



Tauw

UNIVERSITEIT TWENTE.

DEFINITIEF EINDVERSLAG

EEN STUDIE NAAR DE STANDAARDISATIE VAN GEMALEN



R. Holterman

EEN STUDIE NAAR DE STANDAARDISATIE VAN GEMALEN

Bacheloreindopdracht

Universiteit Twente

Enschede

Tauw

Deventer

R. Holterman

Student Civiele Techniek & Management

S0120227

Februari 2013

Begeleiders

Tauw

ir. D. van Ittersum

Universiteit Twente

dr. K.M. Wijnberg

Voorwoord

Tegenwoordig en vooral door de economische omstandigheden van nu is het voor een adviesbureau steeds moeilijker geworden om het hoofd boven water te houden. Om het goed te blijven doen op de civiele markt is het belangrijk om meer te kunnen bieden dan de concurrent. In deze studie is een stap gezet in die richting, door het ontwikkelen van een selectieprogramma waarmee een indicatie voor een te gebruiken pomp kan worden gegeven voor een nieuw te ontwikkelen gemaal. Tauw kan op deze manier snel en eenvoudig inzicht verkrijgen over de mogelijkheden van een te ontwerpen gemaal. Hierdoor zal de ontwerpfase aanzienlijk korter en goedkoper zijn.

Deze studie is gedaan om mijn Bachelor Civiele Techniek & Management aan de Universiteit Twente af te ronden. Ik wil graag mijn begeleiders bedanken, Kathelijne Wijnberg (Universiteit Twente) en Dirk van Ittersum (Tauw), voor sturen van mijn opdracht en het geven van belangrijke feedback. Daarnaast wil ik ook een aantal mensen bij Tauw, Jaap van Raaij, Robert Beenen, Kees Rommens, Paul Heuseveldt en GertJan Leereveld, bedanken voor hun inzet en hulp bij deze opdracht. Ik hoop dat deze studie iets moois heeft opgeleverd voor Tauw.

Rens Holterman Enschede, 18 februari 2013

Samenvatting

In deze studie is uitgelicht hoe een gemaal werkt en uit welke onderdelen het bestaat en is onderzocht hoe de huidige gemalen in Nederland zich verdelen als men kijkt naar maximale capaciteit en opvoerhoogte. Daarnaast is bekeken hoe het ontwerpproces er in de huidige situatie bij Tauw uitziet en hoe een gemaal te standaardiseren is.

Het eindproduct is een simpel selectieprogramma geworden, dat in Excel geprogrammeerd is. Het bestaat uit een inputtabblad, waar het minimale inlaatpeil, het maximale uitlaatpeil, een manometrische coëfficiënt, de benodigde maximale capaciteit, het aantal gewenste pompen en de eventuele noodzakelijkheid van visvriendelijkheid moet worden ingevoerd. Aan de hand van deze parameters wordt in het tweede tabblad een selectiematrix gegenereerd met de geschikte pompen binnen die situatie. Verder bestaat het programma uit een aantal database-tabbladen, waar per fabrikant verschillende beschikbare informatie over hun pomptypen wordt weergegeven. Als laatste is een pompopstelling-tabblad weergegeven, waar snel een vergelijkbare pomp gekozen kan worden.

Het programma kan en moet alleen als indicatie worden gebruikt om snel inzicht te verkrijgen in de beschikbaarheid van pompen bij verschillende leveranciers binnen verschillende situaties. Hierdoor kan men snel een pompkeuze maken en beslissen hoe de onderbouw en daarmee een groot deel van het gemaal er mogelijk uit komt te zien.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	4
Lijst van figuren	7
Lijst van tabellen.....	7
Inleiding	8
Aanleiding.....	9
Standaardiseren	9
Motivatie	9
Doelstellingen.....	10
Onderzoeksvragen.....	10
Onderzoeksmethode.....	11
Hoofdstuk 1 – Een gemaal.....	12
Open systeem gemalen	12
Aantallen en capaciteiten.....	12
Onderdelen gemaal.....	13
Hoofdstuk 2 – Het ontwerpproces	14
Standaardisatie.....	15
Hoofdstuk 3 – Categoriëen gemalen	16
Keuze categorieën	16
Keuze pomp bij categorieën.....	17
Hoofdstuk 4 – Het Pompselectieprogramma.....	20
Programmabeschrijving.....	20
Tekortkomingen	21
Testruns.....	22
Gemaal de Nesse	22
Hoofdstuk 5 – Conclusies & aanbevelingen	23
Conclusies.....	23
Onderzoeksvragen en doelstellingen	23
Aanbevelingen.....	24
Het programma	24
Disclaimer	24
Modulair bouwen.....	24
Referentielijst	25

Bijlage 1 - Open systeem gemalen	26
Bijlage 2 – Onderdelen van een gemaal	27
Pomp, aandrijving en overbrenging	27
Hulpinstallaties en voorzieningen	28
Bijlage 3 – Ontwerpfase	29
Bijlage 4 – Pompselectieprogramma in Excel.....	30
Bijlage 5 – Testruns	33
Gemaal Lijnden.....	33
Gemaal St. Germans.....	33
Gemaal Ossehaar.....	34
Gemaal Parksluizen	34
Bijlage 6 – Een modulair gemaal	35
Probleemsituatie IJsselmeergebied	35
De alternatieven	36
Het drijvende gemaal	36
Het inbouw gemaal	36

Lijst van figuren

Figuur 1 - Gemalen waar Tauw aan heeft gewerkt (www.grootingemalen.nl)	8
Figuur 2 – Voorbeeld open en gesloten schroefpomp (van Rijn & Polderman, 2010, p. 105)	13
Figuur 3 - Gemaal Schagerkogge (http://www.grootingemalen.nl/gemalen/gemaal_schagerkogge.html).....	13
Figuur 5 - gemalen naar opvoerhoogte (Kunst et al., 2008, p. 45)	16
Figuur 4 - categorieën	16
Figuur 6 - Werkgebied Amacan P (brochure KSB) (hor. Capaciteit/ vert. Opvoerhoogte).....	17
Figuur 7 - Simpele voorstelling standaard gemaal	17
Figuur 8 - Vision 35; 70; 125	18
Figuur 9 - Vision 125 met zuigkelder, pomp en persleiding	19
Figuur 10 - input voorbeeld	20
Figuur 11 - output voorbeeld	20
Figuur 12 - Werkelijke vs. geprogrammeerde werkgebieden	21
Figuur 13 - voorbeeld surplus van geprogrammeerd werkgebied (brochure Nijhuis).....	21
Figuur 14 - Werkpunt gemaal de Nesse (brochure Bosman Watermanagement)	22
Figuur 15 - voorbeeld input 1	30
Figuur 16 - voorbeeld output 1	30
Figuur 17 - voorbeeld input 2	30
Figuur 18 - voorbeeld output 2	30
Figuur 19 - voorbeeld input 3	31
Figuur 20 - voorbeeld output 3	31
Figuur 21 - voorbeeld werkgebieden	31
Figuur 22 - voorbeeld database tabblad	32
Figuur 23 - Werkpunt gemaal Lijnden (brochure Bosman Watermanagement)	33
Figuur 24 - Werkpunt gemaal St. Germans (brochure Bosman Watermanagement).....	33
Figuur 25 - Werkpunt gemaal Ossehaar (brochure Bosman Watermanagement)	34
Figuur 26 - Werkpunt gemaal Parksluizen (brochure Flowserve)	34
Figuur 27 - IJsselmeer	35
Figuur 28 - Conceptontwerp drijvend gemaal.....	36
Figuur 29 - Conceptontwerp Inbouw gemaal.....	36

Lijst van tabellen

Tabel 1 - aantal gemalen naar capaciteit	12
Tabel 2 - Beschikbare pompen per categorie.....	18

Inleiding

Voor mijn bacheloreindopdracht heb ik stage gelopen bij Tauw, een adviesbureau dat zich onder andere bezig houdt met het ontwerpen van gemalen. In figuur 1 zijn gemalen te zien waar Tauw o.a.

aan gewerkt heeft. Een gemaal is een inrichting dat water naar een hoger niveau pompt. Gemalen werken in een gesloten systeem (rioolgemaal) of een open systeem (bijv. een poldergemaal).

In deze studie is er gekeken naar de gemalen met een open systeem, deze zijn op te delen in twee groepen: Peilbeheer en verplaatsing van water.

Binnen de functiegroep peilbeheer vallen de volgende gemalen: Het boezemgemaal, poldergemaal, opvoergemaal, hoogwatergemaal, onderbemaling, stadsgemaal, sluisgemaal en het aanvoergemaal. Deze laatste valt eigenlijk ook in de functiegroep verplaatsing van water samen met het circulatiegemaal en het doorspoelgemaal (van Rijn &

Polderman, 2010, p. 69-71). Voor de open systeem gemalen is onderzocht of er de mogelijkheid bestaat deze te standaardiseren binnen een aantal ontworpen categorieën. Het eindproduct is een selectieprogramma waaruit in een aantal stappen een indicatie kan worden verkregen over welke pompen geschikt zijn voor een bepaalde situatie, hierdoor kan snel bepaald worden hoe de onderbouw van een nieuw gemaal eruit zou kunnen komen te zien.



Figuur 1 - Gemalen waar Tauw aan heeft gewerkt
(www.grootingemalen.nl)

Aanleiding

In 2005 werd New Orleans getroffen door orkaan Katrina, grote delen van de stad werden verwoest en er ontstond enorme waterschade. Omdat dit water niet natuurlijk kon afstromen, moest dit worden weggepompt.

Tauw, als gerenommeerd bedrijf in het ontwerpen en bouwen van gemalen, zag een kans om te helpen om New Orleans weer droog te krijgen. Tauw wou graag een oplossing aandragen om het gebied in en om New Orleans leeg te kunnen pompen met een op maat gemaakt gemaal.

Helaas werd er door Amerika geen contract aangegaan met Tauw. De Amerikanen vonden het maatwerk van Tauw duur en onnodig, zij hadden een heel ander beeld bij een mogelijke oplossing. In Amerika is het gebruikelijk om een pomp met een afwateringsbuis over de dijk neer te leggen, is dit niet genoeg dan wordt er een tweede pomp naast gelegd. De volledige inpassing van een gemaal dat op maat gemaakt is, is volgens hen niet nodig.

Door deze verschillende meningen over het ontwerp van een gemaal is er bij het management van Tauw de vraag op tafel gekomen of er niet eens onderzocht kan worden of er voor de Nederlandse markt de mogelijkheid bestaat om een gemaal te standaardiseren.

Standaardiseren

Met het standaardiseren van een gemaal wordt hier bedoeld het indelen van gemalen in een aantal categorieën, waarbij voor elke categorie één gemaal wordt ontwikkeld dat altijd voldoet binnen de gestelde randvoorwaarden van die categorie. Wanneer een bepaalde situatie voldoet aan een van de categorieën kan er gekozen worden voor een standaard gemaal. Dit zal de ontwerpfase aanzienlijk verkorten en de kosten reduceren.

Motivatie

Tauw is een leidend bedrijf op de Nederlandse markt en heeft op meerdere plekken zijn stempel gedrukt met grote en kleine gemalen, allemaal op maat gemaakt. In Amerika zijn gemalen doorgaans een stuk eenvoudiger en goedkoper ontworpen, echter niet erg duurzaam of esthetisch vormgegeven. Naar aanleiding van de problemen in New Orleans en de desinteresse in het maatwerk van Tauw, is er bij Tauw de vraag gekomen of er niet binnen de Nederlandse ontwerpmethodologie gestandaardiseerd kan worden.

Het gaat al een aantal jaren niet erg goed met de economie, dit heeft ook gevolgen gehad voor een bedrijf als Tauw. In de civiele sector (en daarmee dus de gemalenbouw) is er een steeds scherpere concurrentiestrijd ontstaan. Waterschappen krijgen steeds minder subsidies en plannen worden weer in de kast gezet, alles moet dus zo goedkoop mogelijk. Hierdoor wordt het steeds lastiger om contracten binnen te halen. Door naast volledig op maat gemaakte gemalen ook gestandaardiseerde gemalen aan te bieden, kan Tauw in de toekomst een leidende positie op de markt behouden. Een gestandaardiseerd gemaal kan in aanzienlijk kortere tijd en voor lagere kosten worden ontworpen en gebouwd. Door naast het maatwerk ook deze gestandaardiseerde gemalen aan te bieden wordt de concurrentiepositie van Tauw beter en hebben ze een betere entree bij bedrijven. De opdrachtgever zal ook snel inzicht kunnen krijgen in hoe het uiteindelijke gemaal er in grote lijnen uit komt te zien.

Doelstellingen

Eerste doel van de opdracht is het maken van categorieën voor gemalen. Binnen elke categorie zal vervolgens gekeken worden hoe een standaard gemaal eruit zou moeten komen te zien om aan alle randvoorwaarden van die categorie te voldoen.

Tweede doel van deze opdracht is het maken van een keuzematrix (of selectieprogramma), waarin aan de hand van de gegeven randvoorwaarden van de categorieën een snelle en makkelijke selectie gemaakt wordt voor een gestandaardiseerd gemaal.

