

Sechs Renaissanceblockflöten im Vergleich Ein Experiment am Basler Wochenende 21./22. April 2007

Sechs Spielerinnen spielten den Ton d^2 auf einer g-Alt-Renaissanceflöte ($a^1=466$ Hz). Die Zuhörenden bewerteten die Töne nach den beiden Kriterien „Obertongehalt“ und „Rauschigkeit“ mit einer ganzen Zahl zwischen 1 und 5. Anschliessend wurden die Töne mit der Analysesoftware PRISMA untersucht und die Resultate der subjektiven Bewertungen mit denen von PRISMA verglichen.

Hier sind die subjektiven Bewertungen:

Obertongehalt	1	2	3	4	5	Mittelwert
Spielerin 1	0	4	9	6	0	3.1
Spielerin 2	0	2	5	12	2	3.7
Spielerin 3	0	6	9	4	0	2.9
Spielerin 4	0	1	11	5	4	3.6
Spielerin 5	2	3	7	6	0	2.9
Spielerin 6	0	3	8	3	3	3.4

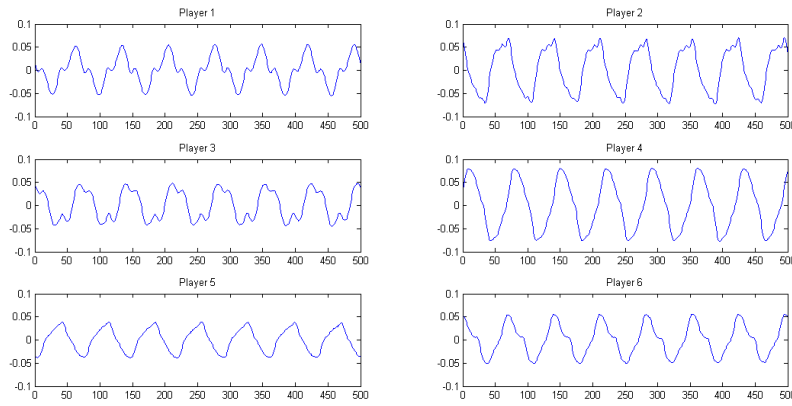
Rauschigkeit	1	2	3	4	5	Mittelwert
Spielerin 1	3	10	6	2	0	2.3
Spielerin 2	3	4	9	3	0	2.6
Spielerin 3	0	3	3	6	8	3.9
Spielerin 4	5	8	2	5	0	2.4
Spielerin 5	0	4	12	3	1	3.1
Spielerin 6	0	3	10	3	2	3.2

Zusammenfassend stellen wir fest:

- Die Spielerinnen 2, 4 und 6 fallen durch grosse Lautstärke und grossen subjektiven Obertongehalt auf
- Für die Bewertung des Obertongehaltes geben die PRISMA-Daten eine plausible Erklärung
- Bei der Spielerin 3 wurde klar die grösste Rauschigkeit festgestellt
- Die Bewertung der Rauschigkeit mit PRISMA-Daten ist schwierig und wir können hier nur Vermutungen äussern. Es kann auch sein, dass nicht alle Zuhörenden dieselbe Vorstellung von Rauschigkeit hatten.

1. PRISMA-Analyse

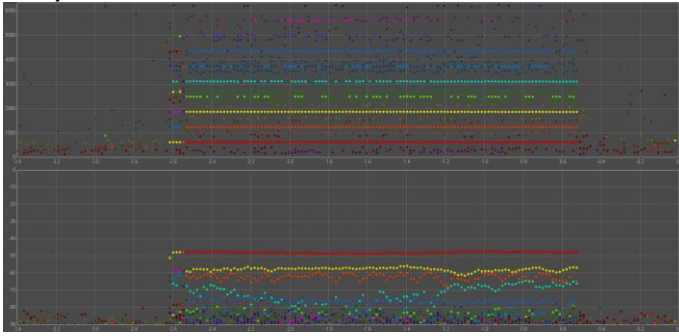
Die folgende Figur zeigt einige Perioden der 6 Zeitsignale. Man sieht, dass die Amplituden (Lautstärken) recht verschieden sind, ebenso die Kurvenformen.



