

Optimalisatie LMW Twentekanalen



Optimalisatie LMW Twentekanalen

Auteur(s)

Dave de Koning
Nena Vandebroek
Sonja Pans
Luuk van der Heijden

Optimalisatie LMW Twentekanalen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Peter Heinen
Referenties	
Trefwoorden	Twente kanalen, LMW2, informatiestrategie, kostenefficiëntie

Documentgegevens

Versie	3.2
Datum	10-07-2024
Projectnummer	11203677-004
Document ID	11203677-004-ZKS-0008
Pagina's	80
Status	definitief

Auteur(s)

	Dave de Koning	Sonja Pans
	Nena Vandebroek	Luuk van der Heijden

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.5	Dave de Koning	Olav van Duin	Toon Segeren	
1.0	Sonja Pans	Olav van Duin	Toon Segeren	
1.1	Luuk van der Heijden	Olav van Duin	Toon Segeren	

Samenvatting

Deltares is gevraagd om voorstellen uit te werken voor het optimaal inwinnen van informatie in het Landelijk Meetnet Water (LMW) voor de grootheden waterstand, watertemperatuur en debiet. Deltares heeft daarbij opdracht gekregen te adviseren over een aanpassing van het bestaande meetnet en niet een nieuw meetnet te ontwerpen. De doelstelling is een kostenreductie van het huidige meetnet tussen de 10 en 30%. Deze kostenreductie geldt voor het meetnet als geheel, per regio kan de reductie sterk verschillen. Deltares en Rijkswaterstaat (RWS) maken bij het bepalen van de informatieverzamelstrategie gebruik van een analyse van de drie hoekpunten van de informatievoorziening: watersysteem, watermanagementsysteem (beheer en beleid) en monitoringssysteem. Wijzigingen in het watersysteem, of in het beleid of beheer leiden tot een andere informatiebehoefte en andere eisen aan het monitoringssysteem. Ook kunnen nieuwe technische ontwikkelingen leiden tot een andere invulling van het meetnet.

De vraagstelling voor deze rapportage was om de mogelijke optimalisatie binnen het deelgebied "Twentekanalen" te onderzoeken en daarvoor scenario's aan te dragen. In deze studie zijn de drie hoekpunten geïnventariseerd voor de Twentekanalen, en zijn per parameter twee of drie scenario's voor een geoptimaliseerd meetnet aan de gebruikersgroep voorgelegd tijdens twee workshops. Op basis van de terugkoppeling in de workshops is er een definitief optimalisatievoorstel opgesteld.

In deze studie blijkt dat er 9 waterstandsmetpunten zijn van het LMW en 24 van de RWS objecten die grotendeels overlappen (op 6 van de 9 LMW punten). Daarnaast heeft de provincie op 1 van de drie overgebleven punten ook een waterstandsmeting bij het object (Sluis te Aadorp). Het is het voorstel om te onderzoeken of de LMW-metingen, met uitzondering van de categorie 1 LMW-metpunten, op plaatsen met een objectmeting (gemeten door de provincie of RWS zelf) vervangen kunnen worden door deze objectmeting. Hierbij geldt dat dit enkel kan gebeuren als voldaan is aan de volgende drie voorwaarden: goede kwaliteit, goede ontsluiting en goede beschikbaarheid van de objectdata. Verder moet het optimalisatievoorstel worden getoetst op kosten, en moeten de nodige procesafspraken nog worden gemaakt. Het wordt aangeraden de lopende aanvraag voor een extra waterstandsmeting op de zijtak richting Almelo (ter hoogte van de Vredesbrug) te honoreren.

Voor vragen rondom de waterhuishouding lijkt in eerste instantie geen enkele debietmeting in aanmerking te komen voor vervanging of opheffing. Onderzoek moet uitwijzen of de meting van Markelose brug kan worden opgevangen door objectmetingen en meting bij Almen, of door metingen van waterschappen. Het is van belang de debieten door de objecten te kennen voor de waterhuishouding en voor het maken van een sluitende waterbalans. Deze zullen om die reden behouden moeten blijven. Vanwege de onzekerheid omtrent de debietbepalingen bij Eefde, is het nodig om de meting bij Almen te behouden.

Temperatuur is een belangrijke variabele binnen de Twentekanalen. Om die reden wordt er op zes plaatsen een temperatuurmeting uitgevoerd en lopen er nog twee aanvragen voor extra metingen. Het voorstel in dit rapport is om de twee aanvragen te honoreren, maar gezien de eisen aan kwaliteit en frequentie lijkt het niet nodig (en zou het inefficiënt zijn) hier een volwaardig LMW-station te plaatsen. De noodzaak voor informatie op deze locaties is echter wel duidelijk en de CIV zal adviseren over alternatieve meetmethoden. De meetpunten rondom Hengelo zullen behouden blijven vanwege de grote variatie in temperaturen in het pand door koelwaterlozingen, en daarmee een grote kans op het snel ontwikkelen van botulisme en blauwalg. De meetpunten bij Eefde beneden en Delden beneden zijn voor het LMW niet meer van belang, deze worden gebruikt voor een tijdige waarschuwing voor het ijsvrij houden van de sluisdeuren. Het is de aanbeveling deze

metingen en daarmee ook het beheer en onderhoud over te dragen aan de sluisbeheerders. De data wordt dan niet noodzakelijkerwijs meer door LMW verspreid.

Met het optimalisatievoorstel wordt een kostenbesparing van 30% in de onderhoudskosten voorzien. Echter zal deze kostenbesparing niet meteen gelden, maar pas op het moment dat de huidige onderhoudscontracten zijn aangepast. Hiervoor is aangenomen dat dit in de komende vijf jaar kan gebeuren. Met deze aanneme levert dit voor de komende 20 jaar een besparing van ongeveer 23% op. Aan het verwijderen van de meetlocaties zijn echter ook kosten verbonden, waardoor de eerder genoemde besparing op onderhoudskosten zichzelf pas op iets langere termijn zal uitbetalen (~10 jaar).

Daarnaast dient er tijdig afstemming plaats te vinden met het LMW2-project zodat er geen locaties onnodig opgewaardeerd worden (alvorens ze verwijderd worden). Dit geldt voor zeven van de tien locaties. Door de nieuwe waterstandsmeting uit te voeren door middel van radar met een smallere standpijp kunnen ook in de installatie van het nieuwe meetpunt kosten bespaard worden (35%).

De grootste kostenpost van het optimalisatievoorstel is de verwijdering van de meetlocaties. Hierbij is tevens een grote onzekerheid in de schatting van de kosten. Om hier mee om te gaan zijn de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Op locaties die zijn aangemerkt om verwijderd te worden, wordt de meetapparatuur weggehaald en krijgt de locatie een status 4 toegekend in het onderhoudscontract indien het civieltechnische deel niet direct wordt ontmanteld. Dit reduceert de onderhoudskosten tot een minimum.
2. Het verwijderen van locaties wordt uitgesteld tot een opportuun moment zich voordoet, bijvoorbeeld in samenwerking met een renovatieproject.
3. Een betere schatting van de kosten voor het verwijderen van een meetlocatie is zeer wenselijk. Doordat alle locaties verschillen zal dit per locatie moeten gebeuren. Mogelijk komen hierdoor op dit moment onbekende mogelijkheden m.b.t. kostenbesparing aan het licht.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Vraagstelling en globale aanpak	9
1.1	Vraagstelling	9
1.2	Globale aanpak	9
1.3	Diepgang van het advies	10
1.4	Uitgangspunten voor deze studie	10
1.5	Ondersteuning en begeleiding vanuit RWS, Deltares en waterschappen	11
1.6	Leeswijzer	11
2	Beschrijving van het watersysteem	12
2.1	Gebruiksdoelen	12
2.2	Beschrijving van de Twentekanalen	12
2.2.1	Locatie en dimensies	13
2.2.2	Streefpeilen	14
2.2.3	Recente en geplande aanpassingen	15
2.3	Waterbeweging	16
2.3.1	Waterbalans	16
2.3.2	Beheer	18
2.3.3	Spuikanalen	18
2.3.4	Pompen/gemalen	19
2.3.4.1	Sluis te Eefde	19
2.3.4.2	Sluis te Delden	19
2.3.4.3	Sluis te Hengelo	19
2.3.5	Dagelijkse variaties	20
2.3.6	Seizoensvariaties	23
2.4	Temperatuur	24
2.4.1	Dagelijkse variaties	24
3	Informatiebehoefte vanuit het watermanagementsysteem	26
3.1	Inventarisatie informatiebehoefte	26
3.2	Beschikbaarheid	28
3.3	Onzekerheidseisen	28
4	Inventarisatie monitoringssysteem	30
4.1	LMW-metingen	32
4.1.1	Beschrijving huidige meetnet in de kanalen	32
4.1.2	Kosten meetopstellingen LMW	32
4.1.3	Beschikbaarheid en onzekerheden in meetwaarden LMW-metpunten	32
4.1.3.1	Waterstanden	32
4.1.3.2	Debiet	33
4.1.3.3	Temperatuur	34
4.1.4	Onderlinge vergelijking en correlaties tussen LMW-punten	34
4.2	Vergelijking LMW-metingen met alternatieve databronnen	37
4.2.1	Objectmetingen Rijkswaterstaat	39
4.2.1.1	Technische invulling metingen	39
4.2.1.2	Beschikbaarheid van de metingen op RWS-objecten en ontsluiting	39
4.2.1.3	Onzekerheid in de waterstandsmetingen op RWS-objecten	40
4.2.1.4	Vergelijking van de waterstandsmetingen van de objecten met LMW	40

4.2.2	Metingen waterschappen	43
4.2.2.1	Meetmethode	44
4.2.2.2	Databeschikbaarheid waterschappen en ontsluiting	44
4.2.2.3	De onzekerheid in de data van de waterschappen	44
4.2.2.4	Meetnetstrategie van de waterschappen	44
4.2.2.5	Vergelijking van data van de waterschappen met LMW-data	45
4.2.3	Metingen van de Provincie Overijssel	46
4.2.3.1	Meetmethode	46
4.2.3.2	Databeschikbaarheid en ontsluiting	46
4.2.3.3	De onzekerheid in de data van de provincie	46
4.2.3.4	Meetnetstrategie van de provincie	47
4.2.3.5	Vergelijking van data van de provincie met LMW-data	47
4.3	Modellen en berekeningen Rijkswaterstaat en waterschappen	48
4.3.1	Numerieke modellen	48
4.3.2	Operationele systemen van de waterschappen	49
4.3.3	Operationele systemen: RWsOS-IWP-TK	49
4.3.4	Conclusie modeldata en berekeningen	52
4.4	Data technieken zoals multi-lineaire regressie en <i>graceful degradation</i>	53
4.4.1	Multi-lineaire regressie (MLR)	53
4.4.2	Graceful degradation	53
4.5	Korte analyse informatiebehoefte versus aanbod	53
4.5.1	Waterstand	54
4.5.2	Debiet	54
4.5.3	Temperatuur	55
5	Actualisering van het meetnet	56
5.1	Doorvoeren van de actualisering van de informatiebehoefte en de categorie indeling	56
5.2	Invullen van het meetnet	58
5.2.1	Waterstanden	58
5.2.1.1	Samenvatting analyse waterstanden	58
5.2.1.2	Optimalisatievoorstel waterstanden	59
5.2.2	Debieten	60
5.2.2.1	Samenvatting analyse debieten	60
5.2.2.2	Optimalisatievoorstel debieten	61
5.2.3	Temperatuur	61
5.2.3.1	Samenvatting analyse temperatuur	61
5.2.3.2	Optimalisatievoorstel temperatuur	62
5.3	Effect op het meetnet	63
5.4	Effect op de kosten	63
5.4.1	Onderhoudskosten	64
5.4.2	Installatiekosten voor nieuwe locaties	65
5.4.3	Kosten met betrekking tot het opruimen van de meetlocaties	65
5.4.4	Kosten ombouw LMW2	66
5.4.5	Overzicht kosten	67
6	Conclusies en adviezen	69
6.1	Conclusies voor de Twentekanalen	69
6.1.1	Conclusies over de informatiebehoefte	69
6.1.2	Conclusies over het informatieaanbod	69
6.1.3	Aanpassingen van de informatieverzamelstrategie en het meetnet	70
6.2	Bruikbaarheid van de methodiek	70
6.3	Aanbevelingen	71
7	Referenties	72

	Bijlagen	73
A	Indeling deelgebieden meetnet	74
B	Beschikbaarheid data LMW	76
C	Overzicht verplicht bemeten locaties Twentekanalen (Waterakkoord 2017)	77
D	Debietbepaling Aadorp	78
E	Overzicht vergelijking LMW data	79

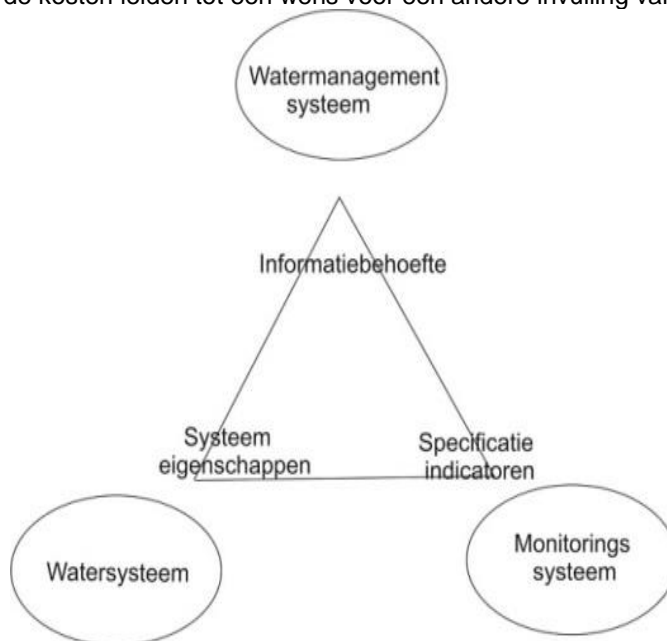
1 Vraagstelling en globale aanpak

1.1 Vraagstelling

Deltares is gevraagd om een onafhankelijk advies te geven over kostenefficiënte strategieën voor het inwinnen van informatie voor de toepassing in het Landelijk Meetnet Water (LMW). Het gaat hier om de grootheden waterstand, geleidendheid, watertemperatuur en debiet. Deltares heeft hiervoor in 2017 en 2018 een optimalisatiemethodiek ontwikkeld en toegepast op twee deelgebieden, het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (Schroevers & Vandebroek, 2017) en de kanalen van Brabant en Midden-Limburg (Schroevers, Vandebroek, & De Koning, 2019). Door meer gebruik te maken van data van RWS-objecten, data van waterschappen, slimme datatechnieken en een kritische beschouwing van de informatiebehoefte, blijkt het mogelijk het aantal LMW meetlocaties te reduceren zonder dat de beschikbaarheid of kwaliteit van informatie in het geding komt. Het is nu de intentie om de methodiek de komende jaren per samenhangend deelgebied van het meetnet toe te passen (zie bijlage A). De vraagstelling voor deze rapportage was om de mogelijke optimalisatie binnen het deelgebied “Twentekanalen” te onderzoeken en daarvoor scenario’s aan te dragen.

1.2 Globale aanpak

Deltares heeft gebruik gemaakt van een methode die gestoeld is op de methode van Mart van Bracht voor het optimaliseren van grondwatermonitoringsnetwerken. Conform de methodiek wordt een analyse gedaan op basis van de drie hoekpunten van de informatievoorziening: watersysteem, watermanagementsysteem en monitoringssysteem (zie Figuur 1.1). Het achterliggende mechanisme is dat wijzigingen in het watersysteem of in het beleid of beheer (het watermanagement systeem) leiden tot een andere informatiebehoefte en andere eisen aan het monitoringssysteem. Anderzijds kunnen bijvoorbeeld nieuwe technische ontwikkelingen of druk op de kosten leiden tot een wens voor een andere invulling van het meetnet.



Figuur 1.1 De informatiedriehoek volgens van Bracht.

De inventarisatie van de drie hoekpunten is als volgt uitgevoerd:

Het watersysteem

Op basis van bestaande documenten over het watersysteem en interviews met informatiegebruikers van RWS en Deltares is een beeld geschetst van het watersysteem en de (mogelijke) veranderingen op korte termijn.

Informatiebehoefte van het watermanagementsysteem

De basis voor de informatiebehoefte zijn de overzichten van RWS uit 2019. Deze is getoetst en waar nodig bijgesteld op basis van interviews met enkele sleutelgebruikers uit de regio die betrokken zijn bij het operationeel waterbeheer, scheepvaartbegeleiding of waterberichtgeving.

Informatieaanbod en technische mogelijkheden (het monitoringssysteem)

De informatiebronnen die in deze studie zijn meegenomen zijn de objectdata van RWS, metingen uit de meetnetten van de waterschappen, en informatie gegenereerd door de operationele modellen van RWS en de waterschappen. De kwaliteit van de data is bestudeerd op basis van opgegeven specificaties en data-analyse, waaronder het vergelijken van data van verschillende bronnen. Daarnaast is gekeken of er mogelijkheden waren voor een meer kostenefficiënte inrichting van de meetlocaties, bijvoorbeeld door het combineren van verschillende metingen op een locatie of door inzet van goedkopere, maar wel volledig operationele, meetoplossingen.

Kosten

Om het aanbod te kunnen optimaliseren is het ook van belang om de kosten van het informatieaanbod en de mogelijke alternatieven in beeld te brengen. RWS heeft hiervoor een overzicht geleverd van het huidige LMW voor het deelgebied en de kosten die gepaard gaan met constructie, onderhoud en opheffen van stations. Op basis hiervan zijn de mogelijke kosten van de optimalisatie geraamd.

Optimalisatiescenario's

Op basis van de resultaten van de inventarisatie zijn meerdere scenario's beschreven van een geoptimaliseerd meetnet. Vanwege de verschillende parameters die worden gemeten en van belang zijn in de Twentekanalen zijn de scenario's per parameter opgesteld en kan er dus per parameter een scenario gekozen worden. Deze scenario's zijn voorgelegd aan de gebruikers tijdens twee verschillende workshops. Op basis van de input van de gebruikers en vervolgonderzoek is er uiteindelijk een optimalisatievoorstel opgesteld.

1.3 Diepgang van het advies

Het advies is opgesteld op basis van eerder uitgevoerd onderzoek en parate kennis van gebiedsdeskundigen en van informatie-experts van RWS, Deltares en de waterschappen. Daarnaast heeft analyse plaatsgevonden op de beschikbare data van 2018 en 2019. Gezien het aantal meetlocaties en het niet altijd volledig zijn van de data blijven de analyses globaal, maar daar waar nodig zijn diepteanalyses uitgevoerd voor bewijsvoering. Ondanks de zorgvuldigheid waarmee getracht is de analyses uit te voeren blijft het resulterende rapport deels een expertbeoordeling, welke mogelijk niet volledig is.

1.4 Uitgangspunten voor deze studie

- Er wordt uitgegaan van de huidige informatiebehoefte. Deze informatiebehoefte is vastgelegd in een database van RWS, waarvan Deltares een Exceltabel heeft verkregen. Daarbij hoeven de locaties niet exact gehanteerd te worden, maar wel bij benadering omdat voor het invullen van de informatiebehoefte vaak ook andere locaties in de buurt gekozen hadden kunnen worden. De informatie is verwerkt in de tekst van dit rapport.
- Deltares heeft uitdrukkelijk opdracht gekregen om niet uit te gaan van een blanco meetnet, maar te adviseren vanuit het bestaande meetnet.

- Om te komen tot resultaten die binnen enkele jaren implementeerbaar zijn wordt uitgegaan van metingen die op dit moment direct beschikbaar zijn of snel beschikbaar gemaakt kunnen worden.
- Er wordt gezocht naar de oplossingen met de laagste kosten. Dit kan slechts op hoofdlijnen in de studie meegenomen worden, omdat kosteninformatie in veel gevallen gebaseerd is op ramingen en niet op harde praktijkgetallen. De aannames op hoofdlijnen zijn:
 - Data halen van een andere bron is goedkoper dan zelf een meetopstelling bouwen, onderhouden en daarvan de gegevens inwinnen.
 - Een meetopstelling op een object is goedkoper dan een op zichzelf staande meetopstelling vanwege de al aanwezige infrastructuur (elektriciteit en datacommunicatie) en toegankelijkheid voor onderhoud.
 - Het is mogelijk dat bovenstaande kostenramingen en aannames aangepast worden naar aanleiding van de implementatiestudie voor de regio Noord-Brabant en midden Limburgse kanalen waarin ook ervaringen uit andere regio's zullen worden meegenomen.

1.5 Ondersteuning en begeleiding vanuit RWS, Deltares en waterschappen

De dagelijkse begeleiding is uitgevoerd door: Peter Heinen en Herman Peters. Daarnaast hebben we ondersteuning en expertkennis gekregen van:

- Pieter Filius, Waterschap Vechtstromen
- Gert van den Houten, Michel Arendsen, Waterschap Rijn en IJssel
- Peter Mulder, José van de Wouw, Robin Engel, Geert Wieggers, Dénes Beyer, Wilbert de Goei Rijkswaterstaat Oost-Nederland
- Joost Gooijer, Provincie Overijssel
- Dinant Schippers, Rijkswaterstaat (BPO)
- Marc Hartogs, Coen Pijnenburg, Ton Kremers, Martijn van der Boor, Rinus Schroevers, Bart Bink, Roy Ploum RWS CIV
- Simone Roest, Boris Teunis, Jasper Stam, Louise Nas, Marten Klos, Kees van Son, RWS VWM
- Wim Werkman, RWS WVL
- Olav van Duin, Aukje Spruyt, Koen Berends, Asako Fujisaki, Deltares.

1.6 Leeswijzer

De hoofdstukken 2, 3 en 4 bevatten de analyses van de hoekpunten van de driehoek: watersysteem, waterbeheerssysteem en meetnet. In hoofdstuk 5 wordt het optimalisatievoorstel voor de herinrichting van het meetnet kort benoemt. Dit is het scenario dat verder is uitgewerkt, op basis van de input tijdens de gebruikersworkshops. In hoofdstuk 6 zijn de conclusies voor de casus weergegeven.

2 Beschrijving van het watersysteem

In dit hoofdstuk wordt het watersysteem voor de Twentekanalen kort samengevat met betrekking tot waterstand, debiet en temperatuur, aangevuld met een vooruitblik naar de toekomst. Hiervoor zijn bestaande documenten geraadpleegd en zijn een aantal interviews afgenomen met de in hoofdstuk 1 genoemde personen.

2.1 Gebruiksdoelen

Het Beheer en Ontwikkelplan Rijkswateren 2016 (Rijkswaterstaat, 2015) benoemt de volgende beheerdoelen en gebruiksfuncties van de watersystemen:

- waterveiligheid;
- voldoende zoetwater, schoon en gezond water (waterbeschikbaarheid);
- vlot en veilig verkeer over water (scheepvaart);
- aangewezen gebruiksfuncties (drinkwater, zwemwater, schelpdierwater en natuur);
- de overige gebruiksfuncties.

Bij waterschaarste is daarvoor een verdringingreeks met aflopende prioriteit vastgesteld: veiligheid en voorkomen onomkeerbare schade, nutsvoorziening, kleinschalig hoogwaardig gebruik, en overige gebruiksfuncties waaronder scheepvaart.

De Twentekanalen hebben de eerste 3 functies (waterveiligheid, waterbeschikbaarheid en scheepvaart). Daarnaast moet vanuit de Kaderichtlijn Water het ecologisch potentieel gewaarborgd worden. Voor de kanalen zijn geen andere gebruiksfuncties expliciet vastgelegd, maar twee in het oog springende gebruikers zijn de industrie die koelwater inneemt en loost, en de sportvissers.

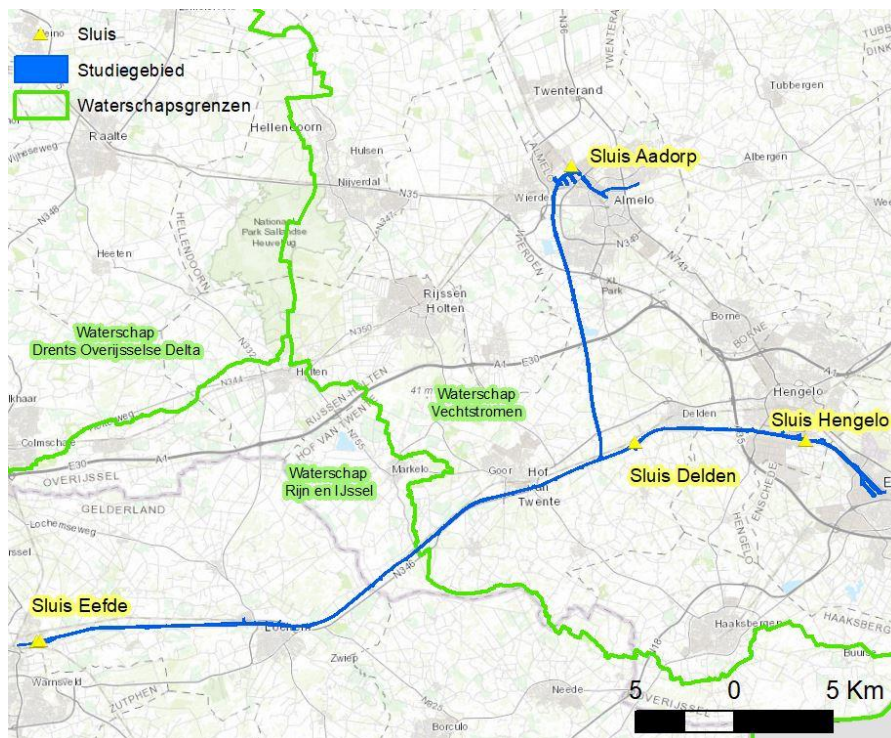
2.2 Beschrijving van de Twentekanalen

Hoewel de regio Twentekanalen wordt genoemd, bevat het studiegebied voor deze optimalisatiestudie slechts één kanaal: het Twentekanaal. Het kanaal bestaat uit een hoofdkanaal, van Enschede tot Eefde, en een zijtak van Delden naar Almelo. Zie ook Figuur 2.1 voor de geografische ligging van het kanaal.

Het hoofdkanaal is in de jaren 30 van de twintigste eeuw gegraven voor een betere aanvoer van grondstoffen voor de Twentse textielindustrie en voor de toevoer van steenkool uit de mijnen in Limburg. Daarnaast kreeg het kanaal de functie van het op peil houden van het water. Ook in het geval van hoogwater was dit belangrijk. In het verleden traden met name de kleine rivieren de Berkel, de Regge en de Schipbeek regelmatig buiten hun oevers. Tegenwoordig zijn dit nog steeds belangrijke aanvoerpunten van water in het systeem. In de jaren 50 is de zijtak verlengd tot aan Almelo, om een verbinding te maken met kanaal Almelo – de Haandrik.

Het kanaal heeft nog steeds een belangrijke functie in het aanvoeren van water ten behoeve van de landbouw in Drenthe en Overijssel, en daarnaast wordt het in de natte periode gebruikt voor het afvoeren van water richting de IJssel.

Het studiegebied wordt begrensd door de sluisen bij Eefde in het westen, de sluis bij Aadorp in het noorden en de haven van Enschede in het oosten. De details van de verschillende panden en sluisen worden in de volgende paragraaf beschreven.



Figuur 2.1 Studiegebied Twentekanaal met in het blauw de Twentekanaal, en in het groen de waterschapsgrenzen.

2.2.1 Locatie en dimensies

Deze paragraaf beschrijft kort de belangrijkste kenmerken van de panden en de sluisen. Het totale hoogteverschil tussen Zutphen en Enschede is 21 m. Om dat hoogteverschil te overbruggen zijn er in het hoofdkanaal 3 schutsluisen geplaatst:

- Sluis Eefde
- Sluis Delden
- Sluis Hengelo

In de zijtak naar Almelo bevinden zich geen schutsluisen, het pand wordt afgesloten door de sluis bij Aadorp. Een aftakking van het kanaal loopt door Almelo en eindigt in een doodlopende tak van het Almelo – Nordhorn kanaal. Tabel 2.1 toont de afmetingen van de sluisen en de belangrijkste functie van de sluis.

Tabel 2.2 toont de afmetingen en scheepsklassen voor het hoofdkanaal en de zijtak.

Tabel 2.1 Kenmerken sluisen

Sluis	Lengte (m)	Breedte (m)	Verval (m)	Primaire functie
Eefde*	140,0	12,0	1 – 8,5	Schutten
Delden	140,0	12,0	6	Schutten
Hengelo	140,0	12,0	9	Schutten
Aadorp				Schutten

* Inmiddels is een tweede kolk aangelegd, deze is hier nog niet beschreven.

Tabel 2.2 Kenmerken Twentekanaal

	Lengte	Breedte	Diepte t.o.v. streefpeil (m)	Scheepsklasse
Eefde-Delden	47 km	50 m	-5,00 tot -3,30 KP	Va*

zijtak Delden-Almelo	16 km	50 m	-4,20 tot -3,50 KP	IV** - Va
Delden - Hengelo	9 km	50 m	-5,00 tot -3,30 KP	IV***
Hengelo – Enschede	5 km	50 m	-5,00 tot -3,30 KP	IV

*Klasse Va = 110 m lang, 11,4 m breed en met een diepgang van 3,5 m.

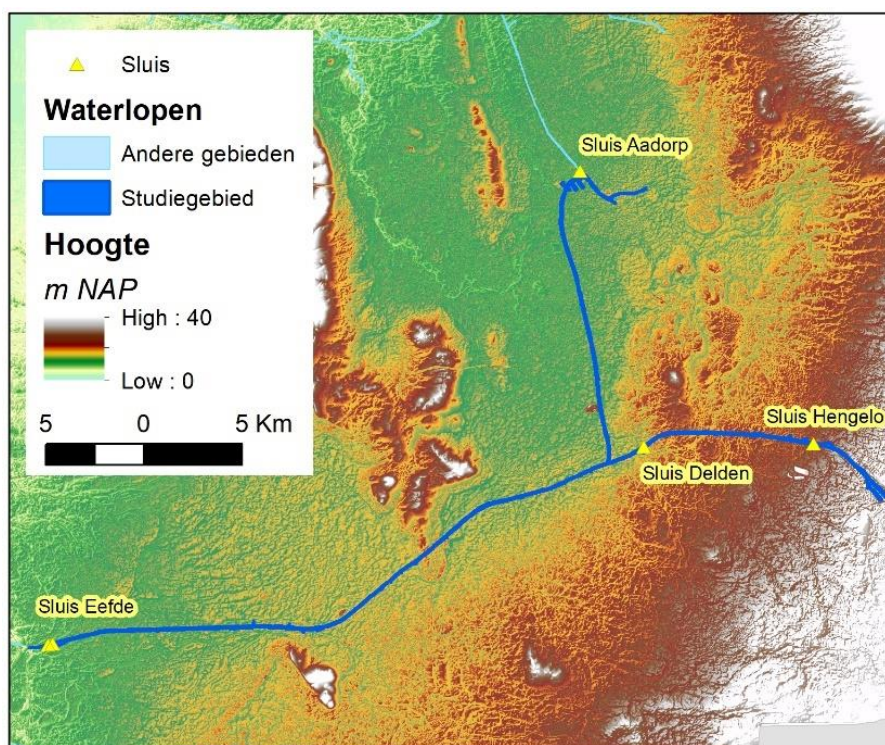
** Klasse IV = 105 m lang, 9,6 m breed en met een diepgang van 3 m.

