

De betekenis van de duodeciem voor de vorming van de slagtoon

door

Dr. André Lehr

een opmerkelijk experiment

Op zaterdag 10 maart 1956 vond bij de Koninklijke Eijsbouts, klokkengieterij te Asten, een gedenkwaardige proef plaats.¹ Aan een aantal prominente beiaardiers uit Nederland en Vlaanderen werd een drietal klokken ter beluistering aangeboden met het verzoek aan te geven op welke toonhoogte die klonken. Achtergrond van dit experiment waren de toenmalige discussies over de slagtoon van de klok [zie kader]. Het was in die dagen een onbegrepen verschijnsel. Men had namelijk al veel eerder vastgesteld dat die toonhoogtegewaarwording niet identiek is aan die van één der partialen [zie kader]. En dat was natuurlijk heel vreemd. Wel wist men intussen dat de slagtoon precies één octaaf onder de partiaal octaaf ligt. Het was een wetmatigheid die voor de eerste maal door de befaamde Engelse geleerde Lord Rayleigh in 1879 aan de voorslagklokken van zijn landgoed Terling was ontdekt. Overigens had jonkheer Jacob van Eijck al in de jaren dertig van de zeventiende eeuw op de betekenis van het octaaf voor de toonhoogte van de klok gewezen. Het is de moeite waard om deze octaafregel aan de inwendige toonstructuur van de klok te toetsen [zie

Wat is een slagtoon?

De slagtoon is de toonhoogtegewaarwording van de klok op het moment van aanslag. Deze toonhoogte ligt één octaafinterval onder de partiaal het octaaf.

De duur van de slagtoon is minder dan één seconde. In het algemeen wordt hem een metallisch timbre toegekend.

De slagtoon is het beste te horen op enige afstand van de klok en na een krachtige aanslag.

De slagtoon maskeert tijdens de aanslag de hoge, dissonante boven-tonen.

De slagtoon is geen boventoon, doch een door het gehoor gevormde virtuele toon.

kader]. Wij kiezen daarvoor de allereerst zogenoemde octaafklok waarin de relatieve partiaaltönen c^1 , c^2 , c^3 en c^4 dominant voorkomen. Deze is in de eerste tonenkolom genoteerd. Daarin geeft een plus een lichte verhoging aan en een min een dito verlagening. Voorts zijn de zwak klinkende partialen cursief genoteerd.

In de tweede tonenkolom staat het gemiddelde van de zes Van Wou-klokken uit 1505 in de Domtoren te Utrecht. Hier is van een octaafklok geen sprake meer. Toch heeft ook die klok als slagtoon c^2 , dus ondanks het feit dat zowel de grondtoon als de priem meer dan een halve toon uit de koers liggen. Een betere illustratie van de octaafregel kan niet gevonden worden!

Partiaaltönen van twee klokken

grondtoon	c^1	bes^{0+}
priem	c^2	cis^{2+}
kleine tert	es^2	es^2
<i>kwint</i>	g^2	ges^2
octaaf	c^3	c^3
<i>grote deciem</i>	e^3	es^3
<i>1^{ste} undeciem</i>	f^3-	e^3
<i>2^{de} undeciem</i>	f^3+	f^3-
duodeciem	g^3	g^3
<i>grote tredeciem</i>	a^3	
<i>grote kwartdecim</i>	b^3	
dubbeloctaaf	c^4+	c^4

¹ J.G. van den Berk & A.J. Lehr, *Campanologie* (Asten, 1956), blz.20-20G.

In tegenstelling met de partiaaltönen is het opvallend dat de slagtoon onmogelijk met een instrument te meten is. Men komt niet verder dan de slagtoon te vergelijken met de toon van een stemvork bijvoorbeeld. Maar om een klok in de frequentie van de slagtoon in resonantie te brengen, blijkt niet uitvoerbaar. Klaarblijkelijk is het geen fysisch aanwezige toon doch een subjectieve toon die tijdens de aanslag door het gehoor gevormd wordt. Overigens is het bepalen van de slagtoon uitsluitend op het gehoor bepaald geen sinecure. Dat ondervonden bijvoorbeeld de leden van een adviescommissie voor de restauratie van de Amsterdamse Hemony-beiaarden in 1957.² Zij trachtten de slagtoon met stemvorken vast te stellen, doch waren daarin te vluchtig en controleerden hun metingen te weinig zodat de resultaten ver onder de maat bleven.

