

Smeedijzeren torenuurwerken

L.A.A. Romeyn

Van de vele tientallen uurwerken waar de Stichting tot Behoud van het Toren uurwerk bij betrokken is geweest, dat kon zijn van een eenvoudig advies tot het begeleiden van een volledige restauratie, is een belangrijk deel van smeedijzer. Telkens weer bij de aanschouwing van zo een uurwerk is er verwondering over het vakmanschap waarmee de smid, met eenvoudige gereedschap, er in slaagde uurwerken te smeden die nog steeds de eeuwen trotseren. Sinds mensenheugenis waren alle ijzeren voorwerpen, van spijkers tot torenuurwerken, het werk van de smid. Helaas is over deze bijna verdwenen handnijverheid zeer weinig terug te vinden in de archieven en de literatuur.

IJzer

Een wereld zonder ijzer (chemisch element Ferrum (Fe)) is niet denkbaar. Uit opgravingen in Egypte bleek dat er 4000 jaar v. Chr. al ijzer werd gebruikt voor speerpunten. Meestal was dit ijzer afkomstig van meteorieten. Eeuwenlang was ijzer een zeer schaars en daardoor kostbaar metaal. Tot circa 1200 – 1000 v. Chr. was brons, een legering van koper en tin, het belangrijkste metaal voor de productie

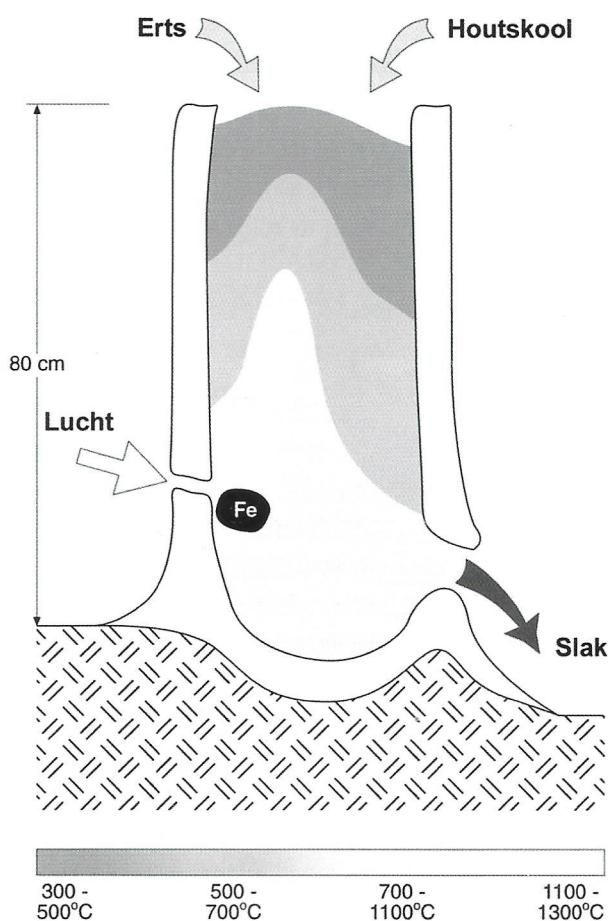
van wapens en gereedschappen. De overgang van de brons- naar de ijzertijd werd vooral veroorzaakt door de schaarste aan tin. In het Midden-Oosten werd ontdekt dat de kwaliteit van ijzer werd verbeterd door ijzererts te verhitten in een bed van houtskool.

Men produceerde ijzer in [Afb. 1]. De daarin bereikte temperatuur was ongeveer 1200 °C. Dat is beneden de smelttemperatuur van ijzer (ca. 1500 °C). Het ijzer uit deze laagovens bestond uit een sterk vervuilde gesinterde massa. Door opnieuw verhitten en hameren werd het ijzer gezuiverd. Het koolstofgehalte was laag, < 0,5%, de voorwaarde voor goed smeedbaar ijzer.

In China werd in de 5^{de} eeuw v. Chr. het principe van de *hoogovens* bedacht. In het westen duurde het tot eind 15^{de} eeuw voor de eerste hoogovens in gebruik werden genomen. In deze hoogovens van ongeveer 18 meter hoog werd een temperatuur bereikt waarin ijzer vloeibaar wordt en uit de oven kon worden afgetapt. Bovendien werd het mogelijk het koolstofgehalte te beheersen en staal, een legering van ijzer en koolstof (koolstof gehalte 0,5 – 2%), te produceren. Houtskool was de enige brandstof voor hoogovens. Gedwongen door de schaarste aan houtskool gelukte het in 1709 de Engelsman Abraham Darby cokes als brandstof in hoogovens toe te passen. Sindsdien worden alle hoogovens hiermee gestookt.

De periode 1250 - 1350

Het was in het midden van de 13^{de} eeuw dat tijdmeten door middel van een systeem van tandwiel - het mechanische uurwerk - werd ontwikkeld.

