



Een vernuftig geleerde

De technische vondsten
van Christiaan Huygens


Bekijk dit boekje liefst beeldvullend  .

Blader met toetsenbordpijltjes of met

  . Raadpleeg de helppagina  voor

het knippen en plakken van tekst en afbeelden. Klik op items in de inhoudsopgave

 of gebruik de index  . Zoek namen

en woorden  of ga rechtstreeks naar een bepaalde pagina **1 / 44**.

Voor meer informatie: bezoek de website

Museum Boerhaave: Algemene

Natuurwetenschappen (ANW) .

De technicus Christiaan Huygens

Huygens als ontwerper van instrumenten

De geleerde en zijn instrumentmakers

Huygens' technische vondsten

Inleiding

Tijdmeters

Lenzenslijpmachines

Kijkers

Microscopen

Luchtpompen

Rijtuigen

Windkrachtmeters

Barometers

Waterpasmeters

Dieptemeters

Literatuur



De technicus Christiaan Huygens

Colofon

*Deze online uitgave is gebaseerd op
Mededeling 263 van het Museum
Boerhaave te Leiden.*

Realisatie: Infofilm, Leiden

© 2000 Museum Boerhaave, Leiden

*Herkomst van illustraties staan in bijschrift
vermeld.*

Huygens als ontwerper van instrumenten



De Hollandse geleerde Christiaan Huygens was in meerdere opzichten een typisch kind van de zeventiende eeuw. Als telg uit een rijk patriciërsgezicht was hij opgevoed in de humanistische traditie van zijn tijd. Belangstelling voor kunsten en wetenschappen was hem van jongs af bijgebracht, waarbij de nadruk aanvankelijk lag op de literatuur - zijn vader was de bekende dichter Constantijn Huygens. Maar toen Christiaans belangstelling voor wetenschap en techniek aan het licht kwam, kreeg hij volop de gelegenheid zich in die richting te ontplooiën.

Ook in zijn wetenschappelijk werk droeg Huygens de kenmerken van zijn tijd. Hij blonk uit in vele disciplines: muziektheorie, sterrenkunde, wiskunde en natuurkunde. Op de laatste drie disciplines werd hij zelfs de internationale autoriteit. Bovendien beperkte Huygens zich niet tot alleen de theoretische of experimentele kant: vaak combineerde hij beide met de ontwikkeling van nieuwe instrumenten.

Ook dat was kenmerkend voor de zeventiende eeuw, al gebiedt de eerlijkheid te zeggen dat Huygens zelf daar het duidelijkste voorbeeld van was.

Een beeld geven van Huygens als ontwerper van nieuwe instrumenten - het onderwerp van dit boekje - gaat het best aan de hand van een voorbeeld: het slingeruurwerk. Zoals vaak bij Huygens' technische bijdragen was het idee niet helemaal nieuw. Galileo Galilei had al eerder de suggestie gedaan een slinger te gebruiken om de gang van een uurwerk te reguleren. Hij had het idee niet meer kunnen realiseren, maar dat lukte Huygens in 1656 wel. Het resultaat, een grote verbetering van de nauwkeurigheid van klokken, was voor Huygens niet goed genoeg.

De tijdmeetkunde heeft hem de rest van zijn leven beziggehouden, en wel op twee manieren. Enerzijds is Huygens voortdurend blijven zoeken naar technische verbeteringen. Hij had daarbij vooral



een praktische toepassing op het oog. Als hij zijn klokken geschikt zou maken voor gebruik op zee, dan zouden ze een belangrijk hulpmiddel zijn bij de navigatie. Anderzijds vormde het slingeruurwerk de aanleiding voor een indrukwekkende wiskundige theorievorming. Huygens realiseerde zich dat de uitslag van de slinger enige invloed heeft op de slingertijd. In zijn pogingen om dat te verhelpen ontdekte hij een compleet nieuwe tak van wiskunde die met klokken nog maar zijdelings iets te maken had: zijn wiskundige brein was niet meer te stoppen. Deze eigenaardigheid trad niet alleen aan de dag bij zijn slinger- uurwerken, maar ook bij zijn overige technische werk. Huygens' ontwerpen berustten slechts zelden op nieuwe vindingen van hemzelf. Juist in de uitwerking van andermans ideeën toonde hij zijn klasse. En daarin ging hij soms erg ver. Als een probleem eenmaal zijn aandacht had, liet het hem niet meer los. Huygens was een perfectionist die nog doorging met verbeteren als het resultaat in feite al voldeed. Vaak ging het om praktische toepassingen. Sommige toestellen konden meteen

worden gebruikt, van andere - zoals de buskruitmotor - bleek het praktisch nut pas later. Van enkele apparaten - zoals de windkrachtmeter - lijkt de toepassing de oplossing van een wetenschappelijk vraagstuk.

Want ten slotte was theorievorming een constant gegeven. Huygens bekeek technische problemen nu eenmaal zoals hij het hele leven benaderde: met een wiskundige blik.

Aangezien de klokkenmakerij in de Nederlanden een goed ontwikkeld en respectabel ambacht was, vertrouwde Huygens voor de vervaardiging van zijn klokken geheel op ambachtslieden. In dit opzicht neemt de tijdmeetkunde binnen zijn werk een uitzonderlijke plaats in. Over het algemeen had hij geen hoge dunk van ambachtslieden. Dat was niet alleen door het standsverschil ingegeven, en ook niet omdat hij bij andermans werk meestal het gevoel had dat hij het zelf beter gedaan zou hebben. Hij ergerde zich aan hun prestaties. Daarom deed hij het handwerk, althans een deel daarvan, liever zelf.

De geleerde en zijn instrumentmakers



Christiaan Huygens heeft gedurende zijn wetenschappelijke loopbaan veelvuldig gebruik gemaakt van handwerkslieden van diverse pluimage. In zijn brieven maakte hij regelmatig melding van klokkenmakers, glasleveranciers, glasslijpers, metaalbewerkers en andere ambachtslieden. Meestal noemde hij ze alleen terloops, of duidde hen slechts aan als 'onze handwerksman', maar soms geven deze bronnen details die deze weinig bekende mensen tot leven wekken.

Christiaans eerste bemoeienissen met instrumentmakers dateren van het najaar van 1652, als hij zich voor de lenzenslijpkunst gaat interesseren. Hij informeert naar kijkers uit Duitsland, met name die van de bekende Augsburgse instrumentmaker Johann Wiesel, en in het voorjaar van 1653 laat hij door een zekere 'Meester' Paulus uit Arnhem een kijker volgens zijn specificaties maken. Kennelijk was Christiaan niet erg tevreden, want zijn broer Constantijn en hij besloten het

jaar daarop om hun lenzen zelf te slijpen. Zij kochten glas, en de 'poleiser' Johan van der Wijck, een destijds vermaarde kijkerbouwer uit Delft, leverde slijpschalen. In 1655 leverde de Dordtse instrumentmaker Caspar Calthoff enkele grote slijpschalen van 7 duim in doorsnee. Calthoff was goed bevriend met vader Huygens en wilde daarom geen betaling voor zijn werk accepteren. Wel heeft Christiaan hem als dank een aantal kijkers - misschien wel die van Johann Wiesel en Paulus - cadeau gedaan. De gebroeders Huygens waren erg enthousiast over de producten van Calthoff. Constantijn noemde hem de beste handwerksman voor dit soort zaken, en Christiaan meldde bij een bezoek aan Parijs in 1655: Ik zie hier niets dat zich kan meten met zijn werk. De broers zullen dan ook niet blij geweest zijn toen Calthoff korte tijd later naar Engeland emigreerde. Christiaan heeft hem daar nog eens opgezocht. Hij bleek te werken als wapensmid. Met slijpschalen hield hij zich niet meer bezig.

De brillenmaker

(uit: Johannes en Caspar Luyken, Het menselyk bedryf, verbeeld in 100 verbeeldingen van ambachten, konsten, hanteeringen en bedryven, 1694- naar de herdruk van 1749)



Dat was slechts een tijdelijke zaak geweest, vooral op verzoek van de gebroeders Huygens.

Met het bezit van goede slijpschalen waren nog niet alle problemen opgelost, want ook het vinden van een goed stuk glas was niet eenvoudig. Geschikt glas kwam vooral uit de zuidelijke Nederlanden, waar vanaf het begin van de zeventiende eeuw glassmelterijen gevestigd waren. In de jaren tachtig heeft Huygens nogal eens glas uit Den Bosch laten komen. Daar bevond zich sinds 1656 een glassmelterij die glas leverde voor drinkglazen, dat ook zeer geschikt bleek voor lenzen. Maar vanuit Den Haag was Den Bosch niet naast de deur, en daarom werden vrienden en bekenden ingezet om de bestellingen mee te nemen. Een enkele keer werd glas uit Engeland betrokken. Op een van zijn diplomatieke reizen naar Londen had broer Constantijn kennis gemaakt met de optisch instrumentmaker Christopher Cock. In 1683 stuurde Cock enkele stukken goed glas, en het jaar daarop leverde hij diverse ongeslepen stukken van verschillend for-

De geelgieter

(uit: Johannes en Caspar Luyken, Het menselyk bedryf, vertoond in 100 verbeeldingen van ambachten, konsten, hanteeringen en bedryven, 1694- naar de herdruk van 1749)

maat waarvoor hij een buitensporig hoog bedrag van 10 pond sterling vroeg. Christiaan noemde hem een schelm (le coquin de Cock), maar betaalde hem uiteindelijk toch.

In zijn Parijse tijd - hij was van 1666 tot 1681 prominent lid van de Franse Académie des Sciences - ontmoette Christiaan de kijkerbouwer Philippe-Claude Lebas. Een waardevol contact, want Lebas bleek een nieuwe methode te hebben om lenzen te polijsten. Huygens was hevig geïnteresseerd, maar Lebas weigerde details te geven. Twee jaar lang heeft Huygens geprobeerd het geheim te ontdekken, voordat hij eindelijk een uitgebreide beschrijving van de nieuwe methode naar Constantijn kon sturen. En zelfs toen nog, zo moest hij tandenknarsend meedelen, waren er enkele details die Lebas beslist niet wilde prijsgeven. Na de dood van Lebas in 1677 werd het bedrijf voortgezet door zijn weduwe, maar ook bij haar lukte het Christiaan niet de laatste geheimen van de meester los te weken.

Na Christiaans terugkeer uit Parijs bleek de optische instrumentmakerij zich in



Holland flink ontwikkeld te hebben. Niet langer hoefde hij stad en land af te reizen op zoek naar geschikt glas, en ook Den Haag bleek inmiddels over capabele lenzenslijpers te beschikken. Dat betekende overigens niet dat Huygens ertoe overging kant-en-klare lenzen te kopen. Hij wilde alleen het beste van het beste, en dus slepen hij en zijn broer de lenzen toch maar zelf. Ze hadden er bovendien gewoon plezier in.

Het eenvoudigere werk werd wel uitbesteed en wel aan een handwerksman die aangeduid werd als Dirck de schoorsteenveger. Dirck woonde bij Huygens om de hoek, op het Achterom in Den Haag. Regelmatig lieten Christiaan en Constantijn een stuk glas door Dirck slijpen of polijsten. Kennelijk ging het hier om voorbereidende werkzaamheden: om het glas op zijn zuiverheid te beoordelen of om een goedgekeurd stuk glas in ruwweg de juiste vorm te krijgen. De lenzen werden vervolgens door Christiaan of Constantijn voltooid en gesigneerd.

Het werk voor de gebroeders Huygens deed Dirck met materiaal dat de broers hem ter beschikking stelden; in feite werd

alleen zijn arbeid ingehuurd. Het is daarom de vraag of Dirck ook voor anderen gewerkt heeft.