Maar keren wij weer terug naar onze musici op die zaterdag 10 maart 1956 in de Koninklijke Eijsbouts bijeen waren gekomen. Bij twee klokken was alles conform de bestaande theorie, want inderdaad stelden zij vast dat de slagtoon één octaaf onder de partiaal het octaaf lag. Nu was die duidelijke vaststelling van een oude regel bij die twee klokken ook wel voor de hand liggend. Het waren namelijk octaafklokken. Maar de derde klok was weerbarstiger. De toonopbouw van die klok was dan ook wel heel merkwaardig: grondtoon b^1 , priem d^2 , kleine terts g^2 , kwint e^3 , octaaf es^3 , duodeciem bes^3 . De slagtoon van die klok zou een es^2 zijn. Opvallend is dat de grondtoon maar liefst een kleine sext te hoog is en de kwintpartiaal een tritonus. Daar steekt de priem met slechts een halve toon te laag bijzonder gunstig bij af. Aanvankelijk hoorden de proefpersonen géén slagtoon maar toen ze klok met andere, meer normale klokken vergeleken, kwam het merendeel van de proefpersonen toch tot de conclusie dat de slagtoon op es^2 lag. Maar een minderheid hoorde nog steeds geen slagtoon.

Maar het kon nog erger want één van de proefpersonen, te weten Willem Créman stadsbeiaardier van Zwolle en Kampen, wees vol afkeer op een klok in zijn stad die helemaal geen slagtoon had en slechts “een rauwe kreet” voortbracht. Weliswaar hoorde men een toonhoogte, althans enkele van de proefpersonen en allermindst erg overtuigend, maar dat bleek bij nader inzien een partiaal te zijn. Wat was met die klok aan de hand? De klankanalyse zag er althans voor de octaafpartialen (grondtoon, priem en octaaf) vrij redelijk uit. Weliswaar was de kleine terts-partiaal bijna een halve toon te hoog en de kwint een halve toon te laag, doch daar bleef het dan ook bij. Het was een raadsel waarom juist die klok geen slagtoon liet horen. Zeker, er werd gewezen op de veel te dunne flank en een sterk vervormde lip, maar daar bleef het bij. Trouwens, dat deze defecten de slagtoonvorming onmogelijk maakten, was ook maar een hypothese. Het raadsel bleef toen onopgelost.

Een korte reeks harmonische boventonen bepalend voor een herkenbare toonhoogte

Merkwaardig is dat toen al de grondslag voor de verklaring van de slagtoon en zijn mogelijke defecten beschikbaar was. Wat was namelijk het geval? In 1939 werd op de Lichttoren aan de Emmasingel te Eindhoven een elektronische voorslag gemonteerd. Deze had vier tonen die gevormd werden door veren zoals die ook wel in pendules worden gebruikt. Hun klank werd elektrisch versterkt en bereikte de voorbijgangers derhalve via forse luidsprekers. Maar zij ergerden zich aan de valsheid van één van die veren. Op dat moment werd de toen nog jonge onderzoeker dr. Jan Schouten erbij gehaald. Hij immers hield zich als Philipsmedewerker bezig met allerlei muzikale en onmuzikale klanken. Allereerst gaf hij naar goed klokgebruik elke veer een naam. Het werden Jumbo, Jericho, Johannes en Judas, waarbij het duidelijk moge zijn dat Judas de valserik was. En de reden leek al snel duidelijk. Hadden namelijk de goede veren onder hun boventonen de sterk klinkende relatieve reeks $c^2 - g^2 - c^3$, een combinatie die

² Studie betreffende eventuele uitbreiding c.a. van de vier gemeentelijke Hemony-carillon te Amsterdam (Dienst der Publieke Werken Amsterdam, 1957); André Lehr, *Historische en muzikale aspecten van Hemony-beiaarden* (Amsterdam, 1960), p.103-121.

door de luisteraar op toonhoogte c^1 werd gehoord, Judas had die fraaie reeks geenszins. En vandaar, zo leek het, had Judas een onduidelijke, valse toon.

