Simon Stevin en zijn watermolens

Laura Schiphorst

20/01/2017

Inhoudsopgave

1 Voorwoord

Simon Stevin was een wiskundige, levend in de zestiende en zeventiende eeuw. Hij heeft zich met vele wiskundige onderwerpen bezig gehouden. Tegenwoordig is de wiskunde niet meer hetzelfde als het in zijn tijd was. Waar we tegenwoordig onderscheid maken in onder andere astronomie, natuurkunde, wiskunde en economie, werd dit alles in die tijd gezien als wiskunde, al vond er wel langzaam een ontwikkeling plaats naar dit onderscheid. Je kon de wiskunde dus in vele gebieden uitoefenen. Simon Stevin koos ervoor om alles wat zijn aandacht trok te berekenen en te onderzoeken. Dit heeft ertoe geleid dat hij op vele gebieden actief is geweest. We gaan een poging doen een groot gedeelte hiervan in kaart te brengen.

Er is al door vele schrijvers over het leven van Simon Stevin geschreven, zoals bijvoorbeeld door E.J. Dijksterhuis in *Simon Stevin*, door Jozef T. Devreese en Guido Vanden Berghe in *'Wonder en is gheen wonder', De geniale wereld van Simon Stevin 1548-1620*, door Antoon de Saedeleer in *Simon Stevin van Brugge, zijn leven, zijn werk en zijn beteekenis voor onze tijd* en door M. De Reu, G. Vanden Berghe en G. Van Hooydonk in *Simon Stevin 1548-1620*. In deze boeken, en met name in het boek van E.J. Dijksterhuis, staat een uitgebreidere omschrijving van zijn leven, dan we hier zullen weergeven. Echter zijn zij in mindere mate verdiepend ingegaan op de inhoud van de wiskunde, en dat zullen we hier wel zien.

Het doel van mijn scriptie is dan ook de omvangrijkheid van de werken van Simon Stevin weer te geven. Hij is op een dusdanige hoeveelheid gebieden bezig geweest, omdat hij hier interesse voor had, dat ik hier bewondering voor heb. Zo is de wiskunde in mijn ogen bedoeld. Wanneer je iets ziet dat in jouw ogen uitzonderlijk is en je benieuwd bent hoe dit verschijnsel in elkaar zit, dan kun je het heel vaak reduceren tot een wiskundig model. Aan dit model kunnen berekeningen worden gedaan. Het voordeel hieraan, is dat je in vele gevallen een beter beeld krijgt van de situatie en vaak kan ook voor verbeteringen kan zorgen. Ook kun je dit model gebruiken om anderen inzicht te geven. In mijn ogen deed Stevin dit beide en vandaar dat ik in zijn werk wilde duiken. Naast dit overzicht van zijn werken, wil ik graag dieper inzoomen op de wiskunde achter zijn watermolens. Hij laat hier namelijk een heel mooi staaltje wiskunde zien. Hij kijkt naar deze molen als een ingenieur en vertaalt dit naar een krachtbron. De wieken moeten namelijk genoeg kracht produceren om het water te verplaatsen. De kracht die de molen levert, kan vergroot worden door de wieken te vergroten. Maar Stevin had heel goed door dat de molen nog meer kracht kan zetten, als de tandwielconstructie in het molenontwerp wordt aangepast. Dit wordt in paragraaf 5.3 uitgebreid behandeld.

In mijn scriptie zal ik allereerst een tijdlijn tonen met de meeste van zijn werken. Hierin wordt de globale lijn van [1, p. 1-24] gevolgd. Hierna zal ik een korte samenvatting geven van het leven dat Stevin leidde, gevolgd door een beknopte samenvatting van zijn vele werken. Hierin zal duidelijk naar voren komen hoe belangrijk en omvangrijk zijn werk is geweest. Ook hier volg ik in grote lijnen [1, p. 65-320]. Dijksterhuis geeft een uitgebreid overzicht van de werken van Stevin. Mijn doel is om zo volledig mogelijk te zijn, maar toch een beknopt overzicht te creëren. Hiertoe zal ik, naast het zojuist genoemde werk, andere bronnen raadplegen. Tenslotte zullen we ons verdiepen in Stevins bijdrage in watermolens en hier ook de wiskundige kant van bekijken. We zullen zien hoe hij te werk ging en zijn berekeningen samenvatten in algemene vergelijkingen. Voor deze berekeningen heb ik de bronnen [10] en [6] geraadpleegd, waarin de originele berekeningen van Simon Stevin zijn gepubliceerd.

In paragraaf 7 zijn de bronnen voor de figuren terug te vinden. Wanneer er aanpassingen in deze figuren zijn aangebracht, zal dat daar worden aangegeven worden.

2 Tijdlijn van de werken van Simon Stevin

Publicatiejaar	Titel	Inhoud
1581	Nieuwe inventie van Rekeninghe van Compaignie gheinuenteert ende nu eerst int licht ghegheven	Boekhouden en werken met geld
1582	Tafelen van Interest	Interesttabellen en boekhouden
1583	Problemata Geometrica	Vijf boeken over meetkundige problemen
1585	L'Arithmetique	Algemene oplossing voor het oplossen van algebraische vergelijkingen
1585	La Pratique d'Arithmetique	Praktijk voorbeelden voor algebraische vergelijkingen
1585	Dialectike ofte bewysconst	Inleiding in de logica
1585	De Thiende	Introductie van decimale getallen
1586	De Beghinselen der Weeghconst	Theorie over mechanica en statica
1586	De Weeghdaet	Praktijk over mechanica en statica
1586	De Beghinselen des Waterwichts	Theorie van de hydrostatica
1590	Vita Politica, Het Burgherlick Leven	Voorschrift hoe burgers zouden moeten leven
1594	Appendice Algebraique	Numerieke benaderingsmethode voor een wortel van een algebraische vergelijking
1594	Stercktenbouwing	Theorie over de aanleg van versterkingen
1599	Havenvinding	Plaatsbepaling op zee
1605 en 1608	Wisconstighe Ghedachtenissen (vijf delen)	
	1. Het Weereltschrift (drie delen)	Goniometrie, trigonometrie, geografie, zeevaartkunde en astronomie
	2. De Meetdaet (zes boeken)	Geometrie
	3. De Deursichtighe (twee boeken)	Leerboek over perspectief en theorie over gebogen en vlakke spiegels
	4. De Weeghconst (zeven boeken)	Inhoud van *De Beghinselen der Weeghconst* met aanvulling over o.a. katrolwicht
	5. De Ghemengde Stoffen (twee delen)	Aanvulling op *L'Arithmetique* en over boekhouding

1605 en 1608	Memoires Mathematiques en Hypomnemata Mathematica	Franse en Italiaanse vertaling van Whisconstighe Ghedachtenissen
1617	'Castrametatio'	Legermeting, inrichting van het legerkamp
	'nieuwe maniere van sterctebou, door spilsluysen'	Water aanwenden voor verdediging van versterkte plaatsen
1634	Oeuvres Mathematiques	Herdruk van l'Arithmetique, vertaling van Driehouckhandel, Eertclootschrift, Hemelloop, Meetdaet, Weeghconst en Deursichtighe naar het Frans
1649	Materiae Politicae Burgherlicke Stoffen	Modelstad en inrichting van een modelhuis, het burgherlick leven, organisatie van verschillende raden die voor de burgerlijke en militaire administratie van een staat nodig zijn, benoeming en leiding van burgerlijke en militaire ambtenaren, krijgskunst

1884	Van de Spiegeling der Singconst et vande Molens	Berekeningen in de muziek en aan watermolens
	Fragmenten in werken van anderen (zie pag. 61)	

3 Het leven van Simon Stevin in vogelvlucht

Voor dit overzicht heb ik globaal de bron [1, p. 1-24] aangehouden en dit aangevul met behulp van bron [2, p. 54-55].

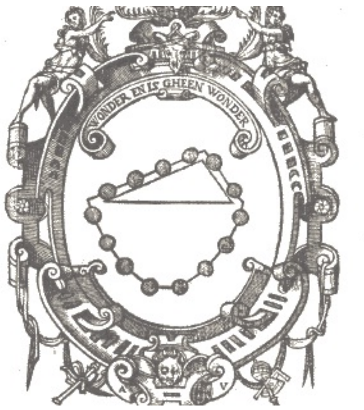
Figuur 1: Simon Stevin

Simon Stevin is geboren te Brugge in het jaar 1548. Aangezien in die tijd niet alle geboortes even goed zijn bijgehouden, is het moeilijk om te achterhalen wat de precieze geboortedatum is geweest. Dit zien we terugkomen in meerdere bronnen, zoals [1, p. 1] en [2, p. 35].

Over zijn jaren in zijn geboortestad zijn weinig feiten bekend. In het jaar 1571 verliet Stevin Brugge en in het jaar 1581 is hij in Leiden gaan wonen. Er bestaat veel onzekerheid over wat hij in de tussentijd heeft gedaan. Reizen door de Europese landen is een aannemelijke gedachte, zo stellen [1] en [2, p. 40-41], maar dit valt niet met zekerheid te zeggen. Vandaar dat we hier niet verder over uitwijden. Vanaf het moment dat hij geregistreerd staat als inwoner van Leiden valt er met meer zekerheid over zijn leven te praten, aangezien er vanaf toen meer is vastgelegd. Vanaf het jaar 1581 heeft Stevin meerdere boeken gepubliceerd over uiteenlopende onderwerpen, die we verderop uitgebreider zullen beschrijven. Simon Stevin is getrouwd met Catharina Cray. Samen met haar heeft Stevin op 63-jarige leeftijd, in het jaar 1613, zijn eerste kind gekregen, van in totaal vier kinderen. Frederik was Simons eerste zoon en Hendrik zijn tweede, welke is geboren in het jaar 1613 of 1614. Hierna werd Susanna geboren op 29 april 1615 en van de laatste van de vier, Levina, is de geboortedatum onbekend. Kort na de geboorte van zijn vier kinderen is Stevin op 72-jarige leeftijd overleden, in het jaar 1620.

In 1584 heeft Simon Stevin om de tafel gezeten met het gemeentebestuur van Delft. Dit heeft tot mooie resultaten geleid met betrekking tot waterlozing en uitbaggering. Hiertoe is de watermolen ontwikkeld/verbeterd, welke werd ingezet om water te verplaatsen. [1, p. 9] Hierover zullen we in paragraaf 5 meer lezen.

Aangezien we in het volgende hoofdstuk een beknopte samenvatting zullen geven van de werken van Stevin, zullen we het hier houden op de wiskunde waarin Stevin actief was. Naast de zuivere wiskunde, zoals zijn bijdrage aan ons decimale stelsel, rekenkunde, vergelijkingen oplossen en meetkunde, zien we dat hij de wiskunde ook toepast in andere gebieden.



Figuur 2: Stevin's clootcrans

In de mechanica heeft hij werk geleverd met onder andere de hefboomswet, het evenwicht van krachten en uiteraard mag zijn beroemde *clootcrans* niet ontbreken, tegenwoordig beter bekend als kralensnoer. We zullen de *clootcrans* in paragraaf 4.3 bespreken. In de hydrostatica heeft hij bijgedragen in de Wet van Archimedes en in de astronomie was hij een vroege voorstander van het nog niet wereldwijd geaccepteerde heliocentrische wereldbeeld. Maar nu zijn we er nog niet, in de zeevaartkunde heeft hij berekeningen gedaan door de bepaling op zee en het zogenaamde grootcirkelvaren, evenals de havenvinding. En in de techniek heeft hij aan diverse uitvindingen verbeterd, zoals de watermolen, de zeilwagen en watersluizen. Met betrekking tot de krijgswetenschap heeft hij zich verdiept in de versterkingskunt, de legermeting en de tactiek van oorlogvoering. In de boekhouding heeft hij diverse interesttabellen uitgebracht en strategieën met betrekking tot het boekhouden gedaan. Hij heeft zich in de bouwkunde bezig gehouden met de stedenbouw en de woonhuisbouw en in de muziek met bepalingen en intervallen. In de logica gaf hij theorie over bewijsredenen en uiteraard mag zijn gebruik van de Nederlandse taal niet onderbreken. Dit laatste deed hij uitdrukkelijk, aangezien hij de Nederlandse taal zeer geschikt vond voor de wiskunde. De meeste van zijn werken zijn daarom ook in deze taal geschreven. Hij zag in de Nederlandse taal een heel sterke taal, welke goed gebruikt kon worden voor de wiskunde. Hij gaf dan ook vele namen aan wiskundige termen, zodat deze goed gebruikt konden worden.

Na zijn dood is er in 1634 een verzameling werken *Ouvres Mathematiques* uitgebracht, waar ook een aantal werken van Simon Stevin werden gepubliceerd. Dit is gebeurd in opdracht van de weduwe van de Franse wiskundige Albert Girard. Ook heeft Simon's tweede zoon, Hendrik, een aantal van zijn werken gepubliceerd. In zowel *Materiae politicae* als in *Wisconstich Filosofisch Bedryf* zijn werken verschenen van Simon Stevin.

Stevin heeft nauw contact gehad met een aantal invloedrijke personen. Zo was een van zijn vrienden Johan Cornets de Groot, ook wel bekend als een van de burgemeesters van Delft. Via hem heeft Stevin onderhandelingen gestart voor het testen van zijn uitvindingen met betrekking tot drainage en de watermolen [2, p. 54]. Ook heeft Van der Meijde, welke elf keer burgemeester is geweest van Rotterdam, contact gezocht met Stevin, over de mogelijkheid tot het verdiepen van een haven in Dantzig [2, p. 54-55]. Uiteraard mag ook Stevins contact met Prins Maurits niet ontbreken in deze samenvatting. Kort nadat Stevin ingeschreven is aan de Universiteit in Leiden, ging Prins Maurits er studeren en kwamen ze in contact met elkaar [2, p. 55]. Rond 1593 is Stevin in dienst getreden van Prins Maurits en is hij onder andere in 1603 officieel benoemd tot 'Quartiermeester'. Er bestaat onenigheid over de mogelijkheid dat Stevin Prins Maurits heeft onderwezen. Zo stelt [1] dat dit niet met zekerheid vast te stellen is, terwijl [2] stelt dat Stevin Prins Maurits heeft onderwezen en dat hierdoor *Wisconstighe Gedachtenissen* is geschreven en gepubliceerd. Zelf denk ik dat Stevin wel degelijk Prins Maurits heeft onderwezen. Zij studeerden namelijk tegelijk aan de Universiteit te Leiden en zijn hierdoor met elkaar in contact gekomen. Ook zien we in vele werken de verbintenis van Stevin aan Prins Maurits terugkomen, waarin wordt gesteld dat Prins Maurits vaak te rade ging bij Stevin over wiskundige zaken en advies.

Uit het bovenstaande overzicht, kan ik concluderen dat Stevin een invloedrijk persoon is geweest. Door middel van de theorie probeerde hij het dagelijks leven te verbeteren. Door zijn vele berekeningen en toepassingen is dit ook gelukt. Zijn methoden en inzichten waren voor die tijd vooruitstrevend en dit typeert zijn houding tegenover onder andere de (Nederlandse) taal.

4 De werken van Simon Stevin

Zoals te zien is in de tijdlijn in paragraaf 2, heeft Simon Stevin niet stil gezeten wat betreft de wiskunde. Ik ga een poging wagen om zo volledig mogelijk te zijn in dit beknopte overzicht, hierin volg ik de bron [1, p. 65-320], met aanvullingen van andere bronnen die in de tekst vermeld zullen worden. Uiteraard is er altijd de mogelijkheid dat er werken van Simon Stevin niet zijn gepubliceerd, zoals zijn berekeningen aan de watermolens in eerste instantie, of dat deze verloren zijn gegaan en deze hierdoor niet in dit overzicht terecht komen. Stevin verbindt de theorie aan de praktijk en we zien dat ook terug in zijn vele werken. Zijn theorie verwerkt hij in de boeken, met in de titel *-const*, en de praktische stukken hebben vaak *-daet* in de titel.

4.1 Mathematica pura, mathematica mixta en mathematica applicata

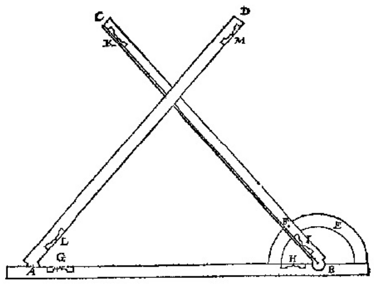
We kunnen vanaf de Griekse Oudheid en de Middeleeuwen al onderscheid maken in de verschillende varianten van de wiskunde, maar hier was nog geen algemene naam aan gekoppeld. Vanaf 1630 zien we hier een algemeen begrip voor ontstaan. Zo was er enerzijds *mathematica pura*, oftewel de pure wiskunde, en anderszijds *mathematica mixta*, oftewel de gemengde wiskunde. Onder de pure wiskunde viel, tot aan de 19^e eeuw meetkunde en rekenkunde. Onder de gemengde wiskunde viel, in de 16^e eeuw, astronomie en muziek, evenals mechanica, optica, geodesie en logica. In de 17^e eeuw breidde dit uit naar zo'n 20 verschillende onderwerpen. Rond de tijd van Simon Stevin eeuw werd het een gebruik om de wiskunde te verdelen onder pure en gemengde wiskunde en sprak men ook wel van theorie en praktijk. [4, p. 33]

Halverwege de 18^e eeuw was er een overgang van gemengde naar toegepaste wiskunde zichtbaar. Zo werden astronomie, optica en de versterkingskunst niet zozeer meer gezien als wiskunde, maar meer als een toegepaste variant van de wiskunde in andere wetenschappen. En de naamgeving *mathematica pura* veranderde naar *abstracte wiskunde*. Overigens veranderde de naam, maar de inhoud van deze termen bleef gelijk. [4, p. 37]

4.2 Wiskunde

4.2.1 Problematica Geometrica en De Meetdaet

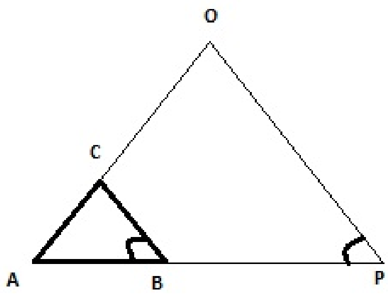
Simon heeft twee werken besteed aan de meetkunde, namelijk *Problemata Geometrica* en *De Meetdaet*, waarbij de eerste meer over de pure wiskunde, oftewel de theorie, gaat en de tweede meer over de toepassing.



Figuur 3: De drieroe

Voor de uitvoering van de praktische meetkunde, maakte Simon gebruik van een aantal hulpmiddelen, zoals onder andere een lineaal, een winkelhaak, een passer en een maatlat. Naast deze instrumenten maakte hij ook gebruik van instrumenten om berekeningen op het land te maken, zoals een drieroe, waarmee grote objecten die met de hand niet te meten zijn, opgemeten kunnen worden, door een aantal (simpele) goniometrische berekeningen. Als we willen weten wat de afstand OP in figuur 4 is, fixeer je de drieroe zo, dat hoek B even groot is als hoek P en AB een rond getal is, zoals 1000. Nu zijn de afmetingen AB, BC en AC af te lezen in de drieroe. Aangezien driehoek ABC gelijkvormig is aan driehoek APO, kan door middel van de regel van drieën de lengte PO worden berekend. De regel van drieën is een manier om de onbekende te berekenen van een verhouding, wanneer drie van de vier gegevens bekend zijn. Tegenwoordig doen we dit door middel van kruiselings vermenigvuldigen.

De problemen die Stevin aankaartte in zijn boeken over de meetkunde hadden onder meer betrekking op *de verdeeling van een gegeven veelhoek in een gegeven verhouding door een rechte lijn* [1, p. 97]. Hiernaast wordt er aandacht besteed aan het construeren van lichamen die aan bepaalde vorm- en inhoudseisen moeten voldoen. Hierin hanteert Stevin zijn eigen richtlijn, namelijk dat in *Problemata Geometrica* de theorie wordt behandeld, waarbij een aantal voorbeelden wordt gegeven, en dat de praktijk grotendeels wordt verwerkt in *De Meetdaet.*

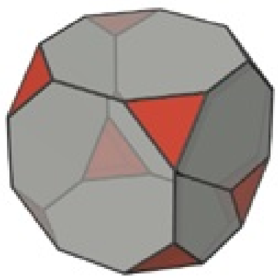


Figuur 4: Meting van OP m.b.v. een drieroe

Ook heeft Stevin convexe halfregelmatige veelvlakken onderzocht, hiermee bedoelen we, om in de woorden van Dijksterhuis te blijven,

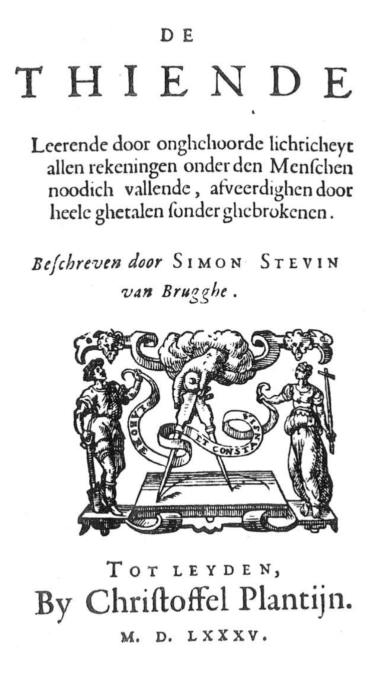
> convexe veelvlakken, waarvan de zijvlakken regelmatige, maar niet alle onderling congruente veelhoeken zijn, terwijl de veelvlakshoeken aan de hoekpunten onderling congruent zijn, maar niet regelmatig. [1, p. 99]

Aan deze merkwaardige verschijning heeft Stevin niet als enige wiskundige gewerkt. De wiskundigen Archimedes en Albrecht Dürer waren hier ook bekend mee, en Dürer heeft Stevin geïnspireerd hier over te schrijven, aangezien Stevin dit in zijn werk terugvond. Met convexe veelvlakken bedoelen we bijvoorbeeld een afgeknotte kubus, welke wordt begrensd door acht regelmatige driehoeken en zes regelmatige achthoeken. Dit veertienvlak heeft daarbij vierentwintig hoekpunten, waarbij in elk hoekpunt de hoekpunten van een driehoek en twee achthoeken samenkomen, zoals ook te zien in figuur 5. Naast de zojuist genoemde hexaëder, zijn er nog 14 andere figuren. Tien van deze figuren kende Stevin en de meeste zijn verkregen door bestaande figuren af te knotten.