De relatie met de gebroeders Van Musschenbroek uit Leiden was een heel andere. De broers Samuel en Johan runden een werkplaats, die geleidelijk uitgroeide tot de belangrijkste leverancier van wetenschappelijke instrumenten in Holland. Christiaan heeft er wel bestellingen gedaan - een microscoop in 1678 en Venetiaans glas in 1683 - maar hij hoefde de instrumentmakers niets te leren. In tegendeel: van Johan van Musschenbroek is bekend dat hij Christiaan in 1684 heeft geholpen met het maken van een buisloze kijker van 34 voet, vermoedelijk bij de constructie van het kogelgewricht (zie het hoofdstuk Kijkers). Hier leerde de geleerde van de handwerksman. En kennelijk heeft Huygens goed opgelet, want toen hij een jaar later een tweede kogelgewricht wilde hebben, had hij Van Musschenbroek niet meer nodig. Huygens wendde zich hiervoor tot de Haagse marmerwerker Van der Burgh, die kort daarvoor een ijzeren slijpschaal voor

De glasblazer

(uit: Johannes en Caspar Luyken, Het menselyk bedryf, vertoond in 100 verbeeldingen van ambachten, konsten, hanteeringen en bedryven, 1694- naar de herdruk van 1749)



een 130-voets objectieflens geleverd had. Dezelfde handwerksman deed in het daarop volgende jaar de voorbewerking van een stuk glas uit Den Bosch en leverde onderdelen voor een microscoop. Bovendien bracht hij de gebroeders Huygens in contact met een leverancier van takels waarmee ze hun lange en zware kijkers omhoog konden hijsen: zijn eveneens in Den Haag werkzame broer.

Met mensen als Van der Burgh en Meester Dirck kon Huygens goed samenwerken, maar van hen had hij ook niets te vrezen. Als er al strubbelingen waren, dan beperkten die zich tot klachten over trage leveringen - zoals nogal eens het geval was bij Dirck. Bij andere lenzenlijpers vermeed Huygens samenwerking, zoals bij Baruch de Spinoza. De filosoof Spinoza, door Huygens meestal aangeduid als 'de Jood uit Voorburg', voorzag voor een deel in zijn onderhoud met het slijpen van lenzen.

Hij zocht contact met Huygens in de hoop wat bij te leren. Maar Huygens heeft hem de details van een door hem uitgevonden oculair (zie het hoofdstuk Kijkers) niet

De houtdraaier

(uit: Johannes en Caspar Luyken, Het menselyk bedrijf, verbeeld in 100 verbeeldingen van ambachten, konsten, hanteeringen en bedryven, 1694- naar de herdruk van 1749)

willen meedelen. Kennelijk zag hij in Spinoza te veel een rivaal. Want al maakte Huygens zijn kijkers uitsluitend voor eigen genoegen, hij wilde hierin wel boven anderen uitsteken.

Huygens' contacten met lenzenlijpers weerspiegelen de groei van deze beroepsgroep. Had Huygens aanvankelijk moeten zoeken naar een capabele handwerksman, later kon hij naast de deur terecht. Maar toen was de geleerde ook niet langer een uitzondering met zijn belangstelling voor telescopen en microscopen. Deze instrumenten begonnen populair te worden bij de rijke burgerij, en de vraag naar lenzen nam toe. Daar zat kennelijk voldoende brood in om mensen te verleiden het vak van lenzenlijper te leren. Mensen met zeer verschillende achtergronden: van schoorsteenveger -had hij misschien geen inkomsten buiten het veegseizoen? - tot filosoof.

Hoe anders lag dat bij die andere beroepsgroep waarmee Huygens veel zaken deed: de klokkenmakers. Dezen hadden zich al eerder in vrijwel alle grote steden gevestigd. Ze genoten een hoger



aanzien dan andere handwerkslieden, en waren zich bewust van het eigen vakmanschap. Bij een klokkenmaker kon Huygens dan ook aankomen met een ontwerp-tekening, om enige tijd later een werkend instrument op te halen. Dat deed hij voor het eerst in 1656, met zijn nieuw uitgevonden slingeruurwerk. Huygens was er de man niet naar om zich in zijn rechten te laten aantasten, en hij heeft geprobeerd zijn vinding goed te beschermen. Hij vroeg octrooi aan, om vervolgens het alleenrecht voor het vervaardigen en verkopen van zijn uurwerken te verlenen aan de Haagse klokkenmaker Salomon Coster. Korte tijd later liet de Rotterdamse stadsklokkenmaker Sirnon Douw een eigen slingeruurwerk patenten. Huygens kwam meteen in actie, en een verbitterd conflict was het gevolg toen bleek dat Douw het ontwerp van Huygens met slechts een kleine wijziging had nagemaakt. 'Den plagiarius', zo noemde Christiaan deze klokkenmaker voortaan.

Nadat Christiaan zijn vinding in 1658 in een brochure (*Horologium*) had gepubliceerd, kreeg hij diverse orders voor de

De uurwerkmaker

(uit: Johannes en Caspar Luyken, Het menselyk bedrijf, verbeeld in 100 verbeeldingen van ambachten, konsten, hanteeringen en bedryven, 1694- naar de herkdruk van 1749)

door Coster gemaakte klokken. Toen Coster in het najaar van 1659 overleed, zette zijn weduwe Jannetje Hartloop het bedrijf nog een tijd voort, maar Huygens wendde zich al spoedig tot andere klokkenmakers. Zijn eigen experimentele zeeuurwerken liet hij maken door Severyn Oosterwijck; de bestellingen voor derden speelde hij meestal door naar Claude Pascal, een klokkenmaker die zich vanuit Geneve in Den Haag had gevestigd. Maar ook bij Oosterwijck bestelde Christiaan wel eens uurwerken voor zijn Franse of Engelse vrienden. Zo ook in 1665. Het bestelde uurwerk werd naar Engeland verscheept, maar vlak daarna brak de Tweede Engelse Zeeoorlog uit, zodat er geen sprake kon zijn van betaling langs de gebruikelijke kanalen. Constantijn, die de zaken in Den Haag voor zijn inmiddels naar Parijs vertrokken broer behartigde, moest keer op keer het verzoek om betaling van de uurwerkmaker afwimpelen. Uiteindelijk besloot Christiaan in de zomer van 1667 het bedrag uit eigen zak voor te schieten, want, zo schreef hij aan Constantijn, nu de vrede met Engeland getekend was, zou hij het voorgeschoten



bedrag wel snel terug ontvangen.

Door Christiaans vertrek naar Parijs in 1666 was de samenwerking met Oosterwijck op een laag pitje komen te staan. Wonend in de Franse hoofdstad prefereerde Huygens de lokale klokkenmakers. Met name met Isaac Thuret werkte hij veel samen. Maar in 1675 raakten Thuret en hij met elkaar in conflict over de uitvinding van de balansveer, een alternatief voor de slinger in een uurwerk. De handwerksman moest zijn ongelijk toegeven; toch bleef Thuret de toonaangevende klokkenmaker in Parijs. Maar Christiaan heeft niet meer met hem willen werken. Na zijn terugkeer naar Den Haag, wendde Christiaan zich voor zijn klokken meestal tot de jonge Haagse klokkenmaker Johannes van Ceulen. Deze had zich in 1678 op de Lange Poten gevestigd, bijna tegenover het woonhuis van de familie Huygens. In 1688 zou hij verkozen worden tot hoofdman van het pas opgerichte horlogemakersgilde. Van Ceulen vervaardigde voor Christiaan in 1682 een indrukwekkend planetarium en hij zou later nog diverse experimentele

De pompenmaker

(uit: Johannes en Caspar Luyken, Het menselyk bedrijf, verbeeld in 100 verbeeldingen van ambachten, konsten, hanteeringen en bedryven, 1694- naar de herdruk van 1749)

zee-uurwerken voor hem maken. Deze klokkenmaker legde zelf ook ontwerpen van slingers voor aan Huygens om de uurwerken verder te verbeteren. Daar was Huygens niet van gediend, met als gevolg dat hij weer een andere klokkenmaker zocht. Alleen op verzoek van zijn broer Constantijn heeft Christiaan de hulp van Van Ceulen nog ingeroepen, voor kleine reparaties.

In zijn laatste levensjaren wendde Huygens zich nog enkele malen tot de eveneens in Den Haag wonende klokkenmaker Bernard van der Cloesen voor het vervaardigen van zee-uurwerken, maar of deze samenwerking tot resultaten heeft geleid, is niet bekend.

Hoewel Huygens telkens nieuwe klokmodellen ontwierp, heeft hij nooit hoeven zoeken naar een ambachtsman die zijn ideeën kon verwezenlijken. Integendeel, meestal koos hij voor de dichtstbijzijnde klokkenmaker die zijn vak verstond en zich voldoende dociel opstelde. Maar juist dat laatste was niet altijd het geval, want meer dan veel andere handwerkslieden vormden klokkenmakers een zelfbewuste



beroepsgroep. Het is kenmerkend dat juist de relaties tussen Huygens en zijn klokkenmakers vaak moeizaam waren.



Huygens' technische vondsten





Inleiding

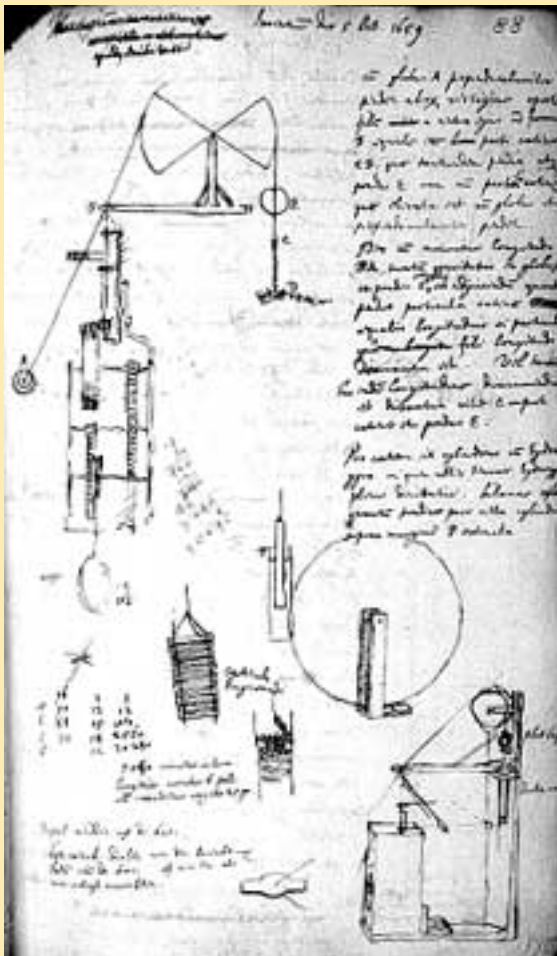
Van de vele instrumenten en werktuigen die Huygens gemaakt of ontworpen heeft, is maar een beperkt deel bewaard gebleven (zie voor een beschrijving van deze voorwerpen het boekje *De Huygenscollectie*). Dat het desondanks mogelijk is een goed beeld te geven van de instrumentbouwer in Huygens, is te danken aan zijn uitgebreide aantekeningen die wel bewaard gebleven zijn. Gelukkigierwijs had Huygens de gewoonte niet alleen te omschrijven wat hem voor ogen stond, maar dit ook te tekenen. Meestal ging het om eenvoudige schetsjes, maar ze geven toch een goed beeld.

In het resterende deel van dit boekje wordt een aantal van Huygens' technische vondsten beschreven, geïllustreerd met zijn eigen tekeningen. Hoewel het slechts om een selectie gaat - alleen al door de omvang is een volledig overzicht ondoenlijk - ontstaat een goed beeld van de enorme invloed die een enkele man kon hebben. Tegelijkertijd wordt ook veel dui-

delijk over Christiaan Huygens zelf, en over zijn manier van werken.

*'Huys in't Bosch', tekening door Christiaan Huygens uit 1658
(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 14, fol 1 r)*

Tijdmeters



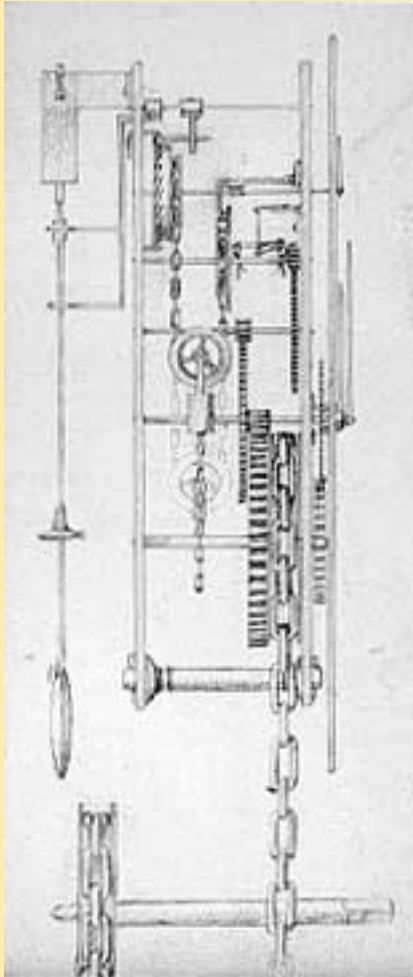
Mechanische tijdmeters waren van oudsher vaak wonderschone en kunstig gemaakte mechaniekjes, maar voor wetenschappelijke doeleinden waren zij volstrekt onbruikbaar. Nauwkeurige tijdbepalingen waren alleen mogelijk uit hoogtemetingen van een geschikt hemellichaam boven de horizon of, zoals voor het eerst door de Italiaanse geleerde Galileo Galilei bij korte tijdsintervallen was toegepast, door het tellen van de schommelingen van een eenvoudige slinger zoals een kogeltje aan een dun koordje.

