

Das merkwürdige Verhalten von Flötenteiltönen bei der Schallabstrahlung

Christoph Reuter¹, Julie Delisle², Isabella Czedik-Eysenberg¹, Saleh Siddiq¹, Matthias Eder¹

¹ Musikwissenschaftliches Institut der Universität Wien, Österreich, E-Mail: christoph.reuter@univie.ac.at

² Music Perception and Cognition Lab, ACTOR Project, McGill University, Montreal, Canada

Hintergrund

Flöteninstrumente werden in ihrer Abstrahlcharakteristik grundsätzlich meist als Dipolstrahler beschrieben, die am Anblasloch und am jeweils ersten offenen Griffloch abstrahlen [1, ab 1975]. Bei (theoretischer) Betrachtung der beiden offenen Rohrenden alleine schwingen der Grundton und seine ungeradzahigen Vielfachen phasengleich in der Hälfte der Wellenlänge. Dies führt bei ungeradzahigen Teiltönen zu Auslöschungen an den Rohrenden und zu einer verstärkten Abstrahlung senkrecht der Instrumentenachse. Im Falle von geradzahigen Teiltönen hingegen sollten sich (unterhalb von ca. 3000 Hz) eine gegenphasige Abstrahlung an den Rohrenden ausbilden [2][3].

Bei mehreren geöffneten Grifflöchern und in höheren Registern ist die Abstrahlung weitaus komplexer, z.B. [4][5].

Mit Hilfe von Mikrofonarrays ist es möglich das Abstrahlverhalten von Musikinstrumenten genauer zu beobachten (z.B. [6][7]) und auch Einblicke in das Abstrahlungsverhalten einzelner Teiltöne zu erhalten.

Ziele und Fragestellung

Da sich Schwingungszustände in Rohren meist berechenbar verhalten, kann man davon ausgehen, dass bei vergleichbaren Griffen bei verschiedenen Flöten sich ähnliche Abstrahlungsmuster bilden. Auch ist es vorstellbar, dass sich die Abstrahlung von bestimmten Teilfrequenzen auch stets aus den gleichen Lochpositionen ergeben. So lautet die Frage der aktuellen Untersuchung: Lassen sich typische Muster bei der Abstrahlung von Flötenklängen und ihren Teiltönen beobachten und stimmen sie mit bisherigen Modellen überein?

Methoden

Im Reflexionsarmen Raum des Musikwissenschaftlichen Institut der Universität Wien wurden die Klänge von Piccoloflöte, Querflöte, Altflöte, Bassflöte und Traversflöte im mf und in jeweils allen erreichbaren Tonhöhen mit einer akustischen Kamera (gfai Mikado) aufgenommen und via NoiseImage auf die Abstrahlungsorte ihrer jeweiligen ersten 10 Teiltöne hin analysiert.

Ergebnisse

Es ergaben sich von den fünf Flöteninstrumenten insgesamt 184 Tonhöhen mit 1840 Teiltönen und ihren jeweiligen Positionen.

Auf der Grundlage dieser Aufnahmen wurde ein interaktives Programm zur Visualisierung der Abstrahlcharakteristik von Flötentönen erstellt, welches unter <https://www.univie.ac.at/muwidb/flutes> aufgerufen werden kann und zum Ausprobieren einlädt.

