palsy. Poster presented at 17th International Clinical Phonetics and Linguistics Association Conference; 2018.
- [10] Boersma P, Weenink, D. Praat: doing phonetics by computer. Im Internet [www.praat.org](http://www.praat.org).
- [11] Schölderle T, Staiger A, Hoffmann B et al. Akustische Sprachsignalanalysen in der klinischen Dysarthriediagnostik: Möglichkeiten und Grenzen. *Sprache Stimme Gehör* 2015; 39: 176-181. doi:10.1055/s-0041-102791
- [12] Wit J, Maassen B, Gabreels F et al. Maximum performance tests in children with developmental spastic dysarthria. *J Speech Hear Res* 1993; 36: 452–459. doi:10.1044/jshr.3603.452
- [13] Lee J, Hustad KC, Weismer G. Predicting speech intelligibility with multiple speech subsystem approach in children with cerebral palsy. *J Speech Lang Hear R* 2014; 57: 1666–1678. doi:10.1044/2014\_JSLHR-S-13-0292

**Kurzbiographie**

Dr. Anja Kuschmann ist Diplom-Patholinguistin und Dozentin für Sprachtherapie an der Strathclyde University, Glasgow, Schottland. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich neurogener Sprechstörungen, insbesondere Dysarthrien, bei Kindern und Erwachsenen mit besonderem Fokus auf der Analyse prosodischer Fähigkeiten.