

Over luidende klokken en schommelende torens

André Lehr

Het is een bekend verschijnsel dat sommige luidklokken de toren in beweging kunnen brengen, ja zelfs zo erg dat er scheuren in het bouwwerk kunnen ontstaan. Het probleem is al heel oud, doch eerst in de twintigste eeuw werd de oorzaak én de oplossing gevonden. Dit artikel vertelt de geschiedenis daarvan. Een boeiend stuk techniekgeschiedenis!

Het was in het jaar 1717 dat tsaar Peter de Grote op de hoogste wenteltrap van één der torens van de St. Nicasiuskerk te Reims zat.¹ Het scheen dat hij sliep, want hij had beide ogen toe. In werkelijkheid echter probeerde hij in grote concentratie tijdens het luiden van de tweede klok de bewegingen van de toren te volgen. Want daar was die toren en juist die klok berucht om. En alles wat de tsaar voelde en waarnam, werd door een naast hem staande geheimschrijver zorgvuldig opgetekend.² Zonder enige twijfel zullen die notities nog steeds bewaard worden, ergens in het Kremlin!

Maar de toren genoot niet alleen om dat verschijnsel bekendheid. Neen, er was nog iets geheimzinnigers aan de hand. Want als die storende tweede klok luidde, ging één van de penanten of steunpilaren tegen het schip van de kerk samen met de klok heen en weer (figuur 1). En dat was al honderd jaar zo! Niemand echter kon dit merkwaardige verschijnsel verklaren: dat een penant op zijn grondvesten stond te trillen wanneer een vijftien meter hoger hangende klok in een daarnaast staande toren begon te luiden. En het vreemde was bovendien dat in die bewuste toren weliswaar vier klokken hingen, maar dat alleen de op één na kleinste de steunpilaar aan het schommelen kon brengen; de andere luidklokken daarentegen niet!

Deze schikking, zoo onbequaam om eenige gemeenschap tusschen de klok en den penant of pylaar te doen zien, heeft veele natuurkundigen verlegen gemaakt. En wat verzonnen die al niet! Aanvankelijk dacht men aan twee mogelijke oorzaken: óf de klok bracht zoveel lucht in beweging dat de pilaar wel moest gaan schommelen, óf de pilaar had dezelfde toon als de klok en werd derhalve tijdens het luiden door de klank van de klok in resonantie gebracht. Moeten wij nu al in ons verhaal deze verklaringen ontzenuwen, in een tijd waarin wij het allemaal zo precies weten? Het zou niet aardig zijn! Laat ons daarom de achttiende eeuwers blijven volgen, in hun pogingen om het raadsel te ontrafelen.

De uitleg met de bewegende lucht was natuurlijk snel op zijn waarde getoetst. Men stopte namelijk het galmgat dat het dichtst bij de penant was gelegen met zware wolven en linnen dekens dicht en luidde nogmaals de klok met die geheimzinnige kracht.

¹ André Lehr, *Het mysterie van de schuddende penant*. In: *Klok & Klepel*, nummer 34, juni 1985, p.9-15.

² Wij ontleen deze bijzonderheden over de gebeurtenissen in Reims aan: *Schouwtoneel der Natuur, of Samenspraken over de byzonderheden der natuurlyke histori, die men bequaamst geoordeeld heeft om den jongen lieden leerzucht in te boezemen, en hun verstand op te leiden*. Uit het Fransch vertaald door P. le Clercq (Amsterdam, 1749), deel 14, p.86-108. Er is ook een Duitse vertaling uit de jaren 1760-1766 (Frankfurt und Leipzig) van N.A. Pluche met als titel *Schauplatz der Natur*. De geschiedenis van de penant komt voor in de *siebende Unterredung*, p.330-350.

Maar de penant bleef op zijn grondvesten trillen. De voorstanders van de resonantie-theorie juichten reeds, totdat iemand zo slim was om de klepel uit de klok te halen. De stemloos geworden luidende klok behield echter haar magische invloed op die zo graag bewegende penant.

