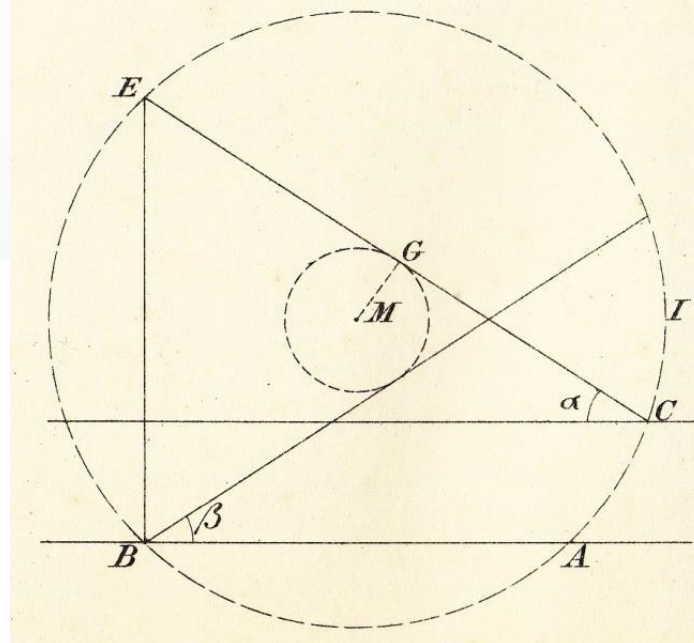
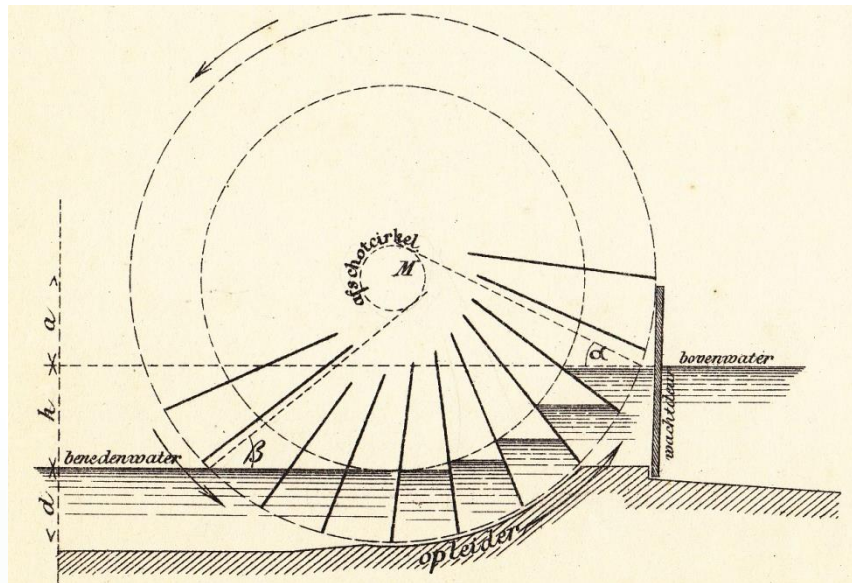




Peilverlaging Lage Boezem Overwaard, effecten op het functioneren van acht monumentale boezemmolens



Dit rapport is opgesteld in april 2019
door J.Hofstra, Van Reeuwijk bouwmeester.



Inhoudsopgave:

- Gegevens molen.....	(§ 1)
- Conclusies.....	(§ 2)
- Aanleiding.....	(§ 3)
- Inspectie.....	(§ 4)
- Achtergronden.....	(§ 5)
- Schepradkunde.....	(§ 6)
- Bepaling opvoerhoogte.....	(§ 7)
- Gegevens.....	(§ 8)
- Hoogte opleider.....	(§ 9)
- Opbrengst Scheprad.....	(§10)
- Vermogen Scheprad.....	(§11)
- Gevolgen verbreedseis.....	(§12)

© Van Reeuwijk bouwmeester, Arum

Verveelvoudiging voor eigen gebruik of intern gebruik van de opdrachtgever is toegestaan. Bronvermelding is verplicht. Voor het overige mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens bestand en/ of openbaar gemaakt worden, hetzij elektronisch, mechanisch, door middel van druk, fotokopieën, microfilm of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Van Reeuwijk bouwmeester te Arum.



§ 1 Gegevens molens

Molens Molen 1 t/m 8 Overwaard
Adres Overwaard 4 t/m 11
2961 AT Kinderdijk

Monumentnr. RCE 30551 tm 30558

Opdrachtgever Waterschap Rivierenland
De Blomboogerd 1
4003 BX Tiel
0344-649090



§ 2 Conclusies

- Met het verenigen van de (lage) boezems van de Nederwaard en Overwaard komt er einde aan een al 650 jaar bestaand systeem van afwatering in de Alblasserwaard.
- De Lage Boezem van de Overwaard krijgt hierdoor te maken met een peilverlaging van 15 cm.
- Voor de funderingen van de molens van de Overwaard heeft deze peilverlaging geen gevolgen omdat die volgens het bouwbestek veel dieper zijn gelegen.
- De verlaging heeft tot gevolg dat de molens hun water 15 cm minder hoog kunnen opbrengen dan voorheen. Dit is negatief voor het functioneren van de molens.
- De molens zijn ontworpen voor een veel lager peil van de Hoge Boezem. Alleen Molen nr.8 is reeds aangepast aan een hoger boezempeil zoals thans gebruikelijk.
- De andere molens kunnen eveneens geschikt worden gemaakt voor het huidige boezempeil door het verlengen van de opleider en daarmee de wachtdeuren in te korten.
- Aan te bevelen is om uit te gaan van het gemiddelde peil van de Hoge Boezem en de opleiders van de overige zeven molens zodanig te verhogen dat de drempels ter hoogte van de gemiddelde tasting van het scheprad onder dit peil komen te liggen.
- De molens kunnen na de voorgeschreven verhoging van de opleiders de Hoge Boezem zonder problemen volmalen ter hoogte van de tasting boven de drempels. Van lagere boezemstanden kunnen de molens dan echter niet meer profiteren (ze gaan niet lichter lopen). Bij hogere boezemstanden kunnen de molens nog wel malen, maar dit gaat gepaard met energieverlies.
- De uitvoering van het verhogen van de opleiders zal per molen verschillen. Dit door bouwkundige wijzigingen door de eeuwen heen. Het verhogen van de opleider vraagt dus per molen om maatwerk.
- Het verlagen van het peil van de Lage Boezem heeft aan de ene kant tot gevolg dat de molens het water hoger op moeten voeren, maar aan de andere kant dat ze minder water gaan geven. Niet bij voorbaat staat daarmee vast of de molens meer of minder wind nodig zullen hebben.
- Het blijkt dat de molens nr. 3 en 4 het iets lichter krijgen en de andere molens iets zwaarder. Hieruit blijkt al dat de peilverlaging niet veel invloed heeft op de benodigde windkracht.
- De verlaging van de Lage Boezem heeft vooral gevolgen op de opbrengst van de molens. Bij 60 enden scheelt dit gemiddeld 16%.
- Om het lekverlies in rekening te brengen vermenigvuldigd men de opbrengstformule meestal met een factor β . Dit is echter geen echte constante, want bij lagere toeren zal



β steeds kleiner worden. Bij 60 enden gaat men meestal uit van $\beta = 0,9$, maar vanwege het ontbreken van verbreeders is het lekverlies van de schepraderen relatief groot en is β thans gelijk aan 0,881. Bij een 15 cm lager peil wordt β 0,873, dus nog iets ongunstiger.

- Het verlies aan opbrengst kan vrijwel worden gecompenseerd door het aanbrengen van verbreeders op de schepradbladen, waarbij rondom een lekspleet van 1 cm mogelijk moet zijn. Bij 60 enden geven de molen dan maar iets minder water en onder de 40 enden gaan ze zelfs meer water geven dan nu, ondanks een 15 cm lager peil.
- Het nadeel van verbreeders is dat ze om de 10 jaar vernieuwd moeten worden en dat de molens er wat moeilijker door gaan aanlopen. Eenmaal op toeren is geen extra windkracht nodig omdat minder lekverlies ook minder energieverlies geeft.
- De werkzaamheden om de molens geschikt te maken voor de gewijzigde waterstanden zullen hoogstwaarschijnlijk vergunningsplichtig zijn (omgevingsvergunning, onderdeel monumenten). De gemeente besluit hierover. Het is goed om vroegtijdig e.e.a. aan te kaarten bij de gemeente om geen vertragingen bij de uitvoering te krijgen.



§ 3 Aanleiding

Het waterschap Rivierenland is voornemens om de boezem van de Overwaard te verenigen met dat van de Nederwaard, waardoor het Achter-Waterschap, waar de acht molens van de Overwaard hun water uit malen, te maken zal krijgen met een peilverlaging van 15 cm. De vraag is om de gevolgen voor deze molens in kaart te brengen en -zo mogelijk- maatregelen voor te stellen die de gevolgen van deze peilverlaging enigszins kunnen verzachten.

§ 4 Inspectie

In verband met voorgenomen kadeverbeteringswerken zijn de waterlopen en schepraderen van de acht molens van de Overwaard al op 9 april en 21 juli 2014 door Van Reeuwijk bouwmeester opgemeten. Uit het bouwbestek voor de molens blijkt dat het metselwerk ruim 5½ m hoog moet worden. Uit het feit dat de bovenzijde van het metselwerk bij de meeste molens 2 m boven het maaiveld is gelegen, volgt dat de houten fundering 3½ m onder het maaiveld moet zitten en dus geen last van de voorgenomen peilverlaging zal krijgen.

§ 5 Achtergronden

Ontginning

Zo'n duizend jaar geleden was de Alblasserwaard nog een grote wildernis. Bewoning was aanvankelijk alleen mogelijk langs de rivieren. Vanaf de 11^e eeuw werd deze wildernis vanaf de randen steeds verder in cultuur gebracht door ontwateringssloten te graven. De moerasachtige grond werd zo geschikt gemaakt voor landbouw. Deze ontwatering had wel een grote maaiveldvaling tot gevolg, waardoor bedijking en sluisgang uiteindelijk noodzakelijk werd.

Sluisgang

Door stijgende zeespiegel en doorgaande daling van het maaiveld werd de tijd dat de sluisen bij eb konden spuien echter steeds korter en op den duur te kort om al het water kwijt te kunnen raken. Begonnen werd dan ook om de sluisen stroomafwaarts te verplaatsen omdat de eb daar lager afloopt. In 1365 werd de Ammerse Boezem door het graven van het Achter-Waterschap in contact gebracht met de spuisluisen bij het Elshout. Hier is uiteindelijk het waterschap de Overwaard uit voortgekomen. Het Elshout (nu Kinderdijk) is het meest westelijke deel van de Alblasserwaard, waar twee riviertakken bij elkaar komen en waar de eb het laagste afloopt. Vier jaar later werd dit voorbeeld gevolgd door het zuidelijke deel van de Alblasserwaard door de Graafstroom en de Alblas via het Nieuwe Waterschap te verbinden met andere sluisen, net ten westen van de spuisluisen in het Achter-Waterschap. Hier is uiteindelijk het waterschap de Nederwaard uit voortgekomen. Bijna al het regenwater dat in de Alblasserwaard viel moest sindsdien via de sluisen bij Kinderdijk op de Lek worden geloosd.



Polder- peil en seinmolens

Maaiveldddaling en stijging van de zeespiegel gingen echter onverminderd door, waardoor wateroverlast weer steeds vaker ging optreden. Rond 1400 werd de watermolen echter uitgevonden waardoor laaggelegen land in de Alblasserwaard zijn eigen bemaling kon krijgen. Op den duur werd al het land in de waard in polders gelegd, voorzien van watermolens. Deze molens sloegen uit op de (lage) boezems van de Overwaard en Nederwaard. Wanneer de sluisgang bij de Kinderdijk echter lang was gestremd, door hoge standen van de Lek, kon het gebeuren dat de beide boezems zo vol werden gemalen dat het water over de polderkades weer terug liep de polders in. Om dijkdoorbraak te voorkomen werden er voor beide boezems een maalpeil ingesteld. Wanneer dat peil werd bereikt moesten alle molens de bemaling staken. Het maalpeil werd bij enkele centraal gelegen molens aangewezen. Deze molens werden peilmolens genoemd. Via molens, die voor iedereen goed zichtbaar waren, werd het sein om te stoppen doorgegeven aan alle andere molens. Deze molens werden seinmolens genoemd.

Bergboezems

Toen de molens steeds vaker stil moesten worden gezet vanwege te hoog peil, werden er bij de sluizen van de Kinderdijk rond 1600 bergboezems aangelegd. Dit waren gewoon delen van polders die men onder water kon laten lopen. De poldermolens die op de lage boezems uitsloegen konden zo nog een tijdje doormalen. Als de sluizen weer konden spuien liet men deze boezems weer leeglopen en door hun oude poldermolens weer droogmalen. In het begin hoefde er slecht af en toe gebruik worden gemaakt van de bergboezems, maar de frequentie hiervan bleef stijgen. De bergboezems gaven echter ook maar tijdelijk enige verlichting.

Boezembemaling

In 1738 besloot het waterschap de Nederwaard om tot boezembemaling over te gaan. Op de dijk tussen hun bergboezem en het Achter-Waterschap werden acht stenen schepradmolens van de grootste soort gebouwd. De bergboezem werd voorzien van een eigen uitwateringssluiss in de Lekdijk waardoor de boezem hoger op kon worden gemalen dan het Achter-Waterschap. De bergboezem werd zo Hoge Boezem en het Achter-Waterschap Lage Boezem. Als de sluisgang van de Lage Boezem was gestremd kon via de acht molens en de sluizen in de Hoge Boezem nog een tijd op de Lek worden geloosd. Als de Lek zo hoog werd dat ook de sluizen in de Hoge Boezem dicht moesten blijven, kon met de molens de Hoge Boezem nog tot de rand toe volmalen.

De poldermolens konden zo veel langer doormalen en na gebleken succes van dit systeem ging ook het waterschap de Overwaard hier in 1740 toe over. Zij bouwden acht achtkante schepradmolens. Het gebruik van de hoge boezems nam in de loop van de tijd steeds verder toe, zodat ze steeds ongeschikter werden voor hooiland. De bemaling ervan werd dan ook op den duur gestaakt.

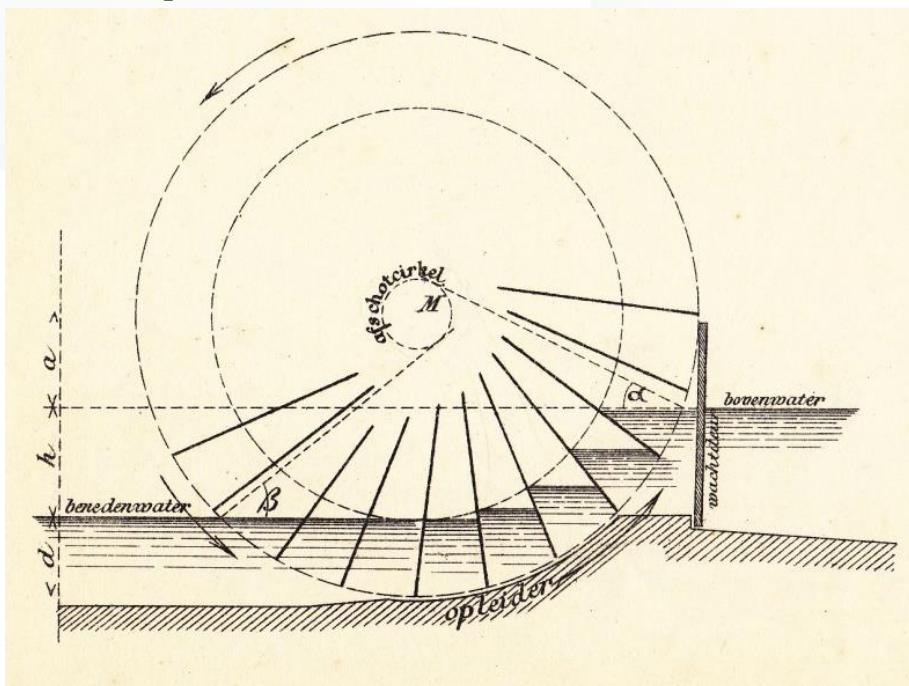


Peilverlaging

Van de molens van de Overwaard is het bouwbestek bewaard gebleven. Hieruit blijkt dat de schepraderen oorspronkelijk kleiner waren. In het bestek wordt een diameter voorgeschreven van $19\frac{1}{4}$ voet (6 m). Thans hebben de schepraderen een diameter van rond de 6,60 m. Duidelijk is wel dat ze pas later zijn vergroot. Dat is te zien aan de sleuf die in de muur boven de achterwaterloop is gehakt en aan de weinige ruimte tussen de schermzolder en de bovenzijde van het scheprad. In het bouwbestek wordt hiervoor een grotere afstand voorgeschreven. Met de vergroting van een voet kon men de boezem ook een voet lager afmalen. In de voorwaterlopen van de poldermolens die in de Lage Boezem van de Overwaard uitmalen staat bij normaal boezempeil ook maar weinig water. Hieruit kan men ook afleiden dat het boezempeil vroeger al eens verlaagd moet zijn.

De boezem van het hoogheemraadschap van Rijnland is door de eeuwen heen vrij constant gebleven, met als gevolg dat de meeste poldermolens daar nu te maken hebben met een opvoerhoogte van rond de $1\frac{1}{2}$ m. Uit lijsten uit de 19^e eeuw blijkt dat de opvoerhoogte meestal maar een kleine meter was. Dat de poldermolens in de Alblasserwaard tegenwoordig nog steeds rond een meter opvoerhoogte zitten is ook een aanwijzing dat het peil van de boezem door de eeuwen heen is mee gezakt met de polders. De nieuw voorgestelde peilverlaging past in deze trend. Wel is het jammer dat er aan het 650 jaar oude systeem van Overwaard en Nederwaard een einde komt.

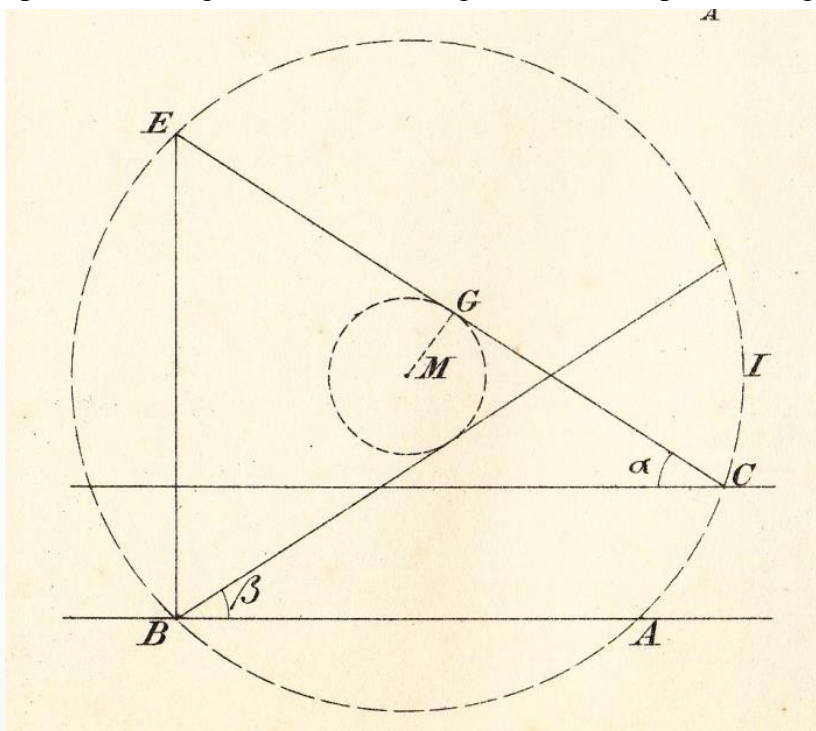
§6 Schepradkunde



Figuur 1 *Doorsnede van een scheprad in werking.*



Een scheprad is voorzien van een aantal bladen, welke het rad in evenveel compartimenten verdelen. Het boven afgebeelde rad draait tegen de wijzers van de klok in. Op een gegeven moment treden de bladen in het benedenwater en worden zo steeds verder onder water gedompeld. De grootste onderdompeling wordt verkregen net onder de as; deze diepte noemt men de tasting, hier aangeven met de letter d . De grootte van de tasting is dus afhankelijk van het peil van het benedenwater. Even voor het midden worden de compartimenten aan de onderzijde afgesloten door de zogenaamde opleider en aan de zijkanten door de krimpuren. Het water in de onderste compartimenten zit derhalve gevangen tussen twee bladen, twee krimpuren en de opleider en wordt zo over de opleider omhoog gevoerd. Het einde van de opleider wordt gevormd door de zogenaamde drempel, waartegen de wachtdeur sluit.



Figuur 2 Constructie voor het bepalen van de afschotcirkel bij $\alpha = \beta$.

Boven de drempel wordt het water in de compartimenten in het bovenwater geloosd. Om dit te vergemakkelijken hebben de bladen een bepaald afschot. Als ze op het hart waren gericht zouden ze het water daar recht omhoog gooien. De denkbeeldig doorgetrokken bladen raken aan een zogenaamde afschotcirkel. Hoe groter deze cirkel des te schuiner de bladen komen te staan en des te gemakkelijker het water uit de compartimenten zal lopen. Daar staat tegenover dat de bladen nu platter op het benedenwater slaan, wat gepaard gaat met hoorbare klappen. Voor de grootte van de afschotcirkel moet dus meestal een compromis worden gesloten. Vroeger bepaalde men die zo dat de hoek dat de bladen in het benedenwater komen (β) even groot werd als de hoek (α) waarmee ze uit het bovenwater komen. Figuur 2 toont deze constructie. B geeft hier het snijpunt weer van de omtrek van het scheprad met het benedenwater en C dat met het bovenwater. Door vanuit B een lijn recht omhoog te trekken

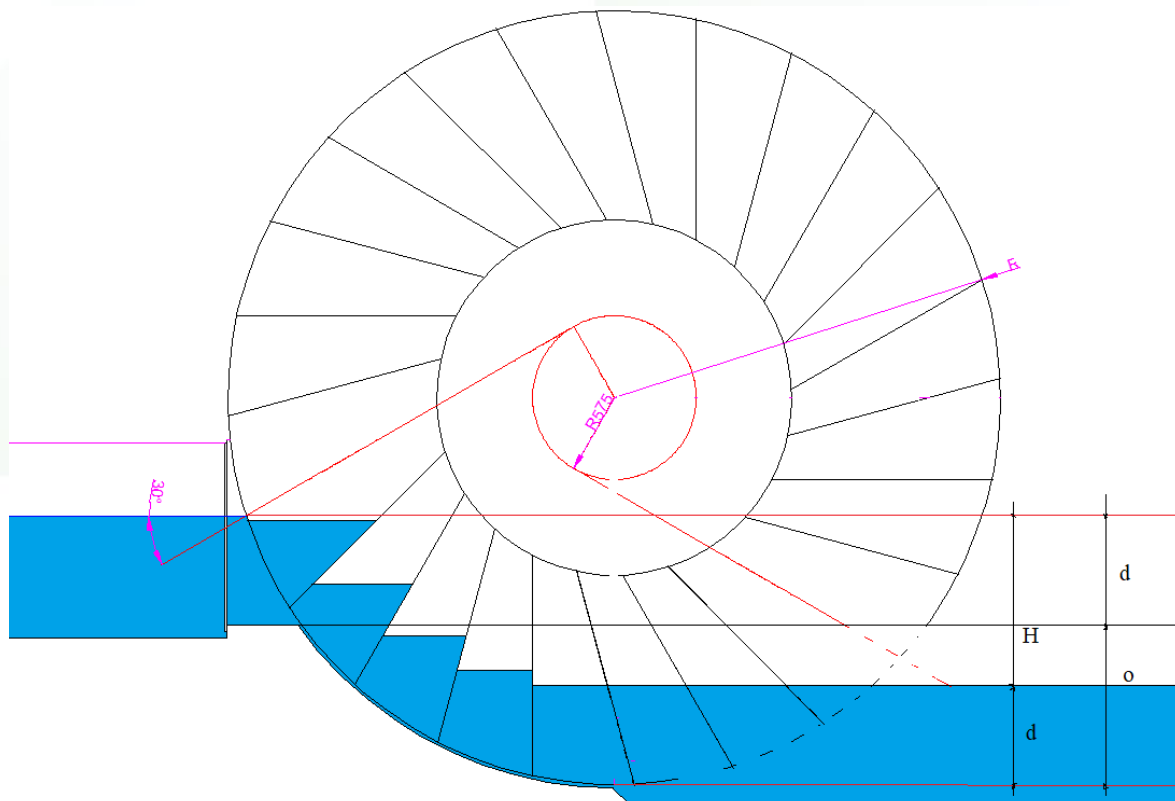


naar E en vandaar naar C verkrijgt men beide hoeken. De afstand M-G stelt de straal van de afschotcirkel voor.

Later kwam men tot het inzicht dat de hoek α veel belangrijker is en eigenlijk niet kleiner moet zijn dan 30° . Als de bovengenoemde constructie een kleinere hoek geeft is het verstandig om hoek α 30° te nemen en de bijhorende hoek β maar op de koop toe te nemen.

§ 7 Bepaling opvoerhoogte

Voor water dat door een watergang stroomt, geldt voor ieder willekeurige doorsnede $Q=A \times v$, waarin Q het aantal m^3/min , A het aantal m^2 van de natte doorsnede en v de stroomsnelheid in m/min . Omdat het water in het scheprad de snelheid van het scheprad zelf krijgt opgedrongen zal de snelheid waarmee het in het scheprad komt niet veel kunnen verschillen met de snelheid waarmee het water uit het scheprad komt. Daaruit volgt $A_{in} = A_{uit}$ en aangezien A gelijk is aan de waterdiepte maal de breedte van de watergang en deze breedte zowel bij het begin als aan het einde gelijk is aan de afstand tussen de krimpuren volgt dat het water boven de drempel even hoog zal staan dan de tasting (d).



Figuur 3 Bepaling opvoerhoogte

Als H het verschil tussen het beneden- en bovenwater voorstelt en o de hoogte van de opleider is en d de diepte van de tasting dan volgt uit de bovenstaande figuur dat $H+d = o+d$, ofwel $H = o$. Bij een goed ontworpen scheprad is de hoogte van de opleider dus gelijk aan de opvoerhoogte of anders gezegd: de bovenzijde van de opleider moet ter hoogte van (d) onder



de bovenwaterstand worden gelegd. In dat geval komt de hoogte van het water dat uit het scheprad komt overeen met de bovenwaterstand. Staat het water boven lager dan voert het scheprad het water nodeloos te hoog op, maar staat het bovenwater hoger dan wil dit water in het scheprad dringen. Door de bladen wordt dat water dan steeds teruggeslagen, wat gepaard gaat met veel gespat en energieverlies.

Toen de molens werden gebouwd in 1740 kon men nog vaak, via de sluizen in de Lage Boezem, rechtstreeks uitwateren in de Lek en zal de stand van de Hoge Boezem gemiddeld vrij laag zijn geweest. De tasting van de schepraderen zal toen nog wel ruim een meter zijn geweest, zodat er alle reden was om een lage opleider toe te passen. In de loop van de tijd werd de tasting steeds kleiner en de stand van de Hoge Boezem steeds hoger, zodat in feite een steeds hogere opleider noodzakelijk moet zijn geworden. Deze noodzakelijkheid is niet altijd ingezien, zodat de meeste molens nu nog steeds een vrij lage opleider hebben. Bij de voorgestelde peilverlaging zal de tasting van de schepraderen nog kleiner worden en daarmee de noodzakelijkheid van een hogere opleider groter.

§ 8 Gegevens

Volgens het waterschap geldt er voor de Lage Boezem van de Overwaard een peilbesluit dat een hoogte van NAP -0,75 m voorschrijft, maar bedroeg het gemiddelde waterpeil van de boezem in de jaren 2016-2018 NAP – 0,80 m.

Voor de Lage Boezem van de Nederwaard bedroeg het gemiddelde waterpeil NAP -1.04 m, maar de verwachting is dat na combinatie van beide boezems dit valt te handhaven op -0,90 m. Een peilverlaging dus van 15 cm ten opzichte van het laatste, door de provincie goedgekeurde, peilbesluit.

Voor de Hoge Boezem van de Overwaard geldt thans een maximaal peil van NAP + 0,90 m en een minimumpeil van NAP -0,40 m. De laatste jaren wordt een maximaal peil aangehouden van NAP +0,25 m en een minimum peil van NAP -0,40 m. Het voornemen is om dit officieel te maken. In de praktijk blijkt het peil de laatste jaren rond NAP te schommelen.

In 2012 zijn de schepraderen door Van Reeuwijk bouwmeester opgemeten. Gecombineerd met de gegevens van het waterschap geeft dit onderstaande resultaten. Hierin is R de straal en D de diameter van het scheprad, B de breedte van de krimp, b de breedte van de schepradbladen, s de gemiddelde grootte van de lekspleet= $\frac{1}{2} (B-b)$, en T.P. het tastpunt of wel de onderzijde van het scheprad. Uit deze gegevens volgt de huidige tasting (d_1) ten opzichte van een boezempeil van NAP -0,75 m en de toekomstige (d_2) ten opzichte van het voorgestelde peil van NAP -0,90 m.



Tabel I Gegevens schepraderen

Molen	R [m]	D [m]	B [m]	b [m]	s [m]	T.P.[NAP]	d ₁ [m]	d ₂ [m]
1	3,30	6,60	0,63	0,55	0,04	-1,655	0,91	0,76
2	3,30	6,60	0,65	0,59	0,03	-1,570	0,82	0,67
3	3,28	6,56	0,64	0,58	0,03	-1,536	0,79	0,64
4	3,25	6,50	0,66	0,58	0,04	-1,520	0,77	0,62
5	3,31	6,62	0,66	0,58	0,04	-1,593	0,84	0,69
6	3,30	6,60	0,63	0,58	0,025	-1,720	0,97	0,82
7	3,29	6,58	0,66	0,58	0,04	-1,775	1,03	0,88
8	3,31	6,62	0,66	0,60	0,03	-1,640	0,89	0,74

Bij nieuw te bouwen molens ging men meestal uit van een tasting van 1 á 1,3 m en te zien is dat alleen Molen nr. 6 en Molen nr. 7 daar nog bij in de buurt komen. Aan sporen van funderingsherstel valt op te maken dat deze molens waarschijnlijk dieper de grond in moeten zijn gezakt. Het scheprad van Molen nr. 4 heeft de minste tasting, namelijk 0,77 m en na de peilverlaging blijft daar maar 0,62 m van over. Dat is niet veel. De molens zullen zo niet alleen veel minder water geven dan voorheen, maar het zal ook veel moeilijker worden om dit water tegen hoge standen van de Hoge Boezem in weg te krijgen. Door de opleiders te verhogen kan aan dit laatste overigens wel een mouw gepast worden.

§ 9 Hoogte opleider

Het waterschap stelt voor om voor de Hoge Boezem een maximum peil vast te stellen van NAP +0,25 m en het minimum peil te handhaven op -0,40 m. In de praktijk blijkt de gemiddelde waterstand de laatste jaren rond NAP te schommelen en de verwachting is dat dit zo blijft. Aan de hand van het voorgaande kan worden bepaald tot hoe hoog de molens nu en straks zonder problemen kunnen malen.

Tabel II Peil Hoge Boezem waarbij de molens efficiënt malen bij huidige tasting en toekomstige tasting

Molen	Drempel hoogte	d ₁ [m]	H ₁ [m t.o.v. NAP]	d ₂ [m]	H ₂ [m t.o.v. NAP]	Te laag [cm]
1	-0,975	0,91	-0,07	0,76	-0,22	34
2	-0,930	0,82	-0,11	0,67	-0,26	38
3	-0,970	0,79	-0,18	0,64	-0,33	45
4	-0,730	0,77	+0,04	0,62	-0,11	23
5	-0,940	0,84	-0,10	0,69	-0,25	37
6	-1,060	0,97	-0,09	0,82	-0,24	36
7	-1,050	1,03	-0,02	0,88	-0,17	29
8	-0,620	0,89	+0,27	0,74	+0,12	0

H₁ is de boezemhoogte die overeenkomt met de huidige hoogte van de opleider plus de huidige tasting en H₂ is de huidige hoogte van de opleider plus de toekomstige tasting. Als



van een gemiddeld peil van de Hoge Boezem wordt uitgegaan van NAP dan geeft H_2 tevens aan hoeveel de opleider of drempel te laag is om efficiënt te malen. De opleider van Molen nr.8 zou dan te hoog zijn, maar bij de verhoging is destijds uitgegaan van een hoger boezempeil. Als deze molen als uitgangspunt wordt gebruikt dan geeft de laatste kolom aan hoeveel de opleider van de andere molens verhoogd moeten worden. De molens kunnen dan efficiënt malen tot een hoogte van NAP +0,12 m. Van lagere boezemstanden kan dan evenwel geen profijt worden getrokken, maar als wordt uitgegaan van een wat lagere stand van de Lage Boezem dan komt NAP als goede stand van de Hoge Boezem al snel in zicht. Vooral als de gemalen in werking zijn zullen beide lage boezems waarschijnlijk lager staan dan NAP-0,90 m.

§ 10 Opbrengst scheprad

De berekening van de opbrengst van een scheprad is vrij simpel, want ook hier voor geldt $Q=A \times v$. Voor de natte doorsnede onder het hart van de as geldt: $A= d \times B$, waarin d weer de tastering en B de breedte van de krimp. De snelheid van deze doorsnede is gelijk aan de snelheid van het scheprad, alleen is deze snelheid aan de omtrek van het scheprad veel hoger dan dicht bij de as. Voor de betreffende doorsnede moeten we de snelheid van het scheprad hebben, ter hoogte van het midden van de doorsnede. De afstand van dit midden tot de as is gelijk aan $R - \frac{1}{2}d$, waarin R de straal van het scheprad. De omtreksnelheid van dat punt is gelijk aan $v = \pi \times 2r \times n = \pi \times 2(R - \frac{1}{2}d) \times n$, waarin n het aantal omwentelingen per minuut van het scheprad. Als D de diameter van het scheprad is dan volgt hieruit $Q = d \times B \times n \times \pi(D-d)$.

Hier moet het lekverlies van worden afgetrokken. De berekening hiervan is veel lastiger. Het lekverlies is recht evenredig met de grootte van de lekspleet en evenredig met de wortel uit de opvoerhoogte. Ook het aantal schoepen boven de opleider speelt een rol, want zoals in figuur 3 valt te zien zorgen ze er voor dat het hoogteverschil aan weerszijden van een blad kleiner wordt. Zonder opleider zou één blad al het water moeten keren. Ook de straal van de afschotcirkel speelt een rol, want hoe schuiner de bladen, des te langer de lekspleet. Aan de hand van deze ingrediënten en een paar proefnemingen is een Excel-programma gemaakt, waarmee het lekverlies kan worden berekend.

Het toerental van het scheprad is afhankelijk van het aantal enden van de molen en de overbrengingsverhouding, die niet overal hetzelfde is. Uitgaande van een gemiddelde snelheid van 60 enden kan het volgende worden gezegd:



Molen	n [omw/min]	Q ₁ [m ³ /min]	Q ₂ [m ³ /min]	Q _a [m ³ /min]	Q _b [m ³ /min]	% afname
1	8,12	83,2	72,0	71,3	61,2	15
2	7,90	76,5	68,3	64,1	56,7	17
3	7,79	71,4	63,7	59,3	52,4	18
4	8,23	75,3	64,7	62,2	52,8	18
5	7,90	79,5	68,8	67,0	57,4	17
6	7,90	85,4	78,1	74,1	67,3	14
7	8,12	96,2	83,9	84,5	73,2	13
8	7,73	81,7	72,2	69,7	61,2	15

Q₁ = opbrengst huidige toestand maar zonder lekspleet

Q₂ = opbrengst huidige toestand maar met lekspleet

Q_a = opbrengst na peilverlaging maar zonder lekspleet

Q_b = opbrengst na peilverlaging met lekspleet

Het gemaakte Exel-programma gaat er wel van uit dat de opleiders de juiste hoogte hebben, want als peil van het bovenwater wordt uitgegaan van de peilen zoals die in tabel II staan aangegeven. Bij hogere standen van de Hoge Boezem zal er dus meer lekverlies zijn. In de laatste kolom staat aangegeven hoeveel % de opbrengst afneemt bij een peilverlaging van 15 cm. Gemiddeld zullen de molens zo 16% minder water geven.

§ 11 Lekpercentage

Bij de berekening van de opbrengst gaat men vaak uit van de volgende formule: $Q = \beta \times d \times B \times n \times \pi(D-d)$, waarin β een factor is die het lekverlies in rekening moet brengen. Deze factor is natuurlijk geen echte constante want onder een bepaald toerental zal het scheprad helemaal geen water meer geven en is β gelijk aan nul. De factor is dus erg afhankelijk van het toerental, maar bij normale toeren, zoals hier, gaat men meestal uit van $\beta = 0,9$. Het lekpercentage is gelijk $Q_2/Q_1 \times 100\%$ en $Q_b/Q_a \times 100\%$ (zie tabel III). Zoals in de onderstaande tabel valt te zien is het lekverlies hier wat groter, wat komt door het ontbreken van verbredsellatten op de bladen van het scheprad. De lekspleten zijn op de meeste molens relatief groot.

Molen	Peil NAP -0,75 m	Peil NAP -0,90 m
1	86,5	85,8
2	89,3	88,5
3	89,2	88,4
4	85,9	84,9
5	86,5	85,7
6	91,5	90,8
7	87,2	86,6
8	88,4	87,8
Gemiddeld	88,1	87,3



Zoals in tabel IV valt te zien wordt het lekpercentage groter bij afnemende tasting. Zoals eerder gezegd heeft men aan de factor β niet zoveel, omdat hij erg afhankelijk is van het toerental. Beter zou men kunnen uitgaan van het lekverlies L in m^3/min , want deze factor is vrij constant. De opbrengstformule ziet er dan als volgt uit: $Q=d \times B \times n \times \pi(D-d) \cdot L$. De factor L kan men in de praktijk vaststellen, want op het moment dat de wachtdeur net niet/net wel open gaat, is L gelijk aan Q . Men hoeft dan alleen vast te stellen bij welk toerental (n) dat het geval is.

§ 11 Vermogen scheprad

Men kan zich afvragen of de molens door de kleinere tasting nu meer wind of minder wind nodig zullen hebben. Door de peilverlaging wordt de opvoerhoogte groter maar de opbrengst kleiner. Als de Lage Boezem even hoog zou staan als de Hoge Boezem, dan is de tasting en de opbrengst maximaal, maar de opvoerhoogte nul en dus ook het vermogen nul, want voor het vermogen geldt: $P=Q \times H$. Als de schepraderen net droog staan is de opvoerhoogte maximaal maar is de opbrengst nul en is dus ook het vermogen nul. Er moet dus een tasting zijn waarbij het vermogen maximaal is. Het lekverlies geeft ook vermogensverlies en wel gelijk aan $L \times H$. Het totaal benodigde vermogen is dus gelijk aan $Q_2 \times H + L \times H = (Q_2 + L) \times H$ en aangezien $Q_2 + L = Q_1$ kan men voor de bepaling van P net doen alsof er geen lekspleet is: $P = Q_1 \times H$.

Tabel V Vermogen schepraderen; Q_1 bij 0,75 m opvoerhoogte Q_a bij 0,9 m opvoerhoogte						
Molen	n [omw/min]	Q_1 [m^3/min]	$P_1 = Q \times H$	Q_a [m^3/min]	$P_a = Q \times H$	Vershil
1	8,12	83,2	62,4	71,3	64,17	+1,77
2	7,90	76,5	57,375	64,1	57,69	+0,315
3	7,79	71,4	53,55	59,3	53,37	-0,18
4	8,23	75,3	56,475	62,2	55,98	-0,495
5	7,90	79,5	59,625	67,0	60,3	+0,675
6	7,90	85,4	64,05	74,1	66,69	+2,64
7	8,12	96,2	72,15	84,5	76,05	+3,9
8	7,73	81,7	61,275	69,7	62,73	+1,455



Uit tabel V blijkt dat de meeste molens zwaarder zullen malen, maar dat de molens 3 en 4 juist lichter zullen draaien. Het verschil wordt veroorzaakt doordat de tastpunten (diepte onderzijde schepraderen ten opzichte van NAP) niet overal gelijk is. Molen nr. 4 krijgt te maken met de grootste afname van het vermogen en Molen nr. 7 met de grootste toename. Voor deze beide molens is het verloop van vermogen als volgt:

NAP	H	tast. M4	Q M4	P M4	tast. M7	Q m7	P M7
0	0	1,52	129,171	0	1,775	143,596	0
-0,1	0,1	1,42	123,096	12,3096	1,675	138,326	13,8326
-0,2	0,2	1,32	116,68	23,336	1,575	132,719	26,5439
-0,3	0,3	1,22	109,923	32,9768	1,475	126,776	38,0328
-0,4	0,4	1,12	102,824	41,1295	1,375	120,496	48,1985
-0,5	0,5	1,02	95,3837	47,6919	1,275	113,879	56,9397
-0,6	0,6	0,92	87,6023	52,5614	1,175	106,926	64,1556
-0,7	0,7	0,82	79,4796	55,6357	1,075	99,6358	69,7451
-0,8	0,8	0,72	71,0156	56,8125	0,975	92,0089	73,6072
-0,9	0,9	0,62	62,2104	55,9893	0,875	84,0453	75,6408
-1	1	0,52	53,0638	53,0638	0,775	75,745	75,745
-1,1	1,1	0,42	43,5759	47,9335	0,675	67,1079	73,8187
-1,2	1,2	0,32	33,7468	40,4961	0,575	58,1341	69,7609
-1,3	1,3	0,22	23,5763	30,6492	0,475	48,8235	63,4706
-1,4	1,4	0,12	13,0646	18,2904	0,375	39,1763	54,8468
-1,5	1,5	0,02	2,21156	3,31734	0,275	29,1923	43,7884
-1,6	1,6	0	0	0	0,175	18,8715	30,1944
-1,7	1,7	0	0	0	0,075	8,21407	13,9639
-1,8	1,8	0	0	0	0	0	0

Tabel VI *Verloop vermogen van de molens nr.4 en nr. 7 bij verschillende peilen van de Lage Boezem.*

Uit tabel VI blijkt dat Molen nr.4 het meeste vermogen nodig heeft bij een peil van de Lage Boezem van NAP -0,8 m en Molen nr. 7 bij een peil van NAP -1,00 m. De conclusie kan evenwel zijn dat het verlagen van het peil met 15 cm niet al te veel gevolgen zal hebben voor de benodigde windkracht.

Wel krijgen de molens nu eerder problemen met hoge standen van de Hoge boezem. Om dit tegen te gaan zouden de opleiders van de molens 1 t/m 7, zoals eerder gezegd, verhoogd moeten worden.

§ 12 Gevolgen aanbrengen verbreedseis

Door de peilverlaging van 15 cm zullen de molens minder water geven dan voorheen. Om dit verlies aan opbrengst te compenseren zou men de schepraderen kunnen uitrusten met verbreedsellaten, zoals vroeger gebruikelijk. Bij heel zorgvuldig werk is een lekspleet van rondom 1 cm haalbaar. Verbreedseis hebben overigens ook nadelen, waarvan de voornaamste:



1. Ze moeten iedere 10 jaar worden vernieuwd
2. De molens lopen slechter aan
3. Bij stilvallen gaat de molen even achteruit draaien.

Dit laatste is niet echt een nadeel en is ook niet schadelijk voor het gaande werk, maar het kan wel wat een merkwaardig gezicht zijn. Aan de mate van terug draaien kan men overigens zien of de molen goed gesmeerd is.

In de volgende tabel is een vergelijking gemaakt tussen de huidige toestand van de molens en de toestand bij 15 cm lager peil. Om een wat eerlijker vergelijk te maken is er vanuit gegaan dat de bovenkant van iedere opleider 1 m hoger ligt dan de onderzijde van het scheprad. Nu is dat alleen bij Molen nr. 8 het geval. Omdat het lekverlies niet afhankelijk is van het toerental drukt dit verlies de opbrengst bij lage toeren nogal. Om dit zichtbaar te maken is de opbrengst ook gegeven bij 40 enden. Bij de opnames van de molens is de lekspleet tussen de bladen en de opleider overigens niet gemeten. Voor de huidige toestand is uitgegaan van 2 cm en voor de te maken toestand, met verbreeders, is uitgegaan van 1 cm.

Tabel VII	Opbrengst in m ³ /min onder verschillende omstandigheden			
	Peil Lage Boezem NAP -0,75 m Geen verbreeders		Peil Lage Boezem NAP -0,90 m Wel verbreeders	
Molen	60 enden	40 enden	60 enden	40 enden
1	70,9	43,2	68,3	44,5
2	67,5	42,0	61,2	39,8
3	62,6	38,8	56,5	36,8
4	64,2	39,1	59,4	38,7
5	67,8	41,3	64,1	41,7
6	76,9	48,5	70,9	46,2
7	82,9	50,8	81,1	53,0
8	72,3	45,0	66,7	43,4

Uit de tabel blijkt dat bij 40 enden sommige molens met verbreeders, ondanks de 15 cm kleinere tasting, al meer water geven dan nu het geval is. Bij nog lagere toeren gaan de molens het met de verbreeders overal winnen. Het gemiddelde aantal enden, over een jaar bezien, zal voor deze grote molens eerder lager dan hoger dan 40 enden uitkomen, zodat het toepassen van verbreeders de gevolgen van het lagere peil geheel kunnen compenseren.