



Onderzoek slimme besturing transportsysteem

Toetsing KPI's

Waterschapsbedrijf Limburg

11 augustus 2016

Project Onderzoek slimme besturing transportsysteem
Document Toetsing KPI's
Status Concept 01
Datum 11 augustus 2016
Referentie RM217-1/16-013.742

Opdrachtgever Waterschapsbedrijf Limburg
Projectcode RM217-1
Projectleider ir. E.M.M. Castelijns
Projectdirecteur ing. H.W. Jansen

Auteur(s) ir. C. Liem / ir. A. Peeters
Gecontroleerd door ir. E.M.M. Castelijns
Goedgekeurd door ir. E.M.M. Castelijns

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
 Stationsweg 5
 Postbus 3465
 4800 DL Breda
 +31 (0)76 523 33 33
 www.witteveenbos.com
 KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	DOEL VAN DE TOETSING	1
2	OPZET TOETSING EN DATA-ANALYSE	2
2.1	Beschikbare data en analysetool	2
2.2	PI's die niet getoetst kunnen worden	2
2.3	Uitgangspunten	3
3	RESULTATEN DATA-ANALYSE	4
3.1	Algemeen	4
3.2	Afnameverplichting	5
3.3	Maximaal haalbaar debiet (bijlage I.4)	9
3.4	Specifiek energieverbruik (bijlage I.5)	10
3.5	Leidingconditie (bijlage I.6)	11
3.6	Afwijking pompcurve (bijlage I.7)	12
3.7	Storing top 10 (bijlage I.8)	13
3.8	Draaiuren (bijlage I.9)	13
3.9	Bedrijfsmodus gemalen (bijlage I.10)	15
3.10	Waterniveau (bijlage I.11)	16
3.11	Onderlinge pompverschillen	17
3.12	Drukgebaseerde leidingbreukdetectie (bijlage I.12)	17
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN TOETSING	19
4.1	Conclusies	19
4.1.1	Bruikbaarheid PI's	19
4.1.2	KPI afnameverplichting	20
4.1.3	Data	20
4.1.4	Procesautomatisering en alarmmanagement	21
4.1.5	PI's gemeentelijke gemalen	21
4.2	Aanbevelingen	21
4.2.1	Nader onderzoek PI's WBL gemalen	21
4.2.2	Pilot PI's operators	21
4.2.3	Set PI's gemeentelijke gemalen	22

Laatste pagina

22

Bijlage(n)

Aantal pagina's

I

Bijlagen bij toetsing KPI's

19

1

DOEL VAN DE TOETSING

Dit rapport is de opvolging van de notitie 'Set prestatie-indicatoren transportsysteem' concept 03 d.d. 11 juli 2016. In dit vervolgrapport wordt de toetsing beschreven van de verschillende prestatie-indicatoren en de redeneerlijn. De toetsing is gebaseerd op beschikbare data van de pilotgemalen van Venray. In deze toetsing zijn:

- formules voor deze PI's, geconcretiseerd;
- randvoorwaarden benoemd;
- PI-dataresultaten gevisualiseerd;
- bruikbaarheid van de PI's beoordeeld.

Dit rapport sluit af met algemene conclusies en aanbevelingen.

Benadrukt wordt dat dit rapport niet geschreven is als op zichzelf staand document, maar samen met de voorgaande notitie gelezen dient te worden.

2

OPZET TOETSING EN DATA-ANALYSE

2.1 Beschikbare data en analysetool

Om de data-analyse uit te voeren heeft WBL een dataset beschikbaar gesteld van enkele gemalen rondom Venray. In deze dataset zijn de volgende parameters beschikbaar, per iedere halve minuut:

- druk (bar);
- debiet (m^3/uur , frequentie afwijkend 1x per minuut);
- niveaumeting (mNAP);
- pompgegevens:
 - wel/niet in bedrijf;
 - FO-uitsturing (%);
 - stroomverbruik (A).

De dataset bestaat uit de volgende periodes:

- mei 2013 (parameters);
- januari/februari 2015 (parameters + automatisch gegenereerde alarm- en eventmeldingen);
- januari/februari 2016 (parameters + automatisch gegenereerde alarm- en eventmeldingen).

Daarnaast heeft WBL de instellingen van de gemalen aangeleverd met daarin onder andere de afnameverplichting, capaciteit gemalen en in-/afschakelniveaus. Deze gegevens zijn weergegeven in bijlage I.1.

Er is ook een afbeelding opgenomen met de configuratie van de injectiegemalen ten opzichte van elkaar en hoe ze op de gezamenlijke persleiding aansluiten. Dit is te zien in bijlage I.2.

Matlab is als tool gebruikt om de gegevens te visualiseren en de PI's te berekenen. Deze tool heeft de flexibiliteit en rekenkracht die nodig is om snel en efficiënt een data-analyse uit te voeren.

2.2 PI's die niet getoetst kunnen worden

In tabel 2.1 van de voorgaande notitie zijn de PI's uitgewerkt en in tabel 2.2 is weergegeven welke meetgegevens benodigd zijn voor de PI. Een aantal PI's is niet getoetst omdat gegevens nodig voor deze PI's niet gemeten worden. In navolgende tabel 2.1 is weergegeven welke PI's wel/niet zijn getoetst.

Tabel 2.1 Getoetste PI's

nr.	PI	toetsing	toelichting
1	afnameverplichting	ja	paragraaf 3.2
2	maximaal haalbare debiet	ja	paragraaf 3.3
3	specifiek energieverbruik	ja	paragraaf 3.4
4	motorefficiency	nee	geen spanningssensor aanwezig op de klemmen van de motor
5	hydraulische efficiency	nee	geen spanningssensor aanwezig op de klemmen van de motor, opvoerhoogte onbekend
6	leidingconditie	ja	paragraaf 3.5; in voorafgaande notitie 'pompcnditie' genoemd
7	volumebalans	nee	geen debietsensor beschikbaar direct bovenstrooms van de RWZI
8	afwijking pompcurve	ja	paragraaf 3.6
9	trillingsanalyse	nee	geen trillingssensor beschikbaar
10	geluidsanalyse	nee	geen geluidssensor beschikbaar
11	temperatuuranalyse	nee	geen temperatuursensor beschikbaar
12	storing top 10	ja	paragraaf 3.7; in vorige notitie 'storingsfrequentie' genoemd
13	alarmfrequentie	ja	paragraaf 3.7; gecombineerd met PI 'storing top 10'
14	draaiuren	ja	paragraaf 3.8
15	bedrijfsmodus gemalen	ja	paragraaf 3.9
16	volumebalans vrij verval	nee	geen debietsensor debiet vrij verval
17	waterniveau	ja	paragraaf 3.10
18	onderlinge pompverschillen	ja	paragraaf 3.11
19	drukgebaseerde leidingbreukdetectie	ja	paragraaf 3.12; in verband met leidingbreukvraagstuk toegevoegd als PI

2.3 Uitgangspunten

Het is van belang te realiseren dat deze data-analyse is uitgevoerd met de volgende uitgangspunten:

- de dataset is geen chronologisch aaneengesloten set van datapunten en er zijn een aantal verspringingen tussen de verschillende jaren. Om eventuele trendlijnen te detecteren zou dit echter wel een goede indicatie kunnen geven;
- de gegevens van 2015 zijn ter beschikking gesteld, omdat in deze periode leidingbreuken zijn voorgekomen in het gebied. Dit geldt voor de gemalen Wanssum en Well. In die periode is ook de boostinstelling van de gemalen uitgezet om de leidingen te ontzien;
- de gebruikte meetgegevens zijn niet gevalideerd op correctheid;
- er is geen informatie beschikbaar over het toegepaste onderhoudsregime, energie (slimme meters), neerslag en opvoerhoogte;
- uitgangspunt is dat de gemalen goed ontworpen zijn;
- het feit dat het hier gaat om injectiegemalen die samenkomen naar een gedeelde persleiding zorgt ervoor dat er interactie is tussen de meetwaarden van de gemalen en deze kunnen daardoor elkaars uitkomsten beïnvloeden. Daarom moet rekening worden gehouden met kleine meetvariaties door interactie met andere gemalen die beginnen te pompen;
- in de bevindingen is het accent gelegd op de bruikbaarheid van de PI, dat is immers het doel van deze toetsing. Behoudens wat opvallende punten is niet geprobeerd iedere opvallende of afwijkende situatie uit te leggen. Daar is vaak meer informatie voor nodig.

3

RESULTATEN DATA-ANALYSE

3.1 Algemeen

In deze paragraaf worden de toetsingsresultaten weergegeven. Deze bestaan per PI uit een beschrijving van de gebruikte formules en randvoorwaarden, de resultaten en uiteindelijk een conclusie over de bruikbaarheid van de PI.

Formules en symbolen

In de verschillende formules van de prestatie-indicatoren staan enkele symbolen gebruikt, die in tabel 3.1 verder zijn toegelicht. Tevens worden in enkele gevallen indices gebruikt om aan te geven om welke pomp het gaat (zo is S_1 de status van pomp 1).

Tabel 3.1 Verklaring gebruikte eenheden

Type	Symbool grootheid	Simensie
gemeten debiet gemaal	Q	m ³ /h
te verpompen debiet in RWA-conditie	Q _{RWA}	m ³ /h
gemeten waterniveau kelder	H _k	mNAP
inschakelniveau 2; boven dit niveau is een gemaal in RWA-conditie en dient Q _{RWA} verpompt te worden	H _{IN2}	mNAP
gemeten uitsturing FO	n	%
gemeten stroom	I	A
gemeten pompstatus	S	- (aan/uit)
soortelijke dichtheid	ρ	kg/m ³
gravitatieversnelling	g	m/s ²
opvoerhoogte	H	m
gemeten druk achter terugslagklep	p	bar
sample tijd (30 seconden)	t _s	s
Netspanning	V	V

Randvoorwaarden

Bij enkele PI's wordt als randvoorwaarde gesteld dat alleen naar de data wordt gekeken wanneer een pomp is ingeschakeld. Bij het in- en uitschakelen van een pomp kan echter niet-representatief gedrag aanwezig zijn, wat de resultaten sterk kan beïnvloeden. Hierom is ervoor gekozen om de eerste en laatste twee datapunten (eerste en laatste minuut) hierin niet mee te nemen. Zo wordt gekeken naar het gedrag van de ingeschakelde pomp zonder verstoring van de in- en uitschakelverschijnselen (bijvoorbeeld door de boostinstelling).

Resultaten

Voor verschillende grafieken zijn waarden per pomp aangegeven in dezelfde grafiek. Hierbij komt de blauwe lijn overeen met pomp 1 van het gemaal en de rode lijn met pomp 2. De tijd op x-as is een optelling van de dagen van de vijf maanden. Daarnaast zijn er ook verticale stippellijnen te zien. Deze geven de scheiding aan tussen de drie verschillende periodes (2013, 2015 en 2016).

3.2 Afnameverplichting

Formule en randvoorwaarden

Om te bepalen of aan de afnameverplichting wordt voldaan in RWA-conditie worden twee verschillende methodes gebruikt:

Methode A: debietsafhankelijk

Middels deze methode wordt het voldoen aan de afnameverplichting berekend door het gemiddeld verpompte debiet in RWA-conditie te berekenen en deze te vergelijken met de afnameverplichting:

$$\frac{\langle Q \rangle}{Q_{RWA}}$$

Waar $\langle Q \rangle$ het gemiddelde debiet is over een bepaalde periode (jaar).

Als randvoorwaarde is gesteld dat de waarde enkel wordt berekend wanneer het gemaal zich in RWA-conditie bevindt.

$$- H_k \geq H_{IN2}$$

Methode B: tijdsafhankelijk

Middels methode B wordt per tijdstip gekeken of, in geval van RWA-conditie, het verpompte debiet groter of gelijk is aan het te verpompen debiet. De berekende waarde geeft aan in welk percentage van de gevallen het verpompte debiet afdoende is en aan de afnameverplichting is voldaan.

$$\langle \sum Q_t \rangle$$

Waar $\langle \sum Q_t \rangle$ het gemiddelde van $\sum Q_t$ is over een bepaalde periode (jaar) en $Q_t = \begin{cases} 1 & \text{voor } Q \geq Q_{RWA} \\ 0 & \text{voor } Q < Q_{RWA} \end{cases}$

Als randvoorwaarde is gesteld dat de waarde enkel wordt berekend wanneer het gemaal zich in RWA-conditie bevindt.

$$- H_k \geq H_{IN2}$$

Resultaten

Tabel 3.2 geeft de afnameverplichting volgens methode A. Per gemaal wordt aangegeven welk debiet verpompt dient te worden indien een gemaal zich in RWA-conditie bevindt, evenals $\langle Q \rangle$, de gemiddelde debietwaarde. Tevens is voor deze waarde aangegeven welk percentage van het te verpompen debiet dit betreft, middels de formule van methode A. Deze percentages zijn tevens gevisualiseerd in afbeelding 3.1.

Tabel 3.3 geeft de afnameverplichting volgens methode B. Per gemaal wordt aangegeven hoe lang dit gemaal zich in een bepaalde periode in RWA-conditie bevond. Tevens is aangegeven hoe lang is voldaan aan de afnameverplichting. Ook is hier aangegeven wat de procentuele waarden zijn, nu volgens methode B. Deze percentages zijn tevens gevisualiseerd in afbeelding 3.2.