Es folgen die Bilder, wie sie das PRISMA-Programm lieferte. Jeweils oben das Zeit-Frequenz-Diagramm, unten das Zeit-Amplituden-Diagramm

<p>Player1</p>	<p>Gleichmässiger Abfall der Teilschwingungen 1-3-5</p> <p>Teilschwingungen 2 und 4 schwach</p>
<p>Player 2</p>	<p>in der ersten Hälfte sind 2, 3, und 5 ungefähr gleich stark, dann fällt 2 ab und 5 wird unstabiler</p>

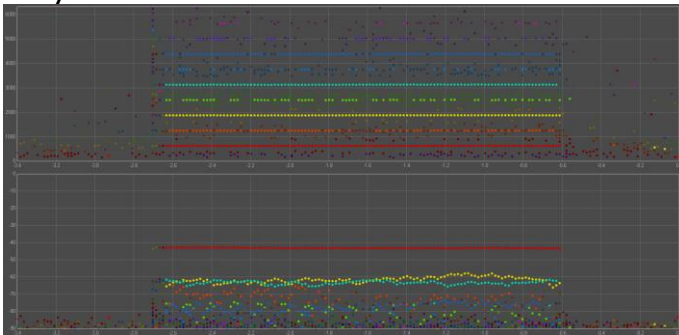
Player 3



Gegenüber den anderen Instrumenten ist 2 stark

Im letzten Drittel stabilisiert sich 5, während 3 leicht abnimmt

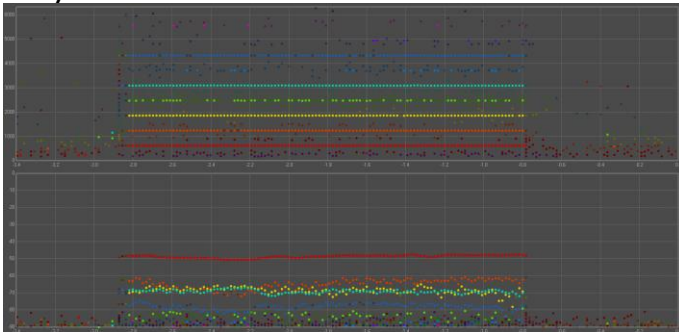
Player 4



Starker Grundton

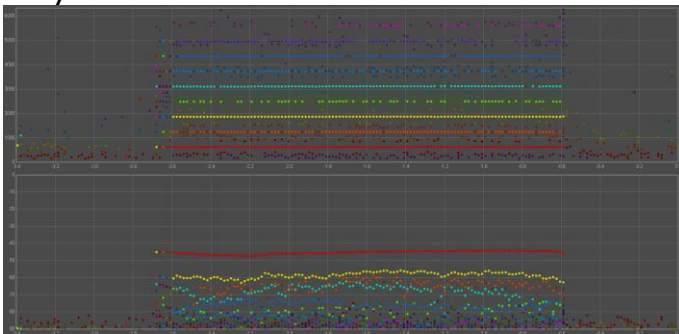
3 und 5 etwa gleich,
2 schwach und unstabil