Een echte doorbraak vond plaats in het najaar van 1656 toen het Christiaan Huygens gelukte een klok te ontwerpen die, dankzij de slimme toepassing van een slinger en een echappement, veel nauwkeuriger de tijd aan kon geven dan voorheen mogelijk was. De eerste slingeruurwerken werden vanaf 1657 gemaakt door de Haagse klokkenmaker Salomon Coster. Deze had in de zomer van dat jaar van Huygens het alleenrecht verworven om

uurwerken te maken naar diens vinding. Meteen al bij de publicatie van zijn vinding sprak Christiaan de hoop uit dat zijn uurwerken bruikbaar zouden blijken op zee. Want wat was er aan de hand? Net zoals dat gebeurde in de andere zeevarende mogendheden hadden ook de staten-Generaal een grote som gelds uitgelooft voor een betrouwbare methode om de geografische lengte op zee te meten. Hierdoor aangelokt werden talloze voorstellen ingediend die uiteenliepen van ingenieus (maar praktisch onuitvoerbaar) tot volstrekt waanzinnig. Bij de voorstellen die wat serieuzer leken, werd vaak het oordeel van Christiaan Huygens gevraagd en ook hijzelf poogde met zijn experimenten de prijs in de wacht te slepen.

De oplossing die Huygens nastreefde, was eenvoudig en was in feite al in 1530 door de Leuvense geleerde Gemma Frisius voorgesteld. Als een schip een betrouwbaar uurwerk mee zou nemen, zou men voortdurend weten hoe laat het was in de

*Ontwerptekening uit 1659 door Christiaan Huygens voor een klok met een conische slinger. De vliedervormige balansinrichting rechts zorgt voor een constante spanning op het slingerkoord zodat deze eenparig ronddraait
(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 10, fol. 88r)*



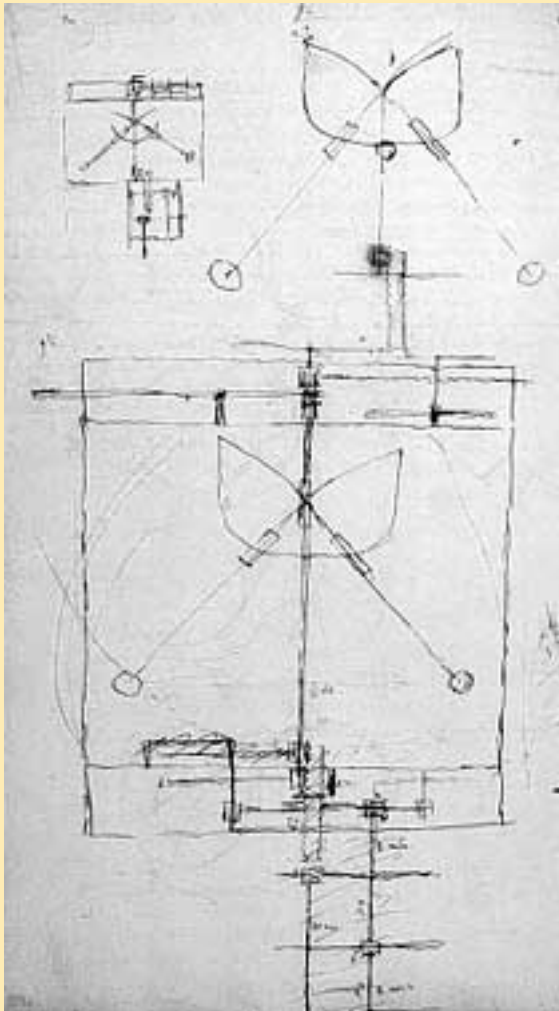
thuishaven. Aan de hand van de stand van de zon (of de sterren) kon men ook de tijd ter plaatse bepalen, en uit het tijdsverschil volgde het verschil in lengtegraad. Het enige dat men nodig had was een goede klok, en die had Huygens juist uitgevonden.

Het uurwerk moest nog wel zeewaardig gemaakt worden. Dat project heeft Huygens ter hand genomen, en daardoor raakte hij verzeild in een eindeloze reeks bijkomstige problemen. Bij het oplossen daarvan heeft hij een paar belangrijke bijdragen geleverd aan de klokkenmakerskunst, maar het hoofddoel bleef toch onbereikbaar achter de horizon.

Een eerste stap die Huygens moest zetten, was het vinden van een ophanging waarin het uurwerk niet alle slingeringen van het schip hoefde te volgen. Hij heeft diverse oplossingen geprobeerd voordat hij koos voor de cardanische ophanging. Onafhankelijk van de helling van het schip zou de klok daarin verticaal blijven hangen. Wel zou de slinger op een bewegend schip onregelmatige zetten krijgen en daardoor zou de amplitude (uitwijking) niet langer constant zijn. Huygens

vond een gedeeltelijke oplossing door de slinger aan een koordje tussen twee gekromde metalen boogjes, 'wangen', op te hangen. De slingertijd werd zo onafhankelijk van de amplitude. De precieze vorm van de boogjes kon hij eerst niet afleiden, maar toevallig op het spoor gezet door een wiskundige prijsvraag, ontdekte hij in 1659 dat deze de vorm van een cycloïde moesten hebben. Een aantal van deze innovaties is terug te zien in een zee-uurwerk dat Huygens in 1672 bij de Parijse uurwerkmaker Isaac Thuret liet maken. Dit uurwerk was in een cardanische ophanging bevestigd en uitgerust met een driehoekige slinger die vanuit twee ophangpunten slingerde. Hiermee werd de slinger gedwongen in een vlak te blijven slingeren. Al eerder (in 1664) had Huygens het remontoiruurwerk uitgedacht, waarbij de slinger niet door het raderwerk maar door een klein gewicht je werd aangedreven dat elke 30 seconden door het grote aandrijfgewicht werd opgehesen. Ook dit zou een regelmatigere loop van het uurwerk bewerkstelligen.

Voor Christiaan waren zijn zee-uurwerken



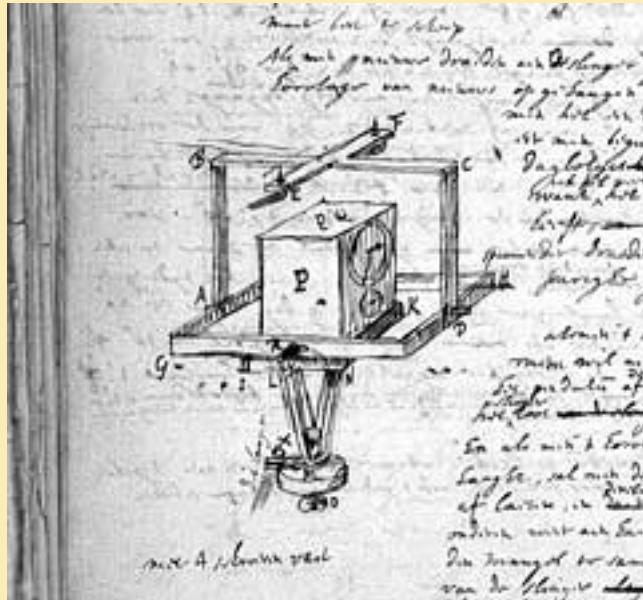
meer dan een huiskamerstudie. Hij heeft de klokken steeds in de praktijk beproefd. Eerst op zolder, waar hij flink aan de ophanging schudde, en vervolgens aan boord van een schip. Hij heeft ook een instructie geschreven voor de zeelieden die de proef moesten uitvoeren: Kort onderwijs aengoende het gebruyck der horologiën tot het vinden der lenghten van Oost en West Soms stemde een proef-neming hoopvol, een andere keer was het resultaat desastreus.

Michiel de Ruyter, bijvoorbeeld, nam op een tocht naar Guinea in 1664 en 1665 een zee-uurwerk mee, maar hij had kennelijk andere zaken aan zijn hoofd en verzuimde de klok te gebruiken.

En Huygens' collega aan de Académie des Sciences, Jean Richer, beproefde de klokken in 1671 en 1672 tijdens een expeditie naar Guyana. Bij de eerste de beste storm kwamen de klokken stil te staan, om vervolgens tegen het dek kapot te vallen. Volgens Huygens lag het niet aan de klokken. Richer zou wel ziek geworden zijn en daarom de klokken hebben verwaarloosd.

In zekere zin was het gebruik van een slingeruurwerk op een schip vragen om problemen, dat zag ook Huygens wel in. Hij zocht voortdurend naar alternatieven voor de slinger. Zo bedacht hij omstreeks 1659 iets volledig nieuws: een slinger die niet heen en weer in een verticaal vlak beweegt, maar die in een horizontaal vlak ronddraait. Ook hier leidde Huygens wiskundig de krommen af waarlangs de slinger moest liggen zodat deze onder alle omstandigheden eenparig bleef ronddraaien: het waren nu parabolen. In de daarop volgende jaren ontwierp Huygens diverse conische uurwerken die met slingers langs parabolische bogen of knickers in een parabolische goot werden gereguleerd.

Mooie vindingen, maar te kwetsbaar om zeewaardig te zijn. Daarentegen was de balans (onrust) met een spiraalveer, een uitvinding uit 1675, heel robuust. Hiermee kon de gang van een uurwerk bijna net zo nauwkeurig gerealiseerd worden als



met behulp van een slinger, terwijl de schokkende en slingerende scheepsbewegingen nauwelijks een probleem vormden. Het idee was uitstekend - het wordt nog steeds toegepast in mechanische polshorloges - maar, zoals Huygens spoedig zou ontdekken, de balans is erg gevoelig voor temperatuurswisselingen. Op een schip dat door de tropen moet kunnen reizen is dat natuurlijk een bezwaar.

In 1683 bedacht Huygens hierop een oplossing en hij liet Johannes van Ceulen een uurwerk maken zonder balans maar met een holle of massieve heen en weer draaiende cilinder die hing aan drie lange draden (pendulum cylindricum trichordon).

Bij draaiing trekken de koorden de cilinder iets op, en, net als bij de slinger, valt de cilinder dankzij de zwaartekracht weer terug. Ten slotte zou Huygens nog op een ander probleem stuiten. Tijdens een VOC-tocht naar Kaap de Goede Hoop werd een nieuw type slingeruurwerk beproefd. De klokken liepen zonder haperen, maar Christiaan moest tot zijn spijt uit het logboek constateren dat hun loop toch niet

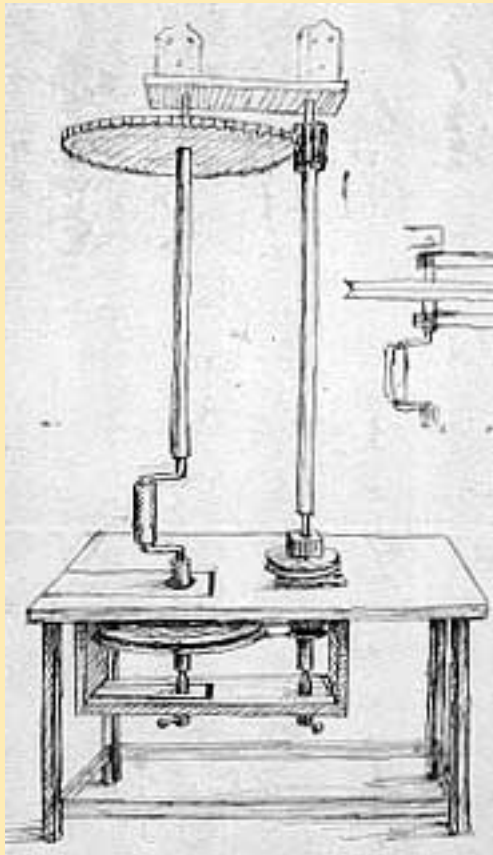
regelmatig was geweest.

Huygens zocht de oorzaak uiteindelijk in het feit dat de zwaartekrachtversnelling (die de slingertijd bepaalt) niet overal op aarde gelijk is. Dat probleem kon hij niet oplossen. Hij nam daarom zijn toevlucht tot een correctietabel.