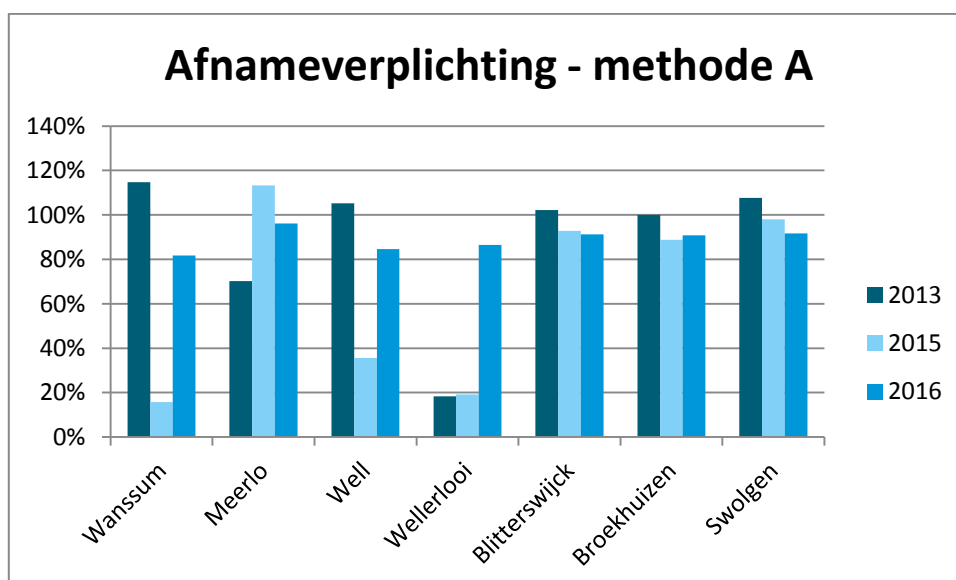
Tabel 3.4 toont dezelfde berekeningen als eerdergenoemde tabellen, echter niet met het daadwerkelijk gemeten debiet, maar met 105 % van deze meetwaarde.

Ter informatie is ook nog in bijlage I.3 een belastingjaarcurve meegegeven op basis van de beschikbare data. In een belastingjaarcurve wordt gekeken hoe vaak een bepaald debiet voorkomt en wordt deze aflopend van groot naar kleine waarde op volgorde in een grafiek gepresenteerd. Indien gegevens over een geheel jaar bekend zijn, kunnen deze representatief zijn en beter gebruikt worden. In deze grafieken is de rode lijn de afnameverplichting voor het gemaal en de stippellijn geeft de tijd aan wanneer aan de afnameverplichting wordt voldaan.

Tabel 3.2 Afnameverplichting RWA-conditie (100 %) volgens methode A

Gemaal	Q RWA gewenst	$\langle Q \rangle$			% RWA debiet voldaan (formule methode A)		
		2013	2015	2016	2013	2015	2016
Wanssum	372	427,0	58,5	304,1	115 %	16 %	82 %
Meerlo	214	150,2	242,6	205,9	70 %	113 %	96 %
Well	207	217,9	73,8	175,1	105 %	36 %	85 %
Wellerlooi	57	10,5	11,0	49,3	18 %	19 %	86 %
Blitterswijk	95	97,1	88,2	86,7	102 %	93 %	91 %
Broekhuizen	193	193,2	171,3	175,2	100 %	89 %	91 %
Swolgen	106	114,2	103,9	97,2	108 %	98 %	92 %

Afbeelding 3.1 Percentages behaalde afnameverplichting volgens methode A



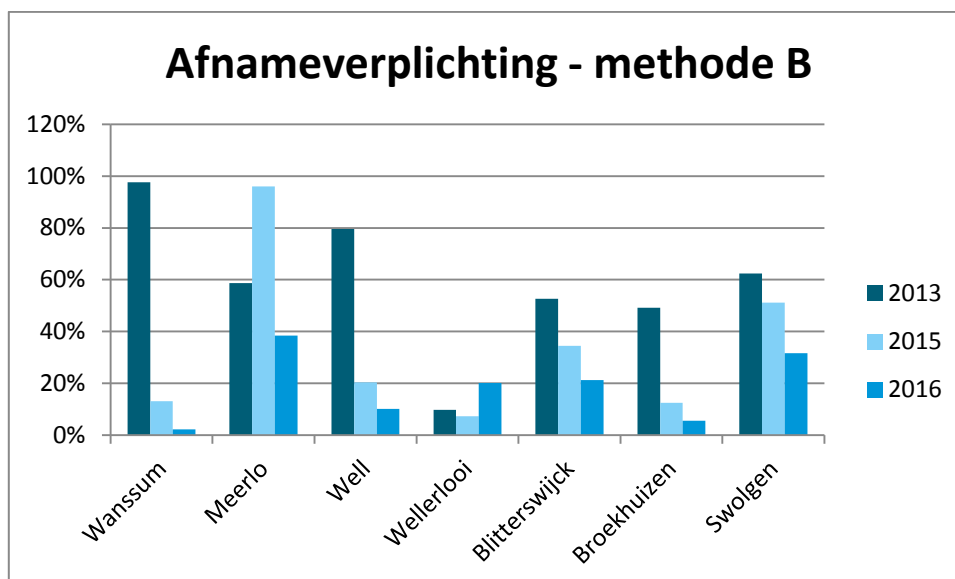
Bevindingen tabel 3.2:

- in slechts 6 van de 21 gevallen ligt de waarde boven de te verwachten 100 %;
- voor gemaal Wellerlooi zijn waarschijnlijk andere inschakelpelen gehanteerd in 2013/2015, die zijn aangepast in 2016. Dit is later ook te zien in paragraaf 3.10 waar gekeken wordt naar de verschillende waterniveaus;
- voor de gemalen Wanssum en Well is een dip in het percentage van 2013-2015 te zien. In de afbeeldingen I.1, I.2 en I.3 is te zien dat voor beide gemalen in 2015 bij de aansturing in RWA-conditie er een piek is bij de FO-uitsturing 0 en dat dit niet het geval is in 2013 en 2016. Dit betekent dat de pompen op dat moment niet zijn aangestuurd. Een mogelijke reden hiervoor is de leidingbreuk die voor beide gemalen heeft plaatsgevonden in die periode, waardoor pompen niet gebruikt kunnen worden (dit effect is ook te zien in bijlage I.11 waar het waterniveau een periode lang op overstortniveau lag).

Tabel 3.3 Afnameverplichting RWA-conditie (100 %) volgens methode B

Gemaal	RWA tijd (uur)			RWA tijd voldaan (uur)			% RWA tijd voldaan (formule methode B)		
	2013	2015	2016	2013	2015	2016	2013	2015	2016
Wanssum	3	80	47	3	10	1	98 %	13 %	2 %
Meerlo	20	52	127	12	50	49	59 %	96 %	38 %
Well	11	105	66	9	22	7	80 %	20 %	10 %
Wellerlooi	303	590	107	30	43	22	10 %	7 %	20 %
Blitterswijk	21	52	95	11	18	20	53 %	35 %	21 %
Broekhuizen	22	61	107	11	8	6	49 %	13 %	6 %
Swolgen	24	62	137	15	32	43	62 %	51 %	32 %

Afbeelding 3.2 Percentages behaalde afnameverplichting volgens methode B



Bevindingen tabel 3.3:

- in geen enkele van de 21 gevallen ligt de waarde op de te verwachten 100 %;
- de percentages in tabel 3.3 liggen een stuk lager dan in die van tabel 3.2. een mogelijke oorzaak is de onnauwkeurigheid van de meetgegevens waardoor er vaak pieken en dalen zijn in het verpompte debiet. De resultaten kunnen een hogere nauwkeurigheid krijgen als de tijdstap voor debiet gelijkgetrokken zou worden met het waterniveau, aangezien de waarde hiervan gebruikt wordt om te bepalen of een gemaal in RWA-conditie is. Momenteel kan het voorkomen dat wanneer het inschakelniveau 2 wordt overschreden, de debietmeting nog een waarde laat zien van meer dan een halve minuut geleden. Dit heeft tot gevolg dat met een verouderde waarde wordt gerekend, op basis waarvan de afnameverplichting niet gehaald wordt, maar dat de daadwerkelijke (niet doorgegeven) waarde wel boven de afnameverplichting ligt;
- daarnaast is een behoorlijke variatie in het aantal uren in RWA-conditie te zien voor de drie dataperiodes (2013-2016). Dit kan komen door de variatie in regenval voor mei 2013 en januari/februari in 2015/2016, omdat mei een 'droge' maand is terwijl januari en februari bekend staan als 'natte' maanden.

In beide rekenmethodes is deze PI afhankelijk van het gemeten debiet. Daarom is ook gekeken wat de percentages zouden zijn, in het geval er een standaarddeviatie van 5 % (extra debiet voor berekening van meest ideale geval) toegepast zou worden op de gemeten Q. Dit levert tabel 3.4 op.

Tabel 3.4 Afnameverplichting (105 % gemeten debiet)

		gem. Q RWA verpompt			% RWA debiet voldaan			RWA tijd (uur)			RWA tijd voldaan (uur)			% RWA tijd voldaan		
Gemaal	Q RWA gewenst	2013	2015	2016	2013	2015	2016	2013	2015	2016	2013	2015	2016	2013	2015	2016
Wanssum	372	448,3	61,4	319,3	121 %	17 %	86 %	3	80	47	3	11	3	99 %	13 %	6 %
Meerlo	214	157,7	254,7	216,1	74 %	119 %	101 %	20	52	127	12	50	74	59 %	97 %	58 %
Well	207	228,8	77,5	183,8	111 %	37 %	89 %	11	105	66	10	31	25	95 %	30 %	38 %
Wellerlooi	57	11,0	11,5	51,8	19 %	20 %	91 %	303	590	107	36	61	27	12 %	10 %	25 %
Blitterswijck	95	102,0	92,6	91,0	107 %	97 %	96 %	21	52	95	13	34	29	64 %	64 %	30 %
Broekhuizen	193	202,9	179,8	184,0	105 %	93 %	95 %	22	61	107	18	31	47	80 %	52 %	44 %
Swolgen	106	119,9	109,1	102,0	113 %	103 %	96 %	24	62	137	21	47	55	85 %	76 %	40 %

Bevindingen:

- in geval van methode A nemen de percentages met circa 5 % toe. Uitgezonderd zijn de lage percentages (onder 50 %);
- in geval van methode B is de toename van de percentages veel grilliger;
- het maakt duidelijk dat de nauwkeurigheid van de debietmeting erg belangrijk is voor een juiste bepaling van deze PI. Deze nauwkeurigheid zou ook kunnen verbeteren veranderen door het toepassen van bijvoorbeeld kortere sampletijden.

Bruikbaarheid PI

Puur kijkende naar de percentages, kan worden geconstateerd dat voor geen enkel gemaal het voldoen aan de afnameverplichting hard kan worden aangetoond. De oorzaken hiervoor kunnen heel divers zijn. Voor inzicht in het wel of niet voldoen aan de afnameverplichting is de PI bruikbaar, om specifieke oorzaken te achterhalen een stuk minder. Daarom kan nu op voorhand niet worden geconcludeerd dat de PI wel/niet bruikbaar is. De PI helpt zeker wel in de zoektocht om de oorzaken hiervoor boven te halen. De oorzaken kunnen liggen bij de leiding of de pomp.

Deze resultaten zijn gebaseerd op een strakke definitie van afnameverplichting. Dit hoeft niet te betekenen dat er een probleem is voor de aanvoerende gemeenten. Het is echter wel een probleem voor de aantoonbaarheid dat WBL kan voldoen aan de afnameverplichting.

3.3 Maximaal haalbaar debiet (bijlage I.4)

Formule en randvoorwaarden

Het maximaal haalbare debiet wordt bepaald met behulp van de debietwaarde:

$$Q$$

Om naar het maximaal haalbare debiet te kijken, wordt enkel gekeken naar waardes met een hoge FO-uitsturing

- $n_1 \geq 99\%$ en/of $n_2 \geq 99\%$ (enkelloop/samenloop).

Resultaten

Er is geen grafiek aanwezig voor de waardes van het maximaal haalbare debiet (zie bevindingen). In bijlage I.4 zijn verschillende histogrammen met betrekking tot de FO-uitsturing gepresenteerd. In de grafieken is weergegeven hoe vaak een bepaalde FO-uitsturing voorkomt wanneer een gemaal zich in RWA-conditie bevindt. Voor één pomp kan de FO-waarde niet groter zijn dan 100 %. Echter in de grafieken is de som van beide pompen weergegeven, waardoor, in geval van een samenloop configuratie, deze waarde maximaal 200 % zijn.

Bevindingen:

- voor het maximaal haalbare debiet is de randvoorwaarde opgesteld dat de FO-uitsturing meer dan 99 % dient te zijn. Dit is opgesteld met de gedachtegang dat het maximaal haalbare debiet gehaald zou worden bij een maximale FO-uitsturing. Deze randvoorwaarde wordt bijna nooit gehaald. Mogelijke oorzaken hiervoor:
 - vanuit ontwerptechnische redenen kan ervoor gekozen zijn om pompen zo min mogelijk volledig uit te laten sturen;
 - er spelen nog effecten mee dat de gemalen invloed op elkaar hebben (voorbeeldsituatie: alle pompen zijn aan en één pomp komt bij, dan is de FO-uitsturing anders dan in het geval dat geen enkel ander gemaal aan is en één pomp wordt uitgestuurd);
- door deze randvoorwaarde te gebruiken zijn er te weinig nieuwe waardes mogelijk waarop gestuurd kan worden. Daarom is er geen grafiek gemaakt van het maximaal haalbare debiet;
- de FO-ranges voor de verschillende gemalen variëren sterk. Gemalen Meerlo, Wanssum, Well en Broekhuizen zitten vooral in de 0-50 % range, terwijl gemalen Wellerloo en Swolgen in de 50-100 % range opereren;
- er is voor de gemalen Meerlo en Blitterswijck te zien dat de FO-range afneemt over de jaren (zie afbeelding I.1, I.2 en I.3). Dit is opmerkelijk omdat niet aan de afnameverplichting wordt voldaan;

Bruikbaarheid PI

Omdat niet goed aan de randvoorwaarde goed kan worden voldaan en de randvoorwaarde versoepelen niet direct een verbetering oplevert, is het beeld dat deze PI zoals hij oorspronkelijk bedoeld was niet bruikbaar genoeg is. Voortschrijdend inzicht leert dat op basis van de waardes tijdens afnameverplichting ook een goede indicatie over de capaciteit van de pomp terug te halen is. Hier moet wel de kanttekening geplaatst worden dat dit niet per se de maximale capaciteit is.

