

Böhms parabool

Jelle Hogenhuis

Meer dan tien jaar geleden, in FLUIT 1994-2, plaatsten we de volgende bijdrage van Jelle Hogenhuis. Inmiddels is ons lezerspubliek meer dan verdubbeld, en er zullen nog maar weinig leden van het eerste uur zijn die zich Jelles artikel kunnen herinneren. Toen ons oog er onlangs toevallig op viel bleek dat het nog niets van zijn actualiteit heeft verloren.

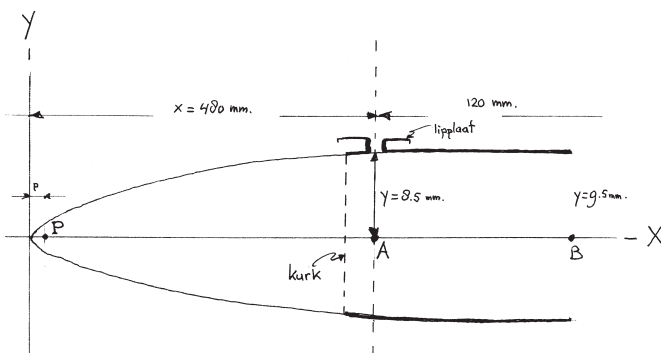
“...Dat een min of meer grote vernauwing van het bovenste deel van de buis van de fluit, en een verkorting of verlenging van deze vernauwing een belangrijke invloed hebben op de productie van de tonen en de intonatie van de boventonen.”

“...Dat deze vernauwing gemaakt moet worden in een geometrische verhouding, die dicht benaderd wordt door de curve van de parabool.”

Th. Böhm

Na de uitvinding van zijn kleppensysteem, gemonteerd op een nog conische fluit (1832), bleef Th. Böhm ontevreden over de klankeigenschappen van het instrument. De toonsterkte viel hem nog steeds tegen, alsook de intonatie. Tevens irriteerde het hem dat de meeste blaasinstrumenten een conische buis hadden, d.w.z. naar de voet toe wijder werden, terwijl de fluit tot dan toe juist smaller werd, dus een omgekeerd conische boring had.

Na vele experimenten in 1846 met cilindrische en conische buizen besloot hij dat een cilindrische buis met een vernauwing van het bovenste gedeelte het beste resultaat gaf. Deze vernauwing heeft “een belangrijke invloed op het voortbrengen van de tonen en de stemming van de octaven”. Verder vond hij ook dat het beste resultaat werd bereikt “wanneer deze vernauwing in een bepaalde geometrische verhouding gemaakt wordt, welke dicht wordt benaderd door de curve van de parabool”. Sindsdien staat de boring van het kopstuk bekend als parabolisch.

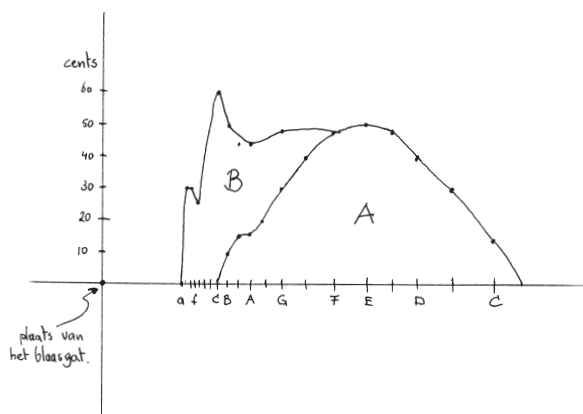


figuur 1

Een parabool is een meetkundige figuur, die eruitziet als de gebogen lijn in figuur 1. Op het dikke gedeelte van de lijn valt de wand van de kop samen met de parabool; de dunne lijn is de denkbeeldige voortzetting. Iedere parabool kan worden uitgedrukt in de vorm van een formule in de vorm $y^2 = 2px$.

Als je deze formule omzet in een grafiek, krijg je voor iedere waarde van x twee punten, één boven en één onder de X-as, die samen een grafiek vormen zoals in figuur 1. De precieze vorm van de parabool hangt hierin af van p (kleine letter!), de afstand van de ‘top’ van de parabool (het uiteinde links) tot het ‘brandpunt’ P.