Toen de voor de hand liggende verklaringen faalden, ging men de kerk en haar torens toch eens wat beter onderzoeken. En men beklom ook de andere toren waarin twee zware luidklokken hingen. Maar ondanks het merkbaar groter gewicht stond die toren als een rots zo stil tijdens het luiden. Totdat opeens de tweede klok in de andere toren begon te luiden, zo maar toevallig. Maar toevallig of niet, onze onderzoeker moest bemerken dat de toren waarin hij stond en waarin die twee zware klokken hingen, enigszins begon te schommelen. Droomde hij? Had hij hallucinaties? Niets zou hem nog weerhouden om de waarheid aan het licht te brengen, want snel maakte hij een kousenband los, hing daar een van de grond opgeraapte steen in, nam het andere uiteinde in zijn hand en steunde die hand tegen een naar binnen hellende muur. En waarachtig, langzaam, heel langzaam begon de steen te slingeren, in gang gebracht door de bewegende muur waartegen hij zijn hand liet rusten.

Men ging terug naar de andere toren. Daar en alleen daar scheen het raadsel ontsluitend te kunnen worden. En men constateerde toen al gauw dat die toren eigenlijk helemaal niet zo solide was als de toren waarin de twee zware klokken hingen. Verder stelde men vast dat de klokkenstoel voor de vier klokken waarvan de op één na kleinste de onverbeterlijke zondares bleef, al evenmin erg stevig van constructie was. Bovendien hingen de kleinste twee klokken het hoogst in de stoel en tenslotte luidden juist die twee klokken in de richting van het schip van de kerk. De overige, dus ook de twee zware in de andere toren, schommelden loodrecht op de as van de kerk.

Met deze gegevens was men ongetwijfeld erg dicht bij de oplossing van het raadsel, althans als men in onze tijd had geleefd. Want, om het kort en bondig te zeggen, klokken die in de richting van de as van de kerk luiden, kunnen trillingen in die kerk veroorzaken. Voorwaarde is dat de frequentie waarvoor het schip van de kerk gevoelig is, van dezelfde orde van grootte is als de frequentie waarmee de luidende klok heen en weer gaat, het luidtempo derhalve. Overigens, indien de schipfrequentie het drie- of vijfvoudige van die schommelfrequentie van de klok is, kan hetzelfde verschijnsel optreden.³ En kennelijk was iets dergelijks in Reims met de op één na kleinste luidklok aan de hand, terwijl bovendien, en dat was natuurlijk erg bijzonder en evenmin veel voorkomend, de bewuste penant juist in een buik van de golf lag die zich vanuit de toren in het schip verplaatste. Maar genoeg hierover. Keren wij terug naar de achttiende eeuw toen men nog lang niet aan dit soort verklaringen toe was.

Neen, op dit punt van het onderzoek gekomen, dacht men in Reims aan een geheel andere uitleg. Want, zo redeneerde men, als een stok in de grond wordt gestoken en die stok wordt in een heen en weer gaande beweging gebracht, zal het uiteinde het meest bewegen. Bovendien zal dat uiteinde, evenals dat bij een hefboom het geval is, gemakkelijker in beweging zijn te brengen dan wanneer dat ergens halverwege die stok moet gebeuren.

³ André Lehr, *Campanologie* (Mechelen, 2^{de} druk 1997), p.388-392.

Welnu, kennelijk veroorzaken de hoogst hangende klokken, en dan natuurlijk vooral de zwaarste van beide, de grootste beweging in het topje van de stoel. En juist die beweging zal zich in het gebouw voortplanten en wel in de richting van het schip omdat die twee hoogst hangende klokken ook in die richting luiden. Kennelijk was de redenering erg simpel. De hoogst hangende zwaarste klok zal het gemakkelijkst de grootste heen en weer gaande beweging aan de toren kunnen geven en die beweging of trilling zal zich in het schip voortzetten en vooral die delen aan het trillen brengen, die het zwakste zijn. En dit laatste motiveerde de onderzoeker met de opmerking: *Desgelyks zult gy als'er eene koets of zwaare wagen onder de vensters van uw keuke voorbyrydt, de taart- en stoofpannen los aan den wand hangende zien bewegen en zelfs hooren klinken, terwyl de muuren en het zwaare huisraad maar eene geringe daveringe ondergaan die'er geen verzetting of verplaatsing in brengt.* En men nam de proef op de som!