Het voorstel is om de FO-uitsturing mee te nemen als een PI. De histogrammen uit bijlage I.4 met daarin de ranges van FO-uitsturing kunnen informatie geven of er wellicht problemen zijn met de aansturing van de pomp. Deze geeft echter geen direct inzicht in de conditie van de leiding.

3.4 Specifiek energieverbruik (bijlage I.5)

Formule en randvoorwaarden

Het specifieke energieverbruik wordt berekend door de verhouding te nemen tussen het stroomverbruik van de motor en het verpompte debiet, middels

$$\frac{V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \phi}{Q}$$

Hierbij is aangenomen dat het netvoltage voor de motoren 400V is en $\cos \phi$ gelijk is aan 0,85.

Als randvoorwaarde is gesteld dat de waarde enkel wordt berekend wanneer één pomp ingeschakeld is en er debiet wordt verpompt.

- $S_1 = 1$ of $S_2 = 1$
- $Q \geq 1 \text{ m}^3/\text{h}$

Resultaten

Voor deze indicator is het specifieke energieverbruik uitgezet tegen de tijd. Een hogere waarde geeft aan dat er meer energie nodig is om eenzelfde debiet te verpompen. Dit is mogelijk een indicatie van slijtage of vervuiling van de pomp, mogelijke lekkage in de terugslagklep of de aanwezigheid van lucht of vuil in de leiding. Uit de praktijk blijkt dat 0,1-0,2 kWh/m³ goede richtwaarden zijn. In tabel 3.5 zijn deze waarden weergegeven voor deze gemalen.

Tabel 3.5 Gemiddeld specifiek energieverbruik per gemaal

	Gem. specifiek energieverbruik 2013 (kWh/m ³)	Gem. specifiek energieverbruik 2015 (kWh/m ³)	Gem. specifiek energieverbruik 2016 (kWh/m ³)
Wanssum	0,170	0,082	0,195
Meerlo	0,109	0,106	0,105
Well	0,224	0,228	0,240
Wellerlooi	0,253	0,269	0,234
Blitterswijck	0,115	0,122	0,129
Broekhuizen	0,328	0,331	0,324
Swolgen	0,063	0,074	0,070

Bevindingen:

- voor de stroomsterkte is het niet duidelijk of dit de daadwerkelijke stroom is die door de motor wordt gebruikt. De stroom wordt afgenomen van de FO en kan ook de kringstroom zijn van de FO. Daardoor kunnen de absolute waarden niet geheel kloppen, maar de relatieve verschillen blijven wel gelijk, waardoor nog steeds gebruik gemaakt kan worden van deze gegevens;
- bijlage I.5 laat zien dat de gemalen Wanssum en Well in januari 2016 hogere waarden hebben. Dit kan wellicht komen door het feit dat de boostinstelling in deze periode uit stond (vanwege een eerdere leidingbreuk), waardoor er mogelijk meer vervuiling in de leiding is, wat resulteert in een hoge energieverbruik per m³;

- gemaal Broekhuizen heeft voor 2016 een hogere gemiddelde waarde, waardoor men zich kan afvragen of hier wellicht een grotere vervuiling is dan in de overige gemalen of dat het gemaal qua ontwerpspecificaties anders is; In februari 2016 heeft Broekhuizen niet meer een verhoogde waarde. Het kan dat de boostinstelling in deze periode weer is aangezet of dat deze periode minder vervuiling is geweest;
- Swolgen heeft veel onregelmatige pieken m.b.t. specifiek energieverbruik;
- in tabel 3.5 is te zien dat gemalen Well, Wellerlooi en Broekhuizen hogere waarden ($>0,2 \text{ kWh/m}^3$) hebben dan de richtwaardes. Hier is nog geen directe verklaring voor te vinden;
- Swolgen heeft daarentegen weer een erg lage waarde. Dit komt omdat voor dit gemaal geen stroomwaardes bekend zijn voor één van de pompen, waardoor het gemiddelde te laag is.

Bruikbaarheid PI

Het is mogelijk om de gemalen onderling en relatief met zichzelf te vergelijken. Er zijn namelijk wel verschillen te zien die kunnen duiden op mogelijke verslechtering van de oorspronkelijke situatie. Hierdoor kan men wel aangespoord worden om extra onderzoek te doen naar de pomp of mogelijke vervuiling of luchtophoping in de leiding.

3.5 Leidingconditie (bijlage I.6)

Formule en randvoorwaarden

De leidingconditie wordt berekend door de druk achter de terugslagklep te delen door het verpompte debiet:

$$\frac{p}{Q}$$

Als randvoorwaarde is gesteld dat de waarde enkel wordt berekend wanneer minimaal één pomp is ingeschakeld:

- $S_1 = 1$ en/of $S_2 = 1$.

Resultaten

Voor deze indicator is de leidingconditie uitgezet tegen de tijd (bijlage I.6). Indien de waarde hoger wordt, betekent dit dat de druk hoger is bij eenzelfde waarde van het debiet. Dit is een indicatie voor een verhoogde weerstand in de leiding, wat veroorzaakt kan zijn door vervuiling van de leiding.

Bevindingen:

- voor de gemalen Wanssum en Well zijn in begin januari 2016 een aantal hoge drukverhoudingen zichtbaar. Dit komt mogelijk door het feit dat de boostinstelling is uitgeschakeld voor de gemalen, waardoor er af en toe vuilopstoppingen ontstaan:
 - hetzelfde is te zien voor het specifiek energieverbruik (paragraaf 3.4) waar ook een piek waar te nemen is op hetzelfde moment;
- is de boostinstelling in februari 2016 weer ingeschakeld voor Wanssum en Well, omdat het verschijnsel hier niet meer voorkomt (of wellicht seizoensgebonden is)?
- Swolgen laat een aantal kleine pieken zien die bij andere gemalen niet te zien zijn. Wellicht is dit een indicatie dat er iets met de leiding mis is:
 - hetzelfde is te zien voor het specifiek energieverbruik (paragraaf 3.4) waar ook dezelfde piekjes waar te nemen zijn op hetzelfde moment.

Bruikbaarheid PI

Deze PI is bruikbaar om inzichtelijk te maken of er iets is met de leidingen. Een grote toename van de drukverhouding geeft namelijk aan dat er mogelijk problemen in de leiding zijn door een toename van de weerstand. Dit kan dan weer komen door vervuiling, luchtbellen, et cetera. De PI geeft geen direct inzicht in het werken van de pompen omdat beide metingen na de pomp worden verricht.

3.6 Afwijking pompcurve (bijlage I.7)

Formule en randvoorwaarden

Normaal gesproken wordt bij het opstellen van een pompcurve gedacht aan de Q/H-curve. Met behulp van deze curve kan bekeken worden waar een pomp zich bevindt in zijn werkgebied en of hij optimaal functioneert. Hierbij wordt de opvoerhoogte tegen het debiet uitgezet bij een bepaalde FO-uitsturing.

In dit geval zijn een aantal andere pompcurves opgesteld, waarbij een parameter (druk/debiet) wordt uitgezet tegen de uitsturing van de frequentie-omvormer:

$$n = n_1 \cdot S_1 + n_2 \cdot S_2$$

Hierbij wordt de FO-uitsturing n_i vermenigvuldigd met S_i om te zorgen dat de waardes en FO-uitsturing niet worden meegenomen wanneer de betreffende pomp niet is ingeschakeld.

Deze FO-uitsturing wordt uitgezet tegen waardes van respectievelijk de druk p en het debiet Q .

Als randvoorwaarde is gesteld dat de waarde enkel wordt berekend wanneer:

- $S_1 = 1$ of $S_2 = 1$;
- $Q \geq 1 \text{ m}^3/\text{h}$;
- $n_1 + n_2 > 0 \%$ (Veel meetfouten bij $n=0$, met deze randvoorwaarde worden deze gefilterd).

Resultaten

Er zijn twee grafieken beschikbaar (afbeelding I.4 en I.5). In beide gevallen staat de FO-uitsturing in percentages op de x-as weergegeven. Voor één pomp kan deze waarde niet groter zijn dan 100 %. Echter is hier de som van beide pompen weergegeven, zoals beschreven bij de formule, waardoor, in geval van samenloop, deze waarde maximaal 200 % zijn. Per periode (jaartal) is het gemiddelde weergegeven van de waarde van respectievelijk de druk en het debiet voor bepaalde waardes van de FO-uitsturing. Dit gemiddelde is berekend in segmenten van 1 % FO-uitsturing om zo tot een curve te komen.

Indien de druk bij een bepaalde FO-uitsturing toeneemt, is dit mogelijk een indicatie dat er problemen zijn met de leiding, zoals de aanwezigheid van lucht of vuil, een grotere ruwheid of verschoven leiding. Indien het debiet bij een bepaalde FO-uitsturing afneemt, is dit een indicatie van slijtage of vervuiling van de pomp.

Daarnaast is er een Q/H-curve opgesteld voor rioolgemaal Meerlo (afbeelding I.6 en I.7). Om deze met betere zekerheid te bepalen zijn er echter meer gegevens nodig. Op basis van de meegeleverde meetrapporten van de pompen is voor het rioolgemaal Meerlo eentje opgesteld.

Druk vs. FO (afbeelding I.4.)

Bevindingen:

- druk vs. FO is voor gemaal Wellerlooi toegenomen in 2016. Dit is wellicht een indicatie dat de toestand van de leiding verslechterd is;
- er is een steilere lijn bij sommige gemalen te zien. Dit is verwacht indien de capaciteit ook groter is, maar in sommige gevallen is dat niet het geval (bijvoorbeeld Meerlo/Broekhuizen).

Debiet vs. FO (afbeelding I.5)

Bevindingen:

- er is geen duidelijke degradatie te zien bij de gemalen;
- gemalen Wellerlooi, Blitterswijck en Swolgen vertonen een redelijk constante debiet voor verschillende FO-uitsturingen. Dit is opvallend, omdat men verwacht dat debiet normaal gesproken toeneemt met een hogere FO-uitsturing. Wellicht kan dit komen door het feit dat de gemalen gebruik maken van een gezamenlijke persleiding.

Q/H-curve (afbeelding I.6 en I.7.)

Hier is een steekproef uitgevoerd door gemaal Meerlo in 2015 uit te lichten. Op basis van de gegevens is het aannemelijk dat de pompen in het werkgebied functioneren. Voor een definitieve conclusie dient de $H_{\text{manometrisch}}$ exact te worden vastgesteld. Deze parameter is nu slechts geschat aangezien het niveau(peil) van de uitgaande druksensor is geschat op NAP +20 m (zuigpeil varieert tussen de NAP +11-14 m). Ook zijn wrijvingsverliezen van het leidingwerk tussen de zuig en de pomp en tussen de druksensor en de pomp, evenals de snelheidscorrecties niet meegenomen.

Bruikbaarheid PI

Het is momenteel onduidelijk of deze PI bruikbaar is. Er is nog te weinig data om correcte trends eruit te halen en de periode waarover gekeken is, is nog te kort om hier een goede uitspraak over te doen. Indien hier over een langere periode gekeken kan worden, zou deze PI wel inzicht kunnen geven over mogelijke verslechtering van de conditie van de pompen en of leidingen.

3.7 Storing top 10 (bijlage I.8)

Formule en randvoorwaarden

Voor de alarm- en eventmeldingen wordt geen specifieke formule gebruikt. Hier wordt gekeken naar het aantal keer dat een bepaalde eventmelding voorkomt, per gemaal en per periode.

Interpretatie visualisatie

De bijgevoegde visualisatie toont de 10 alarm- en eventmeldingen die het meest in de data (van alle gemalen) aanwezig zijn. Deze zijn vervolgens uitgesplitst per gemaal en per jaar.

Resultaten

- het aantal storingen tussen 2015 en 2016 is toegenomen. Dit is in lijn met de dalende percentages van de afnameverplichting;
- bij gemalen Wanssum en Well is een storing 'max stilstandtijd verstreken' geweest, dit komt overeen met het feit dat er in 2015 een leidingbreuk is geweest en de gemalen hierdoor zijn uitgezet.

Bruikbaarheid PI

Deze PI geeft een goede indicatie over de storingsgevoeligheid van de gemalen. Om er echter goede trends en zelfs seizoensgebonden trends uit te halen is meer chronologisch aaneengesloten data nodig. Deze PI kan gebruikt worden om inzicht te krijgen in de conditie van de pompen en de leiding. Idealiter moeten dan ook nog oorzaakgegevens toegevoegd worden aan het overzicht.

3.8 Draaiuren (bijlage I.9)

Formule en randvoorwaarden

Aaneengesloten draaiuren

Het maximum aantal aaneengesloten draaiuren wordt berekend door de maximum periode te nemen tussen start- en stopmoment van de pomp, van alle pompstarts die in de afgelopen 24 uur zijn geweest:

$$\max \left(\sum_{S_i=1}^{S_i=0} t_s \right)$$

Hiervoor zijn geen randvoorwaarden aanwezig.

Gemiddeld aantal draaiuren

Het gemiddeld aantal draaiuren wordt berekend door de tijd te berekenen dat het gemaal de afgelopen 24 uur in bedrijf was:

$$\left\langle \sum_{S_i=1} t_s \right\rangle$$

Waar $\langle \sum t_s \rangle$ het gemiddelde van $\sum t_s$ is over een bepaalde periode (24 uur) waarbij de pomp in kwestie aan is geweest ($S_i=1$).

Totaal aantal draaiuren

Het totaal aantal draaiuren wordt berekend door het totaal aantal uren dat pomp 1 en/of pomp 2 in bedrijf zijn bij elkaar op te tellen:

$$\sum_{S_i=1} t_s$$

Waarbij de sommatie wordt uitgevoerd over de gehele tijdsduur van de dataset (5 maanden).

Resultaten

Voor deze indicator zijn twee grafieken en één tabel aanwezig. In de eerste grafiek (bijlage I.9) zijn de aaneengesloten draaiuren van een pomp uitgezet tegen de tijd. Alhoewel hier standaard de maximale waarde van de afgelopen 24 uur wordt weergegeven, kan deze waarde groter dan 24 uur worden indien een pomp gedurende een langere periode ingeschakeld is. Indien een pomp gedurende langere periode is ingeschakeld, en er geen hevige regenval aanwezig is, duidt dit op mogelijke problemen met de capaciteit van de pomp.