Onderzoeksvragen

Hoofdvraag: *Hoe komt de keuzematrix eruit te zien, welke categorieën worden hierin onderscheiden en welke randvoorwaarden van een gemaal worden hierin betrokken om tot een gestandaardiseerd ontwerp te kunnen komen?*

Deelvraag 1: Welke soorten gemalen zijn er en uit welke onderdelen bestaan ze?

Deelvraag 2: Hoe wordt er bij Tauw een gemaal ontworpen?

Deelvraag 3: Welke randvoorwaarden bepalen hoe een gemaal eruit komt te zien?

Deelvraag 4: Hoe worden de categorieën ontworpen en waarom?

Deelvraag 5: Welke pompkeuze wordt gemaakt voor de verschillende categorieën?

Deelvraag 6: Hoe komt voor elke categorie een gestandaardiseerd gemaal er in grote lijnen uit te zien?

Deelvraag 7: Hoe wordt de keuzematrix ontworpen en waarom?

Onderzoeksmethode

In deze paragraaf zal per deelvraag, of groep deelvragen, nader worden toegelicht op welke manier tot een antwoord is gekomen in het onderzoek.

Om deelvraag 1, 2 en 3 te kunnen beantwoorden is er gekeken in verschillende literatuur over gemalen. De aangereikte stukken van Tauw, het handboek gemalen (Bergman, 2003) en bouwproces (van Raaij, 2011), zijn hierbij van groot belang geweest. Daarnaast is er veel informatie verkregen uit het boek 'het water de Baas' (van Rijn & Polderman, 2010). Ook is er een werktuigbouwkundige en een civiele expert gehoord om die informatie te kunnen verifiëren en indien nodig aan te vullen.

Deelvraag 4 is beantwoord aan de hand van de verkregen informatie uit deelvragen 1 en 3 en verdere informatie uit verschillende literatuur gevonden op internet.

Om deelvraag 5 te beantwoorden is er elke week wel een overlegmoment geweest met een van de eerder genoemde experts, dit om ideeën uit te wisselen en om te brainstormen over nieuwe mogelijkheden of punten waarop we vast liepen. Daarnaast is veel uitgezocht over verschillende soorten pompen van verschillende soorten leveranciers.

Voor deelvraag 6 is er eveneens veel overleg geweest met een aantal werktuigbouwkundige en civiele experts, om ideeën uit te wisselen en te bespreken.

Deelvraag 7 is voornamelijk voortgekomen uit de kennis die ikzelf bezit op het gebied van programmeren en in overleg met Tauw is gekozen voor deze opzet.

De hoofdvraag is uiteindelijk te beantwoorden met alle antwoorden op de deelvragen.

Hoofdstuk 1 – Een gemaal

Om de waterhuishouding van ons land te beheren gebruiken we gemalen. Sommige delen van ons land liggen lager dan de zeespiegel en stromen langzaam vol. Andere delen van ons land liggen wel hoger, maar stromen soms snel vol door smeltwater. Dit zijn enkele voorbeelden van ongewenste situaties waar het gemaal een oplossing biedt.

Een gemaal is een inrichting dat door middel van een opvoerwerktuig het water naar een hoger gelegen niveau brengt. Hierdoor houdt men op de polders de voeten droog en kunnen bijvoorbeeld natuur- of landbouwgebieden blijven beschikken over genoeg water in tijd van droogte.

Gemalen zijn op te delen in enerzijds de open systeem gemalen en anderzijds de gesloten systeem gemalen. Een voorbeeld van het gesloten systeem is het rioolgemaal, maar op dergelijke gemalen wordt niet verder ingegaan. Dit rapport richt zich op de open systeem gemalen.

Open systeem gemalen

Een open systeem gemaal werkt ten behoeve van peilbeheer of ten behoeve van wateraanvoer en – doorvoer. Dit type gemaal is naar functie als volgt op te delen:

- Peilbeheer:
- Boezemgemaal
 - Poldergemaal
 - Opvoergemaal
 - Hoogwatergemaal
 - Onderbemaling
 - Stadsgemaal
 - Sluisgemaal
- Aanvoergemaal (valt in te delen op beide functies)
- Verplaatsing:
- Circulatiegemaal
 - Doorspoelgemaal

Een uitgebreide beschrijving van de verschillende open systeem gemalen is te vinden in bijlage 1 (van Rijn & Polderman, 2010, p. 69-71).

Aantallen en capaciteiten

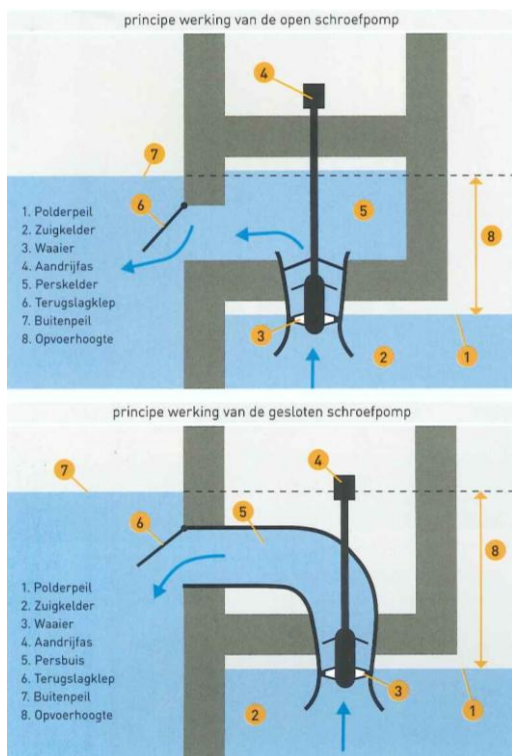
Door de NGS (Nederlandse Gemalenstichting) is in 2000-2001 een inventarisatie uitgevoerd en in 2008 is door Grontmij eveneens een inventarisatie uitgevoerd bij de Nederlandse waterbeheerders, hieruit is geconcludeerd dat er ongeveer 4.500 werkende gemalen zijn in Nederland. De meeste van deze gemalen zijn te vinden in Laag-Nederland (van Rijn & Polderman, 2010, p. 73).

Er is een grote verscheidenheid aan capaciteit die wordt aangetroffen bij gemalen, deze hangt voornamelijk samen met de functie van het betreffende gemaal. Deze capaciteit loopt van minder dan 1 m³/min voor zeer kleine onderbemalingen tot maar liefst 15.600 m³/min (= 260 m³/s) voor het grootste gemaal van Europa, in IJmuiden. In tabel 1 is een verdeling te zien over de verschillende capaciteiten (van Rijn & Polderman, 2010, p. 73).

Tabel 1 - aantal gemalen naar capaciteit

Capaciteit (in m ³ /min)	Aantal gemalen (in %)
0-25	55
25-100	30
100-500	12
500-1000	2
>1000	1

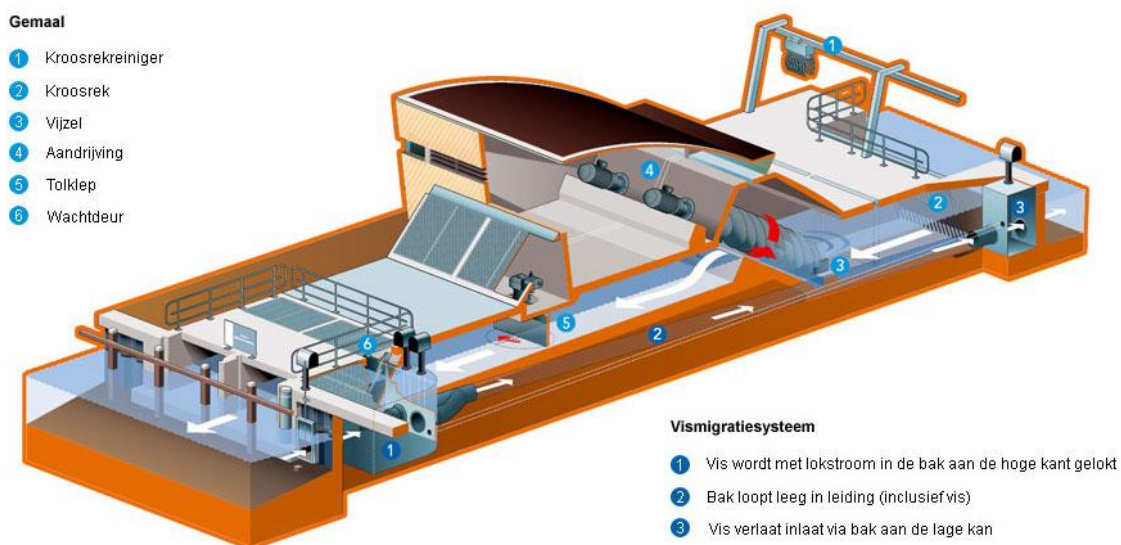
Onderdelen gemaal



Figuur 2 – Voorbeeld open en gesloten schroefpomp (van Rijn & Polderman, 2010, p. 105)

reparaties en onderhoud. Een gedetailleerde beschrijving van deze onderdelen is te vinden in bijlage 2 (van Rijn & Polderman, 2010, p. 105-109).

Alle voorgenoemde onderdelen vervullen samen de functie van het gemaal, naast deze functionele onderdelen zijn er natuurlijk ook nog de vormgevende onderdelen zoals, fundering, onderbouw en bovenbouw die uiteindelijk het gemaal zijn vorm geven. Ook deze onderdelen worden beschreven in bijlage 2 (Bergman, 2003). In figuur 3 is een voorbeeld te zien van een visvriendelijk gemaal.



Figuur 3 - Gemaal Schagerkogge (http://www.grootingemalen.nl/gemalen/gemaal_schagerkogge.html)

Een gemaal kent vele verschillende onderdelen die samen een goed werkende installatie vormen. De grootste en belangrijkste functionele onderdelen zijn de pomp, de aandrijving en de overbrenging tussen deze twee. De pomp bepaalt voor een groot deel de uiteindelijke vorm van een gemaal en hoe de belangrijkste hulpinstallaties moeten worden vormgegeven.

Naast deze grote hoofdonderdelen zijn er nog een aantal belangrijke hulpwerktuigen, die zorgen voor een goede werking van het gemaal. Deze bevinden zich voornamelijk in het zogeheten 'natte pad'. Van instroomzijde naar uitstroomzijde kan het water de volgende onderdelen tegen komen. Een krooshekreiniger, een krooshek, de zuigkelder, een anti-rotatieschot, verschillende afsluiters en (terugslag-)kleppen, een persleiding, soms een aegir-installatie, een noodschuif en uiteindelijk komt het in de uitstroombak. Verder zijn er soms nog een aantal veiligheidsvoorzieningen of hulpvoorzieningen voor

Hoofdstuk 2 – Het ontwerpproces

Het ontwerpproces begint bij de initiatieffase, deze is vaak door de opdrachtgever omschreven en omvat in grote lijnen het probleem en de gevraagde oplossing. Na de initiatieffase komt de definiëringfase, hierin wordt eerst een startnotitie opgesteld zodat de opdrachtgever en ontwerper op één lijn zitten. Na de startfase begint het onderzoek/ontwerp, hierbij moet gedacht worden aan locatieonderzoek, het opstellen van een PvE, onderzoek naar de benodigde gemaalcapaciteit, een faalkansanalyse, e.d. Dan begint de ontwerpfase, waarin een ontwerp meestal bestaat uit een voorontwerp en definitief ontwerp. Deze fase is erg belangrijk, omdat hier de laatste beslissingen worden genomen over de kwaliteit en kosten van het ontwerp. Soms worden meerdere alternatieven uitgewerkt. Het definitief ontwerp wordt voorgelegd aan de opdrachtgever en wordt besproken, hieruit volgt een beslisdocument die de basis vormt voor het bestek. In het bestek worden de leveringen en werkzaamheden beschreven voor het gemaal. Na aanbesteding volgt de uitvoerfase, het bestek is hier handvat voor directievoering, uitvoeringsbegeleiding en detailengineering. Na de oplevering komt men in de nazorgfase, deze bestaat uit het begeleiden en afwikkelen van garantie afspraken en het informeren bij de opdrachtgever naar de prestaties van het gemaal (van Raaij, 2011).

In dit rapport zijn we voornamelijk geïnteresseerd in de voorontwerpfase van een gemaal, door te standaardiseren kan deze fase sneller worden doorlopen dan wanneer men een ontwerp op maat maakt. In het voorontwerp wordt een grof ontwerp gemaakt aan de hand van karakteristieken van het te beheren gebied en de locatie waar het gemaal gebouwd moet worden. Als eerste wordt aan de hand van deze karakteristieken een pompkeuze gemaakt, deze wordt bepaald door onder andere de opvoerhoogte en of die variabel is, de hoeveelheid te verpompen water en de vervuiling hiervan. Daarnaast kan er nog rekening worden gehouden met visvriendelijkheid. Voor een meer volledige beschrijving van de pompkeuze in de ontwerpfase wordt verwezen naar bijlage 3.