Een laatste proef werd in 1691 ondernomen, en weer had Huygens pech. Ditmaal functioneerden de klokken zelfs niet goed - Christiaan was weer terug bij af.

*Schets van Christiaan Huygens uit omstreeks 1671 voor een cardanisch opgehangen zee-uurwerk
(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 2, fol. 146r)*

Lenzenlijpmachines



Brillenmakers en glasslijpers droegen hun kennis mondeling over van meester op knecht; toen de gebroeders Huygens zich omstreeks 1654 gingen toeleggen op het slijpen van lenzen, was een kant-en-klare handleiding dan ook niet beschikbaar. Alleen door naarstig informeren en het analyseren van bestaande kijkers ontdekten zij de geheimen van de glasslijpkunst. Gelukkig waren zij best bereid hun kennis met anderen te delen. In 1665, toen ze het vak goed onder de knie hadden, beschreef Christiaan in een brief hoe het slijpen van een lens in zijn werk ging.

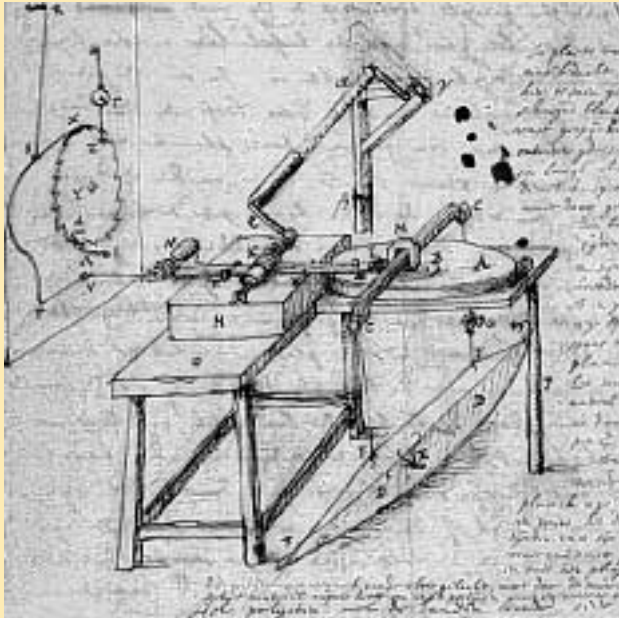
Het belangrijkste stuk gereedschap was de metalen slijpschaal. Aanvankelijk kochten de gebroeders Huygens hun slijpschalen, maar later maakten ze deze ook zelf. De diameter van de schaal moest ongeveer tweemaal zo groot zijn als die van de lens. Vervolgens werd een helder stuk glas uitgezocht dat vrij was van aderen

(inwendige slierten en andere ongerechtigheden). Op de achterzijde van het glas werd een klein houten handvat gekit met behulp van pek en as. Vervolgens werd de lens met rondgaande bewegingen over de slijpschaal bewogen waarop een laag slijppoeder was aangebracht, steeds fijner van korrelgrootte naarmate het proces vorderde.

Het slijppoeder werd van tevoren in verschillende korrelgrootten aangemaakt door fijn zand met water te mengen en deze suspensie enige tijd te laten bezinken. Naarmate men langer wachtte, bleven er steeds kleinere korrelgrootten in de suspensie achter, die na afgieten en laten verdampen het gewenste slijppoeder opleverde.

Als de lens de juiste vorm bereikt had, werd deze vervolgens gepolijst door hem te wrijven op dezelfde slijpschaal waarin een vel zacht grof papier was geplakt dat met 'tripoli' (tripel: fijngewreven kiezel-

Lenzenlijpmachine, tekening door Christiaan Huygens uit omstreeks 1665. De lens was vastgemaakt onder aan de rechterstok en rustte op de slijpschaal. Met de zwengel werden zowel de lens als de slijpschaal aan het draaien gebracht, in tegengestelde richtingen. Het gewicht boven op het toestel diende om de lens met een constante kracht op de slijpschaal. (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 28, fol. 138v)



of diatomeeënaarde) was geïmpregneerd.

Het met de hand slijpen en polijsten van een lens was een tijdrovend en arbeidsintensief proces en de gebroeders Huygens construeerden al vroeg diverse hulpwerktuigen om dit geestdodende werk te vereenvoudigen. Een gedetailleerde beschrijving van deze hulpwerktuigen en hun gebruik gaf Christiaan in 1685 in zijn *Memoriën aengaende het slijpen van glazen tot verrekijckers*. Wellicht was het bedoeld voor publicatie -Constantijn heeft het nog in het net overgeschreven - maar uitgegeven is het pas in 1703. in een Latijnse vertaling van Herman Boerhaave. Het geschrift bevatte beschrijvingen van een slijpmachine, een polijstmachine en een draaibank voor de vervaardiging van de slijpschalen. Bovendien zijn enkele onvolledige schetsen bewaard, die kenmerkend voor het geschrift bedoeld waren. Dat alles bij elkaar geeft een goed beeld van de werking van de toestellen.

De draaibank voor de slijpschalen was een eenvoudig werktuig: zo was er geen speciale constructie om de beitel te geleiden. Voor het vervaardigen van zeer ondiepe

slijpschalen voor langebrandpuntafstanden met kromtestralen van soms tientallen meters zou dat ook niet eenvoudig geweest zijn. De slijpschalen zelf werden aanvankelijk van ijzer gemaakt, maar later werd vooral messing gebruikt. Huygens was daarop overgegaan in navolging van de Parijse lenslijper Lebas, van wie hij ook het gebruik van amaril (een slijppoeder van gruis uit verschillende harde gesteenten) in plaats van fijn zand als slijppoeder had afgekeken. Het geschrift geeft geen beschrijving van de slijpmachine, maar Christiaans vroegere ontwerpen uit omstreeks 1665 wijzen op het gebruik van een werktuig waarbij de slijpschaal en de lenshouder door een V-snaar en tandwieloverbrenging werden aangezwengeld zodat ze tegen elkaar in draaiden. Als de lens voldoende in vorm geslepen was, werd de slijpschaal uit de slijpmachine gehaald en schoongemaakt. Vervolgens werd deze in het polijsttoestel gemonteerd en bedekt met een mengsel van tripel en 'vitriool de Cyprus' (kopersulfaat). Ook het recept van dit polijstmiddel had Huygens van Lebas. De bijdrage van Huygens zelf was de constructie

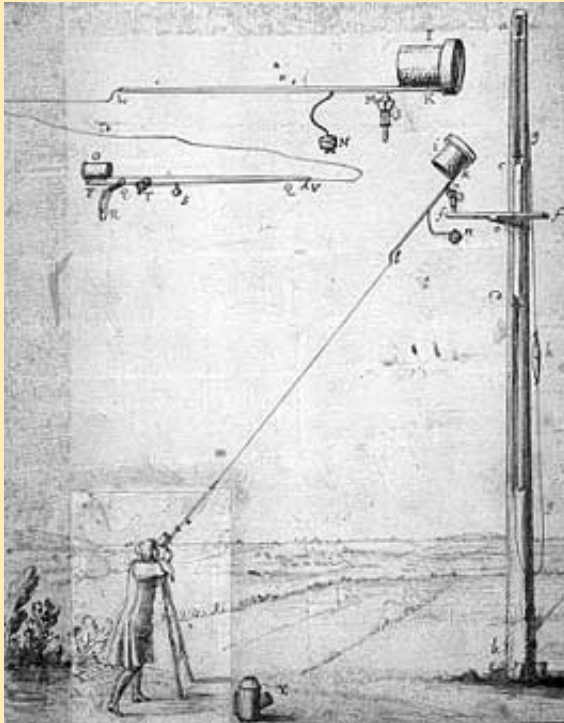
Polijstmachine, tekening door Christiaan Huygens uit 1685. De lens werd (bij M) met grote kracht op de slijpschaal gedrukt door een beugel, waarmee de lens heen en weer gehaald kon worden. Het aantal gemaakte slagen werd met een eenvoudig telmechaniek bijgehouden, links op de tekening. Tijdens het polijsten draaide de slijpschaal heen en weer, maar de pedalaandrijving daarvoor is niet ingetekend (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 28, fol. 151r)



van de toestellen.

Christiaan sleep samen met zijn broer Constantijn tientallen lenzen (zie het boekje De Huygenscollectie). Of zij ze allemaal ook daadwerkelijk gebruikt hebben, is niet duidelijk; zeker is dat zij niet voor de verkoop bedoeld waren: de gebroeders gaven zelden een lens weg. Zo werd Christiaan in 1687 verzocht een lens te slijpen voor een aanzienlijke heer in Duitsland. Hij weigerde resoluut: hij werkte alleen voor zichzelf en niet voor anderen.

Kijkers



Sterrenkijkers zouden Christiaan Huygens gedurende zijn hele leven fascineren. Per slot van rekening was zijn faam te danken aan de ontdekking van de helderste maan en de ring van Saturnus. Die had hij waargenomen met kijkers waarvan hij de lenzen samen met zijn broer Constantijn had geslepen. Christiaans eerste zelfgemaakte kijker kwam gereed in het voorjaar van 1655. Het objectief was een lens van 2 duim doorsnee met een brandpuntafstand van 10 voet, die in combinatie met het oculair een hoekvergroting gaf van 50-maal. De lenzen waren gevat in een metalen buis met een lengte van niet minder dan 12 voet.

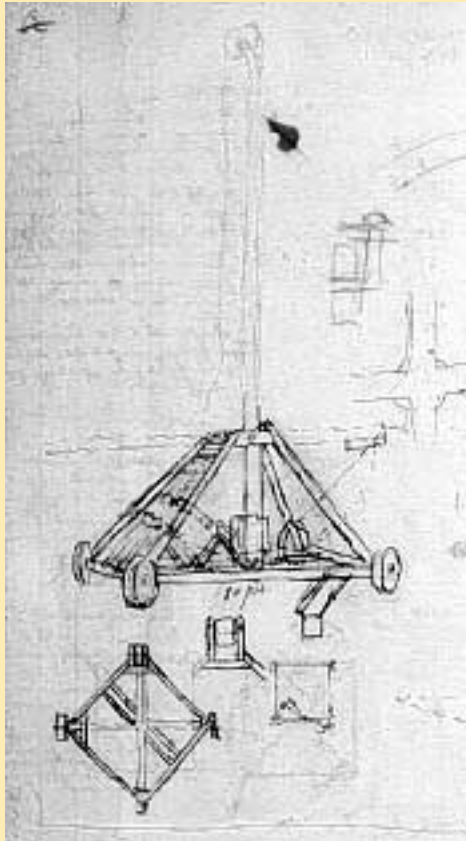
Naarmate beide broers de lenzenslijpkunst beter onder de knie kregen, werden hun kijkers steeds langer. Een kijker van 23 voet volgde in het najaar van 1655 en nog langere zouden in de daaropvolgende jaren gemaakt worden. Vooral tussen 1683 en 1687 slepen zij veel lenzen voor kijkers met grote brandpuntafstanden, tot wel 210 voet toe.

In eerste instantie ontwikkelden de gebroeders Huygens steeds langere kijkers om grotere hoekvergrotingen mogelijk te maken, maar zij probeerden tegelijkertijd ook de hinderlijke kleurschifting (chromatische aberratie) in hun lenzen te beperken. Het beeld wordt bij een eenvoudige lens niet voor alle kleuren op dezelfde plaats gevormd. Het resultaat is een versmeerd beeld met kleurranden die niet reëel zijn. Lenzen met een grote brandpuntafstand bleken de minste last te hebben van dit verschijnsel.

Huygens besteedde ook veel aandacht aan een andere onvolkomenheid van zijn lenzen die bekend staat als de sferische aberratie. De bolvormige oppervlakken van een lens, die het natuurlijk gevolg van het glasslijpprocédé zijn, verhinderen de optimale vorming van een beeld. De ideale lensvorm was wel bekend, maar geen glasslijper kon hem leveren. Om dit probleem te ondervangen berekende Huygens welke delen van een normale

*Buisloze kijker, tekening door Constantijn Huygens. Het objectief was op een kogelgewricht *m* bevestigd; het contragewicht *n* moest het objectief rechtop houden. Het geheel was met een koord langs de mast in hoogte verstelbaar.*

(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 28, fol. 212r)



lens bruikbaar waren voor een goede afbeelding en hij dekte de beeldverstorende buitendelen van de lens met een diafragmaring af. Bij een aantal van de bewaard gebleven lenzen van de gebroeders Huygens zijn deze papieren diafragmaringen nog steeds aanwezig. Verder toonde Christiaan aan dat plat-bolle lenzen het best geschikt waren voor korte brandpuntafstanden, terwijl bij lange brandpuntafstanden beide oppervlakken bol moesten zijn.