In de tweede grafiek (bijlage I.10) is het gemiddeld aantal draaiuren tegen de tijd uitgezet. Indien een pomp gedurende het merendeel van de dag ingeschakeld staat, ook in situaties met weinig regenval, is dit een indicatie dat het gemaal onvoldoende capaciteit heeft. Dit kan komen door een onjuiste dimensionering van het gemaal, of door slijtage van de pomp.

Aaneengesloten draaiuren

Bevindingen:

- pomp in gemalen Broekhuizen en Meerlo is langer dan 35 uur achter elkaar aan:
 - volgens experts kan dit voorkomen in erg natte periodes;
 - kijkend naar de verschillende gemalen, is voor de meeste gemalen een piek te zien (februari 2016) rond hetzelfde tijdstip, wat aangeeft dat het hier inderdaad flink heeft geregend;
 - mogelijk kunnen deze gemalen minder goed met extreme hoeveelheden regen omgaan t.o.v. de andere gemalen waar ze 'slechts' 15-20 uur bezig zijn. Dit is een aanname, omdat geen neerslaggegevens gebruikt worden.

Gemiddeld aantal draaiuren

Bevindingen:

- gemalen Broekhuizen en Meerlo hebben gemiddeld meer draaiuren per dag dan de overige gemalen (3 in plaats van rond de 1 uur per dag);
- gemaal Wanssum heeft een stijging in het gemiddeld aantal draaiuren in 2016 ten opzichte van 2013-2015. Dit is te verklaren door middel van paragraaf 3.10 (instellingen Wanssum).

Totaal aantal draaiuren

Er is ook gekeken naar het totaal aantal uren dat de pompen aan zijn geweest (optelsom van de twee pompen per gemaal). De resultaten hiervan zijn te zien in tabel 3.6.

Tabel 3.6 Totaal aantal draaiuren pompen aan

	Totaal aantal draaiuren	% tijd aan in periode van 5 maanden
Wanssum	882,12	24,50 %
Meerlo	1511,89	42,00 %
Well	832,02	23,11 %
Wellerlooi	829,62	23,04 %
Blitterswijk	560,93	15,58 %
Broekhuizen	1738,32	48,29 %
Swolgen	690,96	19,19 %

Bevindingen:

- het valt op dat de pompen in gemalen Meerlo en Broekhuizen 20 % meer aan geweest zijn ten opzichte van de andere gemalen gedurende de toetsperiode. Mogelijke oorzaken zijn dat bij het dimensioneren andere overwegingen zijn gebruikt voor deze gemalen of dat ze andere specifieke parameters gebruiken.

Bruikbaarheid PI

Het aantal aaneengesloten draaiuren van deze PI is goed te gebruiken om inzicht te krijgen of er pompen langer dan 'normaal' achter elkaar aan zijn. Zo ja, dan kan dit duiden op problemen met de pomp. Het gemiddeld en het totaal aantal draaiuren geeft een indicatie in hoeverre de pompen (nog) goed gedimensioneerd zijn. Deze PI geeft geen inzicht in de conditie van de leidingen.

3.9 Bedrijfsmodus gemalen (bijlage I.10)

Formule en randvoorwaarden

De bedrijfsmodus wordt berekend door

$$\sum_{H_k \geq H_{IN2}} t_s$$

Als randvoorwaarde is gesteld dat de waarde enkel wordt berekend wanneer het betreffende gemaal het enige gemaal is welke in RWA-conditie is.

- $H_k \geq H_{IN2}$ voor het betreffende gemaal;
- $H_k < H_{IN2}$ voor de overige gemalen.

Resultaten

Voor deze indicator is de aaneengesloten duur dat een gemaal zich als enige in RWA-conditie bevindt uitgezet tegen de tijd.

Als een gemaal als gevolg van neerslag zich in RWA-conditie bevindt, is te verwachten dat deze regenval ook bij andere gemalen aanwezig is en deze zich ook in RWA-conditie bevinden. Indien een gemaal gedurende langere tijd als enige gemaal zich in RWA-conditie bevindt, duidt dit mogelijk op de aanwezigheid van rioolvreemd water.

Bevindingen:

- weinig bijzonderheden;
- aantal sporadische pieken waar geen directe correlatie te herleiden is;
- Wellerlooi heeft in de periode 2013-2015 veel datapunten, maar dit is te verklaren door de instellingen die veranderd zijn in 2016 (zie paragraaf 3.10).

Bruikbaarheid PI

Uit de huidige dataset kan niet vastgesteld worden of de PI bruikbaar of niet is. Er is in deze periode namelijk geen grote variatie te zien. Een foutief werkende pomp kan op basis van deze informatie wellicht wel achterhaald worden. Daarnaast geeft het een indicatie of er rioolvreemd water in het systeem zit. Deze PI geeft geen indicatie over de conditie van de leiding.

3.10 Waterniveau (bijlage I.11)

Formule en randvoorwaarden

Het waterniveau wordt bepaald door de niveaumeting:

$$H_k$$

Hiervoor zijn geen randvoorwaarden aanwezig.

Resultaten

Voor deze indicator is het waterniveau tegen de tijd uitgezet. Deze grafiek geeft inzicht in de besturingsregeling van een gemaal. Met behulp van inschakelniveau 1 en 2 en bijbehorende uitschakelniveaus wordt inzichtelijk of een gemaal de toevoer van water goed genoeg kan verpompen. De 'onderkant' van de blauwe grafiek laat namelijk zien wat het uitschakelniveau is (daarna neemt het waterniveau namelijk weer toe), de bovenkant van de grafiek komt overeen met inschakelniveau 1. De rode lijn is inschakelniveau 2 en is het moment dat de afnameverplichting gevraagd wordt.

Om te zien of een niveaumeting wel of niet goed genoeg teruggeplaatst is, kan gekeken worden naar de volgende aspecten:

- te laag geplaatste niveaumeting. Meetwaardes zijn hoger dan het waterniveau voor overstort. Dit is enkel mogelijk wanneer de sensor te laag geplaatst is;
- te hoog geplaatste niveaumeting. Hiervoor moet inzicht zijn van overstortmomenten in het verleden. Op basis hiervan is de lengte tussen inschakelniveau 1 en hoogste piek vast te stellen. Vervolgens is er een overstortmoment nodig in de huidige periode en door de lengtes naast elkaar te leggen is te zien of deze verschoven is (de lengte zou kleiner geworden moeten zijn).

Bevindingen:

- er zijn aanpassingen gemaakt in de instellingen van gemalen:
 - instelling voor afschakelniveau is verlaagd voor gemaal Wanssum (overgang 2015-2016);
 - instellingen voor in- en afschakelniveau zijn verlaagd voor gemaal Wellerlooi (overgang 2015-2016), hierdoor komen veel minder vaak RWA-condities voor in 2016;
 - instelling voor afschakelniveau is verhoogd voor gemaal Swolgen (overgang 2013-2015).
- er komen een aantal nulpunten voor. Dit zijn hoogstwaarschijnlijk momenten met een communicatiestoring of sensorstoring. Met behulp van deze PI is dit goed te zien omdat nulwaardes voor niveaumeting in principe niet mogelijk zijn;
- er zijn een aantal lange periodes (>1 uur) waarbij het overstortniveau gehaald is voor gemalen Wanssum en Well in 2015 (een lange periode waarbij waterniveau gelijk blijft op een hoog niveau). Dit komt overeen met het feit dat er leidingbreuken waren en de pompen buiten bedrijf zijn geweest.

Bruikbaarheid PI

Met behulp van deze PI is goed te zien of de aansturing doet wat het moet doen. Op het moment dat deze aansturing niet klopt, dan kan dat een indicatie zijn dat er iets mis is met de pomp. Daarnaast kan gecontroleerd worden of communicatiestoringen zijn doorgegeven met behulp van de nulpunten, al zijn hiervoor ook separate foutmeldingen beschikbaar. Als laatste kan deze PI ook inzicht geven over het wel of niet goed terugplaatsen van de niveaumeting na vervanging/onderhoud. Deze PI geeft geen inzicht in de conditie van de leiding.

3.11 Onderlinge pompverschillen

Formule en randvoorwaarden

Voor de onderlinge pompverschillen wordt gekeken naar het totaal aantal draaiuren per pomp en het verschil hiertussen.

$$\frac{DU_1 - DU_2}{DU_2}$$

Hiervoor zijn geen randvoorwaarden aanwezig.

Resultaten

In de individuele PI's worden de individuele pompen reeds gepresenteerd in de grafieken (specifiek stroomverbruik, leidingconditie, pompcurves). Hieruit zijn weinig verschillen op te maken en indien er verschillen zijn, zijn die behandeld bij de specifieke PI. Het enige grote verschil voor de pompen is te vinden in het aantal operationele pompuren. In tabel 3.7 is dit verschil te zien.

Tabel 3.7 Verschil in totaal aantal draaiuren pompen

	Totaal aantal draaiuren pomp 1	Totaal aantal draaiuren pomp 2	Verschil
Wanssum	444,31	437,81	1,48 %
Meerlo	776,53	735,37	5,60 %
Well	450,16	381,86	17,89 %
Wellerlooi	478,21	351,41	36,08 %
Blitterswijk	274,15	286,78	-4,40 %
Broekhuizen	881,69	856,63	2,93 %
Swolgen	374,78	316,18	18,53 %

Bevindingen:

- groot verschil (> 10 %) in onderlinge draaiuren voor de pompen van gemalen Well en Swolgen, onduidelijk waarom dit verschil er is;
- zeer groot verschil in onderlinge draaiuren voor gemaal Wellerlooi, dit is echter te verklaren omdat één van de pompen van Wellerlooi voor een periode in 2016 buiten gebruik was.

Bruikbaarheid PI

Voor deze PI wordt uiteindelijk alleen gekeken naar de onderlinge draaiuren van de pompen. De overige onderlinge verschillen worden bij andere PI's behandeld. Het is de verwachting dat de pompen gelijkmatig gebruikt worden binnen een gemaal. Een verschil in het aantal draaiuren kan een indicatie zijn dat er problemen zijn geweest met één van de pompen. Hierdoor kan deze PI wellicht bruikbaar zijn om iets te zeggen over de pompen. Deze PI heeft geen directe relatie met de leidingen.

3.12 Drukgebaseerde leidingbreukdetectie (bijlage I.12)

Formule en randvoorwaarden

De drukgebaseerde leidingbreukdetectie wordt bepaald door de drukmeting:

$$p$$

Als randvoorwaarde wordt gesteld dat de waarde alleen wordt berekend indien er geen substantieel debiet wordt verpompt:

- $Q \leq 1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Resultaten

Voor deze indicator is de gemiddelde druk tegen de tijd uitgezet. Deze gemiddelde druk is gebaseerd op een bewegend gemiddelde over een periode van 5 minuten om korte pieken weg te filteren, maar wel zodanig dat problemen nog tijdig opgemerkt kunnen worden. Het lager worden van de waarde van de druk geeft een indicatie voor mogelijke problemen met de leiding, of mogelijk de aanwezigheid van een leidingbreuk.

Bevindingen:

- er is een leidingbreuk te zien rond meetpunt dag 50-55:
 - druk gaat naar ongeveer de helft van de standaard gemiddelde druk binnen een korte tijd;
 - dit gedrag is te zien bij meerdere gemalen (gemalen zijn aan elkaar verbonden);
 - op basis van tijdsverschillen tussen wijzigingen in druk van verschillende gemalen is mogelijk op te maken waar ongeveer de locatie van de leidingbreuk is.

Bruikbaarheid PI

Op basis van de voorkennis van de leidingbreuk en de meetgegevens is goed te herleiden wanneer deze heeft plaatsgevonden. Deze PI zegt dus iets over mogelijke leidingbreuk op het moment dat deze heeft plaatsgevonden. Afhankelijk van de locatie van breuk en het aantal bewoners in deze omgeving, is het sneller te meten dan via een storingsmelding binnenkrijgen. Daarnaast kan de pomp ook sneller worden uitgezet. De PI zegt niks over de conditie van de pompen.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN TOETSING

4.1 Conclusies

4.1.1 Bruikbaarheid PI's

In tabel 4.1 is een korte samenvatting van de bruikbaarheid van de verschillende PI's die zijn getoetst op basis van de beschikbare meetdata.

Tabel 4.1 Overzicht bruikbaarheid PI's

Nr.	Prestatie-indicator	Bruikbaarheid n.a.v. toetsing meetdata			
		Algemeen	Pomp	Leiding	Inzicht in
1	afnameverplichting	ja	nee	nee	het wel of niet voldoen aan afnameverplichting
2	maximaal haalbaar debiet	nee	nee	nee	niet bruikbaar als PI
2a	FO-uitsturing	nee	ja	nee	problemen met aansturing pompen
3	specifiek energieverbruik	ja	indirect	indirect	grote pieken kunnen duiden op problemen met pomp/leiding
6	leidingconditie	nee	nee	ja	mogelijke toename weerstand leidingen
8	afwijking pompcurve	nee	?	?	nog te weinig informatie om hier definitief iets over te zeggen
12	storing top 10	ja	ja	ja	trends van storingen en alarmen over tijd
14	draaiuren	nee	?	nee	nog te weinig informatie om hier definitief iets over te zeggen
15	bedrijfsmodus gemalen	?	?	nee	nog te weinig informatie om hier definitief iets over te zeggen
17	waterniveau	ja	indirect	nee	inzicht in correcte werking aansturing, niveaumeting goed of verkeerd geplaatst.
18	onderlinge pompverschillen	nee	?	nee	nog te weinig informatie om hier definitief iets over te zeggen
19	drukgebaseerde leidingbreukdetectie	nee	nee	ja	indicatie van aanwezigheid leidingbreuken

Samengevat:

- 1 er zijn 7 PI's die bruikbaar zijn;
- 2 er zijn 4 PI's die nader onderzoek vragen;
- 3 er zijn 8 PI's die niet getoetst zijn.