*** Er wordt momenteel aan de sluis bij Delden gewerkt om deze te verdiepen en verbreden om klasse Va schepen door te kunnen laten op het bovenliggende pand.

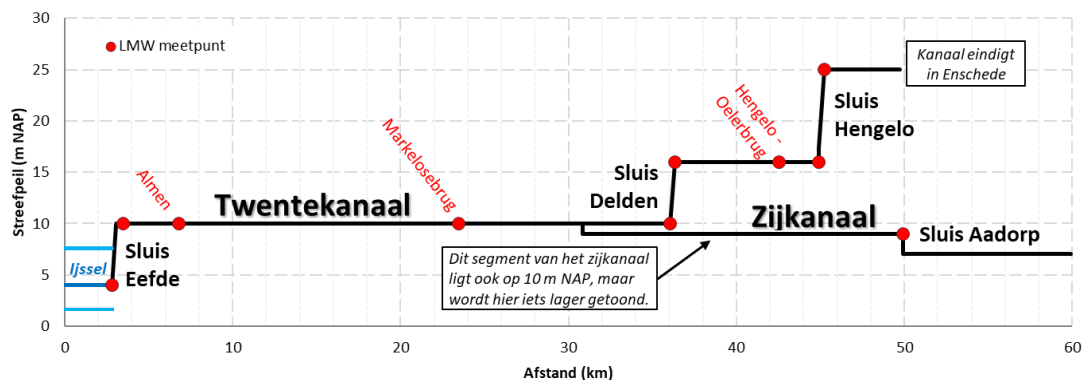
2.2.2

Streefpeilen

Het streefpeil in de kanalen varieert van 25 m NAP voor het hoogstgelegen pand (Hengelo – Enschede) tot 10 m NAP in het westen (Eefde – Delden en Zijkanaal naar Almelo) (Figuur 2.3 en Tabel 2.3). De streefpeilen worden met name gehandhaafd voor de scheepvaart. Bij een te hoge waterstand kunnen de schepen niet onder de bruggen door, bij een te lage waterstand kunnen de schepen niet volledig beladen worden vanwege de drempels voor de sluisen. Voor scheepvaart ligt het alarmpeil op ± 15 cm ten opzichte van het streefpeil, met als uitzondering het pand Delden-Hengelo waar de alarmpeilen -15 cm en +30 cm zijn. De toegestane fluctuaties zoals benoemd in het waterakkoord is ± 10 cm. Hier kan in geval van hoge afvoeren vanaf geweken worden, waarbij de waterstand lokaal bij Eefde naar NAP + 9,50 m wordt gebracht (onder normale omstandigheden is dit NAP + 10,00 m). Dit gebeurt enkel in omstandigheden waarbij er hoge aanvoer is vanaf de omliggende waterschappen en er veel water uit het kanaal gespuid wordt bij Eefde. In situaties met harde wind en hoge aflaatdebieten op de Twentekanalen vanuit omliggende waterschappen kan het verschil in waterstand tussen Eefde en Aadorp (Almelo) oplopen tot één meter.



Figuur 2.2 Hoogtekaart Twentekanalen met sluisen



Figuur 2.3 Streefpeilen en huidige LMW meetlocaties in de Twentekanaalen. Let op het zijkanaal wordt in het figuur lager getekend om duidelijk te maken waar het afsplitst en hoe lang het is. Het streefpeil is uiteraard gelijk in de zijtak. Er is hier géén kering/sluis aanwezig.

Tabel 2.3 Streefpeilen kanaalpanden

Kanaal	Pand	Lengte (km)	Streefpeil (m +NAP)
Twentekanaal	Enschede-Hengelo	5	25
Twentekanaal	Hengelo-Delden	9	16
Twentekanaal	Delden-Eefde	33	10
Twentekanaal (Zijtak)	Delden-Aadorp	16	10

2.2.3 Recente en geplande aanpassingen

Ter verbetering van de scheepvaart en de natuurwaarden binnen het gebied zijn er in de afgelopen jaren een aantal projecten uitgevoerd welke een invloed hebben gehad op de werking van het systeem.

Recente aanpassingen :

- Aanleggen natuurvriendelijke oevers (1990-2007)
- Verbreding kanaalpand Eefde – Delden (1990-2007)
- Verbreding kanaalpand Delden – Hengelo – Enschede (2014-2017)
- Verbreding kanaalpand Zijtak (2014-2017)
- Regulier onderhoud aan bruggen (2017-2019) ((Rijkswaterstaat, 2019c))
- Groot onderhoud sluis- en gemaalcomplexen Delden en Hengelo (2017-2018) ((Rijkswaterstaat, 2019a))
- Renovatie Sluis te Aadorp (2019)
- Uitbreiding gemaal Eefde (2017)
- Uitbreiding Sluis Eefde (2017-2020)

Geplande aanpassingen:

Uitbreiding Sluis Eefde (Rijkswaterstaat, 2019b). Rijkswaterstaat breidt het sluiscomplex Eefde uit met een tweede sluis, voor een kortere wachttijd en betere bereikbaarheid van de Twentse havens. Dit uitbreidingsproject bestaat uit twee onderdelen. Het eerste deel is het uitbreiden van het sluiscomplex met een tweede kolk, het tweede deel is het groot onderhoud aan de huidige sluis. Onderdeel 1, het uitbreiden van het complex met een tweede schutkolk is in april 2020 afgerond.

2.3 Waterbeweging

2.3.1 Waterbalans

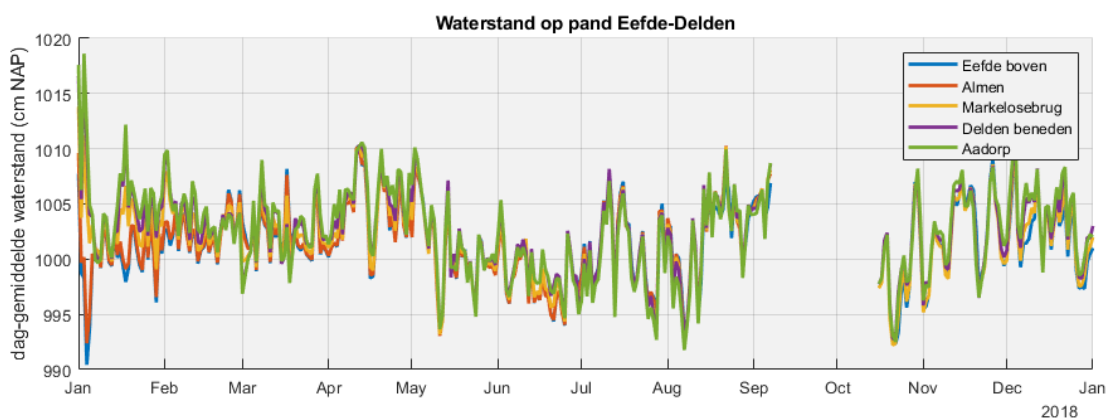
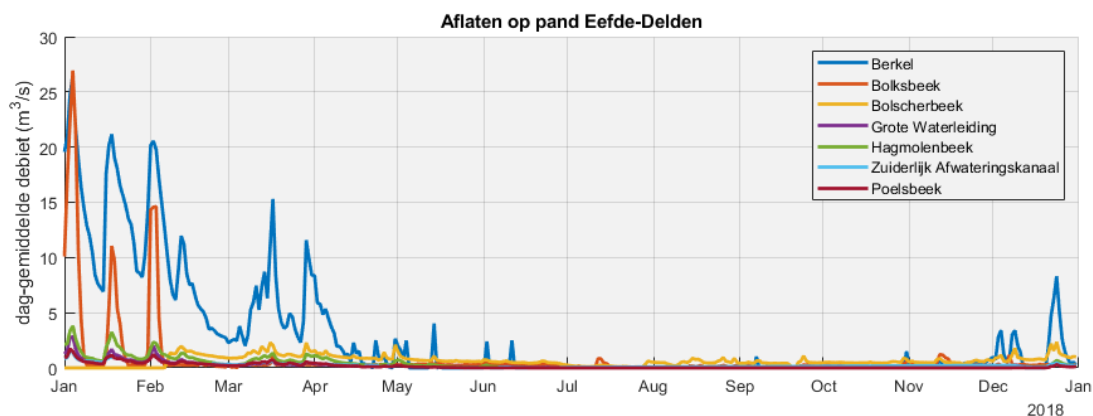
Voor de waterbalans van het gebied zijn de volgende onderdelen van belang: aanvoer van IJssel water, afvoer van beken in de Twentekanalen, neerslag, en schut-, lek-, verdampings-, kwel en wegzijgingsverliezen.

De aanvoer van water vanaf de IJssel is voornamelijk van belang in de zomer, tijdens het groeiseizoen. In de winter wordt het spuikanaal bij de sluis bij Eefde gebruikt om het overtollige water te lozen. Figuur 2.4 toont het overzicht aan af- en inlaten van de Twentekanalen waarbij de namen van de aflaten rood zijn en de namen van de inlaten groen. Inlaten halen water uit de Twentekanalen (het zijn innamepunten van waterschappen) en aflaten laten het water af op de Twentekanalen. Te zien is dat het merendeel van de aflaten en inlaten zich bevindt in het hoofdpannd. De belangrijkste potentiële afvoeren naar de Twentekanalen komen vanuit de volgende beken/gemalen (tussen haakjes de maatgevende afvoer, eens in de honderd jaar): Banisgemaal (zijtak) (10,00 m³/s), Hagmolenbeek (12,87 m³/s), Berkel (te Lochem) (32,00 m³/s), Bolksbeek (48,00 m³/s).

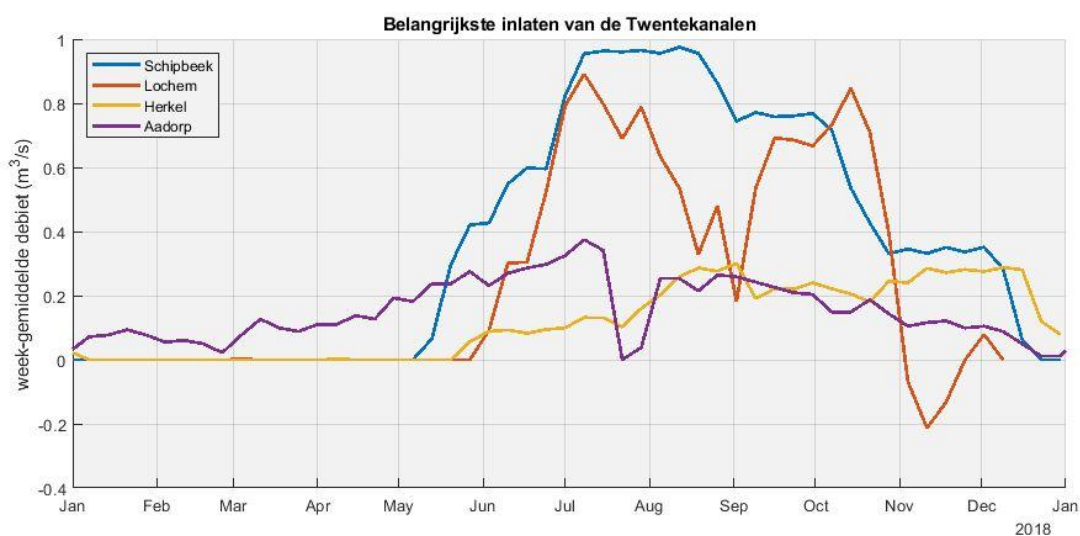


Figuur 2.4 Overzicht van af- en inlaten voor de Twentekanalen.

Figuur 2.5 toont een grafiek van de afvoeren in 2018. Het toont dat in 2018 de Berkel, Bolksbeek en Hagmolenbeek de grootste bijdrage leverden aan de watertoevoer naar de Twentekanalen. De maximale debieten die hierbij optreden liggen rond de 25 m³/s. Als reactie op deze hoge debieten wordt er gespuid bij Eefde wat er voor zorgt dat lokaal de waterstand daalt. Dit is te zien in de waterstandsgrafiek. In de winter, op momenten dat er wordt gespuid, is de waterstand bij Eefde significant lager dan de waterstanden bij Delden en Aadorp. In de zomer liggen de waterstanden in het pand dicht bij elkaar en vanwege het oppompen bij Eefde en het spuien bij Aadorp is er zelfs een klein verhang zichtbaar van Eefde naar Aadorp. Zoals genoemd wordt er in de zomer voornamelijk water ingelaten van de kanalen. Dit is ook zichtbaar in Figuur 2.6, waarin de grootste inlaten van 2018 worden getoond. Het gaat hier om weekgemiddelden. Vanwege de droogte van 2018 is te zien dat het inlaten tot in november duurde. Dit is een uitzonderlijke situatie.



Figuur 2.5 Boven: Debiet in 2018 voor de belangrijkste aflaten op de langste pand van de Twentekanalen. Onder: Waterstanden langs hetzelfde pand.



Figuur 2.6 Debiet in 2018, weekgemiddeld, van de vier belangrijkste inlaten van de Twentekanalen.

Het schutten van de schepen veroorzaakt met name op het korte pand bij Hengelo grote schommelingen en een waterstandsverlaging in het bovenstroomse pand. Vanwege de kleine afmetingen van het pand kan dit bij meerdere schuttingen oplopen tot enkele centimeters. Het water dat verloren gaat met het schutten kan bij de sluisen Hengelo en Delden weer opgepompt worden.

Verdamping en neerslag binnen het watersysteem hebben een klein direct effect op de hoeveelheid water in het watersysteem, aangezien het oppervlak beperkt is. Neerslag en verdamping die optreden buiten het watersysteem hebben indirect een groter effect op de waterkwantiteit en -kwaliteit doordat bij aanhoudende regen de gemalen en aflaten water uit het omringende gebied lozen op het watersysteem.

2.3.2 Beheer

De Twentekanalen zijn cruciaal voor de waterverdeling in de bovenliggende gebieden, aangezien de kanalen samen met het Kanaal Almelo – De Haandrik en de Overijsselse Vecht de volgende gebieden voorzien van water:

Hoofdkanaal:

- Zuidwest Overijssel
- De Gelderse Achterhoek
- Twente

Zijkanaal:

- Noordoost Overijssel
- Salland
- Twente
- Zuid-Drenthe

De Twentekanalen liggen in de beheersgebieden van de waterschappen Rijn en IJssel en de Vechtstromen, waarbij het grootste gedeelte van de kanalen in het gebied van waterschap Vechtstromen valt. Daarnaast valt het beheer van de sluis bij Aadorp onder de Provincie Overijssel. Hierdoor hebben drie andere partijen, naast Rijkswaterstaat, direct invloed op de waterkwantiteit en kwaliteit in de panden.

Volgens het waterakkoord is het beheer zo geregeld, dat de afzonderlijke gebruikers van het water van de kanalen verplicht zijn te meten hoeveel water ze uit het kanaal afnemen. Ook moet er aan het begin van het groeiseizoen worden aangegeven hoeveel water er naar verwachting afgenomen gaat worden. Op basis van de vraag wordt er indien nodig water opgepompt bij de sluis bij Eefde. Dit wordt vervolgens via de verschillende inlaten en sluiscomplexen verdeeld en doorgevoerd naar het achterland. Er zijn, naast de bemeten innames, ook onbemeten innames. Zonder vergunning mag er maximaal 100 m³/uur worden ingenomen. In de praktijk zijn dit geringe hoeveelheden, welke in de waterbalansen worden geschaard onder kwel/wegzijging/verdamping.

Voor de meeste locaties waar water wordt doorgevoerd zijn er enkel fysieke beperkingen voor de hoeveelheid water die doorgevoerd kan worden. Bij de sluis bij Aadorp is er ook een beperking vanwege het ontbreken van een spuikanaal langs de sluis. Hierdoor is het nodig dat het doorlaten van water hier geregeld wordt met behulp van de rinketten. Het gevolg is dat er voornamelijk in de avonduren gespuid kan worden, op momenten dat er geen scheepverkeer is.

Er zijn plannen om het beheer van de sluis bij Aadorp en de bijbehorende metingen gedeeltelijk over te dragen aan het waterschap Vechtstromen, aangezien het waterschap ook verantwoordelijk is voor het waterbeheer. Het schutten van schepen blijft een aangelegenheid van de provincie. Ten tijde van het schrijven van dit rapport was het nog niet duidelijk in hoeverre deze overdracht ook echt gaat plaatsvinden en als dat zo is wanneer dat gaat gebeuren. Er lijkt voor de optimalisatiestrategie niet heel veel te veranderen bij de overdracht.

2.3.3 Spuikanalen

In het gebied zijn twee spuikanalen aanwezig: bij de sluis van Eefde en de sluis van Delden. Bij de sluis Aadorp wordt er water doorgelaten door de rinketten. Er loopt hier geen apart spuikanaal.

Voor de sluis bij Hengelo is het niet noodzakelijk een spuikanaal te hebben aangezien er bij het schutten veel water verloren gaat en er bijna geen aanvoer vanuit beken is. Hier is het belangrijker het water terug te pompen.

2.3.4 Pompen/gemalen

Zoals eerder genoemd, is elk sluisencomplex in het hoofdkanaal uitgerust met een gemaal voor het oppompen van water. De pompcapaciteit voor elk van de sluisen is weergegeven in Tabel 2.4. De volgende paragrafen geven per sluis een verklaring voor de jaarlijks opgepompte hoeveelheden.

Tabel 2.4 Pompcapaciteit van de sluisen in de Twentekanalen (persoonlijke communicatie Peter Mulder, 2020) de jaargemiddelde aanvoer uit het waterakkoord (Rijkswaterstaat, 2017)

Sluis	Capaciteit (m ³ /s)	Opvoerhoogte (m)	Jaargemiddelde aanvoer (Mm ³ /jaar (dagen/jaar))
Sluis te Eefde	2 * 5 m ³ /s 2 * 6 m ³ /s	Max. 7 m Max. 8 m	47,9 (120)
Sluis te Delden	3 * 2 m ³ /s	6	49,1 (312)
Sluis te Hengelo	3 * 2 m ³ /s	9	8,1 (160)

2.3.4.1 Sluis te Eefde

De hoeveelheid water die door de sluis te Eefde opgepompt wordt, wordt bepaald door de wateraanvoervraag van de bovenliggende gebieden. De grootste hoeveelheid zal tijdens het voorjaar en de zomer worden ingelaten, en de hoeveelheid varieert over het groeiseizoen. In de periode tussen december en maart wordt het kanaalpand gevoed door de daarop afwaterende beken en zal er enkel bij uitzondering water opgepompt worden.

De in Tabel 2.4 genoemde kentallen voor de sluis te Eefde gelden voor een opvoerhoogte van 5,5 m. Het gemaal bij Eefde bestaat uit het "oude" gemaal (2 * 5 m³/s) en het "nieuwe" gemaal (2 * 6 m³/s). Voor het oude gemaal geldt een maximale opvoerhoogte van 7 meter, voor het nieuwe gemaal een maximale opvoerhoogte van 8 meter. Boven deze maximale opvoerhoogte valt het gemaal uit. De waterstand van de IJssel varieert gedurende het jaar en vooral in het geval van een droge periode kan de waterstand ver zakken. Afhankelijk van de verdringingsreeks wordt er dan besloten of er nog water ingelaten kan worden bij Eefde.

2.3.4.2 Sluis te Delden

De hoeveelheid water die door de sluis te Delden wordt opgepompt, wordt bepaald door de watervraag van de bovenliggende gebieden en het aantal schuttingen. Vanwege het aantal schuttingen moet er bijna dagelijks gepompt worden om het water in het pand op peil te houden. Dit vanwege de relatief grote schutverliezen (combinatie van klein pand (9 km) en groot verval (6 m)) en de lage aanvoer van water uit omliggende beken.

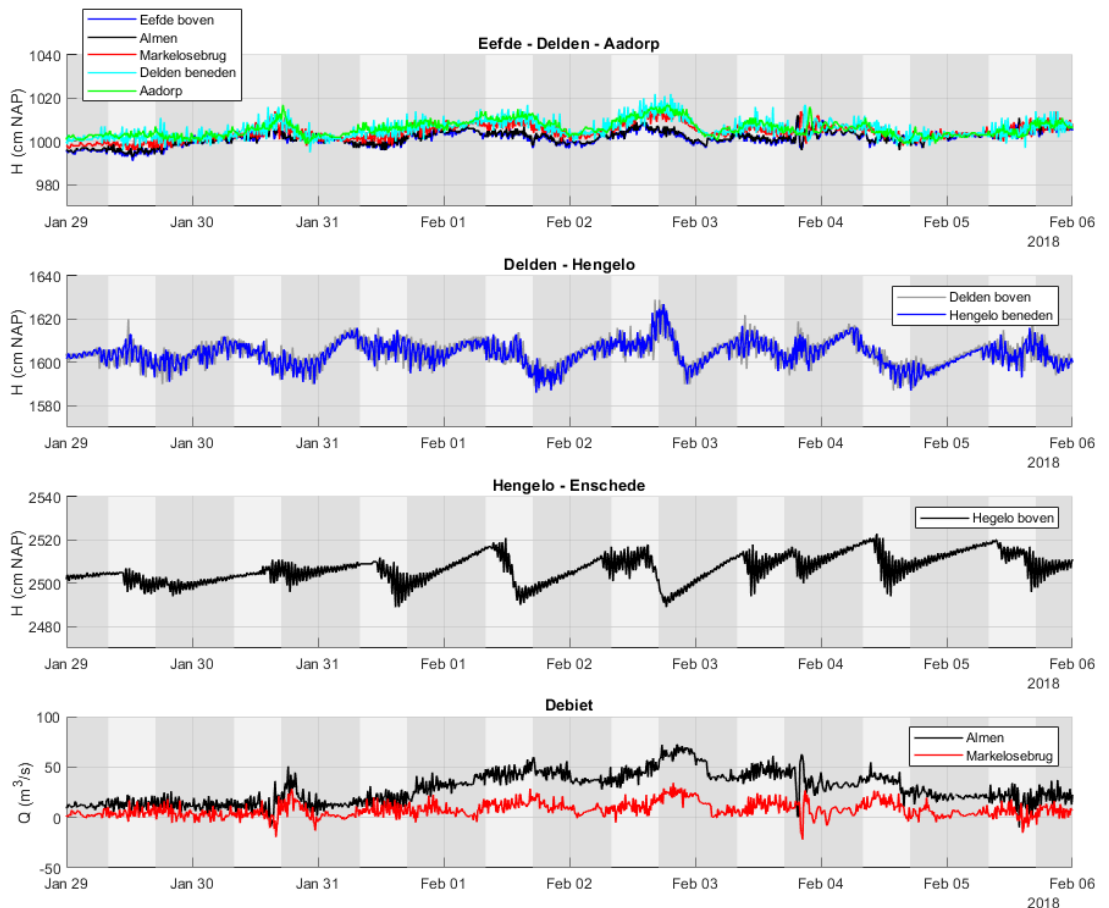
2.3.4.3 Sluis te Hengelo

De hoeveelheid water die door de sluis te Hengelo wordt opgepompt, wordt voornamelijk bepaald door het aantal schuttingen dat plaatsvindt. Dit vanwege de relatief grote schutverliezen (combinatie van klein pand (5 km) en groot verval (9 m)) en de lage aanvoer van water uit omliggende beken. De sluis te Hengelo wordt weinig gebruikt, drie schuttingen op een dag is veel, en hoewel het verval over de sluis 9 meter is, is het niet nodig dagelijks de pompen te gebruiken. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er in de toekomst vaker gesloten kan worden. Dit komt omdat de besturing van de sluis te Hengelo nu net als Delden op afstand gebeurt, waardoor de momenten dat de sluis *kan* schutten zijn toegenomen. Het is de verwachting dat het aantal schuttingen daardoor ook zal toenemen bij dezelfde hoeveelheid verkeer.

2.3.5 Dagelijkse variaties

Deze paragraaf beschrijft de dagelijkse variaties aan de hand van een aantal grafieken van de gemeten waterstanden en debieten. Vanwege de aard van het systeem, waarbij er in de zomer vooral water ingelaten wordt en in de winter water uit het systeem wordt gespuid wordt er zowel een situatie in de zomer als in de winter getoond.

Figuur 2.7 toont de waterstanden en debieten zoals deze in LMW beschikbaar zijn voor de week van 29 januari 2018 tot 6 februari 2018. Het figuur bestaat uit 4 sub-grafieken, drie voor de panden: Eefde – Delden – Aadorp; Delden – Hengelo; Hengelo – Enschede en één grafiek voor de debieten in het hoofdpand (Eefde – Delden – Aadorp).



Figuur 2.7 Waterstanden en debieten in de Twentekanalen voor een week in de (natte) winterperiode van 2018.

De figuren tonen hoe in het hoofdpand er een soort afvoergolven zichtbaar zijn in de waterstanden. Dit komt door de aflaten die water naar de Twentekanalen afvoeren, en het inzetten van het Spuikanaal bij Eefde. Zichtbaar is dat de waterstand bij Eefde boven en Almen over het algemeen lager ligt dan de waterstanden bij de overige meetpunten in het pand. De hoogste waterstanden worden gemeten bij Delden beneden en Aadorp.

De debietmetingen op het hoofdpand vertonen een interessant beeld: tussen 31 januari en 5 februari liggen de metingen bij Almen en Markelose brug ongeveer 30 m³/s uit elkaar. Dit komt overeen met een hoge afvoer van de Bolksbeek en Berkel te Lochem tijdens die periode (zie Figuur 2.5).

De waterstanden in de kleinere panden (Delden – Hengelo, en Hengelo – Enschede) worden voor een groter deel bepaald door de schuttingen van de sluisen. Te zien is dat voor het kleinste pand

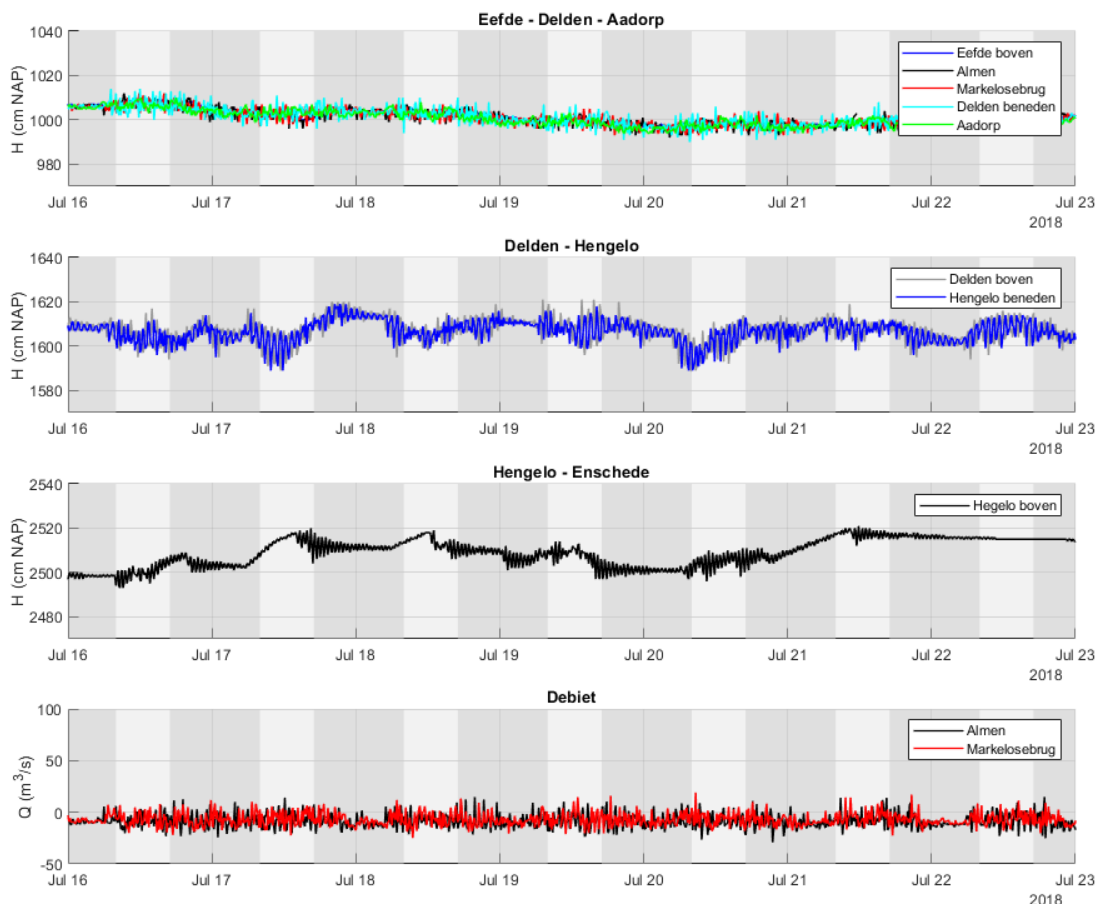
Hengelo – Enschede de schuttingen de waterstand op één dag meer dan 20 cm kunnen laten zakken. In de nacht wordt dit weer gecorrigeerd door het water terug te pompen. Dit levert “zaagtanden” op die duidelijk te zien zijn in het figuur.

In het pand Delden – Hengelo zien we eenzelfde patroon terug, maar hier zien we nog iets meer invloed van de verschillende aflaten die uitstromen op het pand. Toch wordt ook hier frequent water teruggepompt, ook vanwege de onttrekking richting het bovenliggende pand.

Figuur 2.8 toont de metingen van de waterstanden en debieten op de panden voor de week van 16 juli tot 23 juli. In de zomer vertonen de metingen minder fluctuaties en afvoergolven dan in de winter. Op het hoofdpand wordt het streefpeil van 10 m NAP strak aangehouden en de dagelijkse verschillen/fluctuaties zijn minimaal. De debietmetingen liggen ook dicht bij elkaar en tonen een negatief debiet (water stroomt richting Delden en Aadorp). Er is in deze periode geen groot verschil tussen de metingen bij Almen en Markelose brug, in vergelijking met bijvoorbeeld de periode januari-februari (Figuur 2.7).