Lange kijkers hebben een beperkt gezichtsveld dat bepaald wordt door de afmeting van het oculairglas. Huygens ondervond dit probleem omstreeks 1662 door een samengesteld oculair te ontwerpen, dat nu nog bekend staat als een Huygens oculair.

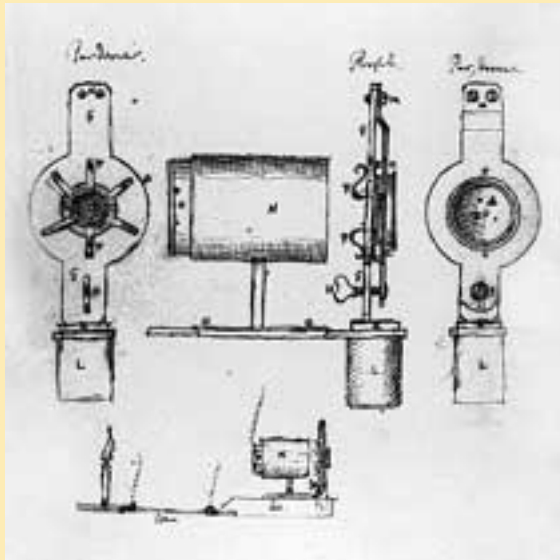
Voor het oculairglas werd een veldlens geplaatst, waarmee het licht over een groter gezichtsveld naar het oog gebundeld werd. De grote lengten van de kijkers van de gebroeders Huygens en hun tijdgenoten brachten hun bezitters vaak tot wanhoop: beeldverlies tengevolge van doorbuiging van de kijkerbuis kon men

alleen voorkomen door de kijker in een ingewikkelde tuigage aan een hoge mast op te hangen. En bij het minste zuchtje wind zwaaide de kijker dusdanig heen en weer, dat waarnemen vrijwel onmogelijk werd. Vanaf 1683 liet Christiaan de buis meestal maar helemaal weg. Hij beschreef in zijn *Astroscopia compendiaria tubi optici molimine liberata* (gepubliceerd in 1684) een constructie voor een buisloze kijker van 35 voet: de objectieflens werd op een kogelgewricht aan een hoge mast bevestigd, terwijl de positie van het oculair door een scharnierend houten mechanisme bij het oog werd geregeld. De optische assen van de lenzen werden precies in elkaars verlengde gebracht en op de juiste afstand gehouden door een strak gespannen koord dat onderaan verzwaaard was. De mast moest flink hoog zijn: bij een 84-voets objectief al 61 voet, terwijl een 125-voets objectief een mast van maar liefst 105 voet vereiste. Zo'n enorme paal heeft er dus gestaan in de ruime tuin van het ouderlijk huis aan het Plein, midden in Den Haag.

Vrijdbaar onderstel met neerklapbare mast voor een buisloze kijker, ontwerpschetsen van Christiaan Huygens uit 1692.

(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug, fol. 31v.)

Microscopen



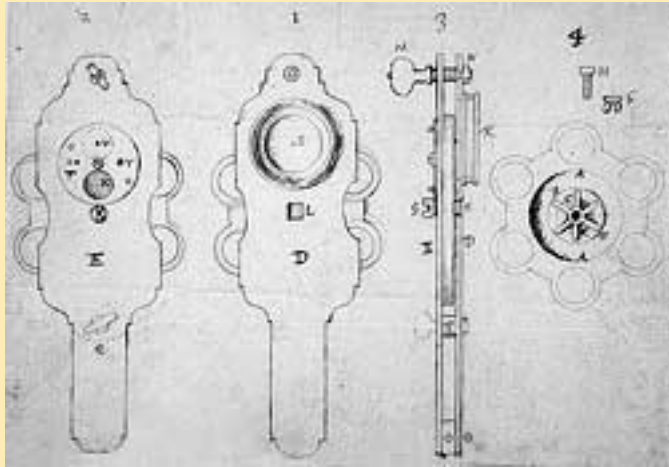
Al in het midden van de jaren vijftig maakte Christiaan met zijn broer Constantijn microscopen, die zij aan bekenden van de familie verkochten of cadeau deden. In dezelfde tijd bestudeerden zij de optische eigenschappen van een samengestelde microscoop volgens of van Johann Wiesel, die in tegenstelling tot de toen gangbare microscopen, toegerust was met drie lenzen.

Hevig geïnteresseerd in de microscoop raakte Christiaan Huygens pas in de loop van 1677. Zijn vader vroeg hem toen bij gelegenheid een brief van Antoni van Leeuwenhoek, een van zijn protégés, in het Frans te vertalen. Van Leeuwenhoek had kort daarvoor voor het eerst eencellige organismen waargenomen en daar een aantal onderzoeken naar verricht die hij in die brief beschreef. Huygens ging in dezelfde periode bij Van Leeuwenhoek op bezoek, die hem onder andere zijn allernieuwste ontdekking demonstreerde: de zaaddiertjes. Daardoor raakte Huygens

zo in de ban van de microscopisch kleine organismen dat hij besloot zelf ook waarnemingen te verrichten. Maar eerst had hij een goed instrument nodig.

De microscopen die hij kende - waaronder die van Van Leeuwenhoek, die van de Leidse instrumentmaker Van Musschenbroek en een instrument dat Nicolaas Hartsoeker hem zojuist had toegezonden - bevielen hem niet. Hij ging daarom in maart 1678 zelf aan de slag; in mei van dat jaar resulteerde dat in een nieuw ontwerp. Dit had een aantal karakteristieke eigenschappen: het bestond uit een dubbel frame; in het ene deel was de lens - niet meer dan een klein glasbolletje - gemonteerd en in het andere een dun, rond glazen plaatje dat als objectdrager dienst deed. Het preparaat -in Huygens' onderzoek was dat een druppel water met daarin honderden micro-organismen - werd afgedekt met een klein stukje mica, dat op de objectdrager geklemd werd. Tijdens het gebruik werd de microscoop

*Eerste ontwerp van een microscoop door Christiaan Huygens uit mei 1678
(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 9, fol. 57r)*



opgesteld voor een belichtingslens met daarachter een kaars, opdat de belichting van het preparaat zo groot mogelijk zou zijn.

Al snel bleek deze microscoop toch niet ideaal te zijn: bij ieder nieuw preparaat moest de microscoop gedemonteerd worden. Dat was tijdrovend, vooral doordat Huygens voor zijn onderzoek dagelijks een flink aantal verschillende infusies (plantenaftreksels, waarin micro-organismen zich bijzonder lekker voelen) inspecteerde.

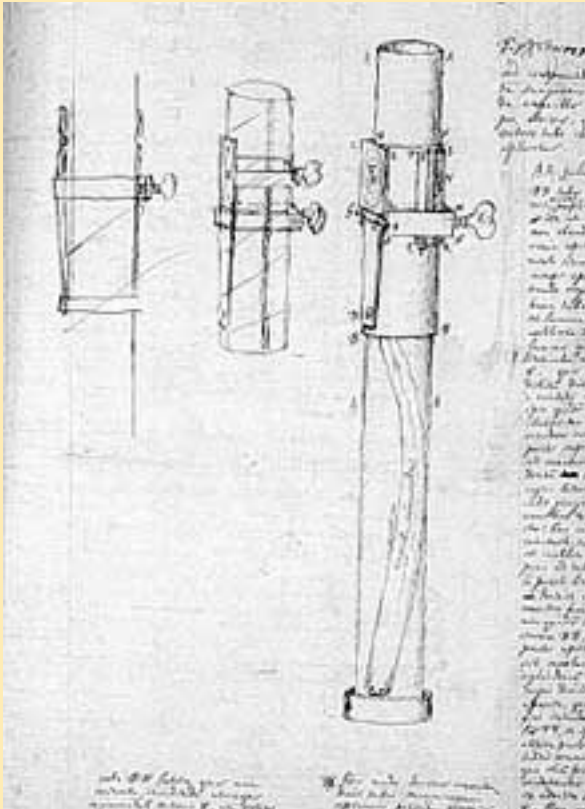
Daarom bracht hij een aantal wijzigingen aan, en daarbij waren er twee punten waar zijn grootste aandacht naar uitging: makkelijke hanteerbaarheid en een goed scherp beeld.

Na een aantal probeersels stuurde hij in oktober 1678 een tekening en beschrijving van een nieuw ontwerp naar broer Constantijn. Het frame van deze microscoop bestond net als het eerdere model uit twee gelijke helften. In het ene was weer de lens gemonteerd, maar aan het andere deel was nu een preparaatrevolver en een diafragmarevolver bevestigd.

De preparaatrevolver was een briljante vondst waarmee het mogelijk werd snel achter elkaar druppels van verschillende infusies te bekijken. Dit was een draaibaar metalen schijfje met daarin zes glaasjes die als objectdrager dienden. Door het schijfje te draaien kon hij deze beurtelings voor de lens plaatsen. De diafragmarevolver was ook een eigen bedenkfel. Huygens was tot het inzicht gekomen dat het beeld scherper werd als het strooi-licht werd tegengehouden. Dat kon door het licht via een vrij kleine opening, een diafragma, op het preparaat te laten vallen. Door de microscoop toe te rusten met een aantal diafragma's van verschillende doorsneden kon hij het licht zo kiezen dat hij het scherpste beeld verkreeg.

Een aantal van zijn microscopen demonstreerde Huygens aan de leden van de Académie des Sciences, die zich enthousiast betoonden, vooral ook vanwege de verbazingwekkend kleine, krioelende diertjes die zij toen voor het eerst te zien kregen. Maar Huygens zelf was nog steeds niet tevreden: hij maakte in de

Ontwerp van een microscoop door Christiaan Huygens, getekend in een brief van 21 oktober 1678 aan Constantijn Huygens (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 45)



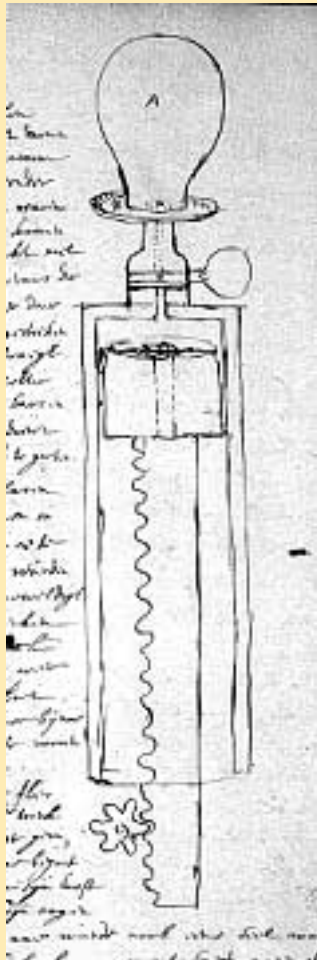
loop van de daaropvolgende maanden nog een aantal schetsen, waarin hij de constructie van de preparaathouder steeds veranderde en het aantal diafragma's telkens wijzigde. Met name de belichting van het preparaat hield hem bezig. Zo maakte Huygens vele jaren later nog, in 1692, een schets van een aalkijker. Net als bij Van Leeuwenhoek was zijn aalkijker niet meer dan een constructie om een enkelvoudige microscoop te monteren op een glazen buis (waarin de aalstak), maar Huygens voegde daaraan nog een diafragma toe.

Doordat Huygens zijn microscoop aan de leden van de Académie des Sciences had getoond en bovendien de micro-organismen een tijd lang veel stof deden opwaaien in de wetenschappelijke wereld, was er vraag naar microscopen zoals hij ze had ontworpen.

Een aantal Parijse instrumentmakers sprong daarop in en bracht microscopen op de markt die in essentie op Huygens' ontwerp teruggaan, maar die qua uiterlijk daar niet veel meer op leken.