Ad 1.

Deze PI's geven voor pompen en leidingen inzicht dat er 'iets' mis is met het object. In een deel van de gevallen is duidelijk wat er aan de hand is. In een deel van de gevallen is dat niet te achterhalen op basis van de ons beschikbare informatie. WBL kan dat mogelijk zelf wel. Daarnaast kan op basis van voorlopige data wellicht drempels aangegeven worden die gebruikt kunnen worden voor toepassing binnen de CRK.

Ad 2.

Daarnaast zijn er een aantal PI's waar met de huidige informatie geen uitspraak kan worden gedaan over de bruikbaarheid. Op basis van de huidige set aan gegevens kan als voorlopige conclusie worden getrokken dat er weinig degradatie te zien is over de tijdsplan die is geanalyseerd. Door ontbrekende tijdsplannen zijn mogelijke degradaties niet te zien, die wellicht weer opgelost worden door onderhoud. Dit betekent niet dat de PI's niet bruikbaar zijn. Indien meer meetgegevens aanwezig zijn van een langere, aaneengesloten periode, kan met grotere zekerheid de analyse gedaan worden en kunnen verbeterde conclusies getrokken.

Ad 3.

Deze PI's zijn niet getoetst omdat de meetsensoren hiervoor ontbreken. Indien het een faalmechanisme met een hoog risico betreft (veel voorkomen c.q. veel impact) kan worden overwogen hiervoor te investeren.

4.1.2 KPI afnameverplichting

De KPI afnameverplichting kan zeer waardevol zijn en een goede indicatie geven over de status van de gemalen. De berekende KPI's voor de pilotgemalen geven momenteel geen acceptabele waarden. Hiermee kan het voldoen aan de afnameverplichting niet worden aangetoond. De centrale vraag is of WBL voor deze gemalen inderdaad niet voldoet, of dat er een andere definitie en/of berekening kan worden gehanteerd. Die conclusie kan nu niet worden getrokken.

4.1.3 Data

In paragraaf 2.3 zijn de beperkingen aan de beschikbare data weergegeven. Samengevat komt dit neer op:

- beschikbaarheid data:
 - geen additionele data (bijvoorbeeld onderhoud, neerslag);
 - geen langjarige data;
 - geen kortere sampletijd;
- correctheid data:
 - geen controle op juist ontwerp gemalen;
 - geen vergelijking met theoretische referentiewaarden;
 - geen controle op correct functionerende en ingestelde meetapparatuur;
 - geen controle van bewerking van data;
 - geen validatie van data.

Specifiek zijn de volgende zaken opgevallen:

- debietmeting heeft een ander tijdsinterval dan de overige sensoren, wat zorgt voor een verminderde betrouwbaarheid. Meetwaarden van andere sensoren veranderen namelijk wel terwijl de debietmeting gelijk blijft;
- gewijzigd inschakelpeil 2 voor gemaal Wellerlooi in 2016, daarmee foutieve informatie in 2013 en 2015;
- er zit een verschil in het opnamemoment van de periodes. Voor 2013 is de maand mei beschikbaar, voor 2015 en 2016 de maanden januari en februari. Neerslag is mogelijk anders in deze maanden;
- ontbrekende stroommetingen:
 - voor één pomp van gemaal Wanssum in periode 2015;
 - voor één pomp van gemaal Blitterswijk in periode 2013;
 - voor één pomp van gemaal Swolgen in periodes 2013-2016.

Met meer data en zekere data kunnen betrouwbaardere uitspraken worden gedaan over bruikbaarheid van PI's en de oorzaken van afwijkingen. Met het operationaliseren van PI's in de bedrijfsvoering, worden beschikbare en correcte data wezenlijk belangrijker in de dagelijkse praktijk.

4.1.4 Procesautomatisering en alarmmanagement

Daarnaast hebben we vastgesteld dat er in de procesautomatisering verschillende alarmen opgenomen zijn die overlappen c.q. conflicteren met de PI's. We denken daarbij bijvoorbeeld aan maximale stilstand, debiet te laag, droogloop. Met de introductie van deze PI's in de praktijk moet hier rekening mee worden gehouden, omdat dit voor operators verstorend kan werken. Het alarm- en storingsmanagement in PA moet goed doordacht zijn zodat er een optimale aansluiting is op de PI's. Een praktische aanpak op basis van ISA18.2 kan hierin waardevol zijn.

4.1.5 PI's gemeentelijke gemalen

De achterliggende gedachte van de PI's is om meer in control te komen op het transportsysteem. Er is een goede stap gezet naar PI's voor de 150 rioolgemalen van WBL. De verwachting is dat het transportsysteem in omvang sterk zal uitbreiden door meer gemeentelijke gemalen (> 1.000). Het is goed te realiseren dat de meeste gemeentelijke gemalen minder sensoren beschikbaar hebben in hun gemalen. De grote gemalen kunnen vergelijkbaar zijn, de grote hoeveelheid kleinere waarschijnlijk niet. Daarnaast is het de vraag of lange termijn data beschikbaar zijn. De gepresenteerde PI's zijn zeker niet 1:1 hanteerbaar voor de gemeentelijke gemalen.

4.2 Aanbevelingen

4.2.1 Nader onderzoek PI's WBL gemalen

Om de bruikbaarheid van een aantal PI's aan te tonen is meer data nodig. Daarnaast vragen beschikbaarheid en correctheid van data meer aandacht. Aanbevolen wordt om dit nader op te pakken in een diepgaander onderzoek naar twee gemalen. Dat kunnen twee van de huidige gemalen zijn, maar ook twee compleet andere om zonder inzicht vooraf op basis van PI's aan te kunnen tonen welke problemen hier hebben gespeeld. Daarbij worden langjarige data gebruikt voor de PI's. Voor deze gemalen wordt ook een gedegen controle uitgevoerd op de beschikbaarheid en correctheid van de data en de oorzaken die daaraan ten grondslag liggen. Zo is de KPI afnameverplichting wel erg afhankelijk van de informatie die geleverd wordt door de sensoren voor debiet en niveau.

4.2.2 Pilot PI's operators

In praktijk ervaring op laten doen met (K)PI's door operators kan waardevolle informatie opleveren. Aanbevolen wordt hiervoor een pilot in te richten. In deze pilot richten we in de CRK pragmatisch een dashboard in met de KPI afnameverplichting en de al bruikbare PI's. Voor de KPI afnameverplichting wordt naast het getal de trend weergegeven van dit percentage op basis van bijvoorbeeld een weekgemiddelde (periode moet representatief zijn). Indien het percentage gelijk of hoger dan 100 % is, is het getal groen, bij 90-100 % geel en lager dan 90 % rood. Dit is dan een indicatie voor de operator om verder in detail te kijken naar een gemaal en de andere PI's. Keuze van definitie en berekening van de KPI afnameverplichting wordt hierin meegenomen.

4.2.3 Set PI's gemeentelijke gemalen

Alle gemalen ombouwen naar WBL-standaard is duur en kost tijd. Het kost minder inspanning een eenvoudiger set PI's voor gemeentelijke gemalen te ontwikkelen. Dat baseren we op gemalen van drie gemeenten waarvoor WBL het beheer en onderhoud uitvoert. Daarbij besteden we ook aandacht aan de beschikbare data uit deze gemalen.

Bijlage(n)

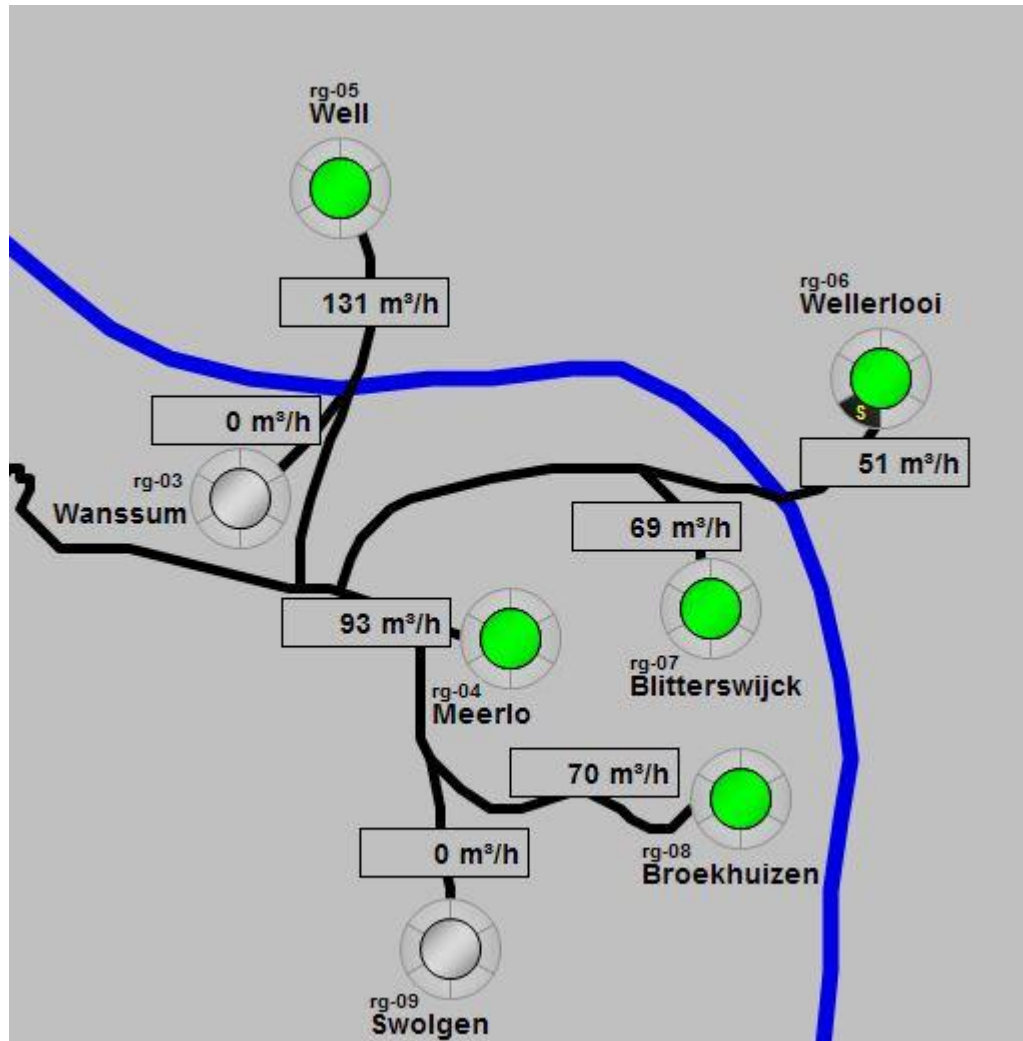
I

BIJLAGEN BIJ TOETSING KPI'S

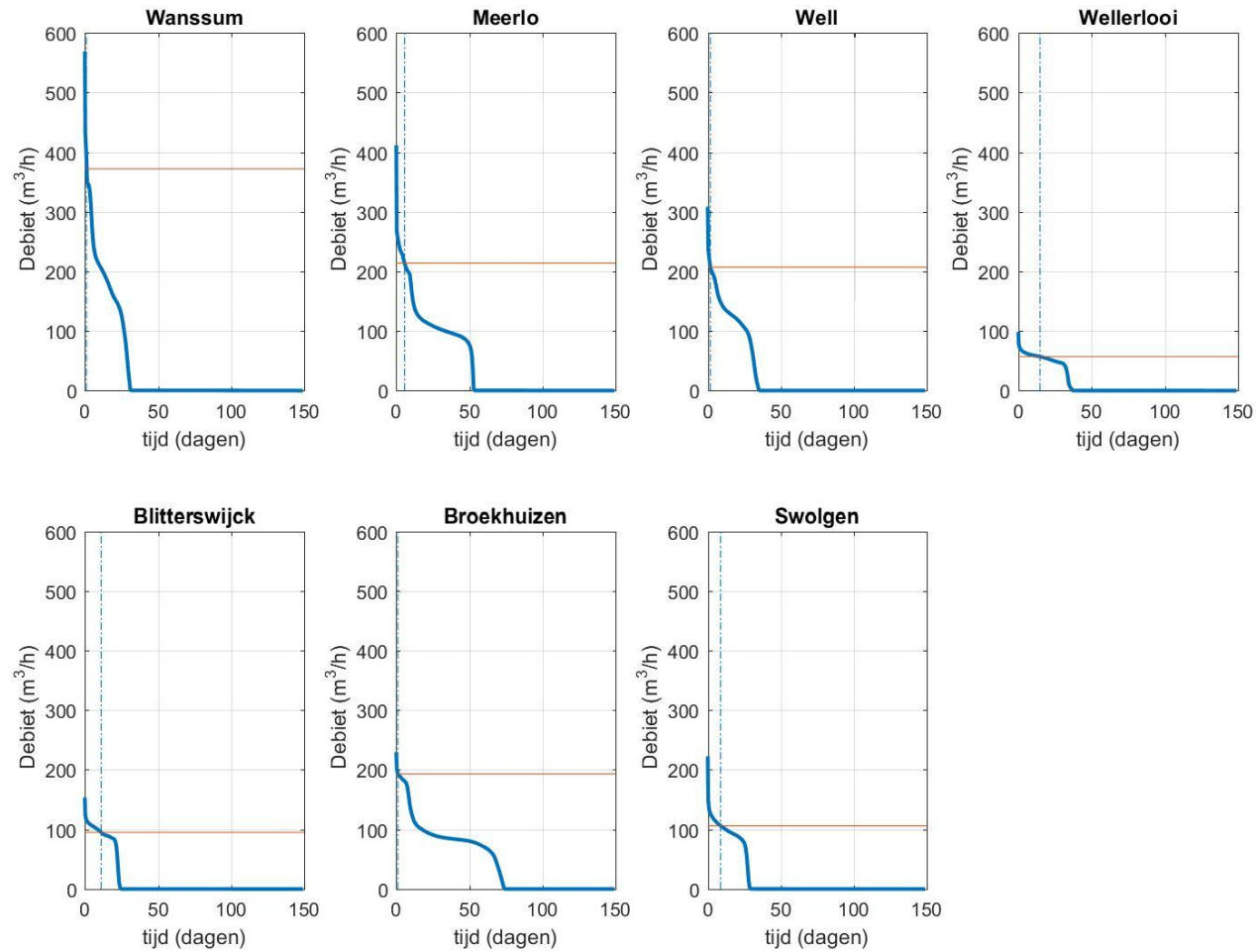
I.1 Instellingen gemalen afstromingsgebied Venray