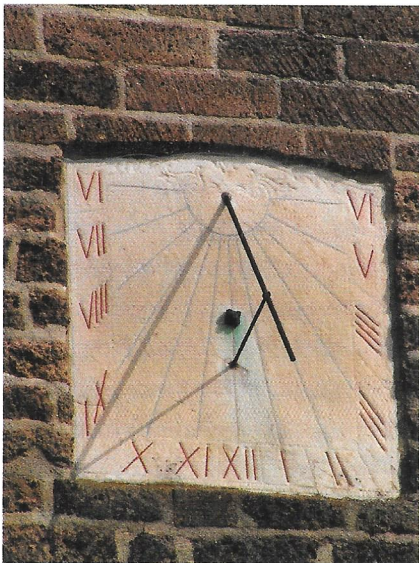


Afb. 1 Laagoven, 13^{de} eeuw.

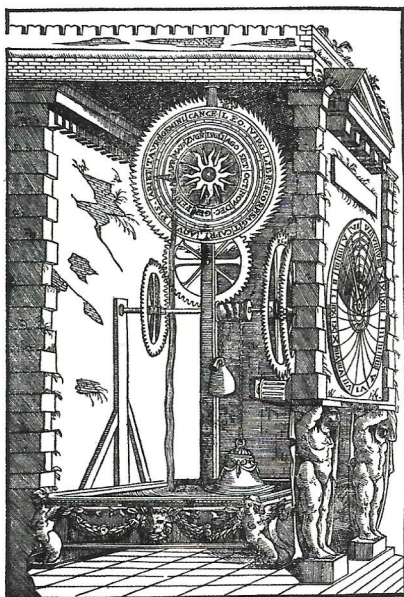


IJzerindustrie

Oost-Nederland had tot ca. 1100 een belangrijke ijzerindustrie. Voor de productie van één kilo ijzer was 13 kg ijzererts nodig en 130 kg houtskool. Voor deze 130 kg houtskool moest 760 kg eikenhout worden verkoold. Na 1100 wordt het Nederlandse ijzer verdrongen door import van betere kwaliteit.

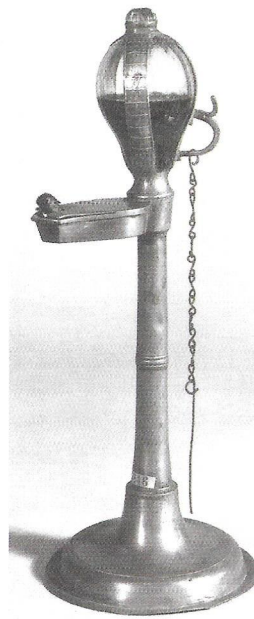


Afb. 2
Eeuwenlang werden torenuurwerken gelijkgezet op de plaatselijke zonnetijd.

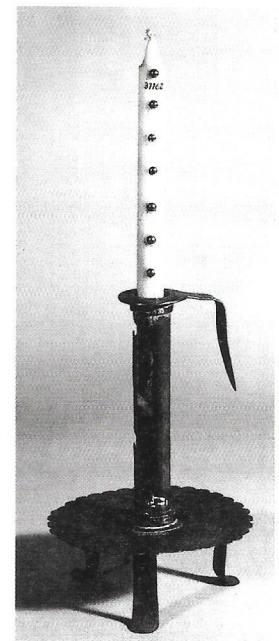


Afb. 3
Houtsnede van een wateruurwerk door Barbaro uit Vitruvius 'De Architectura' Venetië 1567.

Deze uitvinding paste in de tijdgeest. In de periode 1250 – 1350 vonden in West-Europa belangrijke ontwikkelingen plaats. Het was de tijd waarin men



Afb. 4 Olielamp als tijdmeteter. Tijdens het branden daalt het olieniveau. De schaalverdeling geeft het verstrijken van de tijd aan.



Afb. 5 Kaars als tijdmeteter. Tijdens het branden vallen na ongeveer gelijke tijdsdelen de pennetjes uit de kaars.

trachtte om de ons omringende wereld in getallen te vangen: te kwantificeren. Het mechanische uurwerk is daarvan een prachtig voorbeeld. Tot de uitvinding daarvan werd de tijd gemeten door, onder andere, zonnepijlers, wateruurwerken en vernuftige bedenksels zoals de olielamp, kaarsen enz. [Afb. 2 t/m 5].

Met al deze tijdmeteters werd het verstrijken van de tijd gemeten als een continu proces zoals dat feitelijk ook door de mens wordt ervaren.

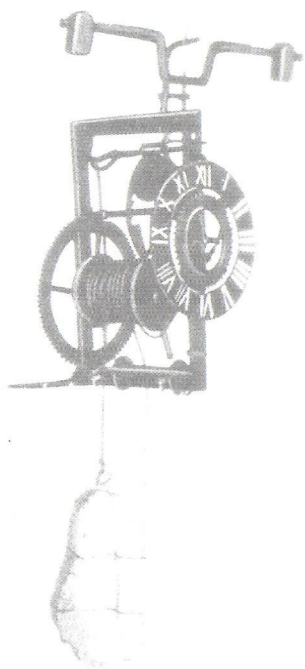
Door een mechanisch uurwerk wordt het verstrijken van de tijd, door middel van een stelsel tandwielen en een vernuftig gangstelsel, in kleine stukjes verdeeld die worden opgeteld. De som van deze kleine stukjes tijd wordt aangegeven op een wijzerplaat.