Player 5



Starke 2, stabile 5

Player 6

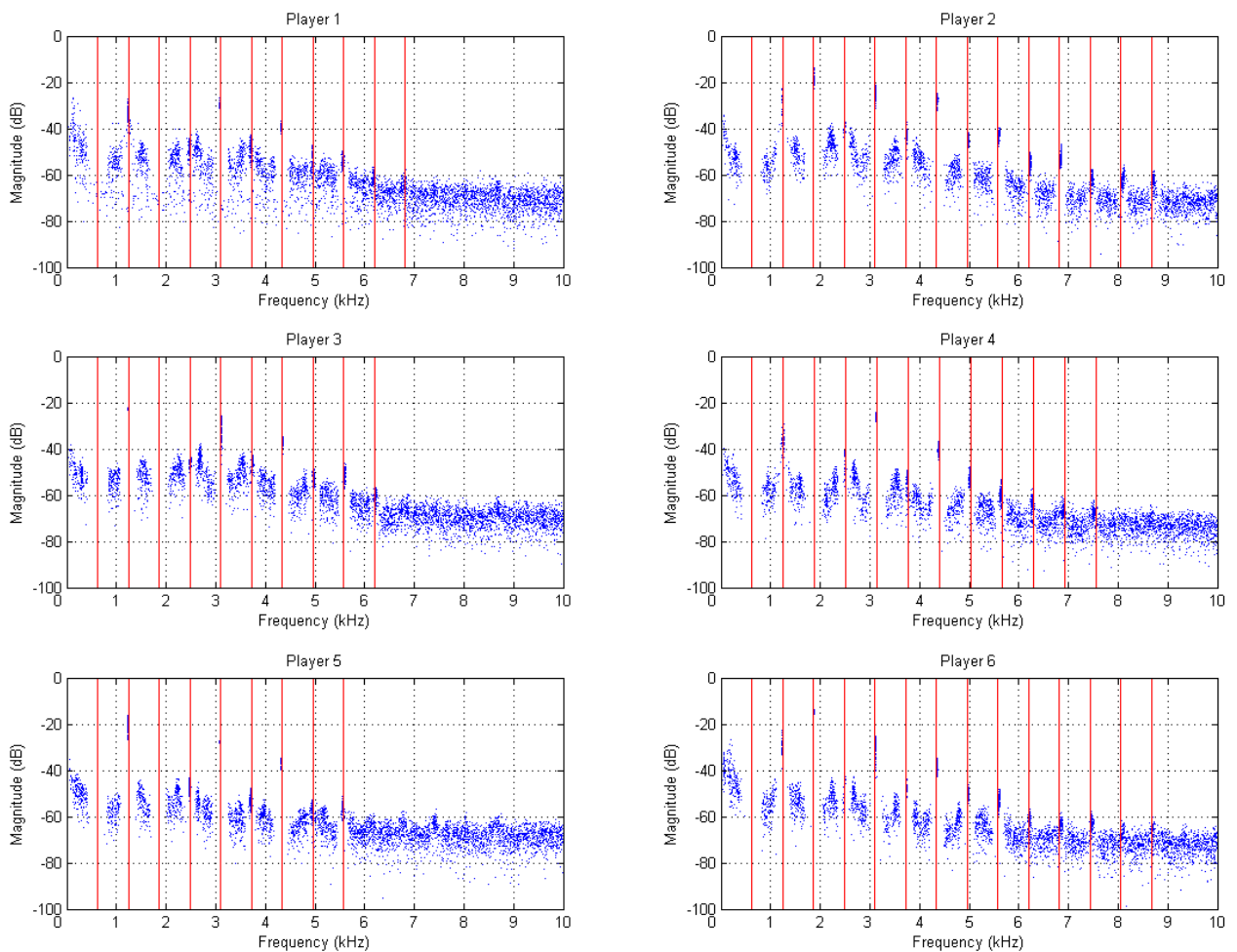


3 recht stark,

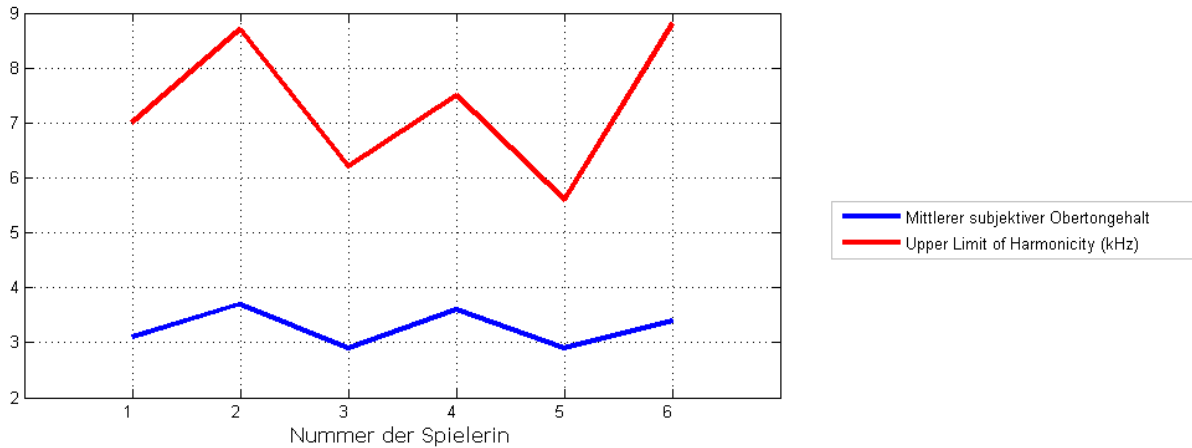
2 und 5 unstabil

3. Obertongehalt

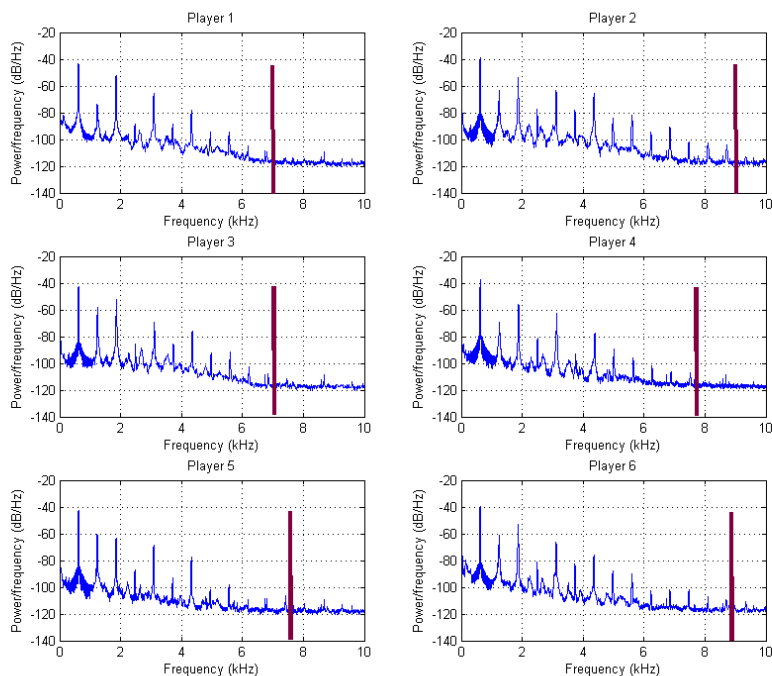
Der Zusammenhang zwischen wahrgenommenem Obertongehalt und den PRISMA-Mesdaten wird klar, wenn man die Frequenzen und Amplituden aller Zeitfenster miteinander graphisch darstellt (blaue Punkte). Die roten Linien markieren die Frequenzen, welche ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind, d.h. die theoretischen Frequenzen der harmonischen Teilschwingungen. Bei jedem Ton gibt es eine Frequenz f_h , welche im MPEG-7 Standard „Upper limit of harmonicity“ heisst. Oberhalb f_h sind die harmonischen Teile des Tons nicht mehr klar identifizierbar. Bei der Spielerin 1 ist zum Beispiel f_h ungefähr 7000 Hz. Beachten Sie, dass f_h bei den Spielerinnen 2, 4 und 6 signifikant grösser ist als bei 1, 3 und 5.



Diese „Upper limit of harmonicity“, ist bei den betrachteten Tönen eine Messgrösse, welche gut zum subjektiv wahrgenommenen Obertongehalt passt. Die folgende Graphik zeigt den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Messung:



Die Messgrösse f_h lässt sich übrigens nicht nur mit PRISMA bestimmen. Berechnet man für die 6 Töne etwa die Power Spectral Density, so ergibt sich das folgende Bild. Auch hier ist die „Upper limit of harmonicity“ erkennbar.