Schouten zocht een verklaring in een fundamenteel andere richting dan destijds gangbaar was. Om dit te begrijpen lijkt het goed allereerst een uitstapje te maken naar een toren van waaruit twee luidende klokken te horen zijn. Stel dat de ene klok 60 aanslagen per minuut maakt tegen de andere 65. Het gevolg is dat wanneer beide klokken gelijktijdig starten, ze gaandeweg uit elkaar zullen lopen om na verloop van tijd toch weer bij elkaar uitkomen, dus op hetzelfde moment weer aangeslagen worden. Gemakkelijk is uit te rekenen dat die periode 12 seconden duurt, waarin de grootste 12 aanslagen maakt en de kleinste 13 aanslagen. De klokken samen hebben derhalve een periodiciteit van 12 seconden. Een aanbevolen experiment! In Schoutens theorie is die periodiciteit het centrale thema. Want iets dergelijks kan ook bij tonen optreden, dat derhalve de frequenties van twee gelijktijdig klinkende tonen een overkoepelende periodiciteit vormen waarvan de frequentie eveneens als een toon wordt ervaren, ja zelfs dé toonhoogte van de tweeklank vormt. Aan de hand van de valse klokkeveer op de Lichttoren te Eindhoven kunnen wij dat illustreren.

Schouten had ontdekt dat de goed klinkende veren de relatieve reeks $c^1 - g^1 - c^2$ onder hun partialen hadden. Deze hebben de verhoudingsfrequenties 2 : 3 : 4. Analooq met de redenering over de twee luidende klokken kan men bij deze reeks uitrekenen dat de gemeenschappelijke periodiciteit 1 is, een c^1 derhalve. En op die toonhoogte werden de betrokken veren beoordeeld. Maar, zo merkte Schouten op, de meeste klokken hebben diezelfde reeks met de partialen octaaf c^2 – duodeciem g^2 – dubbeloctaaf c^3 . Daarom zo, zei hij, ligt de slagtoon op c^1 .

De moeizame acceptatie van Schoutens hypothese

Dat was in 1939. Het resulteerde in een aantal publicaties die in de klokkenwereld volledig onopgemerkt bleven.³ In 1949 had daar verandering in kunnen komen. Toen namelijk promoveerde E.W. van Heuven te Delft op een proefschrift over klokken en beiaarden. Daarin besprak hij ook Schoutens theorie inzake de slagtoon, doch liet gelijktijdig blijken er niet veel van begrepen te hebben.⁴ Een gemiste kans derhalve. Maar dat was ook tijdens de cursus campanologie die J.G. van den Berk en schrijver dezes in 1956 te Asten gaven.

grondtoon	fis1+
priem	fis2
kleine tert	a2
kwint	cis3
octaaf	fis3
duodeciem	d3

Want ook zij noemden de theorie van Schouten, doch verwierpen haar omdat het hun niet aannemelijk leek dat een felle slagtoon gevormd kon worden door drie hoog klinkende partialen.

De ommekeer kwam toen de Weense klokkengieter Joseph Pfundner de slagtoontheorie van Schouten in de klokkenwereld nadrukkelijk aan de orde stelde.⁵ Dit alles resulteerde in 1965 in een lezing van Prof. Schouten voor het toenmalige “Nederlands Akoestisch Genootschap” te Delft met als titel “De slagtoon van klokken”.⁶ Daarin ook beschreef hij enkele recente experimenten die zelfs de aarzelaars over de brug hielpen.⁷ Schouten vond dus dat drie partialen de slagtoon vormen. Maar dat is in tegenspraak met de regel die Rayleigh in 1879 ontdekte. Hij immers stelde dat de toonhoogte van de slagtoon uit-

³ Wij noemen de voornaamste publicaties: J.F. Schouten, *The residue, a new component in subjective sound analysis*. In: *Proceedings of Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen*, vol.43, 1940, p.356-365; J.F. Schouten, *The perception of pitch*. In: *Philips Technical Review*, vol.5, 1940, p.286-294.

⁴ E.W. van Heuven, *Acoustical Measurements on Church-Bells and Carillons* (Delft, 1949), p.140-141.

⁵ J. Pfundner, *Über den Schlagton der Glocken*. In: *Acustica*, vol.12, 1962, p.153-157.

⁶ J.F. Schouten en J. 't Hart, *De slagtoon van klokken*. In: *Enkele voordrachten over muziek en muziekinstrumenten* (Nederlands Akoestisch Genootschap, Delft, 1965), blz.8-19.