Met een mechanisch uurwerk wordt de tijd gekwantificeerd¹⁾.

Tijdmeting in middeleeuwse kloosters

Het was de kerkvader Benedictus (480 – 547) die geldt als de grondlegger en inspirator van de in latere eeuwen ontstane kloosters. Van de vele regels





Afb. 6 Mechanische kloosterwekker.

die hij opstelde was een belangrijke de verplichting achtmaal daags deel te nemen aan het koorgebed. Dit moest plaatsvinden op nauwkeurig over de dag verdeelde tijdstippen: van de Metten om middernacht tot de Completen omstreeks 8 uur in de avond.

Tijdmeting was in kloosters dus van zeer groot belang. In menig kloosterorde is daarom in de kloosterregel opgenomen te zorgen voor een nauwkeurige tijdmeting. Dit heeft er toe geleid dat, naar algemeen wordt aangenomen, het mechanische uurwerk halverwege de 13^{de} eeuw in een klooster is bedacht. Het meest daarvoor in aanmerking komt de orde van de Cisterciënzers. Gebruik makend van door waterkracht aangedreven molens (tandwielen!) en lekenbroeders die vrijgesteld waren van de verplichte koorgebeden, was het een organisatie die bijna fabrieksmatig producten - van gereedschappen tot (kunst)nijverheid - vervaardigden. Bovendien waren Cisterciënzers de toenmalige top op het gebied van de mijnbouw en metallurgie.

De eerste uurwerken

Het allereerste mechanische uurwerk is hoogst waarschijnlijk vervaardigd in het klooster waar het ook is bedacht. Oorspronkelijk van een gering formaat diende het als wekker voor de monnik die zijn medebroeders moest waarschuwen als het tijd was

voor de verplichte koorgebeden [Afb. 6]. Men veronderstelt dat een korte periode dit wekkersysteem ook in kerktorens is toegepast. De nachtwaker moest dan, als een uur verstreken was, op een slagklok handmatig de uren slaan.

Al in de 13^{de} eeuw wordt er in archieven melding gemaakt van een tiental uurwerken met slagwerk in torens in West-Europa. Onder andere in Chartres 1258, Londen 1286, Canterbury 1292.

In de loop van de 14^{de} eeuw neemt het aantal torenuurwerken in West-Europa spectaculair toe. Aan het eind van de deze eeuw staan meer dan 100 torenuurwerken in West-Europa opgesteld²⁾.

Uurwerkmakers

De makers van torenuurwerken waren specialisten. Naast een grote vaardigheid in het smeden van ijzer was theoretische kennis van tandwielen noodzakelijk.

Om ijzer te kunnen smeden beschikte de smid over een smidsvuur met als brandstof houtskool en over, naar de huidige maatstaven, eenvoudige gereedschappen.

Tot in de 16^{de} eeuw maakte de smid zijn eigen gereedschap. In de loop van de 17^{de} eeuw komen er gespecialiseerde gereedschapsmakers, onder andere voor vijlen en ijzerzagen.

In de opdracht aan de smid voor het maken van een uurwerk werden soms de afmetingen gegeven waaraan het uurwerk moest voldoen maar vaker werd het gewicht - in ponden - voorgeschreven en de prijs per pond ijzer vastgesteld. Het gewicht en daardoor de grootte, van het uurwerk was afhankelijk van het gewicht van de slagklok waarop het uurwerk sloeg. Hoe zwaarder de slagklok hoe zwaarder de slaghamer moet zijn. Als vuistregel wordt gehanteerd dat het gewicht van de slaghamer circa 3% van het gewicht van de slagklok is.

Als het uurwerk gereed was werd het uurwerk gewogen en werd de smid - de per pond ijzer afgesproken prijs - uitbetaald. Die uitbetaling kwam vaak pas een jaar na de oplevering. In dat jaar was de maker verantwoordelijk voor het onderhoud en het goed functioneren van het uurwerk. Met andere woorden de maker werd opgehadeld met een garantietermijn waaraan niet te ontkomen was.



Onderzoek aan smeedijzeren onderdelen

1. Enkele jaren geleden werd in de toren van de St.-Galluskerk te Bodengraven de restanten aangetroffen van een smeedijzeren torenuurwerk. Het waren brokstukken van een hoekstijl die, in een ton, als aandrijfgewicht hebben gediend voor een torenuurwerk [Afb. 7]. Uit archiefonderzoek is gebleken dat aan het eind van de 16^{de} eeuw een nieuwe toren is gebouwd. In die periode werd er door klokkengieter Thomas Both uit Utrecht een slagklok geleverd. Het uurwerk is gemaakt door Huych Hopcooper die wij ook kennen als maker van, onder andere, het uurwerk van de Hooglandse kerk te Leiden ³⁾.

Thans staat in de toren van de St.-Galluskerk een elektrisch aangedreven Rochlitz.



Afb. 7 Een stuk hoekstijl uit de St. Galluskerk te Bodengraven.



