

Kurt Martin Werner Andermann  
Dr. sc. hum.

## **Einfluss von Phaseneffekten auf die Tonhöhenverarbeitung im auditorischen System**

Promotionsfach: Neurologie  
Doktorvater: Priv.-Doz. Dr. phil. A. Rupp

Wenn man in einem harmonisch komplexen Ton einen hohen Teilton eliminiert, wird dieser zusätzlich zur Grundfrequenz des Gesamtklangs gehört, obwohl er in dessen Frequenzspektrum fehlt. Dieses Phänomen wird Duifhuis Pitch genannt. Sein Zustandekommen beruht auf einer Oszillation, welche sich durch das Auslöschen des hohen Teiltons auf der Basilarmembran im Innenohr ergibt, erfordert aber zugleich eine präzise zeitliche Koordination der cochleären Mechanik über einen breiten Frequenzbereich. Diese Koordination hängt wiederum davon ab, wie die Phasen der Harmonischen im Gesamtstimulus arrangiert sind. Nur wenige Studien haben sich bisher mit der Frage befasst, wie die Phasenkonfiguration harmonisch komplexer Klänge die Verarbeitung von Tonhöheninformation im auditorischen System beeinflusst.

In der vorliegenden Arbeit werden psychophysische und magnetencephalographische Messungen zu Duifhuis Pitch sowie Computermodelle der peripheren Reizverarbeitung eingesetzt, um das Wissen über die Beziehungen zwischen Phaseneffekten und Tonhöhenwahrnehmung zu erweitern. Die Phasenkonfiguration eines harmonisch komplexen Tons wirkt nicht nur auf dessen eigene Klangfarbe, sondern auch auf die Tonhöhe und Wahrnehmungsstärke (Salienz) des Duifhuis Pitch: Dieser klingt etwas tiefer als ein Teilton derselben Frequenz, welcher in Relation zu den anderen Komponenten des Klangs nicht abgeschwächt, sondern verstärkt wird. Je mehr Harmonische rund um den eliminierten Teilton phasengleich angeordnet sind, desto deutlicher wird der Ton zusätzlich zum Gesamtreiz gehört; sind die Harmonischen des Stimulus hingegen in negativer Schroeder-Phasenlage arrangiert, ist die Salienz des Duifhuis Pitch besonders gering.

Das Einsetzen des Duifhuis Pitch innerhalb des harmonisch komplexen Tons evoziert klar abgrenzbare neuromagnetische Aktivität im auditorischen Cortex. Die Komponenten dieser transienten Aktivität treten zeitlich verzögert auf, wenn die Harmonischen des Gesamtreizes in negativer Schroeder-Phasenlage angeordnet sind, was ein neurophysiologisches Komplement zur geringen Salienz des Duifhuis Pitch in dieser Bedingung bedeutet. Die Ausprägung jener Aktivität variiert außerdem mit der Breite des phasengleichen Frequenzbands rund um den eliminierten Teilton, was ebenfalls eine Parallele zu den psychophysischen Befunden impliziert. Zwischen der neuromagnetischen Repräsentation von Duifhuis Pitch und dessen Tonhöhe sind keine Zusammenhänge erkennbar; demgegenüber zeigen sich aber auch jenseits der Reaktion auf das Auslöschen der hohen Harmonischen deutliche Effekte der Phasenkonfiguration auf die neuronale Aktivierung. Besonders komplexe Töne in positiver oder negativer Schroeder-Phasenlage evozieren hierbei sowohl kontinuierliche als auch oszillierende neuromagnetische Aktivität mit stark veränderter Magnitude.

In Computermodellen zur zeitlich integrierten Simulation des neuronalen Erregungsmusters im Hörnerv ist Duifhuis Pitch als spezifische Oszillation in der Frequenzregion des ausgelöschten Teiltons repräsentiert, welche zusätzlich zu jener Aktivierung auftritt, die durch

den zugrundeliegenden Gesamtstimulus bedingt ist. Modelle, die explizit die Kopplung benachbarter Basilarmembransegmente berücksichtigen, können die psychophysischen und physiologischen Ergebnisse zur Salienz des Duifhuis Pitch valide abbilden; die spektrale Dimension jener Modelle sowie der Blick auf kanalübergreifende Modellaktivität (im Gegensatz zu Prozessen innerhalb eines eng umschriebenen Frequenzbands) besitzen hierbei besondere Aussagekraft. Tonhöhenunterschiede bezüglich des Duifhuis Pitch werden durch die Computermodelle hingegen nicht adäquat reflektiert.

Die Gesamtheit dieser Ergebnisse offenbart ein ebenso kompliziertes wie interessantes Geflecht zwischen der Phasenkonfiguration komplexer Töne, peripheren und zentralen Mechanismen auditorischer Verarbeitung sowie der Perzeption. Die Phasenlage in harmonischen Reizen prägt nicht nur die Klangfarbe des Gesamtstimulus, sondern auch die Tonhöhe und Salienz (ausgelöschter) hoher Teiltöne. Die korrespondierende neuromagnetische Aktivität zeigt überdies, wie eng die Beziehung zwischen Aspekten der cochleären Mechanik und den dazugehörigen Repräsentationen auf der Ebene der auditorischen Cortex ist. Mit Blick auf das Zustandekommen eines Duifhuis Pitch betonen Computermodelle die Bedeutung spektraler, kanalübergreifender Prozesse in der auditorischen Peripherie sowie die Rolle der Kopplung benachbarter Segmente entlang der Basilarmembran. Für die Salienz, nicht aber für die Tonhöhe des Duifhuis Pitch, erbringt die vorliegende Arbeit somit ein schlüssiges Bild aus Psychophysik, Neurophysiologie und auditorischer Modellierung.

Duifhuis Pitch führt mit Phase und Tonhöhe zwei wichtige Aspekte auditorischer Verarbeitung zusammen. Künftige Untersuchungen des Phänomens können zur Optimierung von Computermodellen sowie zu klinisch nutzbaren Anwendungen führen, beispielsweise bei der Prüfung von Innenohrfunktionen.