*Tekening van een aalkijker
(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 6, fol. 37r)*

Luchtpompen



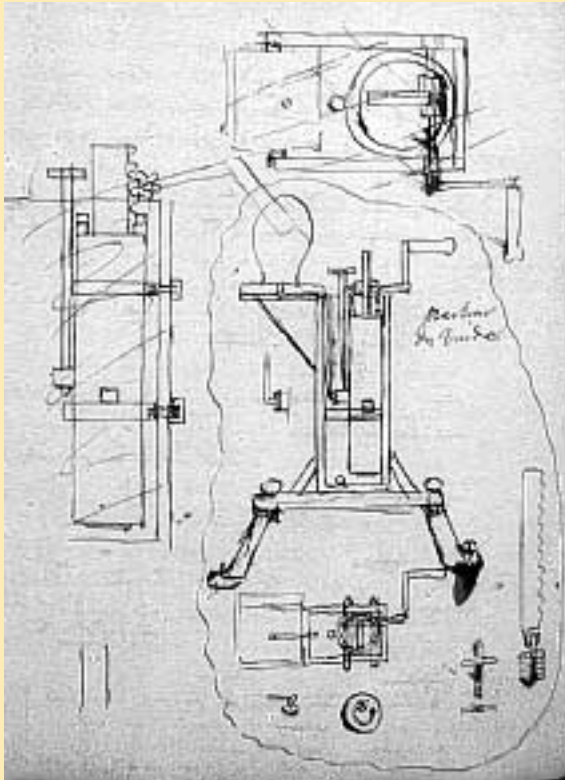
Op 30 november 1661 schreef Christiaan een enthousiaste brief aan zijn broer Lodewijk. Het was hem eindelijk gelukt zijn lucht- pomp naar behoren te laten functioneren. Morgen, zo schreef hij, gaat dat het leven kosten aan een paar mus- sen. In het luchtledige van de pomp zou- den de diertjes creperen. Geheel in over- eenstemming met de filosofische inzich- ten van dat moment beschouwde Huygens dieren als natuurlijke mecha- niekjes, en de luchtpomp was nu juist zo handig om die mechanica te bestuderen.

Aan die gedenkwaardige dag in novem- ber 1661 was wel het een en ander voor- afgegaan. Huygens had in mei van het- zelfde jaar voor het eerst een luchtpomp, of eigenlijk vacuümpomp, gezien toen hij op bezoek was bij de Britse onderzoeker Robert Boyle. Terug in Den Haag wist hij zijn broers enthousiast te maken voor het idee zelf een pomp te maken. Christiaan deed daarbij het werk, terwijl Constantijn en Lodewijk meebetaalden. En dat was

nodig ook, want een luchtpomp was duur. Te duur, vond Constantijn al snel, en hij staakte zijn medewerking.

In wezen was een luchtpomp een tamelijk eenvoudig apparaat. Toch stelde het hoge eisen aan de maker. De diverse onderde- len moesten letterlijk luchtdicht op elkaar aansluiten, en daarin had men toen nog geen ervaring. Huygens bleef met de vormgeving van zijn luchtpomp dan ook dicht bij het ontwerp van Boyle. Daarvan wist hij tenminste dat het werkte. Maar op een punt week hij duidelijk af, uit pure noodzaak. Als recipiënt, het vat dat vacuüm gezogen werd, gebruikte Boyle een grote glazen bol. Maar aangezien Huygens geen glasblazer kon vinden die zo iets voor hem maken kon, moest hij een andere oplossing bedenken. Hij koos voor een vlakke metalen plaat, waarop hij een omgekeerde glazen apothekerspot zette. De rand kitte hij dicht met een mengsel van gele was en terpentijn. Al gauw bleek zo'n recipiënt met een vlakke

Huygens' eerste luchtpomp, tekening door Christiaan Huygens uit 1661. Met het tandwiel en de tandheugel werd de zuiger omlaag getrokken, met als gevolg dat lucht uit recipiënt A door de geopende kraan C stroomde, de cilinder in. Na sluiten van de kraan werd de zuiger weer naar boven bewogen, waarbij de lucht in de cilinder langs de zuiger ontsnapte (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 4, fol. 25v)



bodem erg handig in het gebruik, en Huygens' toevallige vernieuwing werd alom overgenomen.

In de eerder genoemde brief aan Lodewijk meldde Christiaan trots dat zijn pomp beter was dan die van Boyle. En ook Boyle zelf vertelde hij dat. De Britse onderzoeker ging onmiddellijk werken aan een verbeterde versie, maar ook Huygens zat niet stil. Binnen een jaar was zijn nieuwe luchtpomp gereed. De eigenlijke pomp hing niet langer onder de recipiënt, maar omgekeerd ernaast. Het grote voordeel was dat er zo een laag water op de zuiger gedaan kon worden, en dat verbeterde de afdichting enorm. Wel lekte er nu water langs de zuiger, maar dat was veel minder erg. Het vocht werd afgevoerd door het ventiel onder in de buis, tegelijk met de weggepompte lucht. De finishing touch was een speciaal bakje om dit lekwater op te vangen.

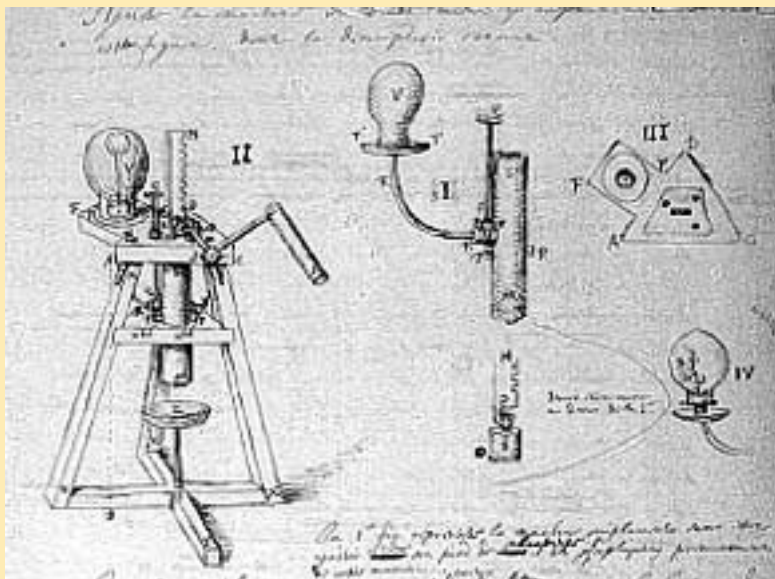
Huygens kon het niet weten, maar dat water in de pomp had een belangrijk nadeel. Door verdamping stelde het een

grens aan het vacuüm dat bereikt kan worden. Maar achteraf maakt dat het wel mogelijk te bepalen welke druk Huygens' pomp kon halen: ongeveer eenhonderste atmosfeer.

Huygens had succes met de bouw van zijn luchtpompen. Het bevestigde zijn roem als experimenteel onderzoeker. Maar ook buiten de kleine kring van experimentele onderzoekers werd de luchtpomp bekend. Huygens' huis werd al snel een soort toeristische attractie. Tal van mensen kwamen op bezoek om de spectaculaire proefjes gedemonstreerd te krijgen. Zoveel zelfs, dat hij nogal eens de smoes vertelde dat de pomp kapot was, om niet weer te hoeven optreden. Ook vader Huygens, die als diplomaat in Parijs verbleef, kreeg belangstelling. Hij vroeg zijn zoon de luchtpomp mee naar Parijs te nemen, om er daar goede sier mee te maken. De zoon reageerde mopperend dat zijn vader kennelijk niet beseftte hoe groot dat ding eigenlijk was.

Een paar jaar later is Huygens toch in Parijs met luchtpompen in de weer

De luchtpomp voor de Académie des Sciences, ontwerpschets door Christiaan Huygens uit 1667. In navolging van Boyle was Huygens van plan de pomp met kraan en al in een bak met water te plaatsen (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 3, fol. 65v)



geweest. In 1663 vroeg de wetenschapsmecenas Habert de Montmor hem een pomp te maken, en in 1668 deed de Académie des Sciences eenzelfde verzoek. In beide gevallen liet hij de onderdelen volgens zijn specificaties maken, en leverde hij het geheel als een bouw pakket af. Het was een optimistische gedachte dat de Parijse heren een luchtpomp zouden kunnen assembleren zonder zijn hulp. Pas in de jaren zeventig van de zeventiende eeuw slaagden instrumentmakers erin geheel zelfstandig luchtpompen te maken. In Parijs was de klokkenmaker Antoine Gaudron de eerste die een luchtpomp volgens Huygens' ontwerp kon leveren - voor 100 livres ...een vermogen.

Rijtuigen



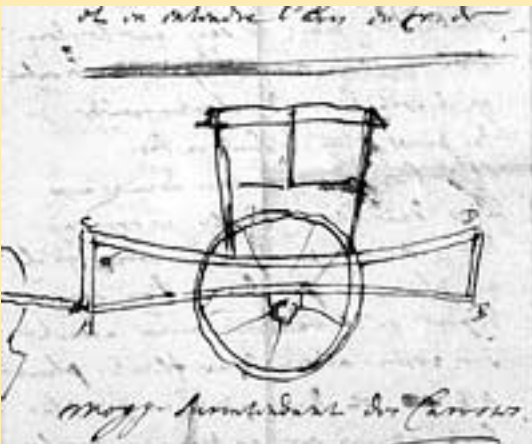
De familie Huygens leed aan een milde vorm van gekte. De drie broers Constantijn, Christiaan, Lodewijk en hun zwager Philips Doublet wisselden voortdurend de nieuwste snuffjes van sjezen en koetsen uit. Ze probeerden zelf het ideale rijtuig te ontwerpen. Het was vooral Doublet die zijn ideeën in de praktijk beproefde, waarbij hij meer op zijn kapitaal steunde dan op mechanisch inzicht.

Toen Christiaan zich in 1666 in Parijs vestigde, werd zijn rol die van een soort 'postillon des dessins'. Van elk nieuw type rijtuig dat hij in de Franse hoofdstad ontdekte, stuurde hij een beschrijving of een tekening naar zijn broers en zwager. Zo ook van een nieuw soort sjees, de crénane. Bij dit tweewielige rijtuig werd de carrosserie gedragen door twee lange verende latten (de flèches) tussen de wielen en het paard. Hoe langer deze flèches zijn, en hoe groter de afstand tussen de carrosserie en de wielen is, des te beter is de vering. Aan de andere kant is het gunstig

de passagier dicht bij de wielen te plaatsen. Zijn gewicht wordt dan meer door de wielen gedragen dan door het paard. Bij de crénane werd dit dilemma opgelost door de flèches achter de carrosserie als het ware om te vouwen. Ze behielden daardoor hun lengte, en daarmee hun vering, zonder dat de afstand tussen de stoel en de as te groot werd.

Op basis van de crénane is Christiaan zijn eigen rijtuig gaan ontwerpen. Zijn eerste suggestie was om dubbele flèches te gebruiken (brief van 8 januari 1668). De verende werking zou daarmee ook verdubbelen, terwijl de carrosserie pal boven de as geplaatst kon worden. Vervolgens realiseerde hij zich dat het rijtuig veel stabiel zou worden als hij het gewicht naar beneden bracht. Hij wilde daarom de carrosserie aan de onderste flèche bevestigen. en de as aan de lat erboven (brief van 20 januari 1668).

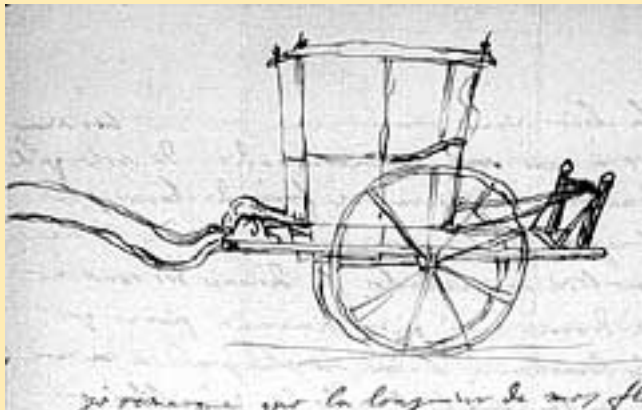
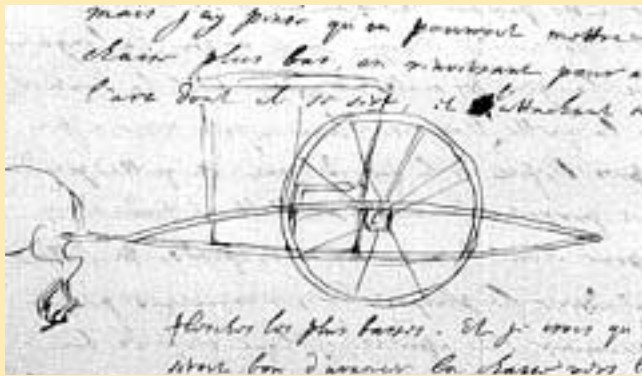
Het zag er veelbelovend uit, maar toch



Boven: De crénane, geschetst door Christiaan Huygens in een brief van 6 augustus 1666 aan Philips Doublet

Onder: Huygens' eerste ontwerp voor zijn sjees, getekend in een brief van 6 januari 1668 aan Lodewijk Huygens

(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 45)



aarzelde Huygens nog. Her en der won hij inlichtingen in, en zo sprak hij ook de ervaren rijtuigontwerper Pierre Francini. Deze vertelde hem, dat zo'n vering op houten latten bijzonder prettig was, maar niet lang meeging: het houtwerk zou langzaam aan doorbuigen. Bovendien noemde Francini een probleem waar Huygens nog niet aan gedacht had: het aan weerszijden op en neer stoten van het rijtuig. Wanneer een van beide wielen over een hobbel zou rijden, dan zou het rijtuig aan die kant omhoog gestoten worden, en aan de andere zijde niet. Volgens Francini was juist dat soort bewegingen erg vermoeiend voor de passagier. En hoe dichter deze bij de as zat, des te meer last zou hij ervan hebben.

