

Trillingsleer

Toepassing op de alpenhoorn

We zullen nu de bruikbaarheid van deze modellen uittesten op de door mijzelf gebouwde alpenhoorn.
Specificaties van deze alpenhoorn:

Stemming: E

Lengte: 397 cm (conische buis incl. mondstuk: 337 cm; klankbeker: 60 cm)

Binnendiameter begin conische buis (waar het mondstuk ingestoken wordt): 1,3 cm

Binnendiameter einde conische buis, na 337 cm: 5,5 cm

Binnendiameter uiteinde klankbeker: 23 cm

Hoe je het ook wendt of keert, het geheel is niet een conische of afgeknotte conische buis!

Als we de klankbeker echter weglaten, dan houden we wel een conische buis over, maar met a niet klein.

Immers, $a = d_1 L / (d_2 - d_1) = 1,3 \times 337 / (5,5 - 1,3) \approx 104 \text{ cm}$.

We onderzoeken nu eerst het volgende:

Welke tonen produceert de alpenhoorn zonder klankbeker?

Welke tonen worden voorspeld door model 4 (met $L = 337$, $d_1 = 1,3$ en $d_2 = 5,5$) ?

Welke tonen worden voorspeld door model 3 (als we doen alsof $d_1 = 0$)?

Voor een paar tientjes kun je goede chromatische tuners krijgen die geproduceerde tonen nauwkeurig identificeren en daarbij ook een frequentie aangeven.

Alle experimenten hebben plaatsgevonden bij een kamertemperatuur van ca. 20° C. Daarom is voor de geluidssnelheid 343 m per sec aangehouden.

Uitkomsten van dit onderzoek:

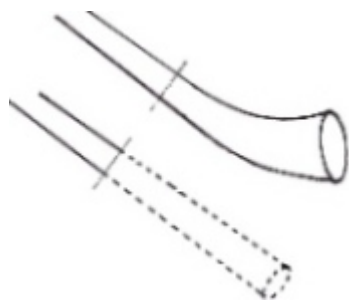
Frequenties volgens model 4	Frequenties volgens model 3	Werkelijke frequenties volgens de tuner
L: 337 cm d_1 : 1,3 cm d_2 : 5,5 cm	L: 337 cm d_1 : 0 cm d_2 : 5,5 cm $f = 343 / 2L'$	
$f_1 = 44$ (Hz)	$f = 51$ (Hz)	
$f_2 = 86$	$2f = 101$	84 (Hz)
$f_3 = 133$	$3f = 152$	132
$f_4 = 182$	$4f = 202$	179
$f_5 = 232$	$5f = 253$	230
$f_6 = 282$	$6f = 304$	280
$f_7 = 332$	$7f = 354$	332
$f_8 = 382$	$8f = 405$	378
$f_9 = 432$	$9f = 455$	434
$f_{10} = 483$	$10f = 506$	481
$f_{11} = 533$	$11f = 557$	525
$f_{12} = 584$	$12f = 607$	572

N.B.

Een duidelijk resultaat! Model 4 geeft een goede voorspelling van de werkelijk geproduceerde tonen. Model 3 geeft echter duidelijk te hoge frequenties.

We hadden het kunnen weten: **als a niet klein is, dan geldt model 4 en niet model 3.**

Model 4 is dus goed toepasbaar op deze hoorn zonder klankbeker.
 Model 4 zal dan ook een goede voorspelling geven van de tonen van de "doorgetrokken" hoorn, d.i. de hoorn met lengte 397 cm, maar met de klankbeker vervangen door een conisch deel van dezelfde lengte. Door deze tonen te vergelijken met de werkelijk geproduceerde tonen van de hoorn met klankbeker, kunnen we het effect van de klankbeker zichtbaar maken.



Het "doortrekken" van de conus tot lengte 397 cm leidt tot een binnendiameter aan het uiteinde van 6,25 cm.