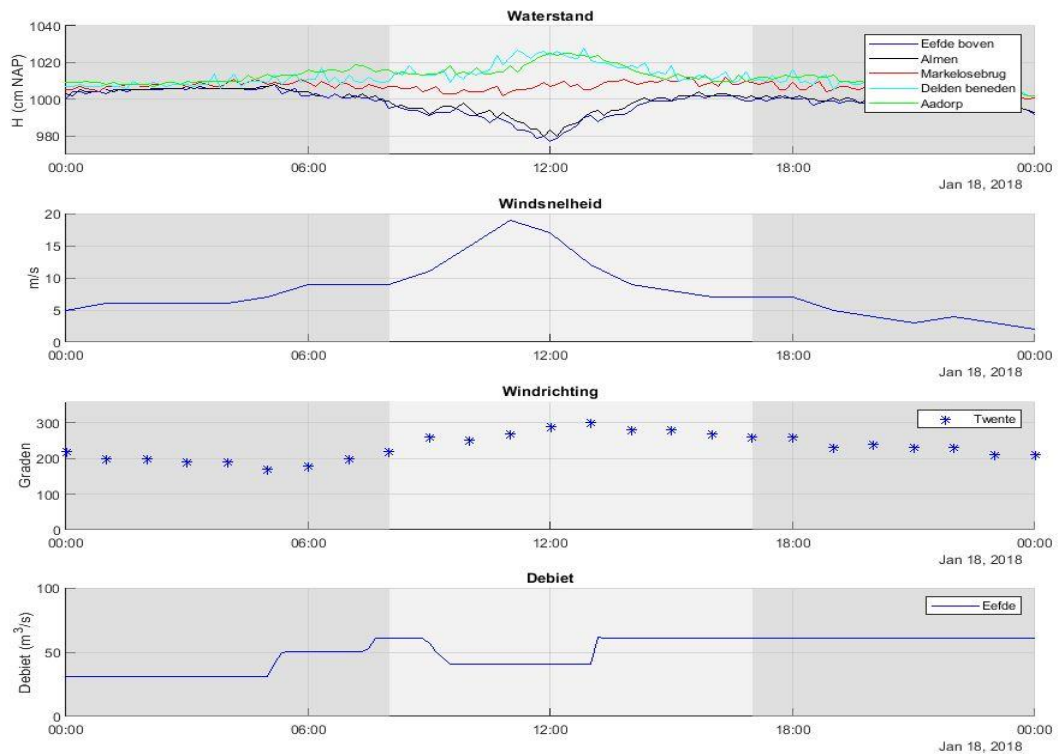
De waterstanden op het pand Delden – Hengelo vertonen ook minder grote fluctuaties, wat te maken heeft met afgenomen aanvoer van de beken en minder schuttingen van de sluizen (zowel Delden als Hengelo).

De waterstanden op het pand Hengelo – Enschede vertonen minder grote fluctuaties, het “zaagtanden” patroon dat in de winter zichtbaar is, is in de zomer maar in beperkte mate zichtbaar. Het aantal schuttingen was in deze week laag, waardoor er minder grote fluctuaties optreden.



Figuur 2.8 Waterstanden en debieten in de Twentekanalen voor een week in de (droge) zomerperiode van 2018.

Figuur 2.9 toont een speciale situatie van begin 2018 waarbij er hoge windsnelheden zijn gemeten in de buurt van de Twentekanalen. Daarnaast was er een hoge afvoer van de omliggende beken op de Twentekanalen. Hierop anticiperend werd er gespuid bij Eefde. Dit resulteert in lagere waterstanden bij Almen en Eefde. Door de hoge windsnelheden en de dominante windrichting uit het westen worden de waterstanden bij Aadorp en Delden opgestuwd. De meting bij Markelose brug toont dat hier de waterstand op ongeveer 10 m NAP blijft voor dit gedeelte van het pand.



Figuur 2.9 Waterstanden in het grootste pand van Twentekanalen op 18 januari 2018. Verschil in waterstand van ~44 cm langs het kanaalpand (10-min gem.).

Uit eerdere studies is gebleken dat vanwege het sluisbeheer lange golven kunnen ontstaan in de kanalen. Deze golven zijn terug te zien in de waterstanden per meetpunt die elke 10 minuten gemeten worden, maar deze golven hebben geen invloed op de gemiddelde waterstand in het kanaal. Het gemiddelde kan bepaald worden door te middelen over een periode enkele malen langer dan de periode van de golf, of door te middelen over de metingen aan de uiteinden van het pand (omdat deze in tegenfase zijn). In Tabel 2.5 zijn de theoretische looptijden van golven in de panden bepaald aan de hand van de waterdiepte van het pand (zie onderstaande formule). Ook is de looptijd bepaald op basis van een vergelijking tussen de metingen van de waterstanden op de uiteinden van het pand. Voor deze looptijd bepaling is aangenomen dat beide punten hetzelfde signaal meten, maar verschoven in de tijd. Door de reeksen in de tijd te verschuiven en met elkaar te vergelijken is het mogelijk een tijdsverschuiving te bepalen waarvoor de correlatie tussen beide reeksen maximaal is. Omdat de standaard LMW-meting een 10-minutengemiddelde is, is de looptijdbepaling uit die data niet nauwkeuriger dan op 10 minuten te bepalen. Er waren niet genoeg locaties met 1-min data beschikbaar om dit nauwkeuriger te bepalen uit meetdata.

Voortplantingssnelheid lange golven over een kanaal

Indien de golflengte veel groter is dan de waterdiepte is er sprake van een lange golf. Twee voorbeelden van lange golven zijn de getijgolf en de tsunami. Een lange golf zal zich voortplanten met een snelheid die gelijk is aan: $c = \sqrt{gd}$

waarbij: c = fasesnelheid of voortplantingssnelheid van de golf [m/s];

g = valversnelling (zwaartekrachtsversnelling) [m/s^2];

d = waterdiepte [m].

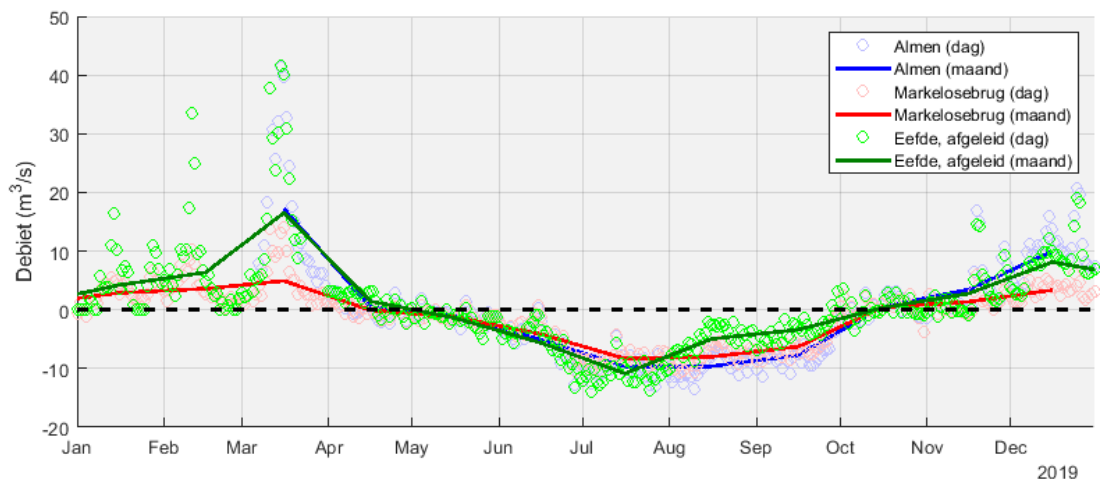
Tabel 2.5 Looptijden van golven in de panden bepaald aan de hand van de waterdiepte van het pand en op basis van de metingen van de waterstanden aan de uiteinden van het pand. Voor het pand Hengelo-Enschede zijn alleen metingen bij Hengelo, daarom kan geen looptijd bepaald worden uit de 10 minuten-data.

Pand	Streefpeil (m NAP)	Lengte (km)	Diepte (m)	Loopsnelheid (m/s)	Looptijd (min)	Looptijd (min)
					Berekend	10 min-data
Eefde - Delden	10	32.6	4.15	6.4	85	90
Eefde - Aadorp	10	46.4	4.00	6.3	124	140
Delden - Aadorp	10	24.3	3.85	6.1	66	60
Delden - Hengelo	16	9.0	4.15	6.4	24	30
Hengelo - Enschede	25	5.0	4.15	6.4	13	--

2.3.6

Seizoensvariaties

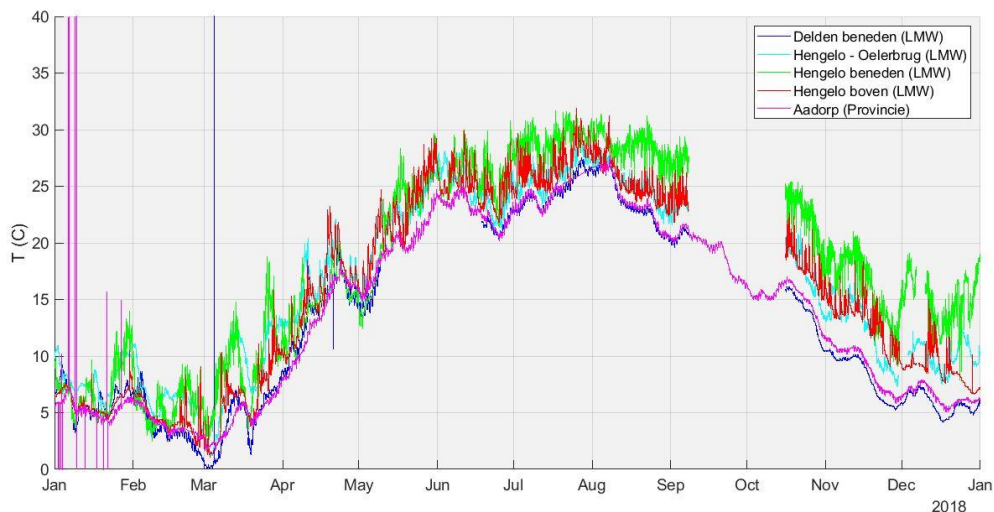
Zoals eerder genoemd is het debiet door het kanaal afhankelijk van de periode van het jaar. In de zomer wordt het kanaal voornamelijk gebruikt voor het aanvoeren van water ten behoeve van de omliggende gebieden, terwijl het in de winter wordt gebruikt voor het afvoeren van water van de omliggende beken. Figuur 2.10 toont de dagelijkse en maandelijkse gemiddelden voor de debietmetingen bij Almen en Markelose brug en het afgeleide debiet bij Eefde voor het jaar 2019. Hier is het verschil tussen zomer en winter duidelijk zichtbaar. Ook valt op dat de aflaten op het hoofdpand tussen Almen en Markelose brug een significante bijdrage leveren aan de totale afvoer die door het spuikanaal bij Eefde gaat.



Figuur 2.10 Debiet in de Twentekanaal (Almen, Markelose brug, en Eefde) in 2019. Positieve waarden zijn richting de IJssel. Er waren geen meetgegevens beschikbaar voor Almen voor de eerste 2 maanden van 2019.

2.4 Temperatuur

Figuur 2.11 toont de gemeten temperaturen in de verschillende panden van de Twentekanalen. De temperatuur varieert met de seizoenen met de koudste temperaturen begin maart en de warmste eind juli en begin augustus (voor 2018). Er zijn geen relevante koelwaterlozingen op het hoofdpand (Delden beneden en Aadorp) die de temperatuur verder beïnvloeden. Op het pand Delden – Hengelo wordt koelwater geloosd waardoor de temperatuur in dit pand op dagelijkse basis grote fluctuaties vertoont, en in sommige gevallen (begin december) zelfs voor meerdere dagen een verhoging vertoont. De combinatie van lozingen en het opgepompte water van het onderliggende pand zorgt ervoor dat de temperatuur op het pand Hengelo – Enschede ook meer fluctueert.



Figuur 2.11 Watertemperatuur in de Twentekanalen in 2018.

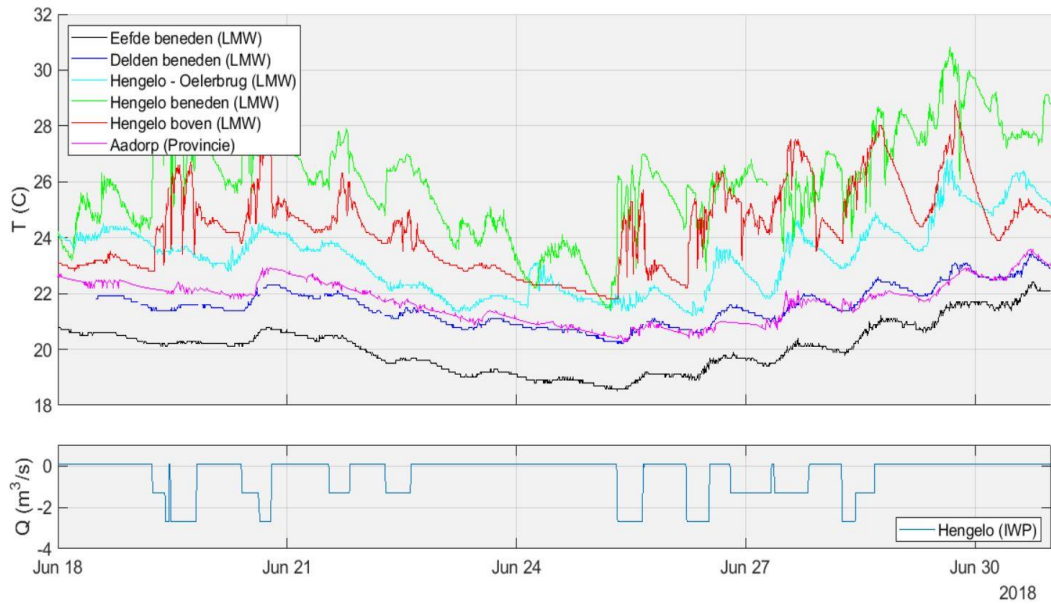
2.4.1 Dagelijkse variaties

De dagelijkse variaties in temperatuur worden vooral veroorzaakt door het verschil in luchttemperatuur tussen dag en nacht, koelwaterlozingen van de industrie rondom Hengelo en het uitwisselen van water tussen de verschillende panden door middel van pompen en schuttingen.

Figuur 2.12 toont duidelijk dat er verschillen optreden tussen de temperatuur van de kanalen overdag en in de nacht. Op het hoofdpand blijven de verschillen beperkt tot 1 graden Celsius door de grootte van het pand. Echter, op de kleinere panden kunnen de verschillen tussen dag en nacht oplopen tot 4 graden Celsius. Daarnaast valt op dat de temperaturen bij Hengelo beneden de meeste invloed ondervinden van de koelwaterlozingen¹. Indien er water opgepompt wordt bij de sluis Hengelo zal een deel van het opgewarmde water ook in het bovenliggende pand terechtkomen. De momenten waarop het debiet in de onderste grafiek negatief wordt, geven aan dat er water van Hengelo beneden naar Hengelo boven wordt gepompt.

De temperatuur op het pand Delden – Hengelo wordt in grote mate beïnvloed door de lozingen. Het ligt bijna altijd hoger dan de temperaturen op de overige panden. De meting bij Oelerbrug laat zien hoe de temperatuurpieken van de lozingen uitmiddelen over de rest van het pand.

¹ Voor de koelwaterlozingen van Akzo bestaat een meld- en rapportageplicht, bij 27 graden schalen zij de lozingen af.



Figuur 2.12 Watertemperatuur in de Twentekanaal (boven) en pompdebiet bij Sluis Hengelo (onder) voor twee weken in 2018.

3 Informatiebehoefte vanuit het watermanagementsysteem

De hoofdfuncties van het systeem zijn waterveiligheid, waterverdeling en scheepvaart. Een nevenfunctie van het systeem is de ecologie. Voor deze functies zijn verscheidene parameters van belang. Binnen de context van deze studie worden de volgende drie parameters beschouwd : waterstanden, debiet en temperatuur. Met de verschillende gebruikers is geïnterviewd wat de behoefte aan informatie is vanuit die verschillende hoofdfuncties (samengevat in Tabel 3.1). Daarnaast worden in dit hoofdstuk kort de eisen met betrekking tot beschikbaarheid en nauwkeurigheid toegelicht.

3.1 Inventarisatie informatiebehoefte

Waterveiligheid vraagt om actuele waarden en verwachtingen van waterstanden en afvoeren per pand. Om daar berekeningen aan te doen zijn historische gegevens nodig van diezelfde waterstanden en debieten. Vanwege de lengte van het Eefde-Delden pand en de zijtak is het niet voldoende enkel een gemiddelde waterstand voor dit waterlichaam te hebben. De waterstand kan, in bijzondere omstandigheden, lokaal significant verschillen van het pandgemiddelde en streefpeil. Een voorbeeld hiervan is de waterstand bij Almelo. De kades zijn hier laag, en de opzet vanwege wind en aanvoer van water uit omliggende gebieden kan hoog zijn. Enkel een gemiddelde van het gehele pand zou een onderschatting van de werkelijk opgetreden waterstand te Almelo geven. Het debiet van het Twentekanaal naar de IJssel is ook van belang voor de hoogwaterveiligheid langs de IJssel vanaf Zutphen naar Kampen.

Waterverdeling vraagt om actuele waarden en verwachtingen van waterstanden en afvoeren per pand, over alle spui- en sluiscomplexen en alle (grote) afvoeren vanuit de waterschappen en gemeenten. De regio maakt hiervoor gebruik van uurgemiddelde waarden (zie ook paragraaf 4.3.3 over RwsOS-IWP). De behoefte aan informatie voor waterverdeling is breder: kwel, wegzijging, neerslag, verdamping, maar deze vallen buiten de scope van deze studie.

Vanwege de vele belanghebbenden waarvoor de Twentekanalen water voorzien, is in het waterakkoord opgenomen dat bij elke sluis de debieten bepaald worden om een beeld te krijgen van het opgepompte water. Echter, in gevallen van lage afvoeren en droogte, kan de aanvoer van water via de IJssel worden verhoogd door de inzet van tijdelijke pompinstallaties (TPI's). De debieten hiervan zijn niet te herleiden en hierdoor is er een afhankelijkheid van de meting te Almen. Daarnaast is in het waterakkoord opgenomen dat jaarlijks een verrekening plaatsvindt op basis van het afgenomen water. Goede debietinformatie is van groot belang in de bepaling van de kosten omtrent de watervoorziening en in het ontwikkelen van de modellen. Ter controle wordt er gebruik gemaakt van de gemeten afvoeren in de kanalen. Verder zijn alle waterschappen verplicht informatie te verschaffen met betrekking tot de afwatering van de beken in de Twentekanalen.

Scheepvaart heeft een actuele vaardiepte nodig per pand. Daarvoor wordt de waterstand gebruikt. Vanwege het grote aantal bruggen op en de lengte van het hoofdpand is een gemiddelde waterstand voor het pand niet voldoende en is er ook behoefte aan lokale metingen. Daarnaast hebben de sluisbeheerders een waterstandsverschil nodig tussen de schutkolk en het bovenstrooms en benedenstrooms gelegen pand. De deuren van de kolk kunnen namelijk alleen geopend worden als het verschil niet te groot is, oftewel als er "gelijk water" is tussen de kolk en het pand.

In winter kan de watertemperatuur zodanig dalen dat zich ijsvorming voordoet. In het kanaal zelf dient daarom informatie over de temperatuur beschikbaar te zijn vanwege de eventuele inzet van ijsbrekers.

Naast het meten van lokale waterstanden vlak voor en achter de deuren wordt in het kader van **sluisbeheer** de watertemperatuur voor ijsvorming gemeten. Bij de sluisen dient er informatie over de temperaturen te zijn vanwege het inzetten van de borrelbuizen. Op dit moment wordt er ook op twee punten handmatig een meting uitgevoerd in het geval van mogelijke ijsvorming. Er loopt een aanvraag deze metingen te automatiseren door het toevoegen van twee nieuwe meetpunten aan het LMW.

Voor **ecologie** is er binnen de Rijkswateren geen informatiebehoefte bij Rijkswaterstaat. Wel geven de meting van watertemperatuur een indicatie met betrekking tot botulisme en blauwalg in de zomer. Ook wordt er in de omliggende waterschappen goed naar de kwaliteit van het water gekeken ten behoeve van de ecologie. Dat is een indirecte informatiebehoefte en niet een directe ecologische parameter. Dit geldt ook voor de eisen vanuit de KRW.

Vanwege de doorgeef functie van de Twentekanalen is het belangrijk dat er waterkwaliteitsmetingen worden uitgevoerd op het IJsselwater bij het inlaten. Dit om te garanderen dat het aangevoerde – gebiedsvreemde – water voldoet aan de gestelde **waterkwaliteitseisen**. Waterkwaliteit / stofverspreiding blijkt belangrijk bijvoorbeeld in augustus 2003 nadat er een grote brand bij Vredestein in Enschede vervuild bluswater in het kanaal terecht was gekomen.

Vanwege de lozing van koelwater van AKZO in het gebied is er een vraag naar temperatuurmetingen ten behoeve van het **watertemperatuurbeheer**. Daarnaast is er kans op ijsvorming op de panden in winter (zie behoefte sluisbeheer en scheepvaart) en botulisme en blauwalg in de zomer (zie behoefte ecologie).

Voor de **implementatie van de hydrodynamische modellen** voor de Twentekanalen en de IJssel is informatie over de debieten op de Twentekanalen van belang. Om het watersysteem Twentekanaal te kunnen begrijpen en modelleren is ook het debiet van Markelosebrug gebruikt. Voor het 1D model van de Twentekanalen worden de debieten gebruikt voor validatie en kalibratie, waarbij men in feite geïnteresseerd is in het totale debiet door de sluis te Eefde. Voor het model van de IJssel is het totale debiet door de sluis te Eefde van belang in combinatie met de afvoer uit het afleidingskanaal. Er is eerder gevonden dat het totale debiet door de sluis Eefde niet betrouwbaar te berekenen was op basis van de toen beschikbare objectdata en de methodiek die werd gebruikt voor het omzetten van deze data naar debieten door de sluis (Van der Veen, 2013) Om die reden wordt er nu gebruik gemaakt van de meting bij Almen als nauwkeurige schatting voor het debiet door de sluis te Eefde. Hiertoe dient er een centraal gemiddelde van een uur genomen te worden om interne variabiliteit van de meting uit te middelen en tot een bruikbare debietmeting te komen (Van der Veen, 2018).

Tabel 3.1 Overzicht van informatiebehoefte voor verschillende doelen.

Gebruiksdoel	Informatiebehoefte
Waterveiligheid/ waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Totale debieten door alle sluis en spuicomplexen beheer (per sluis/spui) • Gemiddelde peilen per pand (m.u.v. hoofdpand → lokaal peil bij Almelo/Aadorp) • Indirect: lokale waterstanden voor berekening debieten • Actueel, verwacht en historisch • Afvoer Aadorp i.v.m. doorvoerwater naar Vechtsysteem
Scheepvaart	<ul style="list-style-type: none"> • Gemiddelde peilen per pand (actueel) • Lokale waterstanden, vanwege bruggen/drempels • Watertemperatuur voor de detectie van ijsvorming
Sluisbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Waterstand vlak voor en achter deuren (actueel) • Watertemperatuur voor de detectie van ijsvorming
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> • (indirecte parameter): Watertemperatuur voor detectie botulisme en indicatie blauwalgen (tijdige waarschuwing voor inzet maatregelen)
Watertemperatuurbeheer	<ul style="list-style-type: none"> • Behoeft aan uitgebreide metingen om het temperatuurverloop in de kanalen in beeld te brengen.
Modelontwikkeling	<ul style="list-style-type: none"> • Debiet door gehele complex (incl. de sluis) bij Eefde • Debietbehoefte Markelosebrug

3.2 Beschikbaarheid

Het operationele peilbeheer stelt de hoogste eisen aan de beschikbaarheid van de informatie, namelijk een uitvalduur van 12 uur. Bij bijzondere omstandigheden (extreem hoog water of lage afvoeren) wordt de uitvalduur gehalveerd van 12 naar 6 uur voor de volgende locaties:

Debiet	Waterstand	Temperatuur
<ul style="list-style-type: none"> • Almen 	<ul style="list-style-type: none"> • Eefde boven • Delden boven • Hengelo boven • Aadorp 	<ul style="list-style-type: none"> • Eefde beneden

3.3 Onzekerheidseisen

Vanuit gebruiksdoelen RWS gelden de volgende maximale onzekerheden als eis voor de metingen van 10 minutenwaarden:

- Waterstand $\pm 2,5$ cm
- Afvoer $\pm 10\%$
- Watertemperatuur $\pm 0,1$ °C

Deze onzekerheden zijn gedefinieerd als de standaardafwijking van de verschillen tussen de metingen en de werkelijk opgetreden waarden. Hierbij is de aanname gemaakt dat er geen structurele afwijking tussen de metingen en de werkelijk optredende waarden is.

Vanuit het Waterakkoord gelden de volgende volledigheidseisen:

- Op elk punt van het kanaal moet 80 % van de door het daar achtergelegen stroomgebied geleverde MW-afvoer (1/100 jaar) worden gemeten. Dit percentage wordt opgebouwd door de grootste toevoeren. Zie ook bijlage C.
Hierbij staat MW voor maximum waterpeil: Dit is het peil, dat één à twee dagen per 50-100 jaar wordt bereikt of overschreden. Het treedt op bij dubbele maatgevende afvoer en als norm geldt, dat de aanliggende gronden juist hoogwatervrij blijven. Indien verhard gebied afwatert op

landelijk gebied, geldt voor de toelaatbaar geachte peilstijging bij maatgevende afvoer: boordvol of juist hoogwatervrij bij een afvoer met een frequentie van 1 x per 25 jaar.

De eisen vanuit RWS gebruikersdoelen worden gesteld aan de informatie en niet aan de individuele metingen. Bij uitval van een meting kan en mag een waarde berekend worden uit de omliggende meetpunten als dit kan met behoud van de vereiste onzekerheid. De eisen vanuit het waterakkoord worden gesteld aan de MW-afvoer, wat de afvoer is met een herhalingsperiode van 1/100 jaar.

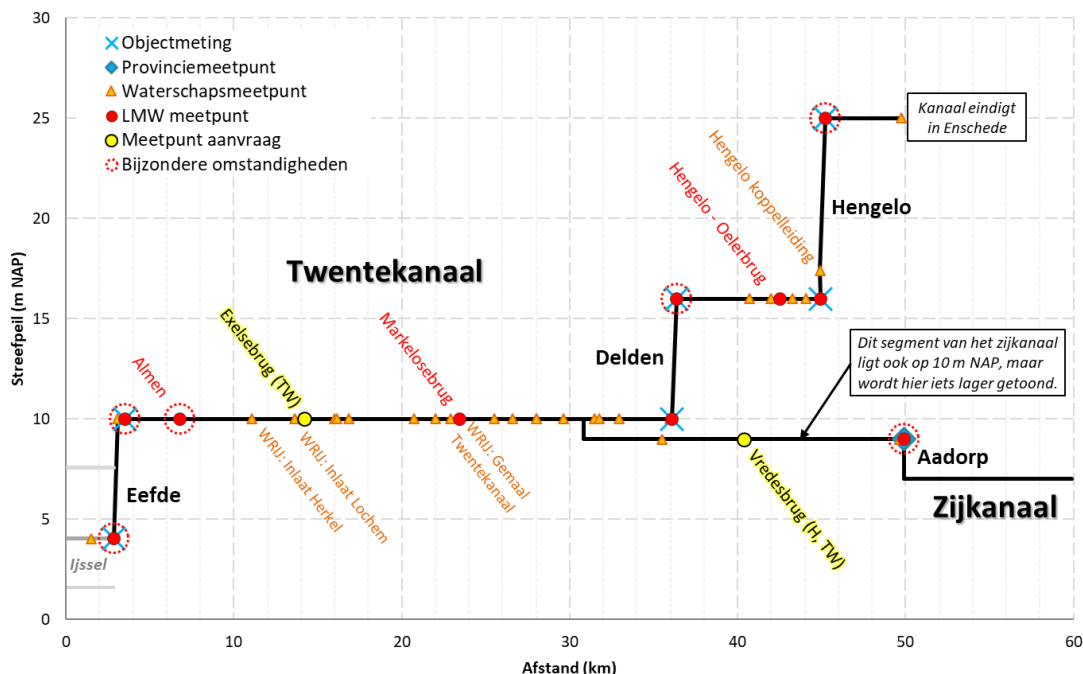
4 Inventarisatie monitoringssysteem

In de volgende paragrafen is een overzicht gegeven van de informatiebronnen van de Twentekanalen voor waterstanden, debieten en temperatuur. In dit gebied is geleidendheid geen informatiebehoefte. In overleg met RWS, is uitgegaan van metingen/informatie die op dit moment direct beschikbaar zijn of snel beschikbaar gemaakt kunnen worden. Dit zijn:

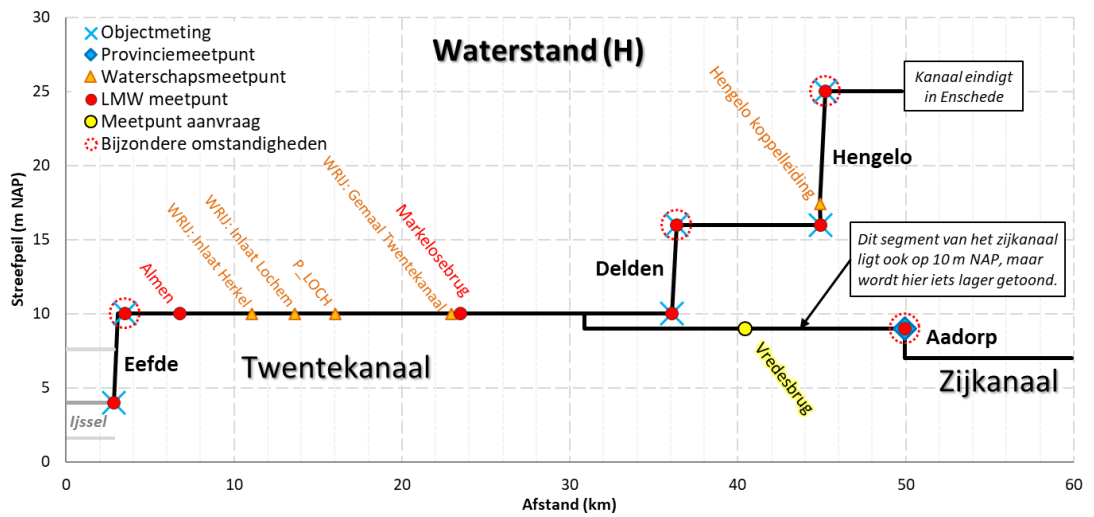
- Metingen van RWS binnen het LMW
 - 10 minuten waarden via rws.waterinfo.nl
 - 1 minuuts-data voor een bepaalde periode (en een aantal locaties) via CIV
- Metingen van RWS bij RWS-objecten
 - Data beschikbaar via de object data services (ODS) ontsluiting (aanvraag via CIV)
- Metingen van waterschappen
 - Voor Rijn en IJssel via de pagina https://waterdata.wrij.nl/index.php?wat=kaart_esri
- Metingen van de Provincie Overijssel (Sluis Aadorp)
- Informatie beschikbaar binnen het informatieplatform RWsOS-IWP

In Figuur 4.1 zijn de meetpunten van bovengenoemde meetnetten binnen het gebied schematisch weergegeven. De meetpunten worden per parameter in Figuur 4.2 (waterstand), Figuur 4.3 (debiet), en Figuur 4.4 (temperatuur) weergegeven.

