



Studie pompvarianten op locatie in de dijk

Nieuwbouw gemaal Zoutkamp

27 oktober 2020

Verantwoording

Titel	Studie pompvarianten op locatie in de dijk Nieuwbouw gemaal Zoutkamp
Opdrachtgever	Waterschap Noorderzijlvest
Projectleider	Harry Grevers
Auteur(s)	Paul Heuseveldt
Projectnummer	1276983
Aantal pagina's	23
Datum	27 oktober 2020
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Versie beheer

Versie	Omschrijving	Datum	Auteur
V01	Concept rapportage locatie-varianten gemaal Zoutkamp	01-10-'20	Paul Heuseveldt
V02	Definitieve rapportage locatie-varianten gemaal Zoutkamp	28-10-'20	Paul Heuseveldt

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Scope	5
1.3	Leeswijzer	6
2	Uitgangspunten	6
2.1	Op hoofdlijnen	6
2.2	Functionele uitgangspunten	6
2.3	Technische uitgangspunten	7
2.4	Varianten pompconfiguratie	7
3	Beschrijving varianten	8
3.1	Te beschouwen varianten	8
3.2	Locatie variantenstudie	8
3.3	Technische uitwerking varianten	8
3.3.1	Horizontaal nat opgestelde pompen (variant A1).....	8
3.3.2	Horizontaal droog opgestelde pompen (variant A2).....	9
3.3.3	Verticaal opgestelde open schroefpompen (variant B1)	10
3.3.4	Verticaal opgestelde gesloten schroefpomp (variant B2)	11
3.3.5	Vijzels (variant C1).....	11
3.3.6	Buisvijzel (C2)	12
4	Uitwerking variantenanalyse.....	14
4.1	Werkwijze beoordeling varianten	14
4.1.1	Wegingsfactoren	14
4.1.2	Kwalitatieve aspecten	15
4.2	Toelichting analyse gemaal Zoutkamp.....	16
4.2.1	Kwalitatieve aspecten gemaal Zoutkamp	16
4.2.2	Kostenaspecten gemaal Zoutkamp	19
4.2.3	Eindbeoordeling analyse gemaal Zoutkamp.....	20
4.2.4	Uitkomst multicriteria analyse	20
5	Conclusie en nabeschuiving.....	21
5.1	Vaststellen voorkeursvariant	21

5.2	Resultaat variantenstudie.....	21
5.3	Nabeschuwing.....	21
Bijlage 1	Multicriteria-analyse pompopstellingen	22
Bijlage 2	Berekening energieverbruik varianten	23

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De scope van dit “VKA NWW Zoutkamp” betreft in de kern een grondige aanpak van enkele kunstwerken. Allereerst is er de historische Hunsingosluis in Zoutkamp, inclusief het aansluitende dijksegment van de oude zeedijk welke samen weer functioneel dienen te worden als regionale kering, en waarin bovendien deze oude keersluis niet alleen wordt gerenoveerd maar tevens wordt uitgebreid naar een schutsluis met een lengte van minimaal 25 m.

In combinatie hiermee wordt direct zuidelijk naast deze sluis ook de bouw van een nieuw, groot boezemgemaal voorzien van 1.600 m³/min in deze oude zeedijk, uitmalend richting Lauwersmeer. Dit ter vervanging van het bestaande gemaal H.D. Louwes. Met dit nieuwe gemaal wordt voldaan aan de in de verkenningsfase reeds berekende opgave voor benodigde capaciteitsvergroting van 600 m³/min ten opzichte van het bestaande, verderop gelegen gemaal H.D. Louwes dat nu 1.000 m³/min kan verplaatsen. Uitgangspunt, en ook onderdeel van dit project, is dat dit oude gemaal met naastgelegen keersluis uiteindelijk zal worden geamoveerd zodra de nieuwe schutsluis en gemaal zijn gerealiseerd.

1.2 Scope

Deze rapportage is onderdeel van de planvorming rondom de “VKA NWW Zoutkamp”. De locatie van het nieuwe gemaal is naast de bestaande Hunsingosluis, zie figuur 1.1. Het betreft hier de variantenstudie naar mogelijke pompvarianten voor de inpassing in de bestaande zeedijk, één en ander als nadere uitwerking van haalbaarheidsstudie door Witteveen en Bos uit 2019¹.



Figuur 1.1 Overzicht huidige locatie Hunsingosluis met geplande locatie voor nieuwe schutsluis en gemaal

¹ Rapport “Capaciteitsuitbreiding gemaal H.D. Louwes, haalbaarheidsstudie Hunsingosluis”, Witteveen en Bos, d.d. 9 oktober 2019

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten beschreven. De pompvarianten die voor het gemaal in aanmerking komen, worden aansluitend in hoofdstuk 3 besproken. In hoofdstuk 4 volgt daarop de variantenanalyse welke wordt afgesloten met de uitkomst van de analyse. Een nabeschuiving volgt in hoofdstuk 5.

2 Uitgangspunten

2.1 Op hoofdlijnen

Naast de bestaande Hunsingosluis wordt het nieuwe gemaal Zoutkamp gebouwd. Het gemaal moet ingepast worden in de omgeving en onderdeel uitmaken van de regionale kering.

2.2 Functionele uitgangspunten

Voor het ontwerp van het gemaal zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd.