Info	RG Wanssum	RG Well	RG Wellerlooi	RG Bitterswijck	RG Broekhuizenvorst	RG Swolgen	RG Meerlo
Afna.verpl. Dwa	165	91	21	27	85	27	49
Afna.verpl. Rwa	372	207	58	95	193	106	214
Pomp capaciteit	1 pomp: 300m ³ /h	1 pomp:120 m ³ /h	1 pomp: 70m ³ /h	1pomp :100m ³ /h	1pomp:70m ³ /h	1pomp:120m ³ /h	
	2 pompen: 460m ³ /h	2 pompen:220 m ³ /h			2pompen:200m ³ /h		2pompen:180m ³ /h
overstortpeil			13.50+NAP				
Oppervlakte natte kelder	14.4 m ²	3.8 m2	5.6m ²	3.88m ²	9.6m ²	20.6m ²	46.73m ²
Inschakelpeil	10.75 + NAP	10.50 +NAP	11.84 +NAP	11.65+NAP	8.70+NAP	14+NAP	11.60+NAP
Uitschakelpeil	10.40 _NAP	9.90 + NAP	11 +NAP	11.20+NAP	8.25+NAP	13.80+NAP	10.40+NAP
Onderdrempelbergings m ³	1050	175	99	558	852	1002	417
Gemaal type	samenloop	enkelloop	enkelloop	enkelloop	enkelloop	enkelloop	samenloop
T1 aanloop [s]	30	30	10	10	10	10	10
T1 uitloop [s]	45	10	5	15	3	15	10
T2 uitloop [s]	45	10	5	10	3	5	5
T3 uitloop [s]	45	60	5	5	3	5	5
Procent uitloop 1 [%]	70	70	90	90	90	90	90
Procent uitloop 2 [%]	10	30	60	60	60	60	60
Procent uitloop 3 [%]	0	25	30	30	30	30	30
laagwater in [mNAP]	9,64	9,25	10,8	10,85	8,1	12,6	10,2
laagwater uit [mNAP]	9,9	9,35	10,9	10,95	8,2	12,7	10,3
hoogwater uit [mNAP]	13,54	12,55	14,5	13,27	13,3	16,9	13,5
hoogwater in [mNAP]	13,74	12,65	14,5	13,27	13,5	17	13,7
inschakelpeil 1 in [mNAP]	10,75	10,5	11,84	11,65	8,7	14	11,6
inschakelpeil 2 in [mNAP]	11,05	10,7	11,89	11,8	9,05	14,5	11,8
uitschakelpeil 1 [mNAP]	10,4	9,9	11	11,2	8,25	13,8	10,4
uitschakelpeil 2 [mNAP]	10,4	9,9	11	11,5	8,25	13,8	10,4
QDWA [m3]	180	120	57	95	70	106	100
QRWA1 [m3]	372	207	57	95	193	106	214
Q_capaciteit 1 [m3]	300	120	70	100	70	100	180
Q_capaciteit 2 [m3]	460	220	80	100	200	120	180
q hysteresis [m3]	50	10	5	10	10	200	30
I nominaal pomp 1 [A]	115	74	40	74		40	34
I nominaal pomp 2 [A]	115	100	40	74		40	34

I.2 Configuratie afstromingsgebied Venray

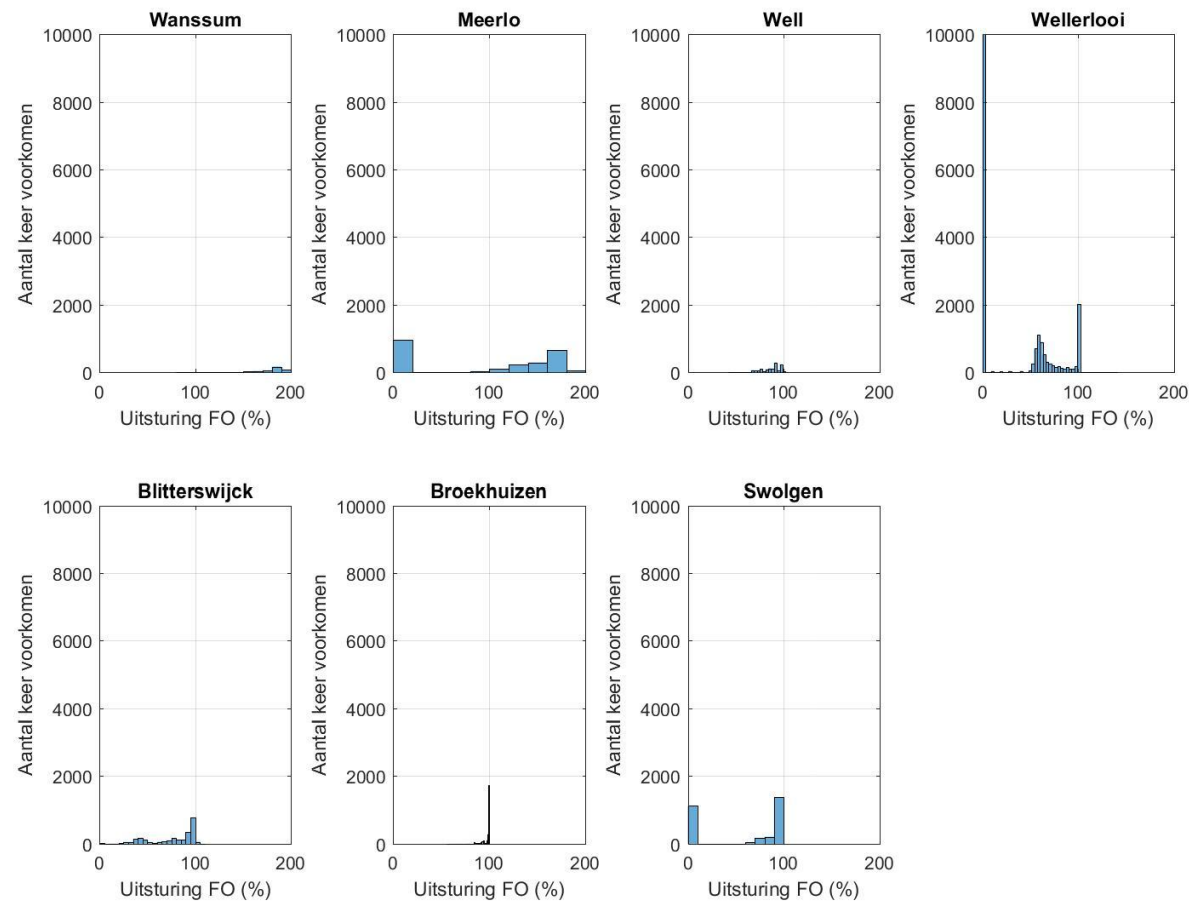


I.3 Belastingjaarcurve gemalen

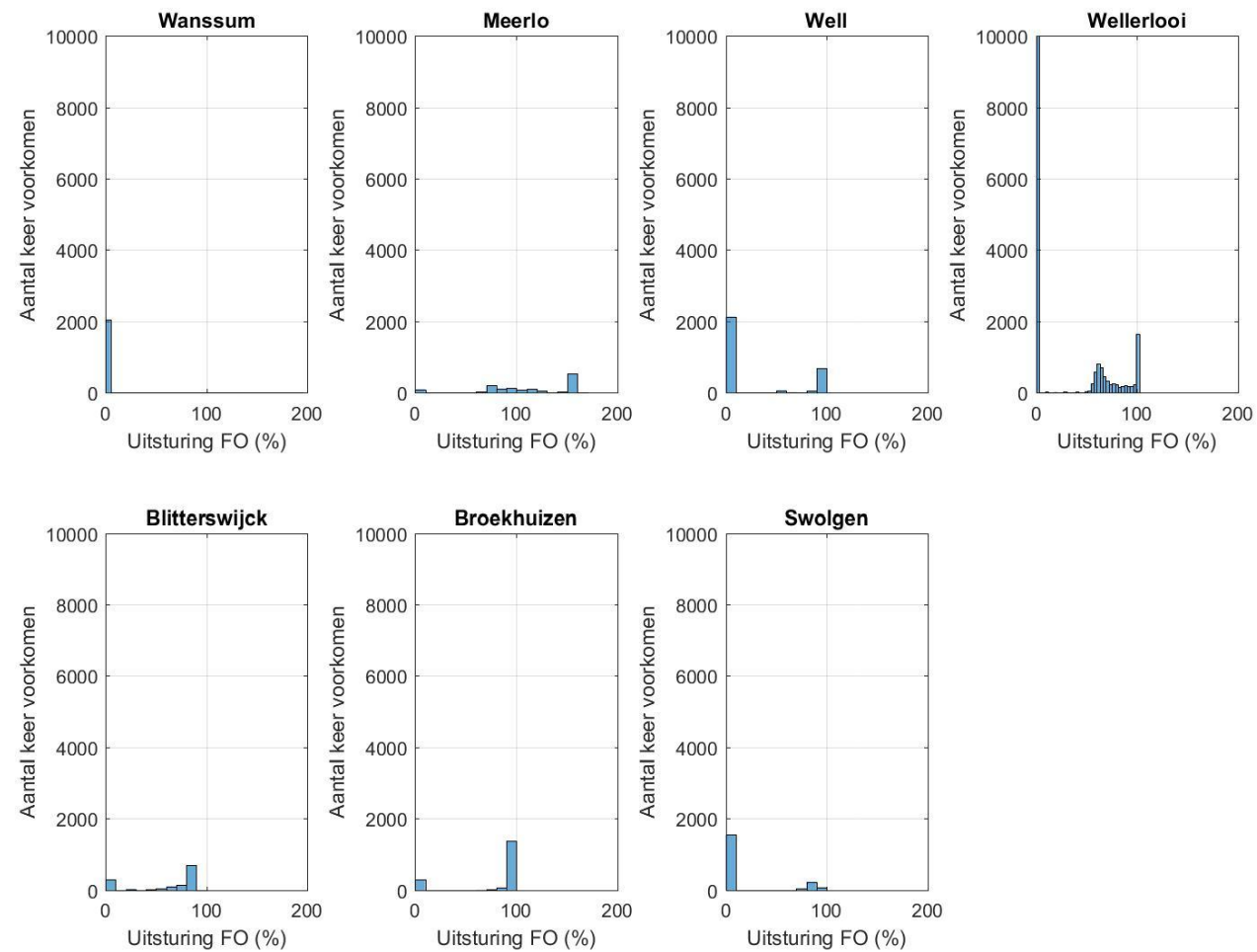


I.4 Frequentie van FO-uitsturingen

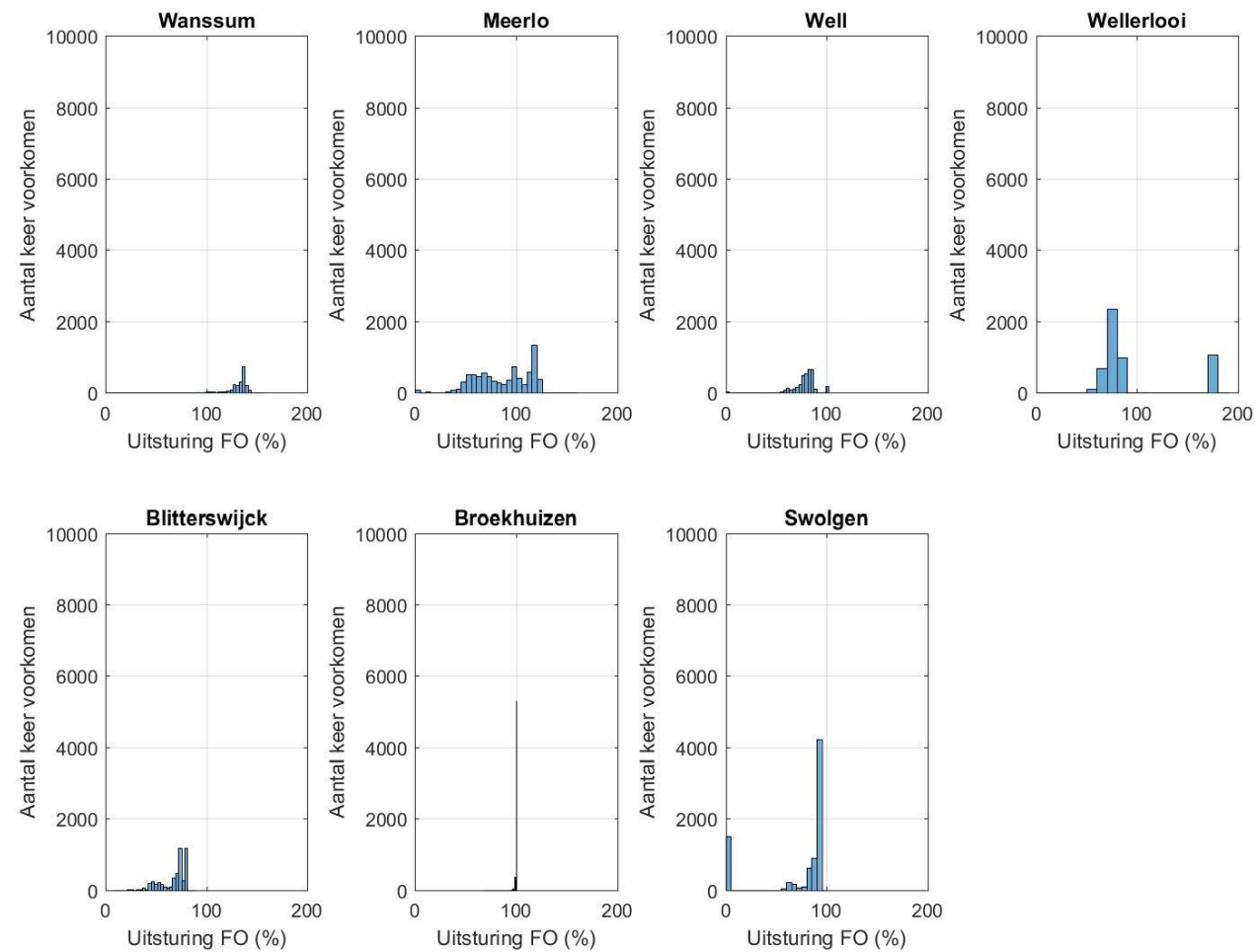
Afbeelding I.1 Frequentie van FO-uitsturing in RWA-conditie (2013)