⁷ Over de geschiedenis van Schoutens theorie zie: J.F. Schouten, *The Residue revisited*. In: R. Plomp and G.F. Smoorenburg (ed.), *Frequency Analysis and Periodicity Detection in Hearing* (Leiden, 1970), blz. 41-58..

sluitend afhankelijk is van die van de partiaal het octaaf. Maar opgemerkt moet worden dat Rayleigh die uitspraak alleen maar kon doen omdat de ligging van het drietal partialen octaaf, duodeciem en dubbeloctaaf in normaal geproportioneerde Westeuropese klokken redelijk stabiel en zuiver is. Men moet wel heel grote profielafwijkingen kiezen om die structuur ingrijpend te kunnen doorbreken. Oorzaak schuilt in het feit dat deze partialen nauwelijks van elkaar verschillende eigenfuncties bezitten zodat zelfs grote profielveranderingen slechts kleine veranderingen in de onderlinge ligging van die partialen kunnen bewerkstelligen.

Heeft een klok altijd een slagtoon?

Opmerkelijk is dat in al deze discussies de slagtoon als een vast gegeven van elke klok beschouwd werd. Weliswaar had Schouten tegenover schrijver dezes de vraag opgeworpen of er ook klokken zonder slagtoon zijn, doch dat was nooit onderzocht. Toch waren er wel degelijk signalen in die richting. Wij noemden al de Zwolse klok waaraan Willem Créman geen slagtoon kon ontdekken, ja eigenlijk niet veel anders dan een “rauwe kreet”. Maar er zijn meer aanwijzingen.

In 1980 en 1984 publiceerden E. Terhardt en M. Seewann een onderzoek naar de slagtoon van 137 historische klokken uit de periode 1249-1845, klokken met soms wel heel erg afwijkende klankstructuren.⁸ Aan vijftien proefpersonen werd gevraagd de toonhoogte te bepalen waarop zij die klokken waardeerden. En wat bleek? In 12% van de gevallen hoorden de proefpersonen niet een virtuele toonhoogte, dus een slagtoon die niet identiek aan een partiaal is, doch wel degelijk een partiaal. Bovendien bleek de op het gehoor bepaalde toonhoogte van sommige klokken allerm minst voor elke proefpersoon dezelfde te zijn. Er was zelfs een klok die op elf verschillende tonen beoordeeld werd. Toch was de toonstrucuur van die klok niet opvallend afwijkend, ofschoon de duodeciem maar liefst een halve toon te hoog was [kader]. Meer in het algemeen kwamen de onderzoekers tot de volgende conclusies:

1. De toonhoogtegegewaarwording van een klok is in principe meerduidelig. Het bleek helemaal niet zo vanzelfsprekend dat iedereen bij alle klokken een slagtoon hoort.
2. Is er wél een duidelijke slagtoon dan heerst nog al eens twijfel over de vraag in welk octaaf die ligt. Dikwijls hoort men hem niet in de omgeving van de priem, zoals gebruikelijk, doch in de buurt van de grondtoon.

Een juiste duodeciem geeft een goede slagtoon

Maar gaan wij weer een stuk terug in de geschiedenis. Johannes Blessing, een bekend klokkenonderzoeker rond 1900, deed de volgende experimenten.⁹ Van een oude klok sleep hij de kop af en beluisterde vervolgens deze gedecimeerde klok. Van een slagtoon was geen sprake. Vervolgens reduceerde hij deze klok zonder kop tot een ring met voornamelijk de slagring. Geen slagtoon te horen. Achteraf gezien is dat wel duidelijk, want een ring is nu eenmaal geen klok en bezit dan ook totaal andere soorten partialen. Octaaf, duodeciem en dubbeloctaaf waren in die ringen niet verschoven, doch simpelweg verdwenen.¹⁰ Maar anders lag het met de proef waarin de slagring van de klok zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde werd weggeslepen. Deze klok bleek geen slagtoon meer te bezitten. Berekeningen met de eindige elementenmethode tonen aan dat de kleine terts globaal gesproken een halve toon omhoog gaat en de duodeciem ruim een kwarttoon omlaag, terwijl het dubbeloctaaf zijn positie be-

⁸ M. Seewann und E. Terhardt, *Messungen der wahrgenommenen Tonhöhe von Glocken*. In: *DAGA 1980 Proceedings Deutsche Jahrestagung für Akustik*, p.635-638; E. Terhardt und M. Seewann, *Auditive und objektive Bestimmung der Schlagtonhöhe von historischen Kirchen-Glocken*. In: *Acustica*, vol.54, 1984, p.129-144.