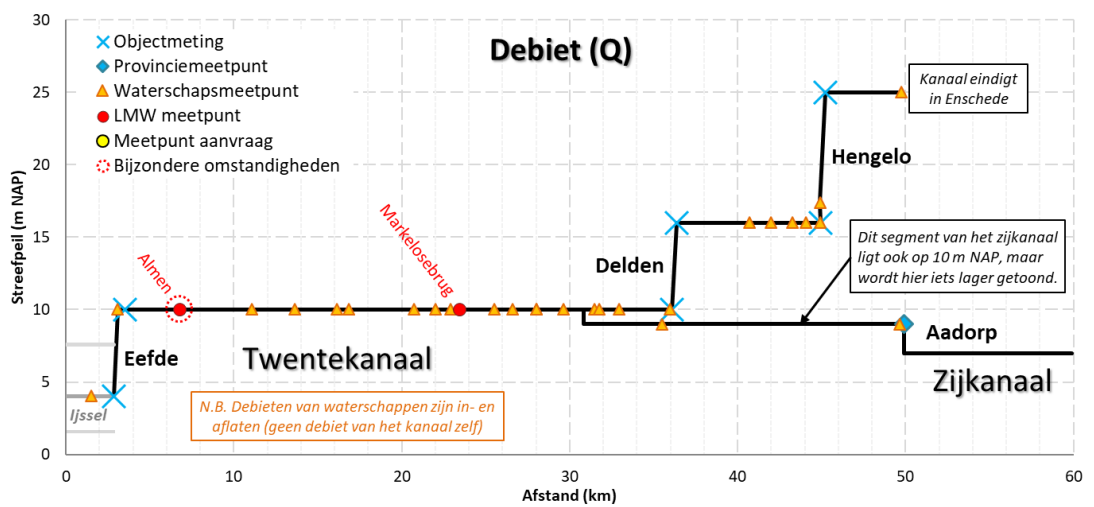
Een deel van die databronnen wordt al ontsloten en gebruikt door RWS. Om te zien of deze data ook werkelijk LMW-data zou kunnen vervangen is een data-analyse nodig. Er is een onderlinge vergelijking gemaakt van alle beschikbare data. In de volgende paragrafen worden vergelijkingen getoond voor waterstanden en debieten die illustratief zijn voor de bruikbaarheid van verschillende bronnen. Het volledige overzicht van alle vergelijkingen staat in bijlage E.



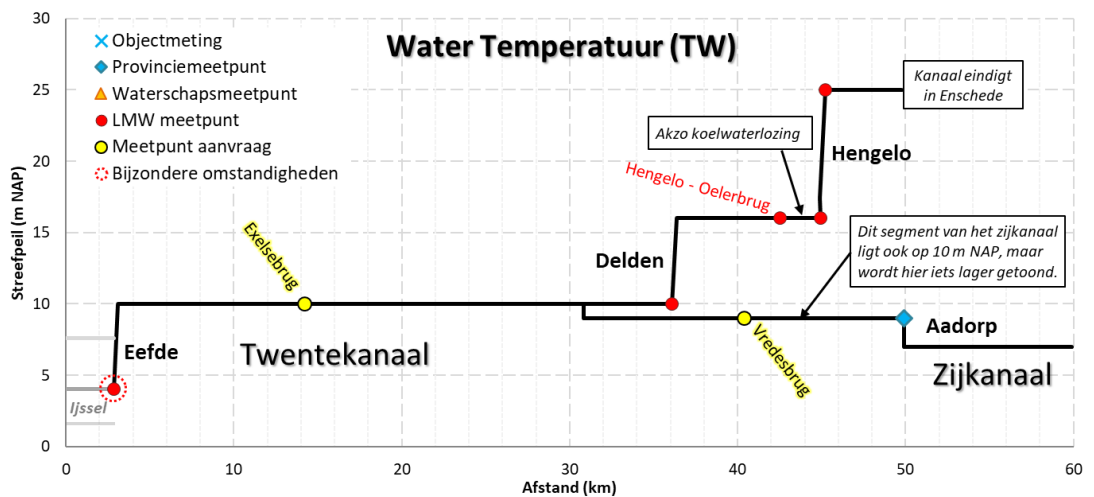
Figuur 4.1 Streefpeilen meetlocaties in de Twentekanalen (alle parameters).



Figuur 4.2 Waterstand meetlocaties in de Twentekanalen.



Figuur 4.3 Debiet meetlocaties in de Twentekanalen.



Figuur 4.4 Watertemperatuur meetlocaties in de Twentekanalen.

4.1 LMW-metingen

4.1.1 Beschrijving huidige meetnet in de kanalen

In het kort de meest in het oog springende zaken:

- Er worden waterstanden gemeten net bovenstrooms en benedenstrooms van alle sluisen en bij de belangrijkste in- en uitlaten van de waterschappen en de gemeenten.
- LMW maakt waar mogelijk gebruik van de objectinfrastructuur.
- LMW maakt in gevallen dat er geen object in de buurt is gebruik van de voeding die aanwezig is voor de lampen op de bruggen.
- LMW- en objectenmetingen liggen dicht bij elkaar: tot max. 50 meter uit elkaar.
- LMW-meetpunten liggen vaak in de buurt van de splitsing tussen spui/pompkanaal en scheepvaartkanaal. Zie Figuur 4.5.
- Bij elk van de sluisen wordt ook het debiet berekend uit waterstandsmetingen.
- Er zijn twee losse debietmetingen (ADM's) bij Almen en de Markelose brug.
- Op de zijtak (Delden – Almelo) zijn bijna geen metingen beschikbaar.
- Er bestaat de wens het meetnet uit te breiden met twee temperatuurmetingen en een waterstandsmeting (Rijkswaterstaat, 2019d)).
- Alle LMW waterstandsmeters zijn DNMs (vlottermeters).
- In alle panden wordt temperatuur gemeten. In totaal zijn er 5 meetpunten voor temperatuur. Drie daarvan bevinden zich rondom Sluis Hengelo.
- De temperatuursensoren zijn allen weerstandsmeters, waarbij de weerstand van een Platina weerstand wordt gemeten. Deze varieert met de temperatuur. De temperatuursensoren zijn aan de meetpalen voor waterstandsmetingen bevestigd.



Figuur 4.5 LMW meetpunt te Eefde

4.1.2 Kosten meetopstellingen LMW

De aanlegkosten per meetopstelling per parameter variëren van 80 tot 400 k€. Dit is hoog vanwege de civieltechnische eisen die RWS (veilig werken onder alle voorkomende weersomstandigheden) stelt en een levensduur van 30 tot 40 jaar. De onderhoudskosten liggen gemiddeld in de orde van 3-5 k€ per jaar en een groot onderhoud van 15-20 k€ eens in de 6 jaar. In paragraaf 5.4 zal er verder worden uitgeweid over de kosten van de verschillende punten.

4.1.3 Beschikbaarheid en onzekerheden in meetwaarden LMW-meetpunten

Alle LMW-meetpunten in deze kanalen zijn enkelvoudig uitgevoerd. Er zijn lokaal geen extra meters aanwezig voor het opvangen van uitval, omdat in bijna ieder pand twee of meer LMW waterstandsmetingen plaatsvinden. Uit analyse van de data van 2018 is afgeleid dat de beschikbaarheid per locatie varieert tussen 66.5 en 89.5% (zie bijlage B).

4.1.3.1 Waterstanden

De eis die wordt gesteld binnen LMW aan de onzekerheden van de metingen (in de 10-minutengemiddelde waarden) is gelijk aan de eis aan de onzekerheden in de informatie, namelijk 2,5 cm in de waterstand en 10% in het debiet Q. De onzekerheid in het 10-minutengemiddelde wordt gedomineerd door variabiliteit in waterstand door scheepsbewegingen en lange golven als

gevolg van het schutten en spuien. Vanwege de variabiliteit (=werkelijk optredende waterstandsvariaties) is de meting wel representatief/nauwkeurig voor de lokale waterstand, maar niet voor het kanaal als geheel of een deel daarvan. Hetgeen echter in de praktijk niet altijd een probleem hoeft te zijn, omdat het waterbeheer met uurgemiddelde gegevens werkt, waardoor dergelijke variabiliteit niet meer zichtbaar is (uitgemiddeld wordt).

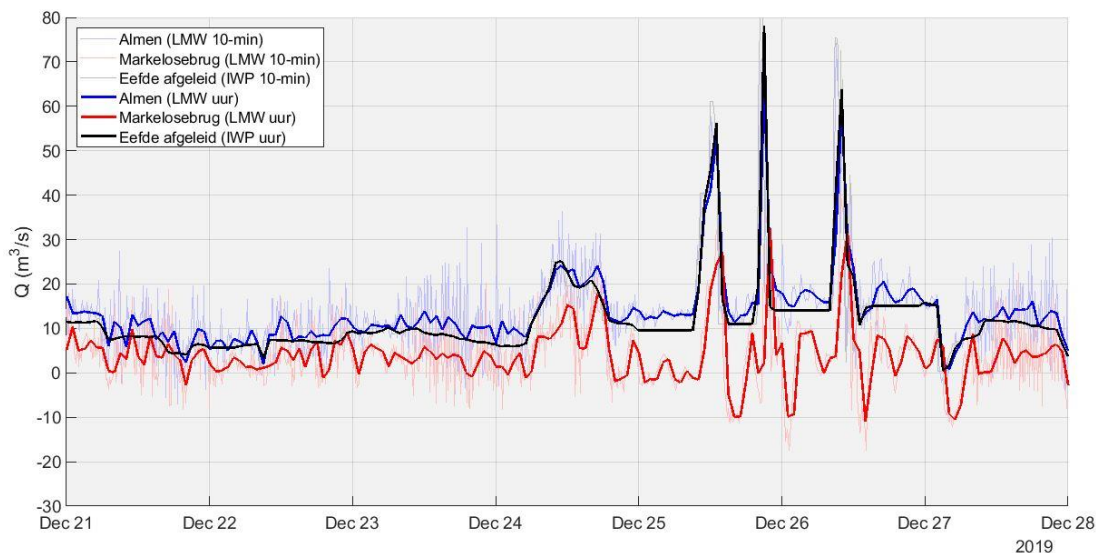
4.1.3.2 Debiet

De LMW-metingen voor debieten vertonen grote variaties tussen de individuele 10-minuten gemiddelden waarden zoals getoond in Figuur 4.6. Om die reden wordt voor de debietinformatie nooit 10-minuutsgemiddelden gebruikt, maar wordt er gemiddeld over een uur, of zelfs een langere periode. In dit figuur is een uursmiddeling toegepast om een vergelijking te maken tussen de metingen bij Almen en Markelose brug en het afgeleide debiet bij de sluis Eefde. Te zien is dat de metingen van de ADM's bij Almen en Markelose brug gemiddeld over een uur een redelijk gladde lijn laten zien, terwijl de individuele 10-minuten gemiddelden waarden tonen met een veel grotere spreiding.

In hoofdstuk drie is aangegeven dat de eis aan de nauwkeurigheid van de debietinformatie 10% is voor de 10 minutenwaarde. Een variabiliteit van 0,5cm/s in het 10 minuten gemiddelde van de ADM stroommeting komt neer op een ruis van 1,25 m³/s (volgens analyse in Rijkswaterstaat, 2020). Hiermee is de eis van 10% al bij 10m³/s niet meer haalbaar². Zoals eerder genoemd, wordt hier in de praktijk pragmatisch mee omgegaan. Zo wordt er voor de modelontwikkeling en de berekening van het afgenomen water door de waterschappen gebruik gemaakt van uur of daggemiddelden, omdat deze gemiddelden relevante informatie bevatten waarbij de ruis uitgemiddeld wordt. De momentane waarden bevatten deze informatie niet en ondervindt hinder van de ruis.

In Figuur 4.6 is verder zichtbaar dat het afgeleide debiet bij de sluis Eefde (de zwarte lijn) goed overeenkomt met de gemeten debieten bij Almen. De verschillen die optreden zijn altijd een hoger debiet bij Almen dan bij Eefde afgeleid is en in de orde van 3-5 m³/s. Dit komt overeen met de schatting van het schutverlies. In de afleiding van het debiet bij Eefde wordt het aantal schuttingen niet precies meegenomen, in plaats daarvan wordt er gebruik gemaakt van een schatting. Deze kan afwijken van wat er in werkelijkheid optreedt en daarmee wijkt ook het debiet door de sluis af.

² De ADM bepaalt het debiet op basis van de gemeten stroomsnelheden binnen een bepaalde waterlaag, in combinatie met de waterstand en een interpolatiemethode. De stroomsnelheden binnen de waterlaag kunnen zeer nauwkeurig (tot op 0,1 cm/s) worden gemeten. Volgens de analyse van der Hout (in bijlage van Rijkswaterstaat, 2020) verandert de vorm van het tijdsgemiddelde stroomprofiel niet. De geldigheid van de interpolatie houdt stand bij lage debieten. De variabiliteit in de stroming is echter 0,5 cm/s in een 10-minuten gemiddelde.



Figuur 4.6 Fluctuaties in de debietmetingen van de LMW meetpunten, de blauwe lijn toont de metingen van LMW te Almen en de rode lijn de meting bij Markelose brug, de zwarte lijn toont het afgeleide totale debiet bij de sluis Eefde.

4.1.3.3 Temperatuur

De LMW metingen voor de temperatuur vertonen redelijk stabiele reeksen met alleen bij Eefde beneden ongeldige waarden op het moment dat de waterstand lokaal beneden de 2,5 m NAP komt. De temperatuurmeting meet de luchttemperatuur in plaats van de watertemperatuur, zoals geverifieerd bij CIV. Het is ook voor de temperatuursensoren lastig iets te zeggen over de nauwkeurigheid en of de onzekerheidsgraad van 0,1 °C in de praktijk gehaald wordt. Met name vanwege het ontbreken van vergelijkingsmateriaal. Wel vertonen de afzonderlijke reeksen enige correlatie met elkaar en zijn er, behalve bij Eefde, geen redenen om te denken dat de onnauwkeurigheden in de metingen veel zullen afwijken van de fabrieksspecificaties. De metingen die door Akzo worden uitgevoerd op het pand Delden-Hengelo komen overeen met de LMW metingen (Persoonlijke communicatie Geert Wieggers).

4.1.4 Onderlinge vergelijking en correlaties tussen LMW-punten

Paragraaf 2.3.5 toonde dat de periode van de schommelingen per pand variëren van 13 minuten in het kortste tot twee uur in het langste pand. Als vervolgens relaties worden gelegd tussen 10-minutengemiddelde metingen in hetzelfde pand lijkt er een lage correlatie van de waterstanden te zijn, terwijl de reeksen slechts een kleine structurele afwijking van elkaar vertonen. Dit komt overeen met het beeld dat in een kanaal de meetpunten vrijwel hetzelfde signaal meten, maar onderling verschoven in de tijd vanwege de lange looptijd van de translatie golven. Hiervan wordt een voorbeeld gegeven in Figuur 4.7. Dit figuur toont links de relatie tussen twee meetpunten aan de uiteinden van het pand tussen sluis Delden en sluis Hengelo. Bij een directe vergelijking lijken de metingen niet goed te correleren ($R^2 = 0,52$) al is de standaardafwijking (stdev) van de verschillen maar 5,2 cm. Door de signalen 30 minuten in de tijd te verschuiven wordt een maximale correlatie gevonden van 0,92 (en stdev 2,0 cm). Deze exercitie met het verschuiven in de tijd en het vinden van de maximale correlatie is uitgevoerd voor metingen in alle panden en is de bron van de geschatte looptijd/golfperiode in Tabel 2.5. In plaats van te schuiven met de tijdreeksen in de tijd om te zien of ze vergelijkbaar zijn, kunnen de oscillaties ook weggemiddeld worden. Het operationele waterbeheer gebruikt primair informatie met een middeling van 1 uur. Deze middeling is hier ook toegepast. De correlatie loopt daarmee op naar 0,98 (stdev 0,91 cm).

In Tabel 4.1 zijn alle resultaten van de vergelijkingen en correlaties van de 10-minutengemiddelde en uurgemiddelde waterstandsmetingen per pand weergegeven. Voor de vergelijking van de 10 minuten gemiddelden zijn de reeksen verschoven in de tijd zodat ze de maximale correlatie

hebben. Te zien is dat in het grote pand (Eefde – Delden – Aadorp) de verschillen tussen de meetpunten toenemen met toenemende afstand. De metingen bij Eefde en Almen liggen het dichtst bij elkaar en vertonen ook de kleinste verschillen. De metingen bij Eefde en Aadorp, en Eefde en Delden liggen verder uit elkaar en tonen de grootste verschillen.

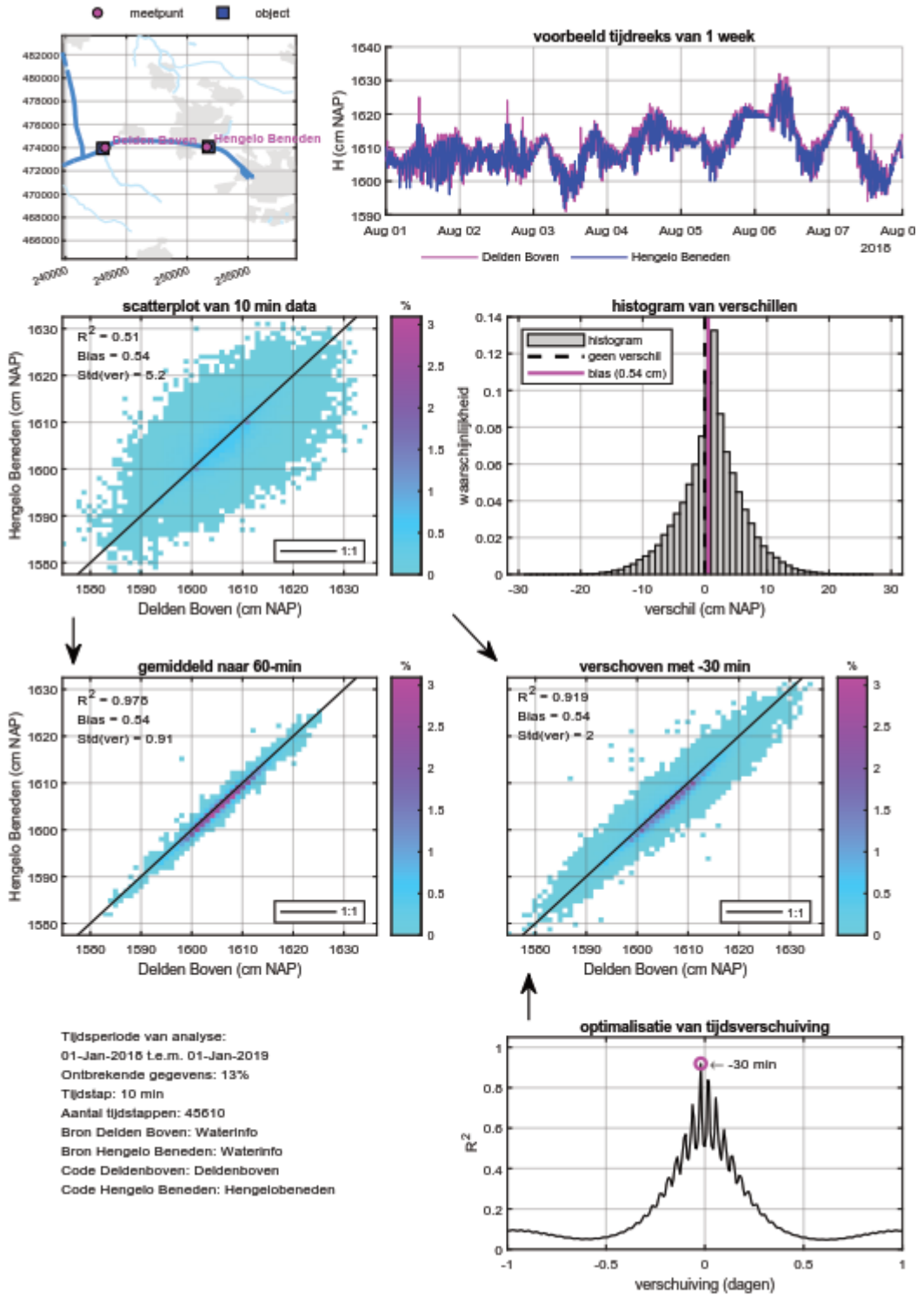
Deze analyse laat zien dat de verschillen in de 10-minutenwaarden tussen de verschillende punten (zelfs na een verschuiving in de tijd) over het algemeen groter dan 2,5cm zijn, wat erop wijst dat deze meetpunten verschillende hydrodynamische condities meten en dus niet door elkaar vervangen kunnen worden op het niveau van 10 minutengemiddelden. Navraag bij de CIV leert ons dat op slechts één van de waterstandsmetpunten bij uitval gebruik wordt gemaakt van de andere metingen in het kanaal. Dit is Delden beneden. Hiervoor zijn de volgende locaties van belang: Eefde boven, Markelose brug en Almen. Met behulp van een multi-lineaire regressie kan bij uitval van het meetpunt de waterstand bij Delden beneden bepaald worden.

Op basis van de vergelijking van de LMW-metingen in hetzelfde pand zien we dat de onderlinge verschillen tussen de LMW-metingen (na correctie van de lange golven) vaak tussen de 2,5 en 3,5 cm liggen. Hoewel dit niet direct te vertalen is naar een meetonzekerheid op de verschillende punten (er spelen immers ook verschillende hydraulische condities mee), wordt er voor deze studie vanuit gegaan dat de onzekerheid van een LMW meting kleiner is dan de maximale 2,5 cm.

Aangezien voor het operationele waterbeheer voornamelijk wordt gekeken naar de uurgemiddelden is er ook gekeken naar de resultaten in het geval van uursmiddeling. Het valt op dat dit voor een aantal locaties duidelijk de wortel van het gemiddelde gekwadrateerde verschil (RMSD) verlaagd. Vanwege de tijd die het kost voor water om zich door het kanaal te bewegen is het logisch dat de metingen op het hoofdpand meer van elkaar verschillen. Door de uursmiddeling wordt een deel van de verschillen gladgestreken. Voor locaties die dicht bij elkaar liggen heeft dit het meeste effect. De locaties Eefde boven en Aadorp verschillen nog steeds relatief veel doordat de tijd die de oscillatie onderweg is van Eefde boven naar Aadorp langer is dan een uur. Daarnaast bevinden zich op het grote pand veel verschillende af en inlaten waardoor de waterstanden kunnen verschillen. Zoals eerder genoemd spelen ook het gebruik van het spuikanaal te Eefde en de windopzet te Almelo en Delden mee in de verschillen tussen de metingen op deze locaties (zie Figuur 2.9).

Pand: Delden - Hengelo

Meetpunten: Delden Boven & Hengelo Beneden



Figuur 4.7 Vergelijking van de waterstanden gemeten bij sluis Delden en sluis Hengelo

Tabel 4.1 Resultaten van vergelijkingen en correlaties van de 10 minuten gemiddelde (verschoven in de tijd) en uurgemiddelde waterstandsmetingen per pand (hoofdpand = Eefde – Delden – Aadorp).

Gebied/Pand	Locatie 1	Locatie 2	10 minuten gemiddelde (verschoven in de tijd)			Uur gemiddelde (niet verschoven in de tijd)		
			RMSD (cm)	AGV (cm)	Stdev (cm)	RMSD (cm)	AGV (cm)	Stdev (cm)
Hoofdpand	Eefde Boven	Almen	1.7	0.1	1.7	0.9	0.1	0.9
Hoofdpand	Eefde Boven	Markelose Brug	2.5	0.5	2.4	2.1	0.5	2.0
Hoofdpand	Eefde Boven	Delden Beneden	3.7	1.0	3.5	3.1	1.0	3.0
Hoofdpand	Eefde Boven	Aadorp	3.6	1.1	3.4	3.5	1.1	3.3
Hoofdpand	Almen	Markelose Brug	2.5	0.5	2.4	2.0	0.6	1.9
Hoofdpand	Almen	Delden Beneden	3.6	1.0	3.5	3.1	1.0	3.0
Hoofdpand	Almen	Aadorp	3.6	1.0	3.4	3.5	1.1	3.3
Hoofdpand	Markelose Brug	Delden Beneden	2.5	0.5	2.5	1.4	0.5	1.3
Hoofdpand	Markelose Brug	Aadorp	2.5	0.6	2.4	2.0	0.6	1.9
Hoofdpand	Delden Beneden	Aadorp	2.4	0.1	2.4	1.4	0.1	1.4
Delden - Hengelo	Delden Boven	Hengelo Beneden	2.0	0.5	2.0	1.1	0.5	0.9

RMSD: Wortel van het gemiddelde gekwadraterde verschil tussen de twee tijdreeksen (0 = groen, 6 = rood)

AGV: absoluut gemiddelde verschil tussen de twee tijdreeksen (0 = groen, 2 = rood)

Stdev: standaarddeviatie van de verschillen tussen de metingen (0 = groen, 6 = rood)

4.2 Vergelijking LMW-metingen met alternatieve databronnen

In de volgende paragrafen wordt een aantal alternatieve databronnen toegelicht: objectmetingen, waterschapsmetingen en metingen van de provincie. Deze zullen kort worden beschreven aan de hand de technische invulling en beschikbaarheid van de data. Daarnaast is er een data analyse uitgevoerd om te kijken naar de nauwkeurigheid van de metingen. Voor het begrip van deze analyse dienen een aantal zaken en aannames verder toegelicht te worden. In de uitleg hieronder wordt als voorbeeld de vergelijking tussen LMW metingen en objectmetingen gebruikt, maar dezelfde concepten gelden voor de andere alternatieve databronnen.

Ten eerste geldt er binnen het LMW voor alle meetpunten een onzekerheidseis van 2,5 cm voor de 10 minutengemiddelde metingen van waterstand. Deze eis houdt in dat de standaardafwijking en een mogelijk vast verschil gezamenlijk niet meer mogen zijn dan 2,5 cm als de gemiddelde meetfout (structurele afwijking) nul (0) is. In de praktijk kan dit niet getoetst worden aan een onafhankelijke nauwkeurige meting op dezelfde locatie. Er kan wel een schatting worden gemaakt op basis van nabij gelegen stations, of interpolatie op basis van omliggende stations. Het nulpunt/structurele afwijking wordt ter plaatse gecontroleerd en bijgesteld aan de hand van een vast referentiepunt ten opzichte van NAP. Er wordt aangenomen, en dit is naar alle waarschijnlijkheid terecht, dat met de huidige manier van inmeten, en installeren van de meetinstrumenten aan deze onzekerheidseis wordt voldaan (Rijkswaterstaat, 2008). Voor de vergelijking met de objectmetingen is het van belang een redelijke schatting te hebben van de onzekerheid van de LMW-meting. Er wordt immers eenzelfde onzekerheidseis aan de objectmeting gesteld op het moment dat deze gebruikt gaat worden om te voorzien in de informatiebehoefte. Bij een vergelijking tussen twee locaties is de standaardafwijking van het verschil tussen de twee meetpunten gelijk aan de wortel van de som van de gekwadraterde onzekerheid van de afzonderlijke meetpunten

$$s = \sqrt{x_{LMW}^2 + x_{object}^2}$$

Waarbij:

s = de standaardafwijking van de verschillen tussen de LMW- en objectmetingen

x_{LMW} = de standaardafwijking van de verschillen met de werkelijkheid (onzekerheid) in de LMW metingen (eis: maximaal 2,5 cm)

x_{object} = de standaardafwijking van de verschillen met de werkelijkheid (onzekerheid) in de objectmetingen (eis: maximaal 2,5 cm)

De formule geldt onder de aanname dat het verschil tussen de LMW-meting en de werkelijkheid, en verschil tussen de objectmeting en de werkelijkheid niet met elkaar gecorreleerd zijn³. Dit lijkt een goede aanname aangezien de meetpunten fysiek gescheiden zijn en de metingen door verschillende sensoren worden gedaan. Er wordt dus niet verwacht dat zij elkaars meetfout beïnvloeden.

Als verder aangenomen wordt dat de LMW-meting exact voldoet aan de onzekerheidseis, mag de standaardafwijking van de verschillen tussen de object- en LMW-metingen maximaal 3,5 cm zijn op basis van bovenstaande formule. In dat geval is de onzekerheid van de objectmeting namelijk maximaal 2,5 cm, waarmee aan de eis wordt voldaan. Dit gaat echter alleen op als de onzekerheid van de LMW-meting exact gelijk is aan de maximale fout. Eerder is gesteld dat de onzekerheid van de LMW-meting vermoedelijk lager is, wat betekent dat eigenlijk een strengere eis (lager dan 3,5 cm) ten aanzien van de standaardafwijking van de verschillen tussen de LMW en objectmeting aangehouden moet worden. Voor deze studie is de aanname dat de statistische meetonzekerheid van de LMW-metingen in dit gebied niet hoger is dan 1,5 cm. Volgens bovenstaande formule moet de standaardafwijking van de verschillen tussen de LMW- en objectmetingen dan lager dan 2,9 cm zijn. Als dat zo is, zou de standaardafwijking van de verschillen tussen de objectmetingen en de werkelijkheid niet groter dan 2,5 cm moeten zijn. Daarmee zouden de objectmetingen voldoen aan de onzekerheidseisen (zie paragraaf 3.3).