Als de kromme wand van de kop echt een parabolisch verloop heeft, is het theoretisch mogelijk de parabool te berekenen wanneer minstens twee punten worden gemeten. Ik heb daarvoor de plaats van het mondgat gekozen, punt A in de grafiek, en het einde van de kromming, waar de kop in het middenstuk schuift, punt B. Figuur 1 geeft aan dat bij A voor de halve diameter 8,5 mm is gemeten, en bij B 9,5 mm. De factor P blijkt dan maar 0,075 mm te bedragen! En de afstand van A tot de top is wel 48 cm, ver voorbij de fluit! De heimelijke wens die ik wel eens had om een kopstuk te maken met een perfect parabolische doorsnede en met het mondgat in het brandpunt is hiermee natuurlijk een onvervulbaar ideaal geworden. Böhm had ook al gewaarschuwd door zijn uitlating te nuanceren: de parabolische curve is maar een benadering van de kromme die Böhm bedoelde.

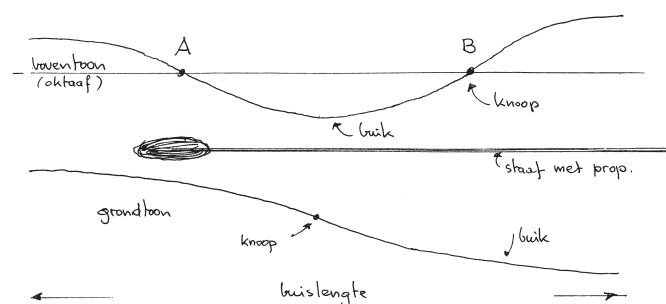


figuur 2

Om een idee te krijgen van de weg die Böhm gegaan is om de uiteindelijke vorm voor zijn kopstuk te vinden ben ik zelf gaan experimenteren vanuit hetzelfde uitgangspunt als hij. Ik neem aan dat de eerste kop die Böhm op zijn nieuwe fluit probeerde volkomen cilindrisch was, net als de rest van de buis. De oudere fluiten hadden ook alle een rechte kop. Ik maakte dus ook een cilindrische kop om te onderzoeken welk boventonen-spectrum deze te zien zou geven.

Hoewel Böhm beslist niet verwacht zal hebben met deze vorm al succes te kunnen boeken, moet het horen van het resultaat voor hem niet bepaald bemoedigend zijn geweest. De meeste overgeblazen tonen bleken veel te laag te zijn. In figuur 2 laat vlak A zien in welke mate, gemeten in cents, de overgeblazen octaven te klein zijn (100 cents = 1/2 toon). De horizontale lijn geeft precies de afstand van het mondgat tot het uiteinde van de kop weer.

De e^2 is zelfs een 1/4 toon te laag. Ook de tweede boventoon, de kwint, blijkt te laag (niet afgebeeld). Een eerste reactie is dan natuurlijk om de kurk op te schuiven in de richting van het mondgat, hoewel elke bouwer weet dat dit als het kan vermeden moet worden. Maar zelfs wanneer de kurk geheel tot het gat geschoven wordt, kan alleen het octaaf c^2 - c^3 redelijk geïntoneerd worden, de rest blijft hopeloos laag. Naast de onzuiverheid van het octaaf geldt ook dat de grondtonen door hun valse boventonen 'tegengewerkt' worden en slecht klinken. De slechtste tonen liggen rond de e^2 .



figuur 3

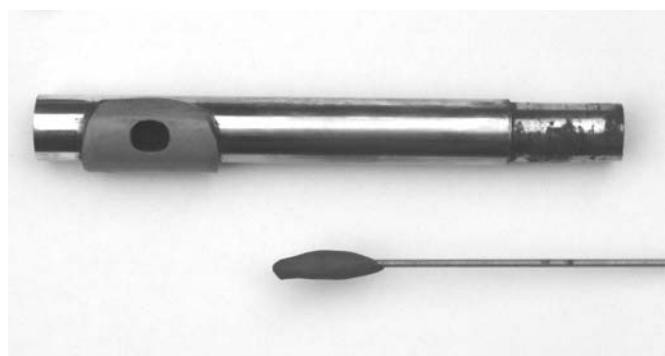


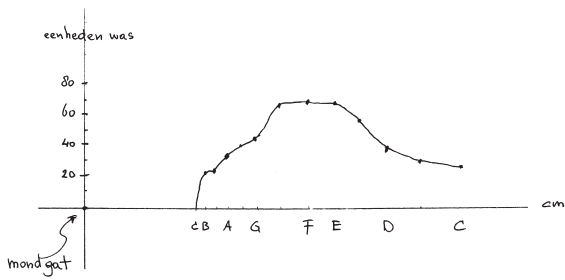
foto 1

Om er achter te komen in hoeverre ik de boring moest veranderen om tot zuivere octaven te komen (de kwinten laat ik daarbij even buiten beschouwing) gebruikte ik een methode die al sinds de middeleeuwen bekend is: een stuk ijzerdraad met een aërodynamisch gevormde prop was aan het eind (figuur 3, zie ook foto 1) wordt in de buis heen en weer bewogen, waardoor de toonhoogte van afzonderlijke tonen kan worden beïnvloed.