Capaciteit gemaal

Maximale capaciteit : 1.600 m³/min

Peilen Electraboezem

- Streefpeil : NAP -0,93 m

Peilen Reitdiep / Lauwersmeer

- Streefpeil : NAP -0,93 m
- Minimum (LW) : NAP -1,20 m
- Maximum (HW) : NAP +0,40 m

Statische opvoerhoogte

Bovenstaande houdt in dat de maatgevende statische opvoerhoogtes als volgt worden, gerekend van vóór krooshek enerzijds tot uitstroompunt in Reitdiep anderzijds:

- $H_{\text{statisch min}}$: 0,00 mWk (NAP -0,93 - NAP -0,93)
- $H_{\text{statisch maximaal}}$: 1,35 mWk (NAP -0,93 - NAP +0,40)
- $H_{\text{statisch ontwerp}}$: 0,75 mWk (NAP -0,93 - NAP -0,18)²

Toeslagen op het verval

- Toekomstige peilverlaging : 0 cm
- Afmaling (bovenstrooms) : nog nader te bepalen
- Opmaling (benedenstrooms) : nog nader te bepalen
- Toeslag vervuiling krooshek : 10 cm

De ontwerpcapaciteit moet gehaald kunnen worden bij de ontwerp-opvoerhoogte. In bovengenoemde opvoerhoogtes zijn de toeslagen (afmaling, opmaling, kroosophoping en een

² Deze ontwerp-opvoerhoogte is nog niet definitief vastgesteld en is arbitrair.

droogloopmarge) nog niet verdisconteerd. Bij de maximale opvoerhoogte dient nog minstens 85 % van de ontwerpcapaciteit beschikbaar te zijn.

Maatvoering

De volgende maatvoeringsgrondslagen gelden als maatgevend voor de inpassing:

- Maximale breedte (uitwendig) : 16 m³
- Maximale bodemdiepte (instroom) : NAP -6,50 m⁴

Overige dimensioneringsgrondslagen

- Aantal pompunits : 3 of 4 stuks
- Capaciteit per pomp : 535 respectievelijk 400 m³/min
- Stroomsnelheid over het krooshek : ≤ 0,5 m/s
- Motorreserve : +5 % (bij de zwaarste belasting)

Toelichting:

Vanwege de beperkte beschikbare ruimte (breedte) ter plaatse is gebleken dat 3 units de meest optimale indeling van de ruimte biedt voor de locatie die in deze rapportage wordt beschouwd (zie in dit kader ook paragraaf 3.2). Vier units levert voor alle varianten te grote inbouwbreedte op, 2 units leidt tot een grote inbouwdiepte (in relatie tot de bestaande bodemdieptes in het Hunsingokanaal).

2.3 Technische uitgangspunten

De volgende uitgangspunten c.q. voorkeuren zijn geformuleerd voor de nieuwe installatie:

- Duurzame installatie
- Visveilige opvoerwerktuigen
- Lage onderhoudsinspanning
- Goede inpasbaarheid in de omgeving
- Behoud huidige zichtlijnen

2.4 Varianten pompconfiguratie

In het volgende hoofdstuk zal een zestal varianten van in aanmerking komende pompconfiguraties worden vergeleken door middel van een multicriteria-analyse.

³ Deze maat is afgeleid uit de kadastrale gegevens van de locatie

⁴ Deze diepte is bepaald op basis van de maximale diepte in de vaargeul van in het Hunsingokanaal, aan de hand van beschikbare dwarsprofielen

3 Beschrijving varianten

Een viertal pompvarianten zal worden onderzocht. In dit hoofdstuk worden deze varianten op hoofdlijnen beschreven.

3.1 Te beschouwen varianten

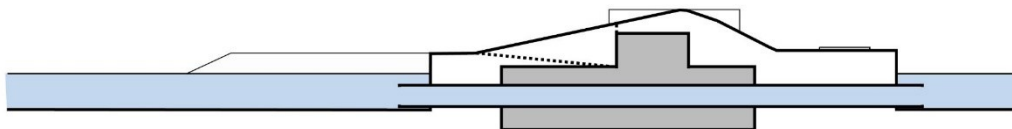
De volgende varianten van in aanmerking komende pompconfiguraties zullen worden beschouwd:

- A1. Horizontaal opgestelde pompen (dompelpompen)
- A2. Horizontaal opgestelde pompen (katterug)
- B1. Verticaal opgestelde pompen (open uitvoering)
- B2. Verticaal opgestelde pompen (gesloten uitvoering)
- C1. Vijzels (traditioneel)
- C2. Buisvijzels

In de volgende paragrafen zullen per variant de specifieke kenmerken worden genoemd:

3.2 Locatie variantenstudie

Voortbordurend op de haalbaarheidsstudie van Witteveen+Bos d.d. 9 oktober 2019 (bijlage 4 bij de uitraag van de variantenstudie en schetsontwerp), worden die pompvarianten beschouwd die binnen de beschikbare ruimte passen zoals aangegeven in onderstaande figuur 3.1.



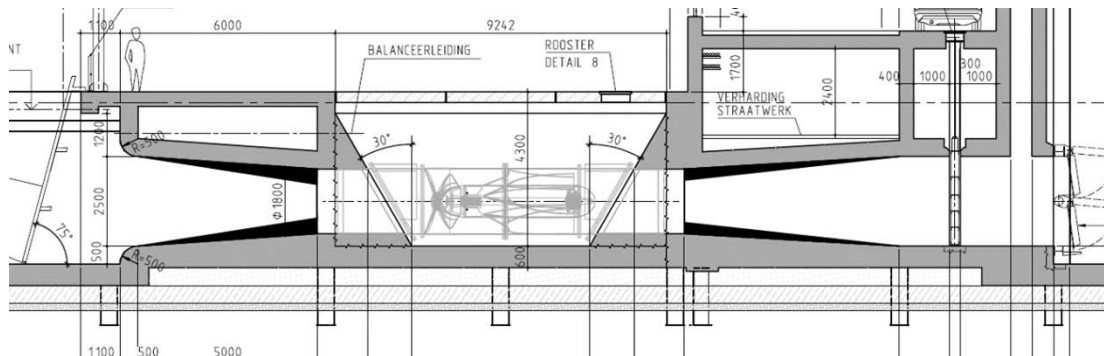
Figuur 3.1 Dwarsprofiel zeedijk ter plaatse van toekomstige gemaallocatie

Voor de verticale pompen (variant B1 en B2) betekent bovenstaande dat vanwege de breedtebeperking er geen 4-pomps variant mogelijk is, omdat het totale bouwwerk dan buiten de beschikbare oppervlakte contouren valt. Datzelfde geldt voor een slakkenhuis pomp (met half-axiaalwaaiers), welke eveneens een te grote inbouwbreedte hebben.