De eerste controleproef bestond eruit om de kleinste klok, die kennelijk te licht van gewicht was om een behoorlijke trilling te veroorzaken, te verzwaren en wel met de klepels van de andere klokken die haar tegen het lijf werden gebonden. De klokkenluiders werden erbij gehaald en die waren best bereid om die zonderlinge klok voor enige flessen wijn te luiden, uit alle macht. En jawel hoor, er werd een kleine beving in de penant geconstateerd. Kennelijk was ook de kleinste klok tot dat miraculeuze verschijnsel in staat, mits ze maar voldoende gewicht had. De volgende stap lag natuurlijk voor de hand. Bindt die klepels aan de tweede klok vast, aan de ware boosdoener, en de penant zal nog heviger gaan trillen, met al dat extra gewicht.

Hier scheen het uitwerksel drie maal zoo sterk te moeten weezen. Ook zag men den eersten, den tweeden en derden steunpilaar zich te gelyk bewegen. Noch eenige klepels of eenige vlessen wyn meer zouden de kerk hebben doen instorten, zoo hevig was de schudding. Maar wy oordeelden het uiterste niet moeten waagen. Alles werd weder in den vorigen staat hersteld. En achteraf scheen dat een zéér verstandige beslissing, want de waarnemers die met potten water op het gewelf van de kerk waren gestationeerd, wisten te vertellen dat toen de op één na kleinste klok met al die klepels geluid werd, het water over de rand klotste, zo heftig waren de bewegingen.

Wij zullen al die experimenten verder laten rusten en tot slot nogmaals vaststellen dat men in het zoeken naar een verklaring de meest wezenlijke dimensie steeds weer over het hoofd zag, namelijk de luidfrequentie, of anders gesteld het tempo waarin de luidende klok telkens weer aan het gebouw rukt. Is die frequentie dezelfde als van de penant, dan zal die penant tenslotte in resonantie raken, dus in hetzelfde tempo heen en weer slingeren als de luidende klok dat doet. Hierbij nemen wij aan dat de door de luidende klok opgewekte krachten zich door de muren konden voortplanten naar de bewuste penant. De lezer kan dat dit alles navoelen door zich te herinneren hoe hij vroeger een plank over een sloot door wippen in beweging trachtte te brengen. Want wanneer dat in het juiste tempo geschiedde, begon de plank inderdaad met zijn danser mee te bewegen, raakte derhalve in resonantie en gaandeweg steeds meer. De doorbuigingen werden dus steeds groter en meestal hielden wij dan al gauw op, bang als wij waren om in het water te vallen!

Ook bij de luidklok zou een dergelijke zorg bepaald niet onterecht zijn, hoewel men zich daar in Reims niet het minst druk over maakte. Voor hen was de bewegende penant slechts een boeiend natuurkundig verschijnsel en zeker niet het signaal dat het gebouw door die voortdurende trillingen zou kunnen scheuren. Elders bestond die zorg wel degelijk, zoals in diezelfde achttiende eeuw in Nijkerk bijvoorbeeld.⁴ En wat men al niet verzon om het slingeren van de toren tegen te gaan! Wat was namelijk het geval?

De toren van de Hervormde Kerk aldaar bleek in 1773 dusdanig in verval te zijn, dat een ingrijpende restauratie noodzakelijk was. Bovendien wilde men ook een klokkenspel waarvan de laagste drie tevens luidklokken waren. Na nog al wat strubbelingen resulteerde dit in 1777 in drie luidklokken van Alexius en zijn zoon Henricus Petit uit Someren en een beiaard van Andreas Jozef van den Gheyn uit Leuven.⁵ Als architect van de toren was Jan Bolten uit Amsterdam gekozen die zich op keurige wijze van zijn taak kweet. Of toch niet helemaal?

Toen de klokken voor de eerste maal gebruikt werden, ontdekte men namelijk dat tijdens het luiden *eenige beweginge en aandoeninge of trillinge in den toren daardoor ontstond*. Toch waren deze drie klokken niet uitzonderlijk zwaar, want met hun tonen e^1 , f^1 en g^1 wogen ze resp. 2979, 2018 en 1429 pond. Het spreekt vanzelf dat architect Bolten onmiddellijk naar Nijkerk werd ontboden, teneinde van advies te dienen inzake zijn blijkbaar toch niet zo hecht bouwsel. Aanvankelijk meende Bolten het euvel te kunnen verhelpen door een aantal extra kruisbalken in de klokkenstoel aan te brengen. De toren echter bleef zijn *aandoeninge* behouden en Bolten kon tenslotte niet anders voorstellen dan enkele Amsterdamse torens te bezoeken om te zien hoe men daar soortgelijke problemen had opgelost. Het resultaat van dit onderzoek werd door hem in zijn brief van 20 februari 1778 uiteengezet. Conclusie was dat de lagers waarin de luidassen draaiden van een andere constructie behoorden te zijn. Men ging te Nijkerk op dit voorstel in, doch, zoals scriba Van der Hart in zijn notulen memoreerde, *sonder dat men heeft kunnen bemerken, dat het eenige veranderinge in de beweginge of aandoeninge van den toren maakte*.

Men zocht daarom naar een andere oplossing. Op een bepaald moment meende men te ontdekken dat wanneer de luidklokken met vastgebonden kelepels in beweging gebracht werden, dus zonder dat ze konden klinken, de toren bevrijd was van zijn aandoening. De scriba schrijft daarover dat dit *niet anders kan veroorzaakt worden, dan doordien het geluid, door de kleijnheid van de galmgaten, sig niet genoeg na buijten kon verspreijden, en dus de lugt in de toren te sterk persten*. Dus meer galmgaten in de toren! En het ongelooflijke geschiedde. De ambstjonkers van Nijkerk stonden dit toe en de toren kreeg in plaats van zijn oorspronkelijke vier galmgaten er nog eens vier bij! Maar, de toren bleef natuurlijk zijn aandoening behouden, maar voegt er opgelucht aan toe: *Evenwel is het ontwijffelbaar seker dat het voordelig voor den toren is, en dat de klokken in haar geluid beter effect doen. Om welke reden het Van den Gheijn ook te voren reets had geoppert, en als seer noodzakelijk*

⁴ André Lehr, *De aandoeninge van Nijkerks toren*. In: *Klok & Klepel*, nummer 7, mei 1966, p.11-17.

⁵ André Lehr, *De klokkengieters Petit* (Asten, 2002), p.80-90.

aangepresen. Kortom, er was niets opgelost, doch Nijkerks toren had acht galmgaten gekregen hetgeen voor de klank van de luidklokken die daarachter hingen nog zo gek niet was.

Mag het verbazen dat in die tijd naar andere, meer radicale oplossingen werd gezocht? Want waarom de klok niet stil laten hangen en de klepel heen en weer bewegen? In 1602 hadden de Staten Generaal daar zelfs aan Cornelis Proot, ammunitiemeester te Geertruidenberg, een octrooi op verleend.⁶ Wat zijn vinding precies inhield, weten wij niet. Hijzelf wist slechts te vertellen: *Intentie dienende, met een van de welke by alle clocken, tsy groot, oftde cleen, die tot noch toe met veele mannen, naer vereyssch van de grootte hadden moeten geluyt, [...] soodanich geluyt ende geclanck, met behulp alleenlyck van twee mannen, [...] dat oock die toorens daerinne soodanige clocken souden hangen geen last souden lyden.*