Afb. 8 Het breukvlak van de hoekstijl.

Wij kregen toestemming om een stuk hoekstijl mee te nemen voor nader onderzoek. Ten behoeve van het onderzoek is eerst met grof geweld een stuk van de hoekstijl afgebroken. Wat direct opvalt is de grove kristalstructuur op het breukvlak [Afb. 8]. Maar wat ook is waar te nemen zijn de roestvlakken zowel in de lengterichting van de stijl als loodrecht daarop.

Uit het breukvlak is te concluderen dat de smid als grondstof ijzer uit een laagoven heeft gebruikt dat nog ernstig verontreinigd was. Door meerdere malen te verhitten, plat te smeden en weer dubbel te vouwen werden de verontreinigingen verwijderd en de hoekstijl gevormd. Bij dit proces trad blijkbaar geen interne hechting op tussen de scheidingsvlakken die hierbij ontstaan. Duidelijk zichtbaar is dat in de haarscheuren roest kon ontstaan. Uiteraard hebben deze niet goed aan elkaar gehechte vlakken, en dan met name de vlakken loodrecht op de doorsnede, een negatieve invloed op de buigsterkte van de hoekstijl. Blijkbaar was dat, gezien de relatief geringe krachten die in een uurwerk optreden, geen bezwaar.

Op verzoek van de SBT is door het laboratorium van Corus (thans Tata Steel) een monster van deze hoekstijl geanalyseerd.

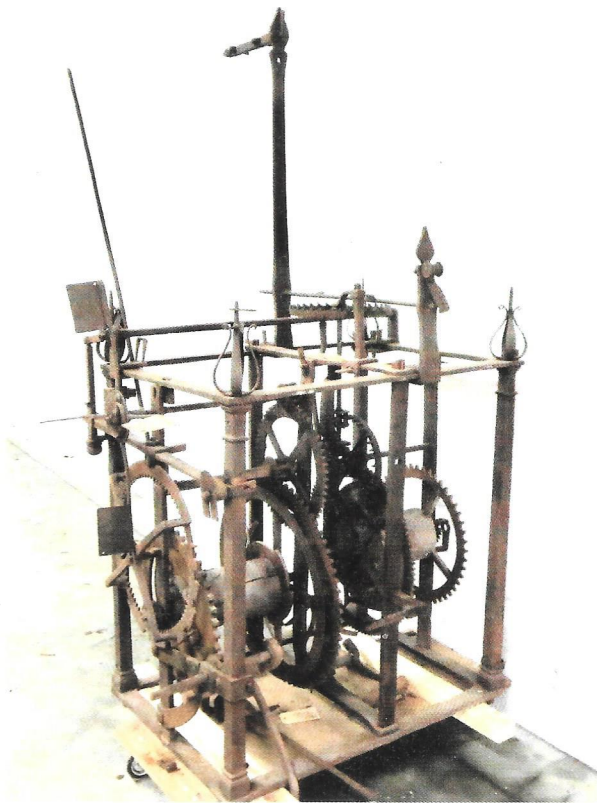
Het resultaat was:

Element		%
C	Koolstof	0.08
Si	Silicium	0.51
P	Fosfor	0.33
S	Zwavel	0.003
T	Titanium	<0.005
V	Vanadium	<0.005
Cr	Chroom	<0.005
Mn	Mangaan	0.11
Ni	Nikkel	0.094
Cu	Koper	0.026
Nb	Niobium	<0.005
Mo	Molybdeen	<0.005
Sn	Tin	<0.005



Het C-gehalte is laag, normaal voor smeedijzer. Het Si is afkomstig uit de resten van de slak die nog in het ijzer aanwezig is. Dit Si zorgt voor een relatief goede roestwering. In moderne staalsoorten wordt dit vermeden omdat de mechanische eigenschappen (treksterkte, weerstand tegen scheuren, vervormbaarheid) erg nadelig worden beïnvloed. De P is aanzienlijk hoger dan in moderne constructiestalen. Het duidt er op dat bij de productie geen kalk (CaO) is toegevoegd. Dit zou het P-gehalte verlagen. Moderne stalen worden vaak gelast. Hoog P-gehalte leidt tot breekbare lassen en scheuren. Het P-gehalte van moderne stalen is meestal < 0,02%. Het S-gehalte is laag, zelfs met moderne technieken is dit moeilijk te bereiken. Waarschijnlijk het gevolg van een zeer laag S-gehalte in het erts. S is nadelig omdat het, vooral bij lage temperaturen, de breukgevoeligheid verhoogt.

Mn, Ni en Cu zijn afhankelijk van het erts waarvan het ijzer is gemaakt. In constructiestaal wordt Mn toegevoegd tot ca. 2% om de sterkte te verhogen. Nb, Mo, V, Cr en Ti komen in zeer geringe percentages voor. Tijdens het productieproces vormen zich oxides hiervan die in de slak terecht



Afb. 9 Het uurwerk in het depot van de provincie Drenthe.

komen. Sn heeft altijd ongewenste gevolgen voor de eigenschappen van het ijzer. Het zal in het erts aanwezig zijn geweest ⁴⁾.