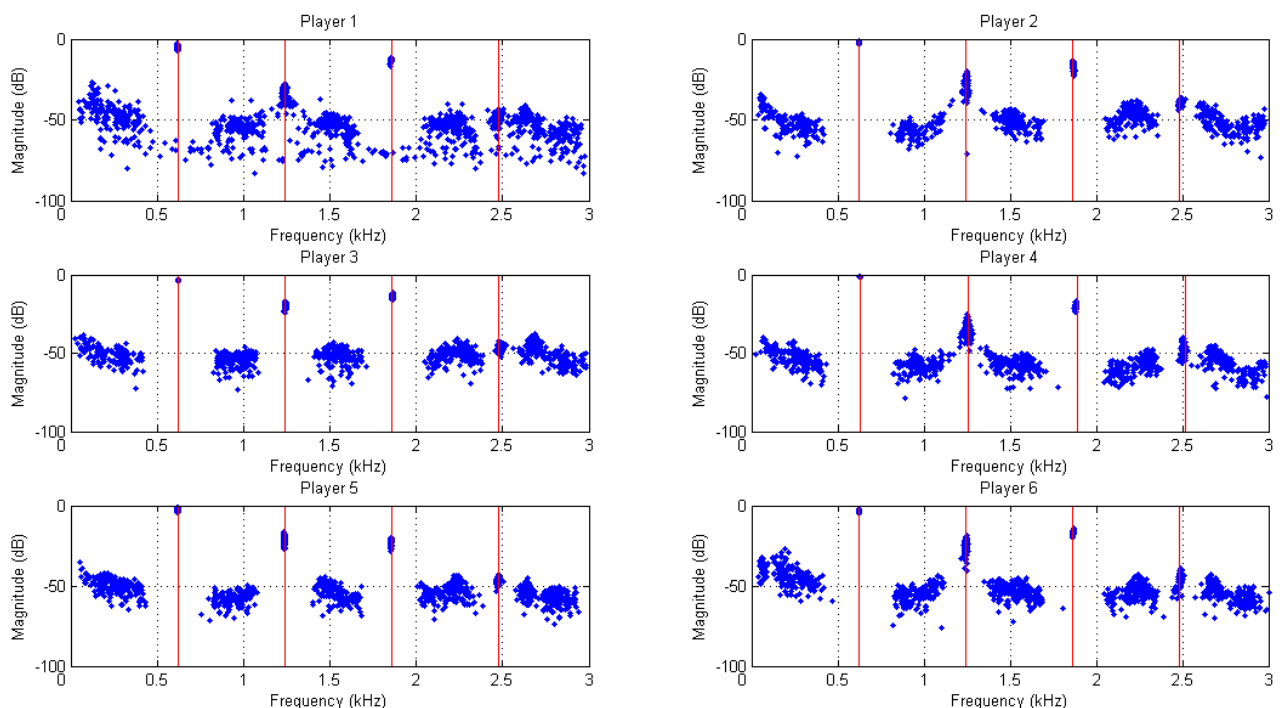


4. Rauschigkeit

Der Eindruck von Rauschigkeit in Flöten kann mehrere Ursachen haben. Die beiden wichtigsten sind einerseits eigentliche Bläsergeräusche (entsprechend den Konsonanten beim Sprechen), welche auf turbulenten Luftbewegungen im Flötenrohr beruhen. Diese Geräusche können in verschiedenen Frequenzbereichen auftreten. Andererseits zeigen viele Instrumentaltöne Irregularitäten in der harmonischen Struktur (zum Beispiel unharmonische Teilschwingungen). Wir nehmen an, dass diese auch zum Eindruck von Rauschigkeit beitragen.

Wir verfolgten bei der PRISMA-Analyse zwei Wege. Erstens nahmen wir noch einmal die obigen Frequenz-Amplituden-Diagramme unter die Lupe und zweitens untersuchten wir für jeden Ton die Histogramme aller Amplituden.

Die folgende Figur zeigt Nahaufnahmen der Frequenz-Amplituden-Diagramme, so dass die Teilschwingungen 1 bis 4 klar sichtbar sind.

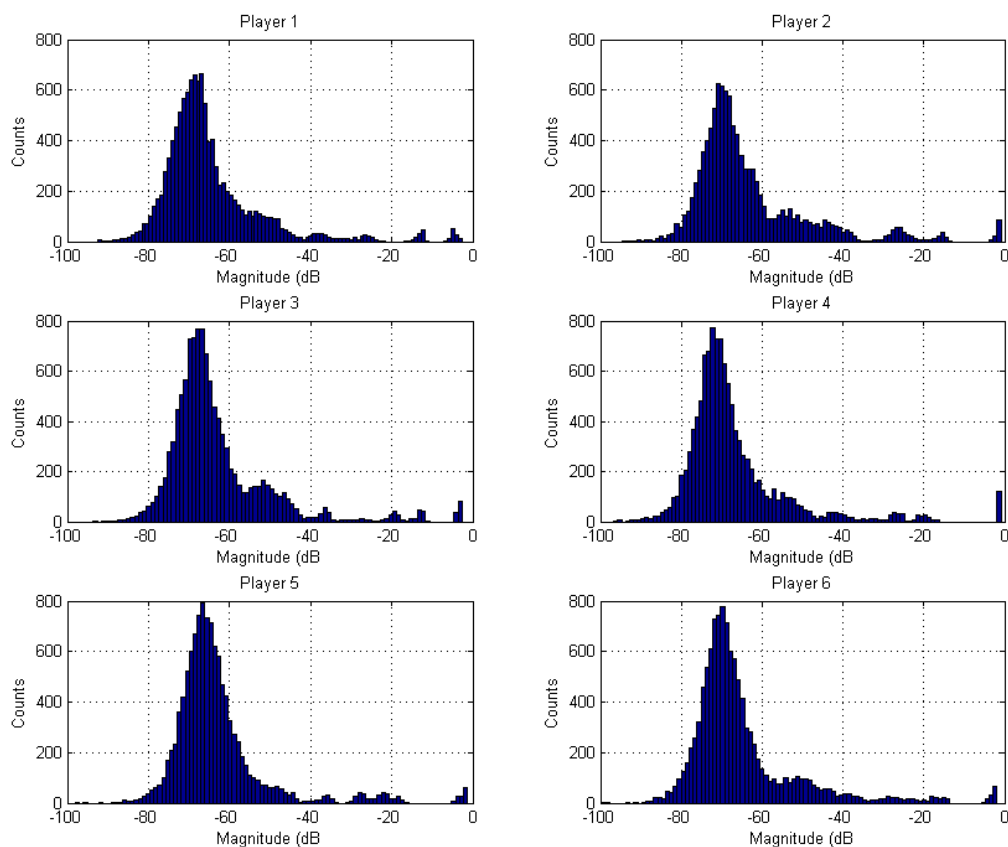


Was fällt hier auf?

- Bei dem am rauschigsten wahrgenommenen Ton 3 ist die zweite Teilschwingung sehr stabil, während die vierte schwach ausgebildet ist. Neben der vierten sind Begleitfrequenzen sichtbar – eine davon hat grössere Amplituden als die Teilschwingung selbst.

- Bei allen Tönen gibt es niederfrequente Anteile (vermutlich ein Anteil des Blasgeräuschs). Bei den Nummern 1 und 6 ist dieser Effekt am grössten.

Diese beiden Feststellungen vermögen noch nicht zu erklären, weshalb Ton 3 am „rauschigsten“ ist. Wir zeichnen deshalb noch die Histogramme (Häufigkeitsdiagramme) aller Amplitudenwerte. Das folgende Bild zeigt das Resultat. Nach rechts verlaufen die Amplitudenwerte, nach oben die zugehörigen Häufigkeiten; bei der Spielerin 4 kommt zum Beispiel die Amplitude -60 dB etwa 100 Mal vor. In diesen Diagrammen sind jeweils rechts aussen die grossen Amplituden, welche zu den eigentlichen Teilschwingungen gehören; die grossen Berge in der Gegend von -70 dB entsprechen einem Grundrauschen, welches bei allen Tönen ähnlich ist. Man sieht nun, dass es beim kritischen Ton 3 einen zweiten Berg in der Gegend von -50 dB hat. Ist dieser vielleicht verantwortlich dafür, dass dieser Ton als rauschig wahrgenommen wurde?



Fazit: Rauschen bleibt ein Thema – für MusikerInnen und PRISMA. Interessant wäre es, einmal Hörversuche im grösseren Stil zu machen und nach Zusammenhängen zwischen Empfindung und Messung zu suchen.