Als de pompkeuze gemaakt is kan de onderbouw ontworpen worden, deze wordt voor het grootste gedeelte door de pompkeuze bepaald. De onderbouw kan onder andere de in- en uitstroomvoorzieningen en de zuigkelder omvatten, de pers- of vervalleiding is de verbinding tussen gemaal en uitstroomvoorziening. Over de onderbouw heen komt de bovenbouw, deze wordt vaak door een architect ontworpen en behelst noodzakelijke componenten zoals motor, tandwielkast en hijsinstallaties ten behoeve van onderhoud. Ook biedt het ruimte voor bijvoorbeeld de besturingskasten. In de bovenbouw moet tevens rekening gehouden worden met kantoor-, schaft-, opslagruimtes, e.d. Naast de onder- en bovenbouw moeten nog de verschillende hulpvoorzieningen worden ontworpen zoals een krooshek en reiniger, terugslagkleppen en eventueel een aegir-installatie in de situatie van een kattenrug ontwerp (Bergman, 2003; van Rijn & Polderman, 2010).

Na het voorontwerp wordt het definitief ontwerp gemaakt, dit zal in het geval van een gestandaardiseerd gemaal uiteraard ook moeten gebeuren.

Standaardisatie

“Standaarden verzekeren dat producten veilig, betrouwbaar en van goede kwaliteit zijn, ze reduceren kosten door het minimaliseren van afval en fouten en het verbeteren van de productiviteit.” (ISO.org)

“Modulair bouwen beperkt door het gebruik van prefab elementen de werktijd op het bouwterrein. Daarnaast zijn modulaire bouwprojecten niet onderhevig aan vertragingen van buitenaf, wat ervoor zorgt dat levertijd en kosten zeer nauwkeurig zijn in te schatten. Modulaire gebouwen zijn flexibel, zo kan er in de toekomst eenvoudig worden uitgebreid.” (Portakabin.nl)

De ISO (Internationale Organisatie voor Standaardisatie) houdt zich bezig met het bedenken en doorvoeren van standaarden op mondiaal niveau. Voorbeelden van ISO standaarden zijn het A4 formaat papier en de freight container. Deze laatste is ontwikkeld in de jaren 60/70 van de vorige eeuw en heeft ervoor gezorgd dat transport van goederen veel efficiënter is geworden. Door het gebruik van standaard maten kunnen de containers worden vervoerd per vrachtwagen, trein of schip, hierdoor is de los- en laadtijd in havens sterk verminderd. Portakabin is een Nederlandse onderneming die tijdelijke extra ruimte aanbiedt in de vorm van nood- en verplaatsbare gebouwen. Deze gebouwen zijn modulair opgebouwd en daardoor eenvoudig op en af te bouwen. De standaard elementen zorgen voor een diversiteit aan mogelijkheden.

Een ander mooi voorbeeld van standaardisatie en modulair bouwen is de Bailey bridge, een door meneer Bailey in 1941 voor het leger ontwikkelde brug die tegenwoordig ook veel dienst doet als tijdelijke brug. De Bailey brug bestaat uit een aantal standaard componenten die in 7 verschillende configuraties in elkaar gezet kunnen worden, hierdoor kunnen verschillende sterktes gehaald worden. De brug kan als loopbrug dienen of voor autoverkeer en dat allemaal met dezelfde componenten, daarnaast is de brug zonder machinerie in elkaar te zetten en eenvoudig weer uit elkaar te halen. (Baileybridge.com)

Standaardisatie wordt steeds meer toegepast en kan bijdragen aan een goedkope en efficiënte oplossing. Een modulaire oplossing kan zorgen voor een flexibele invulling en de mogelijkheid om te variëren in opbouw.

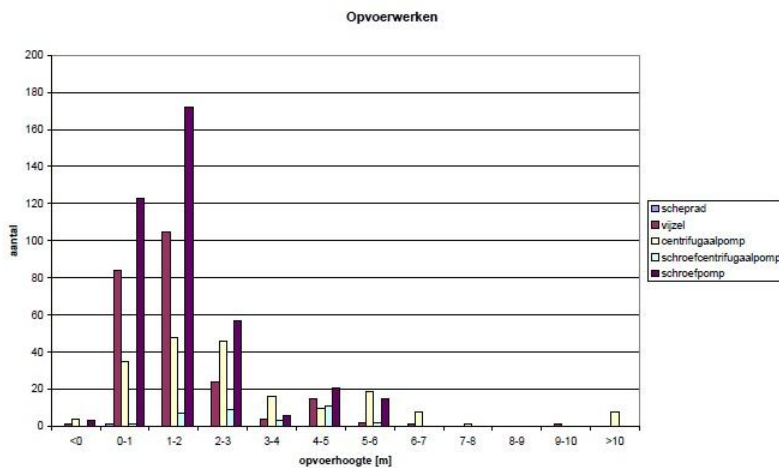
Dit onderzoek is gericht op standaardisatie, maar omdat modulair bouwen daar ook onderdeel van kan zijn is hier ook kort aandacht aan geschonken nadat het onderzoek enigszins vastliep op het onderdeel standaardisatie. De resultaten van deze korte uitstap zijn te vinden in bijlage 6, dit is puur voor de geïnteresseerden toegevoegd aan dit rapport. Er is kort tijd aan besteed binnen dit onderzoek, waarna er weer teruggestuurd is richting standaardisatie en het realiseren van een keuzematrix/selectieprogramma.

Hoofdstuk 3 – Categorië gemalen

In dit hoofdstuk zullen de verschillende categorieën worden gekozen waarbinnen gestandaardiseerd gaat worden. Eerst zullen de categorieën gekozen worden, vervolgens bij elke categorie een pomp. Vanuit daar zal verder worden gewerkt aan de standaardisatie van een gemaal.

Keuze categorieën

Zoals al eerder genoemd is de vorm/het ontwerp van een gemaal het meest afhankelijk van de gebruikte pomp en wordt de pompkeuze beïnvloed door voornamelijk de capaciteit en de opvoerhoogte. Met die twee kenmerken als uitgangspunt wordt de categorisatie opgezet. Hieronder wordt uitgelegd hoe en waarom de verschillende categorieën worden gekozen.



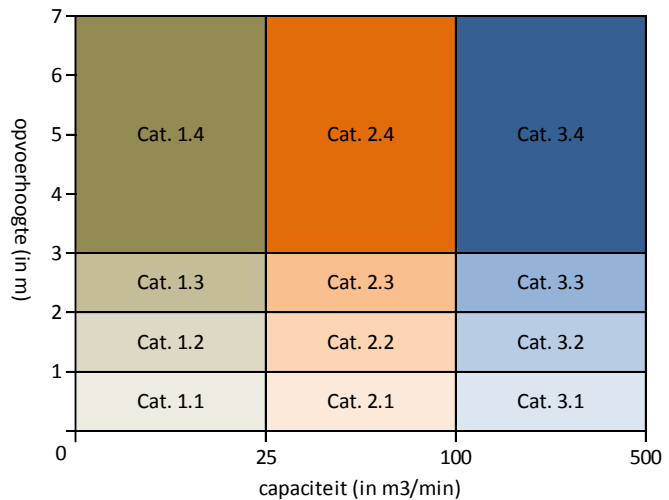
Figuur 4 - gemalen naar opvoerhoogte (Kunst et al., 2008, p. 45)

opvoerwerktuig en de opvoerhoogte. Hieruit kan geconcludeerd worden dat 30% van de gemalen in Nederland een opvoerhoogte tot 1 meter heeft, 67 % een opvoerhoogte tot 2 meter, 83 % een opvoerhoogte tot 3 meter en de meeste andere gemalen een opvoerhoogte tot 7 meter. Een enkel gemaal heeft een hogere opvoerhoogte dan laatstgenoemde. Er wordt aangenomen dat gemalen tot een opvoerhoogte van 7 meter, 98 % van alle gemalen omvat (Kunst et al., 2008, p. 45). Er worden 12 categorieën gemaakt (figuur 5). Van de op dit moment operationele gemalen in Nederland is ong. 97 à 98 % in te delen in één van deze categorieën.

Voor elk van deze categorieën kan nu bepaald gaan worden welke pompen toe te passen zijn. Daarbij zal ook

rekening worden gehouden met de regelbaarheid, zodat het volledige bereik van een categorie gehaald kan worden. Ook zal er gedacht worden aan visvriendelijkheid, vuilgevoeligheid, peilfluctuatie gevoeligheid en betrouwbaarheid.

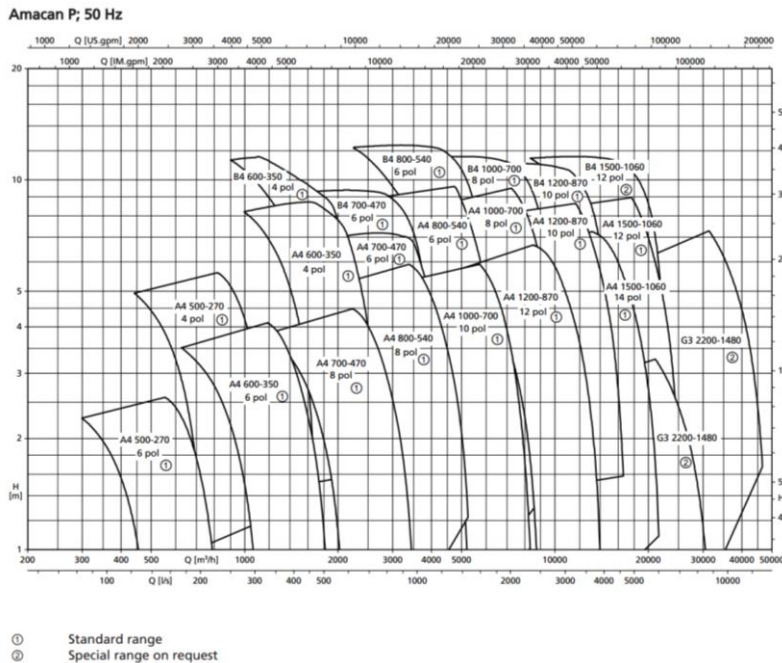
Eerste kenmerk is de capaciteit, zoals al eerder besproken zijn de volgende gegevens bekend over de op dit moment operationele gemalen in Nederland. 55% van alle gemalen heeft een capaciteit tot 25 m³/min, 85 % een capaciteit tot 100 m³/min en 97% een capaciteit tot 500 m³/min. Tweede kenmerk is de opvoerhoogte, in figuur 5 is een verdeling te zien van het aantal gemalen met een bepaald



Figuur 5 - categorieën

Keuze pomp bij categorieën

Om te kijken welke pompen geschikt zijn binnen de verschillende categorieën wordt gekeken naar de eigenschappen van een aantal verschillende, veelgebruikte pompen. Elk van deze pompen heeft een minimale en maximale capaciteit en opvoerhoogte, hoe deze twee in verhouding staan met elkaar is te zien aan de pompcurves. Het bereik van de pomp wordt het werkgebied genoemd.

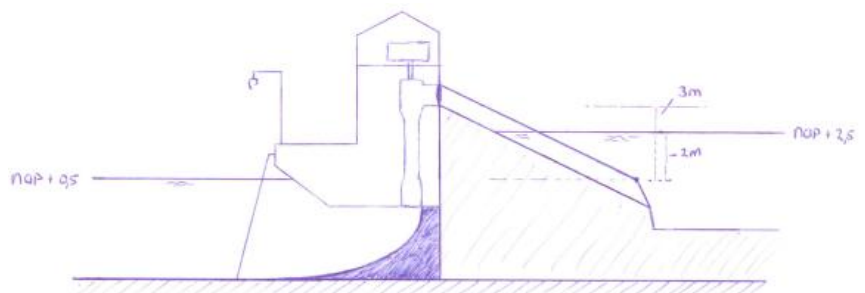


Figuur 6 - Werkgebied Amacan P (brochure KSB) (hor. Capaciteit/ vert. Opvoerhoogte)

Uit de pompcurves van de verschillende pompen is gebleken dat er geen pompen zijn die goed werken bij een opvoerhoogte van minder dan 0,8 meter, dit betekent dat voor de laagste categorieën alleen een vijzel toe te passen zou zijn. Ook zijn er zoveel verschillende keuzes bij elke categorie dat dit te veel mogelijkheden bood en meer richting maatwerk begon te gaan, daarom is er gekozen om anders te gaan categoriseren.

Om te beperken in de mogelijkheden en toch een groot bereik aan capaciteiten en opvoerhoogtes te kunnen waarborgen is gekozen om de categorieën groter te maken in

de richting van de opvoerhoogte, daarbij is bedacht dat een pomp altijd op de maximale opvoerhoogte van de categorie zal pompen en dat doormiddel van een hellende pers- of vrijvervalleiding het water zal afstromen naar het 0 punt van die categorie. Hierdoor kan elke gewenste opvoerhoogte van de categorie verpompt worden. In figuur 7 is een voorbeeld te zien van hoe dit er uit komt te zien. Categorie 1.1, 1.2 & 1.3 worden dus nu categorie 1. Voor 2 en 3 geldt hetzelfde. De categorieën 1.4, 2.4 en 3.4 komen te vervallen, deze opvoerhoogtes komen bij nader inzien toch te weinig voor om op deze manier gunstig te kunnen standaardiseren.