Figuur 5: Afgeknotte kubus

4.2.2 De Thiende



DE

THIENDE

Leerende door onghehoorde lichticheyt allen rekeningen onder den Menſchen noodich vallende, afveerdighen door heele ghetalen ſonder ghebrokenen.

Beſchreven door SIMON STEVIN *van Brugghe.*

TOT LEYDEN,

By Chriſtoffel Plantijn.

M. D. LXXXV.

Figuur 6: De Thiende

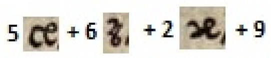
In *De Thiende* geeft Stevin een belangrijke bijdrage wat betreft decimale breuken. Waar voorheen gebruik werd gemaakt van de breuknotatie om niet-gehele getallen weer te geven, heeft Stevin de eerste hand gelegd aan de gebroken getallen zoals we deze vandaag de dag kennen. Hij geeft door middel van cijfers in cirkels aan, welke positie het cijfer in het decimale getal weergeeft. Neem als voorbeeld het getal 0,3766. Dit getal werd vóór de tijd van Stevin geschreven, in het sexagesimale Babylonische stelsel, als $\frac{22}{60} + \frac{35}{60^2} + \frac{45}{60^3} + \frac{36}{60^4}$ of, het het tientallig talstelsel, als $\frac{3}{10} + \frac{7}{100} + \frac{6}{1000} + \frac{6}{10000}$. Stevin noteert dit echter als $0\,0\,3\,1\,7\,2\,6\,3\,6\,4$. We zien hier al een hele grote stap richting de huidige notatie. Uiteraard heeft zijn modernere schrijfwijze vele praktische toepassingen, welke Stevin in zijn werken graag in voorbeelden weergeeft. Hierin zien we zijn kracht terug komen, om de 'const' te verbinden met de 'daet', oftewel het verbinden van de theorie aan de praktijk.

4.2.3 L'Arithmetique

L'Arithmetique is een werk dat in het Frans is geschreven en gepubliceerd, dit is vóór Stevins opvattingen dat Nederlands de meest geschikte taal is om in te werken. Het zou kunnen zijn dat dit werk aanleiding heeft gegeven om de wiskunde in het vervolg in het Nederlands te schrijven en publiceren, al heb ik hier geen bronnen over kunnen vinden.

In *L'Arithmetique* werkt Stevin onder andere aan interestrekening, zo geeft hij onder meer rentetafels weer. Naast deze werken over reken- en stelkunde, heeft Stevin gewerkt aan de kijk op getallen die op het eerste gezicht problematisch lijken en moeilijk te begrijpen waren. In de huidige tijd zijn zowel $\sqrt{16} = 4$ als $\sqrt{8} = 2\sqrt{2}$ algemeen geaccepteerd, al is een voorstelling maken van deze laatste ietwat lastiger. In de tijd van Stevin berustte de opvatting van het getalbegrip grotendeels nog op die van de Grieken, oftewel die van de natuurlijke getallen boven de 1. Alle aanvullingen hierop werden opgevat als absurd en irrationaal. Stevin is het hier niet mee eens, en probeert aan zijn tijdgenoten inzichtelijk te maken dat $\sqrt{2}$ wel degelijk een getal is. Ook heeft Stevin een bijdrage geleverd door zijn z.g. geometrische reeks, oftewel een reeks getallen die uit de opvolgende machten en wortels van een zeker grondtal bestaan. Hierin worden machten weergegeven door een rondje om 2 en 3 en wortels door rondjes om $\frac{1}{2}$ en $\frac{1}{3}$. Hierin kan 1 als lijnstuk worden opgevat, 2 als vierkant en 3 als kubus.

4.2.4 De Thiende



Figuur 7: $5cubus + 6zensus + 2cosa + 9$

In *l'Operation* introduceert Simon een nieuwe schrijfwijze van de polynomen, waarin hij verder gaat op het werk van de Italiaanse wiskundige Bombelli. Waar er voorheen tekens gebruikt werden, met benamingen als *cosa, zensus* voor de eerste en tweede macht, en *surdesolidus* en *zensicubus* voor hogere machten, maakt Stevin gebruik van rondjes om 1, 2, 3 enzovoorts om de machten te representeren. Descartes heeft dit ontwikkeld naar ons huidige gebruik van de polynomen. Zo werd een polynoom in de tijd vóór Stevin geschreven zoals in figuur 7. Stevin gaf dit weer als $5(3) + 6(2) + 2(1) + 9$ en tegenwoordig schrijven we het op de manier van Descartes als $5x^3 + 6x^2 + 2x + 9$.

Hiernaast heeft hij werk gedaan in vergelijkingen, en onder andere in de vierkantsvergelijking en derdegraadsvergelijkingen. Hij gaf hierbij een soort stappenplan om deze vergelijkingen op te lossen, zoals we in de volgende alinea zullen zien. Deze tweede- en derdegraadsvergelijkingen kon Simon meetkundig onderbouwen. Het probleem ontstond bij vierde- en hogereregraadsvergelijkingen, aangezien deze vergelijkingen niet met voorbeelden verduidelijkt kon worden die tot de verbeelding spraken en we zien dat bij deze voorbeelden er alleen algebraische handelingen verricht konden worden. Hierbij waren de stappen die eerder genomen werden, bij de tweede- en derdegraadsvergelijkingen, uiteraard een zeer handig hulpmiddel en je zou dit zelfs als onmisbaar kunnen zien in de omslag van meetkundige naar algebraische oplossingen.

Een van de methoden om een numerieke benadering te vinden voor vergelijkingen, was door middel van interpoleren. Stevin verduidelijkte dit aan de hand van het voorbeeld $③ = 300① + 33915024$, oftewel $x^3 = 300x + 33915024$. Om een benadering te vinden waarbij deze beide vergelijkingen gelijk zijn, maakt hij een schatting dat de oplossing tussen 100 en 1000 moet liggen. Hieropvolgend vult hij honderdtallen in, om een betere schatting te vinden, en vindt dat de waarde tussen 300 en 400 moet liggen. Als je op deze manier verder gaat vind je vanzelf de juiste oplossing.

Zoals in de inleiding naar voren kwam, werkte Stevin door eerst de theorie uit te brengen en deze aan te vullen met praktische voorbeelden. Hij vond dan ook dat,

> Als men de rekenkunst maar eerst beheerscht, zal alle toepassing slechts een herhaling lijken' [1, p. 89]

Zo heeft hij na zijn *l'Arithmetique* het werk *La pratique d'Arithmetique* uitgebracht, welke door de eerdergenoemde opvatting zeer compact was.

Daar waar Euclides al eerder over irrationele grootheden onderwees, ging Stevin een stapje verder en probeerde dit zo begrijpelijk mogelijk weer te geven en hierom vulde Stevin het werk van Euclides aan door de theorema's die het bevat, *arithmetisch te formuleren* [1, p. 92]. En uiteraard door het in het Nederlands te schrijven.

4.2.5 Wisconstige Gedachtenissen

Het wiskundige werk *Wisconstige Gedachtenissen* bestaat uit 5 delen, welke als leerboeken zouden kunnen worden gezien. In de tijd dat Stevin in dienst was van Prins Maurits zijn deze geschreven, en men vermoed dat Stevin Prins Maurits hiermee onderwees. De vijf delen waaruit dit werk bestaan zijn *'Vant Weereltschrift', 'Vande Meetdaet', 'Vande Deursichtighe', 'Vande Verschaeuwing'* en *'Vande Beghinselen der Spieghelschaeuwen'.*

Het werk *Vant Weereltschrift* bestaat op haar beurt uit drie onderdelen, namelijk *'Vanden Driehouckhandel', 'Vant Eertclootschrift'* en *'Vanden Hemelloop'.* In het deel *Driehouckhandel* behandelt Stevin vlakke en bolvormige driehoeksmeting. Er wordt in dit werk eerst begrippen ingevoerd, zoals cirkelboog, sinus en tangens, vervolgens worden *houckmaten* ingevoerd en aan de hand hiervan worden de vlakke driehoekmetingen behandeld. Bij de trigonometrische berekeningen wordt gebruik gemaakt van de sinusregel

> Ghelyck des platten driehoucx rechtersijde tot de slinckersijde, alsoo slincerhoucx houckmaet, tot rechterhoucx houckmaet. [1, p. 104]

Oftewel, de verhouding tussen twee zijden is hetzelfde als de verhouding tussen diens overstaande hoekpunten.

Het tweede deel, *Vande Meetdaet*, bestaat uit zes delen en gaat over de praktijk van de meetkunde.


WISCONSTIGE
GEDACHTENISSEN,
Inhoudende t'ghene daer hem
in gheoeffent heeft
DEN DOORLVCHTICHSTEN
Hoochgheboren Vorst ende Heere, MAVRITS Prince van
Oraengien, Grave van Nassau, Catzenellenbogen, Vianden, Moers &c.
Marckgraef vander Vere, ende Vlissinghen &c. Heere der Stadt Grave
ende S'landts van Cuyc, St. Vyt, Daesburch &c. Gouverneur van
Gelderlant, Hollant, Zeelant, Westvrieslant, Zutphen
Vtrecht, Overyssel &c. Opperste Veltheer vande
vereenichde Nederlanden, Admirael
generael vander Zee &c.
Beschreven deur SIMON STEVIN van Brugghe.
TOT LEYDEN,
Inde Druckerye van Ian Bouvvensz.
Int Iaer cIↄ Iↄ CVIII.

Figuur 8: Wisconstighe Gedachtenissen

Het derde deel, *'Vande Deursichtighe'*, bestaat uit de twee delen *'Vande Verschaeuwing'* en *'Vande Beghinselen der Spieghelschaeuwen'*. Hierbij gaat *'Vande Verschauwing'* over perspectief, waarbij ruimtelijke objecteen zoals een huis, een kerktoren of een persoon, worden afgebeeld op een plat vlak. Het boek gaf een richtlijn en handvatten om dit op een juiste manier weer te geven.

Het vierde deel, *'Vande Weeghconst'*, is gedeeltelijk een heruitgave van het in 1586 uitgebrachte boek *'De Beghinselen der Weeghconst'*, *'De Weeghdaet'* en *'De Beghinselen des Waterwichts'* en bestaat uit zes delen.

Het vijfde deel *'Vande Ghemengde Stoffen'* bestaat tenslotte uit twee delen, namelijk *'Vande Telconstighe Anteyckeningen'* en *'Vande Vorstelicke Bouckhouding'*. Dit deel behandelt voor een deel het boekhouden en voor een deel de kunst van het zingen.

4.3 Mechanica

Naast deze werken in de wiskunde, is Stevin, zoals al eerder gezegd, actief geweest in de meer toegepaste varianten van de wiskunde. We kunnen hier tegenwoordig onderscheid in maken in een aantal onderwerpen, zoals techniek en mechanica. We zullen voor nu eerst deze laatste bekijken. Zowel zijn werk *Weegconst*, als *Weeghdaet*, gaat over de *statica of leer van het evenwicht* [1, p. 111]. Grote Griekse geleerden hadden hier de grondslagen in gelegd, door een theorie voor de hefboom op te stellen en de leer van het zwaartepunt te ontwikkelen. Aristoteles verklaarde de hefboomswet eerst en vervolgens

Archimedes ook, maar dan met een andere visie en methode. Aristoteles deed dit door het aannemen van het bestaan van een evenwichtstoestand tijdens de verplaatsingen en verklaarde daarmee dat het evenwicht van een hefboom omgekeerd evenredig is aan de gewichten en armen. En Archimedes leidde de hefboomswet af, aan de hand van postulaten en onderstellingen omtrent het begrip zwaartepunt. Vooral de eerste methode werd gebruikt in de 16^e eeuw en leidde onder meer tot het oplossen van het probleem van het hellend vlad. De tweede methode werd voornamelijk toegepast in de theorie van het zwaartepunt. Stevins bijdrage was het erkennen van de methoden en deze zowel te bestuderen, als aan te vullen, zoals we nu zullen zien, waarbij hij onder meer de axioma's gebruikt in zijn werken.


DE
BEGHINSELEN
DER WEEGHCONST
BESCHREVEN DVER
SIMON STEVIN
van Brugghe.

TOT LEYDEN,
Inde Druckerye van Christoffel Plantijn,
By Françoys van Raphelinghen.
cIↃ. IↃ. LXXXVI.

Figuur 9: De Beghinselen der Weeghconst

Dit gebruik van axioma's zien we gelijk terug in zijn *Beghinselen der Weeghconst.* Hier worden zowel axioma's als aannames gehanteerd om uitspraken en berekeningen te kunnen doen. Ook worden omschrijvingen gegeven van bepaalde zaken, zoals een *swaerheijtsmiddelpunt*, wat inhoudt dat er een punt is waaraan een voorwerp hangt dat zorgt voor evenwicht, waardoor dit voorwerp horizontaal hangt, tegenwoordig bekend onder de naam zwaartepunt. In dit werk zien we ook de hefboomswet worden behandeld, waarbij er een evenwicht ontstaat tussen bepaalde gewichten die hangen. Dit gebruik van het zwaartepunt zien we ook terug komen in de berekeningen aan de molens in de paragrafen 5.3.2 tot 5.3.6.

iets waar is door aan te tonen dat het tegendeel niet waar is. De stelling van het Clootcrans-bewijs luidt: De bijbehorende figuur met de Clootcrans gebruikt Stevin vervolgens als zijn beeldmerk.

Uiteraard kunnen we de clootcrans niet in dit overzicht laten ontbreken, het teken dat vandaag de dag nog steeds aan hem gekoppeld wordt. Aangezien hangende voorwerpen stilhangen, tenzij ze worden aangedreven of bewogen, betekent dit dat ze in evenwicht zijn. Stevin wilde aantonen dat er ook een evenwicht ontstaat voor hangende voorwerpen op een hellend vlak. Hiervoor maakte hij gebruik van een driehoek, met daaromheen een zogenaamde 'clootcrans', tegenwoordig ook wel kralensnoer genoemd, wat kan worden gezien als een ketting met een aantal bollen op gelijke afstand eraan geregen. Aangezien dit kralensnoer stil hangt, zelfs wanneer je de onderkant hiervan losknipt, moet er wel een evenwicht zijn. Hierdoor is zijn conclusie, twee voorwerpen op een hellend vlak houden elkaar in evenwicht als hun gewichten zich verhouden als de lengte van de vlakken. Hij introduceert in zijn bewijs het woord *staltwicht*, welke kan worden gezien als de zwaarte naar ligging. Oftewel, een stuk hout heeft een andere 'zwaarte' op straat, dan deze heeft in water. Dit *staltwicht* wordt dus gezien als de gewichten van de bollen, die dus in evenwicht verkeren. Het bewijs hiervoor wordt gemaakt door een bewijs uit het ongerijmde.

Dit werk kan gebruikt worden om te berekenen hoeveel kracht er nodig is een om een voorwerp op een hellend vlak in evenwicht te houden, wanneer deze aan een koord met gewicht om een katrol vastzit. Zoals Dijksterhuis opmerkt is het bewijs hiervoor enigszins wankel, maar is deze desalniettemin intuïtief correct. Hierna werkt Simon aan het evenwicht van drie krachten, die op een hangend voorwerp hangen, waardoor ook weer een evenwicht ontstaat. In zijn volgende werk *Van de vinding der swaerheydtsmiddelpunten* behandelt hij zwaartepuntsbepalingen, waarbij hij gebruik maakt van de bevindingen van Archimedes en Commandino. Stevin maakt voor zijn bewijs geen gebruik van een bewijs uit het ongerijmde, maar maakt meer gebruik van een redenering aan de hand van aannames.

Zoals we bij de wiskundige kant al zagen dat de *daet* volgt op de *const*, zien we dat ook nu weer. Zijn volgende werk was namelijk *De Weeghdaet*, waarin de praktische toepassing wordt behandeld van zijn inzichten in de mechanica. Waar in zijn eerste werk een voorwerp op een hellend vlak staat, zo staat daar nu een wagen op een hellend vlak. Hij merkt hierbij op dat er meer kracht nodig is om de wagen te verplaatsen. Dit komt uiteraard (mede) door wrijving, echter vermeldt hij dit niet zelf.

Het tweede gedeelte van *De Weeghdaet* gaat over de werktuigen die gebruikt worden om het een en ander te kunnen wegen. Hiertoe behoort onder andere het voorwerp dat Simon *Almachtich* noemde, een werktuig dat enorm zware voorwerpen kon tillen en wegen.

4.4 Hydrostatica

De volgende toepassing die we zullen zien, is die in de hydrostatica, oftewel de leer in vloeistoffen. Ook hier heeft hij werk verricht dat volgt op het werk van Archimedes, van toen zo'n 18 eeuwen geleden. De boeken die hij hierover schreef waren *Waterwicht* en *Waterwichtdaet*, waarin hij onder meer nieuwe inzichten gaf in de krachten die een vloeistof uitoefent op zijn omringende wanden. Hij geeft in zijn *Bepalinghen* eerst betekenis aan een aantal nieuwe woorden die hij gebruikt in zijn werken. Hij maakt hier bijvoorbeeld onderscheid in eyghen ghewicht*; [het gewicht van] een lichaam in lucht* [1, p. 136] en staltwicht*; het gewicht van een lichaam in vloeistof* [1, p. 136]. Ook zien we de 'Wet van Archimedes' terugkomen, welke, in Stevin's woorden, als volgt luidt

> Yder stijflichaems swaerheyt is so veel lichter in t'water dan in de locht, als de swaerhey des waters met hem evegroot [1, p. 137]

Dit komt er dus op neer dat een gewicht in water lichter aan voelt dan in de lucht en wel zo veel als het gewicht aan water dat door zijn toevoeging wordt verplaatst. Ook behandelde Simon de kracht op de bodem wanneer hier vloeistof op rust evenals de kracht op de zijwanden. Een praktisch voorbeeld in de hydrostatica zien we bijvoorbeeld terug in de berekening van de *topswaerheyt*, waarbij wordt berekend hoe de verhoudingen van het evenwicht van bijvoorbeeld een schip is, wanneer iemand in de mast zou klimmen, en hoe ervoor gewaakt kan worden, dat deze hierdoor zou omslaan. Pascal werkt verder op zijn inzichten en waar Simon er niet in is geslaagd een algemene statische beschouwing te formuleren, kon Pascal dit, mede dankzij het werk van Simon, wel.

4.5 Astronomie

Een onderdeel van *Wisconstighe Ghedachtenissen* was, zoals in de tijdlijn terug te vinden is, *Van den Hemelloop*, waarin Stevin een soort onderwijsboek creëert in de astronomie. Ook hier zien we, evenals in zijn *Driehouckhandel*, geen nieuwe inzichten, maar meer een leerboek voor de 'gewone' burgers, welke hen inzicht geeft in de astronomie. Zo geeft hij handvatten voor de beweging van de hemellichamen. Hij legt bijvoorbeeld uit dat door de stand van de aarde er een langste dag, in juni, en een kortste dag, in december, is. Ook wordt aan de hand van zogenoemde 'ervaringsdagtafels' berekeningen gegeven voor het vinden van de data van de komende zons- en maansverduisteringen. Ook wordt, met behulp van trigonometrie, de beweging van dwaalders, oftewel van de zon, de maan en de eigenlijke planeten, in kaart gebracht.

In de tijd van Stevin was de opvatting van het heliocentrische wereldbeeld nog niet wereldwijd geaccepteerd, maar Simon schaart zich, in het beginstadium, bij de voorstanders. Dit wordt dan ook op wiskundige wijze onderbouwd, waarna ook een *heliocentrische theorie van het planetenstelsel* [1, p. 159] haar intrede doet.

Ook wordt de invloed van de maan op de zeeën belicht, aangezien de hoogte van eb en vloed mede afhangen van de maan. Hierover was nog niet veel bekend, en de praktijk week af van de theoriën die er wel waren. Door middel van de meetkunde probeerde Simon een beter beeld te schetsen van de getijden, welke uiteraard van pas zou kunnen komen in de zeevaart, waar we straks meer over zullen zien.

4.6 Geografie

Stevin heeft zich in geringe mate ook bezig gehouden met de geografie, en wel met de vormen die men in de landschappen aantreft, wat ook wel bekend staat als geomorfologie. In *Eertclootschrift* wordt deze kant van zijn werk behandeld. Door allerlei problemen, zoals het wegzakken van de grond, was er een oplossing nodig. Hiertoe bestudeerde Stevin de gedaanteveranderingen van het aardoppervlak, welke is ontstaan door de natuur en haar veranderingen, zoals bewegend water. In zijn werk wordt deze verandering in kaart gebracht, evenals eventuele oorzaken, zoals het schuren van water op de wanden van de rivier in haar bochten. De inzichten die Stevin opdoet, komen onder andere terug in zijn werken *Stercktenbouwing* en *Van de Waterschuring.*

Zoals blijkt uit deze korte alinea, was de bijdrage die Stevin leverde aan de geografie, van significant mindere waarde, dan zijn werken in de eerder behandelde onderwerpen.