⁹ Johannes Blessing, *Ueber Glocken und ihre Musik*. In: *Gregorius-Blatt*, jg.21, 1896, p.55-57; Johannes Blessing, *Über den Klang der Kirchenglocken*. In: *Physikalisches Zeitschrift*, jg.12, 1911, blz.597-600.

¹⁰ Oorzaak is het feit dat een klok wordt opgehangen en op die plaats voor alle belangrijke partialen een knoop heeft, terwijl een vrij opgehangen ring in een rand géén knopen heeft..

hield. Het mogelijk duidelijk zijn dat dan de reeks 2 : 3 : 4 ernstig verstoord is. In feite is die vervormd tot 2 : 2,9 : 4. Blijkbaar is daarmee een grens overschreden waarbinnen een duidelijke slagtoon in ons gehoor kan ontstaan.

Overziet men de gegeven voorbeelden van klokken zonder slagtoon dan lijkt het erop dat de duodeciem daarin een cruciale rol speelt. Overigens werd dat reeds in 1933 door de onderzoekers Erwin Meyer en Johannes Klaus vastgesteld.¹¹ Zij namen een proef door van de klokkeklank met behulp van elektrische filters alleen de laagste vijf partialen te laten horen, dus tot en met het octaaf. Er werd geen slagtoon gehoord. Toen echter ook de duodeciem werd doorgelaten, trad de slagtoon in alle duidelijkheid naar voren! Al eerder, in de jaren twintig daarvoor, had de eminente Nederlandse onderzoeker frater Getulius (Jan Arts) de al even prominente Duitse onderzoeker Peter Griesbacher min of meer verweten dat deze bij de bespreking van de slagtoon in zijn standaardwerk *Glockenmusik* uit 1927 de duodeciem ongemoeid liet.¹² Hij, Getulius, had de ervaring dat die partiaal juist zéér belangrijk is! Overigens, een nadere uitleg gaf hij niet.

Men kan dat ook via een andere benadering bevestigd vinden. Oosterse klokken, cilindrisch van vorm en zonder een uitgesproken slagring, hebben geen harmonische reeks $c^2 - g^2 - c^3$ en al evenmin een slagtoon. Onderzoek van Chinese onderzoekers heeft aangetoond dat de luisteraar één van de partialen als toonhoogtebepalend ervaart.¹³ Maar eensgezindheid daarin bestaat allerminst. Wat de ene luisteraar als bepalend ervaart, wordt door een ander niet gedeeld. Bijna elke sterke partiaal blijkt als toonhoogtebepalend gebruikt te kunnen worden.

De rol der partialen bij de vorming van de slagtoon

Het ultieme onderzoek werd tenslotte in 1986 aan de Technische Universiteit te Eindhoven uitgevoerd. Aldaar werd door de toenmalige student, thans Prof. J.H. Eggen onder leiding van Prof. A.J.M. Houtsma als afstudeeronderzoek gekozen voor een reeks systematisch opgezette proeven die de rol van elke partiaal bij de vorming van de slagtoon moest aantonen.¹⁴ De gang van zaken was daarbij de volgende.

Uitgangspunt was een bandopname van de c^2 -klok van Pieter Hemony (1675) uit de beiaard van Gouda. In die opname werden langs elektronisch weg de partialen één voor één vervangen door een kunstmatige met telkens een andere ligging. Wilde men bijvoorbeeld weten welke rol de priem speelt, dan werd de echte priem verwijderd en vervangen door een artificiële priem die gevarieerd werd tussen een 10% lagere en 10% hogere frequentie. Vervolgens werd elke klok met een gemodificeerde priem aan vier proefpersonen aangeboden. Eén van hen was een ervaren musicus; de drie anderen hadden een bescheiden muzikale ervaring. De resultaten van dit onderzoek kunnen voor alle partialen als volgt worden samengevat:

- 1) Van alle partialen zijn voor de slagtoon alleen het octaaf en de duodeciem van belang, het dubbeloctaaf ook nog, zij het in aanzienlijk mindere mate, terwijl alle overige partialen geen enkele rol bij de vorming van de slagtoon spelen. Hun ligging in het klankspectrum is voor de slagtoon onbelangrijk.
- 2) Zodra de frequentie van de duodeciem meer dan 4% van de ideale waarde afwijkt, dus ruwweg ruim een kwarttoon, verdwijnt de slagtoon. De proefpersonen kiezen dan voor een partiaal als toonhoogtebepalend voor de klok. Maar eensgezindheid in de keuze

¹¹ Erwin Meyer und Johannes Klaus, *Über den Schlagton von Glocken*. In: *Die Naturwissenschaften*, jg.21, 1933, p.697-701.

¹² P. Griesbacher, *Glockenmusik. Nachtrag* (Regensburg, 1929), blz.43.

¹³ Chen Tong and Zheng Darui, Acoustical Properties of the Yongle Bell. In: *Chinese Journal of Acoustics*, Vol.5, 1986, p.375-381; Cai Xiulan, Zheng Minhua and Chen Tong, Shape and Acoustical Characteristics of Ancient Bells. In: *Chinese Journal of Acoustics*, Vol.6, 1987, p.368-379.

¹⁴ J.H. Eggen, *The strike note of bells* (afstudeerscriptie TU/e, 1986); J.H. Eggen and A.J.M. Houtsma, *The pitch perception of bell sounds*. In: *Institute for Perception Research. IPO Annual Progress Report*, vol.21, 1986, p.15-23.

van de partiaal ontbreekt daarbij. Overigens, anderen leggen de grens van een toelaatbare afwijking veel lager, tot zelfs 1,5%. Anderzijds moge het duidelijk zijn dat zodra een klok deel uitmaakt van een melodische reeks het toekennen van een toonhoogte en dan met name de slagtoon heel wat gemakkelijker gaat.

Het fenomeen slagtoon ontstaat dus in een klok, dankzij een redelijk zuivere kwint tussen de partialen octaaf en duodeciem. Maar dit verschijnsel beperkt zich geenszins tot de klok. Pauken bijvoorbeeld behoren ook tot die categorie, althans indien dit instrument niet in het midden van het membraan wordt aangeslagen, doch halverwege naar de rand. Dan ontstaat namelijk een harmonische reeks ($c^2 - g^2 - c^3 - e^3 - g^3$) die de pauk zijn duidelijk herkenbare toonhoogte op c^1 geeft en hogere dissonante partialen naar de achtergrond drukt.¹⁵

De slagtoon van de grote terts-klok

Uit het voorafgaande kan duidelijk lering worden getrokken, namelijk wil een muziekinstrument dat van nature geen harmonische boventonen bezit, toch een duidelijke toonhoogte geven, het een (kleine) reeks sterk klinkende harmonische boventonen dient te bezitten. Wij gaven reeds enkele voorbeelden van klokken waarin dat niet of onvoldoende het geval was. Het ging daarbij om uiteenlopende typen klokken. Nochtans is er één categorie waarin het euvel van onvoldoende harmonische structuur tussen octaaf en duodeciem in elke klok pregnant aanwezig is. Wij doelen hier op de grote terts-klok die in 1985 ontwikkeld werd en in de daarop volgende vijftien jaren verschillende profielvarianten kreeg. Maar alle hadden gemeen dat tijdens de aanslag de slagtoon weliswaar aanwezig was, doch ernstig gestoord werd door hogere boventonen. Pas laat, en achteraf verwonderlijk veel te laat, ontdekte schrijver dezes dat de veel te lage duodeciem daar debet aan was. In al die klokken was de duodeciem ten opzichte van het octaaf namelijk 30-50 cents te laag. Toen dit verholpen werd, zij het dat dit verre van eenvoudig was, klonk de grote terts-klok zoals het behoort, met een duidelijke slagtoon die de dissonantie tijdens de aanslag weet te maskeren.

¹⁵ A.J.M. Houtsma and J.H. Eggen, *Indian drums and Chinese bells: measured spectrum and perceived pitch*. In: E. Ozimec (ed.), *Proceedings of the International Symposium on Subjective and Objective Evaluation of Sound* Poznan, Poland, September 25-27, 1990; Neville H. Fletcher & Thomas Rossing, *The Physics of Musical Instruments* (New York etc., 1991), p.408-409; Thomas D. Rossing, *Acoustics of percussion instruments. Recent progress*. In: *Acoustical Science and Technology*, jg.22, 2001, p.177-188.