Bovenstaande betekent het volgende:

- Als de standaardafwijking van de verschillen tussen de LMW- en objectmetingen onder de 2,9 cm is, wordt er aangenomen dat de objectmeting voldoet aan de 2,5 cm onzekerheidseis. De aanname hierbij is dat de onzekerheid van de LMW-metingen niet minder is dan 1,5 cm. Wel is het in dit geval de verwachting dat de objectmeting een grotere meetfout heeft dan de LMW-meting. Wat dus een (acceptabele) verslechtering van de kwaliteit inhoudt.
- Als de standaardafwijking van de verschillen onder de 2,1 cm is, wordt op basis van de bovenstaande formule aangenomen, dat zowel de meetfout van de LMW-meting als de meetfout van de objectmeting kleiner zijn dan 2,1 cm (en dus voldoen aan de 2,5 cm onzekerheidseis). Onder de aanname dat de meetfout van de LMW-metingen rond de 1,5 cm ligt, ligt de onzekerheid van de objectmeting ook rond de 1,5 cm. Er wordt dus aangenomen dat er geen verbetering, noch een verslechtering van kwaliteit optreedt.
- Als de standaardafwijking van de verschillen tussen de LMW- en objectmetingen onder de 1,5 cm is, klopt de aanname dat de meetfout van de LMW-metingen niet minder dan 1,5 cm is niet meer. De meetfout van beide metingen is dan per definitie onder de 1,5 cm. Er kan op dat moment niet met zekerheid gezegd worden welke meting nauwkeuriger of minder nauwkeurig is.

³ In dat geval mag namelijk de formule van Bienaymé worden toegepast. Die stelt dat de variantie van het verschil tussen (of de som van) twee variabelen hetzelfde is als de som van de varianties van de variabelen zelf, ofwel $\text{Var}(X-Y) = \text{Var}(X) + \text{Var}(Y)$. De variabele X is het verschil tussen de LMW-meting (L) en de werkelijkheid (W), de variabele Y is het verschil tussen de objectmeting (O) en de werkelijkheid. Hiermee wordt de volgende formule gevonden: $\text{Var}(L-W-O+W) = \text{Var}(L-W) + \text{Var}(O-W)$. In de linkerkant van de formule vallen dan de W 's eruit, en blijft deze formule over: $\text{Var}(L-O) = \text{Var}(L-W) + \text{Var}(O-W)$. Met de definities in de hoofdttekst wordt dit: $s^2 = x_{LMW}^2 + x_{object}^2$. Door hiervan de wortel te trekken wordt de formule gevonden die in de hoofdttekst staat.

- Alles onder de aanname dat de structurele afwijkingen (bias) die worden gevonden bij de objectmetingen verholpen kunnen worden. In dat geval geeft de standaardafwijking van de verschillen tussen de metingen namelijk de volledige onzekerheid weer. Anders geformuleerd zou je kunnen stellen dat de standaardafwijking van de verschillen tussen de object- en LMW-metingen de potentie van de objectmeting als vervanging van de LMW-meting weergeeft, mits de structurele afwijking verholpen wordt.

4.2.1 Objectmetingen Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat meet voor het aansturen en beheer van de schutsluizen in de Twentekanalen de waterstanden in de schutkolken en aan boven en benedenstroomse kant van het sluiscomplex. Daarnaast zijn er metingen boven en benedenstrooms van de gemalen. Dit komt neer op drie (waarvan twee in de panden) metingen per schutsluis en minimaal 2 per gemaal. Voor het gemaal te Eefde zijn in totaal 12 waterstandsmetingen beschikbaar voor de vier aanwezige pompen. Daarnaast zijn er vaak ook metingen beschikbaar boven- en benedenstroom van de spuikanalen.

Zoals eerder opgemerkt liggen in de meeste gevallen een LMW-punt en een objectmeting pal naast elkaar of niet meer dan enkele tientallen meters uit elkaar. De meetdata worden op de objecten ingewonnen door SCADA-systemen en kunnen vervolgens naar LMW ontsloten worden via ODS. ODS is sinds april 2019 geïnstalleerd en geconfigureerd op de sluisen te Delden en Hengelo. ODS is sinds oktober 2018 beschikbaar voor de sluis te Eefde. Voor de ontsluiting van de data bij Eefde was op het moment van opvragen van de data medio 2018 echter slechts een deel van de relevante parameters en data beschikbaar via ODS. Voor alle objecten geldt dat de ontsluiting naar LMW slechts voor een beperkt aantal parameters gereed is. Van de kosten van installatie en onderhoud van de metingen op objecten van RWS zijn geen getallen beschikbaar.



Figuur 4.8 Druksensor te Delden.

4.2.1.1 Technische invulling metingen

De gehanteerde meetmethode voor waterstanden is op alle sluisen op basis van de waterdruk. De metingen worden uitgevoerd met luchtdruk gecorrigeerde druksensoren (van het merk VEGA) die opgehangen zijn langs de damwand van het pand of de kolk of in een aparte peilbuis in het water. De stand van de kleppen in de spuirollen wordt elektronisch geregistreerd. In Figuur 4.8 staat een voorbeeld van de druksensor. Het figuur toont het paaltje dat met de sensor in het water verbonden is.

4.2.1.2 Beschikbaarheid van de metingen op RWS-objecten en ontsluiting

Op dit moment is er nog geen complete ontsluiting van de gegevens van de objecten richting LMW. Een deel van de objectmetingen worden wel al via ODS en LMW ontsloten richting IWP waar deze informatie waar nodig wordt gebundeld en gemiddeld.

Voor deze studie zijn de volgende parameters van de objecten van belang:

- Klepstanden, hefhoogten van schuiven
- Pompduur/pompdebieten
- Aantal schuttingen (of status van de sluisdeuren)
- Debieten bij sluisen

- Waterstanden bij sluizen

De eerste drie punten zijn vooral van belang voor het bepalen van de debieten. Dit gebeurt deels op de objecten (voor de pompdebieten), en eerder deels in RWSOS-IWP (schut- en spuidebieten). Dat laatste (bepaling in IWP) gebeurt voor een deel niet meer, want de benodigde gegevens zijn niet meer beschikbaar. Berekening van totale debieten door de sluizen (combinatie van bekende pomp-, schut-, lek- en spuidebieten) gebeurt niet op het object, maar daarbuiten (zie paragraaf 4.3.3 over RWSOS-IWP). Voor deze studie is er gebruik gemaakt van de debieten zoals deze van het object komen of in IWP zijn berekend. Om die reden is er niet gekeken naar de klepstanden, en heffhoogten van de schuiven. Voor een analyse van de waterstanden was het wel van belang te weten of er geschut wordt of niet en of pompen aan staan of niet. Om die reden is er ook naar de schuttingen gekeken.

4.2.1.3 Onzekerheid in de waterstandsmetingen op RWS-objecten

De eis aan de onzekerheid in de waterstanden van de objectdata is bij Deltares niet bekend. Uit de interviews en de workshop kwam naar voren dat er bij een afwijking van 10 cm tussen de meting in de kolk en de metingen buiten de kolk in ieder geval actie ondernomen moet worden. De aannemer zal dan de meetapparatuur binnen en buiten de schutkolk zo kalibreren dat deze bij gelijk water ook dezelfde waarde aangeven. De metingen worden niet gekalibreerd ten opzichte van NAP. Dit leidt tot sprongen in de meetreeks van de objectmetingen en over het algemeen wordt er een aanzienlijke structurele afwijking gevonden bij de objectmetingen.

Op basis van de gebruikte gestandaardiseerde meettechnieken moeten de metingen kunnen voldoen aan de LMW-eis van 2,5 cm. In de evaluatie in de volgende paragraaf wordt een vergelijking van de data van de objecten met naastgelegen LMW-punten gemaakt. Hierbij dient in acht genomen te worden dat de onzekerheid van de LMW-punten vaak lager ligt dan de maximaal toegestane 2,5 cm. Zo geldt er dus voor elke vergelijking tussen object en LMW-punt een iets andere nauwkeurigheidseis welke tussen de 2,5 (geen onzekerheid in de LMW-meting) en 3,5 cm (2,5 cm onzekerheid in de LMW-meting) zal liggen. Elke vergelijking waarbij de standaardafwijking van de verschillen tussen de twee metingen kleiner is dan 2,5 cm, laat dus zien dat de objectmeting een voldoende hoge nauwkeurigheid haalt. Hierbij wordt aangenomen dat in de toekomst gecorrigeerd zal worden voor een eventuele structurele afwijking tussen de object en LMW metingen.

Het is niet duidelijk wat de vereiste nauwkeurigheid van de klepstanden is. In de regio Brabantse en midden Limburgse kanalen was dit 1 cm (Schroevens & Vandebroek, 2017). Daarom wordt er voor de Twentekanalen ook vanuit gegaan dat de onzekerheid in de gemeten klepstand 1 cm is.

4.2.1.4 Vergelijking van de waterstandsmetingen van de objecten met LMW

De door de objecten gemeten waterstanden zijn vergeleken met de LMW-metingen die beschikbaar zijn voor de volgende objecten: Eefde, Delden en Hengelo. De sluis bij Aadorp wordt gemeten door de Provincie en is daarmee niet onder het beheer van Rijkswaterstaat. Dit wordt behandeld in paragraaf 4.4.

Tabel 4.2 toont een overzicht van de vergelijking van de verschillende objectmetingen en de LMW-metingen in de Twentekanalen.

Tabel 4.2 Resultaat van de vergelijkingen tussen de waterstanden gemeten door LMW en door de objecten voor de 10-minuten- en uurgemiddelden. In de tabel geldt dat de RMSD de huidige kwaliteit van de meting weergeeft, en de Stdev de potentie als er wordt gecorrigeerd voor de structurele afwijking.

Gebied/Pand	Locatie 1	Locatie 2	10 minuten gemiddelde			Uur gemiddelde		
			RMSD (cm)	AGV (cm)	Stdev (cm)	RMSD (cm)	AGV (cm)	Stdev (cm)
Onder Eefde	Eefde Beneden	Gemaal Eefde - Beneden pomp 1 (ODS)	4.0	2.7	3.0	4.0	2.7	2.9
Onder Eefde	Eefde Beneden	Gemaal Eefde - Beneden pomp 3 (ODS)	5.8	5.2	2.6	5.8	5.2	2.5
Onder Eefde	Eefde Beneden	Gemaal Eefde - Beneden pomp 4 (ODS)	2.6	1.2	2.3	2.5	1.2	2.2
Onder Eefde	Eefde Beneden	Gemaal Eefde - Beneden pomp 5 (ODS)	3.0	0.8	2.8	2.7	0.8	2.6
Eefde - Delden - Aadorp	Eefde Boven	Gemaal Eefde - Boven pomp 1 (ODS)	1.7	1.2	1.3	1.3	1.2	0.5
Eefde - Delden - Aadorp	Eefde Boven	Gemaal Eefde - Boven pomp 3 (ODS)	7.4	6.5	3.6	7.3	6.5	3.3
Eefde - Delden - Aadorp	Eefde Boven	Gemaal Eefde - Boven pomp 4 (ODS)	2.9	1.6	2.4	2.5	1.6	1.9
Eefde - Delden - Aadorp	Eefde Boven	Gemaal Eefde - Boven pomp 5 (ODS)	2.4	0.7	2.3	2.1	0.7	1.9
Eefde - Delden - Aadorp	Delden Beneden	Sluis Delden - Beneden (ODS)	9.8	7.4	6.3	9.2	7.4	5.5
Eefde - Delden - Aadorp	Delden Beneden	Gemaal Delden - Beneden (ODS)	9.8	7.4	6.3	9.2	7.4	5.5
Delden - Hengelo	Delden Boven	Sluis Delden - Boven (ODS)	8.1	8.0	1.1	8.0	8.0	0.5
Delden - Hengelo	Delden Boven	Gemaal Delden - Boven (ODS)	8.1	8.0	1.1	8.0	8.0	0.5
Delden - Hengelo	Hengelo Beneden	Sluis Hengelo - Beneden (ODS)	18.8	18.8	1.3	18.8	18.8	0.7
Delden - Hengelo	Hengelo Beneden	Gemaal Hengelo - Beneden (ODS)	18.8	18.8	1.3	18.8	18.8	0.7
Hengelo - Enschede	Hengelo Boven	Gemaal Hengelo - Boven (ODS)	1.1	0.5	1.1	0.8	0.5	0.6

RMSD: Wortel van het gemiddelde gekwadrateerde verschil tussen de twee tijdreeksen (0 = groen, 6 = rood)

AGV: absoluut gemiddelde verschil tussen de twee tijdreeksen (0 = groen, 2 = rood)

Stdev: standaarddeviatie van de verschillen tussen de metingen (0 = groen, 6 = rood)

Eefde

Bij de sluis Eefde wordt door het object op de volgende plaatsen de waterstand gemeten:

- Elk gemaal (boven en beneden, en krooshek)
- Elke schutsluis (boven, in de kolk en beneden)
- Spuikanaal (boven en beneden)

Via ODS waren ten tijde van deze studie enkel de waterstandsmetingen bij de gemalen beschikbaar. Dit levert zowel boven als beneden sluis Eefde vier metingen op van het object.

Bij vergelijking tussen de objectmetingen en LMW-metingen bij Eefde beneden valt op dat objectmetingen van pompen 3, 4 en 5 voldoen aan de eerder gestelde eis van een standaardafwijking van lager dan 2,9 cm. Pomp 1 heeft een iets grotere standaardafwijking van 3,0 cm. Gegeven de geschatte nauwkeurigheid van de LMW-metingen lijkt deze meting niet betrouwbaar genoeg ter vervanging van de LMW metingen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de meting bij pomp 3 een grote structurele afwijking wordt gevonden. Daarnaast is geen

enkele standaardafwijking lager dan 2,1 cm. Wat volgens de aanname van een onzekerheid van 1,5 cm van LMW zou betekenen dat met vervanging van de LMW-meting door deze metingen, de onzekerheid acceptabel is, maar groter wordt.

Voor Eefde boven wijken de objectmetingen van pompen 1, 4 en 5 het minst af. Met een bias van ongeveer 1.5 cm en een RMSD van 2-3 cm. De meting bij pomp 3 wijkt hier het meest af met een RMSD van 7,4 cm en een absolute structurele afwijking van 6,5 cm. De standaardafwijking is voor pomp 1, 4 en 5 kleiner dan 2,5 cm, wat voldoet aan de eisen voor de informatiebehoefte op deze locatie. Op basis van de vergelijking voor deze punten zal bij vervanging de aan de onzekerheidseis worden voldaan en de onzekerheid ongeveer gelijk blijven. Voor pomp 3 is deze een stuk groter (3,6 cm) en het lijkt daardoor ook niet waarschijnlijk dat deze meting gebruikt kan worden ter vervanging van de LMW meting.

De verschillen kunnen gedeeltelijk verklaard worden door het niet kalibreren van de objectmetingen ten opzichte van NAP en de afregeling die wordt toegepast. Hierdoor is het mogelijk dat de objectmetingen een structurele afwijking van de LMW metingen hebben. Daarnaast zijn de metingen in de buurt van de gemalen en worden ze hoogstwaarschijnlijk beïnvloed door het in werking zijn van de gemalen.

De middeling naar uursgemiddelden resulteert in een verbetering van de kwaliteit van de meting. Opmerkelijk is dat met name de metingen boven de sluis, welke al beter waren dan de metingen benedenstrooms van de sluis, een grotere verbetering in resultaten laten zien.. In de tabel is te zien dat de standaardafwijking voor pomp 1 beneden en pomp 3 boven, nog steeds te groot zijn, maar voor de overige metingen ligt de standaardafwijking rond de 2,1 cm.

Delden

Bij de sluis Delden wordt er boven en beneden van de sluis en het gemaal gemeten. Dit levert in totaal vier metingen op boven en beneden het object. De metingen wijken in redelijke mate af van de LMW metingen (structurele afwijking van orde grootte 10 cm). Dit geldt voor zowel boven als beneden.

Het valt op dat de middeling over een uur weinig verbetering oplevert voor de vergelijking van de meetpunten bij Delden beneden. Een verdere inspectie van de data toont dat er een duidelijke sprong zit in de nauwkeurigheid van de objectmeting bij Delden beneden. Tot begin juni 2019 is de structurele afwijking 10 cm van de LMW meting. Dit lijkt begin juni gecorrigeerd te zijn en vervolgens is de structurele afwijking nog maar 2,5 cm. Het is niet duidelijk wat dit veroorzaakt heeft. Opmerkelijk is dat, hoewel de metingen na deze aanpassing netter aansluiten bij de LMW metingen (kleinere structurele afwijking), er nog steeds substantiële verschillen zijn tussen de reeksen van het object en LMW (zichtbaar in de standaardafwijking). Het lijkt er dus op dat deze objectmeting op dit moment niet voldoet aan de eisen die vanuit de informatiebehoefte worden gesteld aan de metingen.

Voor de objectmetingen van Delden boven is een standaardafwijking van de verschillen van slechts 1,1 cm voor de 10-minuten waarden gevonden. Bij middeling naar een uurlijkse waarde verbeterd de kwaliteit zelfs meer en daalt de standaardafwijking van de verschillen tot een halve (0,5) cm. Het is dus de verwachting dat bij een vervanging van de LMW-meting door de objectmetingen het verschil in nauwkeurigheid klein is en er geen duidelijke indicatie is om te denken dat deze verslechterd dan wel verbeterd.

Hengelo

Bij de sluis Hengelo is er, vanuit ODS, beneden voor zowel het gemaal als de sluis data beschikbaar; boven is er enkel voor het gemaal data beschikbaar. Dit levert in totaal drie objectmetingen voor waterstanden op. Aan de benedenkant van de sluis wijken de metingen veel af van de LMW meting, tot wel 20 cm (structurele afwijking). De meting boven de sluis voor het

gemaal wijkt slechts -0,4 cm (structurele afwijking) af van de LMW meting. De standaardafwijking van de verschillen ligt rond de 1,1-1,3 cm. Door de metingen om te zetten naar uursgemiddelden verbetert de standaardafwijking nog meer tot 0,6-0,7 cm. Ook hier is het de verwachting dat bij een vervanging van de LMW-meting door de objectmetingen het verschil in nauwkeurigheid klein is en er geen duidelijke indicatie is om te denken dat deze verslechterd dan wel verbeterd.

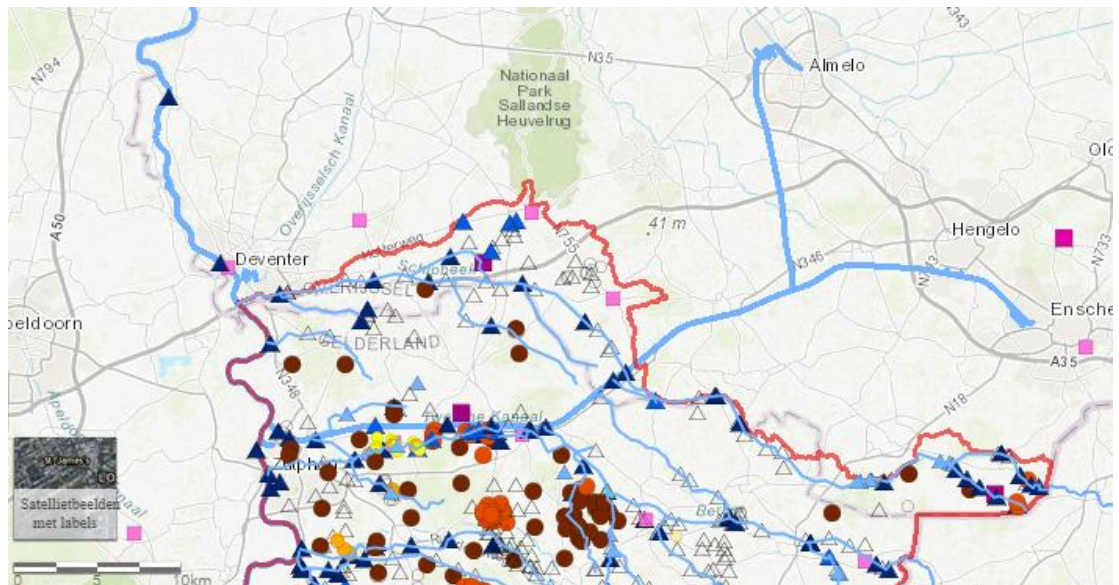
Conclusie

Op basis van de bovenstaande paragrafen kan geconcludeerd worden dat de objectmetingen welke gedaan worden met de druksensoren over het algemeen, na correctie van een structurele afwijking, voldoen aan de eisen aan de informatiebehoefte. Bij Eefde beneden en Eefde boven zijn de metingen van relatief goede kwaliteit, zeker voor het feit dat op dit moment enkel de metingen bij de gemalen zijn ontsloten via ODS. Er wordt aangenomen dat de metingen bij de sluisen en het spuikanaal van vergelijkbare of betere kwaliteit zijn. Op het moment dat ook de metingen van de sluisen en het spuikanaal beschikbaar komen is de verwachting dat deze goed gebruikt kunnen worden als vervanging van de LMW-metingen. De nauwkeurigheid van de objectmetingen is vergelijkbaar met de nauwkeurigheid van de LMW metingen die daar plaatsvinden. Dit is onder de aanname dat de onzekerheid van de LMW-metingen 1,5 cm is.

Voor Delden boven en Hengelo zijn de metingen, gecorrigeerd voor de structurele afwijking, van zeer goede kwaliteit. Deze kunnen gebruikt worden ter vervanging van de LMW-meetpunten op deze locaties. Uiteraard ook hier met de aanname dat er voor de structurele afwijking gecorrigeerd kan worden. De metingen die beschikbaar zijn voor Delden beneden wijken veel af van de LMW-metingen en het lijkt er niet op dat deze meting gebruikt zou kunnen worden ter vervanging van de LMW-meting. De oorzaak van de afwijking is niet geheel duidelijk, maar zou gezocht kunnen worden in de locatie van het meetpunt in combinatie met de vele schuttingen. Ook lijkt het erop dat deze specifieke meting vaker dan andere is bijgesteld (dan wel gecorrigeerd). Mogelijk dat vervuiling hier een rol speelt.

4.2.2 Metingen waterschappen

De waterschappen in de regio hebben tientallen meetlocaties voor waterstanden in het gebied (zie Figuur 4.9) waarvan enkele in de Rijkswateren (zie Tabel 4.3). Het waterschap Vechtstromen meet geen waterstanden in de Rijkswateren, dus alle metingen komen van waterschap Rijn en IJssel (WRIJ).



Figuur 4.9 Meetlocaties voor waterschap Rijn en IJssel van de pagina:

https://waterdata.wrij.nl/index.php?wat=kaart_esri

De belangrijkste (grootste) debieten van in- of aflaten van/naar Rijkswateren worden automatisch geregistreerd door de waterschappen en doorgegeven aan RWS. De waterstandsmetingen van de waterschappen nagenoeg direct in het Rijkswater worden door RWS nog niet opgevraagd.

Tabel 4.3 Waterschapslocaties in de Rijkswateren met waterstandsmeting.

Waterschap	Locatie	Parameter(s)	Dichtstbijzijnde LMW meetpunt
Rijn en IJssel	Inlaat Herkel	Waterstand	Almen
Rijn en IJssel	Inlaat Lochem	Waterstand	Almen/Markelose brug
Rijn en IJssel	Gemaal Twentekanaal	Waterstand	Markelose brug

4.2.2.1 Meetmethode

Het waterschap gebruikt voor het meten van de waterstanden luchtdruk gecompenseerde druksensoren (Vega) vergelijkbaar met die op de RWS objecten. Dit geeft elke 15 minuten een waterstand welke tot uurwaarden worden geaggregeerd. De 15-minutenwaarde is geen steekwaarde, maar een gemiddelde van steekwaarden.

Op de drie locaties wordt ook een debiet bepaald, te weten: Lochem, Herkel en Gemaal Twentekanaal. Op de eerste twee locaties wordt het inlaatdebiet met een stuwformule bepaald, op basis van de bovenstroomse waterstand en de stuwstand. Op de derde locatie wordt er gebruik gemaakt van een vjzelpomp en is het dus voldoende het aantal rotaties te weten.

4.2.2.2 Databeschikbaarheid waterschappen en ontsluiting

Op basis van een periode van 6 maanden (eerste helft 2019) is de beschikbaarheid van de waterschapdata vergelijkbaar met het LMW. De beschikbaarheid ligt rond de 98% voor de waterstandsmetpunten en voor de debieten is dit 100%. Deze beschikbaarheid is achteraf bepaald op basis van de ontvangen data en eventuele gaten in de ontvangen reeksen. Dit betekent niet dat de data ook operationeel beschikbaar was binnen de voor LMW geldende tijdige beschikbaarheidseisen. De data zijn beschikbaar in hun meetinfrastructuur en operationele FEWS-systeem. De data van WRIJ worden ontsloten via een webpagina. De data worden steeds meer beschikbaar gesteld voor onderlinge uitwisseling tussen de waterschappen en daarnaast ook beschikbaar gesteld aan Rijkswaterstaat voor RWSOS-IWP. De uitwisseling tussen waterschap Rijn en IJssel en Rijkswaterstaat is ingericht als een export vanuit het SCADA pakket (H2gO) van het waterschap. Dit betreft een aantal meetlocaties die relevant zijn voor het beheer van de Twentekanalen.

4.2.2.3 De onzekerheid in de data van de waterschappen

De waterstandsmetpunten worden ingemeten op basis van de lokale peilschalen, die weer worden ingemeten ten opzichte van NAP. Hierbij kan een bias van enkele centimeters ontstaan. Het streven van de waterschappen is om niet meer dan 5 cm af te wijken van de werkelijke waterstand. De grootste onzekerheidsbron bij een nieuwe meter is het uitzakken van de kabel waar de druksensor aan hangt.

Voor debietmetingen probeert het waterschap zo goed mogelijk de in het waterakkoord gesteld eisen te halen: *“op elk punt van het kanaal moet 80% van de door het daar achter gelegen stroomgebied geleverde MW-afvoer (1/100 jaar) worden gemeten. Dit percentage wordt opgebouwd door de grootste toevoeren”* (Rijkswaterstaat, 2017). Het waterakkoord bevat ook een lijst met verplicht bemeten locaties, deze lijst is opgenomen in bijlage C. De onzekerheid varieert met de omstandigheden en gehanteerde meet- of rekenmethode.

4.2.2.4 Meetnetstrategie van de waterschappen

De waterschappen hebben over het algemeen vele honderden objecten die bediend moeten worden. Op de objecten wordt dan ook gemeten. Daarmee wordt bijna alle informatie verkregen

die de waterschappen nodig hebben over waterstand, debiet en watertemperatuur. Als er geen objecten in de buurt van een interessepunt zijn, wordt in sommige gevallen een aanvullend meetpunt toegevoegd. Meten op de objecten is kostenefficiënt, omdat voeding en datacommunicatie al aanwezig zijn.

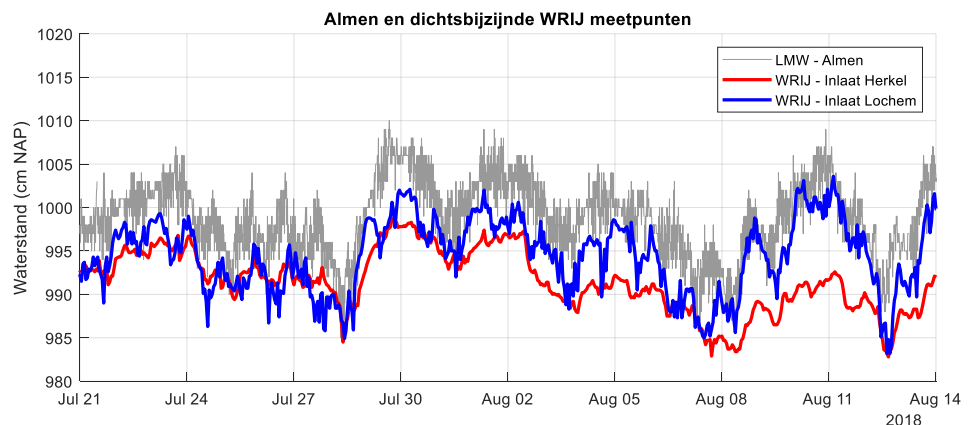
Het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) is opgedeeld in ca. 20 deelstroomgebieden waar de in- en uitstromen worden gemeten. Daarnaast wordt er voor het operationele beheer ook op een aantal locaties een waterstand gemeten. Voor de Twentekanalen worden, zoals benoemd in het waterakkoord, de inlaten en de aflaten gemeten.

4.2.2.5 Vergelijking van data van de waterschappen met LMW-data

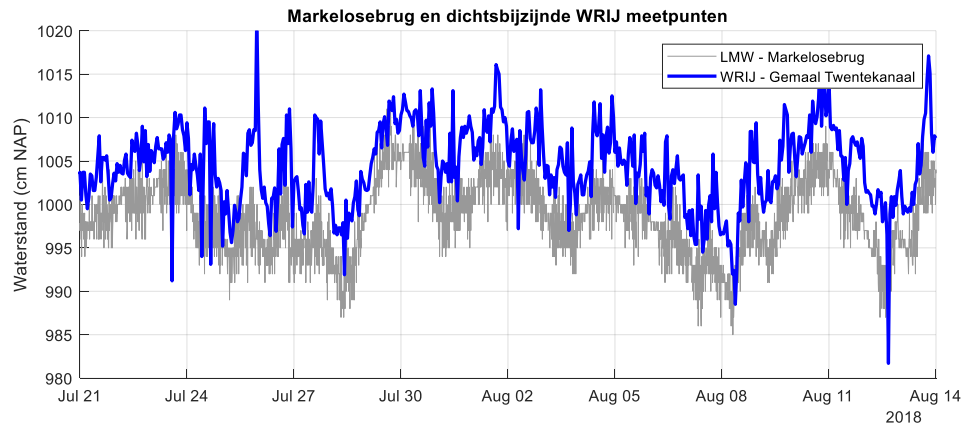
In deze paragraaf wordt een korte beschouwing gegeven op de waterstanden van de waterschappen door de drie meetpunten te vergelijken met het dichtstbijzijnde LMW-metpunt. Het valt op in Tabel 4.4 dat de absolute gemiddelde fout in twee van de drie gevallen boven de 2 cm uitkomt, en dat de standaardafwijking in alle gevallen boven de 3,5 cm uitkomt. Deze afwijking van de externe metingen kan op twee manieren verklaard worden. Vanwege de gebruikte methode om de sensor in te meten ten opzichte van NAP kan het voorkomen dat er een structurele bias optreedt in de vergelijking met de LMW punten. Voor de drie waterstandpunten speelt er ook mee dat de waterstand op deze plaatsen waarschijnlijk wordt beïnvloed door de inlaat waar er wordt gemeten. Daarnaast dient er rekening mee gehouden te worden dat de locaties van de waterschapmetingen niet naast de LMW metingen liggen (zoals bij de objectmetingen vaak wel het geval is). Het is dus ook goed mogelijk dat de verschillen in de metingen verklaard worden door het verschil in de locatie en de omstandigheden die daar optreden.

Tabel 4.4 Resultaten van vergelijkingen en correlaties van de uurgemiddelde waterstandsmeting met het dichtstbijzijnde LMW meting. In de tabel geldt dat de RMSD de huidige kwaliteit van de meting weergeeft, en de Stdev de potentie als er wordt gecorrigeerd voor de structurele afwijking.