4.7 Zeevaartkunde

Zoals al eerder gezegd, heeft Simon ook gewerkt aan de zeevaartkunde, en dit was uiteraard een van de handelsmerken van Nederland. Hij behandelde hierin koers- en verheidsrekening en daarnaast een methode om de plaats van bestemming te bereiken, zonder de lengtebepaling van het schip en de haven te weten. We zien ook nu dat Simon eerst termen introduceert die hij verwerkt in de berekeningen. Hij laat hiermee constant zien dat hij Nederlands als taal voor de wiskunde wil blijven houden, zodat iedereen onderwezen kan worden. De eerste verhandeling is het 'grootcirkelvaren', oftewel lange stukken zeilen, langs de grootcirkel. Daarnaast behandelt hij het 'loxodromische varen'. Een loxodroom is een lijn over het aardoppervlak, die met alle meridianen een gelijke hoek maakt, en waarbij niet van koers wordt gewisseld. Het grootcirkelvaren had een goede toepassing op lange afstanden en het loxodromische varen juist op korte afstanden. Ook deed hij aanpassingen aan het scheepskompas, door deze in 360 graden te verdelen, in plaats van de tot dan toe gebruikte 32 of 64 streken. Door nu de magneetnaald te laten draaien binnen een in 360 graden verdeelde verticale cirkelvormige rand kan er nauwkeuriger afgelezen worden welke koers wordt gevaren, ten opichte van het aan de roos bevestigen van een met magneet bestreken stuk ijzer. Het nadeel is dat de windstreek die nu wordt aangewezen vaak niet gelijknamig met de koers die wordt gevaren. Om dit op te lossen zet hij de letters A, B, C, D neer, in plaats van Z, O, N, W en de koersen daarop varen, waardoor $N23°O$ wordt weergegeven als $C23°B$.

Zoals al gezegd, deed Simon, naast voorgaande berekeningen, ook berekeningen aan het bereiken van de haven. Wanneer je de lengtegraden van de haven en het schip hebt, is dit eenvoudig. Maar ontbreekt deze, dan wordt het uiteraard een ander verhaal. Aan de hand van een aantal bepalingen en formules, is dit te berekenen. Helaas is deze berekening te uitgebreid om hier te bespreken, vandaar dat ik daarvoor naar het werk van E.J. Dijksterhuis verwijs.

4.8 Techniek

De werken die Simon heeft geleverd met betrekking tot de techniek, zijn voornamelijk te achterhalen aan de hand van de octrooien die hiervoor zijn vrijgegeven. Dit was nodig, ter toestemming om dingen te bouwen. Op 17 februari 1584 werd door de Staten van Holland octrooi verleend voor drie uitvindingen; voor schepen door ondiep water te brengen, schepen over dammen te halen en water omhoog te heffen [2, p. 103]. Dit laatste lijkt aardig overeen te komen met de watermolen, die we verderop uitgebreid gaan bespreken. Daarnaast verleenden de Staten-Generaal op 28 november 1589 octrooi aan Stevin, voor negen uitvindingen. Hieronder vielen onder andere watermolens zo plaatsen dat ze het water twee, drie of vier hoog kunnen toemalen, het inrichten van een watermolen, zodat deze het laagstaande buitenwater weer terug kan malen in de polder als deze droog ligt en water door mensenarbeid uit sloten of grachten pompen [2, p.105].

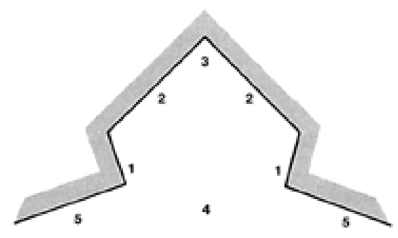
Waar Stevin onder andere bekend mee is geworden, is de zeilwagen, al was hij niet de eerste om deze te bouwen, de Chinezen waren hem voor. Dit vervoersmiddel werd aangedreven door de wind die in de zeilen vielen en zorgde ervoor dat men zich veel sneller kon verplaatsen, aangezien ze drie maal sneller gingen dan een schip [1, p. 208].

Ook heeft Stevin een bijdrage geleverd met zijn werk *Nieuwe Maniere van Sterctebou door Spilsluysen*, waarin hij onder andere vertelt over drie verschillende typen sluizen, namelijk spuisluizen, uitwateringssluizen en schutsluizen. De eerste kon het water van de zee of een getijrivier afsluiten, de tweede om water van laag gelegen terreinen te lozen en de derde maakt het mogelijk om schepen van het ene naar het andere waterpeil te brengen. Aangezien er al was geprobeerd om deze sluizen te combineren, maar dit te moeilijk bleek, wilde Stevin hier, in samenwerking met de stadsmeester van Rotterdam, Adriaen Jansz, en van Delft, Cornelis Dirxcsz Muys, kijken wat er mogelijk was. Het combineren van de sluizen zou ervoor kunnen zorgen dat water geloosd kon worden, terwijl een stad toegankelijk bleef voor de scheepvaart. Het werk van Adriaen Jansz aan een spilsluis bleek het beste. Waar deze voorheen werd bediend door een schuif omhoog te hijsen, waardoor het water van de zee werd afgesloten, werd er nu een *spildeur aangebracht in de puntdeuren van een schutsluis en [werd] als sluitwerk een ijzeren draaiboom gebruikt, die met een klink kon worden vastgezet* [1, p. 214]. De draaiboom kon, als deze los werd gezet, om een verticale as draaien. Deze deur kon in z'n geheel makkelijk open om schepen door te laten en had hierdoor dus een dubbele functie.

Hiernaast behandelde hij in zijn werk hoe aftakeling van de sluizen tegengegaan kon worden. Door het gebruik van heipalen in de fundering kan een damwand gevormd worden, als deze in de lengte door middel van zwaluwstaarten aan elkaar worden gemaakt. Ondanks dat het idee van de spilsluizen van Adriaen Jansz kwam, heeft Stevin de zwaluwstaartverbinding bedacht, hij als uitvinder van de damwand wordt beschouwd door de twee stadsmeesters. Stevins gedachten over waterschuring hadden in de waterbouwkundige werken van hem ook een plek, met name bij de verbetering van havens en vaarwegen. Hierbij werd telkens het water verzameld op een plek en door middel van een sluisdeur kon deze wegstromen. Dit kon ertoe dienen om schepen te vervoeren, maar ook om grond onder water, of juist droog, te leggen.

4.9 Krijgswetenschap

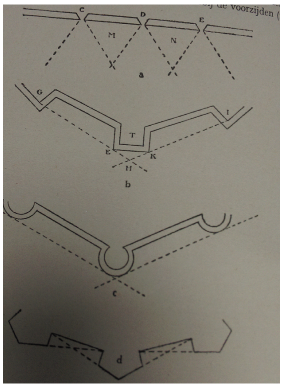
We kunnen de werken van Stevin met betrekking tot de krijgswetenschap onderverdelen in een aantal gebieden. Allereerst noemen we hier de versterkingskunst. In Stevin's werk *Sterctenbouwing* geeft hij een systematische uiteenzetting en theoretische onderbouwing van de versterkingskunst van steden. Dit boek kan als leerboek voor de versterkingskunst worden gezien, aangezien Stevin ook hier weer een uitgebreide uiteenzetting geeft en de lezer aan de hand meeneemt in dit onderwerp. Een belangrijk onderdeel is de ontwikkeling van het bastion, oftewel de vormgeving van de stadsmuren. Waar er voor het buskruit nog met pijl en boog werd geschoten, waren er gaten in de muren aangebracht om hier doorheen te schieten, maar hierdoor was een heel groot gedeelte van de muren onbeschermd. Door middel van vierkante torens werd deze 'dode hoek' verkleind, wat ook nodig was na de uitvinding van de vuurwapens. Maar er bleef ook nu nog een dode hoek, zie figuur 11. Uiteindelijk wordt dit ontwikkeld tot



De onderdelen van een bastion. 1 flank; 2 face; 3 saillant; 4 keel.
De courtine (5) verbindt het bastion met de aangrenzende bastions.

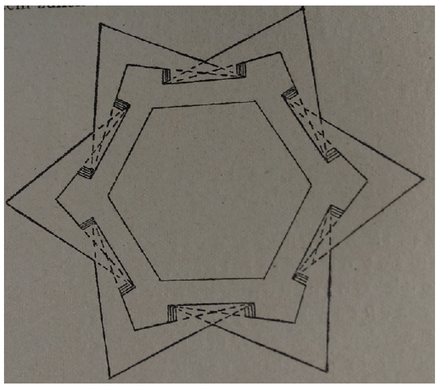
Figuur 10: Bastion

een *Gebastionneerde polygonale systeem*, zoals ook te zien in figuur 12.



Figuur 11: Ontwikkeling van het bastion [1]

De wallen zijn aangelegd langs de zijden van een regelmatige veelhoek en worden aan de hoekpunten onderbroken door vijfhoekige bastions. Van hieruit kan zowel de muur worden beschermd als de volgende bastion en ook naar buiten worden geschoten. In zijn werk voert Stevin eerst een aantal nieuwe begrippen in, zodat hij ze kan gebruiken. Dit zijn zowel nieuwe begrippen voor de versterking, als Nederlandse begrippen ter vervanging voor de al bestaande Latijnse taal, aangezien Stevin graag in het Nederlands werkt. Daarnaast geeft hij een opsomming van de beginselen waaraan de versterking moet voldoen, wil het slagen. Deze waren volgens hem *Strijcken*, wat opgevat kan worden als de zijden, zoals de facen, van het verdedigingswerk. De facen moeten een zo stomp mogelijke hoek maken en het verdedigingswerk moet de vorm van een regelmatige veelhoek hebben, zodat deze de grootste oppervlakte geeft bij een bepaalde omtrek, wat tot kostenbesparing leidt.



Figuur 12: Gebastioneerde Polygonale sterkte van een stad

Aangezien dit werk nieuw was, waren er meningsverschillen tussen de geleerden uit die tijd. Zo gebruikt Stevin bijvoorbeeld verschillende maten voor zijn berekeningen, aan verschillende bouwwerken. Dit leidt tot onduidelijkheid. Ook was niet iedereen het eens over de hoek van het bastion, namelijk scherp, recht of stomp. Aangezien vanuit het bastion de volgende bastion beschermd kan worden als dit een stompe hoek is, pleit Stevin hiervoor. Naast deze bezwaren moet er ook rekening gehouden worden met de omstandigheden, zo kan het gebied heuvelachtig zijn, of loopt er een rivier. In dit soort gevallen was het advies om af te stappen van de ideale versterkingsbouw en de omstandigheden mee te nemen. Een paar voorbeelden hiervan heeft Stevin in zijn werk opgenomen.

In *Nieuwe Maniere van Sterctebou door Spilsluysen* behandelt Stevin ook het gebruik van spilsluizen in de versterkingskunst. Door het gebruik van sluizen, kunnen steden die aan zee liggen beter beschermd worden. Waar voorheen de grachten werden afgesloten van het zeewater, om de muren aaneengesloten te houden, kon door middel van de spilsluizen deze grachten in verbinding worden gebracht met de zee. Deze grachten werden hierdoor een aanvulling op de versterking, zonder dat men extra gevaar loopt. Om nu de stad aan de zeekant extra te beschermen, maakte men aan deze kant een extra gracht, afgesloten door een weg, zodat aanvallers hier niet zomaar de stad konden binnenvallen.

Naast de versterkingskunst, noemen we de legermeting. In *Castrametatio*, ook wel *Leghermeting*, omschrijft Stevin de ontwikkeling van de bouw en samenstelling van het legerkamp. Toen Stevin in dienst was van Prins Maurits, heeft hij dienst gedaan in het leger, waardoor hij voldoende stof had voor dit boek. Het gaat over

> in het Staatsche leger gevolgde practijk van de legermeting [...] en over de geschiedenis van dit onderwerp, deels met richtlijnen voor de verbetering van de legerorganisatie. [1, p. 239]

Zo wordt een algemene kampindeling gegeven, met uiteraard een ruime plek voor de Prins, alsmede voor de paarden en plekken om te koken. Door middel van legermeting worden alle onderdelen van het legerkamp op de juiste plekken geordend en krijgt alles een plek. Prins Maurits ontleent zijn legermeting aan de Romeinen, maar heeft hier aanpassingen in gedaan, om het te optimaliseren. Zo geeft hij de plekken een nummer, zodat ook de soldaten gekoppeld worden aan een nummer, die ze ook aan hun eigendommen koppelden. Als men nu bijvoorbeeld spullen kwijtraakte, kon dit snel naar het juiste gedeelte van het kamp worden gebracht.

Naast de versterkingskunst en legermeting is er een aantal onderwerpen die we onder de krijgswetenschap kunnen scharen. Zo wordt er in het *Plaetsregister* bijgehouden waar en hoe de kampen werden opgesteld. Ook wordt de hiërarchie van het leger bijgehouden in zogenoemde *ampten*, er wordt hierin bijvoorbeeld onderscheid gemaakt in voetvolk en de ruiterij. Hiernaast was er een tactiek die werd uitgevoerd. Zo waren er commando's die uitgevoerd werden, en was er een richtlijn hoe opengevallen plekken opgevuld dienden te worden. Ook heeft Stevin een nieuw instrument ontworpen, *de spabijlhou* dat als spa, bijl en hou kon dienen. Dit instrument werd gebruikt om te graven en zo loopgraven te maken. Aangezien alle losse onderdelen te zwaar waren om te vervoeren, was de spabijlhou een goede oplossing.

4.10 Boekhouden

We kunnen het boekhouden verdelen in twee verschillende vormen, namelijk koopmansboekhouding en vorstelijke boekhouding, waarbij de eerste meer een inleiding voor de laatste vormt. Het boekhouden werd inmiddels ongeveer 60 jaar beoefend, en men volgde de Italiaanse werkwijze hierin. Hij gebruikt een aantal boeken, namelijk *Jornael*, *Schultbouck* en *Memoriael* en als hulpboeken *Cassebouck* en *oncostbouck*. Het memoriaalboek is hierbij een aantekeningenboek voor zaken die niet onder de andere twee vallen. Aan de hand van deze boeken worden geldwisselingen bijgehouden, waarbij Stevin alle zaken die opgeschreven worden reduceert tot het hoogst noodzakelijke, zoals de naam, het bedrag en de data. Hij nummert de boekingen ter vergemakkelijking van het gebruik. Alhoewel Stevin zelf geen theorie geeft m.b.t. het boekhouden, vergemakkelijkt hij het gebruik ervan wel. Stevin probeerde Prins Maurits ervan te overtuigen het boekhouden volgens Italiaanse wijze aan te houden. Dit lukte hem en per het begin van 1604 werd dit systeem doorgevoerd [1, p. 25]. Het was ook nodig om het door te voeren, aangezien het oude systeem ervoor zorgde dat boekjaren soms pas jaren later werden afgesloten, waardoor het onduidelijk was hoeveel geld er daadwerkelijk beschikbaar was. Ook was het hierdoor mogelijk dat de boekhouders het geld voor persoonlijk eigendom gebruikten. Het werk in de rekenkamers veranderde hierdoor enigszins. Waar voorheen jaarlijks de in- en uitgaven werden doorgegeven, gebeurde dit nu maandelijks. Ook werd bijgehouden wat de daadwerkelijke cashflow was, in plaats van wat er in en uit had moeten gaan.

4.11 Bouwkunde

Zijn bijdrage in de bouwkunde is niet geheel duidelijk te achterhalen, aangezien het werk dat Stevin hieraan heeft verricht, pas na zijn dood wordt gepubliceerd in *Materiae Politiae (1649)*. Hierin wijdt hij uit over de inrichting van een stad en een woonhuis. Waar in de Middeleeuwen een stad ongeordend werd gebouwd, had Stevin de voorkeur voor structuur en ordening in de stad. Hij ziet de steden dan ook het liefst in rechthoekige vorm waarbij de wegen in evenwijdige lijnen aan elkaar lopen en zo de rechthoekige huizen op wiskundige wijze van elkaar scheidt. Er wordt rekening gehouden met onder andere de markt, ziekenhuizen en scholen. Ook de huizen zelf zijn symmetrisch en rechthoekig gebouwd. Elke kamer heeft hierbij vrij licht. Hij geeft een plattegrond voor de ideale benedenverdieping en bovenverdieping, waarin onder andere een eetkamer, slaapkamer en keuken zijn opgenomen en er wordt hierbij zelfs rekening gehouden met het openslaan van deuren.

4.12 Muziek

Ook in de muziek heeft Stevin berekeningen gedaan, wat niet geheel verwonderlijk is, aangezien in die tijd de muziek hand in hand ging met de wiskunde. Het werk *Spiegeling der Singconst*, heeft Stevin hierover geschreven. Geheel volgens zijn stijl introduceerst Stevin de begrippen die hij gebruikt in het

Nederlands, een greep van deze begrippen zijn toon, notenbalk, noten en verscheidene intervallen. De hoogte van een toon op een muziekinstrument, is wiskundig weer te geven. Wanneer je een snaar aanslaat op de helft, een vierde of een achtste, dan klinkt de grondtoon voor een achtste, een zestiende en een vierentwintigste. Aan de hand hiervan kan worden berekend welke intervallen goed bij elkaar aansluiten, en welke toonsoorten juist dissonant klinken.

4.13 Burgerlijke stoffen

In zijn werk *Het Burgherlick Leven* behandelt Stevin de manier waarop de burgers, in zijn ogen, zich zouden moeten gedragen wanneer de wetten tegenstrijdig zijn aan elkaar of aan de opvattingen van de burger. Gezien de beperkte tijd voor deze scriptie, verwijs ik voor dit deel naar [1, p. 276-286].

4.14 Logica

Het werk *Dialectike* is een van de twee oudste, in het Nederlands geschreven, verhandelingen over de logica. Hij wijkt in de vorm af van wat gebruikelijk is. Hij wil er namelijk voor zorgen dat de burgers die geen opleiding genootten, zichzelf hierin konden onderwijzen, als ze daar behoefte aan hadden. Daar waar de logica voorheen in het Latijns werd verhandeld, maakt Stevin ook deze kunst in het Nederlands beschikbaar en daarbij zorgt hij ervoor dat hij voldoende handvatten geeft om iedereen die dit wil hierin wegwijs te maken. Hij introduceert daartoe eerst weer (Nederlandse) begrippen, waarna hij bewijsredenen geeft, oftewel een tweetal uitspraken, ook wel proposities, die ofwel waar, ofwel onwaar zijn en waaruit een conclusie volgt.

4.15 Stevin en de Nederlandse taal

Tenslotte wil ik dit (beknopte) overzicht afsluiten met Stevin's bijdrage aan de Nederlandse taal. In de voorgaande paragrafen heb ik al een aantal keer vermeld dat Stevin hier nadrukkelijk mee bezig was, en dat is niet zonder reden. Stevin kan als grondlegger worden gezien voor onze Nederlandse begrippen in de wiskunde. Als men kijkt naar de naam 'wiskunde', vertaald in andere talen, dan is dit in het Engels 'mathematics', in het Duits 'Mathematik', in het Frans 'mathématiques', in het Spaans 'matemáticas' en in het Zweeds 'matematik'. Al deze woorden zijn afgeleid van het Latijnse 'mathematica'. Onze afwijkende benaming van 'wiskunde' hebben wij te danken aan Stevin, die dit woord in het Nederduits introduceerde als 'wisconst'. Na het in het Nederduits geschreven *Tafelen der Interest* volgt *Problemata Geometrica* in het Latijn en *l'Arithmétique* in het Frans. De publicaties die hierop volgen zijn alle in het Nederduits, te beginnen met *Dialectike* en *De Thiende*. Waar voorheen in het Latijns werd geschreven en onderwezen, ging Stevin, met name vanaf *Weeghconst* in 1586 op zoek naar juiste vertalingen en samenstellingen van woorden om (nieuwe) begrippen te introduceren. Hij gaf bij zijn begrip het corresponderende Latijnse of Franse (en soms zelfs Italiaanse of Hoogduitse) woord weer. De wiskundige begrippen als rekenkunde, stelkunde en meetkunde hebben we aan Stevin te danken. Een overzicht van de begrippen die hij heeft geïntroduceerd is te vinden in [1, p. 307-315]. In zijn geschreven taal komen nogal wat inconsequenties voor. Zo kan in één zin het woord *bewys* en ook *bewijs* voorkomen, evenals andere spellingstechnische zaken. Dit was in die tijd niet ongebruikelijk. Dit doet uiteraard niks af aan zijn enorme bijdrage in onze huidige taal.

5 Watermolens door Simon Stevin

5.1 Inleiding watermolens

Een van de werken van Simon Stevin komt uit de techniek en kent men ook wel onder de naam 'watermolens'. Deze molens werden ontworpen om water te verplaatsen, wanneer een sloot of rivier te veel water bevatte bijvoorbeeld, of juist te weinig water. Het probleem dat voor deze oplossing heeft gezorgd, dateert een paar honderd jaar daarvoor. Aangezien de grond ongeschikt was voor landbouw, gaven de gemeenten de opdracht om het te ontginnen. Hierdoor werd de grond minder drassig en dus bruikbaar voor de landbouw. Echter had dit inklinking van de grond tot gevolg. Hierdoor verslechterde de watervoorziening, en het leidde uiteindelijk tot het inzetten van de molen voor verplaatsing van het water. Nederland is een echt waterland, welke voor een groot gedeelte onder zeeniveau ligt. Hierdoor hebben we veel baat bij dit soort uitvindingen, vandaar dat ik benieuwd ben naar de wiskunde hierachter.

Figuur 13: Oude of Hooge Pijnackersche polder, onderbemaling

Stevin heeft zijn berekeningen zelf niet gepubliceerd. Gelukkig zijn deze na zijn dood wel uitgegeven door onder meer Bierens de Haan uitgegeven in 1884 [10]. Naast dit werkje heeft, zoals ik in paragraaf 3 al omschreven heb, Simon's zoon, Hendrik Stevin, een groot deel van zijn werken gepubliceerd. Dit geldt ook voor het werk over watermolens. De aantekeningen en het werk dat is verzet door Isaac Beeckman naar aanleiding van het werk van Simon Stevin, heeft Hendrik Stevin (gedeeltelijk) uitgegeven in zijn werk [6]. Isaac Beeckman was een wiskundige en een leerling van Simon Stevin. Hij leefde van 1588 - 1637 en richtte zich eerst op de studie der medicijnen. Hiernaast richtte hij zich op vraagstukken in de *theologie, logica, theoretische muziek, scheikunde, wiskunde en astronomie, maar vooral medicijnen en natuurkunde* [5, p. 300-301]. Bij verschijnselen in deze onderwerpen vroeg hij zich af wat de oorzaak hiervan was en ging naar de aard van de situatie kijken. Ook heeft Beeckman nauw samengewerkt met Descartes, met name aan natuurkundige onderwerpen [5, p. 309].