Uitkomsten van dit onderzoek:

"Doorgetrokken", zonder klankbeker	Alpenhoorn in E (met klankbeker)	
L: 397 cm d ₁ : 1,3 cm d ₂ : 6,25 cm	L: 397 cm	
Frequenties volgens <u>model 4</u>	Frequenties volgens de <u>tuner</u>	2 ^e kolom bij benadering te lezen als:
f ₁ = 40 (Hz)		
f ₂ = 74	80	2f
f ₃ = 114	122	3f
f ₄ = 155	165	4f
f ₅ = 197	210	5f
f ₆ = 239	252	6f
f ₇ = 282	290	7f
f ₈ = 325	330	8f
f ₉ = 367	371	9f
f ₁₀ = 410	412	10f
f ₁₁ = 453	450	11f
f ₁₂ = 496	492	12f

Deze tabel geeft een zeer interessant resultaat te zien, namelijk het effect van de klankbeker! **de klankbeker verhoogt de lagere tonen**, waarbij de verhoging met het klimmen der tonen afneemt, zoals vrij goed te zien is in de tabel, wetend dat de metingen niet helemaal nauwkeurig kunnen zijn.

Dit effect van de klankbeker is een al lang bekend feit dat hier dus fraai bevestigd wordt.

Voorgaande betekent dat de frequentie f₁ uit de 1^e kolom in de 2^e kolom ook een tegenhanger moet hebben. Deze is echter te laag om aan te blazen.

Ook een vermeldenswaardige bijzonderheid is dat bij korte alpenhoorns soms ook de toon f aangeblazen kan worden. Deze toon is echter geen resonantie en wordt een pedaaltoon genoemd.

De 3^e kolom laat zien dat de resulterende tonenreeks van de alpenhoorn bestaat uit de gehele veelvouden 2f, 3f, 4f, 5f, 6f, van een frequentie f. De toon f heet de grondtoon.

De tonenreeks (f), 2f, 3f, 4f, 5f, 6f, wordt de harmonische reeks natuurtonen genoemd.

Het is dus de combinatie van model 4 en het effect van de klankbeker die maakt dat de reeks natuurtonen bestaat uit de gehele veelvouden van één toon (de grondtoon), waarbij de grondtoon zelf vaak ontbreekt.

Effect van het mondstuk

Ook het mondstuk heeft een effect op de hoogte van de tonen. Als in model 4 het gesloten uiteinde wordt ingenomen door een mondstuk (zoals dat van een koperblaasinstrument), dan blijft het een gesloten uiteinde, maar er treedt toch een zekere vervorming in de natuurtonenreeks op. Ook dit effect is al lang bekend. Een regulier **mondstuk verlaagt de hogere tonen**. In onze tabellen is dit effect echter niet overtuigend te zien.

We zullen er toch rekening mee moeten houden dat het de combinatie van model 4 plus het effect van de klankbeker plus het effect van het mondstuk is die maakt dat de resulterende reeks natuurtonen precies uit de gehele veelvouden van één toon (de grondtoon) bestaat, waarbij de grondtoon zelf ontbreekt.

In niet-wetenschappelijke literatuur kom je regelmatig tegen dat de alpenhoorn opgevat wordt als een open bijna-cylindrische buis. Dit is een wijdverbreid misverstand! Model 1 is niet van toepassing!

Samengevat

Het is de combinatie van model 4 plus het effect van de klankbeker plus het effect van het mondstuk die maakt dat de alpenhoorn de volgende natuurtonenreeks geeft:

(f), 2f, 3f, 4f, 5f,

De formule $2f = v / L'$ blijkt een redelijke benadering te geven van de frequentie van de 2^e natuurtoon (de laagste haalbare toon) van de alpenhoorn.

Toepassing van deze formule op de onderzochte alpenhoorn in E levert:

$$2f = v / L' = 343 / (3,97 + 0,3 \times 0,23) = 84,9 \text{ (Hz)}.$$

De 2^e natuurtoon is E2 (E groot octaaf) en daarvan is de frequentie 82,4 Hz.

Hier zien we dus hoezeer het lijkt alsof model 3 van toepassing is!

Voorgaande laat duidelijk zien

- dat het geheel ingewikkelder is dan sommige auteurs doen voorkomen,
- dat de bestaande modellen maar beperkt toepasbaar zijn,
- dat de klankbeker en het mondstuk ook effect hebben op de toonhoogtes.