Gebied/Pand	Locatie 1 (LMW)	Locatie 2 (WRIJ)	RMSD (cm)	BIAS (cm)	Stdev (cm)
Hoofdpand	Almen	Inlaat Herkel	5.8	4.2	4.0
Hoofdpand	Almen	Inlaat Lochem	4.0	1.9	3.5
Hoofdpand	Markelose Brug	Gemaal Twentekanaal	7.1	5.9	3.9



Figuur 4.10 Vergelijking van de waterstanden van waterschapsmetpunten bij Inlaat Herkel en Inlaat Lochem met Almen, de dichtstbijzijnde LMW punt.



Figuur 4.11 Vergelijking van de waterstanden van het waterschapsmeetpunt bij Gemaal Twentekanaal met Markelose brug, de dichtsbijzijnde LMW punt.

4.2.3 Metingen van de Provincie Overijssel

De sluis te Aadorp is in het beheer van de Provincie Overijssel. Bij de sluis worden door de provincie de volgende parameters gemeten: debiet, waterstand en temperatuur.

4.2.3.1 Meetmethode

De Provincie Overijssel gebruikt voor het meten van de waterstanden dezelfde meetapparatuur als gebruikt door de waterschappen: drukopnemers van het merk VEGA. Dit geeft meerdere keer per minuut een waterstand steekwaarde, met onregelmatige tijdstappen.

Het debiet bij de sluis is opgebouwd uit het aantal schuttingen en de doorstroom door de rinketten van de sluis. Er is geen gemaal aanwezig om het water van kanaal Almelo – de Haandrik terug te pompen, en er is ook geen apart spuikanaal. Voor de bepaling van het debiet wordt er gebruik gemaakt van een programma dat draait onder het OMC2650, het data logging systeem (hardware en software) op de sluis. Dit programma en script is opgenomen als bijlage van dit document. Zie verwijzing in bijlage D.

Het is niet bekend welke methode er wordt gebruikt voor de temperatuurmeting.

4.2.3.2 Databeschikbaarheid en ontsluiting

De beschikbaarheid van de Provincie Overijssel was voor het jaar 2018 94,6% (op basis van tijdstappen van 10-min). Deze beschikbaarheid is achteraf bepaald op basis van de ontvangen data en eventuele gaten in de ontvangen reeksen. Dit betekent niet dat de data ook operationeel beschikbaar was binnen de voor LMW geldende tijdige beschikbaarheidseisen. Data wordt via een FTP ontsloten en wordt gebruikt in RWsOS-IWP. De data is op geen andere manier beschikbaar voor Rijkswaterstaat en dus hierdoor te traag beschikbaar.

4.2.3.3 De onzekerheid in de data van de provincie

De waterstandsmetpunten worden ingemeten op basis van de lokale peilschalen, die weer worden ingemeten ten opzichte van NAP. Hierbij kan een structurele fout van enkele centimeters ontstaan. Voor de provincie is voornamelijk het beheren van de sluis van belang waarbij het gelijk water de belangrijkste meetvariabele is. Voor de waterschappen is het ook belangrijk om de exacte waterstanden te hebben voor de debietbepaling door de sluis, maar ook hier geldt dat het verschil tussen boven en benedenstrooms nauwkeurig moet zijn. Het hoeft dan niet ten opzichte van NAP geheel nauwkeurig te zijn. De grootste onzekerheidsbron bij een nieuwe meter is het uitzakken van de kabel waar de druksensor aan hangt.

Voor de debietbepaling zijn de volgende eisen gesteld aan de metingen/bepaling: voor de waterstandsmeters een nauwkeurigheid van ± 1 cm, en voor de debietbepaling van het debiet door het spuien geldt een eis van $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Huis in 't Veld, 2000). Voor de debietbepaling wordt uitgegaan van de volgende formule:

$$Q = A * n * \mu * \sqrt{2g\Delta h}$$

Waarin:

Q = de hoeveelheid water in m^3/sec .

A = oppervlak van de geopende schuif in m^2 (max 1 m^2).

n = aantal in bedrijf zijnde schuiven (max 4).

g = valversnelling 9.81 m/s^2 .

Δh = waterhoogteverschil bovenstroom - benedenstroom in m.

μ = contractiecoëfficiënt, afhankelijk van de vorm van de opening, instelbaar van 50 % tot 70 %.

Op basis van de bovenstaande formule en de eisen kan er geconcludeerd worden dat een onzekerheid in de waterstand van minder dan 1 cm ruim voldoet aan de eisen voor de bepaling van het debiet. Indien er maximaal gespuid wordt (en een foute waterstand het grootste absolute effect op het debiet heeft) geldt dat een fout in de waterstand van 1 cm resulteert in een fout in het debiet van $0,07 \text{ m}^3/\text{s}$. De waterstand kan bij maximaal spuien 2,5 cm afwijken en toch voldoende nauwkeurig zijn voor de bepaling van het debiet.

De grootste onzekerheid zal zitten in de bepaling van de contractiecoëfficiënt, en mogelijk in het doorgeven van de tijden waarop de schuif open staat of open gaat. Zodra de schuif geheel openstaat zal het debiet goed te bepalen zijn.

Het is onbekend wat de onzekerheid is van de temperatuurmeting.

4.2.3.4 Meetnetstrategie van de provincie

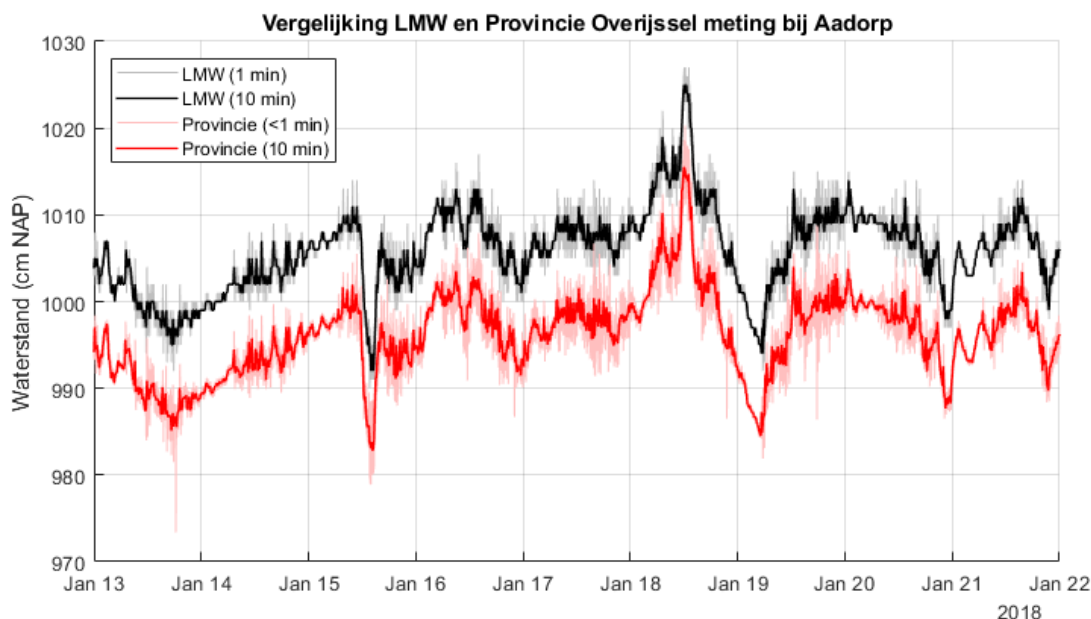
Op dit moment heeft de Provincie Overijssel een tweetal metingen (en een debietbepaling) die relevant zijn voor het waterbeheer van de Twentekanalen. Er loopt een traject om de metingen en het beheer van de sluis t.b.v. het waterbeheer over te dragen aan waterschap Vechtstromen. Hiermee verdwijnt de betrokkenheid van de provincie als data leverancier voor het waterbeheer van de Twentekanalen.

4.2.3.5 Vergelijking van data van de provincie met LMW-data

Voor deze vergelijking is er gekeken naar de waterstandsinformatie die beschikbaar is voor de sluis bij Aadorp. Het valt op dat de tijdstap van de doorgegeven data onregelmatig is en met een hoge frequentie gelogd worden (frequentie is hoger dan 1 meting/minuut). In Tabel 4.5 valt op dat de absolute structurele afwijking $9,2 \text{ cm}$ is. Figuur 4.12 toont 9 dagen aan data voor zowel LMW als de provincie. Te zien is dat de data van de provincie structureel te laag ligt. De reeksen komen verder goed overeen en bij correctie van de bias is te zien dat de standaardafwijking afneemt tot $1,4 \text{ cm}$. In het geval van uurgemiddelden neemt het de standaardafwijking van het verschil tussen LMW en de provincie data zelfs af tot $1,0 \text{ cm}$. De afwijking van het meetpunt lijkt voor het grootste gedeelte te verklaren te zijn door een verkeerde kalibratie ten opzichte van NAP. Hiermee lijkt dit meetpunt een goede vervanging van het LMW-meetpunt op deze locatie.

Tabel 4.5 Resultaten van vergelijkingen en correlaties van de 10 minuten gemiddelde en uurgemiddelde waterstandsmeting met het dichtstbijzijnde LMW meetpunt. In de tabel geldt dat de RMSD de huidige kwaliteit van de meting weergeeft, en de Stdev de potentie als er wordt gecorrigeerd voor de structurele afwijking.

Gebied/Pand	Locatie 1	Locatie 2	RMSD (cm)	BIAS (cm)	Stdev (cm)	RMSD (cm)	BIAS (cm)	Stdev (cm)
Hoofdpand	Aadorp (LMW)	Aadorp (provincie)	9.3	9.2	1.4	9.3	9.2	1.0



Figuur 4.12 Vergelijking van de waterstanden van het provinciemeetpunt met LMW, bij Aadorp.

4.3 Modellen en berekeningen Rijkswaterstaat en waterschappen

4.3.1 Numerieke modellen

Op dit moment draaien er voor de waterschappen enkele modellen die de deelstroomgebieden beschrijven. Voor waterschap Rijn en IJssel zijn deze modellen geïntegreerd in een BOS en worden er ook verwachtingen mee gemaakt. Voor waterschap Vechtstromen wordt er buiten de operationele omgeving gebruik gemaakt van modellen voor de deelgebieden. De modellen die er draaien zijn opgezet binnen het WALRUS framework. Er loopt een traject/bestaat een wens om de modellen te combineren in een gebiedsdekkend model en dit in een operationeel systeem te integreren.

Andere ontwikkelingen die spelen rondom de Twentekanalen is de wens voor real-time waterbalansen. Door informatie van alle af- en inlaten te combineren met de metingen bij de objecten is het mogelijk een real-time overzicht te bieden voor het gebied. Zie ook de paragraaf over IWP (4.3.3) voor een voorbeeld van een dergelijke real-time waterbalans.

Voor de Twentekanalen zelf bestaat er een Sobek3 model (Gao & Berends, 2015), dat is ontwikkeld door Deltares. Dit is afgeleid van het Sobek2 model dat eerder door HKV was opgesteld. Het is onduidelijk wat het doel van het model is. De laatst beschikbare informatie is beschikbaar in het ontwikkel en validatie rapport van het Sobek3 model uit 2015. Er zijn hierna voor zover bekend geen updates op het model uitgevoerd. Het model bevat zeer elementaire beslisregels voor het aansturen van de sluisen. Hierbij wordt er geen rekening gehouden met de mogelijke toekomstige aanvoer uit de aflaten op de Twentekanalen. Dit is terug te zien in de validatieresultaten. Het model wordt nu gebruikt in het Landelijk Sobek Model (LSM), waar het met oude randvoorwaarden (2003) wordt geforceerd en het onduidelijk is wat de toegevoegde waarde

is van het model ten opzichte van de metingen op de Twentekanalen. Het model wordt ook in IWP gebruikt om verwachtingen voor de waterstanden en stroming in het kanaal te genereren ten behoeve van stofverspreidingsmodellen. Het gaat hier om een versimpelde weergave van het systeem en de aansturing op basis van scenario's, en kan daarmee geen vervanging zijn voor de metingen.

De afvoeren vanaf de Twentekanalen zijn belangrijk voor de bepaling van de waterstanden op de IJssel. Er bestaat vanuit de operationele verwachtingen op de IJssel een wens om ook voor de Twentekanalen een goed operationeel model te hebben draaien.

4.3.2 Operationele systemen van de waterschappen

Voor het waterschap Rijn en IJssel is er BOS opgezet waarmee verwachtingen gemaakt worden voor het beheersgebied van het waterschap. Dit biedt verwachtingen voor een aantal van de aflatende beken op de Twentekanalen. Daarnaast wordt er doorontwikkeld voor modellen voor de Berkel.

Voor het waterschap Vechtstromen is er op dit moment nog geen BOS voor de Twentekanalen beschikbaar, wel worden er verschillende modellen gedraaid voor de verschillende deelstroomgebieden.

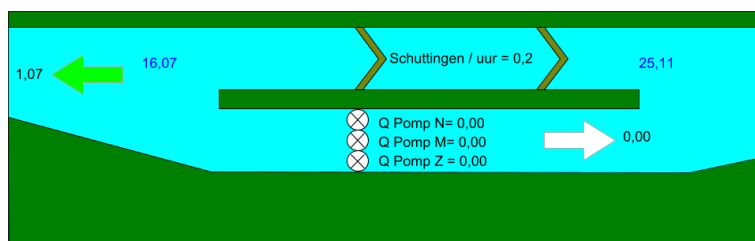
4.3.3 Operationele systemen: RWsOS-IWP-TK

RWsOS-IWP is het landelijk operationele instrumentarium voor de peilgereguleerde watersystemen van Rijkswaterstaat. Het modelinstrumentarium van RWsOS-IWP kent op dit moment vijf verschillende niveaus, ook wel plateaus genoemd. Per watersysteem kan het aantal plateaus verschillen. Dit hangt samen met de specifieke behoefte van de regionale dienst. Voor de Twentekanalen zijn er vier plateaus. Een gedetailleerde beschrijving van het systeem is hier te vinden: <https://publicwiki.deltares.nl/display/FEWSWTD/Home>.

Plateau 1 - Inwinnen en presenteren

IWP wint voor de Twentekanalen data in van onder andere het LMW van waterstanden, afvoeren en klepstanden. Op basis van draaiuren van pompen en pomp coëfficiënten, of klepstanden, waterstanden en door RWS aangeleverde formules worden debieten door de sluisen berekend. Voor de pompdebieten wordt in IWP gebruik gemaakt van het op het object bepaalde debiet. Figuur 4.13 geeft een schematische weergave van het sluiscomplex bij Hengelo, waarin meerdere onderdelen bijdragen aan het totale debiet over het object. Binnen IWP bestaat ook de mogelijkheid om via het aantal schuttingen en de inhoud van schutkolken een schatting te maken van het schutdebiet.

Daarnaast worden ook de debieten van de waterschappen opgehaald. Deze debieten worden gebruikt voor het presenteren van een real-time waterbalans van het gebied, op basis van de beschikbare informatie. Binnen IWP zijn een aantal back-ups ingebouwd. Op basis van empirische formules is het mogelijk missende informatie over debieten van bepaalde plaatsen aan te vullen.



Object Hengelo

Q-Schutten =	1,01
Q-Spuien via de Kolk =	0,00
Q-Lekverlies =	0,07
Q-Pompen =	0,00
Q-Totaal =	1,07

Legenda	Aan- en afvoer	Actuele waarden	Schuiven en pompen
	normale aan- of afvoer	Debiet in m ³ /s	 storing / onderhoud
	geen aan- of afvoer	- Geen data	 dicht / uit
	externe aan- of afvoer	Waterstand in m NAP	 open / aan
	onbekend		 onbekend

Figuur 4.13 Schematische weergave van het sluiscomplex bij Hengelo.

De peilen in een pand worden berekend door het (gewogen) gemiddelde te nemen van de aanwezige LMW metingen. De tabellen (Tabel 4.6, Tabel 4.7 en Tabel 4.8) tonen de gebruikte meetpunten en de weegfactoren die gebruikt worden. Dit gemeten peil wordt vergeleken met het streef peil.

Tabel 4.6 Meetpunten en wegingsfactoren gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde waterstand op het hoofdpand (Eefde – Delden – Aadorp).

Meetpunt	Wegingsfactor
Sluis Eefde TK zijde	0,4
Sluis Delden beneden	0,3
Sluis Aadorp TK zijde	0,3

Tabel 4.7 Meetpunten en wegingsfactoren gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde waterstand op het pand Delden – Hengelo.

Meetpunt	Wegingsfactor
Sluis Delden boven	0,5
Sluis Hengelo beneden	0,5

Tabel 4.8 Meetpunten en wegingsfactoren gebruikt voor de bepaling van de gemiddelde waterstand op het pand Hengelo – Enschede.

Meetpunt	Wegingsfactor
Sluis Hengelo boven	1,0

De onzekerheid in de binnen IWP berekende debieten (Plateau 1) is het gevolg van de onzekerheden en eventuele bias in de waterstanden, klepstanden en kalibratie/vorm constanten. De werkelijke onzekerheid is onbekend, omdat er geen validatiemetingen plaatsvinden. De verschillen in rekenmethode en situatie geven een sterk verschil in de onzekerheid en daarmee de eisen aan nauwkeurigheid van de waterstanden. Dit wordt hier geïllustreerd met een voorbeeld.

Voor de debietbepaling over overlaten wordt de volgende generieke formule gebruikt:

$$Q = c * hu$$

Waarin:

- Q debiet
- c kalibratie constante
- h waterlaag boven de overlaat of waterstandsverschil voor en na de overlaat
- u parameter afhankelijk van de vorm van de overlaat met een waarde variërend tussen 0,5 en 2,5

Deze is dus primair afhankelijk van waterlaag boven de overlaat.

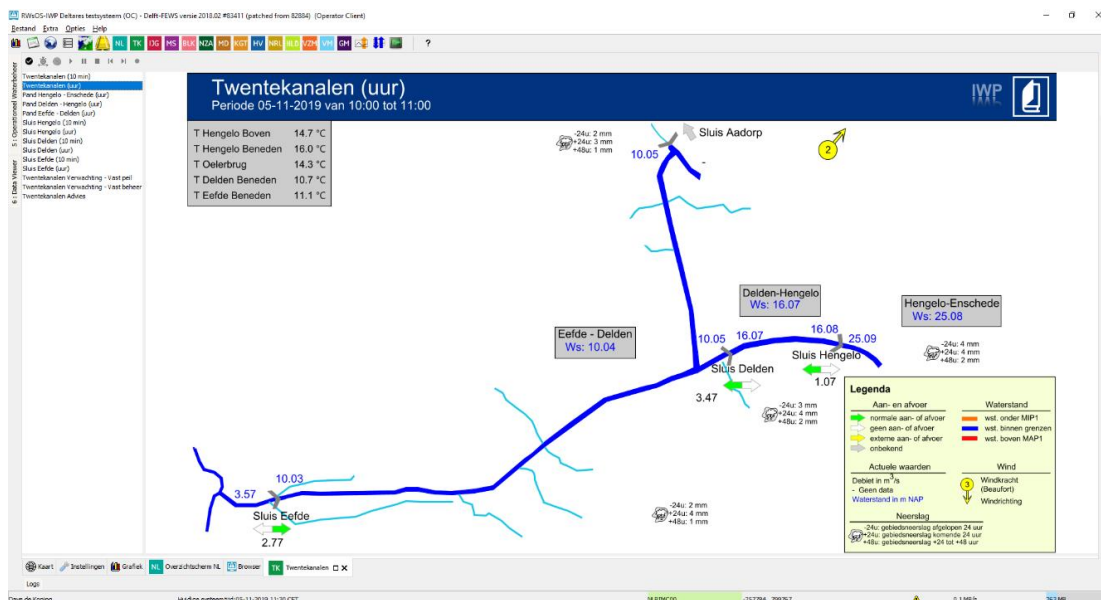
Bij een klepstuw is de generieke formule $Q = c * h^{1,5}$. Bij een onzekerheid van 2,5 cm in de waterstand en een onzekerheid van 1 cm in de klepstand is de onzekerheid in de waterlaag 2,2 cm. Bij een laag van 20 cm is de onzekerheid dan 10%. De onzekerheid in het debiet is dan $3/2 * 10\%$. Alleen al ten gevolge van de onzekerheid in de waterstanden. Onder zulke omstandigheden is een hele nauwkeurige waterstand nodig om de nauwkeurigheid in het debiet van 10% te halen. Bij verdrongen onderlaat is de generieke formule $Q = c * h^{0,5}$. Waarin h het waterstandsverschil voor en achter de sluis is. Een waterstandsverschil van 2 meter (kleinste verval over de kanaalpannen) heeft dan een onzekerheid van 1% en onzekerheid in het debiet is dan 0,5%.

Plateau 2 - Voorspellen

Voor plateau 2 (voorspellen) worden de volgende twee berekeningen uitgevoerd:

1. Berekening aanvoer komende 48 uur
2. Berekening wateropgave

Deze twee berekeningen worden na elkaar uitgevoerd waarbij de verwachte aanvoer naar het kanaal als invoer dient voor de berekening van de wateropgave. De aanvoer wordt bepaald op basis van neerslaggegevens voor de locaties de Bilt en Twente. De afvoer wordt in een SOBEK-model gebruikt voor het bepalen van de waterstanden en afvoeren in de kanaalpannen. De wateropgave wordt bepaald aan de hand van de verwachte neerslag, verdamping en de laterale in- en aflaten in de Twentekanalen. Daarnaast wordt er van alle sluizen bepaald wat de verwachte afvoer/aanvoer capaciteit is de komende 48 uur.



Figuur 4.14 Schematische weergave van de Twentekanaal in IWP met de actuele status van het systeem.

Plateau 3 Adviseren

De adviescomponent binnen IWP maakt gebruik van RTC-Tools (RealTimeControl-Tools). Dit zijn ten opzichte van SOBEK hydraulisch eenvoudigere en daardoor snellere modellen. De modellen zijn gericht op het adviseren over de optimale bediening van kunstwerken, waarvoor het model iteratief tientallen keren wordt doorgerekend. Binnen plateau 3 zal voor de Twentekanaal, bij de inzet van pompen en schuiven, gekeken worden naar het effect op de waterstand. De drie doelen die zijn gedefinieerd zijn:

- 1 De waterstand op het gewenste niveau houden (streefpeil) (met beperkte afwijkingen)
- 2 De waterstand tussen de boven en ondergrens houden
- 3 Zo min mogelijk gebruik maken van pompen en schuifopeningen

Het RTC-Tools-model levert een bedienadvies voor de sluiscomplexen, waarbij ook rekening wordt gehouden met de bedientijden van de sluisen.

Plateau 5 - Stofverspreiding

Onder plateau 5 wordt de stofverspreidingsmodule verstaan. Deze module draait niet in RWsOS-IWP, maar wordt los hiervan met de CHEMMAP software gedraaid. RWsOS-IWP faciliteert de gebruiker in het voorbereiden van de invoer voor de CHEMMAP software. Vanuit de modelberekeningen onder plateau 2 worden de resultaten beschikbaar gesteld voor het bepalen van de verspreiding van verontreinigingen.

4.3.4 Conclusie modeldata en berekeningen

Er is een aantal modellen beschikbaar voor de Twentekanaal en de omliggende gebieden. Ook zijn er plannen en wensen om deze modellen in de komende jaren uit te breiden en te verbeteren. Op dit moment is het niet bekend wat de kwaliteit van de modellen voor de omliggende gebieden is, en bruikbaarheid van het model voor de Twentekanaal zelf is ook niet geheel duidelijk geworden.

De operationele berekeningen en verwachtingen verzameld in IWP vullen de informatie van de metingen in het LMW en de objecten aan. Het geeft ook waterstanden op de Rijkswateren, maar de waarde daarvan is onbekend. De berekening van gemiddelde peilen uit meerdere metingen zorgt voor een hogere beschikbaarheid van het peil dan vanuit een enkel meting beschikbaar zou

zijn. Bij uitval van een van de metingen wordt deze data iets minder nauwkeurig (degradatie van informatie). Eenzelfde methodiek wordt ook toegepast voor de debieten, waarbij er bij uitval van een meting gekeken kan worden naar empirische formules voor de invulling van de missende data.

4.4 Data technieken zoals multi-lineaire regressie en *graceful degradation*

Vanuit de datatechnieken worden hier de mogelijkheden voor het verhogen van de databeschikbaarheid door (multi-)lineaire Regressie en *graceful degradation* aangestipt.

4.4.1 Multi-lineaire regressie (MLR)

MLR is een krachtig middel om ontbrekende data in te vullen uit omringende meetpunten en om nieuwe data te genereren, maar het moet met kennis van het systeem en de nodige voorzichtigheid ingezet worden. In dit geval is MLR bruikbaar op de 10-minuten data van waterstanden op te vullen met data van andere metingen in een pand als rekening gehouden wordt met het verschuiven in de tijd door de oscillaties. Een eenvoudigere oplossing is echter het middelen van de overgebleven data. Deze methode wordt binnen het LMW al voor Delden beneden gebruikt. Dit is een zeer uitgebreide formule welke ook de metingen van eerdere tijdstippen meeneemt. Voor andere locaties in het grote pand wordt dit niet toegepast, en uit de data-analyse blijkt dat vooral op momenten van hoge aanvoer vanuit de omliggende gebieden en hoge spuidebieten bij Eefde de verschillen tussen de meetpunten zodanig worden dat de standaard multi-lineaire regressie mogelijk niet meer voldoet. Op het kleine pand tussen Delden en Hengelo zou dit wel mogelijk zijn, al is er dan maar een enkele meting beschikbaar.

4.4.2 Graceful degradation

Met de term *graceful degradation* wordt bedoeld dat bij uitval van de basisbron van de informatie er geen gat valt in de informatie, maar dat deze wordt opgevangen door informatie van een bron met wat lagere kwaliteit. Mocht deze tweede optie ook uitvallen dan wordt deze weer vervangen door een derde bron van weer iets mindere kwaliteit, enzovoort. Deze elegante (Engels: *graceful*) manier van het laten degraderen van de informatie voorkomt uitval van informatie. In de vorige paragrafen is aangegeven dat de huidige kwaliteitscontrole op de objectmetingen misschien niet de nauwkeurigheid in de waterstanden levert die Rijkswaterstaat vereist voor het LMW. Zonder verdere aanpassingen zou deze informatie wel degelijk gebruikt kunnen worden als de eis voor een vervangende waarde lager ligt. In die zin kan de huidige data bij ontsluiting direct gebruikt worden. Het is hierbij wel zaak om bij gebruik van minder nauwkeurige data een schaalindeling te gaan hanteren. In navolging van de USGS (United States Geological Survey) zou een volgende classificatie voor de onzekerheid gehanteerd kunnen worden door RWS (Tabel 4.9). Zie ook uitkomsten van een eerder interview met USGS (Schroevers & Vandebroek, 2017). Ook bij onnauwkeurigere data kan MLR ingezet worden om de beschikbaarheid te verhogen.

Tabel 4.9 Voorstel voor classificering van degradatie op basis van onzekerheden.

	Uitstekend	Goed	Voldoende
Waterstand	1 cm	2,5 cm	5 cm
Debiet	5 %	10 %	15%
Temperatuur	0,1 C	0,2 C	0,3 C

4.5 Korte analyse informatiebehoefte versus aanbod

Het hiervoor gegeven overzicht van databronnen laat tevens een deel van het gebruik zien. Voor het beheer worden alle bronnen aangesproken die beschikbaar zijn (Tabel 4.10).

Tabel 4.10 Overzicht van informatiebehoefte voor verschillende doelen met de huidige bron.

gebruiksdoel	Informatiebehoefte
Waterveiligheid/ waterbeheer	<ul style="list-style-type: none"> Totale debieten door alle sluis en spuicomplexen beheer (per sluis/spui) ← objectmetingen RWS (LMW), Aadorp van de provincie Gewogen gemiddelde peilen per pand (m.u.v. hoofdpand → lokaal peil bij Almelo/Aadorp) ← LMW metingen en weegfactoren Indirect: lokale waterstanden voor berekening debieten ← objectmetingen en LMW Actueel, verwacht en historisch
Scheepvaart	<ul style="list-style-type: none"> Gemiddelde peilen per pand (actueel) ← LMW metingen en weegfactoren Lokale waterstanden, vanwege bruggen/drempels ← LMW metingen
Sluisbeheer	<ul style="list-style-type: none"> Waterstand vlak voor en achter deuren (actueel) ← objectmetingen
Ecologie	<ul style="list-style-type: none"> -
Watertemperatuurbeheer	<ul style="list-style-type: none"> Behoeft aan uitgebreide metingen om het temperatuurverloop in de kanalen in beeld te brengen. ← LMW Voornaamste reden is de detectie van ijsvorming en botulisme (tijdige waarschuwing voor inzet maatregelen) ← LMW
Modelontwikkeling	<ul style="list-style-type: none"> Debiet door de sluis bij Eefde ← LMW metingen (Almen), objectmetingen en IWP

4.5.1 Waterstand

In deze studie blijkt dat er 9 waterstandsmeetpunten van het LMW, 3 van waterschappen, 1 van de provincie, en 24 van de RWS objecten aanwezig zijn in de kanalen die grotendeels overlappen. De 24 meetpunten voor de RWS object zijn als volgt verdeeld: 16 bij Eefde, 4 bij Delden en 4 bij Hengelo. De sensoren van de waterschappen, provincie en de objecten zijn echter niet overal nauwkeurig ingemeten ten opzichte van NAP. Hoewel de data wel ten opzichte van NAP worden weergegeven, is een fout van meerdere cm op de inmeting niet ongevoelbaar. Na de laatste renovaties van de sluiscomplexen kunnen de objectdata nu, op een enkele uitzondering na, via ODS ontsloten worden.

Op basis van de data-analyse en de beschikbaarheid van de data, wordt geconcludeerd dat de data van de provincie en het merendeel van de objecten een goede vervanging bieden voor de LMW-metingen. Dit onder voorwaarde dat het optreden van systematische afwijkingen in de waterstanden wordt voorkomen (zoals visueel geconstateerd) en een betere referentie aan NAP. Ook dient de ontsluiting van de data op een robuuste manier plaats te vinden, om de operationele beschikbaarheid te waarborgen. De (eis van de) herstelperiode van de objectmetingen is korter dan van de LMW metingen (45 minuten in geval van storing, ten opzichte van de 6-12 uur bij LMW). De objectmetingen van waterstanden zijn daarmee ook te gebruiken voor de bepaling van de debieten over de objecten.

4.5.2 Debiet

Voor de debietmetingen dient er een verschil gemaakt te worden tussen het debiet op de Twentekanal en de laterale af- en aanvoerende debieten. De laterale aan- en afvoerende debieten worden gemeten door de waterschappen en bieden een goed overzicht van het inkomende water, al is dit overzicht momenteel nog niet volledig. Deze metingen en verwachtingen worden gebruikt voor het bepalen van de waterbalans voor de Twentekanal en RWSOS-IWP.