Wat opmerkelijk is als we de werken *Vande molens* en *Wisconstich Filosofisch Bedryf* bekijken, is dat de berekeningen die worden gedaan, identiek zijn aan elkaar. We kunnen hieruit opmaken dat de beide werken, de berekeningen over hebben genomen die door Simon zijn gemaakt. Daarnaast zijn er wel degelijk verschillen te vinden in de gepubliceerde werken. In het werk van *Bierens de Haan*, worden er meer verschillende molens gepubliceerd dan in het werk van *Hendrik Stevin*. Echter een groot gedeelte hiervan omvat alleen de afmetingen van de molens, dit is bij 6 van de 19 molens het geval. De molens die in het werk van *Hendrik Stevin* zijn gepubliceerd, zijn qua berekeningen of even uitgebreid als in *Bierens de Haan*, dit is in 5 van de 11 gevallen, of uitgebreider, dit is in 3 van de 11 het geval, of het bevat zelfs berekeningen aan molens die in *Bierens de Haan* niet voorkomen. Aangezien het werk van *Bierens de Haan* later is uitgekomen dan het werk van *Hendrik Stevin* is er een mogelijkheid dat er berekeningen kwijt zijn geraakt en deze niet door *Bierens de Haan* gepubliceerd konden worden.

We zullen nu een aantal brieven bekijken, welke Hendrik Stevin heeft gepubliceerd, en welke niet in het werk *Vande Molens* zijn gepubliceerd. Daarna zullen we onderzoeken welke berekeningen Simon deed, om de molens te verbeteren. Om te bekijken welke berekeningen doorgevoerd kon worden, moest Stevin zo veel mogelijk informatie verzamelen, zoals de kracht die de wind levert. In die tijd was het nog niet mogelijk om dat te meten, dus moest hij een manier vinden om deze te berekenen. Aan de hand van het te meten gewicht aan water, kon hij de winddruk berekenen. Naast dit gewicht, is de werking van de molen van belang. Het molenontwerp draait op schijflopen en kamraderen die in elkaar grijpen, dus hij kon berekenen wat de verhouding hierin was. Hierdoor kon hij berekenen, aan de hand van een vast watergewicht, hoeveel kracht de molen leverde. Hij werkte dus als het ware, van 'beneden naar boven', om zo de informatie te verzamelen die hij nodig had. Voor de verbeteringen kon hij nu van 'boven naar beneden' werken. Hij gaat namelijk uit van de zojuist berekende winddruk en kijkt hoe hij de molen kan verbeteren, zodat deze meer water verplaatst. Hij is hierin heel vooruitstrevend bezig voor zijn tijd en dat vind ik fascinerend.

5.2 Brieven

Uit verscheidene brieven, welke Hendrik *Copye* noemt in *Wisconstich Filosofisch Bedryf*, blijkt de waarde van de verbeteringen door Simon. Hierin laten stadsbesturen van onder andere Den Haag en Delft weten dat de verbeteringen hebben geleid tot meer draaiuren van de molens.

Uit *Wisconstich Filosofisch Bedryf* blijkt dat er in juli 1591 een octrooi aan Simon Stevin is gegeven door de Staten van Holland en West-Friesland, voor het maken/verbeteren van de watermolens. We vinden hier brieven van onder meer Holland en Westfriesland, alsmede van Delft, dat Simon daar de watermolens heeft verbeterd. De watermolen in Delft, staande aan het 'Duyvelsgat', is in 1588 verbeterd, en de brief uit 1590 geeft aan

> dat de selve Molen nu twe jaren gemalen hebbende int roeren vande wateren en tochten te maken tot ververschinge van dien, seer omtrent driemael so veel wercx gedaen heeft en alsnoch doende is, als de oude Molen van te vooren plach te doen [6, p. 5].

Aan de hand hiervan is in 1590 een tweede molen in Delft verbeterd, waardoor de wateren in de stad weer stromen, alsof *het een stadige loopende revier ware* [6, p. 5]. In Woerden en Rotterdam heeft Stevin molens verbeterd, zodat deze in een uur evenveel werk verrichtten als voorheen in drie uren werd behaald [6, p. 6-8].

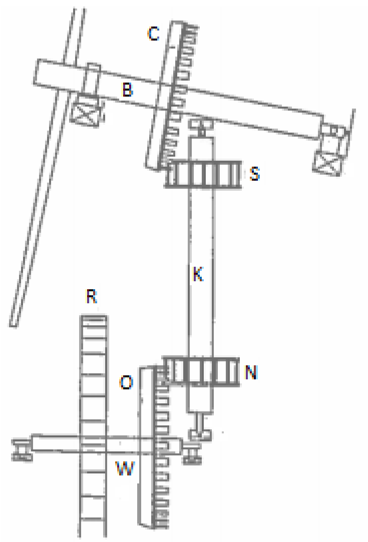
Ook uit 1594 zijn er verklaringen te vinden van onder andere molenaars wiens werkleven is verbeterd dankzij Stevin. Zo zegt Pieter Aertssz Molenaer van de nieuwe Watermolen:

> Soo ist ons genoegsaem kennelic, datter inden jare negen en tachtich eenen nieuwe Watermolen in onse Ambachte voorschreve gestelt is opte nieuwe maniere der geoctroyeerde van dien, welcke Molen alsoo vier jaren lanc gemalen heeft, soo hebben wy metter daet bevonden datse meerwaters alleen geloost heeft als d'ander drie Molens nade oude manier gemaect tsamen plegen te doen, want onse Polder die later pleech drooch te wesen als ander omleggende Polders, heeft sedert dien tijt vanden eersten drooch geweest, vant welke wy tmetter daet wel verseeckert zijnde, ende dat deur de ervaringen van so veel jaren als boven, hebben den voorleden Somer int jaer drie en negentich om ons lant noch meer te geriven , also ooc doen veranderen onsen ouden achtcanten Molen. [6, p. 9]

Uit deze brieven blijkt de waardering voor het werk van Simon Stevin. Het is dan ook niet verwonderlijk dat Hendrik dit werk en ook deze brieven gepubliceerd heeft. In [1, p. 200-203], [2, p. 112] en [7, p. 7] wordt de molen van IJsselstein besproken, waarover minder enthousiaste verhalen komen. De verbeteringen hieraan zouden rond 21 september 1589 af moeten zijn, maar de molen is niet voor juni 1590 opgeleverd. Hierdoor is er schade ontstaan aan de aanliggende landen, tot ergernis van de polderbewoners. Dit leidde tot een langdurig conflict, aangezien opdrachtgever De Groot zich beklaagde bij de Prinses Maria van Nassau en zij met haar Raad een correspondentie aanging met de schout van IJsselstein. De oorzaak schijnt in de constructie te zijn geweest, waardoor *het onderijzer telkens in het hout van de spil drong en dit deed barsten en dat de spil daardoor niet in den pot wilde blijven draaien* [1, p. 202]. Over deze kwestie zijn geen brieven te vinden in [6], wat als opmerkelijk kan worden gezien.

5.3 Berekeningen aan de watermolens

De molens werden volgens een vast concept gebouwd en dit werd doorgegeven van generatie op generatie molenbouwers, zonder dat hier wijzigingen in werden aangebracht. [7, p. 5] We zullen nu bekijken welke berekeningen Simon Stevin maakte, zodat hij advies kon geven om het molenontwerp te verbeteren.



Figuur 14: Watermolen; B bovenas, ook wel wieckas. C Kamrad boven. K Koningsspil. N Onderschijfloop. O Kamrad beneden. R Scheprad. S Bovenschijfloop. W Wateras.

Allereerst belichten we de verschillende onderdelen van de molens, welke worden gebruikt in de berekeningen. Zoals in figuur 14 te zien is, heeft het molenontwerp een aantal onderdelen. De onderdelen waar in de berekeningen naar wordt verwezen, zijn in de figuur aangegeven.

De werking van de molen is als volgt; De bovenas B wordt door de wieken in beweging gebracht. Het kamrad C komt hiermee in beweging, waarvan de kammen in de staven van de bovenschijfloop S grijpen. Hierdoor wordt de Koningsspil K in beweging gebracht. Doordat K in beweging is, komt hiermee de onderschijfloop N in beweging. Het kamrad O grijpt in N en komt dus ook in beweging. Het schoepenrad R is bevestigd aan O en kan nu water verplaatsen, aangezien deze op de horizontale wateras W is geplaatst. Als de molen draait, wordt het water uit de achterwaterloop omhoog gebracht, waardoor de wachtdeur wordt geopend. Als de watertoevoer stopt, dan sluit deze deur.

Om goed advies te kunnen geven, mat Stevin per molen eerst de lengte van de molen, de wieken en het scheprad. Hierna berekende hij de capaciteit van het scheprad, de capaciteit van de wieken, de efficiëntie van het scheprad ten opzichte van de wieken en de verplaatsing van het water per wiekslag. Door middel van de berekeningen versimpelde hij de molen tot een krachtbron (de wieken), het element waar de kracht op werkte (het schoepenrad) en de assen en schijfloopen die die kracht overbrachten [7, p. 6]. We zullen deze berekeningen per paragraaf bekijken om te ontdekken wat er precies gebeurt en wordt berekend. Aan het einde van elke paragraaf zal ik aangeven welke verbeteringen Stevin doorvoerde, zodat de molen verbeterd werd.

Waar vandaag de dag vooral veel berekeningen aan de hand van formules worden gedaan, werd de wiskunde door Simon Stevin voornamelijk uitgeschreven in woorden. Dit was in zijn tijd gebruikelijk. Aangezien we tegenwoordig juist meer gebruik maken van formules wil ik dat hier ook doen. Aan de hand van de gegevens maakte Stevin zijn berekeningen en deed hiermee de voorstellen ter verbetering. In de paragrafen 5.3.2 tot 5.3.6 zal ik de berekeningen weergeven die Simon Stevin maakt. Aan het einde van elke paragraaf zal er een algemene formule worden gegeven voor deze berekingen. In paragraaf 5.3.7 zal er een overzicht worden getoond van deze formules, evenals van de gebruikte afkortingen.

In zijn berekeningen en verwijzingen gebruikt Stevin het woord 'voorstel', dat op twee manieren kan worden geïnterpreteerd. Het kan als propositie dienen en als plan. De voorstellen die we in paragraaf 5.3.2 tot en met 5.3.6 zien, kunnen als plan worden geïnterpreteerd. Om deze te verduidelijken en uit te werken, gebruikt hij de proposities, uit bron [9], zoals we straks zullen zien.

In de 16^e en 17^e eeuw werd voor de eenheid van lengte een voet gehanteerd. Er waren vroeger geen middelen om identieke maten op te leggen, waardoor iedere streek zijn eigen 'voet-maat' aanhield. Het stadsbestuur legde vast hoe groot een voet was. Hierdoor was een voet in Amsterdam anders dan in Rotterdam. Door toename van handel en contacten over grotere afstand, kwam er ook meer behoefte aan uniforme maten [8]. Met de invoering van de IJkwet in 1816 voerde het Verenigd Koninkrijk der Nederlanden de meter in. Stevin vermeldt in zijn werk niet welke streekmaat hij aanhield, vandaar dat we zijn berekeningen in voet zullen volgen. In [2] geven de schrijvers een indicatie voor de maten waarin werd gerekend. We vinden hier dat Simon Stevin gerekend zou hebben met *Amsterdamse voet: 26,31 cm en Gelderse voet: 27,19 cm* [2, p. 93].

Ik zal de berekeningen volgens Simon Stevin aanhouden. Daar waar hij afrondingsfouten maakt, zal ik dit aangeven.

5.3.1 Zuid Nootdorpse Molen

De eerste molen waaraan berekeningen worden gedaan in [10] is aan de Zuid Nootdorpse molen en de afmetingen waren als volgt [10, p. 101]. De laatste rij is toegevoegd en staat niet in het origineel:

afkorting	Benaming	Afmeting	Afmeting
l_w	Lengte van de wieken	$40\frac{1}{2}$ voet	$10,66$ m
b_w	Breedte van de wieken	$8\frac{1}{4}$ voet	$2,17$ m
C	Kamrad boven	44 kammen	
S	Schijfloop boven	13 staven	
N	Schijfloop beneden	10 staven	
O	Kamrad beneden	52 kammen	
l_k	Straal kamrad	$\frac{31}{6}$ voet	$1,36$ m
l_s	Straal scheprad	$\frac{31}{4}$ voet	2.04 m
b_s	Breedte van de lepels	$\frac{29}{24}$ voet	$0,32$ m
h_{bi}	Waterstand binnenwater	$\frac{4}{3}$ voet	$0,35$ m
h_v	Het verschil in waterstand	4 voet	$1,05$ m
h_{bu}	Waterstand buitenwater $= h_{bi} + h_v$	$\frac{16}{3}$ voet	$1,40$ m

Voor de verbeelding van het scheprad voor de hedendaagse geest heb ik in schets 16 de afmetingen zowel in voet (onder) als in meters (boven) gemaakt, waarbij ik heb gerekend met de Amsterdamse voet.

5.3.2 Eerste voorstel; belading van het scheprad

Aan de hand van deze gegevens deed Stevin diverse berekeningen om hier voorstellen mee te doen. Het eerste voorstel, oftewel het eerste plan, luidt:

> Te vinden met wat gewicht waters het scheprad verladen is, ende dat op eenich seker punt, ick neem opt swaerheyts middelpunt des gheprangs van het leeghste water. [10, p. 101]

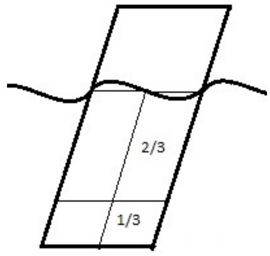
Oftewel, Simon Stevin berekent het gewicht waarmee het scheprad beladen is, en wel op het swaerheytsmiddelpunt des gheprangs (wat vrijelijk vertaald is als 'zwaartepunt van de waterstuwer') bij laagstaand water. We zullen de berekening hiervoor volgen die Simon maakte. Aan het einde van deze paragraaf zullen we de berekeningen samenvatten met een formule, die zijn berekeningen omvat.

Het zwaartepunt berekent Simon aan de hand van het 18^e *voorstel der beghinselen des waterwichts.* Dit voorstel luidt

> Wesende den bodem des waters een euewydich vierhouck oneuewydich vanden sichteinder (horizon), diens hoochste sijde in

> twaters oppervlack is, uyt welcke sijdens middel een lini ghetrocken is, tot in tmiddel van de leeghste sijde. Tswaerheyts middelpunt des gheprangs inden bodem vergaert, deelt die lini alsoo, dat haer opperste stuck dobbel is an t'onderste [9, p. 45]

Anders gezegd, wanneer het water haar kracht uitoefent op een parallellogram dat (gedeeltelijk) in het water ligt, en waarvan één zijde in het wateroppervlakte ligt, dan noemen we dit de bovenste zijde. Als we nu van het midden van de bovenste zijde naar het midden van de onderste zijde een lijn trekken, dan ligt het zwaartepunt op $\frac{2}{3}$ vanaf de bovenkant. Oftewel, een derde deel van de onderkant van de lepel tot aan het wateroppervlak, is het zwaartepunt. Zie schets 15.



Figuur 15: Schets; 18^{e} voorstel der beghinselen des waterwichts

De situatie voor de Zuid Nootdorpse molen is geschetst in figuur 16. Hier wordt de lepel van het scheprad weergegeven in meters (bovenaan) en in voet (onderaan), met de afmetingen uit de tabel in paragraaf 5.3.1. De straal van het scheprad, en daarmee de lengte van een lepel, l_s, is $\frac{31}{4}$ voet en de breedte b_s $\frac{29}{24}$ voet. Het binnenwater h_{bi} (aan de linkerkant) is $\frac{4}{3}$ voet en het zwaartepunt z_{bi} is $\frac{1}{3}$ hiervan en dus $z_{bi} = \frac{4}{9}$ voet vanaf de onderkant. Het buitenwater h_{bu} is $\frac{16}{3}$ voet en het zwaartepunt z_{bu} is dus $\frac{16}{9}$ voet vanaf de onderkant.

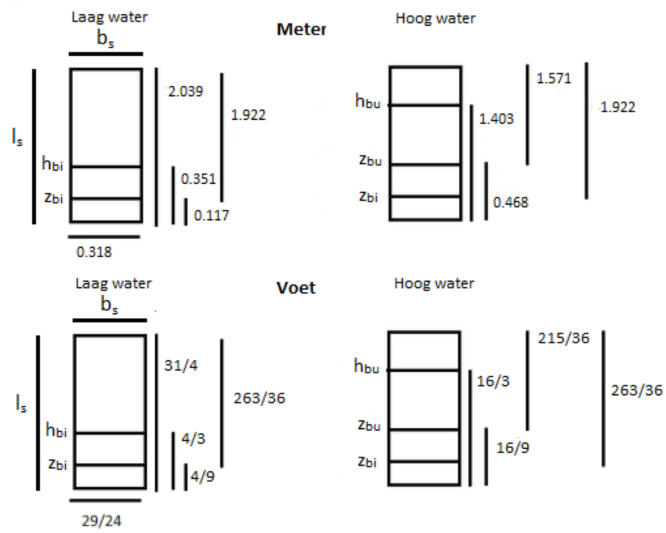
Stevin berekent het verschil van het watergewicht bij hoog- en laagstaand water, op hetzelfde punt van het scheprad, namelijk op z_{bi}, zodat er goed een vergelijking kan worden gemaakt. Met behulp van de volgende berekening kwam hij hierbij op de gezochte grootheid:

G_L = Gewicht tegen de lepel laag water (op z_{bi})

G_H = Gewicht van hoog water (op z_{bi})

G_{Wa} = Gewicht dat op de molen werkt

$G_{Wa} = G_H - G_L$



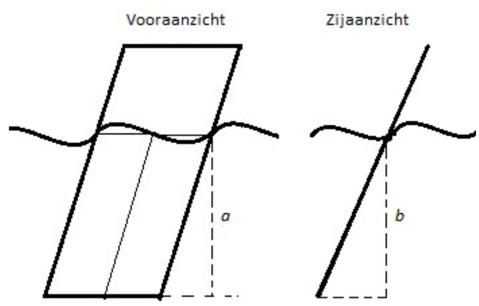
Figuur 16: Scheprad

In de volgende stap wordt

berekend hoeveel gewicht er meer wordt geleverd bij hoog dan bij laag water. Aan de hand hiervan kan verderop worden berekend hoeveel kracht de molen moet leveren, om het water in beweging te brengen. Het verschil in watergewicht berekent Simon aan de hand van het 15^e *voorstel der beghinselen des waterwichts*, welke luidt

> Wesende den bodem des waters een euewydich vierhouck oneuewydich vanden sichteinder *(horizon)*, met sijn bekende hoochste sijde in twaters oppervlack, ende bekent wesende de lini vande hoochste sijde rechthouckich op de voortghetrocken leeghste, oock de hangende vande hoochste sijde (perpendicularis) tot het plat (Plane) euewydich vanden sichteinder duer de leeghste sijde: Te vinden tghewicht waters daer teghen rustende. [9, p. 37]

Oftewel, het gewicht aan water dat op een parallellogram werkt dat (gedeeltelijk) in het water ligt kan men berekenen. Van dit parallellogram zijn zowel de hoogte van het parallellogram a, als de hoogte van de bovenste zijde tot de onderste zijde, loodrecht op de horizon, b, bekend; zie schets 17. Overigens wordt in dit voorstel niet duidelijk hoe men tot dit gewicht kan komen. Stevin verduidelijkt het voorstel aan de hand van een aantal voorbeelden, waarin de methode naar voren komt.



Figuur 17: Schets van het 15^e voorstel der beghinselen des waterwichts

In ons voorbeeld komt het op het volgende neer; om te vinden hoeveel gewicht aan water er op het scheprad drukt, moet de oppervlakte van het scheprad dat in contact staat met het water worden vermenigvuldigd met de helft van de hoogte van de waterstand en vervolgens vermenigvuldigd met het gewicht van het water. Ik denk dat Stevin er hier vanuit gaat, dat de oppervlakte van het parallellogram moet worden vermenigvuldigd met de helft van b, aangezien b het zwaartepunt is van het water. Let op, het zwaartepunt van een voorwerp in water is $\frac{1}{3}$, zoals zojuist uitgelegd, en niet $\frac{1}{2}$.

Als we dit vertalen naar de molen, dan krijgen we de volgende vergelijking: $opp = b_s \cdot h_{bi} = \frac{29}{24} \cdot \frac{4}{3} = \frac{29}{18} voet^2$. Dus de hoeveelheid water W_{bi} dat op het scheprad drukt bij laagstaand water op het punt z_{bi} is $W_{bi} = \frac{1}{2} b_s h_{bi}^2 = \frac{1}{2}\frac{29}{18} h_{bi} = \frac{1}{2}\frac{29}{18}\frac{4}{3} = \frac{29}{27} voet^3$ water.

Op dezelfde manier kunnen we vinden hoeveel water er tegen het scheprad drukt bij het hoogstaande water, namelijk: $W_{bu_{z_{bu}}} = \frac{1}{2} b_s h_{bu}^2 = \frac{1}{2}\frac{29}{24} \cdot (\frac{16}{3})^2 =$

$\frac{464}{27} voet^3$ water (in zijn werk geeft Simon het antwoord $\frac{3712}{216}$, wat uiteraard hetzelfde is).

Aan de hand van deze gegevens kunnen we nu berekenen hoeveel gewicht er op het lepeldeel staat, bij hoogstaand water. Op het lepeldeel bij hoogstaand water perst $W_{bu_{z_{bu}}} = \frac{464}{27} voet^3$ water, zoals we zojuist zagen en wel op het punt z_{bu}. Om te vinden hoeveel water $W_{bu_{z_{bi}}}$ er dan op het punt z_{bi} bij hoogstaand water werkt, gebruikt Simon de regel van drieën. Simon stelt nu $(l_s - z_{bi}) : W_{bu_{z_{bu}}} = (l_s - z_{bu}) : W_{bu_{z_{bi}}}$, dus $(l_s - z_{bi}) W_{bu_{z_{bi}}} = (l_s - z_{bu}) W_{bu_{z_{bu}}}$. We vinden dan $W_{bu_{z_{bi}}}$ door $W_{bu_{z_{bi}}} = \frac{(l_s - z_{bi}) W_{bu_{z_{bu}}}}{(l_s - z_{bu})} = \frac{\frac{215}{36} \cdot \frac{3712}{216}}{\frac{263}{36}} = \frac{3034}{216} voet^3$ water. (Hij maakt hierbij echter een afrondingsfout. Het precieze antwoord is $\frac{99760}{7101}$, wat een afwijking van $\frac{23}{9468}$ is.)

Om nu het gewicht te berekenen van het water op het zwaartepunt z_{bi}, rekent hij als soortelijk gewicht van het water s, $s = 65£/voet^3$ water. In die tijd werd als gewichtsmaat pond £ gehanteerd. Dit geeft
$G_L = W_{bi} \cdot s = \frac{29}{27} \cdot 65 = 69£$ (zonder afr. is dit $69\frac{22}{27}£$ is)
$G_H = W_{bu_{z_{bi}}} \cdot s = \frac{3034}{216} \cdot 65 = 913£$ (zonder afr. is dit $913\frac{1187}{7101}£$)
$G_{Wa} = G_H - G_L = 913 - 69 = 844£$ (zonder afr. is dit $843\frac{278}{789}£ \approx 843,352£$). [10, p 101-102]

We kunnen dit ook in een algemene formule schrijven. We gebruiken daarbij de afkortingen die we zojuist zagen.

afkorting	**betekenis**
G_{Wa}	Gewicht aan water dat op de lepel werkt
l_s	lengte lepel
b_s	breedte lepel
s	soortelijk gewicht water
h_{bi}	hoogte binnenwater
z_{bi}	zwaartepunt van ondergedompelde deel van het scheprad bij binnenwaterstand
h_{bu}	hoogte buitenwater
z_{bu}	zwaartepunt van ondergedompelde deel van het scheprad bij buitenwaterstand

We stellen $s = 65£/voet^3$ water en vinden nu het gewicht dat op de lepel drukt met de formule:

$$G_{Wa} = s \cdot (\frac{(l_s - z_{bu}) \cdot \frac{1}{2} b_s h_{bu}^2}{l_s - z_{bi}} - \frac{1}{2} b_s h_{bi}^2) \tag{1}$$

Als we dit invullen krijgen we $G_{Wa} = 65 \cdot (\frac{(\frac{31}{4} - \frac{16}{9}) \cdot \frac{1}{2} \frac{29}{24} (\frac{16}{3})^2}{\frac{31}{4} - \frac{4}{9}} - \frac{1}{2} \frac{29}{24} (\frac{4}{3})^2) = 843\frac{278}{789}£$ zoals we zojuist ook zagen.

Overigens geeft Dijksterhuis een soortgelijke formule, namelijk het moment M_1 op het zwaartepunt z_{bi} vindt men door:

$$M_1 = \frac{1}{2} b_s s (h_{bu}^2 d_2 - h_{bi}^2 d_1)$$

Hierin stellen d_1 en d_2 de perspunten tot de as voor, met

$$d_1 = l_s - \frac{1}{3} h_{bi} \text{ en } d_2 = l_s - \frac{1}{3} h_{bu}$$

Het gewicht dat op z_{bi} werkt is nu te berekenen door

$$G_{Wa_D} = \frac{M_1}{d_1} = \frac{\frac{1}{2} b_s s (h_{bu}^2 d_2 - h_{bi}^2 d_1)}{l_s - \frac{1}{3} h_{bi}} \tag{2}$$

[1, p. 197].

Als we hier de gegevens van de molen invullen, dan krijgen we $M_1 = \frac{1}{2}\frac{29}{24} \cdot 65((\frac{16}{3})^2(\frac{31}{4} - \frac{1}{3}\frac{16}{3}) - ((\frac{4}{3})^2(\frac{31}{4} - \frac{1}{3}\frac{4}{3})) = 6161\frac{17}{108}$ en voor de kracht in D vinden we nu $G_{Wa} = \frac{M_1}{d_1} = \frac{6161\frac{17}{108}}{\frac{31}{4} - \frac{1}{3}\frac{4}{3}} = 843\frac{278}{789}$£.

Hieruit is af te leiden dat $G_{Wa} \equiv G_{Wa_D}$.

De verbeteringen die Simon hierin door kon voeren, was het vergroten van het scheprad. Hierdoor kan er per draaiing van het scheprad meer water verplaatst worden. Het gevolg is uiteraard dat er meer gewicht op het scheprad werkt, en dat de molen meer kracht moet leveren, om deze in beweging te krijgen. Hier zien we in de volgende berekeningen een oplossing voor.

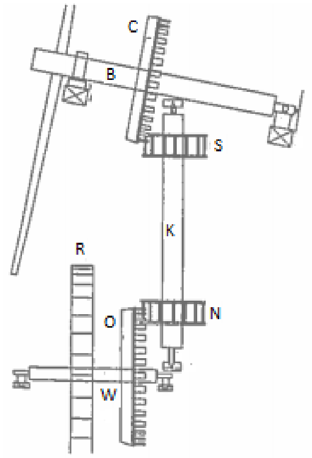
Alles samenvattend; om te vinden met hoeveel gewicht het scheprad beladen is, kunnen we de formules 1 en 2 gebruiken. Om ervoor te zorgen dat het scheprad gaat draaien zal er dus een grotere kracht vanuit de molen moeten komen, en meer specifiek vanuit de wieken. De volgende berekeningen zullen uiteindelijk ertoe leiden dat wordt achterhaald hoeveel kracht de wieken leveren.

5.3.3 Tweede voorstel; verhouding in omwentelingen van de wieken en het scheprad

Het tweede voorstel luidt

> Te vinden wat reden de keeren der wiecken tegen de keeren des scheprads hebben [10, p. 101]

Met andere woorden, we willen de verhouding tussen de omwentelingen van de wieken ten opzichte van het scheprad vinden. Hiertoe wordt een aantal berekeningen gedaan om de verhouding te vinden tussen het aantal kammen en staven, aangezien deze zijn bevestigd aan de wiek- en de wateras. Zie ter verduidelijking figuur 18. In ons voorbeeld zien we dat het aantal tanden van het schijfloop C gelijk is aan 44 en O is gelijk aan 52 tanden. Terwijl het aantal staven S gelijk is aan 13 staven en N gelijk is aan 10 staven. Om de verhouding te vinden tussen het kamrad en het scheprad deel je het aantal kammen O die kracht over brengen op N door het aantal staven N die de kracht ontvangt. En zo deel je ook het aantal staven S door het aantal kammen C. Om de totale verhouding te vinden tussen vuldig je beide uitkomsten met elkaar. Simon gebruikt voor de raderen die de kracht overbrengen het woord 'doenders' en voor de raderen die hierdoor in beweging komen 'lijders'. Om nu de verhouding te vinden in omwentelingen, vermenigvuldigt hij 'doenders met doenders' en 'lijders met lijders' en deelt deze door elkaar. In de moderne-formuletaal krijgen we hierdoor de formule van de verhouding V:

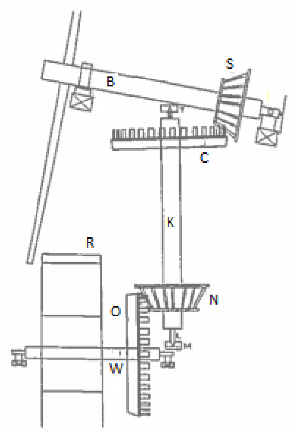


Figuur 18: Watermolen volgens traditoneel ontwerp in de tijd van Stevin

$$V = \frac{S \cdot O}{C \cdot N} \tag{3}$$

Ingevuld krijg je dan $V = \frac{S \cdot O}{C \cdot N} = \frac{13 \cdot 52}{44 \cdot 10} = \frac{676}{440} = 1\frac{59}{110}$. [10, p 102-103]. Wanneer het scheprad een hele omwenteling maakt, maken de wieken dus $1\frac{59}{110}$ omwentelingen.

Wat er in het oude ontwerp gebeurt, is dat de kracht wordt vertraagd en vervolgens versneld. In het eerste voorstel zagen we dat een verbetering zou zijn om het scheprad te vergroten. Hierdoor wordt de belading zwaarder. Door zijn kennis, ziet Stevin een mogelijkheid om de aandrijving te verbeteren, zodat de molen dit grotere gewicht kan verplaatsen. Als men het schijfloop C omwisselt met het kamrad S, zoals in figuur 19, wordt de kracht twee maal vertraagd en kunnen de wieken meer gewicht verplaatsen.



Figuur 19: Verbeterde watermolen

De berekening die wordt gemaakt is dan als volgt

$$V_{nieuw} = \frac{C \cdot O}{S \cdot N} \tag{4}$$

In het geval van de Nootdorpse molen zou dit neerkomen op een verhouding van $V_{nieuw} = \frac{C \cdot O}{S \cdot N} = \frac{44 \cdot 52}{13 \cdot 10} = \frac{88}{5}$, oftewel een verschil van factor $11\frac{77}{169}$. Hierdoor moeten de wieken meer omwentelingen maken om het scheprad één omwenteling te laten maken, echter is er minder winddruk nodig om de wieken in beweging te krijgen en dus om het water te verplaatsen. Zijn denkwijze hierin is uitzonderlijk en opmerkelijk.

Om de verhouding te berekenen tussen de omwenteling van het scheprad en de wieken, kan in het oude ontwerp formule 3 gebruikt worden, en in het ontwerp ná de verbeteringen kan die verhouding berekend worden met behulp van formule 4.

5.3.4 Derde voorstel; winddruk van het wiekoppervlak

Het derde voorstel gaat als volgt:

> De gewelt van yder voet zeyls te vinden [10, p. 102]

Simon wil dus vinden hoeveel (tegen)druk de wieken leveren. Ook nu zullen we eerst de denkstappen van Simon volgen. Aan het einde van deze paragraaf wordt een algemene formule gegeven, die we hedendaags eerder zouden gebruiken.

We hebben in paragraaf 5.3.2 gezien hoeveel water er op het scheprad werkt. Om in beweging te komen, moeten de wieken meer kracht genereren dan dit water doet. Om het gewicht per wiekoppervlak te berekenen, oftewel de winddruk, die de wieken genereren, wordt de verhouding V tussen de omwentelingen van de wiekas en de wateras gebruikt die in paragraaf 5.3.3 wordt berekend, aan de hand van formule 3. We kunnen berekenen hoeveel winddruk gelijk staat aan de waterdruk die op het scheprad werkt, en aan de hand daarvan kunnen we berekenen hoeveel kracht de wieken kunnen produceren.

Aangezien de wieken een lengte van $40\frac{1}{2}$ voet hebben, is het middelpunt, en het zwaartepunt, $20\frac{1}{4}$ voet. Zoals we in paragraaf 5.3.2 berekenden hoeveel water het scheprad aankon, zo kunnen we dat ook berekenen voor de wieken.

Ook voor deze berekening maakt Simon gebruik van de regel van drieën. Er werkt een gewicht van 844£ op z_{bi} van het scheprad en dus op de bijbehorende 'arm' $l_s - z_{bi} = \frac{263}{36}$ voet. Overigens gebruikte Stevin niet het woord 'arm', aangezien dit begrip pas later in is gevoerd. Het zwaartepunt van de wieken z_w is $z_w = \frac{1}{2}l_w = 20\frac{1}{4}$ voet en de 'arm' waar de wind op staat is dan

$l_w - z_w = 20\frac{1}{4}$ voet. Dus de hoeveelheid 'gewicht' aan wind er op één wiek werkt, is $\frac{\frac{263}{36} \cdot 844}{20\frac{1}{4}} = 304\pounds$. (Ook hier zien we weer een afrondingsfout, echter is dit een correcte afronding op helen, aangezien deze verhouding uitkomt op $304\frac{356}{729}$. Ook als we met het onafgeronde $843\frac{278}{789}$ zouden werken geeft dit op gehele afronding geen probleem, aangezien we uitkomen op $304\frac{557}{2187} \approx 304,255$.)

Nu maakt Simon de volgende denkstap. Als de wieken evenveel zouden draaien als het scheprad, dan zouden ze dus een druk van $304\pounds$ aankunnen, maar zoals we in paragraaf 5.3.3 zagen, is de verhouding niet 1 : 1, maar $V = 1\frac{59}{110}$. Het gewicht aan water dat één wiek aan kan is dus $\frac{304}{\frac{676}{440}} = 197\pounds$. (Ook hier zien we een afrondingsfout, aangezien dit gelijk is aan $197\frac{147}{169} \approx 197,870\pounds$ en als we rekenen met alleen maar onafgeronde getallen, krijgen we zelfs een antwoord van $\frac{304\frac{557}{2187}}{\frac{676}{440}} = 198\frac{1012}{28431} \approx 198,036\pounds$.)

We weten nu dus dat één wiek een moment van $197\pounds$ genereert om te zorgen dat het scheprad niet terugloopt. Echter zoals eerder gezegd, willen we weten hoeveel de vier wieken samen genereren, vandaar dat we de gevonden druk gaan berekenen voor de vier wiekoppervlakten samen. Het oppervlak per wiek is in $40\frac{1}{2} \cdot 8\frac{1}{4} = 334\frac{1}{8}voet^2$. Dus voor de vier wieken samen staat dit gelijk aan $1336\frac{1}{2}voet^2$. Simon rekent nu 16 oncen wind per £ water, waardoor het (water)gewicht van $197\pounds$ gelijk staat aan 3152 oncen (windgewicht). Om nu de invloed per $voet^2$ wiekoppervlak te vinden, delen we 3152 oncen door het totale wiekoppervlak, waardoor Simon uitkomt op een totale winddruk van $2\frac{430}{1336}$ oncen per $voet^2$ zeil. (Als je met de onafgeronde getallen rekent, kom je uit op $198\frac{1012}{28431} \cdot 16 = 3168\frac{16192}{28431}$ oncen en $\frac{3168\frac{16192}{28431}}{1336\frac{1}{2}} = 2\frac{2561734}{6908733} \approx 2.370$ oncen/$voet^2$ zeil.) [10, p 103]

Ook deze berekening kunnen we in een algemene formule vatten. De afkortingen die gebruikt worden zijn de volgende

afkorting	**betekenis**
G_{Wi}	winddruk dat op de wieken werkt
$G_{Wa} \equiv G_{Wa_D}$	gewicht aan water dat op de lepel werkt
M_2	windkracht dat op de wieken werkt
W	winddruk dat op de wieken werkt, volgens [1]
l_w	lengte wiek
b_w	breedte wiek
g	soortelijk gewicht wind
l_s	lengte scheprad
z_w	zwaartepunt wiek
z_{bi}	zwaartepunt van ondergedompelde deel van het scheprad bij binnenwaterstand
V	verhouding in omwentelingen van de wieken en het scheprad

We stellen $g = 16$ oncen/£. We kunnen de winddruk die de wieken genereren en dat het gewicht aan water dat op het scheprad staat 'aan kan', berekenen met de formule

$$G_{Wi} = \frac{g \cdot (l_s - z_{bi}) G_{Wa}}{4 l_w b_w z_w V} \tag{5}$$

Als we dit invullen voor de gegevens van de Zuid Nootdorpse molen, krijgen we $G_{Wi} = \frac{g \cdot (l_s - z_{bi}) G_{Wa}}{4 l_w b_w z_w V} = \frac{16 \cdot (\frac{31}{4} - \frac{4}{9}) \cdot 843 \frac{278}{789}}{4 \cdot 40 \frac{1}{2} \cdot 8 \frac{1}{4} \cdot 20 \frac{1}{4} \cdot \frac{676}{440}} = 2 \frac{2561734}{6908733}$oncen$/voet^2$.

Dijksterhuis geeft een formule om de windkracht M_2 op de wieken ten opzichte van de wiekas te berekenen.

$$M_2 = 4 l_w b_w W \frac{1}{2} l_w = 2 l_w^2 b_w W \tag{6}$$

Met $M_1 = v M_2$ vinden we voor de winddruk W

$$W = \frac{1}{V} \cdot \frac{G_{Wa_D}}{2 l_w^2 b_w} \tag{7}$$

Dijksterhuis stel dat W de voorwaarde uitdrukt,

> dat de windkracht M_2 op de wieken evenwicht zal maken met de resulteerende waterkracht M_1 op een verticaal in het water staanden lepel [1, p. 198].

Het gewicht geeft hiermee dus evenveel (tegen)kracht als de waterkracht doet. [1, p. 198]. Overigens zijn W en G_{Wi} niet equivalent. Wanneer we de gegeven voor W invullen, krijgen we $W = \frac{440}{676} \cdot \frac{6161 \frac{17}{108}}{2(40\frac{1}{2})^2 8\frac{1}{4}} = \frac{1023700}{6908733} oncen/voet^2 \approx$

$0,148 oncen/voet^2$. Dit is een factor 16 kleiner dan G_{Wi} en dan het antwoord dat wordt gegeven in [10].

We zagen in paragraaf 5.3.2 dat een verbetering is om het scheprad te vergroten en in paragraaf 5.3.3 dat C en S omgedraaid kunnen worden, zodat de molens meer kracht kunnen overbrengen. Een verbetering die uit dit voorstel komt, is het vergroten van de wieken. Hierdoor wordt er meer wind opgevangen en kan dit in de molen worden omgezet in kracht. We zien dan, als we van 'onder naar boven' kijken, dat bij een gegeven gewicht aan water, er minder kracht vanuit de wieken nodig is, om dit te verplaatsen. Als we vervolgens de verbeteringen erin betrekken uit de voorgaande paragrafen, dan zien we dat er met de berekende windkracht meer water verplaatst kan worden.

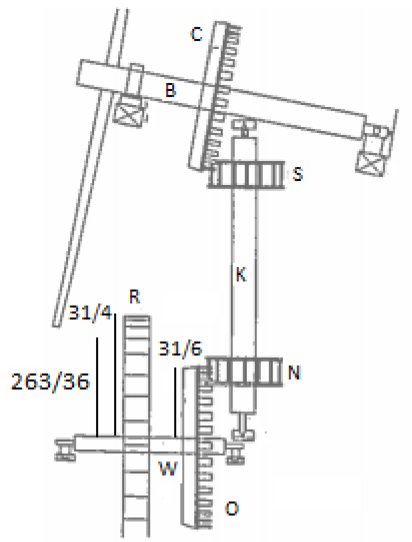
Als we het gewicht per $voet^2$ op de wieken willen berekenen kunnen we dus formule 5 gebruiken.

5.3.5 Vierde voorstel; de werking van kammen en staven

In dit voorstel tracht Simon

> te vinden hoe stijf de stauen teghen de cammen perssen. [10, p. 104]

Oftewel, met hoeveel gewicht drukken de kammen tegen de staven. Waarbij de kammen en de staven op gelijke afstand van elkaar zijn geplaatst. Voor de beste efficiëntie, moeten de kammen met de volle breedte tegen de tegen de staven drukken, waarbij de vorm en plaatsing van bovenwiel en bovenschijfloop zo goed mogelijk dient te zijn.



Figuur 20: Watermolen met onderdelen

Zoals we zagen in het eerste voorstel perst er 844£ tegen zwaartepunt z_{bi} en dit werkt dus tegen de 'arm' met lengte $l_s - z_{bi} = \frac{263}{36}$ voet. De straal van het kamrad l_k is $\frac{31}{6}$ voet (gegeven). Om nu te berekenen hoeveel de staven ten opzichte van de kammen op het onderste kamrad drukken, maakt Stevin ook hier gebruik van de regel van drieën. De afstand $\frac{31}{6}$ geeft 844£, dus $\frac{263}{36}$ geeft dan volgens Simon 1193£ (onafgerond vinden we $1192\frac{269}{558} \approx 1992,482$£).

Oftewel, het scheprad moet een gewicht van $844\frac{278}{789}$£ verwerken, en het kamrad moet dan, aangezien het een kleinere 'arm' heeft, $1192\frac{269}{558}$ £verwerken. Op deze manier kunnen we ook vinden hoe *stijf* de bovenste staven tegen de kammen persen. In het werk *Vande Molens* wordt deze berekening niet gedaan. Aangezien niet gemeten is wat de straal van het bovenste kamrad is, is dit nu niet meer te berekenen. [10, p 104]

Ook deze berekening kunnen we in een algemene formule samenvatten, namelijk de werking van de kammen W is

$$W = \frac{G_{Wa}(l_s - z_{bi})}{l_k} \tag{8}$$

Aangezien Stevin kennis had van de werking van een hefboom, zoals al vermeld in paragraaf 4.3, zou hij deze berekening kunnen gebruiken. Aangezien de kracht op het kamrad verkleind wordt, als de straal wordt vergroot, zou hij de berekening die hier wordt gedaan als referentie kunnen gebruiken om dit kamrad te vergroten. Echter heb ik dit in zijn berekeningen niet terug gevonden. Het is wel opmerkelijk dat hij de berekening maakt, aangezien hij daarmee aangeeft dat hij doorheeft dat dit kamrad samenhangt met de krachten die worden overgebracht. Hij heeft dus heel goed door hoe de verbanden van de krachten samenhangen. Er wordt berekend hoeveel gewicht het kamrad moet verwerken, dus het zou ook kunnen dat Stevin ervoor wilde zorgen dat het materiaal voldoende sterk zou zijn en dit kon onderbouwen met een berekening.

5.3.6 Vijfde voorstel; verplaatsing van water per wiekslag

Het vijfde en laatste voorstel dat Simon maakt, aangaande de *Zuyt Nootdorpsche molen*, is

> te vinden hoe veel waters datter met elcken keer der wieken deur gaet alst binnewater op syn somerpeyl is. [10, p. 104]

Oftewel, gevraagd is de hoeveelheid water dat per wiekslag verplaatst wordt, wanneer het binnenwater op haar zomerpeil is. Aan de hand van de berekeningen die we in de vorige paragrafen zagen, kan ook dit berekend worden. Eerst wordt berekend hoeveel water het scheprad kan verplaatsen. Vervolgens wordt aan de hand van de verhouding V berekend hoeveel water er per wiekslag verplaatst wordt. Ook nu zullen we eerst de berekeningen volgen van Simon en aan het einde zal er een algemene formule worden gegeven.

De straal l_s van het scheprad is $\frac{31}{4}$ voet en de breedte b_s van de lepels is $\frac{29}{24}$ voet. Hiermee berekent Stevin de volume aan water vol_1 die het scheprad bij een omwenteling maakt door middel van de berekening $vol_1 = \pi l_s^2 b_s =$

$\pi(\frac{31}{4})^2\frac{29}{24} = 228voet^3$. (Bij afronding op drie decimalen is dit $228,003voet^3$ water). Stevin geeft hierbij overigens niet de berekening van vol_1, maar alleen het eindantwoord. De berekening $vol_1 = \pi l_s^2 b_s$ geeft Dijksterhuis [1, p. 198].

Hier moeten we nog het deel vanaf halen dat niet in het water steekt. Aangezien de waterstand $\frac{4}{3}$ voet is, staat $l_3 = l_s - h_{bi} = \frac{31}{4} - \frac{4}{3} = \frac{77}{12}$ voet niet onder water. Dit geeft een volume vol_2 van $vol_2 = \pi(l_3)^2 b_s = \pi(\frac{77}{12})^2\frac{29}{24} = 156voet^3$ water. (En afronding op drie decimalen geeft $156,299$). Dus het volume van het scheprad, bij laag water, dat door het scheprad verplaatst wordt vol_{lw}, kan berekend worden door

$$vol_{lw} = \pi b_s h_{bi}(2l_s - h_{bi})$$

en is dus $vol_{lw} = \pi\frac{29}{24}\frac{4}{3}\frac{72}{12} = 72voet^3$ (en bij afronding op drie decimalen: $228,003 - 156,299 = 71,704voet^3$).

Zoals we al zagen in paragraaf 5.3.3 heeft het scheprad een omwenteling, als de wieken 1,5 omwenteling hebben gemaakt. We delen daarom de oppervlakte die in aanraking komt met het water door deze verhouding, waardoor we vinden dat er per wiekslag $\frac{1}{V} \cdot vol_{lw} = \frac{440}{676} \cdot 72 = 46voet^3$ water wordt verplaatst. In formulevorm schrijven we dit als:

$$vol_{tot} = \frac{1}{V} \cdot vol_{lw} = \frac{1}{V}\pi b_s h_{bi}(2l_s - h_{bi})[1, p.\ 199] \tag{9}$$

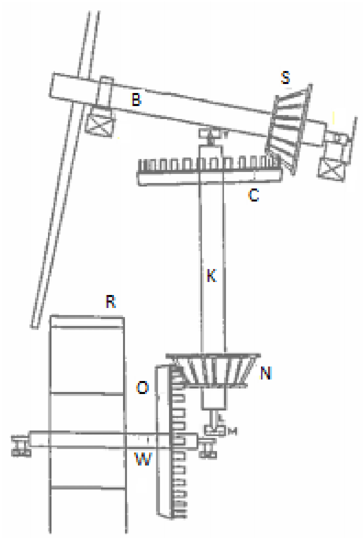
En dan vinden we $vol_{tot} = \frac{440}{676}\pi\frac{29}{24}\frac{4}{3}\frac{72}{12} = 46voet^3$ water (Ook hier is er een afrondingsfout, namelijk $\frac{72}{\frac{676}{440}} = 46,671$).

Samenvattend; om de waterverplaatsing te vinden per wiekslag kan de formule 9 gebruikt worden. Stevin houdt in zijn berekeningen geen rekening met eventueel verlies van water in het scheprad door het terugstromen van het water. Ook gaat Stevin ervanuit dat de gehele buitenste ring beladen is met water, echter is dit niet het geval. In het meest optimale geval is elke lepel helemaal gevuld, maar ook dan zijn er 'lege ruimtes' tussen de lepels. De totale verplaatsing aan water is dus iets minder rooskleurig dan hier geschetst wordt, al kan met deze gegevens niet precies gezegd worden hoeveel water er daadwerkelijk wordt verplaatst.

5.3.7 Samenvatting berekening aan de molens

We zien dus dat er een aantal berekeningen worden gedaan, zodat de molen verbeterd kan worden. Aangezien de winddruk niet meetbaar is, moet Stevin deze aan de hand van berekeningen zien te verkrijgen. Aangezien het gewicht aan water dat op het scheprad werkt meetbaar is en de verhouding van draaiing van de wieken ten opzichte van het scheprad en de draagkracht per wiekoppervlakte berekend kunnen worden, kan berekend worden hoeveel winddruk gelijk staat aan het gewicht aan water dat er verplaatst wordt.

Aan de hand van deze winddruk kan vervolgens de verbeteringen worden doorgevoerd, zoals met name het vergroten van het schep-rad en het aanpassen van de schijfloopconstructie bovenin de molen en in mindere mate het vergroten van de wieken. Bij het aanpassen van de schijfloopconstructie werd de schijfloop S bevestigd aan de wiekas B en het kamrad C aan de koningsspil K. Zie figuur 21. De omwenteling werd nu niet versneld en vervolgens vertraagd, maar juist tweemaal vertraagd, waardoor er minder winddruk nodig is om het water te verplaatsen. [7, p. 7]. Ook wordt berekend hoeveel met hoeveel gewicht de kammen op de staven werken is en ten slotte wat de hoeveel water er per wiekomslag verplaatst wordt. Hieronder volgt een tabel met de gebruikte afkorting en vervolgens met de formules die men kan gebruiken om bovenstaande te berekenen.



Figuur 21: Watermolen volgens het nieuwe ontwerp van Stevin

Afkorting	**Betekenis**
G_{Wa}	gewicht aan water dat op de lepel werkt
V	verhouding van de omwenteling van de wieken en het scheprad
V_{nieuw}	verhouding van de omwenteling van de wieken en het scheprad na verbeteringen
G_{Wi}	gewicht aan wind per $voet^2$ dat op de wieken werkt
vol_{tot}	totale verplaatsing van het water per wiekslag
l_w	lengte wiek
b_w	breedte wiek
z_w	zwaartepunt wiek
l_s	lengte lepel
b_s	breedte lepel
s	soortelijk gewicht water
g	soortelijk gewicht wind
h_{bi}	hoogte binnenwater
z_{bi}	zwaartepunt binnenwater
h_{bu}	hoogte buitenwater
z_{bu}	zwaartepunt buitenwater

Te berekenen	Formule	Eenheid	Ref
Gewicht dat op de lepel werkt	$G_{Wa} = s \cdot (\frac{(l_s - z_{bu}) \cdot \frac{1}{2} b_s h_{bu}^2}{l_s - z_{bi}} - \frac{1}{2} b_s h_{bi}^2)$	£	1
De verhouding van de omwentelingen van de wieken en het scheprad vóór de verbeteringen	$V = \frac{S \cdot O}{C \cdot N}$		3
De verhouding van de omwentelingen van de wieken en het scheprad ná de verbeteringen	$V = \frac{C \cdot O}{S \cdot N}$		4
De winddruk van het wiekoppervlak	$G_{Wi} = \frac{g \cdot (l_s - z_{bi}) G_{Wa}}{4 l_w b_w z_w V}$	oncen/ *voet*^{2}	5
De werking van kammen en staven	$W = \frac{G_{Wa}(l_s - z_{bi})}{l_k}$	£	8
De verplaatsing van het water per wiekslag	$vol_{tot} = \frac{1}{V} \pi b_s h_{bi} (2 l_s - h_{bi})$	*voet*^{3}	9

Zoals uit de brieven blijkt, die we al eerder zagen, was het effect van de aanpassingen groot. We gaan nu dan ook berekeningen bekijken van een molen die Simon heeft verbeterd, ten opzichte van zijn oude staat. Van de Zuid Nootdorpse molen zijn de berekeningen na de verbeteringen niet bewaard gebleven, als deze al zijn gemaakt. Vandaar dat we naar een andere molen gaan kijken, waar de berekeningen van zowel voor als na de verbeteringen van Stevin bekend zijn.

5.4 Berekeningen aan de Craylingse achtcante molen

Ik zal de berekeningen die Stevin deed niet volledig weergeven, aangezien deze stappen al uitgebreid zijn besproken. In plaats daarvan zal ik de antwoorden in tabelvorm weergeven. De verbeteringen die Stevin heeft gedaan zal ik daaronder uiteenzetten en toelichten.

Ik heb gekozen om de berekeningen aan de *Craylinger achtcante molen* weer te geven. Van deze molen zijn zowel vóór als ná de berekeningen van Stevin de afmetingen en berekeningen gepubliceerd. Dit is niet voor alle molens het geval. Van sommige molens zijn alleen de berekeningen vóór en voor sommigen alleen ná de verbeteringen van Stevin gepubliceerd. Van andere molens zijn alleen de afmetingen gepubliceerd en geen berekeningen. Om een zo goed mogelijk inzicht te geven in het werk van Stevin, lijkt het mij daarom goed om de Craylingse achtcante molen te bespreken.

In bron [10, p. 108-109] zijn de afmetingen en de berekeningen gepubliceerd, vóór de verbeteringen van Stevin. Deze berekeningen gaan over de belading van het scheprad en de winddruk van het wiekoppervlak. Daarnaast zijn in bron [6, p.21-22] de afmetingen en berekeningen gepubliceerd ná de verbeteringen De berekeningen zijn aan de belading van het scheprad, de verhouding van de omwentelingen van de wieken en het scheprad en tenslotte berekeningen aan de werking van de kammen ten opzichte van de staven.

De berekeningen zijn dus niet volledig, maar door middel van de formules die in de voorgaande paragrafen staan weergegeven, kunnen we wel de berekeningen maken, om te kijken of de aanpassingen van Stevin daadwerkelijk verbeteringen zijn.

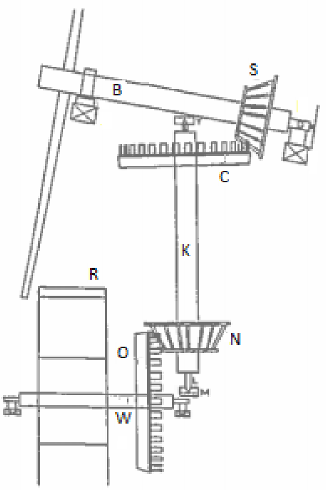
Afkorting	**Oude manier**	**Nieuwe manier**
l_w	$35\frac{1}{2}$ voet	$35\frac{1}{2}$ voet
b_w	$7\frac{1}{2}$ voet	9 voet
C	53 kammen	*Ontbreekt*
S	12 staven	12 staven
N	9 staven	8 staven
O	52 kammen	43 kammen
l_k	4 voet	*Ontbreekt*
l_s	$7\frac{5}{6}$ voet	10 voet
b_s	1 voet	$3\ \frac{1}{2}$ voet
h_{bi}	$\frac{4}{3}$ voet	$3\ \frac{1}{2}$ voet
h_v	4 voet	4 voet
h_{bu}	$\frac{16}{3}$ voet	$7\frac{1}{2}$ voet

Oude manier volgens Stevin	**Oude manier m.b.v. formule**	**Nieuwe manier volgens Stevin**	**Nieuwe manier m.b.v. formule**
$G_{Wa} = 700£$	$G_{Wa} = 699\frac{113}{133}£$	$G_{Wa} = 4141£$	$G_{Wa} = 4039\frac{21}{106}£$
$V = \frac{208}{159}$	$V = \frac{208}{159}$	$V_{nieuw} = \frac{559}{96}*$	$V_{nieuw} = \frac{559}{96}**$
$G_{Wi} = 3\frac{357}{1065} oncen/voet^2$	$G_{Wi} = 3\frac{15685}{45369} oncen/voet^2$	$G_{Wi} = 4 oncen/voet^2$	$G_{Wi} = 4\frac{627892}{1950867} oncen/voet^2$
Ontbreekt	$W = 1292\frac{7}{9}£$	*Ontbreekt*	$W = 8919\frac{43}{48}£$
Ontbreekt	$vol_{tot} = \frac{2279\pi}{156} \approx 45,895 voet^3$ water	*Ontbreekt*	$vol_{tot} = \frac{19404\pi}{559} \approx 109,051 voet^3$ water

*Aangezien het aantal kammen van kamrad C onbekend is [6, p.21-22], wordt er een berekening gedaan om deze te vinden. Aan de hand van de oppervlakte van de wieken en vervolgens de verhouding van de belading van het scheprad en de armen van de wieken en van het scheprad wordt berekend hoe groot de winddruk zou zijn. Aan de hand van deze winddruk kan het ontbrekende aantal kammen worden berekend. Als dan alle aantallen kammen en staven bekend zijn, wordt berekend wat de verhouding V is, en wordt er een controle-berekening gedaan om te kijken welke winddruk daadwerkelijk nodig is om het scheprad in beweging te brengen. We gaan nu de berekening zien die werd gemaakt, waarna ik deze kort zal evalueren.

De oppervlakten van de wieken O_W samen is $O_W = 4l_w b_w = 1278 voet^2$ en de arm van een wiek A_W waarop de wind werkt is $A_W = \frac{1}{2}l_w = \frac{1}{2} \cdot 35\frac{3}{4} = 17\frac{3}{4}$ voet. Op het het scheprad werkt een gewicht van $G_{Wa} = 4141£$ (gegeven). Dit scheprad heeft een arm A_S van $A_S = \frac{79}{9}$ voet. (Overigens zou deze arm volgens de eerdere berekeningen van Stevin niet $\frac{79}{9}$ zijn, maar $l_s - \frac{1}{3}h_{bi} = 10 - \frac{1}{3}\frac{7}{2} = \frac{53}{6}$ voet. Het is me niet duidelijk waarom hier vanaf wordt geweken, aangezien niet wordt vermeldt hoe deze arm wordt berekend, maar dit wordt gegeven.)

We kunnen nu met de regel van drieën vinden hoeveel gewicht aan water G_{Wa_A} de wieken moeten verplaatsen, door $G_{Wa_A} = \frac{A_S \cdot G_{Wa}}{A_W} = \frac{\frac{79}{9} \cdot 4141}{17\frac{3}{4}} = 2047£$ (zonder afronding is dit $2047\frac{523}{639}£$). Het gewicht aan wind G_{Wi_A} dat op de wieken werkt, wordt berekend door $4\frac{1}{2}$ onc per $voet^2$ zeil te rekenen. Dit is opmerkelijk aangezien in paragraaf 5.3.4 een ons wordt weergegeven in het watergewicht $£$. Aangezien we nu deze omschakeling nog niet kunnen maken, berekent Stevin daarom dit gewicht aan wind vanuit de oppervlakte van de wieken. We zien dus $G_{wi_A} = \frac{O_W}{4\frac{1}{2}} = \frac{1278}{4\frac{1}{2}} = 284£$, al wordt hier als antwoord $G_{Wi_A} = 359£$ gegeven, zonder verdere berekening. Ook hier weet ik niet waardoor de afwijking zo groot is. De verhouding die wordt gegeven is dus $\frac{G_{Wa_A}}{G_{Wi_A}} = \frac{2047}{359}$. Aan de hand van deze verhouding wordt de ontbrekende hoeveelheid kammen C berekend.



Figuur 22: Verbeterde watermolen

Bekend is *de schyfloop ande wiecas is 12 staven* [6, p. 22], oftewel schijfloop S aan de wiekas heeft 12 staven. We kunnen hieruit afleiden dat Stevin het kamrad C dus heeft verwisseld met de schijfloop S, waardoor we dus de verhouding $V_{nieuw} = \frac{C \cdot O}{S \cdot N}$ zullen aanhouden en Stevin het ontwerp volgens figuur 22 aanhoudt. Ook is bekend dat de schijfloop beneden N 8 staven en het kamrad beneden O 43 kammen bevat. Om het ontbrekende aantal kammen C te vinden wordt berekend wat de verhoudingen zijn van de kamraderen en de schijflopen. We zien dat het moment M_{A_1} dat S en N genereren $M_{A_1} = S \cdot N = 12 \cdot 8 = 96$ is. Nu wordt de regel van drieën weer toegepast. Het moment M_{A_2} dat C en O genereren heeft de verhouding $G_{Wi_D} : G_{Wa_D} = M_{A_1} : M_{A_2}$ en dus $359 : 2047 = 96 : M_{A_2}$. We kunnen dan M_{A_2} vinden door $M_{A_2} = \frac{2047 \cdot 96}{359} = 544$ (zonder (tussendoor) afronden is dit $547\frac{139}{359}$). Doordat het kamrad O 43 kammen bevat, moet het onbekend aantal kamraderen C dus $\frac{544}{43} = 13$ kammen zijn.

Nu alle staven en kammen berekend zijn, kan de verhouding uitgerekend worden. We hebben nu dus S is 12 staven, C is 13 kammen O is 43 kammen en N is 8 staven. De verhouding V_{nieuw} is dus $V_{nieuw} = \frac{C \cdot O}{S \cdot N} = \frac{13 \cdot 43}{12 \cdot 8} = \frac{559}{96}$.

Er wordt nu in [6, p. 23] een controle berekening gedaan, om te kijken of het molenontwerp nu genoeg kracht genereert om het gewicht aan water te kunnen verplaatsen. Uitgaande van $V_{nieuw} = \frac{559}{96}$. Het gewicht dat op de wieken werkt hadden we zojuist berekend, namelijk $\frac{A_S \cdot G_{Wa}}{A_W} = \frac{\frac{79}{9} \cdot 4141}{17\frac{3}{4}} = 2047£$. Als we dit delen door de verhouding, dan krijgen we $\frac{2047}{\frac{559}{96}} = 315£$ aan water dat verplaatst moet worden (Dit is eigenlijk $351\frac{303}{559}£$, het lijkt op een verwisseling van getallen). Het totale oppervlakte van de wieken is $1278 voet^2$, zoals we zojuist zagen, dus voor het minimale gewicht aan wind die nodig is, is $\frac{1278}{315} = 4$ onc (zonder afronding komen we hier uit op $\frac{1278}{351} = 3\frac{13273125}{20936896}$ onc). We rekenden hierboven met $4\frac{1}{2}$ onc, dus de molen genereert genoeg kracht om het scheprad in beweging te krijgen.

**Dit is berekend door het aantal kammen en staven dat in [6, 21-22] bekend, of anders berekend, is.

We zien dus dat Stevin een aantal aanpassingen heeft gedaan aan het molenontwerp. De oppervlakte van de wieken is iets vergroot door de wieken te verbreden. Hierdoor kan er meer wind worden opgevangen. Daarnaast is de aandrijving aangepast, waardoor de verhouding aanzienlijk wordt verbeterd. De molen genereert hierdoor zo'n $4,45$ meer kracht. Dit is ook nodig, aangezien het scheprad aanzienlijk is vergroot. Er werkt hierdoor een groter gewicht aan water op het scheprad en de verplaatsing van het water per wiekslag is door deze vergroting meer dan verdubbeld, met een factor 2,38.

6 Conclusie

Simon Stevin heeft een grote bijdrage geleverd in de wiskunde zoals we die nu kennen. We kunnen dit heel letterlijk nemen, aangezien we het woord 'wiskunde' aan hem te danken hebben, evenals vele andere begrippen die Stevin heeft geïntroduceerd. Hiernaast heeft hij een enorme bijdrage geleverd door zijn vele werken over uiteenlopende zaken. Hij verbond in al zijn werken de theorie aan de praktijk en probeerde dit zo begrijpelijk mogelijk uiteen te zetten.

Met zijn berekeningen aan de molens laat Stevin zien dat hij door heeft hoe krachten worden doorgegeven. Zijn ingenieuze denkwijze heeft ervoor gezorgd dat hij het onmeetbare kon berekenen. Door de molen als model te zien, en vanuit het meetbare gewicht van het water, kon hij de winddruk berekenen. Aan de hand van deze winddruk kon hij vervolgens verbeteringen doorvoeren, zodat de molens effectiever kunnen laten werken. Dit is zeer vooruitstrevend voor de tijd waarin Stevin leefde.

Ik heb me met een almaar groeiende bewondering in de werken van Stevin verdiept. Hij liet duidelijk zien dat hij bedreven is in de wiskunde en hij maakte er werk van om dit zo duidelijk mogelijk, en in de Nederlandse taal, weer te geven.

7 Bronnen voor figuren

Bij een aantal bronnen is een spatie toegevoegd, zodat ze overzichtelijk in de tabel worden weergegeven.

Fig	Website	Geraadpleegde datum	Opmerking
1	http://stevincentre.com/	05-01-2017	
2	https://adcs.home.xs4all.nl/stevin/	05-01-2017	
3	https://adcs.home.xs4all.nl/stevin/ meetdaet/md2a.html	09-01-2026	
5	http://www.rhino3d.nl/pythposter/ pyth3dm.html	28-12-2016	
6	http://www.maa.org/press/ periodicals/convergence/in-these-numbers-we-use-no-fractions-a-classroom-module-on-stevins-decimal-fractions-de-thiende	04-01-2017	
8	https://www.archined.nl/2006/05/ stevins-de-huysbou-gereconstrueerd	04-01-2017	
9	http://www.stevin.info/rechts-simonstevin.html	04-01-2017	
10	http://cartography.geo.uu.nl/ www-linie/onbas.gif	28-12-2016	
11	[1]		
12	[1]		
13	http://www.molendatabase.org/ molendb.php	28-12-2016	
14	[1, p.193] en [7, p. 6]		Afkortingen aangepast
18	[1, p.193] en [7, p. 6]		Afkortingen aangepast
21	[1, p. 6]		
20	[1, p.193] en [7, p. 6]		Afkortingen aangepast en maten toegevoegd
21	[1, p. 6]		
22	[1, p. 6]		

Referenties

[1] E.J. Dijksterhuis, *Simon Stevin*, Martinus Nijhoff, 's-Gravenhage 1943

[2] Jozef T. Devreese, Guido Vanden Berghe, *'Wonder en is gheen wonder', De geniale wereld van Simon Stevin 1548-1620*, Davidsfonds NV, Leuven 2003

[3] Hossam Elkhadem; hoofdconservator: Dr. Raphaël De Smedt, *Simon Stevin (1548-1620); De geboorte van de nieuwe wetenschap*, Brepols Publishers, Turnhout 2004

[4] Henry Martyn Mulder, *The Changing Perception of Mathematics through History*, Nieuw Archief voor Wiskunde, 4e serie, deel 8 (1990), p.27–42.

[5] E.J. Dijksterhuis, C. De Waard, *Simon Stevin 1548-1620 door E. J. Dijksterhuis en Isaac Beeckman 1588-1637 door C. De Waard* Martinus Nijhoff, 's-Gravenhage 1941

[6] Hendrik Stevin, *Wisconstich Filosofisch Bedryf, X. Boek, Vanden Handel der Watermolens onses Vades Simon Stevin*, Philips de Cro-Y, Leiden 1667

[7] Wijnand Rekers, *Vant menghen der Spiegheling en Daet* Studievereniging A-Eskwadraat, Vakidioot Jaargang 07-08, nummer 2, Utrecht 2007-2008

[8] Christiaan Huygensweb, Lengtematen, *http://www.dwc.knaw.nl/biografie/christiaan-huygensweb/eenheden/lengtematen/*

[9] Simon Stevin, *Beghinselen des Waterwichts*, Druckerye van Christoffel Plantijn, by François van Raphelinghen, Leiden 1586

[10] Simon Stevin, *"Vande Spiegeling der Singkonst" et "Vande Molens". Deux Traités inédits.*, Dr. D. Bierens de Haan, Amsterdam 1884

8 Bijvoegsel

De onderstaande tekst is het werk *Vande Molens*, gepubliceerd door Dr. D. Bierens de Haan. Zijn publicatie heb ik gebruikt als een van mijn hoofdbronnen. Dit werk is nog niet online beschikbaar vandaar dat ik dit heb overgetypt en gebruikt als naslagwerk, voor de paragraaf 5. Het doel hierbij was niet om dit te gaan publiceren, maar om het te kunnen raadplegen. De gebruikte gegevens voor mijn scriptie heb ik rechtstreeks uit de bron gehaald, en niet uit dit naslagwerk. Aangezien dit werk nog niet online beschikbaar is, lijkt het me toegevoegde waarde te hebben om dit bij te voegen. Het werk kan typfouten bevatten en de plaatjes uit de originele bron ontbreken, dus voor de originele tekst verwijs ik naar [10].

[1] Overslach der
Zuyt Nootdorpsche molen

Langde der wiecke	$40\frac{1}{2}$ voet
Breede	$8\frac{1}{4}$ voet
Camrat boven	44 cammen
Schijfloop boven	13 staven
Schijfloop beneen	10 staven
Camrat beneen	52 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	$\frac{31}{6}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$\frac{31}{4}$ voet
Breede der lepels	$\frac{29}{24}$ voet
Commen onder tpeijl	$\frac{4}{3}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	4 voet

Hier uyt worden de volghende voorstellen beschreven
1^e voorstel
Te vinden met wat gewicht waters het scheprat verladen is, ende dat op eenich seker punt. Ick neemt opt swaerheytsmiddelpunt des ghepranghs van het leeghste water.

De somme des wercx is dese, men sal vinden tghewicht tegen de lepel van achter persende, opt swaerheijts middelpunt des geprangs: daer na tghewicht datter van vooren perst, op een punt soo verre vanden as, als het swaerheijts middelpunt des gheprangs van tleeghste water daer af is.

Daer na ghetrocken tcleenste ghewicht van grootste, de rest is tbegeerde. *Tghegheuen.* Laet AB deen sijde des lepels beteeckenen, lanck alsboven $\frac{31}{4}$, breet $\frac{29}{24}$, ende BC sij de hooghde des binnewaters van $\frac{4}{3}$ ende BD $\frac{4}{9}$ sij het derdendeel van BC ende D sal swaerheijtsmiddelpunt sijn des geprangs, deur het 18^e voorstel der beghinselen des waterwichts, ende ghetrocken die $\frac{4}{9}$ van AB $\frac{31}{4}$, blijft voor AD $\frac{263}{36}$.

Laet nu EF dander sijde des lepels beteeckenen en FG sij de hoogde des buytewaters van $\frac{16}{3}$, want na luijt der beschriving hiervoor, tbinnewater staet tegen de lepel hooch $\frac{4}{3}$ ende het buytewater noch 4 voet hoogher, maken tsamen als vooren $\frac{16}{3}$: Ende HF $\frac{19}{9}$ sij het derdendeel van FG, ende H sal swaerheijts middelpunt sijn des geprangs.

Ende ghetrocken HF $\frac{16}{9}$ van EF $\frac{31}{4}$, blijft voor EH $\frac{215}{36}$. Laet nu ghestelt worden het punt I, alsoo dat EI even si jan AD doende $\frac{263}{36}$. *Tbegheerde.* Wij moeten vinden hoe veel gewichts de lepel vooren meer heeft dan achter, ende dat op D, ofte, welck tselve is, op t punt I. Twerck. Ick vinde deur het 15^e voorstel der beghinselen des waterwichts, dat teghen het lepeldeel BC, perst $\frac{29}{27}$ voet, wiens swaerheijtspiddelpunt des geprangs is D. Teghen het lepeldeel FG perst $\frac{3712}{216}$ voet, ende dat opt swaerheijts middelpunt H, de selve doen an I $\frac{3034}{216}$, want ick segh EI $\frac{263}{36}$ gheven $\frac{3712}{216}$, wat EH $\frac{21}{36}$? Comt alsvooren $\frac{3034}{216}$ voet, die weghen (rekenende 65 £voor de voet) 913 £, daer af ghetrocken de bovengeschreven $\frac{29}{27}$ voet, wegende 69 £, blijft voor tbegeerde 844 £, dieder perssen opt punt I inde selfde hoogde van tswaerheijts middelpunt D, des geprangs van tleegste water.

2^e voorstel.

Te vinden wat reden de keeren der wiecken, teghen de keeren des scheprats hebben.

Ick menigvuldighe doenders met doenders, als 44 cammen van boven, met 10 staven van beneen, comt 440, daer na lijders met lijders, als 13 staven van boven, met 52 cammen van beneen (want sulck is de meenichte der cammen en staven deur de voorgaende beschrivingh van dien) comt 676, ende de reden den uytbrenghs der lijders als 676, totten uytbrengh der doenders als 440, is de begeerde reden vande keeren der wieken tottet scheprat, dat is, de wiecken $\frac{676}{440}$ mael ofte $1\frac{59}{110}$, tegen tscheprat eens.

3^e voorstel.

De ghewelt van yder voet seijls te vinden.

Tmiddel vande wieck is $20\frac{1}{4}$ voet vant middel vanden as, daerom sullen wij vinden tghewicht daer scheprat mede verladen is, oock op $20\frac{1}{4}$ voet van tmiddel vande wateras, segghende $20\frac{1}{4}$ voet vande halve wieck, gheeft 844 £persinghe, wat AD $\frac{263}{36}$? Comt 304 £; Nu soo de wiecken even soo dickwils draeijden als tscheprat, soos oude de macht der wiecken sijn van 304 £, maer sij draijen $\frac{676}{440}$ maer [sic] soo rasch, deur het 2^e voorstel, daerom gedeelt 304 deur die reden der keeren als $\frac{676}{440}$, comt voor de macht der wiecken evestaltwichtich teghen de last des scheprats 197 £. Nu moet ick hebben de vlacke grootheijt der vier wiecken, daerom menichvuldighe ick haer langde deur breede, dats $40\frac{1}{2}$ voet deur $8\frac{1}{4}$ (soo langch end ebreet sijnse deur de voorgaende beschrijvinghe) maect $\frac{2673}{8}$ voet, voor een wieck, de selve vier mael, comt voor de vier wiecken $1336\frac{1}{2}$ voet, der selver ghewelt is van 197 £. daerom gerekent 16 oncen opt pont, soo comt yder voet seyls te doen de gewelt van $2\frac{430}{1336}$ oncen.

4^e voorstel.
Te vinden hoe stijf de stauen teghen de cammen perssen.

Aengesien dat opt swaerheyts middelpunt des leeghsten waters, dats op $\frac{263}{36}$ voeten van tmiddel vanden as, perst 844 £deur het je voorstel ende dat het middel vande cammen na de voorgaen beschrijvinghe $\frac{31}{6}$ voet van tmiddel van den as is, soo segh ick, $\frac{31}{6}$ gheeft 844 £, wat $\frac{263}{36}$ voet van AD? comt 1193 £, ende soo stijf perssen de staven teghen de cammen des ondersten camrats opt middel der cammen berekent. Om voort te vinden hoe stijf de bovenste staven tegen de cammen perssen, ick segh: ghelijck de middellijn des schijfloops beneden, tot de middellijn des schijfloops boven, alsoo de perssinge boven, tot de persinge beneden.

5^e voorstel.
Te vinden hoe veel waters datter met elcken keer der wiecken deurgaet, als tbinnenwater op sijn somerpeyl is.

Want des scheprats half middellijn doet $\frac{31}{4}$, ende de breede der lepels $\frac{29}{24}$, soo is tgeheel lichaem (te weten den ronden pilaer beschreven deur een keer der lepels) groot 228 voet. Hier af moet ghetrocken sijn het middeldeel des scheprats datter buyten het binnewater gaet, tselve deel is een ronde pilaer diens gront halfmiddellijn AC doet $\frac{77}{12}$, tselve lichaem is groot 156 voeten, die getrocken vande voorsz. 228 voet blijft 72 voet. Dit gaet eens om in $\frac{676}{440}$ keeren der wiecken; daerom ghedeelt 72 deur $\frac{676}{440}$, comt met elcken keer der wiecken 46 voeten waters.

[2] Overslach der
Noort Nootdorpsche molen

Langde der wiecke	$40\frac{1}{2}$ voet
Breede	$8\frac{1}{4}$ voet
Camrat boven	48 cammen
Schijfloop boven	13 staven
Schijfloop beneen	9 staven
Camrat beneen	53 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	
Scheprats halfs middellijn	$7\frac{11}{12}$ voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{6}$ voet
Commen onder tpeijl	$\frac{4}{3}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	4 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

[NB. Finit ici, probablement puisque un des nombres nest pas donné.]

[3] Overslach der

Westescamp molen

Langde der wiecke	33 voet
Breede	$8\frac{10}{12}$ voet
Camrat boven	52 cammen
Schijfloop boven	
Schijfloop beneen	
Camrat beneen	
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	
Scheprats halfs middellijn	$6\frac{1}{6}$ voet
Breede der lepels	
Commen onder tpeijl	$1\frac{7}{12}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$3\frac{10}{12}$ voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

[NB. Finit ici, probablement puisque les données manquent.]

[4] Overslach der

Pynackersche molen aen de brugghe.

Langde der wiecke	41 voet
Breede	$7\frac{1}{2}$ voet
Camrat boven	50 cammen
Schijfloop boven	13 staven
Schijfloop beneen	10 staven
Camrat beneen	53 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	
Scheprats halfs middellijn	8 voet
Breede der lepels	$\frac{11}{8}$ voet
Commen onder tpeijl	$\frac{7}{6}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	5 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{539}{576}$ voet ende dat op D teghen FG perst $\frac{15059}{576}$ voet ende dat op H, die doen an I $\frac{29003634}{1420416}$ want ick segh EI $\frac{137}{18}$ gheven $\frac{15059}{576}$ wat EH $\frac{107}{18}$? Comt als vooren $\frac{19003634}{1420416}$ voet die weghen 1327 £daer af getrocken de $\frac{539}{576}$ voet, weghende 60 £blijft 1267 £daer tscheprat mede verladen opt swaerheyts middelpunt des leeghsten waters als D.

De ghewelt van yder voet seyls te vinden.

$20\frac{1}{2}$ voet halve wieck gheeft 1267 £persinge wat AD $\frac{137}{18}$? Comt 470 £die gedeelt deur reden der keeren $\frac{689}{500}$ comt 341 £die ghedeelt deur 1230 voet der vier seylen comt yder voet seyls te doen de ghewelt van $4\frac{536}{1230}$ oncen.

[5] Overslach der
Nieu achtcante molen byden Hage.

Langde der wiecke	$38\frac{1}{3}$ voet
Breede	$8\frac{1}{4}$ voet
Camrat boven	51 cammen
Schijfloop boven	12 staven
Schijfloop beneen	10 staven
Camrat beneen	53 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	
Scheprats halfs middellijn	$6\frac{1}{3}$ voet
Breede der lepels	$\frac{17}{12}$ voet
Commen onder tpeijl	$\frac{7}{4}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	3 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC persts $\frac{833}{384}$ voet ende dat op D Teghen FG perst $\frac{6137}{384}$ voet ende dat op H die doen an I $\frac{466412}{35328}$ want ick segh EI $\frac{23}{4}$ gheven $\frac{6137}{384}$ voet, wat EH $\frac{19}{4}$? Comt alsvooren $\frac{466412}{35328}$ voet die weghen 858 £daer af getrocken de $\frac{833}{184}$ voet wegende 141 £blijft 717 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheyts middelpunt des leeghsten waters als D.

De ghewelt van yder voet seyls te vinden.

$19\frac{1}{6}$ voet halve wieck gheeft 717 £persinge wat AD $\frac{23}{4}$? Comt 215 £, die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{636}{510}$ comt 172 £die gedeelt deur 1265 der vier seylen comt yder voet seyls te doen de geweld van $2\frac{222}{1265}$ oncen.

[6] Overslach der
Craylinger achtcante molen.

Langde der wiecke	$35\frac{1}{2}$ voet
Breede	$7\frac{1}{2}$ voet
Camrat boven	53 cammen
Schijfloop boven	12 staven
Schijfloop beneen	9 staven
Camrat beneen	52 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	4 voet
Scheprats halfs middellijn	$7\frac{5}{6}$ voet
Breede der lepels	1 voet
Commen onder tpeijl	$1\frac{1}{3}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	4 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{8}{9}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{128}{9}$ voet ende dat op H die doen an I $\frac{251136}{21456}$ [lisez: 21546] want ick segh EI $\frac{133}{18}$ gheven $\frac{128}{9}$ wat EH $\frac{109}{18}$ comt alsvooren $\frac{251136}{21546}$ voet die weghen 757 £daer af getrocken de $\frac{8}{9}$ £[lisez: voet] weghende 57 £blijft 700 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters als D.

De ghewelt van yder voet seijls te vinden.

$17\frac{3}{4}$ voet, halve wieck, geeft 700 £persinge wat AD $\frac{133}{18}$? Comt 291 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{208}{159}$ comt 222 £die ghedeelt deur 1065 voeten der vier seijlen, comt yder voet seijls te doen de ghewelt van $3\frac{357}{1065}$ oncen.

[7] Overslach der
Craylingher Wipmolen.

Langde der wiecke	34 voet
Breede	$7\frac{1}{2}$ voet
Camrat boven	47 cammen
Schijfloop boven	12 staven
Schijfloop beneen	
Camrat beneen	56 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	$5\frac{1}{4}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$7\frac{1}{2}$ voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{6}$ voet
Commen onder tpeijl	1 voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	4 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{7}{12}$ voet ende dat op D. Tegen FG perst $\frac{175}{12}$ voet ende dat op H, die doen an I $\frac{36750}{3096}$ want ick segh EI $\frac{43}{6}$ gheven $\frac{175}{12}$ wat EH $\frac{35}{6}$? Comt alsvooren $\frac{36750}{3096}$ voet die weghen 771 £daer af getrocken de $\frac{7}{12}$ voet weghende 38 £, blijft 733 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters als D.

De ghewelt van yder voet seyls te vinden.

17 voet halve wieck gheeft 733 £persinge wat AD $\frac{43}{6}$? Comt 309 £die ghedeelt deur $\frac{672}{423}$ reden der keeren comt 194 £, die ghedeelt deur 1020 voet der vier seijlen comt yder voet seijls te doen de ghewelt van $3\frac{44}{1020}$ oncen.

[8] Overslach der

Leeghste staende Brouckscha molen by Ysselsteyn.

Langde der wiecke	37 voet
Breede	$7\frac{1}{4}$ voet
Camrat boven	44 cammen
Schijfloop boven	13 staven
Schijfloop beneen	10 staven
Camrat beneen	48 cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	$4\frac{2}{3}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$7\frac{1}{3}$ voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{3}$ voet
Commen onder tpeijl	$2\frac{5}{12}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$1\frac{10}{12}$ voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{1682}{432}$ voet ende dat op D Teghen FG perst $\frac{289}{24}$ voet ende dat op H die doen an I $\frac{738684}{67680}$ want ick segh EI $\frac{235}{36}$ gheven $\frac{289}{24}$ wat EH $\frac{71}{12}$? Comt alsvooren $\frac{738684}{67680}$ voet die weghen 709 £daer af getrocken de $\frac{1682}{432}$ voet weghende 253 £blijft 456 £daer daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters als D.

De ghewelt van yder voet seyls te vinden.

$18\frac{1}{2}$ voet halve wieck gheeft persinghe 456 £wat AD $\frac{235}{36}$? Comt 160 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{624}{440}$ comt 112 £, die ghedeelt deur 1073 voet der vier seijlen comt yder voet seijls te doen de ghewelt van $1\frac{719}{1078}$ oncen.

[9] Overslach der
Hoochst staende Brouckschе molen by Ysselsteyn.

Langde der wiecke	36 voet
Breede	$7\frac{1}{4}$ voet
Camrat boven	45 cammen
Schijfloop boven	12 staven
Schijfloop beneen	9 staven
Camrat beneen	5[0] cammen
Camrats halfmiddellijn tot optmiddel der kammen	$4\frac{7}{12}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$6\frac{11}{212}$ voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{2}$ voet
Commen onder tpeijl	$1\frac{3}{4}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$2\frac{2}{3}$ voet

[10] Overslach der
Ghinste molen in Sarlois.

Langde der wiecke	$33\frac{1}{2}$ voet
Breede	$7\frac{1}{2}$ voet
Camrat boven	51 cammen
Schijfloop boven	14 staven
Schijfloop beneen	10 staven
Camrat beneen	63 cammen
Scheprats halfs middellijn	$7\frac{1}{3}$ voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{4}$ voet
Commen onder tpeijl	$1\frac{1}{2}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$4\frac{1}{3}$ voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{45}{32}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{6125}{288}$ voet ende dat op H die doen an I $\frac{3564750}{212544}$ want ick segh EI $\frac{41}{6}$ gheven $\frac{6125}{288}$ wat EH $\frac{97}{18}$? Comt alsvooren $\frac{3564750}{212544}$ voet die weghen 1090 £daer af getrocken de $\frac{45}{32}$ voet weghende 91 £blijft 999 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leechsten waters als D.

De ghewelt van yder voet seyls te vinden.

$16\frac{3}{4}$ voet halve wieck gheeft 999 £persinge wat AD $\frac{41}{6}$? Comt 407 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{882}{510}$ comt 235 £die ghedeelt deur 1005 voet der vier wicken comt yder voet seijls te doen de ghewelt van $3\frac{745}{1005}$ oncen.

[11] Overslach der
Streefkercksche middel molen.

Langde der wiecke	38 voet
Breede	$7\frac{1}{2}$ voet
Camrat boven	
Schijfloop boven	
Schijfloop beneen	
Camrat beneen	
Scheprats halfs middellijn	$7\frac{1}{2}$ voet
Breede der lepels	
Commen onder tpeijl	$2\frac{3}{4}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$2\frac{1}{2}$ voet

[12] Overslach der
Beyersche molen te Stolck.

Langde der wiecke	
Breede	
Camrat boven	47 cammen
Schijfloop boven	13 staven
Schijfloop beneen	9 staven
Camrat beneen	47 cammen
Scheprats halfs middellijn	7 voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{6}$ voet
Commen onder tpeijl	$\frac{13}{12}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$4\frac{1}{2}$ voet

[13] Overslach der
Molen opt hof van Delf.

Langde der wiecke	35 voet
Breede	8 voet
Camrat boven	48 cammen
Schijfloop boven	13 staven
Schijfloop beneen	9 staven
Camrat beneen	56 cammen
Scheprats halfs middellijn	7 voet
Breede der lepels	$1\frac{1}{6}$ voet
Commen onder tpeijl	$\frac{13}{12}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$4\frac{1}{2}$ voet

[14] Overslach der

Molen tot Escamp na de nieu manier.

Langde der wiecke	$33\frac{1}{2}$ voet
Breede	10 voet
Scheprats halfs middellijn	8 voet
Breede der lepels	$3\frac{1}{2}$ voet
Commen onder tpeijl	$2\frac{2}{3}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$3\frac{5}{6}$ voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{112}{9}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst 1183 [voet] ende dat op H die doen [a] I $\frac{372645}{6144}$ want ick segh EI gheven $\frac{1183}{16}$ wat EH $\frac{35}{6}$? Comt alsvooren $\frac{372645}{6144}$ voet die weghen 3942 [£] daer af getrocken de $\frac{112}{9}$ voet weghende 809 £blijft 3133 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters als D. Te veroirdenen reden der keeren deser wiecken tot het scheprat alsoo dat yder voet seyls doe de ghewelt van 3 oncen. Ick vinde eerst de platte grootheijt der vier wiecken meenichvuldighende de langde $33\frac{1}{2}$ deur de breede 10 maect voor den wieck 335 die viermael comt voor de vier wiecken 1340 voeten, de selve menichvuldighe ick met de 3 oncen, comt voor de ghewelt der vier wiecken 251 £ende dit opt middelpunt der wiecke dats op $16\frac{3}{4}$ voet van tmiddel vanden as. Nu soo tpunt D des gheprangs der 3133 £oock waer $16\frac{3}{4}$ [] van tmiddel vande wateras soo soudemen segghen de recden der keeren te moeten wesen van 3133 £tot 251, maer dat gheprang op D alleenlick wesende $\frac{64}{9}$ voet vantmiddel vanden as, soo moeten wij dat vinden op $16\frac{3}{4}$ voet seggende $16\frac{3}{4}$ gheven 3133 wat $\frac{64}{9}$? Comt 1330. Ick segh dan dat de reden der keeren moet sijn van 1330 tot 251, daerom ghedeelt 1330 deur 251 comt $5\frac{75}{251}$ ende soo menichmael sullen de wiecken moeten ommegaen teghen tscheprat eens.

Te veroirdenen de menichte van cammen en staven om te cryghen ten naesten by de boueschreuen reden der keeren van 1330 tot 251.

Ghenomen dat ick aensiende de grootheijt des camrats ende de behoirlicke dickte der cammen ende der staven die daer tussen commen moeten, soo veroirden ick het camrat beneen met 47 cammen, het schijfloop daertoe met 12 staven ende het schijfloop aende wieckas met 16 staven. Vrage hoe veel cammen het croonradt sal moeten hebben om de begheerde reden der keeren te crijghen. Ick stelle de voornomde [sic] 16. 12 en 47 in oirden ende 0 ter plaets daer tgetal der begheerde cammen moet staen als hier onder segghende 16 mael 12 is 192, die stel ick daer neven aldus:

16. 12. 192 0. 47.

Nu ist kennelick dat ter plaets van 0 een tetal moet staen soodanich dattet selve ghemenichvuldicht met 47 gheve den uytbrengh die sulcken reden hebben tot 192 als 1330 tot 251. Om tselve te vinden ick segghe 251 gheeft 1330 wat 192? Comt 1017 die stel ick onder de 192. Nu aenghesien tgetal ter plaets van 0 gemenichvuldight met 47 moet maken 1017, soo deel ick 1017 deur de 47 comt ten naesten bij 21 ende soo veel cammen sal het croonrat hebben. Ende de ghestalt der werckinge sal sijn als hier onder

16. 12. 192
21. 47. 1017.

Doch alsoo 21 mael 47 maer uytenbrenghen 987, soo en salder eijghentlicke reden der keeren int ghemaeckte werck maer sijn van 987 tot 192 als hieronder

16. 12. 192
21. 47. 987.

Ick segghe dan dattet schijfloop aende wieckas sal hebben	16 staven
Het croonrat	21 cammen
Het schijfloop beneen	12 staven
Het camrat beneen	47 staven
Ende tselve camrat ghemaect wesende soo is sijn half middellijn tot opt middel der cammen	$5\frac{1}{2}$ voet

Proef.

Somen nu den proef wil doen ende sien of yder voet wiecks hier mede de begheerde ghewelt uytbrenght ten naesten bij van 3 oncen men doe na de leeringhe des 3^e voorstels int j^e overslach aldus.

$16\frac{3}{4}$ voet halve wieck gheeft 3133 £persinge, wat AD $\frac{64}{9}$? Comt 1330 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{987}{192}$ comt 258 £die ghedeelt deur 1340 voet der vier wiecken comt yder voet wieck te doen de ghewelt van $3\frac{108}{1340}$ oncen.

Het is wel waer datter maer begheert en was 3 oncen doch dit verschil is soo cleen dat bij aldienmen int croonrat maeckt een cam meer en stelde als 22 cammen, soo soudet dan min vallen als 3 oncen, te weten $2\frac{1256}{1340}$ oncen.

[15] Overslach der
Stolwyckse molen na de nieu manier.

Langde der wiecke	40 voet
Breede	$9\frac{1}{2}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$10\frac{1}{6}$ voet
Breede der lepels	$3\frac{1}{2}$ voet
Commen onder tpeijl	$4\frac{1}{6}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	4 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{4375}{144}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{16807}{144}$ voet ende dat op H die doen aen I $\frac{10134621}{102384}$ want ick segh EI $\frac{79}{9}$ gheven $\frac{16807}{144}$ wat EH $\frac{67}{9}$? Comt alsvooren $\frac{10134621}{102384}$ voet die weghen 6434 £daer af getrocken de $\frac{4375}{144}$ voet weghende 1974 £blijft 4460 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters als D.

Te veroirdenen reden der keeren deser wiecken tottet scheprat alsoo dat yder voet seyls doe de ghewelt van $3\frac{1}{4}$ oncen.

1520 voet der vier seijlen gemenichvuldicht met $3\frac{1}{4}$ oncen comt 308 £. Voort 20 voet halve wieck gheeft 4460 £des gheprangs wat AD $\frac{79}{8}$ [liezes $\frac{79}{9}$]? Comt 1957 daerom segh ick dat de reden der keeren sal sijn van 1957 tot 308.

Te veroirdenen de menichte van cammen en stauen om te cryghen ten naesten by de boueschreuen reden der keeren van 1957 tot 308.

Ghenomen voor tschijfloop aende wieckas, 12 staven voor tschijfloop beneen 8 staven, voor tcamrat beneen 43 cammen. Vraghe hoe veel cammen het croonrat sal moeten hebben om de begeerde reden der keeren te crijghen?

Ick segh 12 mael 8 is 96. Voort 308 minste pael gheeft 1957 meeste pael wat 96? Comt 609 die ghedeelt deur de 43 cammen comt voort croonrat 14 cammen.

Dese 12 staven boven 14 cammen int croonradt, 8 staven beneen ende 43 cammen int camrat brenghen uyt reden der keeren van 301 tot 48.

Prouf.

Om nu te sien of yder voet seijls hiermede de begheerde ghewelt uyt brengt te nneasten bij van $3\frac{1}{4}$ oncen, ick segh 20 voet halve wieck gheeft 4460 £persinge wat AD $\frac{79}{9}$? Comt 1957 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{301}{48}$ comt 312 £die ghedeelt deur de 1520 voeten der vier seijlen comt yder voet seijls te doen de ghewelt van $3\frac{432}{1520}$ oncen.

[16] Overslach der

Broucksche molen by Yselsteyn na de niee manier.

Langde der wiecke	39 voet
Breede	10 voet
Scheprats halfs middellijn	$10\frac{11}{24}$ voet
Breede der lepels	$3\frac{3}{4}$ voet
Commen onder tpeijl	3 voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$4\frac{1}{2}$ voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{135}{8}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{3375}{32}$ voet ende dat op H die doen aen I $\frac{15471000}{174336}$ want ick segh EI $\frac{227}{24}$ gheven $\frac{3375}{32}$ wat EH $\frac{191}{24}$? Comt alsvooren $\frac{15471000}{174336}$ voet die weghen 5768 £daer af getrocken de $\frac{135}{8}$ voet weghende 1096 £blijft 4672 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leegschten waters als D.

Te veroirdenen reden der keeren deser wiecken tottet scheprat alsoo dat yder voet seyls doe de ghewelt van $3\frac{3}{4}$ oncen.

1560 voet der vier seijlen gemenichvuldicht met $3\frac{3}{4}$ oncen comt 365 £voort $19\frac{1}{2}$ voet halve wieck gheeft 4672 £des gheprangs wat AD $\frac{227}{24}$? Comt 2266, daerom segh ick dat de reden der keeren sal sijn van 2266 tot 365.

Te veroirdenen de menichte van cammen en stauen om te crijghen ten naesten bij de boueschreuen reden van 2266 tot 365.

Ghenomen aende wieckas 16 staven, voor tschijfloop beneen 8 staven, voor tcamrat beneen 45 cammen. Vraghe hoe veel cammen het croonrat zal moeten hebben om de begheerde reden der keeren te krijghen?

Ick segh 16 mael 8 is 128. Voort 365 minste pael gheeft 2266 meeste pael wat 128? Comt 794 die ghedeelt deur de 45 comt voor tcroonrat $17\frac{29}{45}$ daer ick voor neem 18 cammen.

Dese 16 staven boven, 18 cammen int croonrat, 8 staven beneen ende 45 cammen int camrat brengen uyt reden der keeren van 810 tot 128.

Prouf.

Om nu te sien of yder voet seijls hier mede de begheerde ghewelt uytbrenght ten naesten bij van $3\frac{3}{4}$ oncen ick segh $19\frac{1}{2}$ voet halve wieck gheeft 4672 £persinge, wat AD $\frac{227}{24}$? Comt 2266 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{810}{128}$ comt 362 £die ghedeelt deur de 1560 voeten der vier seijlen comt yder voet seijls te doen de ghewelt van $3\frac{1112}{1560}$ oncen.

[17] Overslach der
Craeylingher molen na de nieu manier.

Langde der wiecke	39 voet
Breede	10 voet
Scheprats halfs middellijn	$10\frac{11}{24}$ voet
Breede der lepels	$3\frac{3}{4}$ voet
Commen onder tpeijl	$3\frac{1}{2}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	4 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{735}{32}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{3375}{32}$ voet ende dat op H die doen aen I $\frac{15471000}{171264}$ want ick segh EI $\frac{228}{24}$ gheven $\frac{3375}{32}$ wat EH $\frac{191}{24}$? Commt alsvooren $\frac{15471000}{171264}$ voet die weghen 5871 £daer af getrocken de $\frac{735}{32}$ voet weghende 1492 £blijft 4379 £daer het scheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters als D.

Te veroirdenen reden der keeren deser wiecken tottet scheprat alsoo dat yder voet seyls doe de ghewelt van [pas plus loin continu'e].

[18] Overslach der
Robbenoirtsche molen na de nieu manier.

Langde der wiecke	19 voet
Breede	$10\frac{1}{2}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$6\frac{1}{2}$ voet
Breede der lepels	$2\frac{3}{4}$ voet
Commen onder tpeijl	$2\frac{1}{2}$ voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	$2\frac{1}{2}$ voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{275}{32}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{275}{8}$ ende dat op H die doen aen I $\frac{23925}{816}$ want ick segh EI $\frac{17}{3}$ gheven $\frac{275}{8}$ wat EH $\frac{29}{6}$? Comt alsvooren 23925 voet die weghen 1905 £daer af getrocken de $\frac{275}{32}$ voet weghende 558 £blijft 1347 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheijts middelpunt des leeghsten waters, als D.

Te veroirdenen reden der keeren deser wiecken tottet scheprat alsoo dat yder voet seyls doe de ghewelt van $2\frac{3}{4}$ oncen.

798 voet der vier seijlen ghemenichvuldicht met $2\frac{3}{4}$ oncen comt 137 [£]. Voort $9\frac{1}{2}$ voet der halve wieck gheeft 1347 £des geprangs wat AD $\frac{17}{3}$? Comt 803 [£], daerom segh ick dat de reden der keeren sal sijn van 803 tot 137.

Te veroirdenen de menichte van cammen en stauen om te cryghen ten naesten by de bouescheuen reden van 803 tot 137.

Zij ghenomen voor tschijfloop aende wieckas 12 staven, voor tschijfloop beneen 8 staven, voor tcamrat 35 cammen. Vraghe hoe veel cammen het croonradt sal moeten hebben om de begheerde reden der keeren te crijghen?

Ick segh 12 mael 8 is 96, voort 137 minste pael gheeft 803 meeste pael wat 96? Comt 562 die ghedeelt deur 35 cammen, comt voor tcroonradt 16 cammen.

Dese 12 staven boven, 16 cammen int croonradt 8 staven beneen en 35 cammen int camrat brenghen uyt reden der keeren van 560 tot 96.

Prouf.

Om nu te sien of yder voet seijls hiermede de begeerde gewelt uytbrengt ten naesten bij van $2\frac{3}{4}$ oncen. Ick segh $9\frac{1}{2}$ voet der halve wieck gheeft 1347 £peringe wat AD $\frac{17}{3}$? Comt 803 £die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{560}{96}$ comt 137 £die ghedeelt deur de 798 voet der vier seylen comt yder voet seyls te doen de ghewelt van $2\frac{596}{798}$ oncen.

[19] Overslach der

Molen tsoeteroude na de nieu manier.

Langde der wiecke	16 voet
Breede	$5\frac{1}{2}$ voet
Scheprats halfs middellijn	$5\frac{3}{8}$ voet
Breede der lepels	$2\frac{5}{6}$ voet
Commen onder tpeijl	3 voet
Verschil des hoochsten en leeghsten waters	2 voet

Hier uyt volght het nabeschreuen

Teghen BC perst $\frac{153}{12}$ voet ende dat op D. Teghen FG perst $\frac{425}{12}$ voet ende dat op H, die doen aen I $\frac{30260}{1008}$, want ick segh EJ $\frac{35}{8}$ gheven $\frac{425}{12}$ wat EH $\frac{89}{24}$? Comt alsvooren $\frac{30260}{1008}$ voet die weghen 1951 £daer af getrocken de $\frac{153}{12}$ voet weghende 828 £blijft 1123 £daer tscheprat mede verladen is opt swaerheyts middelpunt des leechsten waters als D.

Te veroirdenen reden der keeren deser wiecken tottet scheprat alsoo dat yder voet seyls doe de ghewelt van $2\frac{2}{3}$ oncen.

325 voet der vier seylen ghemenichvuldight met $2\frac{2}{3}$ oncen comt 58 £, voort 8 voet der halve wieck gheeft 1123 £des gheprangs wat AD $\frac{35}{8}$? Comt 614 daerom segh ick dat de reden der keeren sijn sal van 614 tot 58.

Te veroirdenen de menichte van cammen en staven om te cryghen ten naesten by de boueschreuen reden der keeren van 614 tot 58.

Ghenomen voor tcamrat aende wieckas 25 cammen het schijfloop onder aende groote spille 6 staven het sterrerat daer in draeyende 20 cammen, het schijfloop beneden 8 staven, het camrat beneden 40 cammen. Vraghe hoe veel staven het schijfloop boven aende spille sal moeten hebben om de begheerde reden der keeren te cryghen.

Ick segh 25 mael 6 is 150 de selve deur 8 maeckt 1200. Voort 58 minste pael gheet 614 meeste pael wat 1200? Comt 12703, die gedeelt deur 20 mael 40 dats deur 800 comt voor tschijfloop boven $15\frac{703}{800}$, daer voor ghenomen syn 16 staven.

Dese 25 cammen aende wieckas 16 staven int schijfloop boven, 6 staven onder int schijfloop aende groote spille, 20 cammen inde sterre acht staven int schijfloop beneen, 40 cammen int camrat beneen brenghen uyt reden der keeren van 32 tot 3.

Prouf.

Om nu te sien of yder voet seyls hiermede de begeerde gewelt uytbrenght ten naesten by van $2\frac{2}{3}$ oncen ick segh 8 voet der halve wieck gheeft 1123 £persinge wat AD $\frac{35}{8}$? Comt 614 £, die ghedeelt deur reden der keeren $\frac{32}{3}$ comt 57 £, die ghedeelt deur 352 voeten der vier seylen comt yder voet seyls te doen de ghewelt van $2\frac{208}{352}$ oncen.

Vertooch.

Wesende de halfmiddellijn eens ronts vast opt middelpunt, de reste draeijende int ront. Die cromme voorganck der halfmiddellijn is euen an een rechte voortganck soo lanck wesende als des halfmiddellijns middelpunts cromme voortganck.

Tghegheuen. Laet AB wesen de half middellijn des ronts BCD vast op des ronts middelpunt A ende draeijende van B na C van daer na D ende soo voorts tot datse weder comt ter plaets daerse eerst begost ende den omtreck beschreven van de middellijns middelpunt E sij EF, laet voor EG een rechte lijn wesen rechthouckich op AB ende even aenden omtreck EF.

Tbegheerde. Wij moeten bewijsen dat den crommen voortganck der half middellijn AB int ront BCD even is aenden rechten voortganck derselve lijn van E tot G, dat is hoe wel het uijterste punt B der lijn AB den langsten wech gaet ende alle andere punten een corter, te weten hoe naerder A hoe corter dat nochtans dien heelen crommen voortganck der lijn AB van C tot G (corter deelen met langer atsamen even sijn aenden rechten voortganck).

Tbereytsel. Laet gheteijckent worden het punt H int middel van AE ende I int middel van EB voor de lijnen AK, HL, IM, BN alle even ende evenwijdighe met EG daer na de lijn KN. Laet voort beschreven worden opt punt A de twee ronden HO ende IP deur de punten H ende I.

Tbewijs. Anghesien de halfmiddellijn AB ghedeelt is in vier even stucken als AH, HE, EI, IB, soo heeft inden omganck des selfden half middellijns yder stick sijn plat deel beschreven, welcke vier deelen altsamen makende het ront BCD sijn even aenden rechthouck AN deur het voorstel des Archimedes. Boven dien so sijn de ronde deelen vande selfde breede der rechten deelen want AH, HE, EI, IB sijn haer beijder ghemeene breeden, daerom ist nootsakelick die vier cromme deelen altsamen vande selfde langde sijn als de vier rechte deelen des rechthoucx AN, want sonder dat sij en soudender niet even mede connen wesen twelck teghen tghestelde waer. Besluyt wesende dan de half middellijn eens ronts enz.

Ander telcontich bewys.

De langde der vier rechthoucken AL, HG, EM, IN altsamen ofte dattet selve is de langde der lijn AK viermael is corter dan de buytentste sijden altsamen der vier deelen daer tront BCD in gedeelt is, maer langer dan de binnenste sijden der selve vier deelen twelck aldus bewesen wort. Laet den omtreck OH doen 1 duym soos al den omtreck EF doen 2 duym, want AE is dobbel aen AH ende om der ghelijcke reden sal den omtreck IP doen 3 duym ende den omtreckt DB 4 duhm, comt tsamen 10 duym. Nu alsoo de lijn AK evn is aen tront EF doende 2 duym soo doe de lijn AK 2 duym de selve viermael maeckt 8 duym twelck (soo wij boven geseyt hebben) min is dan 10 duym der vier omtrecken. Ten anderen de vier binnenste syden der voornombde vier deelen daer tront BCD in gedeelt is als 3, 2, 1, 0 maken tsamen 6 duym die minder sijn dan de 8 duym der lijn AK viermael. Inder voughen dat soo wy gheseyt hebben de lijn AK viermael is corter dan de vier buytentste sijden der vier deelen daer het ront BCD in ghedeelt is maar langer dan de binnenste sijden der selver haer reden dan daer sijn in bestaen is 6. 8. 10 twelck in minder paelen comt 3. 4. 5.

Nu ghelyck wij deur deelinge der halfmiddellijn AB in vier even deelen hier gevonden hebben dese 3. 4. 5. Alsoo sullen ij deur deelinghe in vyven vinden 4. 5. 6. Ende deur deelinghe in sesesn 5. 6. 7. Ende soo oirdentlick oneyndelick voort. Inder voughen, dat soomen van vooren aen begonde men soude vinden dusdanighen voortganck.

Waer uyt blijckt dat de some der rechte sijden altyt blijft tusschen de twee sommen der langhste en cortste cromme sijden; Twelck soo verstaen sijnde laet de recht deelen $\frac{1}{1000}$ langher of corter sijn, waert meughelick dan de cromme. Om de contrari te bewysen. Ic deele de half middellijn AB deur de ghedacht in 10000 even deelen ende om de redenen hier boven verhaelt soo sullen de voornombde drie langden (te weten de some der cromme corste sijden de somme der rechte sijden ende de somme der cromme langhste sijden) bewesen in sulcken reden tot malcander al 999, 10000, 10001, waer uyt blijckt dat de cromme langhste sijden maer $\frac{1}{10000}$ langher ende de cortste maer $\frac{1}{10000}$ corter en is dan de recht twelck min is dan $\frac{1}{1000}$ soo wij bethoonen wilden. Het is dan kennelick dat soo die twee langden eenich verschil hadden, het soude moeten minder sijn dan meughelick is ghegheven te worden, maer sulck verschil is niet, daerom enverschillen de twee boveschreven langden niet ende vervolghens sijn even lanck.

Verthoogh.

Wesende opt middelpunt eens ronts bescheuen noch een cleender omtreck. Het plat tusschen de twee omtrecken is euen aenden rechthouck begrepen onder het half middellijns deel staende tusschen die twee omtrecken ende een rechte lijn euen aenden omtreck beschreuen door tmiddelpunt dan dat deel.

Tghegheuen. Laat A het middelpunt wesen des ronts BCD diens halfmiddellijn AB ende opt selve punt A sij beschreven noch een cleender omtreck EF, ende EB sij het halfmiddellijnsdeel tusschen de twee omtrecken, ende G sij het middelpuntdes selfden deels EB door welck punt G beschreven is het ront GH. Voort soo is de rechte lijn ES rechthouckich op AB ende even aenden omtreck GH.

Tbegheerde. Laet L wesen het middelpunt van AE ende daer deur beschreven worden tront LM voort N het middelpunt van AB ende daer deur het ront NO daer na AP rechthouckich op AB even aenden omtreck NO, sgelijcx AQ even aenden omtreck LM. Laet voort de langde van AB wesen 6 duym ende van EB 4 duym ende de reden des omtrecx tot haer middellijn sij van 22 tot 7. Volghende al twelck soo sal de lijn AP doen $\frac{132}{7}$ ende ES $\frac{126}{7}$ ende AQ $\frac{44}{7}$ daerom den rechthouck BP $\frac{792}{7}$ ende den rechthouck BS $\frac{704}{7}$ ende den rechthouck EQ $\frac{88}{7}$.

Tbewijs. Anghesien den rechthouck BS doet $\frac{704}{7}$ ende den rechthouck EQ $\frac{88}{7}$ makende tsamen $\frac{792}{7}$, soo sijn die twee rechthoucken even aenden rechthouck BQ, oock doende $\frac{792}{7}$, maer den rechthouck BP is even aen tront BCD deur tvoornombde voorstel van Archimedes, daerom beyde de rechthoucken

BS ende EQ sijn tsamen even aen tgheheel ront BCD maer den rechthouck EQ is even aen tront EF deur tvoorsz. voorstel van Archimedes, daerom getrocken tcleen ront EF van tgheheel ront BCD soo blijft den rechthouck BS even aen het plat begrepen tusschen de twee omtrecken BCD, EF. Twelck soo synde, het volghende vertooch is uyt het voorgaende openbaer.

Vertooch.

Wesende de halfmiddellijn eens ronts vast opt middelpunt de rest draeyende int rondt: De cromme voortganck vant uyterste deel der halfmiddellyn is euen aen een rechte voortganck soo lanck wesende als diens deels middelpunts cromme voortganck