3.3 Technische uitwerking varianten

3.3.1 Horizontaal nat opgestelde pompen (variant A1)

Bij variant A1 wordt gekozen voor een dompelpomp in horizontale opstelling. Zowel de instroming als de uitstroming zijn horizontaal, wat de constructie eenvoudig maakt.



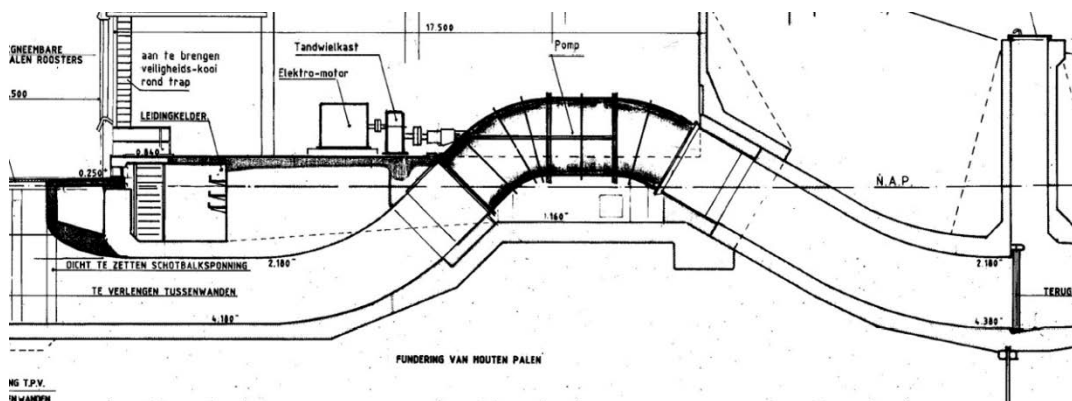
Figuur 3.2 Voorbeeld van een horizontaal opgestelde pomp

De specificaties van variant A1 luiden:

- Fabrikaat : Pentair/Nijhuis, Flowserve
- Type : HPFM1-1800.340 (voorlopige selectie)
- Aantal eenheden : 3 stuks
- Dagmaat instroming : 4,0 m
- Waaierdiameter : 1.800 mm
- Pomptoeental : circa 145 omw/min
- Pompasvermogen : circa 150 kW
- Motorvermogen : 180 kW (nader te bepalen)

3.3.2 Horizontaal droog opgestelde pompen (variant A2)

Bij variant A2 wordt gekozen voor een katterug in horizontale opstelling. Het pompdeel bevindt zich boven de waterlijn; voor pompbedrijf moet met een vacuüminstallatie de leiding worden gevuld met water.



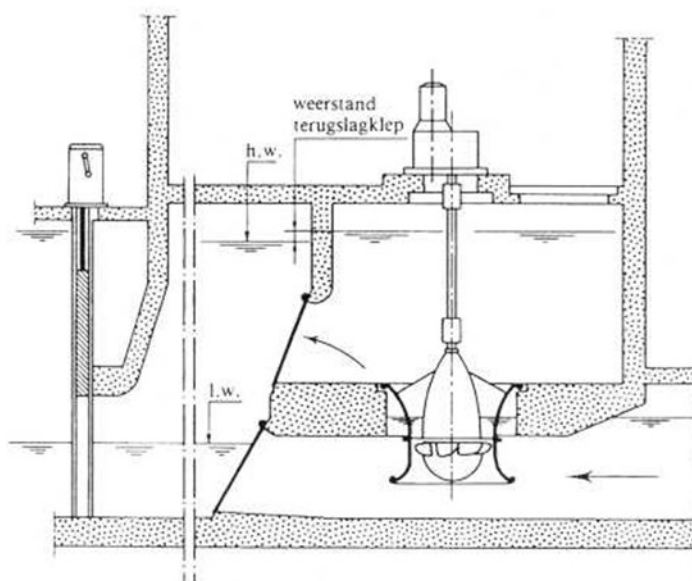
Figuur 3.3 Horizontale pomp met droog opgestelde motor (type "katterug")

De specificaties van variant A2 luiden:

- Fabricaat : Flowserve, Pentair/Nijhuis
- Type : VOP 250F (op basis van Flowserve)
- Aantal eenheden : 3 stuks
- Dagmaat instroming : 4,0 m
- Waaierdiameter : 2.500 mm
- Pomptoeental : circa 90 omw/min
- Pompasvermogen : circa 200 kW
- Motorvermogen : 250 kW (nader te bepalen)

3.3.3 Verticaal opgestelde open schroefpompen (variant B1)

Een open schroefpomp bestaat uit een schroefvormige waaier met een verticaal geplaatste aandrijfshas. De pomp is in de regel voorzien van een diffuser met leidschoepen. De pomp moet worden voorzien van een hoge perskelder die het water moet keren bij het opstarten van de installatie.



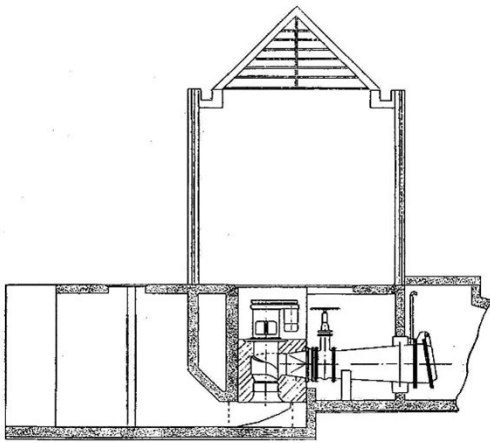
Figuur 3.4 Voorbeeld van een open schroefpomp

De specificaties van variant B luiden:

- Fabricaat : Bosman Watermanagement, Pentair
- Type : Vision 160 MC (op basis van Bosman)
- Aantal eenheden : 3 stuks
- Dagmaat instroming : 4,0 m
- Waaierdiameter : 1.600 mm
- Pomptoeental : circa 143 omw/min
- Pompasvermogen : circa 185 kW
- Motorvermogen : 215 kW (nader te bepalen)

3.3.4 Verticaal opgestelde gesloten schroefpomp (variant B2)

De gesloten schroefpomp bestaat eveneens uit een schroefvormige waaier die samen met het leid schoepen huis is ondergebracht in een buisvormige behuizing. De verticaal opgestelde waaier is volledig ondergedompeld, hetgeen de pomp zelfaanzuigend maakt. De behuizing van dit soort pompen kan bestaan uit beton of staal.