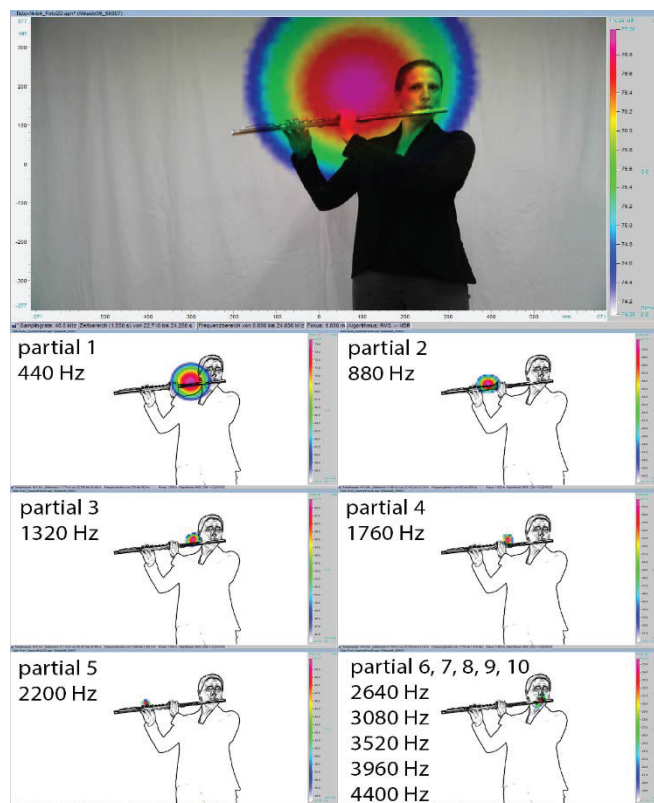


Abbildung 1: Abstrahlcharakteristik der Querflöte auf dem Ton a^1 (440 Hz) (oben: Gesamtabstrahlung), mit den jeweiligen Abstrahlungen der ersten 10 Teiltöne (unten).

Die gemessenen Abstrahlcharakteristiken entsprechen weitestgehend den aus der Literatur bekannten Modellen, wie z.B. den Berechnungen von John Coltman [4].

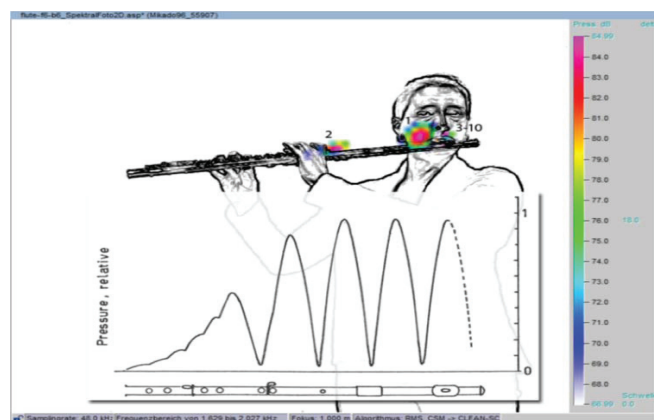


Abbildung 2: Errechnete Druckverteilung innerhalb einer Flöte beim Spiel des Tons a^3 (1740 Hz)[4, S. 505] im Vergleich zur Abstrahlung der Teiltöne 1-10 beim realen Spiel: Die Abstrahlungsorte entsprechen den von Coltman errechneten Druckmaxima (die Zahlen an den Abstrahlungsorten beschreiben die Ordnungszahlen der Teiltöne).

Auch lassen sich die von Jürgen Meyer (ab [1]) ermittelten Abstrahlcharakteristiken beobachten: So findet beim ersten Teilton die Abstrahlung hauptsächlich entlang des Instruments und – wegen der Auslöschung bei $\lambda/2$ – wenig an den Rohrenden statt, während beim zweiten Teilton eher die Rohrenden eine größere Rolle spielen (mit einer stärkeren Abstrahlung im Bereich des Anblaslochs).

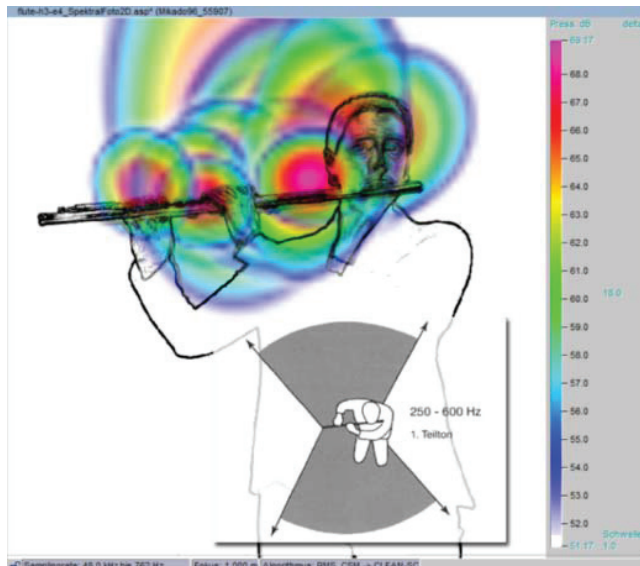


Abbildung 3a: Abstrahlung aller 1. Teiltöne zwischen 250-600 Hz ($h-d^2$) bei Meyer ([3], S. 227) und an den verschiedenen Positionen auf der Flöte.