Depot van de provincie Drenthe

De SBT werd er op geattendeerd dat er in een depot van de provincie Drenthe een smeedijzeren torenuurwerk staat opgeslagen. Bij een bezoek aan dit depot bleek het te gaan om een bijna compleet torenuurwerk [Afb. 9]. Er zijn plannen om dit uurwerk te restaureren en van deze restauratie en alle overige handelingen, zoals onder andere historisch onderzoek naar de afkomst van dit uurwerk, in een filmverslag vast te leggen.

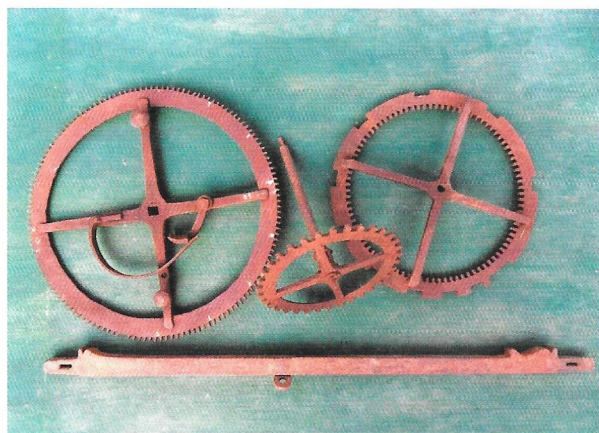
De SBT is verzocht daarbij als hoofdadviseur op te treden.

In het depot werden tevens enkele losse onderdelen van een ander smeedijzeren torenuurwerk aangetroffen. Het waren: een hoekstijl, het grondrad van het gaand werk, het jaagrad en sluitrad [Afb.10]. De herkomst van deze onderdelen is niet bekend.

De beheerster van het depot gaf ons toestemming deze onderdelen nader te bestuderen.

a. Hoekstijl uit het Drents depot, lengte 104 cm, vierkant +/- 4 cm.

Deze stijl heeft aan de onder- en bovenkant nog de 'restanten' van een gotische versiering [Afb. 11 en 12]. Gotische versieringen komen voor op hoekstijlen van uurwerken tot circa 1600 [Afb. 13]. Veelal zijn deze versieringen aan de hoekstijl geweld [Afb. 14].



Afb. 10 Onderdelen van een onbekend uurwerk. Vlnr. Grondrad van het gaand werk, jaagrad, sluitrad en een hoekstijl.





Afb. 11 en 12 'Restanten' van een gotische versiering aan resp. de boven- en onderkant van de hoekstijl.

Wellen is het onder hoge temperatuur aan elkaar smeden van twee metaaloppervlakken.

Dit lijkt bij de Drentse hoekstijl niet het geval. Daarvoor is, ter plaatse van de versiering aan de bovenzijde, de hoekstijl doorgezaagd. Op het gepolijste oppervlak van de hoekstijl is geen enkele verstoring zichtbaar die er op duidt dat de versiering aan de stijl is geweld.



Afb. 13 Gotische versiering aan een hoekstijl.

Afb. 14 Gotische versiering geweld aan de hoekstijl.





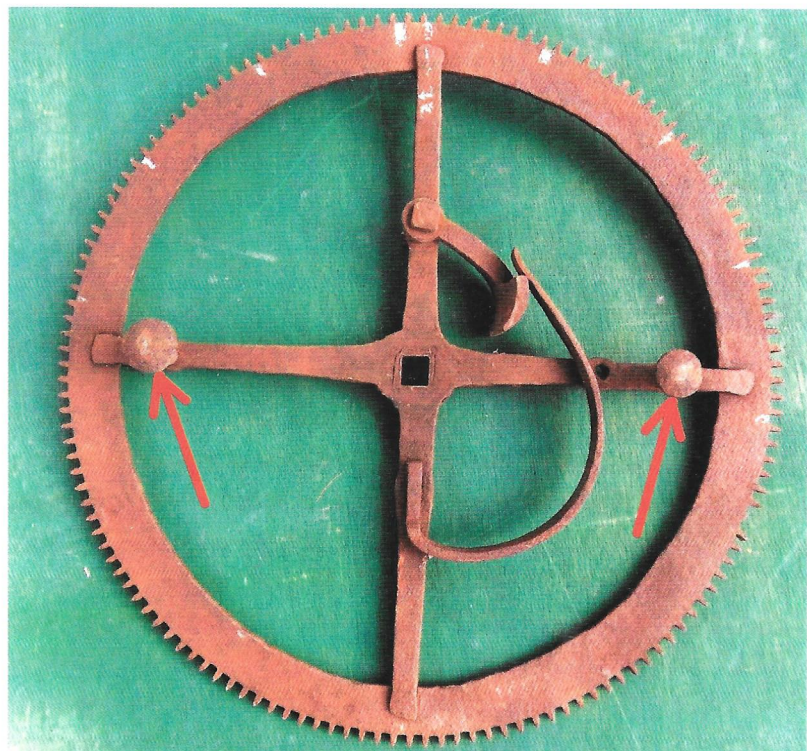
Afb. 15 Breukvlak van de Drentse hoekstijl.

Ook van deze hoekstijl is met grof geweld een stuk afgebroken. Dit was niet eenvoudig. Was er voor de bovengenoemde 'Bodengraafse' hoekstijl één klap met een voorhamer voldoende om een stuk af te breken, voor de 'Drentse' hoekstijl waren zes klappen met de voorhamer nodig om een stuk af te breken.

Duidelijk zichtbaar is het verschil in de beide breukvlakken. Het ijzer van de Drentse hoekstijl is homogeen [Afb. 15]. Niets duidt er op dat de hoekstijl is gevormd door meermalen verhitten en smeden om de verontreinigingen te verwijderen.

Uit een vergelijking met de circa zeventig smeedijzeren uurwerken die bij de Stichting in Friesland bekend zijn, zijn de Drentse onderdelen hoogst waarschijnlijk 50 jaar jonger dan de Bodengraafse hoekstijl. In de loop van de 17^{de} eeuw wordt een enkele keer in de opdracht aan de smid voor een torenuurwerk voorgeschreven goed Zweeds of Saarländs ijzer te gebruiken. Mogelijk duidt het zichtbare kwaliteitsverschil tussen de bovengenoemde monsters van de hoekstijlen op een kwaliteitsverbetering door import van buitenlands ijzer.

Op ons verzoek zou de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed (RCE) de chemische samenstelling van de Drentse hoekstijl onderzoeken. Helaas heeft



Afb. 16 Het grondrad van het gaand werk.

de corona-crisis dit voorlopig onmogelijk gemaakt. Zodra dit onderzoek is uitgevoerd komt de auteur hierop terug.

b. Grondrad. Ø 48 cm, 144 tanden [Afb.16].

Het grote aantal tanden is een bewijs dat het uurwerk oorspronkelijk met een waag was uitgerust. Het grondrad maakte, zoals gebruikelijk, één omwenteling per uur. In een spaak is een gat aanwezig waarin de nok was geklonken voor het uitlichten van het slagwerk op (alleen) de gehele uren [Afb. 17]. De wijzerplaat zal toen, na een vertraging van een op twaalf, eenwijzerig (alleen de uurwijzer) zijn geweest. En het sluitrad zal (binnenvertand) 78 tanden hebben gehad voor het slaan van uitsluitend de gehele uren, per 12 uur totaal 78 slagen.

Bij de ombouw van waag- naar slingeruurwerk zijn op twee tegenoverliggende spaken nokken aangebracht voor het uitlichten van het slagwerk op de hele en de halve uren [Afb. 16]. Toen zal op de wijzerplaat de minuutwijzer, aangedreven door een wijzerwerk, erbij zijn geplaatst.

Tegelijkertijd moest het sluitrad worden aangepast. Het onderzochte sluitrad heeft (binnenvertand) 90 tanden voor het slaan van 90 slagen, de

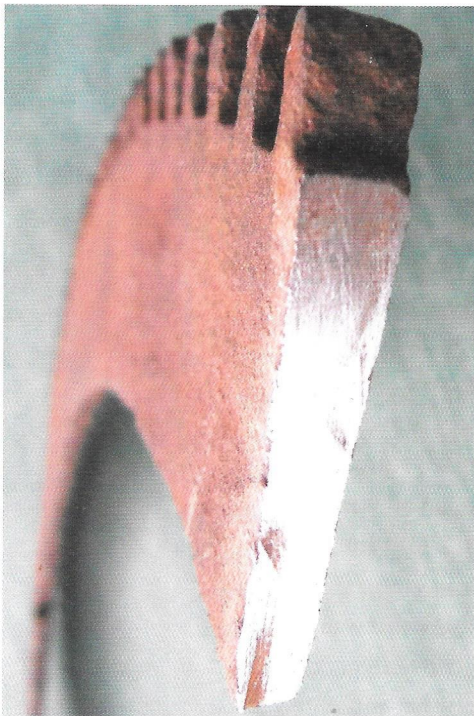




Afb. 17 Het gat in een spaak van het grondrad waarin oorspronkelijk de nok was bevestigd voor het uitlichten van het slagwerk op alleen de gehele uren.

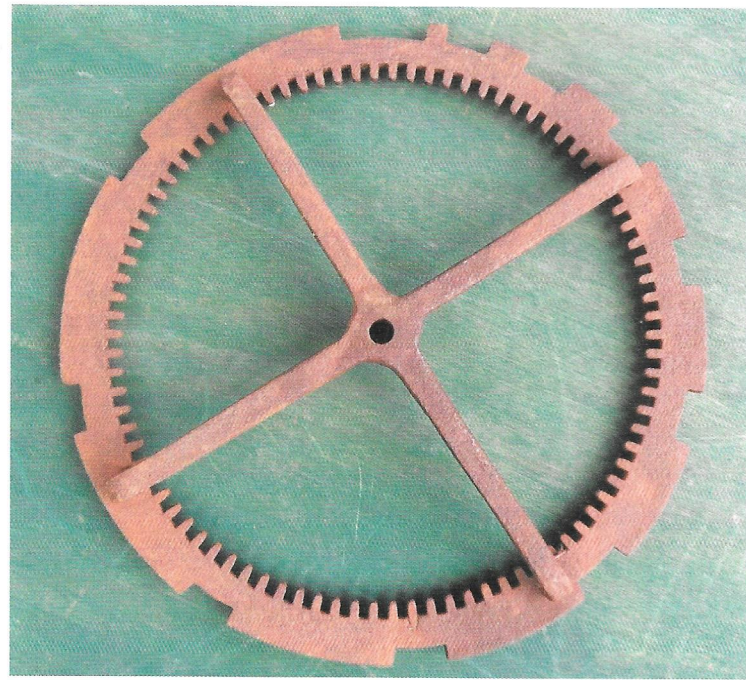
som van de slagen voor de hele en halve uren per twaalf uur [Afb. 18].

Voor het smeden van de velg van een rad werd, afhankelijk van de gewenste afmetingen van het tandwiel een rechte sterk tapse strip (lengte $\pi \times$ diameter) gesmeed.



Afb. 19 De tapse velg van het grondrad.

Na verhitten werd de strip, voornamelijk door buigen, tot velg vervormd. Hierdoor ontstond aan de binnenkant van de velg een golvend patroon dat werd platgehamerd. Tenslotte werden de uiteinden



Afb. 18 Het sluitrad voor hele en halve uren.

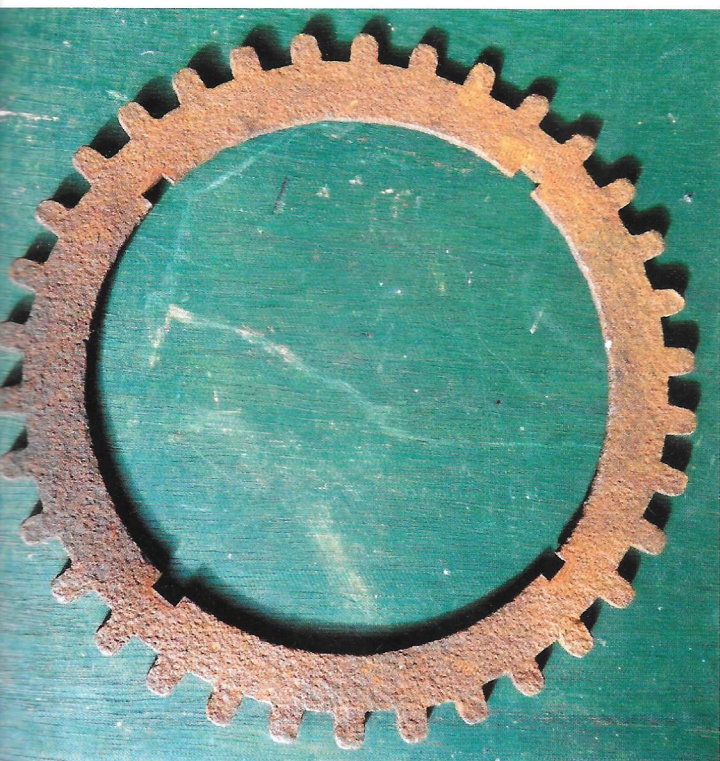
van de velg aan elkaar geweld. Omdat uitgegaan was van een tapse strip bleef de velg taps, uiteraard minder taps dan de strip voor het buigen was [Afb. 19].



Afb. 20 In de velg van het grondrad ontbreekt een inkeping voor de bevestiging van de spaken.

Aan de binnenzijde van de velg werden inkepingen aangebracht om later de spaken van het rad daarin te bevestigen. Nadat het spakenkruis van





Afb. 21 In de velg van het jaagrad zijn de vier inkepingen aanwezig.

het onderzochte grondrad was verwijderd bleek dat er 3 uitsparingen aan de binnenzijde van de velg waren aangebracht [Afb. 20]. Logisch zou zijn vier. Er is (nog) geen verklaring voor waarom het er bij dit rad drie zijn. De velg van het jaagrad heeft wel de te verwachten vier inkepingen [afb. 21]. Het spakenkruis werd door middel van klinken in de velg bevestigd [Afb. 22]. Deze verbindingen werden niet geweld, een wellas zou de velg teveel vervormen. Mogelijk werd de velg vooraf verhit zodat bij afkoeling de velg strak om de spaken kromp. Bij de demontage van het spakenkruis van het grondrad leek deze krimpspanning nog aanwezig.

Om het tandwiel verder af te werken werd het middelpunt bepaald voor het gat voor de as. Afwijkingen in de rondheid werden door vijlen gecorrigeerd. Daarna werden de tanden afgetekend. Mogelijk werd hierbij gebruik gemaakt van een verdeelschijf.

Bij het onderzochte tandwiel zijn centerpunten aangebracht [Afb. 23]. Dit is bij de meeste smeedijzeren tandwielen niet het geval. Maar ongetwijfeld zullen de tanden op enigerlei wijze zijn afgetekend.



Afb. 22 De spaken zijn aan de velg geklonken.

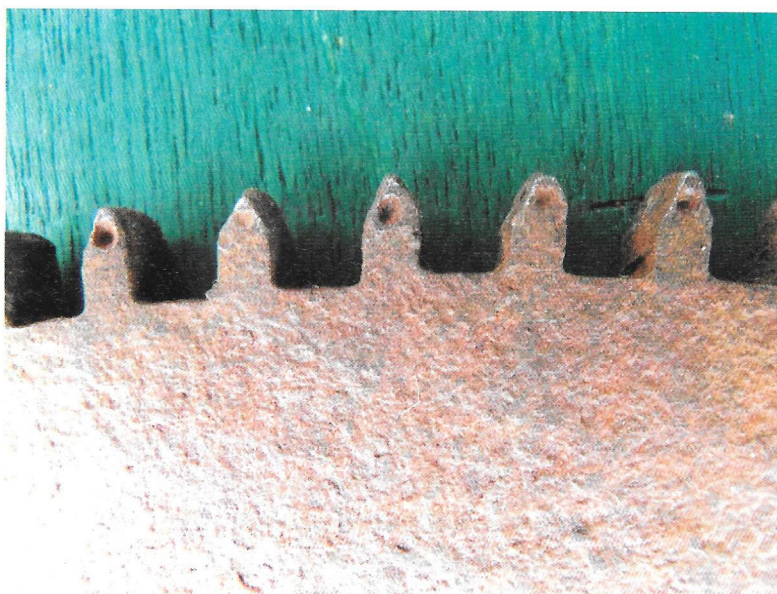
Was dit eenmaal gedaan dan werd elke tand gevormd door viermaal te zagen en daarna door vijlen af te werken [Afb. 24].

Het op bovenstaande wijze vervaardigen van smeedijzeren tandwielen heeft gedurende honderden jaren nauwelijks enige verandering ondergaan.

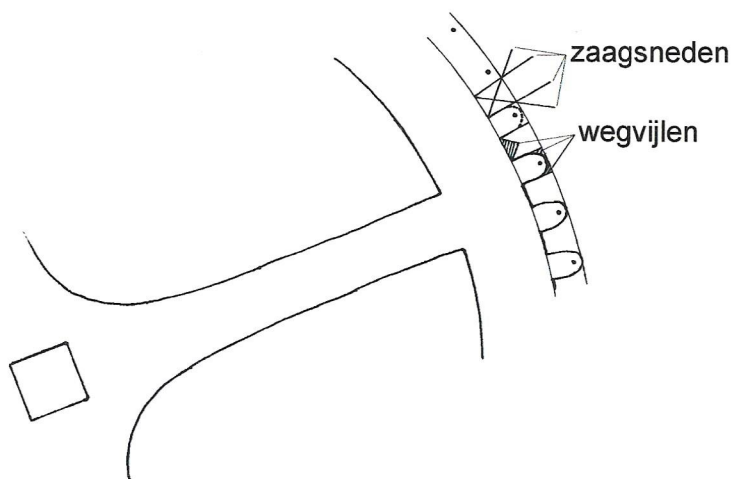
Tenslotte

Het onderzoek zoals hiervoor beschreven is, wat betreft het onderzoek naar de chemische samenstelling van smeedijzer van torenuurwerken, waarschijnlijk nog nooit eerder uitgevoerd. Althans er is nog geen publicatie daarover aangetroffen. Uit gesprekken met nog werkzame smeden bleek dat zij op de vraag hoe zij een aan hen getoond smeedijzeren tandwiel zouden smeden het antwoord schuldig moesten blijven. Blijkbaar is deze specifieke smeedtechniek verloren gegaan. Verder onderzoek naar de chemische samenstelling van smeedijzer en deze vergelijken met ijzer waarvan de geografische herkomst vastgesteld is zou, als een soort DNA-onderzoek, interessante informatie over het ijzer kunnen opleveren.





Afb. 23 De tanden zijn door centerpunten gemarkeerd.



Afb. 24 Het aanbrengen van de tanden in de velg.

Noten:

- ¹⁾ Max Planck (1858-1947), Duitse natuurkundige die de grondslag legde van de kwantumtheorie. Hij leidde uit de natuurconstanten af dat de kleinste tijdseenheid is: $5,391.10 \exp-44$ sec.
- ²⁾ Algemeen overzicht van torenuurwerken 1200 – 1600. Toine Daelmans.
- ³⁾ Archiefonderzoek D. Kerkvliet.
- ⁴⁾ Deze gegevens komen van een metallurg die anoniem wenst te blijven. Zijn naam is bij de redactie bekend.

Bibliografie

- BEESON, C.F.C.: . London/Ashford, 1977.
- CROSBY, Alfred W.: . Cambridge University Press, 1997.
- DOHRN-VAN ROSSUM, Gerhard: . München-Wien, 1992.
- HEFNER-ULTENECK, J.H. von: . Tübingen, 1870. Herdruk 1984.
- JOOSTEN, Ineke: . VU- Amsterdam, 2004.
- REES, B. van: . 's-Gravenhage, 1938.
- ROMEYN e.a., . Wezep, 2005.
- SCHOPPIG, René: L'Horloge Français à Poids, Tardy