Het debiet op de Twentekanal zelf wordt op 2 locaties (Almen, Markelose brug) met een ADM gemeten, en bij alle objecten bepaald aan de hand van een aantal afzonderlijke componenten (schutdebiet, spuidebiet en pompdebiet). Uit de gevoerde interviews en data-analyse bleek dat de

belangrijkste behoefte van debieten bij de objectdebieten ligt als ook bij meetpunt Almen. Daarnaast wordt er voor de ontwikkeling van de modellen en de controle van de waterverdeling gekeken naar de debietmetingen te Almen en Markelose brug. Onderzocht zal worden of de metingen bij Markelose brug kunnen komen te vervallen. Met name omdat metingen bij Markelose brug wel degelijk verschillen tonen i.v.m. metingen bij Almen en Eefde.

4.5.3 Temperatuur

Temperatuurdata wordt op 5 locaties gemeten door LMW en op 1 locatie door de Provincie Overijssel. Er loopt ook een aanvraag om dit nog verder uit te breiden met twee extra LMW-maatlocaties. Temperatuurdata van de waterschappen in de Rijkswateren is niet in beeld gekomen. Er zijn geen operationeel beschikbare gegevens van temperatuur in het gebied uit modellen. Binnen RWSOS-Waterverdeling draait er wel een temperatuurmodel, maar de kwaliteit van de gegevens voor de Twentekanalen is onbekend en worden niet gebruikt.

De informatiebehoefte voor temperatuurgegevens behelst voornamelijk de vroegtijdige waarschuwing voor eventueel botulisme (hoge temperaturen) of ijsvorming (lage temperaturen) waarbij de laatste is uit te splitsen in een behoefte bij de sluis (ijsgang bij de sluis) en in de kanalen (inzet ijsbrekers). Hiervoor is het noodzakelijk dat er op meerdere locaties zowel bij de sluisen als in de kanalen temperaturen worden gemeten. Op dit moment wordt de meting bij Hengelo beneden sterk beïnvloed door de lozingen van koelwater. Het behoort niet tot de kerntaken van LMW om te voorzien in informatie over koelwaterlozingen en het effect ervan op de lokale watertemperatuur. Echter dient er wel voldoende informatie te zijn voor het correct bepalen van een pandgemiddelde temperatuur, waarbij lokale uitschieters in sommige gevallen ook van belang kunnen zijn.

5 Actualisering van het meetnet

Dit hoofdstuk beschrijft het optimalisatievoorstel voor het LMW binnen de Twentekanalen. Daarbij wordt zowel gekeken naar de wijzigingen in de informatiebehoefte als mogelijke wijzigingen in het aanbod. Als hulpmiddel wordt daarbij gewerkt met de prioritering van de informatiebehoefte volgens drie categorieën. Op basis van de categorie-indeling zal een optimalisatievoorstel per locatie-parameter combinatie worden gedaan. In de verdere paragrafen wordt toegelicht wat het effect van dit voorstel is op het meetnet binnen de Twentekanalen, wordt er aandacht besteed aan innovatieve oplossingen voor de optimalisatie en wordt er verder ingegaan op de kosten van de optimalisatie in vergelijking met het huidige meetnet.

5.1 Doorvoeren van de actualisering van de informatiebehoefte en de categorie indeling

De categorieën en daarbij geldende voorwaarden zijn als volgt geformuleerd (en geaccordeerd door de stuurgroep LMW2):

Categorie 1: missiekritieke en strategisch belangrijke locaties

- Waterberichtgeving voor crisisadviesgroepen
- Scheepvaartbegeleiding naar grote zeehavens
- Primaire locaties voor operationeel waterbeheer
- Bediening stormvloedkeringen

Categorie 2: belangrijke locaties in een keten, wegvallen van een locatie kan worden opgevangen door anderen- redundantie

- Dagelijkse waterberichtgeving
- Scheepvaartbegeleiding naar regionale havens
- Secundaire locaties voor operationeel waterbeheer
- Bediening sluizen, stuwen, keersluizen

Categorie 3: minder belangrijke locaties

Bovenstaande categorie-indeling wordt als volgt vertaald naar een gewenste informatieverzamelstrategie per categorie:

- Categorie 1: RWS meet zelf conform huidige geaccepteerde invulling
- Categorie 2: Zowel RWS als anderen meten (en voldoen aan eisen RWS)
- Categorie 3: Geen eigen RWS-metingen of goedkope oplossingen met lagere eisen toegestaan (degradatie van informatie)

Bij het inrichten van het meetnet worden de volgende stappen gevolgd:

- Doorvoeren van de actualisering van de informatiebehoefte en indeling van de metingen volgens de drie categorieën
- Invullen van verschillende varianten van het meetnet op basis van de behoefte, waarbij eerst de missiekritieke punten en vervolgens de andere informatie wordt ingevuld.
- Optimalisatie door combineren van parameters, zover nog niet doorgevoerd.

Tijdens het project is een eerste voorstel gemaakt voor welke locatie-parameters onder welke categorieën vallen; dat is voorgelegd aan de betrokkenen. Middels workshops en verdere afstemming met de betrokkenen is er een definitieve categorisering opgesteld. Deze wordt

hieronder beschreven. De originele categorie-indeling en reacties van de workshop zijn opgenomen in het verslag van de workshop (De Koning, 2019), met de kanttekening dat besloten is om alle categorie 1 meetpunten beheerd vanuit LMW in eigen beheer worden gehouden en niet vervangen of opgeheven worden. Na de tweede workshop in september 2023 is de definitieve categorie-indeling vastgesteld samen met de gebruikers. De onderstaande tabellen (

Tabel 5.1, Tabel 5.2 en Tabel 5.3) tonen de indeling op basis van de hierboven genoemde methode.

Tabel 5.1 Indeling van de debietmeetpunten binnen de Twentekanalen. De locaties waarvan de categorie blauw is, moeten een extra hoge beschikbaarheid hebben.

Debiet		
Locatie	Categorie	Motivatie
Almen (ADM)	1	Waterberichtgeving, hoog en laag water op de rivieren
Markelose brug (ADM)	2	Peilbeheer
Eefde boven (bepaling bij object)	1	Peilbeheer
Delden boven (bepaling bij object)	1	Peilbeheer
Hengelo boven (bepaling bij object)	1	Peilbeheer

Tabel 5.2 Indeling van de waterstandsmmeetpunten binnen de Twentekanalen. De locaties waarvan de categorie blauw is, moeten een extra hoge beschikbaarheid hebben.

Waterstand		
Locatie	Categorie	Motivatie
Eefde beneden	2	Peilbeheer
Eefde boven	1	Peilbeheer
Almen	(n.v.t.*)	
Markelose brug	(n.v.t.)	
Delden beneden	2	Peilbeheer
Vredesbrug (aanvraag)	2	Peilbeheer, traag reagerend watersysteem vanwege grootte van het pand.
Aadorp	2	Peilbeheer
Delden boven	1	Peilbeheer
Hengelo beneden	2	Peilbeheer
Hengelo boven	1	Peilbeheer

* Vanwege ontbreken van informatiebehoefte. Waterstanden worden hier enkel gemeten als onderdeel van de debietmeting.

Tabel 5.3 Indeling van de temperatuurmeetpunten binnen de Twentekanalen. De locaties waarvan de categorie blauw is, moeten een extra hoge beschikbaarheid hebben.

Temperatuur		
Locatie	Categorie	Motivatie
Eefde beneden	2	Watertemperatuurbeheer
Exelse brug (aanvraag)	2	Watertemperatuurbeheer
Delden beneden	2	Watertemperatuurbeheer
Vredesbrug (aanvraag)	2	Watertemperatuurbeheer
Hengelo Oelerbrug	2	Watertemperatuurbeheer
Hengelo beneden	2	Watertemperatuurbeheer
Hengelo boven	2	Watertemperatuurbeheer

5.2 Invullen van het meetnet

Voor het bepalen van de optimalisatiestrategie voor de Twentekanalen zijn de volgende stappen doorlopen:

- 1 Er is een aantal varianten van een toekomstig meetnet opgesteld (zie (De Koning, 2019)).
- 2 Deze zijn samen met de categorie-indeling van combinaties van locaties en parameters voorgelegd aan de gebruikers
- 3 Op basis van input is er één voorstel opgesteld en is een aantal nog te onderzoeken zaken vastgesteld
- 4 Op basis van de bovenstaande resultaten/input is het voorstel aangescherpt en verder onderbouwd.

Het uiteindelijke voorstel voor de meetnetoptimalisatie wordt per parameter (waterstand, debiet en watertemperatuur) gepresenteerd. Uiteindelijk worden de verschillende voorstellen per parameter weer samengevoegd in een enkele tabel om ook het overzicht voor de verschillende meetlocaties goed weer te geven. Voor elk van de variabelen wordt in de volgende paragrafen het voorstel weergegeven, waarbij eerst een korte samenvatting wordt gegeven van de informatiebehoefte, beschikbaarheid en de data-analyse voordat het scenario wordt toegelicht.

5.2.1 Waterstanden

5.2.1.1 Samenvatting analyse waterstanden

Voor waterstanden zijn er negen meetpunten van LMW. Van de LMW meetpunten bevinden zeven punten zich bij objecten: Eefde (2), Delden (2), Hengelo (2), Aadorp (1). Ook zijn er twee waterstandsmetingen bij de Markelose brug en Almen in combinatie met een ADM. Er loopt nog een aanvraag voor de toevoeging van een punt op de zijtak van het hoofdpand (bij de Vredesbrug) om tijdig te kunnen anticiperen wat de waterstand bij Aadorp zal worden. Daarnaast zijn er een groot aantal objectmetingen, drie waterschapsmetingen, en 1 provinciemeting.

De data-analyse wijst uit dat de waterstanden te Delden en Aadorp bijna altijd hetzelfde zijn, evenals de waterstanden te Eefde en Almen. In geval van hoge afvoer (waarbij er wordt gespuid bij Eefde) verschillen de gemeten waterstanden bij de Markelosebrug van de overige meetpunten in het hoofdpand. Echter is er in het algemeen bijna geen verschil tussen de vijf punten in het hoofdpand. Het lijkt dus alsof er op dit moment met alleen de LMW-meetpunten al meer dan genoeg aanbod is voor de informatiebehoefte zoals deze nu bepaald is.

De verschillen in waterstanden tussen de metingen op het pand Delden-Hengelo zijn verwaarloosbaar. Op het pand Hengelo-Enschede is er maar 1 meting. Op dit pand is vergelijking met andere LMW punten niet mogelijk en is de meting dus van wezenlijk belang.

Wat we zien in de vergelijking van LMW-metingen met de objectdata is dat er bij sluis Eefde relatief veel objectmetingen beschikbaar zijn. Via ODS worden op dit moment 4 waterstanden bovenstrooms en 4 benedenstrooms beschikbaar gesteld. Naar verwachting zijn dit er zelfs nog meer aangezien er ook metingen bij de sluisen en het spuikanaal gedaan worden. Daarnaast wordt er ook bovenstrooms bij het krooshek gemeten, wat in totaal 10 meetpunten bovenstrooms en 6 meetpunten benedenstrooms oplevert.

Bij Delden en Hengelo geldt dat er wordt gemeten bij de sluis en bij het gemaal, wat voor elk van de kanten van het sluiscomplex twee objectmetingen oplevert.

Van de 9 LMW locaties zijn er 4 locaties die onder bijzondere omstandigheden aan hogere beschikbaarheidseisen moeten voldoen: Eefde boven, Delden boven, Hengelo boven en Aadorp. Voor Almen gelden de hogere beschikbaarheidseisen voor de debietmeting (en daarmee werken deze door naar de waterstandsmeting).

Naast de nu beschikbare LMW-punten loopt er ook een aanvraag voor een extra waterstandspunt op de zijtak richting Almelo ter hoogte van de Vredesbrug. Op basis van de vergelijking tussen Delden beneden en Aadorp lijkt er slechts een klein verschil te zijn tussen beide waterstanden, echter bleek uit de eerste workshop dat er wel degelijk behoefte is aan een meting op de zijtak in het geval dat er veel neerslag in het gebied valt en onder andere het Banisgemaal wordt ingezet om te lozen op de Twentekanalen. De informatie is in dat geval vooral in het belang van het kunnen uitvoeren van goed peilbeheer.

5.2.1.2 Optimalisatievoorstel waterstanden

Het voorgestelde scenario wordt getoond in Tabel 5.4. Waarbij een rode kleur staat voor een vervanging van het meetpunt door een andere informatiebron dan het LMW (o = objectmeting, ws = waterschapsmeting, p = provinciemeting). De gele kleur staat voor de aangevraagde toevoeging van een nieuw meetpunt. De groene LMW betekent dat er niks verandert in de situatie en een LMW meting nodig is om te voorzien in de informatiebehoefte.

Tabel 5.4 Optimalisatievoorstel waterstanden.

Pand	Locatie omschrijving	Categorie	Scenario
nvt	Eefde Beneden	2	o
Eefde - Delden - Aadorp	Eefde Boven	1	LMW
Eefde - Delden - Aadorp	Almen	(n.v.t.*)	ws
Eefde - Delden - Aadorp	Markelose Brug	(n.v.t.*)	ws
Eefde - Delden - Aadorp	Delden Beneden	2	o
Eefde - Delden - Aadorp (Zijtak)	Vredesbrug	2	LMW
Eefde - Delden - Aadorp (Zijtak)	Aadorp	2	p
Delden - Hengelo	Delden Boven	1	LMW
Delden - Hengelo	Hengelo Beneden	2	o
Hengelo - Enschede	Hengelo Boven	1	LMW

* Vanwege ontbreken van informatiebehoefte. Waterstanden worden hier enkel gemeten als onderdeel van de debietmeting. Wanneer debietmeting blijft bestaan, blijft deze meting ook.

Uit de workshops kwam naar voren dat er vanuit de gebruikers geen duidelijke voorkeur is of de waterstand van een LMW-meting komt of van een objectmeting. Dit met de opmerking dat er wel gegarandeerd moet kunnen worden dat de kwaliteit van de metingen niet slechter is. Hierbij zijn de volgende drie punten van belang:

- Ontsluiting van de data
- Kwaliteit van de data
- Beschikbaarheid van de data

Ook is vanuit Rijkswaterstaat aangegeven dat alle categorie 1 meetpunten die beheerd worden vanuit LMW in eigen beheer blijven en niet vervangen of opgeheven worden.

De **dataontsluiting van de objecten** is op dit moment nog niet compleet op orde, althans niet op een manier die operationeel te gebruiken is voor missiekritieke processen. Hiervoor lopen op dit moment wel ontwikkelingen in de vorm van LMW2 (LMW-NEXT), ontsluiting object gegevens (OOG) en object data services (ODS). Het is niet de verwachting dat de objectmetingen de LMW

metingen op dit moment al kunnen vervangen, maar op basis van deze projecten zou dat in de toekomst wel moeten kunnen.

Voor de **kwaliteit** van de meetdata is er binnen deze studie een data-analyse uitgevoerd welke laat zien dat in de meeste gevallen de object data van goede kwaliteit is en dat deze, behalve bij Delden beneden, een goede vervanging van de LMW metingen zou zijn. Hierbij dienen twee aannames genoemd te worden en een afhankelijkheid besproken te worden. De eerste aanname is dat de druksensoren netjes ingemeten kunnen (en zullen) worden t.o.v. NAP. Op dit moment is dat niet het geval, maar uit het overleg met de CIV en de regionale asset managers, lijkt dit wel mogelijk, zowel technisch als op juridisch/contractueel vlak. De tweede aanname is dat de data die in deze studie gebruikt zijn, een goed beeld geven van de kwaliteit van de data in de praktijk:

- De beschikbare reeksen zijn lang genoeg om de statistiek van af te leiden
- De data van de beschikbare locaties zijn representatief voor de data van de overige meetpunten in het gebied, die niet geanalyseerd zijn.

Verder geldt een sterke afhankelijkheid van de implementatie van ODS, waarbij dit vanaf eind 2018/begin 2019 beschikbaar is en voor een beperkt aantal meetpunten.

Ook is er afhankelijkheid van de manier waarop de objectdata gevalideerd zullen worden. Op dit moment worden alle data van LMW gevalideerd en zijn er terugvalopties beschikbaar in het geval dat op een bepaald punt een meting niet beschikbaar is. Op dit moment is het nog niet duidelijk of deze datavalidatie ook voor de middels ODS ontsloten data van toepassing wordt. Het wordt vanuit deze studie nadrukkelijke aanbevolen dit wel te doen, omdat het anders niet mogelijk is de kwaliteit van de objectmetingen te garanderen.

Met betrekking tot de **beschikbaarheid** van de data dienen twee aandachtspunten genoemd te worden. Uit de interviews en de data analyse blijkt dat de beschikbaarheid van de data van de objecten hoger is dan de beschikbaarheid van de metingen van LMW. Dit komt door de hoge eisen die worden gesteld aan de herstelperiode (metingen) vanuit het sluisbeheer (reactietijd van de aannemer van maximaal 45 minuten, in tegenstelling tot de minimaal 6-12 uur voor LMW). Aan de andere kant gelden deze eisen nu enkel op momenten dat de sluis ook echt in beheer is. Op het moment dat er onderhoud aan de sluis is, geldt er geen enkele eis voor de beschikbaarheid, de meting kan dan dus weken of maanden uitstaan. Dat is uiteraard niet wenselijk en dient afgedekt te worden in contracten/meegenomen te worden in het plan van eisen voor nieuwe renovatieprojecten van de objecten.

5.2.2 Debieten

5.2.2.1 Samenvatting analyse debieten

Voor de debieten zijn er slechts twee meetpunten van het LMW beschikbaar: Almen en Markelosebrug. Daarnaast zijn er ook debieten die bepaald worden bij de objecten, hier zal vanwege de gemaakte afspraken in het waterakkoord en de informatiebehoefte van RWS niks aan veranderen.

Vanuit de workshops en de interviews kwamen de volgende punten naar voren:

- 1 De debietbepalingen bij de objecten kunnen nauwkeuriger worden door de daadwerkelijke aantal schuttingen mee te nemen en niet enkel een schatting van de schuttingen (zoals nu in IWP gebeurt).
- 2 De debietbepaling wordt nu deels gedaan op de objecten (pompdebieten) en deels gedaan in IWP (schut en lek verliezen, en spuidebieten). Het is wenselijk dit allemaal op de objecten te bepalen en vervolgens te ontsluiten, aangezien alle data al op het object beschikbaar is.

3 De bepaalde debieten voor sluis Eefde en de gemeten debieten bij Almen zouden niet wezenlijk af moeten wijken na de eerder genoemde verbetering van de bepaling van het schutdebiet gezien de geringe afstanden tussen de locaties en de afwezigheid van aflaten tussen de twee locaties. Echter zijn er wel verschillen zichtbaar. Dit heeft in het verleden geleid tot de inschatting dat voor bepaalde informatiebehoefte het bepaalde debiet bij sluis Eefde niet voldoet aan de eisen. Uit deze studie blijkt dat op basis van verbeterde debietbepalingen bij de objecten en binnen IWP en een nieuwe vergelijking van de data, er een heroverweging dient plaats te vinden.

Van de twee meetpunten op de kanalen is Almen benoemd als meetpunt voor bijzondere omstandigheden.

5.2.2.2 Optimalisatievoorstel debieten

Het voorgestelde scenario wordt getoond in Tabel 5.5. De groene "o" betekent dat er al in de informatiebehoefte werd voorzien op basis van objectmetingen en dat daar niks aan verandert. De groene "LMW of w" betekent dat eerst onderzocht gaat worden of de debietmeting, door LMW gemeten, overbodig is of vervangen kan worden door een waterschap meting (w).

Tabel 5.5 Optimalisatievoorstel debieten.

Pand	Locatie omschrijving	Categorie	Scenario
Eefde - Delden - Aadorp	Eefde boven	1	o
Eefde - Delden - Aadorp	Almen	1	LMW
Eefde - Delden - Aadorp	Markelose Brug	2	LMW of w
Delden - Hengelo	Delden Boven	1	o
Hengelo - Enschede	Hengelo Boven	1	o

De informatiebehoefte voor de Markelosebrug is benoemd als controle voor de waterinname van de waterschappen, voor modellering van de Twentekanal en mogelijk ook voor verwachtingen voor debiet Eefde. Mogelijk wordt deze inname ook door de waterschappen zelf al met voldoende nauwkeurigheid gemeten en worden de debietmetingen de komende jaren verder uitgebreid om een betere waterbalans van het gebied op te kunnen stellen. Onderzocht zal worden of de debietmeting bij de Markelosebrug overbodig is. Als er aangetoond kan worden dat de meetgegevens van de waterschappen voldoende informatie bieden om te voorzien in de informatiebehoefte waar de meting bij de Markelose brug nu in voorziet, kan ook deze meetlocatie opgeheven te worden.

5.2.3 Temperatuur

5.2.3.1 Samenvatting analyse temperatuur

Er zijn 5 temperatuurmetingen van LMW beschikbaar in het gebied.

De meting bij Eefde beneden is gemarkeerd als een meetpunt van belang in bijzondere omstandigheden. Echter viel tijdens het analyseren van de data op dat de meting geen betrouwbare waarden geeft en ook meerdere maanden geen enkele waarde heeft gelogd. Het lijkt niet heel waarschijnlijk dat deze meting veel wordt gebruikt in het operationele beheer. Uit de workshops kwam er geen specifiek belang van deze metingen naar voren, ook verdere navraag heeft geen specifieke informatiebehoefte van het meetpunt bij Eefde naar boven gebracht.

De overige 4 meetpunten zijn te vinden bij: Delden beneden, Hengelo Oelerbrug, Hengelo beneden, en Hengelo boven.

Zoals eerder opgemerkt, zijn de voornaamste redenen voor het meten van de temperatuur het tijdig opmerken van ijsvorming en botulisme. Vandaar dat er op elk pand, bij elke sluis een meting beschikbaar is. Het is voor de informatiebehoefte belangrijk om een representatieve waarde voor het pand te krijgen.

Er staan nu ook twee aanvragen uit voor nieuwe temperatuurmetingen in het hoofdkanaal. De metingen zijn aangevraagd ter vervanging van de handmatige metingen die worden uitgevoerd op het moment dat de watertemperatuur onder de 3 °C komt. De locatie van deze metingen is belangrijk omdat dit halverwege de zijtak en halverwege het hoofdkanaal plaatsvindt. Hierdoor is de verwachting dat dit een goed beeld geeft van de temperatuur in het kanaal.

5.2.3.2 Optimalisatievoorstel temperatuur

Het voorgestelde scenario wordt getoond in Tabel 5.6. De rode kleur geeft aan dat de aangegeven informatiebehoefte niet van belang is voor het operationele waterbeheer en wordt overgedragen aan de objectbeheerder (oo). De groene LMW betekent dat er niks verandert in de situatie en een LMW meting nodig is om te voorzien in de informatiebehoefte. Advies CIV betreft de aanvragen voor nieuwe LMW meetpunten, die door deze studie worden aanbevolen, en de CIV geeft advies over de invulling.

Tabel 5.6 Optimalisatievoorstel temperatuur.

Pand	Locatie omschrijving	Categorie	Scenario
nvt	Eefde Beneden	2	oo
Eefde - Delden - Aadorp	Exelsebrug	2	Advies CIV
Eefde - Delden - Aadorp	Delden Beneden	2	oo
Eefde - Delden - Aadorp (Zijtak)	Vredesbrug	2	Advies CIV
Delden - Hengelo	Hengelo - Oelerbrug	2	LMW
Delden - Hengelo	Hengelo Beneden	1	LMW
Hengelo - Enschede	Hengelo Boven	2	LMW

Er is voor het meetpunt bij Eefde geen duidelijke operationele informatie behoefte gedefinieerd. Het lijkt dus logisch dit punt over te dragen aan de objectbeheerder als er vanuit het object behoefte is aan tijdige waarschuwing tegen ijs bij de deuren.

Gezien de informatiebehoefte lijkt het nodig om de twee aanvragen voor temperatuurmetingen te honoreren. Het lijkt echter, gezien de informatiebehoefte en categorisering, niet wenselijk op beide locaties een automatisch LMW station te plaatsen. De meetfrequentie hoeft niet hoog te zijn omdat de primaire behoefte het vaststellen van de temperatuur verband heeft met mogelijke ijsvorming en daarom in grote delen van het jaar de meting geen toegevoegde waarde heeft. Het voorstel is dat er door de CIV een advies wordt uitgebracht over de te volgen meetmethode. Een eerste inschatting is dat dit met infrarood camera's gedaan kan worden. Dit borgt de veiligheid van degene die de meting neemt, en voorkomt een te uitgebreide meetopstelling voor het doel van de meting.

Uit de inventarisatie blijkt dat het doel van de metingen bij de sluizen voornamelijk de bepaling van ijsgang bij de deuren is. Dit is ons inziens geen informatiebehoefte die bij het LMW onder gebracht dient te worden en daarom zal het voorstel zijn dat deze locaties over worden gedragen aan de objecten. Hier zijn meerdere mogelijkheden in te voorzien, welke in overleg met de objectbeheerder in een implementatieplan/project verder uitgewerkt dienen te worden:

- 1 Overdragen van de gehele meetpaal + beheer en onderhoud aan de beheerder van het object.
- 2 Overdragen van de verantwoordelijkheid voor het meten aan de objectbeheerder en het fysieke meetpunt opheffen.

Als laatste zijn er een drietal meetpunten rondom Hengelo welke van belang zijn voor de tijdige registratie van (het kunnen optreden van) botulisme. Vanwege de beperkte grootte van de panden en de koelwaterlozingen zal het in deze panden sneller optreden en dient er dus voldoende gemeten te worden om de kans hierop tijdig op te merken. Het voorstel is dan ook om deze punten onder LMW te laten vallen.

5.3 Effect op het meetnet

In paragraaf 5.2 is er gekeken naar de optimalisering van de meetnetten van de afzonderlijke parameters. Om een goed overzicht te hebben wat dit betekent voor het gehele meetnet binnen de Twentekanalen zijn de drie voorstellen in Tabel 5.7 samengevoegd. Deze tabel vat het optimalisatievoorstel voor de Twentekanalen samen. Te zien is dat voor de watertemperatuur op twee locaties een nieuwe meting gewenst is. Deze nieuwe metingen kunnen mogelijk met een innovatieve oplossing door de CIV worden uitgevoerd zodat er geen dure traditionele LMW opstelling nodig is. Het beheer van de overige temperatuurmeetpunten wordt deels overgedragen en deels behouden. Verder is te zien dat er tevens één nieuwe waterstandsmetopstelling gewenst is bij de Vredesbrug. Voor de bestaande waterstandsmetingen wordt op meerdere locaties overgegaan op de objectmetingen. Van de twee debietmetingen wordt er één opgeheven en blijft er één bestaan.

Tabel 5.7 Overzicht optimalisatievoorstel Twentekanalen. In de tabel zijn verschillende kleuren gebruikt om een beeld te geven van de optimalisatie. Groen geeft aan dat er geen verandering is op deze parameter-locatie combinatie. Geel geeft aan dat een nieuwe meting wordt geïntroduceerd. Rood geeft aan dat er onderzocht gaat worden of de meting uit het LMW gehaald kan worden. De codes in de vakken betekenen: LMW = gemeten door LMW, o = gemeten door object, ws = gemeten door waterschap, p = gemeten door provincie, oo = overdracht naar object, w = geen informatiebehoefte meer, Advies CIV = CIV geeft advies over de invulling.

Locatie omschrijving	Categorie			Parameter		
	H	Q	TW	H	Q	TW
Eefde Beneden	2		2	o		oo
Eefde Boven	1	1		LMW	o	
Almen	n.v.t.	1		ws*	LMW	
Markelose Brug	n.v.t.	2		ws*	LMW	
Delden Beneden	2		2	o		oo
Vredesbrug	2		2	LMW		Advies CIV
Aadorp	2			p		
Delden Boven	1	1		LMW	o	
Hengelo Beneden	2		1	o		LMW
Hengelo Boven	1	1	2	LMW	o	LMW
Exelsebrug			2			Advies CIV
Hengelo - Oelerbrug			2			LMW

* Vanwege ontbreken van informatiebehoefte voor waterstandmeting. Waterstanden worden hier enkel gemeten als onderdeel van de debietmeting. Wanneer de debietmeting blijft bestaan, blijft de waterstandmeting ook. Daarnaast kan bij het vervallen van de debietmeting (en daarmee de waterstandmeting) gebruik gemaakt worden van de waterstandmeting van het waterschap.

5.4 Effect op de kosten

Ten tijde van schrijven van dit rapport wordt er een implementatiestudie uitgevoerd voor de Brabantse en Midden-Limburgse kanalen. De voorlopige resultaten uit deze implementatiestudie zijn gebruikt om ook bij de Twentekanalen een schatting te maken van de kosten bij het realiseren van het eerder genoemde optimalisatievoorstel.

Voor het effect op de kosten is er gekeken naar de volgende onderdelen:

- Onderhoudskosten
- Opruimkosten
- Installatiekosten
- Kosten ombouw LMW2

Daarnaast is er getracht rekening te houden de kosten die op korte termijn gemaakt dienen te worden en welke zich op langere termijn terugbetalen. Om deze reden is er gekeken naar een periode van 20 jaar. Er is aangenomen dat het aanpassen van het onderhoudscontract/het verwijderen van de meetlocaties binnen in de eerste vijf jaar gebeurt. Voor sommige locaties zal dit wat eerder zijn, voor andere locaties mogelijk wat later. In de analyse is gekozen om de onderhoudskosten de eerste vijf jaar niet te laten verschillen van de huidige kosten. De verschillen in onderhoudskosten zullen daarna pas zichtbaar zijn.

Alle kosten in de volgende paragrafen zijn schattingen die in afstemming met asset management CIV zijn opgesteld. De kosten dienen ter indicatie gebruikt te worden en zijn in deze studie gebruikt om de haalbaarheid van het scenario te toetsen en daarmee een voorzet te maken voor een implementatieplan. De kostenschatting is verder gebruikt om de aanbevelingen voor toekomstige acties op te stellen. De genoemde bedragen zijn excl. BTW.