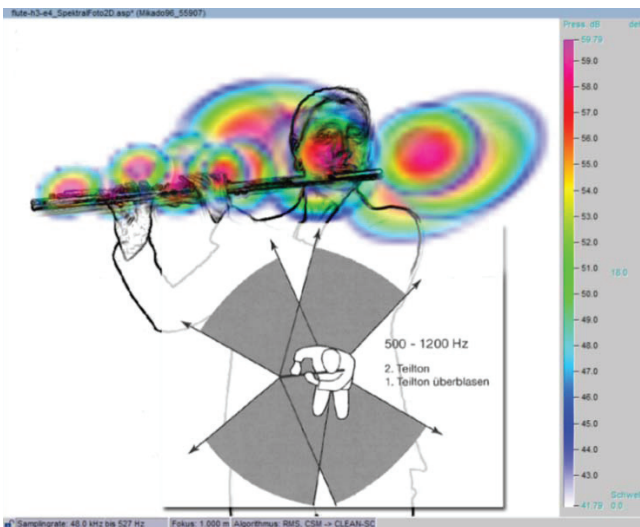


Abbildung 3b: Abstrahlung aller 2. Teiltöne zwischen 500-1200 Hz (h^1-d^3) bei Meyer ([3], S. 227) und an den verschiedenen Positionen auf der Flöte.

Trotz allgemeiner Übereinstimmung mit der gängigen Literatur erweist sich das Teilton-Abstrahlverhalten der gemessenen Instrumente dergestalt als seltsam, dass sich weder innerhalb eines Instruments noch zwischen zwei verschiedenen Instrumenten übereinstimmende Abstrahlpositionen bei gleichen Teilfrequenzen oder entsprechenden Griffen finden lassen.

Man würde erwarten, dass aufgrund vergleichbarer Schwingungsverhältnisse der gleiche Griff auf der C-Flöte und der Alt-Flöte ein ähnliches Abstrahlungsmuster unter den Teiltönen hervorrufen würde, oder dass zwei unterschiedliche Teiltöne gleicher Frequenz auf dem gleichen Instrument den gleichen Ort zur Abstrahlung bevorzugen würden. Das geschieht jedoch so gut wie nie. Die Abstrahlungsmuster sind äußerst individuell und konzentrieren sich mit ansteigender Teiltonordnungszahl immer mehr an Mund und Anblasloch.

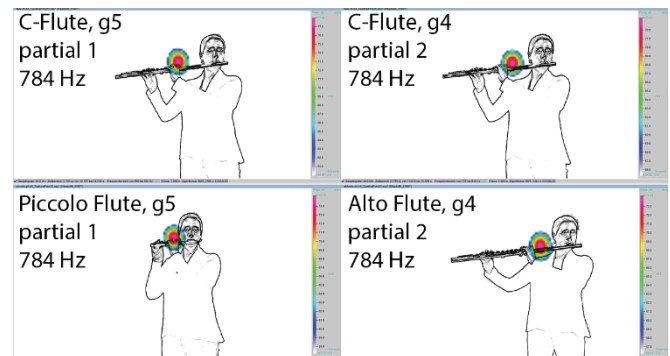


Abbildung 4: Kommt so gut wie nie vor, obwohl es als Regel erwartbar wäre: Übereinstimmende Abstrahlpositionen einer Teilfrequenz (g^2 , 784 Hz) bei verschiedenen Realisationen/Instrumenten.

Zusammenfassung

Auch wenn sich die aus der Literatur bekannten Abstrahlungsmodelle im Allgemeinen bei Abstrahlungsmessungen wiederfinden lassen, zeigt eine detaillierte Betrachtung der Schallabstrahlung auf Teiltonebene, dass diese pro Ton und Instrument sehr individuell ausgeprägt ist. Eigentlich erwartbare übereinstimmende Abstrahlungsmuster (bei gleichen Griffen oder gleichen Frequenzen) treten so gut wie nie auf. Es zeigt sich lediglich übereinstimmend eine mit ansteigender Teiltonordnungszahl immer konzentriertere Abstrahlung am Anblasloch.

Literatur

- [1] Meyer, J. Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Das Musikinstrument, Frankfurt 1975.
- [2] Bork, I.: Klang und Schallabstrahlung der Querflöte. Bericht der 16. Tonmeistertagung. Karlsruhe 1991.
- [3] Meyer, J. Akustik und musikalische Aufführungspraxis. PPVMedien, Bochinsky, Bergkirchen 2015.
- [4] Coltman, J.W.: Acoustical analysis of the Boehm flute. JASA 65/2 (1979), 499-506.
- [5] Fletcher, N.H.; Rossing, T.D.. The physics of musical instruments. Springer, New York, 1998 (S. 544).
- [6] Hohl, F.; Zotter, F.: Similarity of musical instrument radiation-patterns in pitch and partial. 36. DAGA Berlin 2010.
- [7] Grothe, T.; Kob, M.: Investigation of bassoon directivity. Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference (SMAC)(2013), 391-397.