Huygens kon opnieuw beginnen. Het nieuwe uitgangspunt werd de roannesque, een sjees waarvan de carrosserie hing aan veerkrachtige leren riemen. Door deze flexibele verbinding hoefde de carrosserie niet elke beweging van het onderstel te volgen. Huygens maakte daarvan gebruik door de achterste riemen niet naar de hoeken van het onderstel te

voeren, maar naar het midden. Als nu een wiel omhoog gestoten werd, ging dat midden natuurlijk mee omhoog, maar slechts half zoveel. Huygens kreeg er vertrouwen in en liet zijn ontwerp uitvoeren. Na enig afdingen kwam hij met de wagenmaker een prijs overeen van 20 escus. Hij informeerde nog bij broer Lodewijk of dat niet te duur was, maar in juni 1668 kon hij zijn eerste rijtoer maken. Huygens was erg enthousiast, de eerste paar dagen althans. Maar al binnen een week trok hij de conclusie dat het Parijse wegdek te slecht was voor zelfs de beste tweewieler. Hij liet zijn sjees ombouwen tot een vierwielige koets. Het resultaat was mooi, maar de hartstocht voor rijtuigen was verdwenen.

Ondanks alles moet het eindproduct een prima koets geweest zijn. De zoon van zijn buurman had hem graag willen kopen, zij het niet voor de 100 escus die Huygens ervoor vroeg. Tijdens Huygens' afwezigheid namen buurman en zoon de vrijheid de koets te 'lenen'. Prompt kregen ze een aanrijding. Huygens was furieus, temeer daar ze bij hem ingebro-

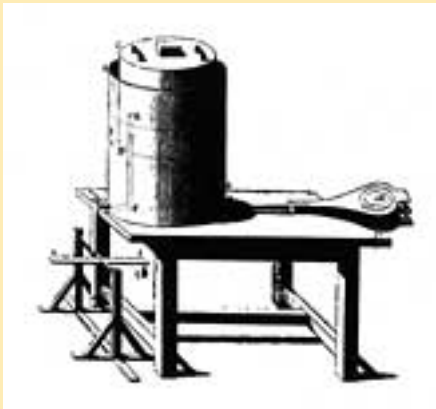
Boven: Huygens' tweede ontwerp voor zijn sjees, zoals getekend in een brief van 20 januari 1668 aan Philips Doublet

Onder: Definitieve ontwerp van Huygens' sjees, getekend in een brief van 22 juni 1668 aan Lodewijk Huygens

(Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 45)



ken hadden op zoek naar de kussens van de koets. Huygens wendde zich onmiddellijk tot de eerste minister Colbert persoonlijk. En zijn buurman heeft hij niet meer aangekeken.



Windkrachtmeters

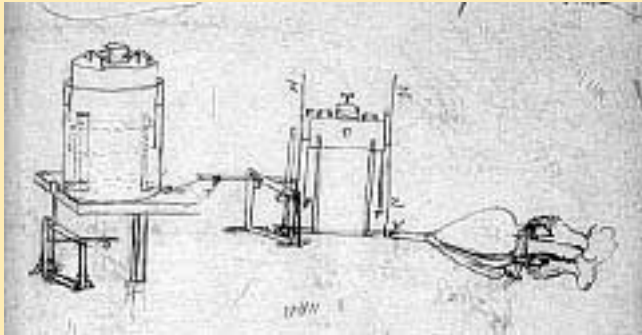
Op de woensdagen vergaderde de Académie des Sciences in de Koninklijke Bibliotheek in Parijs. Men besprak wetenschappelijke vragen aan de hand van een inleiding van een van de leden. En soms werd er ter plekke experimenteel onderzoek gedaan.

Tijdens de vergadering van 10 april 1669 legde Huygens een ontwerp van een windkrachtmeter voor aan zijn collega's. De geleerde heren gingen zonder meer akkoord en gaven de assistent Couplet opdracht het toestel te construeren. Diezelfde Couplet was het ook, die de proeven moest doen tijdens de bijeenkomsten van de Académie des Sciences op 15 en 22 mei. Huygens zelf beperkte zich tot het geven van commentaar op de resultaten. Hij concludeerde dat de uitgeoefende kracht evenredig was met het kwadraat van de windsnelheid. Een verrassend resultaat, want Huygens had verwacht dat de kracht en de snelheid van de wind een vaste verhouding zouden hebben.

Op 24 juli stond het onderzoek naar de kracht van wind nogmaals op de agenda. ditmaal om de praktische toepassingen te bespreken. Huygens wees erop hoe belangrijk het was de krachten op bijvoorbeeld een windmolen te kennen. Immers. dan kon men uitrekenen hoe groot de wieken zouden moeten zijn om een bepaalde kracht te leveren. Huygens maakte die berekening ook inderdaad. nadat hij eerst het probleem verregaand had vereenvoudigd. Zover zelfs, dat hij onmogelijk gedacht kon hebben dat die berekening in de praktijk ook bruikbaar was.

De slordige manier waarop Huygens de verkregen kennis wilde toepassen, stond in schril contrast met het zorgvuldige ontwerp van het meetapparaat. In alle eenvoud was het een juweeltje. De eigenlijke windkrachtmeter (linksonder op de afbeeldingen) bestond uit een draaibaar houten kruis. Aan de verticale lat was een windschermpje bevestigd. De kracht die de wind uitoefende op het

*Toestel voor het meten van de kracht van wind
(uit: Machines et Inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences depuis son établissement jusqu'a présent, Parijs, 1735)*

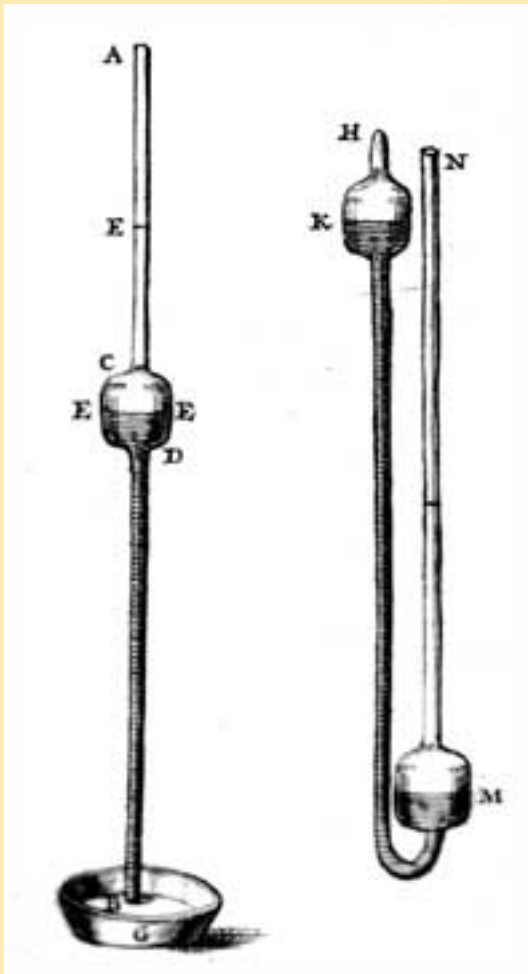


schermpje, werd gemeten door een gewicht je Q aan de horizontale arm te hangen. De grote cilinder was een gashouder die moest zorgen voor een gelijkmatige luchtstroom tegen het schermpje. Deze bestond uit twee ijzeren bussen. De kleinste was omgekeerd in de grotere geplaatst, terwijl een laag water zorgde voor de afdichting. Met de blaasbalg werd lucht in de gashouder geblazen. De binnenste bus ging daardoor drijven, maar door zijn gewicht perste hij de lucht ook weer naar buiten (door een buisje, tegen het windscherm). De snelheid van de luchtstroom kon gevarieerd worden door gewichten op de gashouder te plaatsen. En vervolgens werden dan natuurlijk de bijbehorende krachten gemeten.

Hoewel de windkrachtmeter van Huygens gepubliceerd is in de *Machines en uitvindingen* goedgekeurd door de Académie des Sciences, is het instrument door niemand in productie genomen. Daar was het toch te specialistisch voor. Wel zijn sommige slimmigheidjes vaker toegepast. Zo is de gashouder tot ver in de twintig-

ste eeuw toegepast, bijvoorbeeld als opslagvat bij gasfabrieken.

Barometers



De oerbarometer was een verticale buis, die aan de bovenkant gesloten was. Aan de onderkant stond hij in een bak met water, en ook de buis zelf was gedeeltelijk gevuld met water. De ruimte boven het water was in theorie luchtledig, maar in feite gevuld met een kleine hoeveelheid waterdamp. De buitenlucht drukte op het water in de bak en kon zo een waterkolom in de buis in evenwicht houden van bijna 10 meter hoogte. Dat was mooi, maar lastig in het gebruik. Vandaar dat men kwik ging gebruiken in plaats van water. Kwik is veel zwaarder en de kolom werd dus ook veel korter: ongeveer 75 cm. Maar kwik had ook een nadeel. Een kleine drukverandering gaf bij kwik ook maar een kleine verandering van het vloeistofniveau, en dat was moeilijk af te lezen.

In 1672, in Parijs, besloot Huygens de voordelen van water en kwik te combineren. Hij vulde zijn barometer met beide vloeistoffen, onderin het kwik en daar

bovenop het water. Bovendien gebruikte hij een speciale buis, die juist bij het grensvlak van water en kwik een breed stuk had. De werking was als volgt. Als het kwikniveau een klein stukje zakke, dan werd dat stukje gevuld met water. Dat water moest uit het bovenste smalle stuk komen. En door het verschil in diameter moest het waterniveau daar flink zakken om het brede gedeelte gevuld te houden.

Een kleine verandering van het kwikniveau gaf dus een grote verandering van het waterniveau. Het resultaat was dus een forse vergroting van de afleeschaal. Een geniaal idee was het, maar helaas niet nieuw. René Descartes had het al 22 jaar eerder bedacht.

Tegelijk met zijn eerste idee publiceerde Huygens nog een tweede model. Dat was welorigineel en bovendien veel beter. Weer was het een verbreding in de buis en het gebruik van twee vloeistoffen, die voor de vergroting in de schaalverdeling

Twee voorstellen van Huygens voor een verbeterde barometer. Dat het linkermodel al veel eerder bedacht was door René Descartes, wist Huygens kennelijk niet (uit: Journal des Sçavans, 12 december 1672)



moesten zorgen. Een belangrijk verschil was echter de plaats van het water. Dat zat niet meer in de buurt van het vacuüm zoals in het eerste model, en de lege ruimte werd dus ook niet gevuld met waterdamp. Zo werd verstoring van de werking van de barometer voorkomen. Wel kon het water door verdamping langzaam aan verdwijnen uit de open buis, maar een laagje olie op het water was een goede remedie.

Deze zogenaamde dubbele barometer stelde hoge eisen aan de instrumentmaker. Bij de enkelvoudige barometer was het nog zo dat elke glazen buis voldeed. Maar de verschillende stukken van Huygens' buis moesten een nauwkeurig constante diameter hebben. Voor de ervaren Parijse glasblazers was dat kennelijk geen probleem, en ook buiten Parijs won het instrument geleidelijk aan populariteit. In de Nederlanden werd het model van Huygens later vaak gecombineerd met een enkelvoudige barometer. Zo'n geheel heette dan een barometer met contraroleur, met diverse spellingen voor het laatste woord.