5.4.1 Onderhoudskosten

In de Tabel 5.8 is een overzicht te vinden van de kosten in de huidige situatie en de voorziene kosten op basis van het optimalisatievoorstel. Voor de bepaling van de kosten is gebruik gemaakt van de onderhoudskosten per meetlocatie zoals deze zijn verkregen van de CIV en het voorgestelde scenario in Tabel 5.7. Voor de kostenschatting is aangenomen dat het optimalisatievoorstel de komende vijf jaar wordt uitgevoerd. Het dient hierbij opgemerkt te worden dat het niet waarschijnlijk is dat alle acties na vijf jaar zijn uitgevoerd. Sommige meetpunten zullen eerder dan vijf jaar aan de beurt zijn, andere misschien wat later. Het gaat hier om een grove kostenschatting waarbij de aannahme wordt gedaan dat eventuele verschillen tussen locaties in de tijd elkaar uitmiddelen. Voor de kosteninschatting voor de eerste vijf jaar is aangenomen dat de kosten niet zullen verschillen van de huidige situatie. Vanaf dat moment gaan de aangepaste kosten per jaar gelden.

Op basis van het voorstel wordt een kostenreductie in onderhoudskosten verwacht van € 13.000,- per jaar, ofwel een reductie van ~30% van de huidige kosten per jaar. Dit komt neer op een kostenreductie van ongeveer 23% (€ 195.000,-) over de komende 20 jaar. De getallen in de tabel zijn afgerond op 500-tallen voor de kosten per jaar, en 5.000-tallen voor de kosten na 20 jaar.

Tabel 5.8 Kostenschatting onderhoudskosten

	Kosten per jaar	Kosten na 5 jaar	Kosten na 10 jaar	Kosten na 20 jaar
Huidige situatie	€ 43.000,-	€ 215.000,-	€ 430.000,-	€ 860.000,-
Optimalisatievoorstel	€ 30.000,-	€ 215.000,-	€ 365.000,-	€ 665.000,-

Voor de volledigheid dient er genoemd te worden dat er nog wel kosten verbonden zijn aan het aanpassen van de status/het opheffen van een meetlocatie tijdens een lopende contractperiode. In dat geval dient er een boete van 10% betaald te worden over het contractueel afgesproken werk/bedrag. Hoewel het dus wenselijk is om dergelijke zaken tijdens de bespreking van het nieuwe contract te regelen, zou een tussentijdse aanpassing alsnog een flinke reductie in de kosten kunnen betekenen. Vanwege de onzekerheid in het tijdspad en daarmee de onzekerheid in de kosten is dit niet meegenomen in de berekening. Het is wel de nadrukkelijke aanbeveling dat er

tijdens nieuwe contract onderhandelingen rekening wordt gehouden met het uitfasen van meetpunten en dat hier mogelijk flexibeler voorwaarden voor worden opgesteld. De mogelijkheid om meetpunten eerder uit een onderhoudscontract te halen, en daarmee een paar jaar geen onderhoudskosten te betalen, kan in totaal 50-150 duizend euro schelen in de komende 5-10 jaar.

5.4.2 Installatiekosten voor nieuwe locaties

Op basis van de aanvraag voor het waterstandsmeetpunt bij Vredesbrug is er een schatting gemaakt van de kosten die benodigd zijn voor het installeren van dit meetpunt. Op basis van de traditionele implementatie zou dit rond de €100.000,- euro uitkomen. In het optimalisatievoorstel wordt voorgesteld dit op een innovatieve manier in te richten met een radar in smalle standpijp. Hiermee zouden de kosten gereduceerd worden. Een eerdere doorrekening in (Schroevers & Vandebroek, 2017) schatte deze besparing op 35%.

In Tabel 5.8 zijn de onderhoudskosten voor de meetlocatie bij de Vredesbrug geschat op basis van de kosten voor de meetpaal en het inwinstation voor Almen en Markelosebrug (vanwege het feit dat dit de enige twee meetpunten zijn die niet direct bij een sluis liggen).

5.4.3 Kosten met betrekking tot het opruimen van de meetlocaties

Het is op dit moment onduidelijk wat de kosten zijn die horen bij het opruimen van een meetopstelling. Dit heeft meerdere redenen. Ten eerste gebeurt dit zelden, waardoor er weinig vergelijkingsmateriaal beschikbaar is. Ten tweede zijn bijna alle meetopstellingen uniek en de opzet/situatie daarmee ook. Het weinige vergelijkingsmateriaal dat beschikbaar is, is dus niet representatief. Het is daarom ook niet mogelijk een scherpe schatting te maken. In eerdere rapporten (Schroevers & Vandebroek, 2017), (Schroevers, Vandebroek, & De Koning, 2019) is uitgegaan van een gemiddelde van 100.000,- euro voor het volledig verwijderen van een meetopstelling, maar recente gegevens van de verwijdering van meetpalen laten zien dat de kosten veel lager liggen (rond de 50.000,- euro). In deze studie wordt ervan uitgegaan dat dit alle te maken kosten dekt, te denken valt aan de volgende kosten:

- Kosten voor projectleiding/opzet e.d.
- Opruimen sensor(en)
- Opruimen meetpaal/installatie
- Opruimen bekabeling
- Opruimen elektriciteitskast
- Opruimen meethuisje (indien van toepassing)

In vergelijking met de besparing qua onderhoudskosten is dit een zeer hoog bedrag (zie paragraaf 5.4.5 voor een vergelijking), wat op de korte termijn een aanzienlijke investering is. Om die reden wordt nogmaals benadrukt dat dit een ruime schatting is, welke nog getoetst dient te worden. Het is naar ons inziens geen reden om af te zien van een verdere optimalisatie/het opheffen van een meetpunt. Het is slechts een belangrijke motivatie om te kijken op welke vlakken er samenwerking met andere (bijvoorbeeld renovatie-) projecten mogelijk is om de kosten te delen. Daarnaast is het belangrijk om een betere schatting te krijgen van de werkelijke kosten van het verwijderen van een meetlocatie.

In het optimalisatievoorstel kunnen de meetopstellingen op 1 van de 10 LMW-locaties opgeheven worden, namelijk Aadorp. Op basis van de bovenstaande schatting zou het verwijderen van al deze meetlocaties neerkomen op € 100.000,- (of volgens de nieuwe schattingen rond € 50.000,-).

Op twee locaties wordt er voorgesteld de gehele meting en bijbehorende meetopstelling en onderhoudskosten over te dragen aan de objectbeheerder. Dit geldt voor Delden beneden en Eefde beneden. Voor deze twee locaties zijn geen verwijderingskosten gerekend aangezien ze niet verwijderd, maar overgedragen worden.

Uit het overleg met de assetmanager van de CIV kwam naar voren dat het mogelijk is om meetlocaties die niet meer gebruikt dienen te worden een andere status m.b.t. beheer en onderhoud toe te kennen. Een zogenaamde status 4. Dit komt in de praktijk voor op het moment dat de metingen op een bepaalde locatie niet meer nodig zijn, maar de meetlocatie niet verwijderd kan worden. Het meetpunt wordt dan niet meer gebruikt, er is geen sensor meer aanwezig, maar het civiel technische deel is nog niet ontmanteld. Dit betekent voor de aannemer dat er minimaal onderhoud nodig is, en hiermee worden de onderhoudskosten tot een minimum beperkt (€ 300 - € 400 per jaar per locatie). De kosten voor het verwijderen van de sensoren is onbekend, maar aanzienlijk lager dan het eerder genoemde bedrag van € 100.000. Als schatting gebruiken we de kosten voor het ombouwen van een meetlocatie, welke op € 10.000 worden geschat. Zie Tabel 5.9 voor een overzicht.

Tabel 5.9 Overzicht kosten voor ontmantelen van gehele locatie of de sensoren.

	Kosten opruimen locatie
Huidige situatie	€ 0,-
Optimalisatievoorstel	€ 100.000,-
Optimalisatievoorstel ("status 4"-locaties)	€ 10.000,-

Tabel 5.10 geeft een bijgewerkt overzicht van de onderhoudskosten. De laatste regel van de tabel toont de kosten in het geval dat de meetlocaties niet worden ontmanteld, maar een status 4 toegekend krijgen in het onderhoudscontract. Het dient opgemerkt te worden dat dit enkel de verwijdering uitstelt, en daarmee ruimte geeft om in samenwerking met andere projecten de ontmanteling te financieren en realiseren.

Tabel 5.10 Overzicht onderhoudskosten inclusief optie met "status 4"-locaties. Kosten per jaar gelden na het doorvoeren van het opheffen van de meetlocaties + installeren van de nieuwe meetlocaties.

	Kosten per jaar	Kosten na 5 jaar	Kosten na 10 jaar	Kosten na 20 jaar
Huidige situatie	€ 43.000,-	€ 215.000,-	€ 430.000,-	€ 860.000,-
Optimalisatievoorstel	€ 30.000,-	€ 215.000,-	€ 365.000,-	€ 665.000,-
Optimalisatievoorstel ("status 4"-locaties)	€ 31.400,-	€ 215.000,-	€ 372.000,-	€ 686.000,-

5.4.4 Kosten ombouw LMW2

Het LMW2-project loopt parallel aan de optimalisatiestudie en maakt het LMW gereed voor de toekomst. Als onderdeel van dit project dienen de volgende twee stappen ondernomen te worden per meetlocatie:

- 1 Plaatsen van een nieuwe LMW NEXT Gateway
- 2 Ombouwen van de meetlocatie + sensor

In de eerdere studie voor het ARK-NZK is er uitgegaan dat de totale kosten rond de € 100.000,- per meetlocatie liggen. € 50.000 voor het ombouwen en € 50.000 voor het plaatsen van de gateway. Recentere schattingen liggen rond de € 10.000 in totaal. Waarbij dezelfde kanttkening geldt als bij het verwijderen van een meetpunt. Elke locatie is uniek en voor het ombouwen begint zal bij elke locatie een site-survey uitgevoerd worden in samenwerking met de aannemer om een betere kostenschatting te verkrijgen.

Uiteraard geldt dat zodra een LMW-locatie wordt opgeheven, deze niet meer omgebouwd hoeft te worden en dat er daarmee onnodig werk kan worden uitgespaard. Echter is er op basis van een BIT-toets besloten dat het optimalisatieproject en het LMW2 project los van elkaar moeten opereren. Indien de planning van LMW2 vereist dat een bepaalde locatie omgebouwd dient te worden, dan gebeurt dat ongeacht de aanbeveling deze locatie op termijn uit te faseren. Het is onze aanbeveling zo snel mogelijk stappen te ondernemen in het implementeren van het optimalisatieplan om dergelijke situaties te voorkomen. In deze studie wordt aanbevolen slechts drie van de 10 meetpunten te behouden, wat dus een besparing van 70% kan opleveren voor het opwaarderen van de meetpunten. Het exacte bedrag voor het opwaarderen van een meetpunt is nog niet geheel duidelijk, maar op basis van de recente schattingen kan het tot € 70.000 schelen door de zeven locaties niet onnodig op te waarderen.

Tabel 5.11 Overzicht kosten voor het ombouwen van meetlocaties naar LMW2 locaties.

	Kosten ombouw LMW2 locaties
Huidige situatie	€ 100.000,-
Optimalisatievoorstel	€ 20.000,-
Optimalisatievoorstel (status 4 locaties)	€ 20.000,-

5.4.5 Overzicht kosten

Tabel 5.12 Overzicht kosten voor de komende 20 jaar. Bedragen in de tabel zijn x 1000 euro (tussen haakjes kosten op basis van recente gegevens)

Kosten	Zonder optimalisatie	Met optimalisatie	Met optimalisatie geen verwijdering ("status 4"-locaties)
Onderhoudskosten (op basis van 20 jaar)	860	665	686
Opruimkosten	0	100 (50)	50
Installatiekosten	100	65	65
Overige kosten	100	20	20
Totaal	1060	850 (800)	821

Tabel 5.13 Overzicht totale kosten over meerdere jaren. Bedragen in de tabel zijn x 1000 euro.

	Kosten per jaar	Kosten na 5 jaar	Kosten na 10 jaar	Kosten na 20 jaar
Huidige situatie	43	415	630	1060
Optimalisatievoorstel	30	400	550	850
Optimalisatievoorstel ("status 4"-locaties)	31	350	507	821

In de bovenstaande tabel worden de kosten zoals beschreven in de voorgaande paragrafen getoond. In het kort nog even de belangrijkste conclusies en aannames:

- Het optimalisatievoorstel zorgt voor een reductie van 30% in de onderhoudskosten.
- Het verwijderen van meetlocaties (inclusief het civiel technische deel) vereist een investering (€ 100.000, op basis van nieuwe gegevens rond € 50.000).
- Het verwijderen van de sensoren en vervolgens de meetlocatie een status 4 locatie maken, is een goedkopere optie, waarmee de kosten voor verwijdering naar de toekomst worden geschoven. Het biedt de mogelijkheid de verwijdering dan samen op te pakken met bijvoorbeeld een renovatieproject, maar brengt wel extra onderhoudskosten met zich

mee (t.o.v. verwijdering). Maar gezien de nieuwe aannames voor verwijdingskosten is het verschil beperkt.

- Als de op te heffen LMW-locaties in de komende vijf jaar ontmanteld worden zullen de onderhoudskosten de komende 20 jaar 23% lager uitvallen dan zonder optimalisatie.
- Als de op te heffen LMW-locaties in de komende vijf jaar op status 4 worden gezet (en dat blijven voor de rest van de tijd) levert dat voor de komende 20 jaar een besparing van 20% op in onderhoudskosten.
- Voor de totale kosten (incl. ontmanteling, opwaarderen LMW2) levert dat voor de komende 20 jaar een besparing van 20% op bij een optimalisatie.
- Kosten met betrekking tot het ontsluiten van de objectdata zijn niet meegenomen aangezien dit al is begroot onder de projecten ODS en OOG.
- Kosten voor validatie van de meetwaarden zijn niet meegenomen in deze kostenschatting. Er loopt momenteel al een ontwikkeling om de ODS data binnen LMW te laten valideren. Het verdient de aanbeveling dit door te zetten.

6 Conclusies en adviezen

6.1 Conclusies voor de Twentekanalen

6.1.1 Conclusies over de informatiebehoefte

De Twentekanalen spelen een belangrijk rol in de af- en aanvoer van water voor de omliggende gebieden. Vanuit het peilbeheer is het dan ook belangrijk om de inkomende debieten, pompdebieten, spuidebieten en waterstanden tot de beschikking te hebben. Voor het peilbeheer wordt er gekeken naar gemiddelde peilen welke op het hoofdpand wordt opgebouwd uit een drietal metingen. Vanwege de grootte van het pand is het voor de scheepvaart niet voldoende slechts de gemiddelde peilen te weten en is het van belang op meerdere locaties waterstanden te weten. De temperatuurmetingen zijn vooral van belang voor het tijdig opmerken van het optreden van ijsvorming (bij sluizen en op de kanalen) of botulisme en blauwalg. Uit de interviews met de betrokkenen kwam geen duidelijke informatiebehoefte naar voren voor de debietmetingen in het kanaal zelf, wel is er behoefte aan informatie over de waterbalans het in inkomende/uitstromende debiet bij de sluis Eefde. De voornaamste reden voor debietmetingen bij de objecten en in- en aflaten is de aan- en afvoer van water waarbij er naar gemiddelden over langere perioden wordt gekeken.

6.1.2 Conclusies over het informatieaanbod

Deze studie laat zien dat er vanuit het LMW op dit moment 9 waterstandspunten, 2 debietmetingen en 5 temperatuurmetingen beschikbaar zijn in de Twentekanalen. De waterstandmetingen liggen veelal in de buurt van objecten waar ook objectmetingen beschikbaar zijn. De objecten binnen de Twentekanalen zijn recentelijk gerenoveerd en met de renovatie is hier ODS geïmplementeerd. Hierdoor is het relatief gemakkelijk om de objectdata te verkrijgen en zou dit in de toekomst als een operationele datastroom beschikbaar moeten zijn. Hierbij geldt dat ODS de data doorgeeft zoals het wordt bepaald in het meetsysteem en dat niet alle voor deze studie relevante locaties/parameters in ODS zijn geïmplementeerd. Ook wordt op dit moment de data nog niet als een operationele (en gevalideerde) datastroom aangeboden. Op drie inlaatplaatsen in het hoofdpand (Eefde – Delden – Aadorp) wordt er ook een waterstand gemeten door waterschappen en bij de sluis te Aadorp meet de Provincie Overijssel waterstand, debiet en temperatuur. Uit de data-analyse blijkt dat de kwaliteit van de objectdata en externe meetgegevens over het algemeen goed is. Wel valt op, zoals eerder ook bij de Brabantse en Midden-Limburgse kanalen te zien was, dat de externe metingen een structurele afwijking vertonen van de LMW-metingen. Deze afwijking lijkt te wijten aan de gebrekkige kalibratie ten opzichte van NAP. Dit is namelijk niet van groot belang voor de gebruikers van de objectdata.

De debietmetingen in de kanalen bieden inzicht in de gemiddelde afvoeren door de kanalen, maar de individuele metingen (10 minuten) geven een zeer wisselend beeld. De schut-, pomp- en spuidebieten worden bepaald aan de hand van de metingen bij de objecten (de klepstanden, waterstanden, draaiuren, aantal schuttingen). Ook bij de sluis te Aadorp wordt er op basis van de openingen van de rinketten en een computerprogramma bepaald wat het debiet door de kolk is op het moment van spuien.

De temperatuurmetingen geven een goed ruimtelijk beeld van de temperatuur in de kanalen. In het hoofdpand worden gaten in het ruimtelijke beeld ten tijde van lage temperaturen opgevuld met handmatige metingen op twee locaties. Met de huidige meetmethode levert dat onveilige situaties op, en er loopt een aanvraag om deze twee punten op een automatische wijze invulling te geven. Het valt op dat de temperatuurmeting bij Eefde beneden van zeer slechte kwaliteit is op het moment dat de waterstand beneden een bepaald peil daalt. De sensor lijkt dan luchttemperatuur

te meten. De metingen in het pand Delden – Hengelo vertonen onderling verschillen vanwege de lozingen van koelwater. De metingen bij Delden beneden en Aadorp (provincie) verschillen meestal niet significant van elkaar, maar schelen af en toe enkele graden Celsius.

6.1.3 **Aanpassingen van de informatieverzamelstrategie en het meetnet**

Om tot een geoptimaliseerd meetnet voor de Twentekanalen te komen zijn er per gemeten variabele meerdere scenario's bedacht en beschreven. Deze zijn voorgelegd aan de deelnemers van de workshops om te zien of de voorgestelde categorisering en optimalisatie bijval vindt bij de eindgebruikers. Met de input van de gebruikers is het optimalisatievoorstel verder uitgewerkt en is er voor het gehele meetnet één voorstel gedaan.

Het optimalisatievoorstel gaat uit van 4 uitgangspunten:

1. Gebruik van objectmetingen indien beschikbaar, van goede kwaliteit en goed ontsloten
2. Gebruik van debietbepaling bij objecten en door waterschappen voor debieten op de kanalen.
3. Overdracht van temperatuurmetingen waar informatiebehoefte niet door LMW voorzien hoeft te worden, en behoud waar de informatiebehoefte nodig is.
4. We kijken naar een optimalisatie van het meetnet, niet van individuele sensoren. Het is efficiënter een hele paal weg te halen dan slechts een van de sensoren op de paal.

Op basis van de interviews, workshops en data-analyse kan er geconcludeerd worden dat, indien de beschikbaarheid, kwaliteit en ontsluiting van de objectdata voldoen aan de eisen, dat deze een goede vervanging vormen voor de LMW metingen. Met de kanttekening dat vanuit Rijkswaterstaat aangegeven is dat alle categorie 1 meetpunten die beheerd worden vanuit LMW in eigen beheer blijven en niet vervangen of opgeheven worden. De aanvraag van een extra waterstandsmeetpunt op de zijtak ten behoeve van tijdige waterstands-informatie wordt gegrond geacht en wordt aanbevolen te honoreren. Wel dient er hier gekeken te worden naar een koste efficiënte implementatie van een waterstandsmeting: radar in een standpijp.

Goede debietinformatie is van groot belang in de bepaling van de kosten omtrent de watervoorziening en in het ontwikkelen van de modellen. De informatiebehoefte ligt echter meer in de hoek van de waterbalansen en in- en uitlaatdebieten dan de momentane debieten op de kanalen. Om die reden wordt voorgesteld dat de debietmetingen op de kanalen worden opgeheven.

Voor de temperatuurmetingen wordt voorgesteld te onderzoeken of de temperatuurmetingen onder de verantwoordelijkheid van de sluisbeheerders gebracht kunnen worden. Bij Aadorp (Provincie) is dat nu al het geval, maar bij de overige sluizen (in beheer van RWS) is dat nog niet het geval. Echter is het geen taak van het LMW om in deze informatiebehoefte te voorzien. De metingen ten behoeve van de bepaling van de gemiddelde kanaal temperatuur dienen wel binnen het LMW te blijven. De twee aanvragen zijn terecht en worden gehonoreerd, over de invulling zal de CIV advies geven.

6.2 **Bruikbaarheid van de methodiek**

De methodiek om op basis van de drie hoekpunten van de informatievoorziening: watersysteem, watermanagementsysteem en monitoringssysteem te komen tot een geoptimaliseerd meetnet bleek ook hier toepasbaar. Het biedt een mooi overzicht van de driehoekpunten en biedt ook de mogelijkheid om tijdens tussentijdse presentaties gericht vragen op te brengen of te stellen. Gezien de eerdere ervaringen met de Brabantse en Midden-Limburgse kanalen m.b.t. de kostenschatting is er binnen dit project minder gekeken naar de kosten, in afwachting van de implementatiestudie. Wel is er in de interviews meer gekeken naar de procedures die worden gevolgd bij het aanpassen van het meetnet en de planning van renovaties en aanpassingen aan het meetnet of de objecten in het gebied. De workshops hebben veel bijgedragen aan zowel het

begrip van het systeem, en de informatiebehoefte van de gebruikers, als bij de gebruikers de insteek van de optimalisatiestudie. Ook toonde de workshops zijn waarde in het aanstippen van gaten in de analyse, welke met verder onderzoek/extra interviews zo goed mogelijk zijn afgedekt.

6.3 Aanbevelingen

Op basis van deze studie en het beschreven optimalisatievoorstel worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Indien een LMW-locatie in deze studie is gemarkeerd om opgeheven te worden, dient er altijd aangetoond te worden dat de nieuwe manier aan de meetpunt eisen voldoet (b.v. door parallel te meten). Hierbij dienen de volgende zaken in acht te worden genomen: beschikbaarheid van de data, kwaliteit van de data en goede ontsluiting van de data.
2. Behoud contact en afstemming met de projecten OOG en ODS omtrent het ontsluiten van de data, de manier waarop dit gebeurt en de hoeveelheid data die ontsloten wordt.
3. Behoud contact en afstemming met het project LMW2 over de inbedding van ODS-data binnen LMW Next en de validatie daarvan. Het is voor dit project zeer wenselijk dat de door de objecten ontsloten data ook goed gevalideerd worden, waardoor de kwaliteit gegarandeerd kan worden.
4. Stem met de assetmanager van het district af wanneer zich kansen voordoen om LMW-locaties in een gezamenlijke inspanning over te dragen of op te heffen (verwijderen).
5. Gezien de aanzienlijke kosten voor het verwijderen van meetopstellingen en de relatief geringe kosten voor het behouden van de opstellingen wordt er pas effect gezien op de lange termijn. Het wordt daarom aanbevolen zaken waar hoge kosten aan verbonden zijn, zoveel mogelijk in samenwerking met andere projecten op te pakken. Hierbij is het prima om een aantal jaar te wachten op de juiste mogelijkheid. Tot die tijd kunnen locaties een status 4 toegekend krijgen waardoor de onderhoudskosten al tot een minimum worden gereduceerd.
6. Nieuwe meetpunten dienen ingericht te worden op een kostefficiënte manier. Het voorstel is dit te doen op basis van een radar in een nauwe standpijp. Het is van belang dat dit een kleine standpijp is, omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat de kosten van een dergelijke installatie met name in de standpijp zitten, er is dus veel te besparen door deze minder ruim te dimensioneren.

7 Referenties

- De Koning, D. (2019). *Bijeenkomst optimalisatie Landelijk Meetnet Water voor de Twentekanalen (11203677-004-ZKS-0006)*. Delft: Deltares.
- Huis in 't Veld, G. (2000). *Werkomschrijving voor de vernieuwing van de regeling voor het spuien*.
- Peters, H. (2018). *Beschouwingen m.b.t. een smallere radarstandpijp*.
- Rijkswaterstaat. (2008). *Uitwerking informatiebehoefte waterstanden Rijkswaterstaat*.
- Rijkswaterstaat. (2015). *Beheer- en ontwikkelplan voor de rijkswateren 2016 - 2021*.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Waterakkoord Twenthekanalen en Overijsselsche Vecht*.
- Rijkswaterstaat. (2019a). *Twentekanalen: groot onderhoud sluis- en gemaalcomplexen Delden en Hengelo*. Opgeroepen op 16 april 2019, van website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/twentekanalen-groot-onderhoud-sluis-en-gemaalcomplexen-delden-en-hengelo/planning/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2019b). *Twentekanalen: uitbreiding sluis Eefde*. Opgeroepen op 16 april 2019, van website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/twentekanalen-uitbreiding-sluis-eefde/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2019c). *Twentekanalen: versterking bruggen (niet meer beschikbaar)*. Opgeroepen op 16 april 2019, van website: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/twentekanalen-versterking-bruggen/index.aspx>
- Rijkswaterstaat. (2019d). *Watertemperatuur en waterstand op het Twentekanaal*.
- Schroevers, R., & Vandebroek, N. (2017). *Kostenefficiënte informatieverzamelstrategie LMW2 (11200857-002-ZKS-0002)*. Delft: Deltares.
- Schroevers, R., Vandebroek, N., & De Koning, D. (2019). *Optimalisatie LMW Brabantse en Midden-Limburgse kanalen (11203677-004-ZKS-0002)*. Delft: Deltares.
- Van der Veen, R. (2013). *Advies gebruik afvoer Eefde uit IWP*.
- Van der Veen, R. (2018). *Belangrijke beken Rijntakken*.

Bijlagen

A Indeling deelgebieden meetnet



De volgende volgorde van deze gebieden (roadmap) is begin 2018 voorgesteld aan de stuurgroep LMW2. Inmiddels is de doorlooptijd losgelaten, maar is het wel de intentie om het meetnet in deze volgorde te evalueren.

Planning optimalisatie LMW	
deelgebieden (aantal locaties, aantal parameter/locatie combinaties, soorten parameters)	Uitvoeringsjaar (zwaartepunt)
Noordzeekanaal/ARK (19, 39, 4)	2017/2018
Brabantsekanalen (35, 45, 3)	2018/2019
Twentekanalen (11, 16, 3)	2019
Zeeuwse wateren (90, 128, 6)	2020/2021/2022
Rijn-Maasmonding (57, 89, 6)	2022/2023
IJsselmeer (33, 52, 5)	2023/2024
Rivierengebied (Rijn en IJssel) (31, 43, 3)	2024/2025
Maas en Julianakanaal (36, 47, 3)	2025/2026
Kust en Noordzee (60, 115, 5)	2026/2027
Waddenzee en Eems Dollard (15, 28, 5)	2027/2028

B Beschikbaarheid data LMW

% Data = Een numerieke waarde is beschikbaar

% Gemeten = Waterinfo code "Normale waarde"

% Geïnterpoleerd = Waterinfo code "In ruimte en tijd geïnterpoleerde waarde"

Soms ontbreekt de waterinfo code.

Voor alle locaties ontbreekt de data van 8 september 2018 t.e.m. 15 oktober 2018 (~10.14%).

Data beschikbaarheid LMW waterstanden. Periode 1 jan 2018 – 31 dec 2018

Locatie	% Data	% Gemeten	% Geïnterpoleerd
Aadorp	89.5	89.5	0
Almen*	66.5	66.5	0
Delden Beneden	87.2	84.0	3.2
Delden Boven	87.1	87.1	0
Eefde Beneden	89.4	89.4	0
Eefde Boven	89.2	89.2	0
Hengelo Beneden	77.1	77.1	0
Hengelo Boven	88.7	88.6	0
Hengelo koppelleiding	89.5	89.5	0
Markelose Brug	66.5	66.5	0

* data na september 2018 niet beschikbaar

Data beschikbaarheid LMW debiet. Periode 1 jan 2018 – 31 dec 2018

Locatie	% Data	% Gemeten	% Geïnterpoleerd
Almen*	67.5	67.5	0
Markelose Brug	89.1	89.0	0

* data na september 2018 niet beschikbaar

Data beschikbaarheid LMW temperatuur. Periode 1 jan 2018 – 31 dec 2018

Locatie	% Data	% Gemeten	% Geïnterpoleerd
Delden Beneden	76.2	76.2	0
Eefde Beneden	73.8	73.8	0
Hengelo - Oelerbrug	87.7	87.6	0
Hengelo Beneden	88.3	88.3	0
Hengelo Boven	89.0	89.0	0

C Overzicht verplicht bemeten locaties Twentekanalen (Waterakkoord 2017)

Naam	Km	Q-MW (m ³ /s)	Waterschap
Overstort Bolksbeek	20,81	48,00	WRIJ
Overstort Berkel te Lochem	16,00	32,00	WRIJ
Hagmolenbeek	36,05	12,87	WVS
Banisgemaal	16 Zijtak	10,00	WVS
Koppelleiding, Elsbeek 1	44,97	9,11	WVS
Oude Poelsbeek	29,51	8,98	WVS
Overstort Schikbeek	22,95	8,00	WRIJ
Grote Waterleiding	16,93	7,84	WRIJ
Zuidelijke Afwateringskanaal	22,09	7,15	WRIJ
Usselerstroom	50,20	6,21	WVS
Bolscherbeek	31,79	5,66	WVS
Nieuwe Oelerbeek	42,12	4,76	WVS
Afleidingskanaal van de Berkel	3,22 voorpand	47,00	WRIJ

Zie ook bijlage 5 in het waterakkoord 2017.

D Debietbepaling Aadorp

Zie PDF: Debietbepaling_Aadorp.pdf

E Overzicht vergelijking LMW data

Pand	Meetpunten	Pagina
Onder Eefde	Eefde Beneden & Zutphen Noord	E-1
Eefde – Delden – Aadorp	Almen & Aadorp	E-3
Eefde – Delden – Aadorp	Almen & Delden Beneden	E-5
Eefde – Delden – Aadorp	Almen & Markelose Brug	E-7
Eefde – Delden – Aadorp	Delden Beneden & Aadorp	E-9
Eefde – Delden – Aadorp	Eefde Boven & Aadorp	E-11
Eefde – Delden – Aadorp	Eefde Boven & Almen	E-13
Eefde – Delden – Aadorp	Eefde Boven & Delden Beneden	E-15
Eefde – Delden – Aadorp	Eefde Boven & Markelose Brug	E-17
Eefde – Delden – Aadorp	Markelose Brug & Aadorp	E-19
Eefde – Delden – Aadorp	Markelose Brug & Delden Beneden	E-21
Delden – Hengelo	Delden Boven & Hengelo Beneden	E-23

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl