

## Conclusies

Als een afgeknotte conische buis (dus zonder punt) aangeblazen wordt aan het dunste eind, met of zonder mondstuk, dan geldt het volgende:

- Model 4 geeft een goede voorspelling van de produceerbare natuurtonen.
- Model 3 geeft te hoge frequenties aan.
- De natuurtonenreeks in model 4 is nog niet geheel harmonisch. Wel valt bij de uitgevoerde onderzoeken in de tabel "Frequenties volgens model 4" steeds het volgende op:  $f_{n+1} - f_n$  wordt constant, vaak direct al na  $n = 2$  of  $n = 3$ . Dit betekent dat al vrij snel na het begin de natuurtonenreeks in lijn is met een harmonische reeks. Alleen het begin wijkt af. Dit valt direct uit de 2<sup>e</sup> formule van Fletcher af te leiden. Immers, voor grotere waarden van  $n$  zal in de 2e formule van Fletcher de term tussen accolades naderen naar 2, zodat  $f_n$  zal naderen naar  $2(n-1/2)c/4L'$ . Dit betekent dat  $f_{n+1} - f_n$  zal naderen naar  $c/2L'$ .
- Een klankbeker verhoogt de lagere tonen (de laagste het meest).
- Een mondstuk verlaagt de hogere tonen (de hoogste het meest).
- De combinatie van model 4, klankbekereffect en mondstukeffect leidt met grote kans tot een natuurtonenreeks die wel harmonisch is. Alleen de grondtoon ontbreekt meestal. Dit is een empirisch gegeven.  
Voor cylindrische pijpen is dit een feit dat al langer bekend is vanuit de talrijke studies over het instrument trompet. Hier zorgt de combinatie van model 2, klankbekereffect en mondstukeffect dat de natuurtonenreeks harmonisch is.  
Ook hier geldt dat de grondtoon, die met enige moeite te spelen is, zelf geen resonantie is.

Voorgaande maakt duidelijk dat de 4 theoretische modellen op zich ontoereikend zijn voor het voorspellen van de frequenties van de natuurtonen van koperblaasinstrumenten en alpenhoorn. De effecten van mondstuk en klankbeker zijn natuurkundig zo gecompliceerd, dat ze zich niet direct m.b.v. wiskundige/natuurkundige modellen laten beschrijven. Ook de zgn. eindcorrectie  $0,3d_2$  is maar een benadering. De eindcorrectie is bijv. mede afhankelijk van de frequentie. En zo is er nog veel meer.

Er is dus nog veel aanvullend onderzoek nodig (en mogelijk).