Figuur 3.5 Voorbeeld van een gesloten schroefpomp

De specificaties van variant B2 luiden:

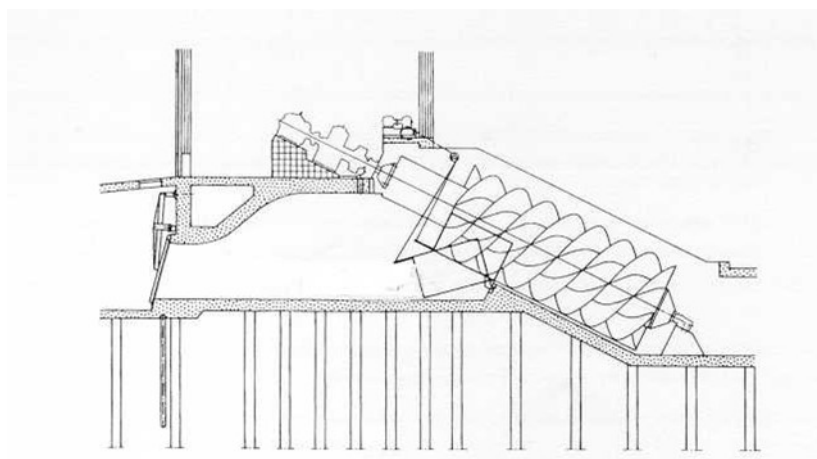
- Fabricaat : Bosman Watermanagement, Flowserve, Pentair
- Type : Vision 160 MC
- Aantal eenheden : 3 stuks
- Dagmaat instroming : 4,0 m
- Waaierdiameter : 1.600 mm
- Pomptoeental : circa 143 omw/min
- Pompasvermogen : circa 185 kW
- Motorvermogen : 215 kW (nader te bepalen)

3.3.5 Vijzels (variant C1)

Een vijzel staat te boek als een uiterst robuust opvoerwerktuig. Het instroompeil, opvoerhoogte en fluctuaties aan de in- en uitstroomzijde variëren slechts in geringe mate; hierdoor is een vijzel goed toepasbaar. Vanwege de beperkte beschikbare breedte worden de vijzels onder een flauwere hoek geplaatst zodat de vijzeldiameter kan worden gereduceerd; uitgangspunt is om de vijzeldiameter niet groter te kiezen dan 4,0 m en met andere beschikbare parameters te variëren⁵. Deze opstelhoek levert wel weer een grotere inbouw lengte op, wat tot gevolg heeft dat de aandrijflijnen (gedeeltelijk) buiten het dijkprofiel komen te vallen. Dit kan worden ondervangen met een machineruimte die onderdeel vormt van de buitendijkse inpassing.

⁵ Bij de dimensionering van een vijzel zijn er verschillende parameters beschikbaar om de gewenste capaciteit te realiseren: vijzeldiameter, spoed, toerental, aantal gangen (meestal 3 stuks) en opstelhoek

Verder zijn vijzels in de regel vorstgevoeliger dan waaierpompen; echter met de nodige voorzieningen speelt dit geen rol van betekenis. Ook het geluid dat wordt geproduceerd door het opgewerkte water in de opleiders kan met afdekking van de vijzelgoten worden gereduceerd.



Figuur 3.6 Voorbeeld van een vijzelopstelling

De specificaties van variant C1 luiden:

- Fabricaat : Spaans, Landustrie
- Type : 3- of 4-gangige vijzel
- Aantal eenheden : 3 stuks
- Opstelhoek : 22 °
- Diameter vijzel : 4,0 m
- Dagmaat instroming : 4,4 m
- Vijzellengte : circa 7,0 m
- Vijzeltoerental : 21,9 omw/min
- Asvermogen : circa 185 kW
- Motorvermogen : 230 kW (nader te bepalen)

3.3.6 Buisvijzel (C2)

De buisvijzel is een vijzel die speciaal is ontwikkeld voor de migratie van vis. De beschoeping is in een gebogen vorm naar voren gekromd waardoor het contact met vis wordt geminimaliseerd. Verder is de beschoeping omhuld door een trommel (buis) waardoor de vissen niet beklemd kunnen raken tussen de opleider en de vijzel. De eigenschappen die hiervoor bij de traditionele vijzel worden genoemd gelden in grote lijnen ook voor de buisvijzel. Omdat de buisvijzel nog breder bouwt door de buisomhulling, moet besparing van de beschikbare ruimte worden gezocht in een nog flauwere opstelhoek van de opleider.

Verder is uit praktijkproeven gebleken dat door de omhulling van de vijzel het rendement gunstiger uitpakt doordat er minder lek- en spatverliezen optreden.

De specificaties van variant C2 luiden:

- Fabrikaat : Fishflow Innovations
- Type : 3-gangige vijzel
- Aantal eenheden : 3 stuks
- Opstelhoek : 16 °
- Diameter vijzel : 4.000 mm
- Dagmaat instroming : 4,4 m
- Vijzellengte : circa 8,8 m
- Vijzeltoerental : 16,2 omw/min
- Asvermogen : circa 270 kW
- Motorvermogen : 300 kW (nader te bepalen)

4 Uitwerking variantenanalyse

De in hoofdstuk 3 genoemde varianten zullen worden beoordeeld op diverse aspecten. Deze aspecten zijn verwerkt in een multicriteria-analyse. Dit levert per variant een cijfermatige score op zodat een objectieve vergelijking mogelijk is. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met de meest haalbare oplossing bij een ontwerp in de dijk.

4.1 Werkwijze beoordeling varianten

Voor de onderlinge vergelijking van de varianten zal een multicriteria-analyse (MCA) worden gebruikt. Hoe dit werkt wordt hieronder nader toegelicht. De beoordeling van de varianten vindt plaats op 9 kwalitatieve aspecten en 2 kostenaspecten. Deze worden per variant afzonderlijk inzichtelijk gemaakt.

De stappen die voor deze variantenstudie zijn verricht zijn als volgt:

1. Vaststellen varianten
2. Vaststellen criteria om varianten onderling te vergelijken
3. Bepalen wegingsfactoren per criterium
4. Bepalen scores varianten
5. Vaststellen voorkeursvariant

Door Tauw is een voorlopige opzet van de multicriteria-analyse uitgevoerd op basis van eigen kennis en ervaring. Deze is door Tauw toegelicht in een presentatie voor betrokken partijen (waterschap, gemeente en provincie). Voor de definitieve vaststelling van de voorkeursvariant dient er een gezamenlijke sessie (klein comité met het waterschap) te worden gehouden om bovenstaande stappen nogmaals te doorlopen.

4.1.1 Wegingsfactoren

In een multicriteria-analyse is het mogelijk de uitkomsten per onderwerp te waarderen op mate van belang voor de te maken beoordeling. Aan bepaalde onderwerpen kan meer belang worden toegekend, waardoor deze meer invloed hebben op de uitkomst. In dit rapport wordt het belang van ieder geselecteerd criterium aangegeven met een wegingsfactor.

Tabel 4.1 Wegingsfactoren per criterium

Criterium	Beschrijving	Wegingsfactor
Duurzaamheid	Materialen, levensduur, aanpasbaarheid, hergebruik materialen	0,6
Energieverbruik	Het energieverbruik van de voorziening	0,9
Inpasbaarheid	De mate waarin de voorziening inpasbaar is in de omgeving	0,9
Regelbaarheid	Mate waarin opvoerwerktuig regelbaar is	0,5
Betrouwbaarheid	Mate waarin installatie storingsvrij kan functioneren	1,0
Onderhoudbaarheid/ gebruiksgemak	Gemak waarmee installatie beheerd en onderhouden kan worden	1,0
Visveiligheid	Mate van visoverleving van de variant	0,5

Criterium	Beschrijving	Wegingsfactor
Bouwkosten	Eénmalige aanlegkosten	0,5
Variabele kosten	Kosten voor beheer en onderhoud (exclusief energiekosten)	0,5

4.1.2 Kwalitatieve aspecten

Om de beoordeling onderbouwd en transparant te kunnen maken, is een helder afwegingskader met criteria ('wat speelt een rol?') noodzakelijk. Om uit de selectie van oplossingen tot een voorkeursoplossing te komen wordt daarom gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse. De varianten worden hiermee kwalitatief beoordeeld op basis van de criteria en met de scores zoals omschreven in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Criteria en score-grenzen voor variantenafweging

Criterium	Onderbouwing	Score
Duurzaamheid	Materiaalkeuzes (beton, hout, kunststof, et cetera), levensduur, recyclebaarheid, etc.	
	Laag materiaalgebruik, gerecyclede onderdelen, nauwelijks funderen	3
	Neutraal	0
	Niet herbruikbaar, zware constructie c.q. fundering	-3
Energieverbruik	Het energieverbruik van de variant	
	Laag energieverbruik en/of hydraulische verliezen	3
	Normaal energieverbruik	0
	Fors energieverbruik (significant)	-3
Inpasbaarheid	Mate waarin inpasbaar binnen bestaande contouren	
	Eenvoudige inpasbaarheid zonder grote civieltechnische ingrepen	3
	Geringe aanpassingen noodzakelijk	0
	Slecht inpasbaar met veel aanpassingen, grondaankoop, etc.	-3
Combinatie krooshekreiniger dijkzijde	Impact locatie krooshekreiniger op zichtbaarheid technische installaties vanwege inbouwlengte en inbouwhoogte	
	Onafhankelijk van locatie krooshekreiniger een goede inpassing zonder storende zichtbaarheid	3
	Geringe afhankelijkheid	0
	Slecht inpasbaar met grote consequenties voor zichtbaarheid installaties buiten de dijkcontour	-3
Regelbaarheid	Mate waarin opvoerwerktuig regelbaar is	
	Goede regelbaarheid van hoog naar laag	3
	Normale regelbaarheid	0
	Slecht regelbaar	-3
Betrouwbaarheid	Mate waarin installatie storingsvrij kan functioneren	
	Weinig onderhoud nodig, robuuste techniek	
	Geringe onderhoudsinspanning	
	Regelmatig onderhoud en/of inspecties noodzakelijk	
Onderhoudbaarheid / gebruiksgemak	Gemak waarmee installatie beheerd en onderhouden kan worden	
	Makkelijk in gebruik en goed bereikbaar	3

Criterium	Onderbouwing	Score
Visveiligheid	Normaal bedienbaar en bereikbaar	0
	Slecht bereikbaar en bedienbaar	-3
	Mate van visoverleving van de variant	
	Hoge kans op visoverleving en geschikt voor veel doelsoorten en visgroottes	3
	Normale kans op visoverleving	0
Bouwtijd	Slechte kans op visoverleving en slechts geschikt voor enkele doelsoorten en visgroottes	-3
	Tijdsduur om variant te realiseren	
	Korte bouwperiode	3
	Normale bouwperiode	0
	Extra lange bouwperiode	-3

4.2 Toelichting analyse gemaal Zoutkamp

4.2.1 Kwalitatieve aspecten gemaal Zoutkamp

Hieronder wordt in tabelvorm de onderbouwing per variant weergegeven. Voor elk deelaspect is een aparte tabel opgenomen.

Tabel 4.3 Duurzaamheid

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Het materiaalgebruik is gering door compacte bouwwijze	2
A2	Idem als A1, verschil is de toevoeging van gietijzeren leidingen	1
B1	Relatief is het materiaalgebruik gunstig, maar heeft een diepe ligging vanwege benodigde indompeldiepte c.q. inbouwhoogte visveilige pomp	0
B2	Materiaalgebruik is ongunstiger dan B1 doordat bouwhoogte relatief hoog uitkomt ten opzichte van het buitenpeil	-1
C1	Door de bouwvorm is relatief veel beton nodig	0
C2	Vanwege de omhulling van de buis hoeft er geen aparte opleider te worden aangelegd. Tevens wordt het vizellichaam opgebouwd uit composiet waardoor deze relatief licht is	2

Voor het energieverbruik zijn door het waterschap randvoorwaarden aangegeven welke maatgevend zijn om de verschillende opvoerwerktuigen onderling te vergelijken. Deze randvoorwaarden luiden:

Tabel 4.4 Randvoorwaarden energieverbruik

Scenario	Totale capaciteit In m ³ /min	Aantal opvoerwerktuigen	H-statisch In mWk	Draaiuren per jaar
1	335	1	0,39	1209,75
2	670	2	0,47	189,75
3	1000	3	0,76	129,50

Met een hydraulische berekening waarbij het hydraulische rendement en dynamische opvoerhoogte voor elk type opvoerwerktuig als specifiek kenmerk worden aangehouden leidt dit tot de volgende uitkomsten:

Tabel 4.5 Overzicht uitkomsten jaarlijks energieverbruik per variant

Variant	Energieverbruik in kWh/jaar
A1	75.561
A2	76.819
B1	154.219
B2	154.219
C1	116.186
C2	71.403

De detailberekening van het energieverbruik is opgenomen in bijlage 2.

Voor de multicriteria-analyse levert dit het volgende resultaat op.

Tabel 4.6 Energieverbruik

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Gunstig pomprendement door juiste pompkeuze en geringe hydraulische verliezen door ontbreken van bochten	3
A2	In totaliteit vergelijkbaar, door droge opstelling betere hydrauliek, echter meer hydraulische verliezen dan A1 door extra bochtverliezen	3
B1	Ongunstige hydraulische verliezen door overgang horizontaal naar verticaal en hoogte van de uitstroom pompkelk	-1
B2	Idem als B1, vanaf het pomphuis zit een persbocht welke relatief hoog uitkomt	-1
C1	Door lage stortpunt lage verliezen, met name bij deellasten	2
C2	Idem als C1, hoger vijzelrendement vanwege buis waardoor minder spat- en lekverliezen	3

Tabel 4.7 Inpasbaarheid (breedte, diepte, hoogte)

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Prima inpasbaarheid door geringe inbouwbreedte (maalgang 4,0 m)	3
A2	Als A1, maar bouwt hoger en langer; breedte maalgang 4,0 m	1
B1	Ongunstig door grote inbouwdiepte; breedte maalgang 4,5 m	-1
B2	Idem als B1, maar door hoogte persleiding nog ongunstiger	-2
C1	Goede inpasbaarheid door geringe inbouwbreedte (maalgang 4,4 m)	2
C2	Redelijke inpasbaarheid door geringe inbouwbreedte (maalgang 4,5 m)	1

Tabel 4.8 Combinatie krooshekreiniger dijkzijde

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Door de lage en korte bouwvorm goed te combineren	3
A2	Idem als A1	3
B1	Hoge bouwvorm, echter door korte inbouw lengte in de kruin van de dijk inpasbaar	3
B2	Idem als B1	3
C1	Door lange inbouw lengte komt aandrijving boven contouren dijk uit	-2
C2	Idem als C1, maar dan nog meer zichtbaarheid	-3

Tabel 4.9 Regelbaarheid

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Goede regelbaarheid tot circa 60 % van de nominale capaciteit (bij de maximale opvoerhoogte)	1
A2	Grotere kans op luchtzuiging door hogere pompligging	0
B1	Slechtere regelbaarheid door permanent hoge opvoerhoogte vanwege hoge uitstroom pompkelk	-1
B2	Idem	-1
C1	Uitstekende regelbaarheid tot 25 % van de nominale capaciteit	2
C2	Uitstekende regelbaarheid tot 25 % van de nominale capaciteit	2

Tabel 4.10 Betrouwbaarheid

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Vanwege de onderwatermotor moet dit type pomp regelmatig worden geïnspecteerd op lekkages op de afdichtingen	-1
A2	Dit type pomp heeft een hoge betrouwbaarheid, mits de installatie luchtdicht is om het vacuüm te kunnen realiseren. De aandrijflijn staat droog opgesteld	0
B1	Dit type pomp heeft een hoge betrouwbaarheid	1
B2	Idem als B1	1
C1	Vijzels zijn in de praktijk erg robuust vanwege de eenvoudige techniek en lage toerentallen	2
C2	Idem als C1	2

Tabel 4.11 Gebruiksgemak / onderhoudbaarheid

Variant	Onderbouwing	Score
A1	De pompen zijn goed onderhoudbaar door de relatief eenvoudige uitneembaarheid. Vanwege de integratie van motor en pomp moet bij onderhoud de unit wel als geheel gedemonteerd worden	0
A2	Door de modulaire opbouw kan per onderdeel onderhoud worden gepleegd. Tevens is de bereikbaarheid goed	2
B1	Idem als A2	2
B2	Idem als B1	2
C1	Vijzels zijn prima in gebruik en onderhoud door de relatief eenvoudige techniek	3
C2	Idem als C1	3

Tabel 4.12 Visveiligheid

Variant	Onderbouwing	Score
A1	De overlevingskansen bij het passeren van de pomp is voor allerlei soorten vissen erg goed	2
A2	Idem als A1	2
B1	Idem als A1	2
B2	Idem als A1	2
C1	Het betreft een standaard vijzel; de kans op visoverleving is niet met testen of berekening onderbouwd. Bij monitoring is gebleken dat een vijzel een redelijke kans biedt voor visoverleving. Bij deze grootte zijn de vooruitzichten positief	0
C2	Deze vijzel heeft een speciaal ontworpen schoep waardoor vissen niet geraakt worden bij de intrede. Verder voorkomt de buis dat vissen tussen het draaiende en het stilstaande deel beklemd raken. Dit in combinatie met het lage toerental zorgen voor een uitstekende visveiligheid	3

Tabel 4.13 Bouwtijd

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Door de modulaire bouw en de eenvoud is de bouwtijd erg gunstig	2
A2	Vanwege de katterug is de complexiteit groter dan A1. Relatief veel gietijzeren onderdelen	0
B1	Compacte pompkelder met relatief weinig gietwerk	1
B2	Compacte pompkelder met stalen persleiding zorgen voor een langere bouwtijd	0
C1	Bouwwerk heeft geringe diepte. Enige complexe onderdeel is de opleider	1
C2	Idem als C1, snellere bouwtijd doordat geen opleider nodig is vanwege buis	2

4.2.2 Kostenaspecten gemaal Zoutkamp

Tabel 4.14 Investeringskosten

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Prijstechnisch gunstig door eenvoudige bouwvorm	3
A2	Eenvoudige bouwvorm, maar duurder dan A1 door relatief veel gietwerk en technische ruimte voor droog opgestelde aandrijving. Geen keermiddelen nodig	1
B1	Relatief diepe opstelling zorgt voor hogere bouwkosten dan variant A. Aan de andere kant is de opstelling met een open kelder relatief eenvoudig	0
B2	Complexer dan B1 met stalen persleiding	-1
C1	Eenvoudige opvoerwerktuig	2
C2	Duurder dan C1 vanwege buisvijzel	1

Tabel 4.15 Variabele kosten

Variant	Onderbouwing	Score
A1	Door de onderwatermotoren is periodiek controle nodig van de afdichtingen	-1
A2	Vanwege de droge opstelling is onderhoud beperkt	2
B1	Idem als A2	2
B2	Idem als A2	2
C1	Vijzels zijn robuust en vergen weinig onderhoud	2
C2	Idem als C1	2

4.2.3 Eindbeoordeling analyse gemaal Zoutkamp

Bijlage 1 geeft een overzicht van alle beoordeelde aspecten en de bijbehorende weegfactoren en scores. Het eindresultaat is een gewogen beoordeling per variant. Op basis van de gewogen beoordeling krijgt variant 1 de hoogste score.

De gewogen eindscores zijn als volgt gerangschikt (op volgorde van eindscore):

1. **Variant 1** : **1,18**
2. **Variant 6** : **1,06**
3. **Variant 2** : **1,05**
4. Variant 5 : 0,92
5. Variant 3 : 0,52
6. Variant 4 : 0,28

4.2.4 Uitkomst multicriteria analyse

Op basis van de locatiekeuze in de dijk komt variant A1, horizontale pomp in natte opstelling, als beste naar voren. Daarop volgen de buisvijzel en de horizontale pomp (droge opstelling).

5 Conclusie en nabeschuwing

5.1 Vaststellen voorkeursvariant

Een multicriteria-analyse is een hulpmiddel en geen beslismodel om overzichtelijk een keuze uit meerdere varianten te kunnen maken. Als er keuze is uit veel alternatieven biedt het de mogelijkheid om te trechteren naar bijvoorbeeld maximaal 3 varianten. De uiteindelijke keuze kan afwijken van de getalsmatige uitkomst; de definitieve keuze is aan het waterschap.

De voorlopige uitkomst is gebaseerd op de inzichten van Tauw op dat moment, en welke in een presentatie aan het waterschap, provincie en gemeente is toegelicht. Zoals genoemd in paragraaf 4.1 dienen de stappen voor het definitief vaststellen van de voorkeursvariant in een kleiner comité te worden afgerond, waarbij de multicriteria-analyse gezamenlijk wordt vastgesteld.

5.2 Resultaat variantenstudie

Tijdens de variantenstudie komt naar voren dat de locatie welke beschouwd wordt van invloed is op de pompkeuze, vanwege de randvoorwaarden die met de betreffende locatie samenhangen. Verschuift de locatie naar buitendijks, dan is er bijvoorbeeld meer breedte ter beschikking, wat weer invloed heeft op de inbouwmogelijkheden van de varianten. In deze rapportage is de beperking gelegd op de locatie “In de dijk”. Dit heeft geleid tot de uitkomst genoemd in paragrafen 4.2.3 en 4.2.4.

5.3 Nabeschuwing

Uit gesprekken met het waterschap, waar ook de afdeling Beheer bij betrokken was, is gebleken dat de locatie buitendijks een grotere voorkeur heeft. Dit heeft te maken met een betere bereikbaarheid en onderhoudbaarheid.

Verder blijkt uit een eerste verkenning dat er zich buitendijks meer mogelijkheden voordoen voor de inpassing van andere varianten, waaronder de verticale pomp.

Bijlage 1**Multicriteria-analyse pompopstellingen**

Interpretatie score

Uitstekend / geen inspanning	3
Zeer goed / weinig inspanning	2
Goed / matige inspanning	1
Neutraal	0
Matig / redelijke inspanning	-1
Slecht / veel inspanning	-2
Zeer slecht / zeer veel inspanning	-3