Het blijkt nu, dat de prop op bepaalde plaatsen wel invloed heeft op de intonatie van overgeblazen tonen, maar niet op de grondtoon. Dit heeft te maken met de manier waarop de luchtkolom bij grondtoon en boventonen trilt. Een luchtkolom gedraagt zich wat dit betreft ongeveer als een snaar waarop flageoletten worden gespeeld. Op bepaalde punten, de 'knopen', staan de luchtdeeltjes stil, op andere punten, de 'buiken', maken ze de grootste trillingen. De kromme lijnen in figuur 3 laten zien hoe sterk de luchtdeeltjes bij de grondtoon en bij overblazen in het octaaf trillen; de snijpunten met de rechte lijn zijn de knopen, de punten die het verst van de lijn verwijderd zijn de buiken. Als de grondtoon wordt gespeeld, zijn alleen de uiteinden dus buiken en is het midden een knoop. Als je overblaast in het octaaf ontstaat er precies in het midden van de buis een extra buik, en daartussenin komen er twee knopen. De trillende luchtkolom wordt als het ware in tweeën gedeeld. Door nog verder over te blazen verdeel je de luchtkolom op dezelfde manier in drie of meer gelijke delen.

In figuur 3 bevindt de prop zich op een punt, waar de luchtbeweging van de boventoon niet wordt gehinderd, omdat die daar een knoop heeft en de luchtdeeltjes dus toch stilstaan. Voor de trilling van de grondtoon zit de prop echter wel in de weg, waardoor de toon lager wordt. De dikte van de prop bepaalt de mate van beïnvloeding. In de figuur is ook te zien dat ter hoogte van B eenzelfde effect bereikt zal worden. De vernauwing van de buis heeft een soortgelijke uitwerking als de prop. De verhouding tussen de grondtoon en de boventonen moet dus worden verbeterd door de buis in de juiste mate nauwer te maken. Barokke traverso's en kleppenfluiten tot aan 1850 waren omgekeerd conisch, omdat hier de vernauwing bij punt B was aangebracht, terwijl Böhm er voor koos om juist het linker deel van de fluit te vernauwen. Een traverso werd (en wordt) van boven naar beneden geïntoneerd, van cis^2 naar d^1 , terwijl in het vervolg van dit artikel duidelijk wordt dat Böhm waarschijnlijk bij de laagste toon is begonnen en naar boven toe werkte.

Figuur 4 laat zien hoe dik de prop moest zijn, m.a.w. hoeveel gram was nodig bleek om elk octaaf afzonderlijk (!) zuiver te krijgen, en op welke afstand tot het mondgat die vernauwing moest worden aangebracht (vgl. 80 eenh. = 8 gr. was). Een vergelijking van de



figuur 4

figuren 2 en 4 laat zien dat de onzuiverheid in cents bijna recht evenredig is met de benodigde vernauwing van de buis. Wordt nu een langere reep was in de buis aangebracht, waarvan de vorm hetzelfde verloop heeft als de grafiek, dan geeft dit inderdaad enige verbetering. De hogere tonen echter (de tonen voor de linkerhand) zijn door het corrigeren van de lagere verder verslechterd. Was bijvoorbeeld het octaaf c^2 - c^3 aanvankelijk nog zuiver, nu is het door de correctie van c^1 - c^2 verslechterd. De zo ontstane nieuwe onzuiverheid is in figuur 2 als vlak B geëxtrapoleerd op de al bestaande, vlak A. Er moet dus extra was worden ingebracht. Op foto 2 is te zien hoeveel; de 'proefkop' ligt op de grafiek van figuur 2 met langs de lijn de hoeveelheid was. Een kop met een dergelijk boringsverloop geeft min of meer zuivere boventonen. In het verleden heb ik al eens iets gemaakt dat hierop lijkt. Mijn eerste basfluiten hadden ook een dergelijke kop. Sterk punt is de vrij goede laagte, maar echt mooi is het resultaat niet. In aërodynamisch opzicht is het niet elegant dat de ruimte onder het mondgat zich even later drastisch vernauwt; de plaatsing van de kurk tegen het mondgat aan evenmin. Opschuiven van de kurk naar links en opvullen van de te wijde ruimte onder het mondgat lijken elkaar ongeveer op te heffen.

Resumerend kan men stellen dat ik inderdaad vond dat het kopstuk nauwer moet worden; iets wat ik allang wist maar nu beter begrijp.

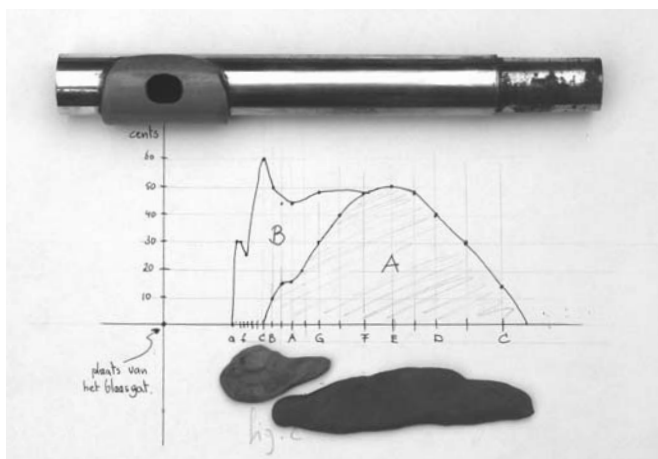
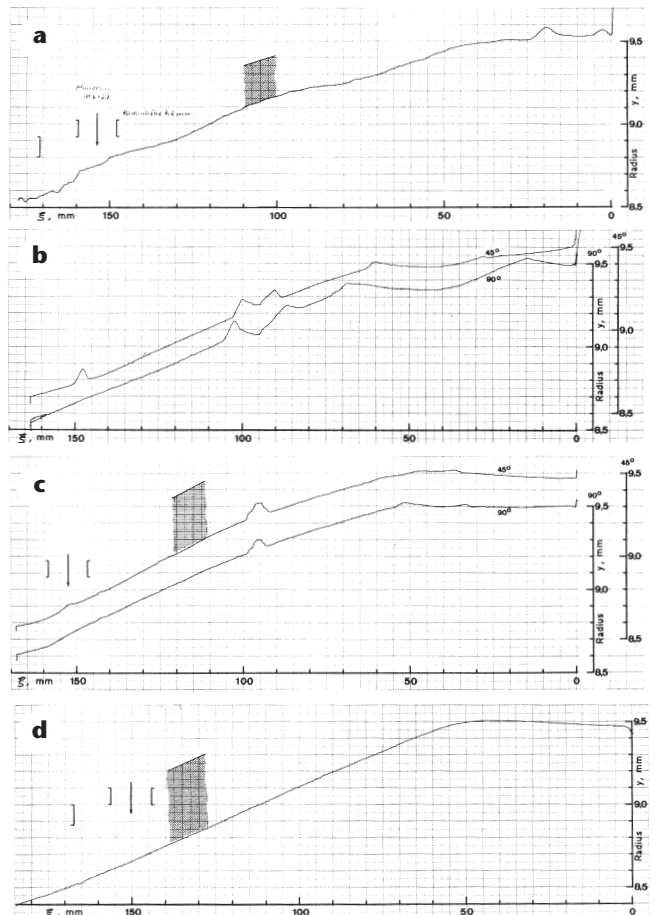


foto 2

Uit mijn bizarre figuren valt niets van een parabolische regelmaat op te maken. Fluitbouwers baseren het verloop van de kop op proefondervindelijk vastgestelde gegevens, niet op een formule. In een artikel in het blad *Tibia* uit 1984 van de natuurkundige Siegfried Winkler¹ over hetzelfde onderwerp blijkt dan ook, dat diverse gerenommeerde merken een even grote veelheid aan kopvormen te zien geven.

De metingen van Winkler (i.s.m. Gustav Scheck) zijn langs elektronische weg verkregen en geven de vorm van de kop nauwkeurig weer, inclusief deuken. Opmerkelijk is dat goedklinkende koppen evenzeer vloeiend als grillig verlopende curven kunnen hebben; zie figuur 5. Wel heel interessant is de curve van een Sankyo-kop, die over de grootste afstand kaarsrecht is! Zowel Dayton C. Miller, al aan het eind van de negentiende eeuw, als Siegfried Winkler in 1984 constateerden dat van een parabolische kop eigenlijk zelfs bij benadering geen sprake is.



Figuur 5
a Böhm, b Lot, c Cooper, d Sankyo.

¹ Siegfried Winkler, "Zur Kopfstückform der Böhmflöte", *Tibia* 1984/3, p. 179-187.

~~~~~