Waterpasmeters



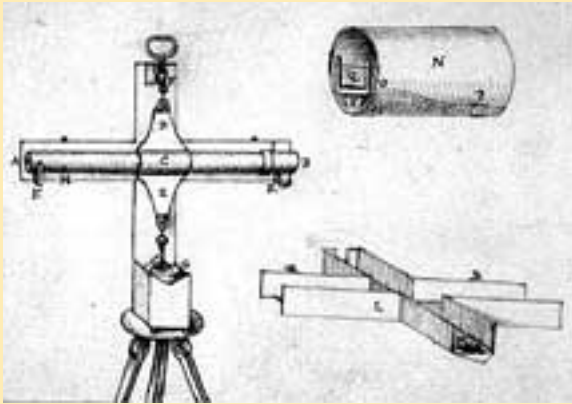
Het gebeurde in het jaar 1679, dat Lodewijk XIV zijn Académie des Sciences opdracht gaf zijn rijk in kaart te brengen. Hij vond kennelijk dat de geleerde heren maar eens iets nuttigs moesten doen. Niet dat de wetenschappers en masse het veld introkken, maar er gebeurde wel het een en ander. Net als verschillende van zijn collega's leverde Huygens een bijdrage door een nieuw waterpasinstrument te ontwerpen. Naar eigen zeggen was dit het beste, en nauwelijks nog te verbeteren. En daar had hij vermoedelijk nog gelijk in ook, want al snel werd zijn variant de meest gebruikte.

Huygens' waterpasinstrument was een horizontale verrekijker aan een metalen strip, die in het midden aan de kijker vastzat. Aan de onderkant van de kijker zat nog zo'n strip, en daaraan werd een gewicht gehangen. De zwaartekracht zorgde ervoor dat de kijker vanzelf horizontaal ging hangen. Om de slingeringen van de kijker te dempen hing het gewicht

in een bakje met olie. Een houten kist om het geheel moest de kijker beschermen tegen de wind, zodat het instrument werkelijk stilhing.

Wat op het eerste gezicht het meest opvalt aan Huygens' apparaat is het gebruik van een verrekijker en het feit dat het instrument zelf de horizontale stand opzoekt. Maar daarin onderscheidde het zich niet van concurrerende ontwerpen. Het grote voordeel zat in het gemak waarmee het instrument geijkt kon worden. Dat ging als volgt. Allereerst moest men het instrument zonder verzwarend gewicht gebruiken om een goed herkenbaar object te peilen. Daarna werd het gewicht eraan gehangen. Bleef de peiling onveranderd, dan zat het zwaartepunt netjes in het midden van het instrument. Zo niet, dan kon dit verholpen worden door een gewicht je op de kijkerbuis te verschuiven. Vervolgens moest gecontroleerd worden of de kijker werkelijk horizontaal hing. Daarvoor

Waterpasinstrument voor Lodewijk, tekening uit 1682 door Christiaan Huygens (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 1, fol. 52r)

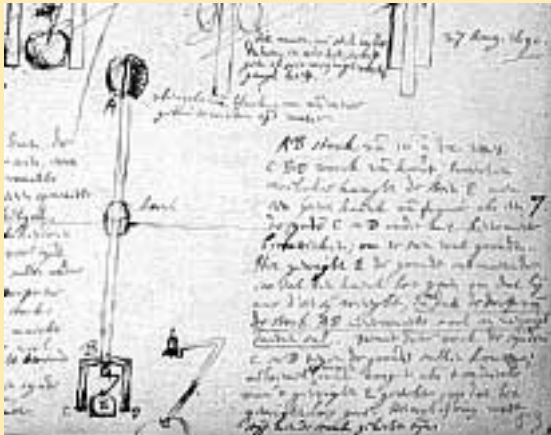


werd de kijker ondersteboven opgehangen (in de gravure: D en E van plaats verwisseld). Als de peiling weer onveranderd bleef, dan was het instrument geijkt. En anders moest de horizontdraad in de kijker met een schroefje bijgesteld worden.

Het ijken van zijn instrument kon de landmeter dus zonder hulp van buitenaf. Bij alle andere waterpasinstrumenten waren er altijd twee landmeters nodig, die elkaar peilden. Kenmerkend voor Huygens is de elegante manier waarop hij dit praktische probleem oploste. En al even typerend is het, dat Huygens het ontwerp voortdurend op onderdelen heeft verbeterd. Een voorbeeld daarvan is het ontwerp uit 1682. De afwijkende vorm van de kist was om de invloed van de wind verder terug te dringen. Bovendien was het een handige draagtas. Dit instrument was bedoeld voor broer Lodewijk, die dijkgraaf was in Gorkum. Of Lodewijk het instrument werkelijk gebruikt heeft, is de vraag, want hij nam zijn taak niet zo serieus. Een ontslag wegens fraude heeft hij slechts kunnen voorkomen door het af te kopen.

Het Hugeniaanse waterpas. De kijker met ophangstrips werd zo goed mogelijk symmetrisch uitgevoerd. Als desondanks het zwaartepunt buiten het midden zat, dan kon dit gecorrigeerd worden door het ringetje I te verschuiven. Binnen in de kijker, bij het brandvlak van het objectief, zat een kleiner buisje (rechtsboven afgebeeld) dat de horizontdraad droeg. Deze horizontdraad kon van buitenaf veresteld worden met een boutje (Universiteitsbibliotheek Leiden, codex Hug 28, fol. 159r)

Dieptemeters



Huygens is zijn hele leven bezig gebleven met het bedenken van nieuwe instrumenten. Het manuscript van zijn Inventie om de onpeilbare dieptens van de zee te meten en met een kennis te krijgen van de grondt, als sand, schelpen, &c. dateert van 2 augustus 1690. Een dieptemeter dus, en bovendien een wetenschappelijk instrument. Voor nautische doeleinden is het immers niet zo belangrijk om onpeilbare diepten te kennen, en ook de samenstelling van de bodem doet er dan weinig toe.

De 'inventie' van Huygens was een drijver, die verzwaard was met een steen. Dat geheel moest men dan laten zinken. Op de bodem aangekomen zou de steen achterblijven, en de drijver zou weer naar boven gaan. De totale tijd die het ding onder water bleef, was een maat voor de diepte. De drijver bestond uit een verticale stok van ruim drie meter lengte, met in het midden een kurk. Onder aan de stok zat een houten vork, waarvan de uiteinden (C en D) met smeer bestreken waren.

Wanneer deze de bodem zouden raken, zou er wat zand en eventuele schelpen blijven kleven en meegenomen worden naar boven. Binnen de vork werd de steen gehangen, die net onder de uiteinden uit moest komen. Het kwam er natuurlijk op aan iets te bedenken, waardoor de steen ook werkelijk losgelaten zou worden bij aankomst op de bodem. Huygens gebruikte daarvoor een ijzeren beugel in de vorm van een 7, die in een ring aan de stok haakte. Wanneer nu de steen de bodem zou raken, zou de drijver nog even doorschieten. De beugel kreeg dan de tijd om opzij te vallen, en zo de ring los te laten.

Huygens benadrukte, dat de dieptemeter niet te snel mocht dalen en stijgen. Als het niet te zeer gestroomlijnd was, zou het instrument vrijwel onmiddellijk een constante daal- en stijgsnelheid krijgen. En zo'n constante snelheid was nodig om op een eenvoudige manier de diepte af te leiden uit de tijd die het apparaat onder water was. De dieptemeter hoefde



alleen maar op een bekende diepte geijkt te worden, en de rest was een kwestie van simpele verhoudingen.

Dat het in de praktijk minder eenvoudig was, heeft Huygens zich kennelijk niet gerealiseerd. Het lijkt immers zo eenvoudig om de tijd te meten die zo'n dieptemeter onder water is. Maar als je niet weet of het ding vlak naast je boven komt, of juist een eind verderop, dan is de kans op een nauwkeurige meting niet zo groot. Als Huygens zich dit inderdaad niet tevoren gerealiseerd heeft, dan heeft hij het achteraf ook niet ondervonden. Want voor zover bekend is zijn dieptemeter nooit in de praktijk beproefd.



Literatuur

Algemeen

OEuvres Complètes de Christiaan Huygens
(22 delen, Martinus Nijhoff, Den Haag,
1888-1950).

Keesing, E.
Constantijn en Christiaan: Verhaal van
een vriendschap (Em. Querido's Uitgeverij,
Amsterdam, 1983).

Andriesse, C.D.
Titan kan niet slapen: Een biografie van
Christiaan Huygens (Uitgeverij Contact,
Amsterdam/Antwerpen, 1993).

Tijdmeters

Crommelin, C.A.
'Les horloges de Christiaan Huygens,
Journal Suisse d'Horlogerie, 72 (1947),
189-204.

Leopold, J.H.
Christiaan Huygens, the Royal Society and
horology, Antiquarian Horology, 21
(1993), 37-42.

Luchtpompen

Stroup, A.
'Christiaan Huygens and the development
of the air pump', Janus, 68 (1981), 129-
158.

Lenzenslijpen en kijkers

van Heel, A.C.S.
'De Memorien Aengaende het Slijpen van
Glazen tot Verrekyckers van Christiaan
Huygens', Hemel en Dampkring, 61
(1963), 189-193, 237-240, 263-266, 312-319;
62 (1964), 20-25 & 43-45.

Bedini, S.A.,
'Lens Making for Scientific
Instrumentation in the Seventeenth
Century', Applied Optics, 5 (1966), 687-
694.

Hashimoto Takehiko,
'Huygens, Dioptrics, and the Improvement
of the Telescope'. Historia Scientiarum, 37
(1989), 51-90.



Microscopen

Fournier, M.,
'Huygens' designs for a simple microscope', *Annals of Science*, 46 (1989), 575-596.

Koetsen

Wegener Sleeswyk, A.
Wielen, wagens, koetsen (Hedeby
Publishing, Leeuwarden, 1993), met name
pp. 127-147.

Daarnaast verschenen onlangs de volgende herdrukken van enkele oorspronkelijke werken van Christiaan Huygens:

Huygens, Chr.
Cosmotheoros: De Wereldbeschouwer
(Epsilon Uitgaven, Utrecht, 1989) - de oorspronkelijke Nederlandse uitgave verscheen in 1699.

Huygens, Chr.
Verhandeling over het licht (Epsilon
Uitgaven, Utrecht, 1990) - de oorspronkelijke Franse uitgave verscheen in 1690.



Help


De knoppen verklaren zichzelf wanneer je er met de cursor overheen komt.


Aanklikken van **Museum Boerhaave Algemene Natuurwetenschappen** opent automatisch je browser en surft naar de ANW-site van het Museum Boerhaave. Daar vind je alle informatie betreffende ANW (Algemene Natuurwetenschappen). Je vind er het laatste nieuws, eventuele nieuwe publicaties, maar ook de instructies voor het maken van een werkstuk.


Het kopiëren van tekst en afbeeldingen

1. Selecteren

Toets "v". **Shift-v** verandert de cursor in respectievelijk:  en 

 dient voor het selecteren van tekst over de volle breedte van de pagina, neemt automatisch twee kolommen tegelijk mee;

 electeert alles binnen de rechthoek die je ermee tekent als tekst; ideaal om een (gedeelte uit een) kolom tekst te selecteren.

 selecteert alles binnen de rechthoek die je ermee tekent als afbeelding. Je kunt er afbeeldingen, maar ook tekst die je als fotootje wil gebruiken, mee selecteren.


2. Kopiëren

Nadat je de selectie gemaakt hebt kopieer je deze met het menu Wijzig > Kopieer, of toets Ctrl-C, of rechtsklik met de muis en kies Kopieer.

3. Plakken

Ga vervolgens naar je tekstverwerker (bijvoorbeeld Microsoft Word) en plak daar het gekopieerde in je werkstuk door middel van het menu Wijzig > Kopieer, of Ctrl-V, of rechtsklik > plak.

Terug naar normaal

Om terug te schakelen van de selectie-modus naar de normale lees-modus: toets "h" (van hand) en de cursor verandert weer in 

Tips

Gebruik Ctrl-pijltje naar links om terug te gaan naar eerder geraadpleegde pagina's en F5 om een extra venster te openen met klikbare gedetailleerde inhoudsopgave. Ctrl-1 om de weergave op 100% te stellen (dat is de beste weergavekwaliteit voor de afbeeldingen).