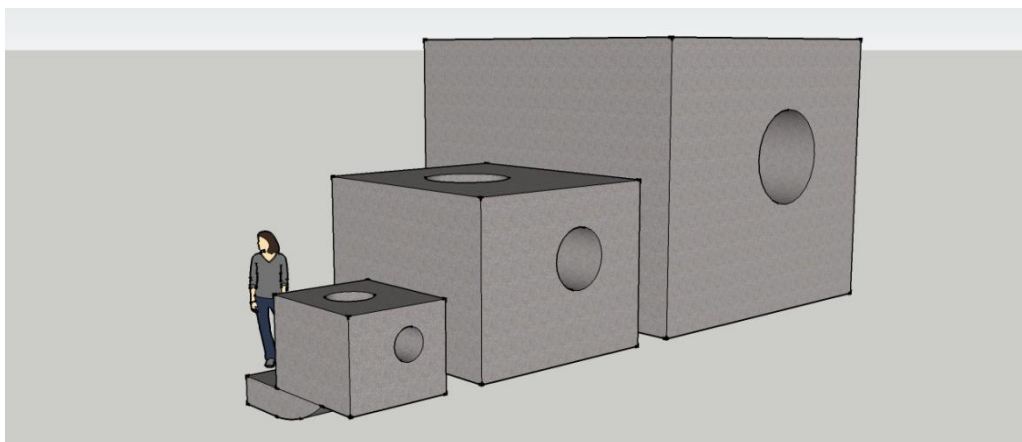
Figuur 7 - Simpele voorstelling standaard gemaal

Voor elke pomp is nu gekeken wat het bereik is bij een opvoerhoogte van 3 meter of hoger. Als de pomp hoger op kan voeren met meer capaciteit kan dat natuurlijk alsnog op 3 meter worden uitgepompt met een wat hogere druk. In tabel 2 hieronder is per categorie te zien welke pompen geschikt zijn. Hierin zijn alleen Bosman watermanagement en KSB nog maar meegenomen.

Tabel 2 - Beschikbare pompen per categorie

Opvoerhoogte 3 meter						
	CAT 1 0 - 25 (m ³ /min)		CAT 2 25 - 100 (m ³ /min)		CAT 3 100 - 500 (m ³ /min)	
Leverancier	Pomp	Capaciteits- range (m ³ /min)	Pomp	Capaciteits- range (m ³ /min)	Pomp	Capaciteits- range (m ³ /min)
KSB	Amacan P		Amacan P		Amacan P	
	A4 500-270 4 pole	10,4 - 25	A4 600-350 6 pole	25 - 100	A4 1000-700 10 pole	100 - 500
	A4 600-350 6 pole		A4 1000-700 10 pole		G3 2200-1480	
	PNW (50 Hz)		PNW (50 Hz)			
	A4 270	10,7 - 25	A4 350	25 - 100		
	A4 350		A4 700			
	PNW (60 Hz)		PNW (60 Hz)			
	A4 270	6,2 - 25	A4 350	25 - 100		
	A4 350		A4 700			
	Bosman Watermanagement	Vision		Vision		Vision
35		6,0 - 25	45	25 - 100	90	100 - 400
			70		125	
GS		GS		BVOP type I		
25		4,0 - 17	50	33 - 80	85	135 - 280
38			80		125	
BCK		BVOP type I		Beveron		
E		1,6 - 1,8	45	38 - 85	100	120 - 500
G		3,4 - 3,7	65		205	
H		4,4 - 5,2				
K	7,0 - 7,8					

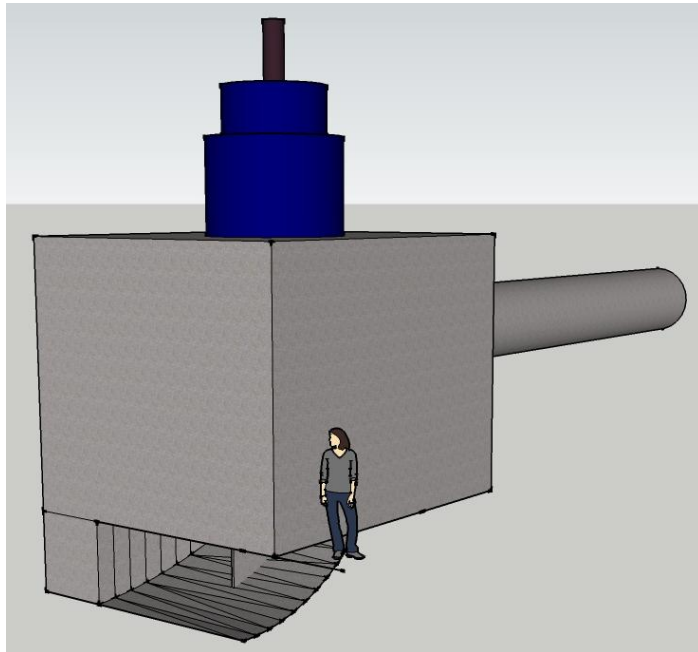
Voor elke categorie is een groot aantal pompen beschikbaar. Aangezien elke pomp een andere opstelling vereist en verschillende maten omvat, is het niet goed mogelijk om een gemaal zo vorm te geven dat de pompkeuze onafhankelijk van vooral de afmetingen, maar ook de vorm van het gemaal gemaakt kan worden. Er is in die zin al te veel door de pompfabrikanten gestandaardiseerd in het ontwerp van de pomp. Zo zijn er prefab betonnen slakkenhuizen en zuigkelders die door de pompfabrikant geleverd worden. In figuur 8 is bijvoorbeeld een Vision pomp van Bosman Watermanagement te zien in drie verschillende uitvoeringen, de kleinste, de grootste en een tussenmaat.



Figuur 8 - Vision 35; 70; 125

In de afbeelding is goed te zien dat het geprefabriceerde blok een uitstroombat heeft waar een persleiding aan gekoppeld moet worden. Aan de bovenkant van het blok zit een gat waar de pomp kan worden laten ingezakt. Bij de kleinste is ook de vorm van de zuigkelder te zien.

In figuur 9 hieronder is een gevorderde opstelling van de Vision 125 te zien, hierbij kan men de zuigkelder inkijken en is ook het antirotatieschot te zien. De pomp en persleiding zijn ook weergegeven. Er kan makkelijk voorgesteld worden dat een kleinere versie van deze pomp of een



geheel andere pomp een heel andere indeling kent.

Daarnaast is er dus bij de pompleverancier al in zo verre gestandaardiseert in de pompen dat er dus weinig bewegingsruimte is om misschien in pompopstelling dingen te gaan aanpassen. Daar heeft Tauw als adviesbureau geen invloed op.

Het standaardiseren van een gemaal is dus te complex, er zijn teveel pompen en te veel verschillen tussen die pompen. Er zijn geen standaard situaties waar altijd één bepaalde pomp het beste is.

Figuur 9 - Vision 125 met zuigkelder, pomp en persleiding

Door deze inzichten en na goed overleg met verscheidene experts van Tauw is besloten dat standaardiseren van een gemaal geen voordelen oplevert ten aanzien van de nu gebruikte ontwerpmethode. Door de grote diversiteit in pompen en het grote aanbod is het niet efficiënt om een gemaal te overdimensioneren en zo te maken dat er met behulp van allerlei hulpstukken verschillende pompen in op te stellen zijn. Er zullen dan ook geen kosten bespaart kunnen worden op die manier.

Desalniettemin zal er wel geprobeert worden invulling te geven op de vraag naar een keuzematrix, in de vorm van een selectieprogramma. Deze wordt zo ontworpen dat op een simpele en snelle manier kan worden berekend welke pompen toepasbaar zijn. Door het invullen van de capaciteit en opvoerhoogte kan berekend worden welke pompen geschikt zijn, vervolgens kan snel worden bekeken hoe deze pompen op te stellen zijn en hoe dus globaal het gemaal eruit komt te zien. Dit kan een handige tool zijn voor Tauw, aan de hand van deze snelle, grove inschatting kan men aan de opdrachtgever heel gauw een beeld geven van hoe het gemaal eruit zou kunnen komen te zien. Ook kan men op die manier de opdrachtgever overtuigen van een bepaalde keuze. In het volgende hoofdstuk zal het pompselectieprogramma worden besproken.

Hoofdstuk 4 – Het Pompselectieprogramma

In dit hoofdstuk zal het pompselectieprogramma dat is ontworpen voor Tauw, dat als handige en snelle tool kan worden ingezet bij het binnen halen van opdrachten, beschreven worden. Vervolgens zullen de tekortkomingen worden besproken en als laatste zullen een aantal testruns worden besproken.

Programmabeschrijving

Dit programma betreft een eerste simpele versie, geprogrammeerd in Excel, en kan gebruikt worden als eerste hulpmiddel om een keuze te maken voor een opvoerwerktuig van een nieuw te bouwen gemaal. Er is vanwege tijdsdruk en het missen van vergaande programmeer kennis gekozen voor deze eenvoudige opzet. Met dit programma kan aan de opdrachtgever snel worden laten zien welke opvoerwerken geschikt zijn en hoe vervolgens de onderbouw er mogelijk uit zou komen te zien bij de verschillende keuzes. Door het invullen van het minimale inlaatpeil, het maximale uitlaatpeil en een manometrische coëfficiënt, wordt de opvoerhoogte bepaald en samen met de ingevulde capaciteit wordt door het programma een keuzematrix gegenereerd waarin alle mogelijke pompen en het betreffende type hiervan toepasbaar voor die situatie worden weergegeven. Daarnaast is in het programma een database van al deze pompen opgenomen waarin gemakkelijk kan worden gezien hoe de betreffende pomp op te stellen is en hoe de onderbouw van het gemaal er dus grofweg uit komt te zien. In figuur 10 is het inputtabblad van het programma te zien, hierin zijn een aantal waarden ingevuld. In figuur 11 is het outputtabblad voor deze situatie te zien. In bijlage 4 is een volledige beschrijving van het programma te vinden.

Input	
Minimaal inlaatpeil (NAP)	0,5
Maximaal uitlaatpeil (NAP)	1,6
Manometrisch effect (+...m)	0,2
Manometrische opvoerhoogte (m)	1,3
Benodigde max. capaciteit	16
Aantal gewenste pompen	2
Capaciteit per pomp (m³/min)	8
Visvriendelijkheidsbehoefte	nee

Figuur 10 - input voorbeeld

In het Outputtabblad is de selectiematrix te zien. Hierin is per pompleverancier opgesplitst welke pompen beschikbaar zijn. Wanneer een pomp beschikbaar is zal het type worden weergegeven, of een range van types waarbinnen gekeken moet worden. Voor sommige pompen kan op aanvraag het type worden bepaald. Als een pomp niet geschikt voor de betreffende situatie wordt deze niet weergegeven.

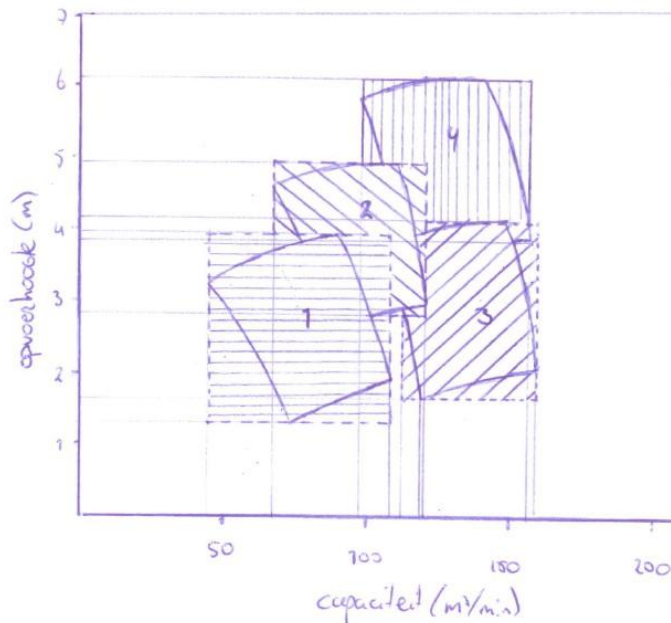
In het Inputtabblad van het programma hoeven slechts enkele waarden te worden ingevoerd. Aan de hand van de opvoerhoogte en de capaciteit wordt berekend welke pompen beschikbaar zijn, vervolgens wordt door het programma bekeken of de pomp visvriendelijk is en of daar ook behoefte voor is.

Tauw pompselectie-matrix							
<i>Bosman Watermanagement</i>							
GS	Beveron	BVOP	Vision	BCK(V)			
type			type	type			
30 of 33			35	I, J of K			
<i>KSB</i>							
Amacan P (50 Hz)		PNW (50 Hz)					
type		type					
A4 500-270 4 pol		A4 270 (n=985)					
<i>Flygt</i>							
C (50 Hz)			P				
type							
C3152, C3170, C3201 of C3300							
<i>Flowsolve</i>							
AFV	BSV	LNN	LR-LRV-LLR	MSX	MXV	VCT	VTP
type							type
op aanvraag							op aanvraag
<i>Pentair Fairbanks Nijhuis</i>							
7000	8200	8300	VP/HP(F) 180	VP/HP(F) 250	VP/HP(F) 340	VMF	
	type	type			type		
	op aanvraag	op aanvraag			300 mm		
<i>Hidrostal</i>							
Onderwater	Lagerstoel		axiaalflow				
			type				
			op aanvraag				

Figuur 11 - output voorbeeld

Tekortkomingen

Vanwege het missen van programmeerkennis en tijd is gekozen om het programma in simpele vorm in Excel te implementeren. De werkgebieden van de verschillende pompen worden op een simpele manier geprogrammeerd aan de hand van de uiterste waarden voor capaciteit en opvoerhoogte. In

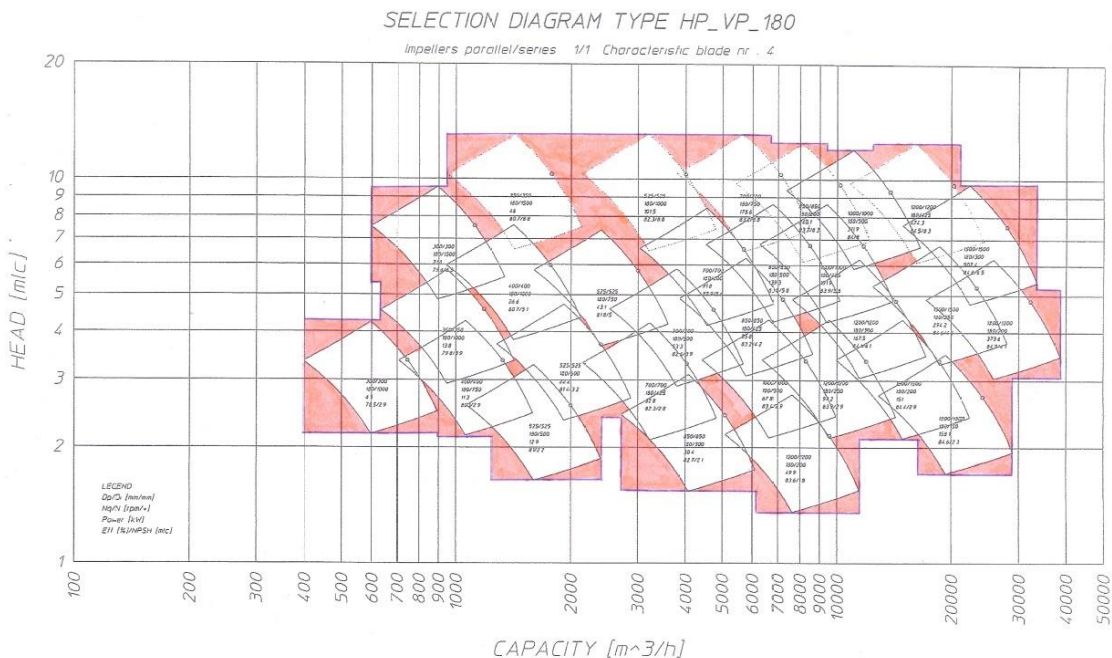


Figuur 12 - Werkelijke vs. geprogrammeerde werkgebieden

geprogrammeerde werkgebieden met een marker ingetekend. Ook kan het zijn dat het programma aangeeft dat bijvoorbeeld pomp 1 geschikt is terwijl het werkpunt eigenlijk in het werkelijke werkgebied van pomp 2 valt.

figuur 12 is te zien hoe de werkgebieden geprogrammeerd zijn aan de hand van voorbeeldwerkgebieden. Te zien is hoe de geprogrammeerde werkgebieden afwijken van de werkelijke. Door de versimpeling in Excel wordt het werkgebied van een pomp beschreven door een vierkant met de uiterste waarden voor capaciteit en opvoerhoogte. Dit betekent dat het kan zijn dat het programma een pomp als geschikt aangeeft, terwijl in werkelijkheid een gegeven werkpunt net buiten een van de werkgebieden van de pompen valt. In

figuur 13 is van een bepaalde pomp de volledige grafiek met werkgebieden weergegeven, daarin is het teveel aan



Figuur 13 - voorbeeld surplus van geprogrammeerd werkgebied (brochure Nijhuis)

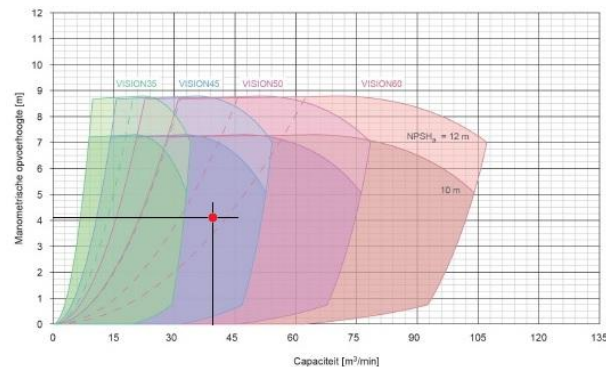
Vanwege deze versimpelingen zal er dus altijd door diegene die het programma gebruikt moeten worden geverifieerd of een pomp daadwerkelijk beschikbaar is. Dit kan op een snelle en eenvoudige manier in de database tabbladen die ook in het programma zijn opgenomen (zie bijlage 4).

Testruns

In de testruns zijn de gegevens van een aantal bestaande gemalen in het programma ingevoerd om te kijken of er dezelfde pomp geselecteerd zou worden als diegene die in werkelijkheid gebruikt wordt. Het blijkt dat het programma niet altijd accuraat is, maar wel altijd in de buurt zit. Er zal dus altijd moeten worden nagekeken of de selectie klopt en welke pomp grootte het meest efficiënt is in een bepaalde situatie. Dit komt overeen met de verwachting van het programma. Bij een aantal testruns wordt de gebruikte pomp volgens het programma als niet geschikt opgegeven, het type is wel beschikbaar maar de gebruikte pomp zou dan te klein zijn. Wanneer echter in de werkgebieden wordt gekeken lijkt dit ook te kloppen. Dit betekent dat er misschien toch een aantal parameters zijn waarmee in dit programma geen rekening wordt gehouden, deze parameters zorgen er waarschijnlijk voor dat toch die desbetreffende pomp wordt gekozen. Bij elke testrun is dus gebleken dat het type wel goed wordt aangeduid, maar dat over de grootte toch altijd onzekerheid blijft. Ook hier kloppen de uitkomsten dus met de verwachtingen, het programma geeft een redelijke goede, maar grove indicatie over de te gebruiken pompen. Hieronder is de testrun vanemaal de Nesse te zien, in bijlage 5 zijn de uitkomsten van de overige testruns opgenomen.

Gemaal de Nesse

In de Vision brochure van Bosman Watermanagement staat dit gemaal als voorbeeldopstelling gegeven. Het gemaal is uitgerust met een Vision 50 pomp, verpompt maximaal $40 \text{ m}^3/\text{min}$ bij een opvoerhoogte van 4.12 m. Aan de hand van deze gegevens selecteert het programma de Vision 45 als geschikt, dit is een foutieve selectie op de grootte van de pomp en heeft duidelijk te maken met de simpele manier van programmeren. In onderstaande afbeelding is te zien dat het werkpunt binnen de grenzen van het werkgebied van de Vision 45 ligt, daarom kiest het programma voor deze pomp en deze selectie klopt ook. Echter met de Vision 50 blijft er meer capaciteit over in de pomp en daarmee kan een toekomstige hogere capaciteit opgevangen worden, daarom is hier waarschijnlijk voor de 50 gekozen.



Figuur 14 - Werkpunt gemaal de Nesse (brochure Bosman Watermanagement)

Hoofdstuk 5 – Conclusies & aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van het onderzoek besproken en zijn een aantal aanbevelingen gedaan ten aanzien van het eindproduct en de toekomst daarvan.

Conclusies

Dit onderzoek geeft een goede beschrijving van een gemaal. Er is duidelijk geworden wat een gemaal is en uit welke belangrijke onderdelen het bestaat, daarnaast is ook bekeken hoe men in de huidige situatie zo'n gemaal bij Tauw ontwerpt. Vanuit de gegevens over de huidige gemalen in Nederland is zijn er categorieën opgesteld aan de hand van de opvoerhoogte en de capaciteit, binnen deze categorieën is gekeken of er een standaard gemaal te ontwerpen was.

Helaas bleek het niet realistisch te zijn om een gemaal te ontwerpen dat als standaard voor een categorie toe te passen zou zijn. Doordat er bij de pompleveranciers al veel standaardiseringen zijn doorgevoerd bleek het niet erg efficiënt meer te zijn om dat in een gemaal nog eens door te gaan trekken. De pompen staan al zo vast in hun vorm en men wilde niet al van te voren voor een leverancier kiezen. Ook zou een gemaal ombouw en onderbouw in grote mate overgedimensioneerd moeten zijn om elke pomp die binnen een categorie zijn werk kan doen te kunnen behuizen. Door de beperkte tijd die aanwezig was voor deze opdracht is er aangenomen dat dit dus niet efficiënt zou zijn en dat dit ook zeker geen grote kostenbesparing met zich mee zou brengen.

Er is wel gekozen om een selectieprogramma te maken dat aan de hand van een aantal randvoorwaarden kan bekijken welke pompen van de verschillende leveranciers geschikt zijn voor de situaties die momenteel in Nederland veel voorkomen. Dit heeft geresulteerd in een selectieprogramma dat door Tauw gebruikt kan worden om een snelle indicatie te krijgen over de te gebruiken pompen in een bepaalde situatie.

Het selectieprogramma wat als eindproduct uit dit onderzoek is voort gekomen is een simpele versie die gebruikt kan worden om opdrachtgevers snel inzicht te geven in de keuzes die ze hebben. Ook geeft het voor Tauw zelf snel weer wat de mogelijkheden zijn.

Onderzoeksvragen en doelstellingen

Het is uiteindelijk gebleken dat niet alle deelvragen te beantwoorden zijn. In deelvraag 5 wordt gevraagd om een pompkeuze per categorie, deze bleek niet te maken te zijn en daar liep de standaardisatie ook op stuk. Deelvraag 6 is dus in zijn geheel niet aan bod gekomen.

De hoofdvraag is deels beantwoord. Er is een selectieprogramma ontwikkeld om een pompkeuze te kunnen maken aan de hand van verschillende randvoorwaarden, er is geen gestandaardiseerd ontwerp gekomen voor verschillende categorieën.

Doelstelling 1 is niet behaald. Er zijn wel categorieën ontworpen, maar standaardisatie bleek niet realistisch. Doelstelling 2 is wel behaald, echter zijn er dus geen categorieën meegenomen in het selectieprogramma.

Aanbevelingen

Het programma

Men zou meer uit dit programma kunnen halen door op een meer gedetailleerd niveau te gaan programmeren. Het is mogelijk om een programma te laten programmeren door iemand die daar kennis van heeft, welke een goede beschrijving van de werkgebieden bevat en die een gedegen keuze kan maken. Er zullen dan geen foutieve selecties meer worden gemaakt, omdat er geen teveel aan werkgebied is en omdat het programma dan zelf de keuze kan maken tussen pomp 1 of 2 wanneer werkgebieden elkaar overlappen. Wanneer dit gedaan wordt is er geen sprake meer van een grove inschatting, maar van een ideale keuze. Er zullen dan wel veel meer parameters moeten worden meegenomen die de pompkeuze beïnvloeden. Volgens de experts van Tauw is dit echter niet gewenst omdat dan de kans bestaat dat men teveel waarde gaat hechten aan het programma en men er te makkelijk mee omgaat, hierdoor kan er teveel vertrouwen komen te liggen op een dergelijk programma waardoor fouten niet meer worden gezien. Anders gezegd vind men het dus belangrijk dat er altijd controle nodig blijft van een expert, die met zekerheid kan zeggen of een bepaalde keuze ook de juiste is. Er kan dus een betere selectie plaatsvinden door meer parameters toe te voegen aan de input, maar het moet wel altijd een indicatie blijven en geen harde selectie.

Het is wel aan te raden om nog meer informatie toe te voegen, zoals exacte maten van de pomptypen en de verschillende groottes, opstellingsmogelijkheden en een grove kosteninschatting.

Disclaimer

Het is wel belangrijk ook een disclaimer toe te voegen, die bijvoorbeeld bij het opstarten wordt weergegeven. Hierin moet duidelijk worden gesteld dat het programma gebruikt kan worden als eerste verkenning en indicatie van mogelijkheden. Daarbij moet vooropgesteld worden dat de uiteindelijke pompkeuze altijd nader bepaald moet worden, waarbij er gekeken moet worden naar inpasbaarheid, vuilbelasting, visvriendelijkheid, onderhoudseigenschappen, rendement en variabele opvoerhoogten en capaciteiten. Deze criteria bepalen bijvoorbeeld dat een pomp niet te klein mag zijn, als er bijvoorbeeld veel vuil in het te verpompen water zit.

Modulair bouwen

Aanbevelingen ten aanzien van het modulair bouwen van het super gemaal van de toekomst zijn nog niet te doen, daar is in dit onderzoek te weinig aandacht aan besteed. Om hier meer over te kunnen zeggen zal men eerst verder onderzoek moeten doen naar de mogelijkheden van de twee voorgestelde alternatieven.

Referentielijst

Bergman, J.G.A. (2003). *Handboek Gemalen*. Deventer: Tauw bv, afdeling Waterbouw & Waterbehandeling

Bos, F., Zwaneveld, P. & van Puijenbroek, P. (2012). CPB Achtergronddocument: *Een snelle kosten-effectiviteitsanalyse voor het Deltaprogramma IJsselmeergebied: Wat zijn de kosten en veiligheidsbaten van wel of niet meestijgen met de zeespiegel en extra zoetwaterbuffer?*

Brochures pompleveranciers (Bosman Watermanagement, KSB, Flygt, Nijhuis, Hidrostaal, Flowserve)

De drijvende pompinstallatie "Neptunus". Gevonden op 18 december 2012, van <http://www.noviomagus.nl/Gastredactie/Kuiken/Neptunus.htm>

De Greeff, A.J. & Praamstra, H., (2009). *Noodwaterberging Ossehaar: Inrichting van het gebied Ossehaar als noodbergingsgebied*. Assen: Grondmij

Gemaal schagerkogge: *Gemaal voor de toekomst*, van http://www.grootingemalen.nl/gemalen/gemaal_schagerkogge.html

Kunst, J.M., Spaargaren, B., Vriese, T., Kroes, M., Rutjes, C., van der Pouw Kraan, E. & Jonker, R.R. (2008) *Gemalen of vermalen worden: Onderzoek naar visvriendelijkheid van gemalen*. De Bilt: Grontmij bv

The Bailey System. Gevonden op 7 december 2012, van <http://www.baileybridge.com>

van Raaij, J. (2011). *Bouwproces*. Deventer: Tauw bv, afdeling Waterbouw

van Rijn, D. & Polderman, R. (2010). *Het Water de Baas*. Hilversum: Uitgeverij Verloren

Wat is modulaire bouw? Gevonden op 6 december 2012, van <http://www.portakabin.nl/wat-is-modulair.html>

What are the benefits of ISO standards? Gevonden op 6 december 2012, van <http://www.iso.org/iso/home.htm>

www.gemalen.nl Geraadpleegd op 25 januari 2012

Bijlage 1 - Open systeem gemalen

Hier worden de verschillende soorten gemalen beschreven (van Rijn & Polderman, 2010, p. 69-71).

Boezemgemaal:	Een boezemgemaal is een gemaal dat water in de boezem, een waterbergingssysteem gelegen binnen een kering, op peil houdt door te lozen op een rivier of direct op zee. Vaak kan door tijdelijk lage waterstanden vrij worden geloosd. Boezemgemalen zijn meestal groot tot zeer groot als men kijkt naar capaciteit.
Poldergemaal:	Poldergemalen beheersen het waterpeil van een polder, lozing is meestal op de boezem en in sommige gevallen ook direct op een rivier of zee. Deze gemalen variëren van zeer groot tot zeer klein.
Opvoergemaal:	Dit zijn de gemalen die water naar een hoger gelegen gebied pompen waar juist wel water te snel afstroomt, zoals een in een polder gelegen natuurgebied. Meestal kleine eenvoudige installaties.
Hoogwatergemaal:	Deze gemalen zijn voor gebieden die normaal vrij lozend zijn, die tijdens perioden van hoge rivierstanden dit niet kunnen. Kleine tot middelgrote capaciteit.
Onderbemaling:	Onderbemalingen dienen ervoor om kleine delen van een polder, zoals bijvoorbeeld een akker, op een lager peil te houden. Kleine capaciteit en vaak simpel uitgevoerd.
Stadsgemaal:	Een stads- of stedelijk gemaal is voor de peilbeheersing van een stedelijk gebied, bijvoorbeeld om de grachten op een bepaald niveau te houden. Klein tot middelgrote capaciteit en vaak in combinatie met verversen en doorspoelen, gepaard met waterinlaat.
Aanvoergemaal:	Het aanvoer- of inlaatgemaal verplaatst water naar een gebied waar watertekort is en zorgt dat dat gebied op peil blijft. Klein tot middelgrote capaciteit, soms groot.
Sluisgemaal:	Een sluisgemaal is om schutverlies te compenseren, vaak gesitueerd in een kanaal. Hierdoor blijft het kanaal op peil, meestal middelgrote capaciteit.
Circulatiegemaal:	Dit is een gemaal dat het water in een gesloten watersysteem in beweging houdt ter bevordering van de kwaliteit. Vaak een kleine capaciteit. Geen peilbeheer dus.
Doorspoelgemaal:	Heeft in principe dezelfde taak als het circulatiegemaal, hier gaat het alleen niet om een gesloten gebied. Klein tot middelgrote capaciteit.

Bijlage 2 – Onderdelen van een gemaal

Hier worden de onderdelen van een gemaal beschreven (van Rijn & Polderman, 2010, p. 105-109).

Pomp, aandrijving en overbrenging

Het hoofdbestanddeel van een gemaal is natuurlijk de pomp, deze zorgt er uiteindelijk voor dat het water van het lage naar het hoge niveau wordt gebracht. Er zijn veel verschillende soorten pompen elk met zijn eigen karakteristieken.

De vijzelpomp:	De vijzelpomp is met name geschikt bij een nagenoeg vast binnen en – buitenpeil en een niet al te hoge opvoerhoogte (max 3 à 4 m.). Ook geschikt voor vuil water. Zeer robuust en vraagt weinig onderhoud.
De schroefpomp:	Geschikt voor zowel kleine als grote debieten en voor opvoerhoogtes tot 8 m. De open variant werkt met een natte kelder waarin de pomp is opgehangen, bij de gesloten variant (droge kelder) hangt de pomp vrij in de zuigkelder.
De schroefcentrifugaalpomp:	Geschikt voor kleine en grote debieten met een opvoerhoogte tot circa 20 à 30 meter. Bij lage opvoerhoogtes en een kleine capaciteit meestal niet concurrerend met de schroefpomp
De centrifugaalpomp:	Bij polderbemaling nauwelijks meer toegepast, door zijn relatief grote afmetingen niet meer concurrerend. Geschikt voor opvoerhoogtes tot boven de 30 meter.
De BVOP pomp:	Qua toepassingsgebied vergelijkbaar met de gesloten schroefpomp. Deze pomp wordt meestal gekozen vanwege zijn compacte bouwwijze, zijn eenvoud en degelijkheid en het gemak in onderhoud.
De dompel(of schacht-)pomp:	Betreft een schroefpomp voorzien van een onderwater motor die als samengebouwde unit veelal in een gesloten, maar ook in een open schacht wordt gesitueerd. De bouwwijze kan resulteren in een eenvoudig gemaal zonder bovenbouw.
De zuig(p)er(s)pomp:	De zuigerpomp en zuigerspomp bestaan uit een zuiger die in een verticale stand in een met water gevuld pomphuis op en neer bewogen wordt. Deze toepassing wordt tegenwoordig niet meer gebruikt.
Het scheprad:	Het scheprad is het oudste en tot nu toe langst toegepaste opvoerwerktuig in de bemalingstechniek. Maximale opvoerhoogte is zo'n 2 meter, maar er kan wel een enorme capaciteit behaald worden door er meerdere naast elkaar te plaatsen. Ook bijna niet meer gebruikt tegenwoordig.

De verschillende soorten pompen werden van vroeger uit veelal aangedreven door een stoommachine, later kwam daar de dieselmotor bij en tegenwoordig worden de meeste gemalen door een elektrische motor aangedreven. Er zijn ook wel situaties waarin een hybride wordt gebruikt, vaak een elektromotor in combinatie met een dieselmotor. Dit wordt vaak gedaan voor de veiligheid, mocht de elektromotor uitvallen dan kan altijd nog worden teruggevallen op de dieselmotor. De overbrenging geschiedt meestal door een riem of doormiddel van tandwielen.

Hulpinstallaties en voorzieningen

Het krooshek is een voorziening die zorgt voor de opvang van grof vuil in het water, dit ter bescherming van de pomp en om ervoor te zorgen dat deze niet verstopt. De krooshekken moeten regelmatig gereinigd worden, daarvoor dient de krooshekreiniger uiteraard.

De instroomvoorziening zorgt ervoor dat het water goed de pomp kan bereiken, de zuigkelder moet goed worden vormgegeven zodat er geen luchtaanzuiging of cavitatie ontstaat. Vaak wordt er ook een anti-rotatieschot geplaatst, zodat het water niet al voor de pomp kan gaan wervelen.

Wanneer het water vervolgens door een gesloten persleiding moet zijn er direct achter de pomp afsluiters of kleppen aanwezig, deze kunnen in het geval van een vacuümpomp bij het opstarten dicht worden gehouden tot er genoeg water in de pomp is. Ook dienen deze kleppen als tweede waterkering. De eerste waterkering wordt gevormd door de terugslagklep aan het uiteinde van de persleiding. Soms is er ook nog een noodafsluiting aanwezig.

In het geval van een kattenrug, wanneer de persleiding het profiel van de dijk volgt als het een buitenwaterkering betreft, is er vaak een aegir-installatie nodig. Deze installatie zorgt ervoor dat het hoogst gelegen punt van de persleiding ontlucht wordt.

Kraanbanen en hijsinstallaties zijn tegenwoordig ook vaak aanwezig ten behoeve van het onderhoud, evenals schotbalken waarmee de installatie volledig droog kan worden gezet.

Bijlage 3 – Ontwerpfase

In deze bijlage zal verder worden ingegaan op het in hoofdstuk 2 besproken ontwerpfase en de pompkeuze daarbinnen (van Raaij, 2011).

In het ontwerp van een gemaal wordt als eerste de pomp gekozen, deze bepaald immers voor het grootste deel hoe de onderbouw van het gemaal eruit moet komen te zien. Er wordt een pompkeuze gemaakt aan de hand van de volgende gegevens over het te bemalen gebied:

Capaciteit	De capaciteit bepaalt de grootte van de pomp, hoeveel water moet er per minuut of sec door het gemaal maximaal kunnen worden verzet. Dit wordt door de waterkwantiteitsbeheerder bepaald en er wordt over het algemeen uitgegaan van een maatgevende afvoer die gemiddeld 1 à 2 dagen per jaar wordt bereikt of overschreden.
Opvoerhoogte	De opvoerhoogte bepaalt hoe hoog het water moet worden opgepompt, dit wordt bepaald door het verschil tussen het minimaal af te pompen peil aan de instroomzijde en het maximale peil aan uitstroomzijde. Hierbij is het belangrijk om rekening te houden met wisselende waterpeilen aan uitstroomzijde, wanneer deze sterk variabel zijn moet er goed gekozen worden bij welke buitenwaterstand er nog naar volledige capaciteit moet kunnen worden bemaald. Als laatste moet er voor de dynamische (of manometrische) opvoerhoogte ook nog bepaald worden of er extra weerstanden worden gecreëerd door bijvoorbeeld een lange persleiding, dit komt bovenop de statische opvoerhoogte.

Naast de capaciteit en opvoerhoogte is er nog een aantal belangrijke kenmerken die de keuze voor een pomp kunnen beïnvloeden. Dit zijn kenmerken zoals de regelbaarheid van de pomp, wat is bijvoorbeeld de minimale capaciteit van een gemaal. Dit bepaalt of er bijvoorbeeld 1 of meerdere pompen nodig zijn. Ook wordt er gekeken naar de visvriendelijkheid. Sommige pompen zijn redelijk visvriendelijk, andere pompen zijn zeer visonvriendelijk. Als er vuil water verpompt moet worden zal daar ook rekening mee moeten worden gehouden.

Bijlage 4 – Pompselectieprogramma in Excel

In deze bijlage staat een verdere uitleg van het pompselectieprogramma.

Het pompselectieprogramma voor Tauw voorziet in een snelle en grove inschatting voor een opvoerwerktuig voor een nieuw of te renoveren gemaal aan de hand van de opvoerhoogte en de benodigde capaciteit. In het eerste tabblad van het programma kunnen verschillende parameters worden ingevuld, aan de hand van deze parameters wordt in het tweede tabblad een matrix weergegeven die laat zien welke pompen geschikt zijn voor die situatie. De matrix geeft per fabrikant en type weer welke pompen beschikbaar zijn, in de afbeeldingen hieronder zijn drie voorbeeldsituaties te zien van deze twee tabbladen.

Input	
Minimaal inlaatpeil (NAP)	0,5
Maximaal uitlaatpeil (NAP)	1,6
Manometrisch effect (+...m)	0,2
Manometrische opvoerhoogte (m)	1,3
Benodigde max. capaciteit	16
Aantal gewenste pompen	2
Capaciteit per pomp (m3/min)	8
Visvriendelijkheidsbehoefte	nee

Figuur 15 - voorbeeld input 1

Tauw pompselectie-matrix							
Bosman Watermanagement							
GS	Beveron	BVOP	Vision	BCK(V)			
type			type	type			
30 of 33			35	I, J of K			
KSB							
Amacan P (50 Hz)				PNW (50 Hz)			
type				type			
A4 500-270 4 pol				A4 270 (n=985)			
Flygt							
C (50 Hz)				P			
type							
C3152, C3170, C3201 of C3300							
Flowserve							
AFV	BSV	LNN	LR-LRV-LLR	MSX	MXV	VCT	VTP
type							type
op aanvraag							op aanvraag
Pentair Fairbanks Nijhuis							
7000	8200	8300	VP/HP(F) 180	VP/HP(F) 250	VP/HP(F) 340	VMF	
	type	type			type		
	op aanvraag	op aanvraag			300 mm		
Hidrostal							
Onderwater		Lagerstoel		axiaalflow			
				type			
				op aanvraag			

Figuur 16 - voorbeeld output 1

Input	
Minimaal inlaatpeil (NAP)	0,5
Maximaal uitlaatpeil (NAP)	1,6
Manometrisch effect (+...m)	0,2
Manometrische opvoerhoogte (m)	1,3
Benodigde max. capaciteit	100
Aantal gewenste pompen	2
Capaciteit per pomp (m3/min)	50
Visvriendelijkheidsbehoefte	ja

Figuur 17 - voorbeeld input 2

Tauw pompselectie-matrix							
Bosman Watermanagement							
GS	Beveron	BVOP	Vision	BCK(V)			
			type				
			45				
KSB							
Amacan P (50 Hz)				PNW (50 Hz)			
Flygt							
C (50 Hz)				P			
Flowserve							
AFV	BSV	LNN	LR-LRV-LLR	MSX	MXV	VCT	VTP
Pentair Fairbanks Nijhuis							
7000	8200	8300	VP/HP(F) 180	VP/HP(F) 250	VP/HP(F) 340	VMF	
				type	type		
				850 mm	525 mm		
Hidrostal							
Onderwater		Lagerstoel		axiaalflow			

Figuur 18 - voorbeeld output 2

Input	
Minimaal inlaatpeil (NAP)	0,5
Maximaal uitlaatpeil (NAP)	2,8
Manometrisch effect (+...m)	0,2
Manometrische opvoerhoogte (m)	2,5
Benodigde max. capaciteit	760
Aantal gewenste pompen	2
Capaciteit per pomp (m ³ /min)	380
Visvriendelijkheidsbehoefte	nee

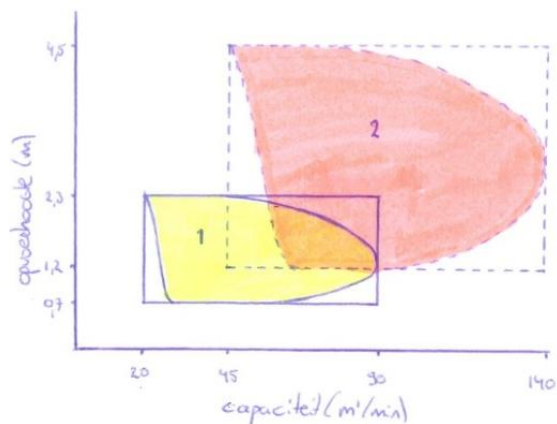
Figuur 19 - voorbeeld input 3

Tauw pompselectie-matrix							
Bosman Watermanagement							
GS	Beveron	BVOP	Vision	BCK(V)			
	type		type				
	135 - 240		125				
KSB							
Amacan P (50 Hz)		PNW (50 Hz)					
	type						
	G3 2200-1480						
Flygt							
C (50 Hz)			P				
FlowsERVE							
AFV	BSV	LNN	LR-LRV-LLR	MSX	MXV	VCT	VTP
type	type						
op aanvraag	op aanvraag						
Pentair Fairbanks Nijhuis							
7000	8200	8300	VP/HP(F) 180	VP/HP(F) 250	VP/HP(F) 340	VMF	
	type	type	type	type	type		
	op aanvraag	op aanvraag	1500 mm	1500 mm	1500 mm		
Hidrostat							
Onderwater		Lagerstoel		axiaalflow			

Figuur 20 - voorbeeld output 3

Het programma is beschreven door formules die de inputwaarden bekijken. In de formules staan voor elke pomp de werkgebieden van elke type beschreven in de vorm van de uiterste waarden die een bepaald type aankan. Dit kan simpel worden weergegeven door een voorbeeld:

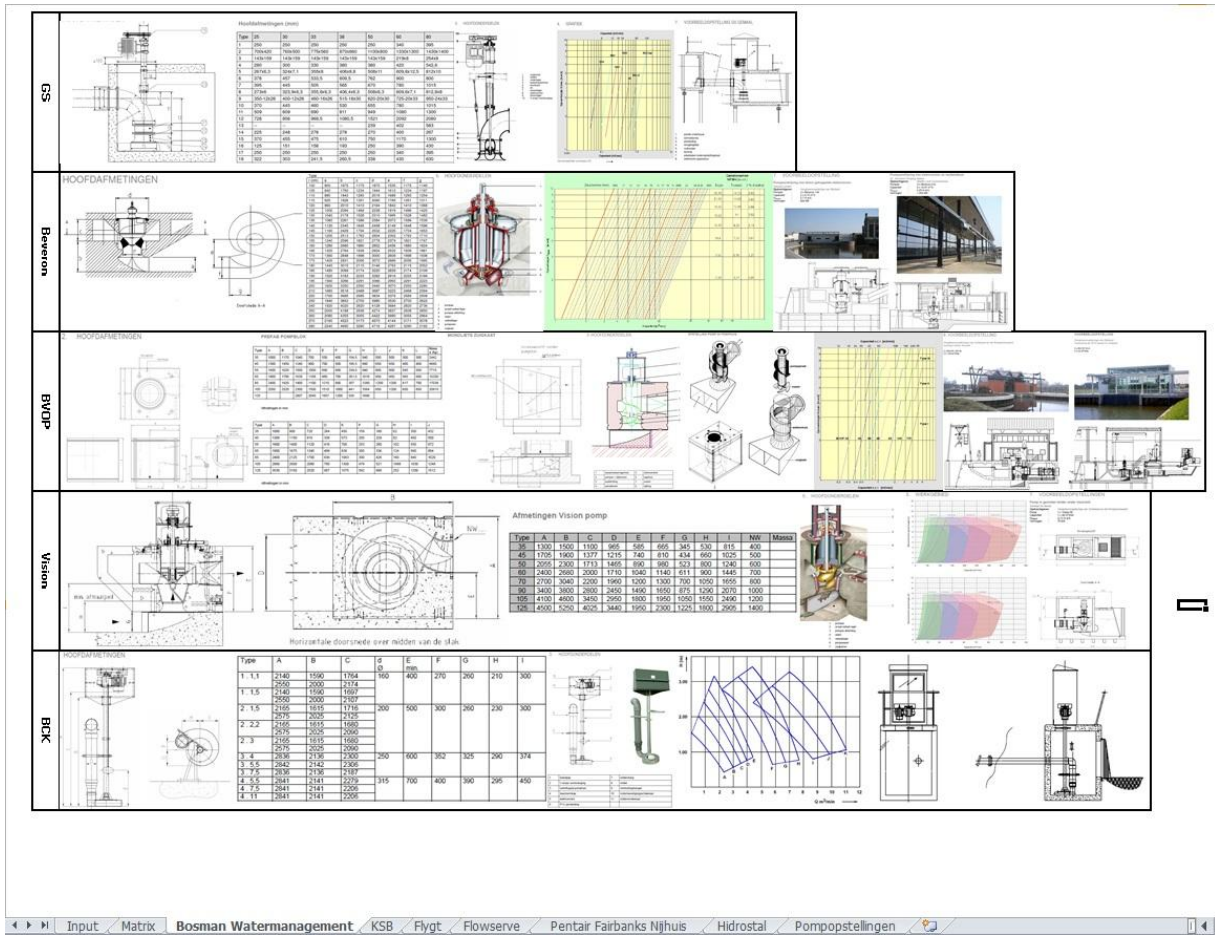
Pomp 1:	min. capaciteit	20 m ³ /min
	max. capaciteit	90 m ³ /min
	min. opvoerhoogte	0.7 meter
	max. opvoerhoogte	2.3 meter
Pomp 2:	min. capaciteit	45 m ³ /min
	max. capaciteit	140 m ³ /min
	min. opvoerhoogte	1.2 meter
	max. opvoerhoogte	4.5 meter



Figuur 21 - voorbeeld werkgebieden

De formule heeft dus een beschrijving van de uiterste waarden voor de verschillende pompen en zal deze doorlopen, van pomp 1 naar pomp 2, enz. Wanneer de waarden die ingevoerd zijn binnen de uiterste waarden van een pomp vallen wordt deze geselecteerd en stopt het programma met "nadenken". Het programma zal in het voorbeeld dus pas verspringen wanneer de capaciteit boven de 90 m³/min of boven een opvoerhoogte van 2.3 meter komt. Er is hier dus makkelijk te zien dat er werkpunten bestaan die zich buiten de werkgebieden van de pompen bevinden, waar het programma toch een pomp selecteert. Ook in het overlappingsgebied van de twee pompen zal pomp 1 worden gekozen, terwijl natuurlijk de vraag is of dat wel de ideale keus is.

Dit kan men eenvoudig opzoeken in de database-tabbladen die ook zijn opgenomen in het programma, in deze tabbladen staat per fabrikant voor elke pomp de belangrijkste informatie die voor handen is (afbeeldingen van werkgebieden, hoofdafmetingen en voorbeeldopstellingen). Sommige leveranciers geven weinig informatie weg in hun brochures, deze is aan te vragen als specifieke situaties (opvoerhoogte en capaciteit) bekend zijn. In figuur 24 is een van de database-tabbladen te zien.



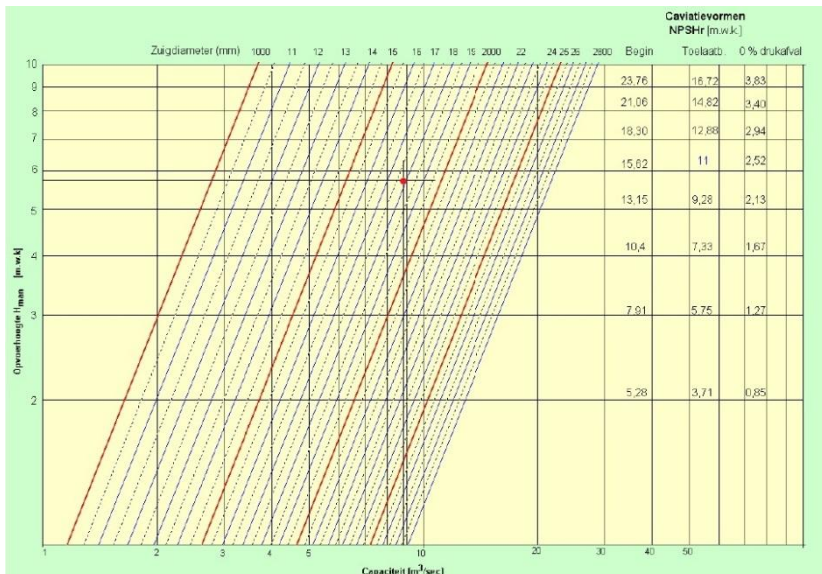
Figuur 22 - voorbeeld database tabblad

Bijlage 5 – Testruns

In deze bijlage staan de uitkomsten van de verschillende testruns die gedaan zijn in het selectieprogramma.

Gemaal Lijnden

Dit gemaal is uitgerust met 2 Beveron 145 pompen van Bosman Watermanagement en pompen op een maximale capaciteit $8,75 \text{ m}^3/\text{sec}$ uit bij een opvoerhoogte van 5.7 m. Dit gemaal is als voorbeeldopstelling meegenomen in de Beveron brochure. Het programma geeft met deze gegevens de Beveron 160-280 als geschikt aan, dit is dus een grotere pomp dan er werkelijk gebruikt wordt. Dit



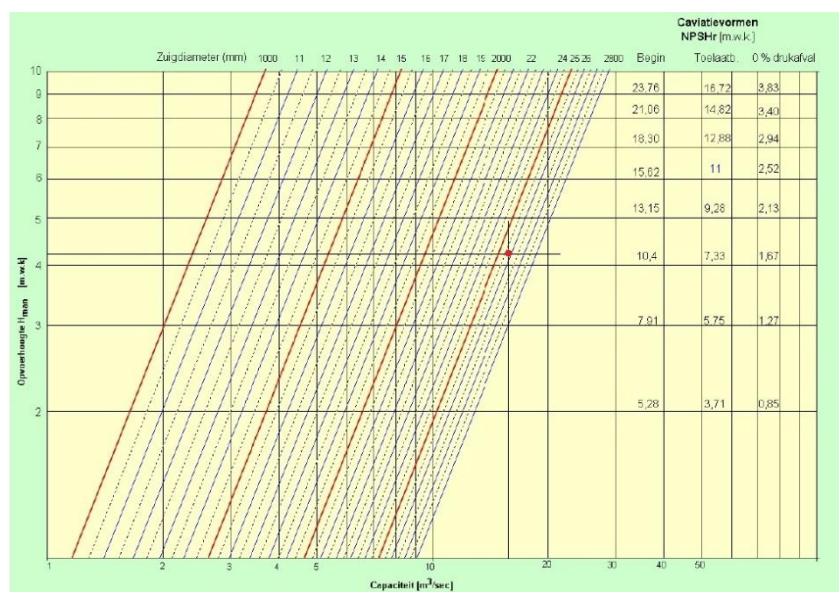
is vreemd aangezien in de grafiek met pompcurves te zien is het werkpunt op de lijn van de 180 ligt, schijnbaar is er dus een kleinere pomp gekozen dan volgens de grafiek geschikt is. Het programma geeft dus een goede selectie, ondanks dat er in werkelijkheid een kleinere pomp is gekozen.

Figuur 23 - Werkpunt gemaal Lijnden (brochure Bosman Watermanagement)

Gemaal St. Germans

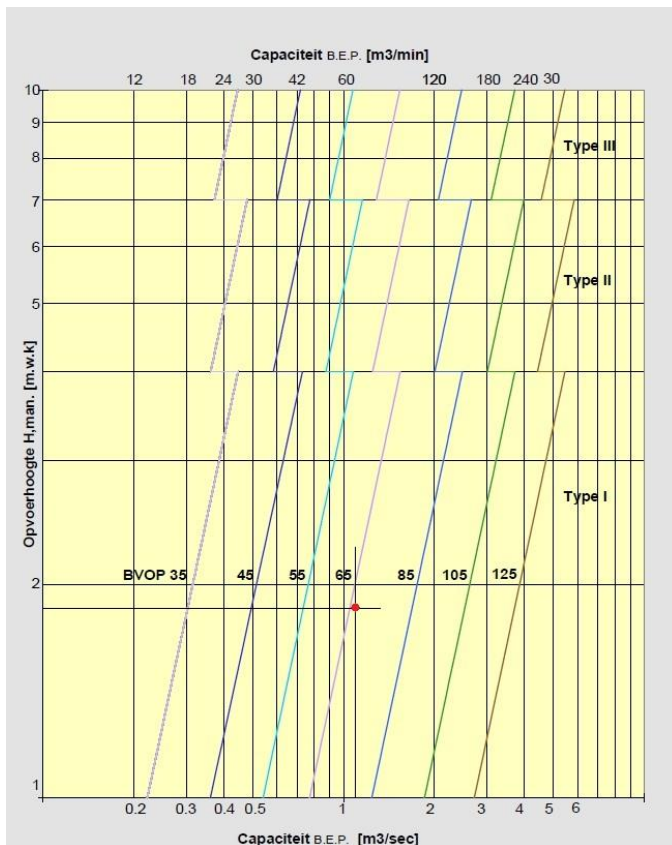
Eveneens een voorbeeldopstelling in de Beveron brochure van Bosman Watermanagement. Dit gemaal is uitgerust met maar liefst 6 Beveron 210 pompen en verpompt $16,67 \text{ m}^3/\text{sec}$ per pomp bij een opvoerhoogte van 4,25 m, in totaal dus zo'n $6000 \text{ m}^3/\text{min}$. In het programma leveren deze gegevens een selectie

op waarin de Beveron 210-280 geschikt worden bevonden, een goede selectie dus. Kijken we echter weer naar de grafiek, dan zien we dat het werkpunt op de lijn van de 260 ligt. Hier is dus weer een keuze gemaakt die volgens de grafiek niet overeenkomt.



Figuur 24 - Werkpunt gemaal St. Germans (brochure Bosman Watermanagement)

Gemaal Ossehaar

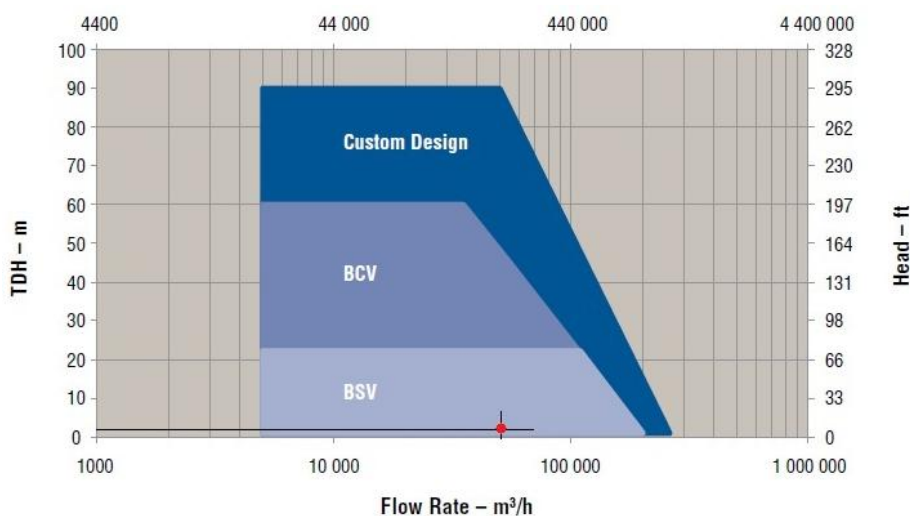


Figuur 25 - Werkpunt gemaal Ossehaar (brochure Bosman Watermanagement)

Dit gemaal maakt gebruik van 2 BVOP pompen van Bosman Watermanagement, de type III 85 welke beide een capaciteit van 70 m³/min leveren bij een opvoerhoogte van 1,85 m (de Greeff & Praamstra, 2009, p. 16). Selectie in het programma levert een geschiktheid voor type I 65-85. De grootte klopt dus wel, maar het type niet. Wederom een rare keuze, want in de grafiek is weer duidelijk te zien dat het werkpunt in de buurt van de 65 type I ligt en er toch voor de 85 type III is gekozen terwijl die voor veel hogere opvoerhoogtes te gebruiken is volgens de grafiek. Waarschijnlijk spelen hier andere parameters een rol, die ervoor hebben gezorgd dat deze pomp gekozen is. Of ze hebben deze pomp verschaald naar het werkpunt, door een lager toerental in te stellen. Hierdoor kan bijvoorbeeld de visvriendelijkheid worden verbeterd.

Gemaal Parksluizen

Dit gemaal is uitgerust met een Flowserve BSV pomp die een capaciteit van 1200 m³/min heeft bij een opvoerhoogte van 2,5 m (www.gemalen.nl). Het programma geeft aan dat het type op aanvraag



Figuur 26 - Werkpunt gemaal Parksluizen (brochure Flowserve)

is, dit komt doordat er door Flowserve weinig informatie over specifieke werkgebieden wordt verschaft en dat er daarom dus wordt geselecteerd op de volledige pomprange.

Bijlage 6 – Een modulair gemaal

In deze bijlage wordt kort op het modulair bouwen van een gemaal in gegaan. Er zal gekeken worden naar het modulair opbouwen van heel grote “super” gemalen en de mogelijkheden daarvan, daarbij zal de klimatologische toekomstproblematiek rondom het IJsselmeergebied als uitgangssituatie worden genomen.

Probleemsituatie IJsselmeergebied

Het IJsselmeergebied bestaat uit het IJsselmeer, het Markermeer en de randmeren om de IJsselmeerpolders. Het IJsselmeer is het grootste zoetwatermeer van Nederland en wordt gevoed door het regenwater van de IJssel en de Vecht, het meer voorziet voor een heel groot deel in de zoetwatervoorziening van Nederland. Het IJsselmeer wordt afgesloten door de afsluitdijk, waardoor het onder vrij verval water kan lozen op de Waddenzee.



Figuur 27 - IJsselmeer

Klimaatberekeningen van het KNMI laten zien dat het in de toekomst erg lastig wordt om met behoud van huidige peilniveau's vrij te blijven lozen op de Waddenzee. In het jaar 2100 zullen de afvoeren van de IJssel en de Vecht met 55% resp. 33 % zijn gestegen, daarnaast zal de zeespiegel stijgen met in het gematigde geval 35 cm en in het extreemste geval 85 cm (Bos et al., 2012, p. 29). Door deze zeespiegelstijging en de verhoogde afvoer zal er op steeds minder momenten vrij kunnen worden geloosd. Aangezien het IJsselmeer ook een beperkte bergingscapaciteit heeft moet er in de toekomst dus gepompt gaan worden. De hoeveelheid water die verpompt moet worden zal in het uiterste geval 2000 m³/sec bedragen (ter vergelijking: het huidige grootste gemaal van Europa in

IJmuiden heeft een maximale capaciteit van 260 m³/sec (van Rijn & Polderman, 2010, p. 73)). Het plan zoals omschreven in het achtergronddocument van het CPB stelt voor om in 2020 een gemaalcapaciteit van 500 m³/s te waarborgen, daar moet dan in 2035 nogmaals 500 m³/s bij komen en als laatste zal in 2060 deze capaciteit verdubbeld worden om de 2000 m³/s te behalen (Bos et al., 2012, p. 48).

Omdat de investeringskosten van een gemaal erg groot zijn en er een grote onzekerheid bestaat over welke klimaatveranderingen er precies gaan optreden kan het te duur zijn om een gemaal te bouwen dat de uiterste situatie als uitgangspunt neemt, de zeespiegelstijging kan immers ook meevallen waardoor de gemaalcapaciteit misschien een stuk kleiner hoeft te zijn in het jaar 2100. Er wordt dus gezocht naar een oplossing die flexibel is en in kan springen op de veranderingen ten aanzien van benodigde capaciteit in de toekomst.

In het CPB achtergronddocument worden verschillende alternatieven doorgerekend en komt met tot de oplossing om drie gemalen in stappen te bouwen om de benodigde capaciteit van 2000 m³/sec te behalen. In deze studie zal gezocht worden naar alternatieven die nog flexibeler zijn en maar één ingrijpende verbouwing aan de afsluitdijk omvatten.

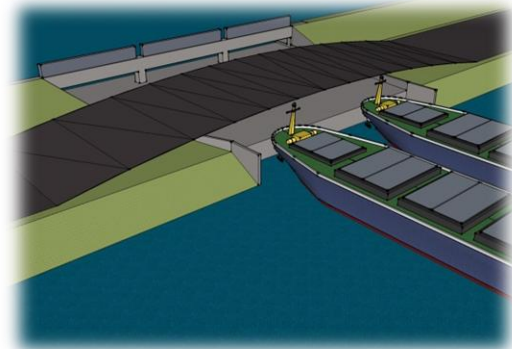
De alternatieven

Er zijn aan de hand van een brainstormsessie en in overleg met de expert Robert Beenen twee alternatieven bedacht. Het betreft conceptontwerpen, waarbij flexibiliteit van de capaciteit en een enkele ingreep in de afsluitdijk als vereisten zijn aangenomen. Dit om te dwingen tot een modulair alternatief, hieronder zijn de twee kort beschreven.

Het drijvende gemaal

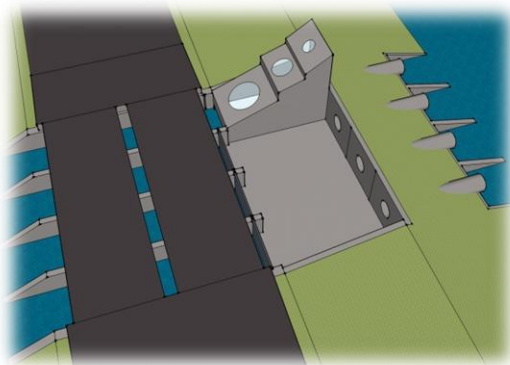
Het eerste alternatief is het niet zo bekende drijvende gemaal, opgeworpen als interessant idee door Frans van Deventer van Tauw. In 1950 is dit idee voor het eerst toegepast in Nijmegen, als noodbemaling van koelwater voor Centrale Gelderland I bij lage waterstanden in de Waal (noviomagus.nl). Tweede voorbeeld is het drijvende gemaal bij Doornenburg in het Pannerdensch kanaal.

Het drijvende gemaal biedt een uitstekende oplossing. Het gemaal kan worden vormgegeven in bijvoorbeeld een (oud) vracht- of tankerschip, dat aangelegd kan worden aan een kering in de afsluitdijk. Hiernaast is een afbeelding te zien van een conceptontwerp van dit alternatief. Een drijvend gemaal is iets heel bijzonders en erg flexibel, men kan in het schip verschillende pompopstellingen inpassen om verschillende capaciteiten te behalen en deze kunnen eenvoudig worden toegevoegd. Het onderhoud kan bij een scheepswerf gebeuren, wanneer het bemalen bijvoorbeeld een tijdje niet nodig is. Ook hoeft er maar één keer een grote kering te worden gebouwd, waaraan plek is voor meerdere schepen. Op deze manier is de te behalen capaciteit zeer flexibel.



Figuur 28 - Conceptontwerp drijvend gemaal

Het inbouwgemeal



Figuur 29 - Conceptontwerp inbouwgemeal

Het tweede alternatief is een volledig nieuwe toepassing van een gemaal. Het idee is dat de fundering en enkele andere onderdelen van het gemaal in één keer worden aangelegd, zodat in de toekomst door bijplaatsen van de andere modules de capaciteit eenvoudig kan worden verhoogd. Er wordt hier gekozen om een fundering te realiseren in de afsluitdijk die zo wordt vorm gegeven dat deze plaats biedt aan meerdere modules, deze modules kunnen geplaatst worden wanneer het nodig geacht wordt de capaciteit van het gemaal te vergroten. De modules zijn als het ware kleine gemalen die in de fundering op hun plek gezet kunnen worden. Hiernaast is een afbeelding te zien van het conceptontwerp. De eerste investering is erg hoog, maar als de klimaatveranderingen meevallen hoeft er minder capaciteit te worden toegevoegd waardoor er een hoop geld bespaard kan worden in de toekomst.