	Beoordeling						Gewogen beoordeling					
Scenario	A1	A2	B1	B2	C1	C2	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Wegingsfactor	Horizontale opstelling (dompelpompen)	Horizontale opstelling (katterug)	Vert. opstelling in open uitvoering	Vert. opstelling in gesloten uitvoering	Vijzel - traditioneel	Buisvijzel - Fishflow	Horizontale opstelling (dompelpompen)	Horizontale opstelling (katterug)	Vert. opstelling in open uitvoering	Vert. opstelling in gesloten uitvoering	Vijzel - traditioneel	Buisvijzel - Fishflow
0,6	2	1	0	-1	0	2	1,20	0,60	0,00	-0,60	0,00	1,20
0,9	3	3	-1	-1	2	3	2,70	2,70	-0,90	-0,90	1,80	2,70
1,0	3	1	-1	-2	2	1	3,00	1,00	-1,00	-2,00	2,00	1,00
1,0	3	3	3	3	-2	-3	3,00	3,00	3,00	3,00	-2,00	-3,00
0,5	1	0	-1	-1	2	2	0,50	0,00	-0,50	-0,50	1,00	1,00
1,0	-1	0	1	1	2	2	-1,00	0,00	1,00	1,00	2,00	2,00
1,0	0	2	2	2	3	3	0,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00
0,5	2	2	2	2	0	3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	1,50
0,5	2	0	1	0	1	2	1,00	0,00	0,50	0,00	0,50	1,00
7,0	15,00	12,00	6,00	3,00	10,00	15,00	11,40	10,30	5,10	3,00	8,30	10,40
9	1,67	1,33	0,67	0,33	1,11	1,67	1,27	1,14	0,57	0,33	0,92	1,16
0,6	3	1	0	-1	2	1	1,80	0,60	0,00	-0,60	1,20	0,60
0,3	-1	2	2	2	2	2	-0,30	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
0,9	2,00	3,00	2,00	1,00	4,00	3,00	1,50	1,20	0,60	0,00	1,80	1,20
2	1,00	1,50	1,00	0,50	2,00	1,50	0,75	0,60	0,30	0,00	0,90	0,60
							1 2	3 3	5 5	6 6	4 1	2 3
	2,67	2,83	1,67	0,83	3,11	3,17	1,18	1,05	0,52	0,28	0,92	1,06

Rang Techniek en Kosten	
1. Uitstekend	
2. Goed	
3. Voldoende	
4. Matig	
5. Slecht	
6. Zeer slecht	

Bijlage 2**Berekening energieverbruik varianten**

A1.3 Horizontale schroefpompen (natte opstelling) van Pentair Nijhuis

Benodigd debiet (m3/s)	aantal opvoerwerktuigen (n)	Statische opvoerhoogte (m)	Debiet per pomp (m3/s)	Vermogen per opvoerwerktuig (kW)	Rendement pomp (η)	Totaal rendement (η)	Totaal vermogen (kW)	Draaiuren (h)	Totaal energie (kWh)
5,55	1	0,39	5,55	23,6	0,82	0,72	32,6	1209,75	39455,1
11,1	2	0,47	5,55	27,9	0,82	0,74	75,4	189,75	14309,0
16,65	3	0,76	5,55	43,7	0,82	0,75	174,5	129,5	22602,4
								kWh in het jaar:	76366

kWh in het jaar:	76366
------------------	-------

A2.3 Horizontale schroefpompen (droge opstelling) van Flowserve

Benodigd debiet (m3/s)	aantal opvoerwerktuigen (n)	Statische opvoerhoogte (m)	Debiet per pomp (m3/s)	Vermogen per opvoerwerktuig (kW)	Rendement pomp (n)	Totaal rendement (n)	Totaal vermogen (kW)	Draaiuren (h)	Totaal energie (kWh)
5,55	1	0,39	5,55	23,8	0,74	0,65	36,5	1209,75	44205,3
11,1	2	0,47	5,55	28,2	0,76	0,69	82,3	189,75	15621,1
16,65	3	0,76	5,55	44,0	0,77	0,71	186,1	129,5	24095,9
								kWh in het jaar:	83922

kWh in het jaar:	83922
------------------	-------

B1 en B2. 3 Verticale schroefpompen (droge opstelling) van BWM

Benodigd debiet (m³/s)	aantal opvoerwerktuigen (n)	Statische opvoerhoogte (m)	Debiet per pomp (m³/s)	Vermogen per opvoerwerktuig (kW)	Rendement pomp (η)	Totaal rendement (η)	Totaal vermogen (kW)	Draaiuren (h)	Totaal energie (kWh)
5,55	1	0,90	5,55	51,6	0,70	0,63	81,8	1209,75	98940,5
11,1	2	0,90	5,55	51,6	0,70	0,63	163,6	189,75	31037,7
16,65	3	0,90	5,55	51,6	0,70	0,63	245,4	129,5	31773,8
								kWh in het jaar:	161752

kWh in het jaar:	161752
------------------	--------

B1 en B2. 4 Verticale schroefpompen (droge opstelling) van BWM

Benodigd debiet (m3/s)	aantal opvoerwerktuigen (n)	Statische opvoerhoogte (m)	Debiet per pomp (m3/s)	Vermogen per opvoerwerktuig (kW)	Rendement pomp (n)	Totaal rendement (n)	Totaal vermogen (kW)	Draaiuren (h)	Totaal energie (kWh)
5,55	1	0,39	5,55	24,5	0,69	0,62	39,4	1209,75	47621,4
11,1	2	0,47	5,55	28,8	0,70	0,63	91,4	189,75	17344,6
16,65	3	0,76	5,55	44,6	0,72	0,65	206,3	129,5	26712,1
								kWh in het jaar:	91678

kWh in het jaar:	91678
------------------	-------

C1. 3x4,0 m Visvriendelijk uitgevoerde vijzels van Spaans Babcock

[illegible]

kWh in het jaar:	116186
------------------	--------

C2. 3x4,0m Buisvizels van Fishflow Innovations

Benodigd debiet (m3/s)	aantal opvoerwerktuigen (n)	Statische opvoerhoogte (m)	Debiet per pomp (m3/s)	Vermogen per opvoerwerktuig (kW)	Rendement vijzel (η)	Totaal rendement (η)	Totaal vermogen (kW)	Draaiuren (h)	Totaal energie (kWh)
5,55	2	0,39	2,78	10,7	0,90	0,76	28,0	1209,8	33876,8
11,1	3	0,47	3,70	17,2	0,80	0,69	74,3	189,8	14102,2
16,65	3	0,76	5,55	41,6	0,78	0,69	180,9	129,5	23424,2
								kWh in het jaar:	71403

kWh in het jaar:	71403
------------------	-------