De uitvinder beseftte wel degelijk het nut van zijn inventie: een klok kan met minder mankracht "geluid" worden en de toren zal niet langer schade kunnen ondervinden! Maar lang niet iedereen vond het resultaat geweldig, althans wanneer het om de klank ging. Niemand minder dan Isaac Beeckman was omstreeks 1617 in Middelburg geweest waar de uitvinding van Proot in praktijk was gebracht. In zijn dagboek noteerde hij echter dat de klokslagen te snel achter elkaar kwamen en dat de klepel te licht was.⁷ Zijn advies was dan ook om een veel zwaardere klepel te nemen en daarmee de klok in een veel trager tempo aan te slaan. Want, zo schreef Beeckman, *grote scepen doen meer kracht tegen iet traech varende, als kleyn scheepkes, ras varende.*

Wat het klepapparaat van Proot precies inhield, weten wij niet. De tekening die bij zijn octrooi hoorde, is verloren gegaan. Niettemin kunnen wij ons daar wel een idee over vormen indien wij een eeuw later naar Duitsland gaan, om precies te zijn naar een klooster in de omgeving van Maagdenburg.⁸ De toren van dat klooster was namelijk wel zó bouwvallig dat de verantwoordelijke abt tijdens een inspectie de schrik om het hart sloeg. Hoe was het mogelijk om daar nog te luiden? En waar haalde men de moed vandaan? De enige oplossing scheen, ook al werd de toren enigermate hersteld, om te kleppen, zij het op een manier die het werkelijke luiden zo goed mogelijk zou benaderen. Aldus werden door de abt allerlei klepmachines bedacht en in kleinere modellen op hun werking beproefd (figuur 2).

Na ampele overwegingen besloot men in 1769 tenslotte om oplossing b in de zo bouwvallige kloostertoren te monteren. En een jaar later werd model a in een andere toren aangebracht. Maar was men daar ook gelukkig mee? Slechts zeer ten dele, want weliswaar onderkende men volmondig dat de toren gespaard bleef, dat minder klokkenluiders nodig waren en derhalve minder loon voor het luiden betaald moest wor-

⁶ G. Doorman, *Octrooien voor uitvindingen in de Nederlanden uit de 16^e-18^e eeuw* ('s-Gravenhage, 1940), p.108.

⁷ *Journal tenu par Isaac Beeckman de 1604 à 1634* publié avec une introduction et des notes par C. de Waard. Tome premier 1604-1619 (La Haye, 1939), p.117.

⁸ Johann Georg Krünitz, *Oekonomisch-technologisch Encyklopädie, oder allgemeine System der Stats-, Haus- und Land-Wirtschaft und der Kunst der Geschichte*, deel 19 (Berlin, 1788), p.151-162. Johann Gottfried Hahn, *Kampanologie, oder praktische Anweisung, wie Läut- und Uhrklocken verfertigt, dem Glockengieszer verakkordiert, behandelt und reparirt werden* (Erfurt, 1802), p.157-161.

den, doch anderzijds constateerde men al spoedig dat een klok die op één van de manieren uit figuur 2 geklept werd, minder klankrijk en minder harmonisch klonk, ja op den duur zelfs saai en eentonig. Bovendien, en dat werd nog eens nadrukkelijk gesteld, stel je voor dat tijdens een begrafenis een van de klepsnoeren breekt en met het luiden opgehouden moet worden. Dat zou onvergeeflijk zijn.

Al die vindingen van de brave en technisch zo begaafde abt zijn in de geschiedenis blijven steken. Ze waren inderdaad door hun eentonig effect op de klokkenklank alerminst een succes. Toch begreep men toen niet waarom een stilhangende klok die langdurig geklept wordt, saai en droog klinkt en een schommelende luidklok daarentegen levendig en vol beweging. Thans weten wij dat zeer precies. Wanneer namelijk een klok in haar stoel heen en weer wordt geschommeld, zal de ene keer de mond van de klok naar de luisteraar zijn gekeerd tegen even later juist de kop. En dit betekent dat, zoals onderzoek aantoonde,⁹ in het eerste geval de hogere boventonen in de klank domineren en in het laatste geval vooral de grondtoon. Aldus ook ontstond de klanknabootsing bim-bam of ding-dong, waarbij de i-klank de hoge boventonen en de a-klank de grondtoon van de klok imiteren. Maar dat heeft de abt nooit geweten.

De kleppende klok kon de luidende klok dus nooit vervangen. Maar wat dan te doen als de luidende klok het gebouw in resonantie brengt, zoals in Reims en in Nijkerk en zovele andere plaatsen? De oplossing kwam veel later toen men besepte, en wij schreven dat al eerder, dat wanneer de frequentie van de klepelslagen dezelfde is als die van de toren die toren in resonantie raakt. Om zich daar enigszins een beeld van te kunnen vormen, stelle men zich de toren als een lange slappe stalen veer voor die eenmaal in beweging gebracht in een bepaalde frequentie heen en weer gaat. Maar het verend materiaal behoeft bepaald niet uitsluitend staal te zijn. Ook gestapelde bakstenen met specie daartussen kunnen dat ook. Welnu, als daar hoog in de toren een klok dan naar links een ruk aan de toren geeft en dan naar rechts en die rukken gaan in het tempo dat overeenkomt met de eigenfrequentie van de toren dan ontstaat resonantie.

De formulering van het probleem draagt tevens de oplossing aan. Bij resonantie kan men het beste het luidtempo van de klok wijzigen, dus de frequentie van het luiden. Maar hoe doet men dat? Bezien wij daarvoor enkele luidsystemen. Figuur 3 laat het voor- en zijaanzicht van een luidas zien waaraan het volle gewicht van de klok onder de draaiingsas hangt. Men spreekt daarbij van een *rechte as*. Ten opzichte van de hierna te bespreken systemen is de afstand tussen de draaiingsas en het zwaartepunt groot. De klok luidt daarom snel, maar het vraagt grote inspanning. Naar het schijnt heeft het Leonardo da Vinci aan het denken gezet. Omstreeks 1495 schreef hij in een van zijn vele notitieboeken:¹⁰ *Zorg ervoor dat de draaiingsas van de luidklok zo laag ligt [t.o.v. het zwaartepunt] dat het deel van de klok eronder slechts tien pond meer weegt dan erboven. Een kleine jongen kan de klok dan luiden.* De klok is dan vrijwel uitgebalanceerd (figuur 4), hetgeen ook betekent dat het luidtempo oneindig traag is geworden. Kortom, zo'n klok is geen luidklok meer. En dit temeer niet omdat de

⁹ E.W. van Heuven, *Acoustical Measurements on Church-bells and Carillons* (dissertatie Delft, 1949), p.133-138.

¹⁰ Franz M. Feldhaus, *Leonardo der Techniker und Erfinder* (Jena, 1913), p.77.

klepel oncontroleerbare sprongen zal maken. Maar van reactiekrachten op de toren is dan geen sprake.

Maar er is een tussenweg die in figuur 5 is geschetst. Daarin is de afstand tussen het draaipunt en het zwaartepunt kleiner dan bij de opstelling uit figuur 3, maar niet zo klein als in figuur 4 volgens het voorstel van Da Vinci. Een dergelijke klok die, zoals dat heet, aan een *krukas* hangt, zal trager luiden dan een klok aan een rechte as, maar ook minder krachten op de toren uitoefenen. Kortom, een voortreffelijk instrument om het luidtempo te wijzigen, bijvoorbeeld als de toren daarom vraagt. En zo wordt dat heden ten dage ook gedaan. De meergenoemde afstand tussen draaipunt en zwaartepunt bepaalt het tempo van de klok. In een computerprogramma is dat uitstekend te berekenen. Overigens, in 1629 kwam de Italiaanse ingenieur Giovanni Brancia op het idee om een contragewicht boven op de luidas te plaatsen om daarmee het zwaartepunt omhoog te brengen, dus dichterbij de draaiingsas.¹¹ Maar er is meer!

Indachtig de opmerking van Da Vinci over een kleine jongen als klokkenluider moge het duidelijk zijn dat een klok aan een krukas gemakkelijker te luiden is als aan een rechte as. Dat hadden de technici al vroeg begrepen! Wij vinden dat in Nederland bevestigd in de figuur van Willem Tael te 's-Hertogenbosch in het midden van de zeventiende eeuw. Hij maakte namelijk zowel in Utrecht op de Dom als in Leeuwarden op de Oldenhove met behulp van de krukas sommige klokken gemakkelijker luidbaar.

In Utrecht geschiedde dat in 1658 toen Tael de opdracht kreeg om de luidinrichting van de zwaarste vijf Domklokken van Geert van Wou uit 1505 te wijzigen teneinde de klokken *twee derde parten ende sommigen d'een helfte minder te doen overgaen ende te laten luyden*.¹² De opdrachtgever wijst hier op een ander effect van de krukas. De hoek waaronder een klok aan zo'n as opluidt, is kleiner dan bij de rechte as, bijvoorbeeld 60° tegen 90° . Uiteindelijk onderging alleen de zwaarste klok, de Salvator van 8100 kg, deze wijziging. Maar de Utrechters waren dik tevreden, want het Domkapittel verklaarde dat Tael *de grootste clock op den toorn alhier sulcx heeft gestelt, dat d'selve door twee luyden can overgaen op sulcken geluyt alsoff die door ses personen werde aangetogen*. In Leeuwarden geschiedde iets dergelijks in 1658. De beide klokken in de Oldenhove van circa 2500 en 6000 kg vroegen niet langer acht klokkenluiders doch slechts vier.¹³

Kortom, de krukas is qua tempo te beïnvloeden en oefent geringe krachten op de toren uit. De krukas heeft dan ook, althans in Nederland, al lang het pleit gewonnen, ofschoon er klanktechnisch toch een niet gering nadeel aan kleeft. Zoals figuren 3 en 5 laten zien, wordt de klok aan een rechte as aan de bovenzijde van de klok geraakt en zal daardoor slechts kort contact met de klok hebben, terwijl bij de krukas de klepel tegen de klok valt en daardoor een langere contacttijd maakt. Het vertaalt zich

¹¹ Franz M. Feldhaus, *Die Technik der Vorzeit, der geschichtlichen Zeit und der Naturvölker* (Leipzig und Berlin, 1914), k.473.

¹² Rijksarchief Utrecht, resoluties Domkapittel 19 juli en 4 oktober 1658.

¹³ Gemeentearchief Leeuwarden, net-resoluties 1662-1670, ongepagineerd, 3 september 1662.

zeer duidelijk in een open, sprankelende klank resp. in een wat geremde ingehouden klank.¹⁴

AFBEELDINGEN

5 figuren penant1-5.bmp

Onderschriften:

Figuur 1. De Nicasiuskerk te Reims naar een prent uit 1749. In de rechter toren hing de luidklok die de penant of steunpilaar steeds weer aan het wankelen bracht. De klok bevond zich op het niveau van de twee sterren, terwijl de penant ter hoogte van de enkele ster tegen het schip van de kerk steunde. In de inzet is dat verduidelijkt. C is daarin de bewuste penant.

Figuur 2. De klepmachines die door abt Hahn in 1769 werden bedacht om op een stilhangende klok het luiden te imiteren.

Figuur 3. De rechte luidas waarbij het volle gewicht van de klok onder de draaiingsas hangt.

Figuur 4. Het idee van Leonardo da Vinci omstreeks 1495. Laat het zwaartepunt van het luidstelsel samenvallen met de draaiingsas.

Figuur 5. De krukas in de praktijk. Zwaartepunt en draaiingsas liggen dicht bij elkaar dan bij de rechte as.

¹⁴ Meer hierover in mijn *Leerboek der Campanologie* (Asten, 2^{de} druk 2003), p.96.