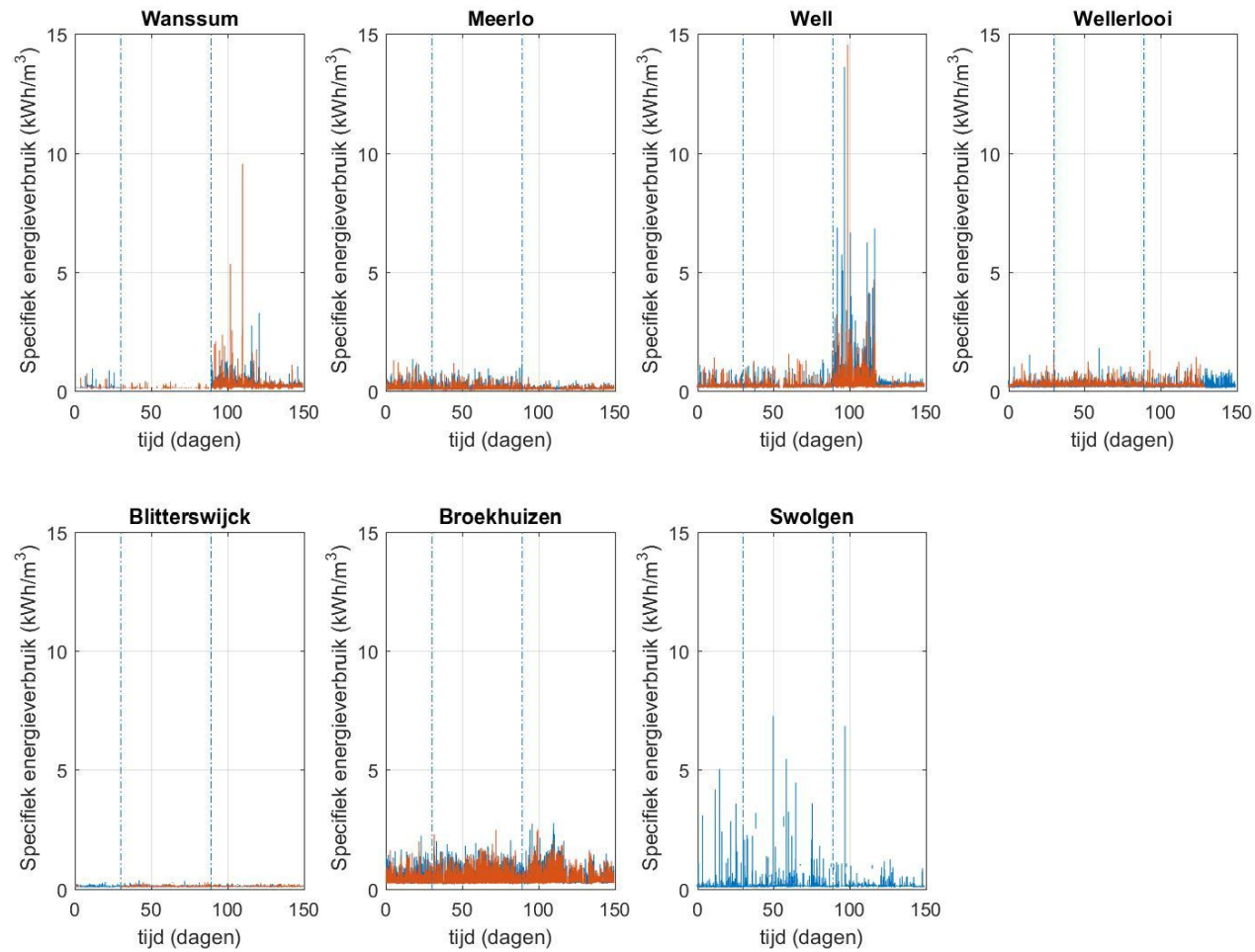
Afbeelding I.2 Frequentie van FO-uitsturing in RWA-conditie (2015)



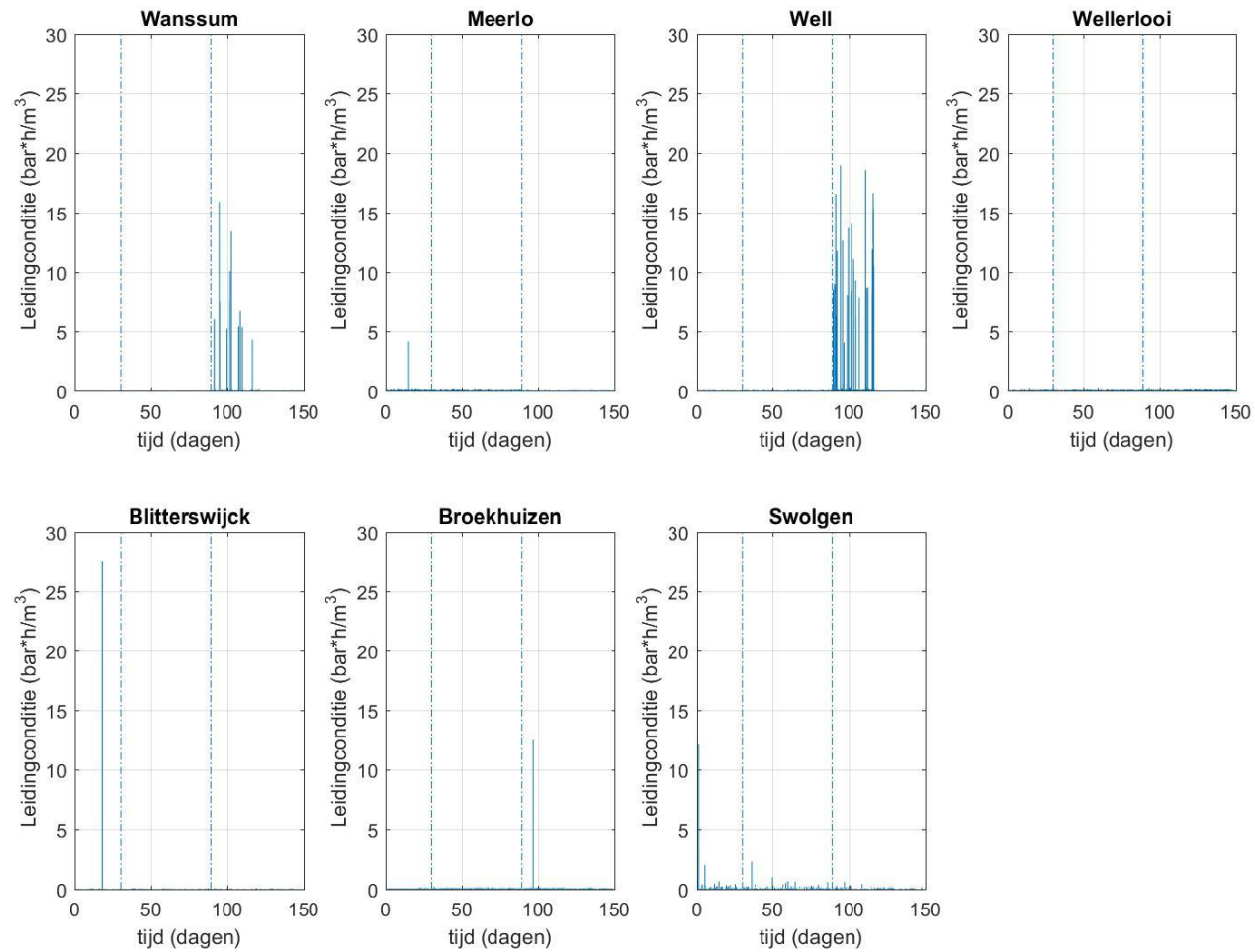
Afbeelding I.3 Frequentie van FO-uitsturing in RWA-conditie (2016)



I.5 Specifiek energieverbruik

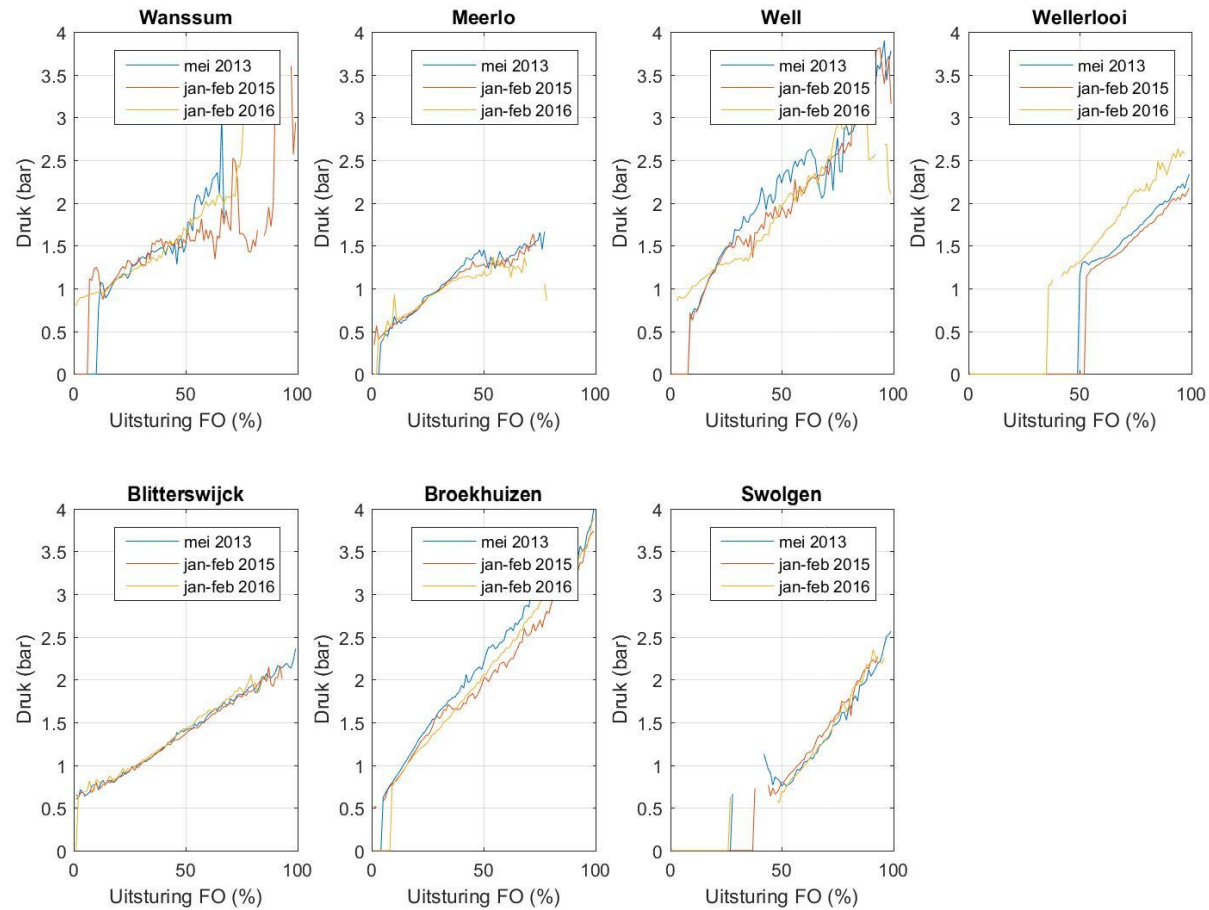


I.6 Leidingconditie

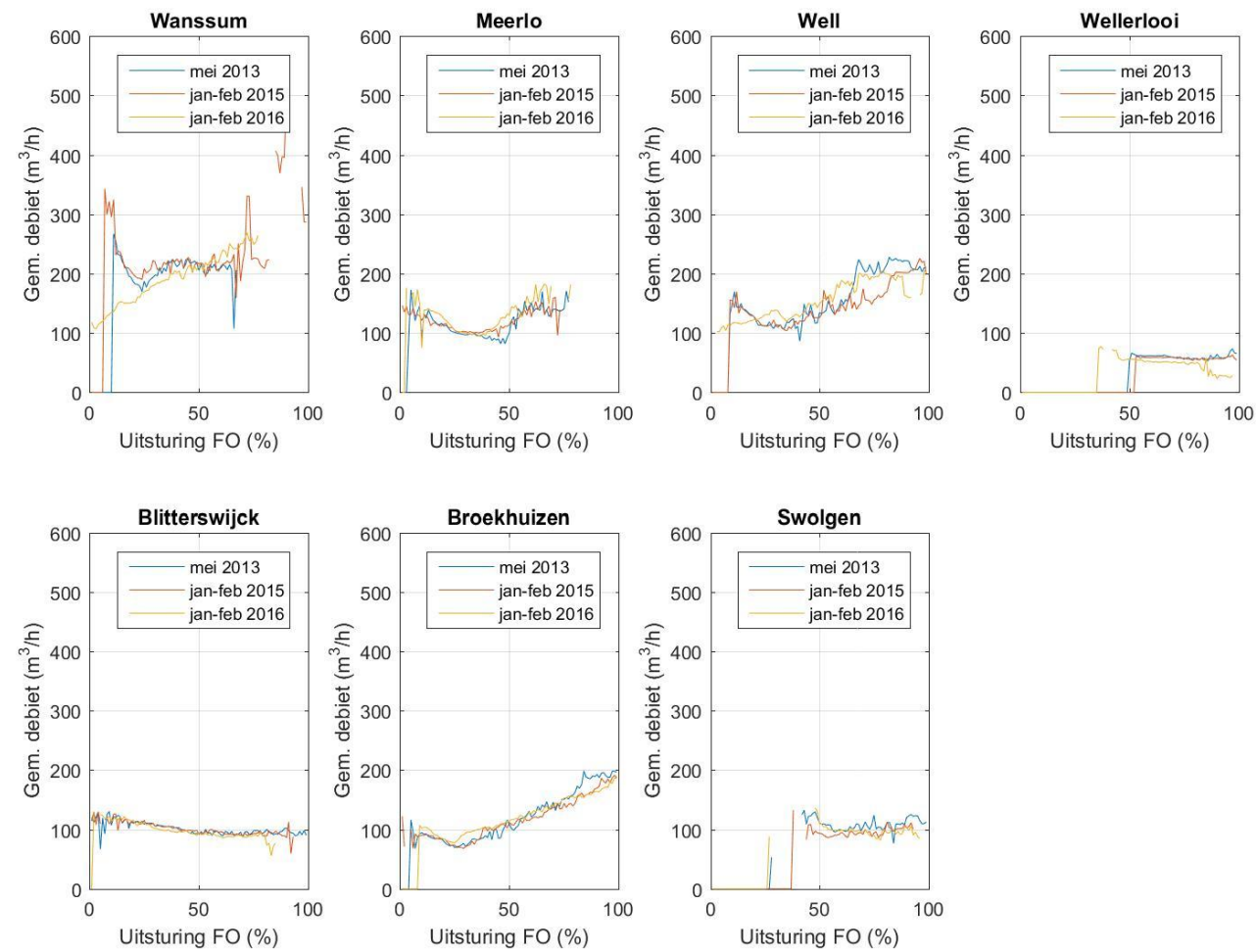


I.7 Pompcurves

Afbeelding I.4 Druk vs FO



Afbeelding I.5 Gemiddelde debiet vs FO

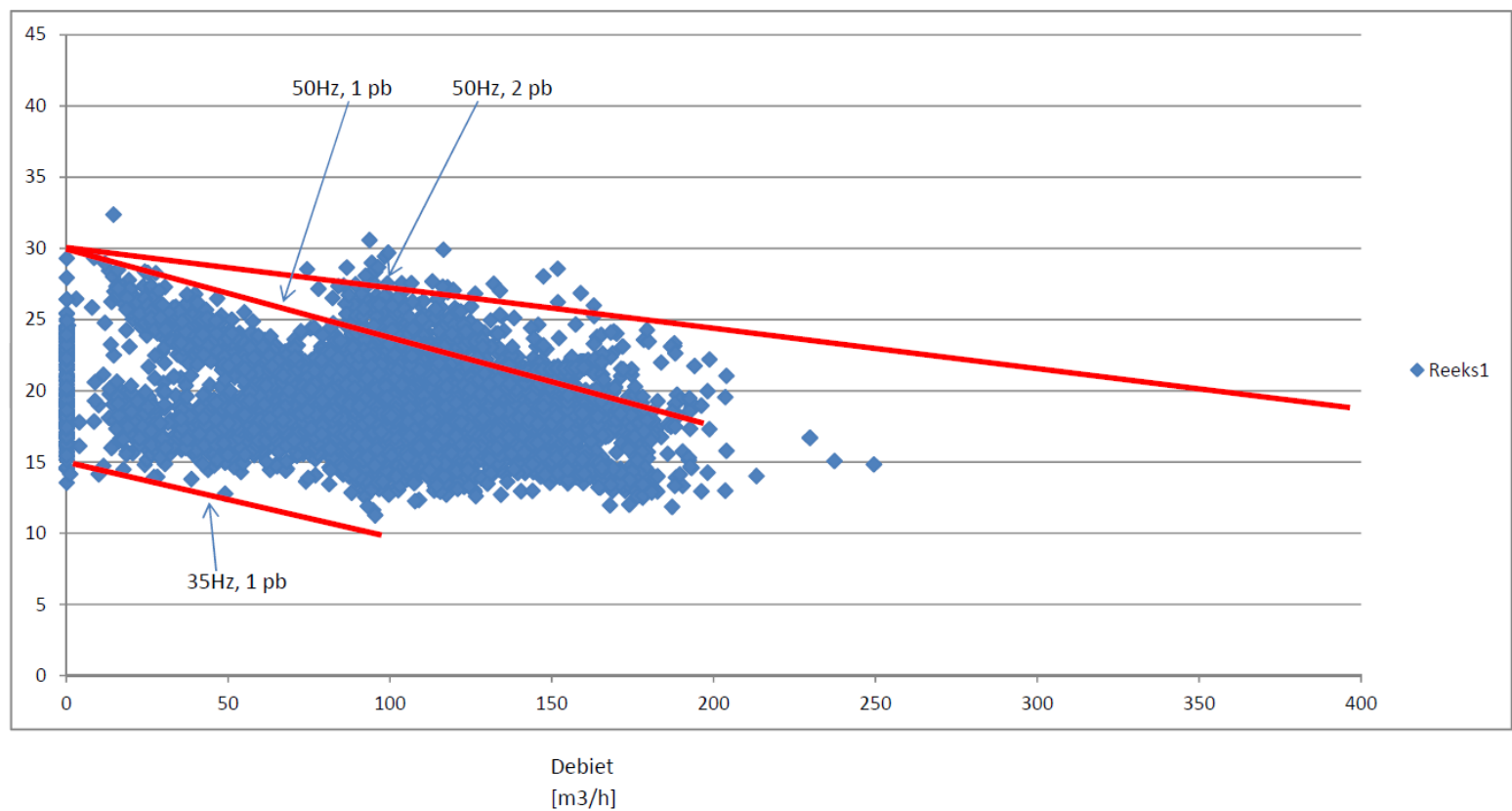


Afbeelding I.6 Q/H curve Een-pompsbedrijf

Rioolgemaal Meerlo
2015
Een-pompsbedrijf

Hmanometrisch (schatting)
[mwk]

Q/H-curve

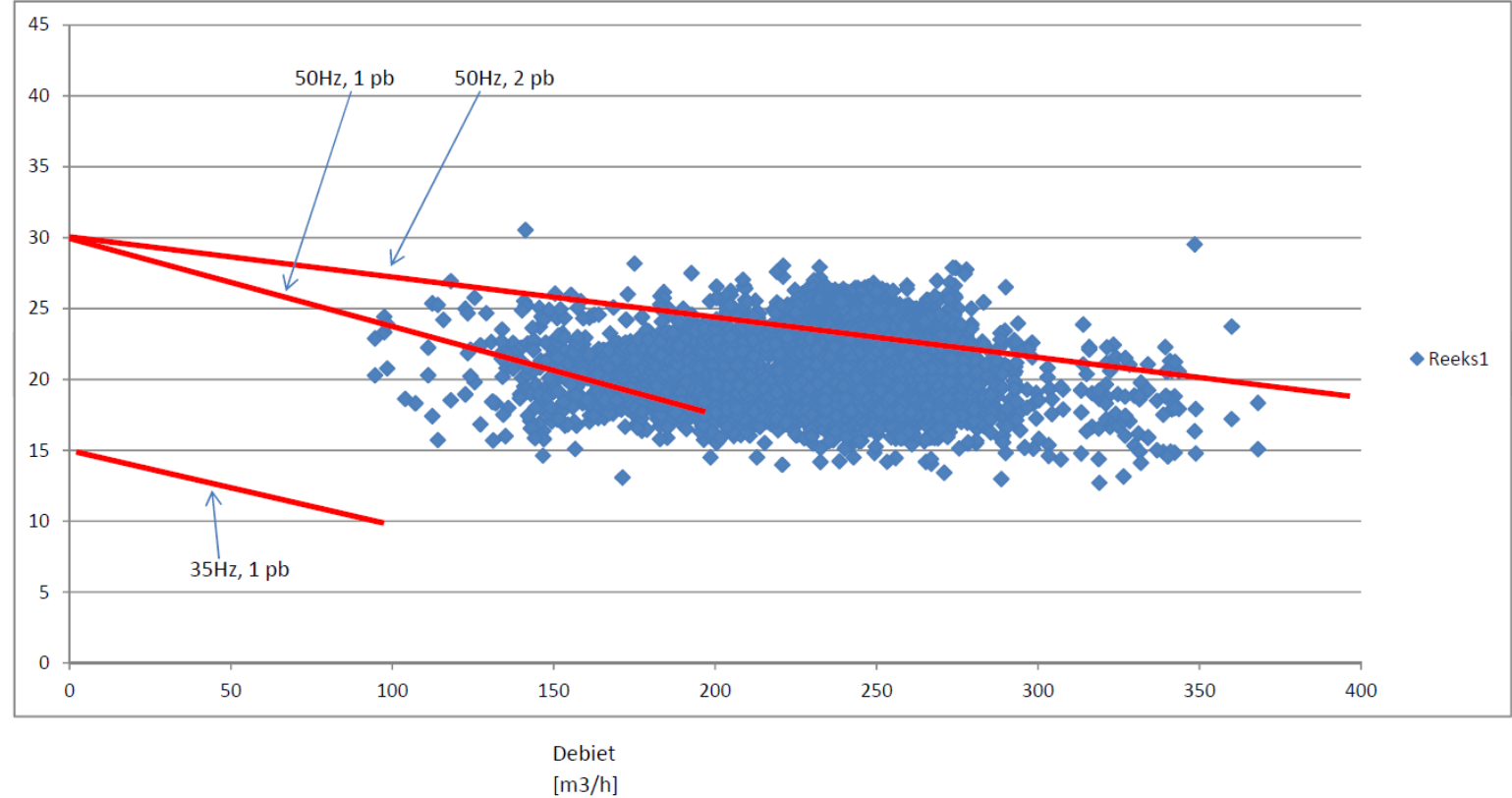


Afbeelding I.7 Q/H curve Twee-pompsbedrijf

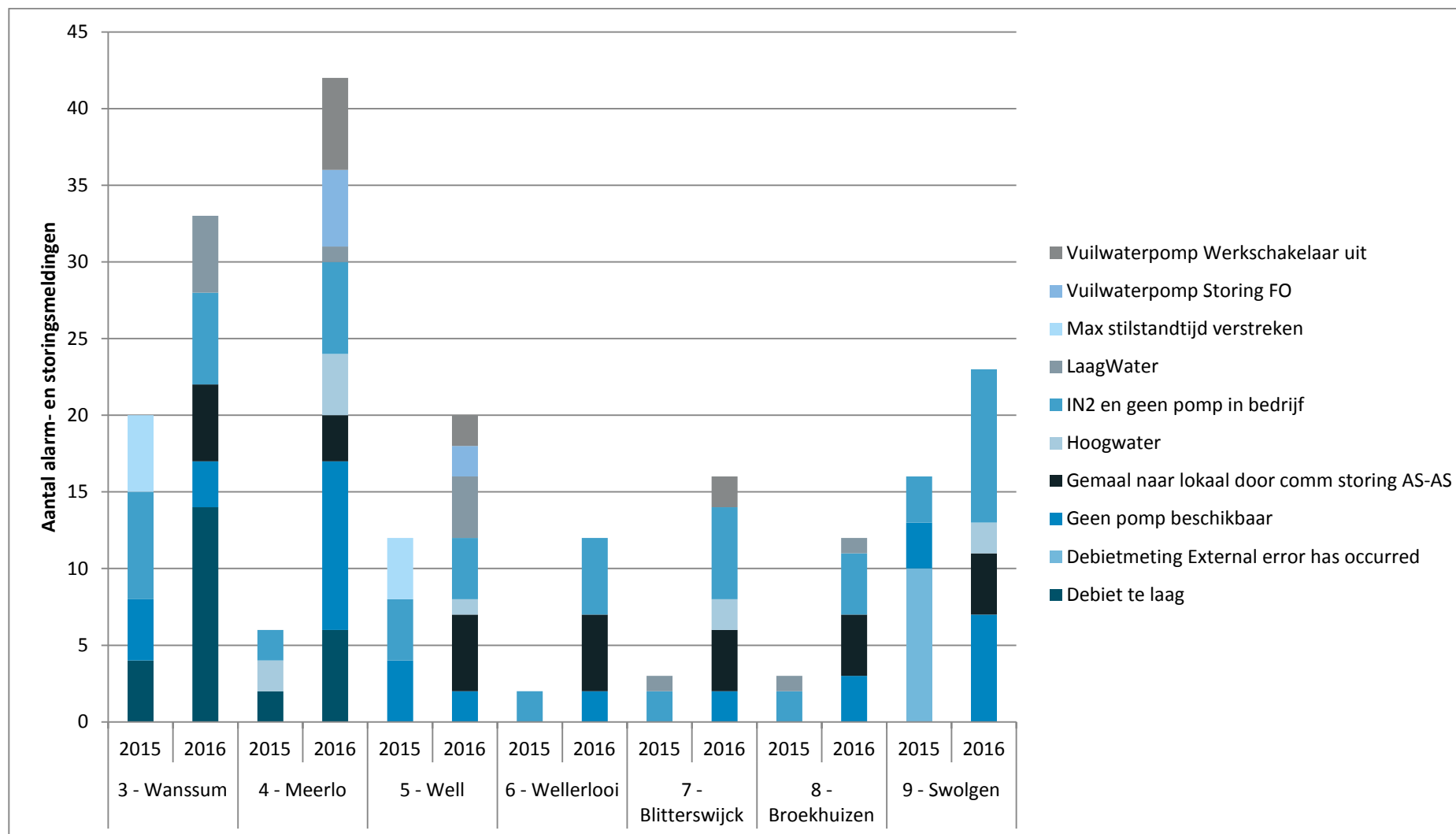
Rioolgemaal Meerlo
2015
Twee-pompsbedrijf

Hmanometrisch (schatting)
[mwk]

Q/H-curve

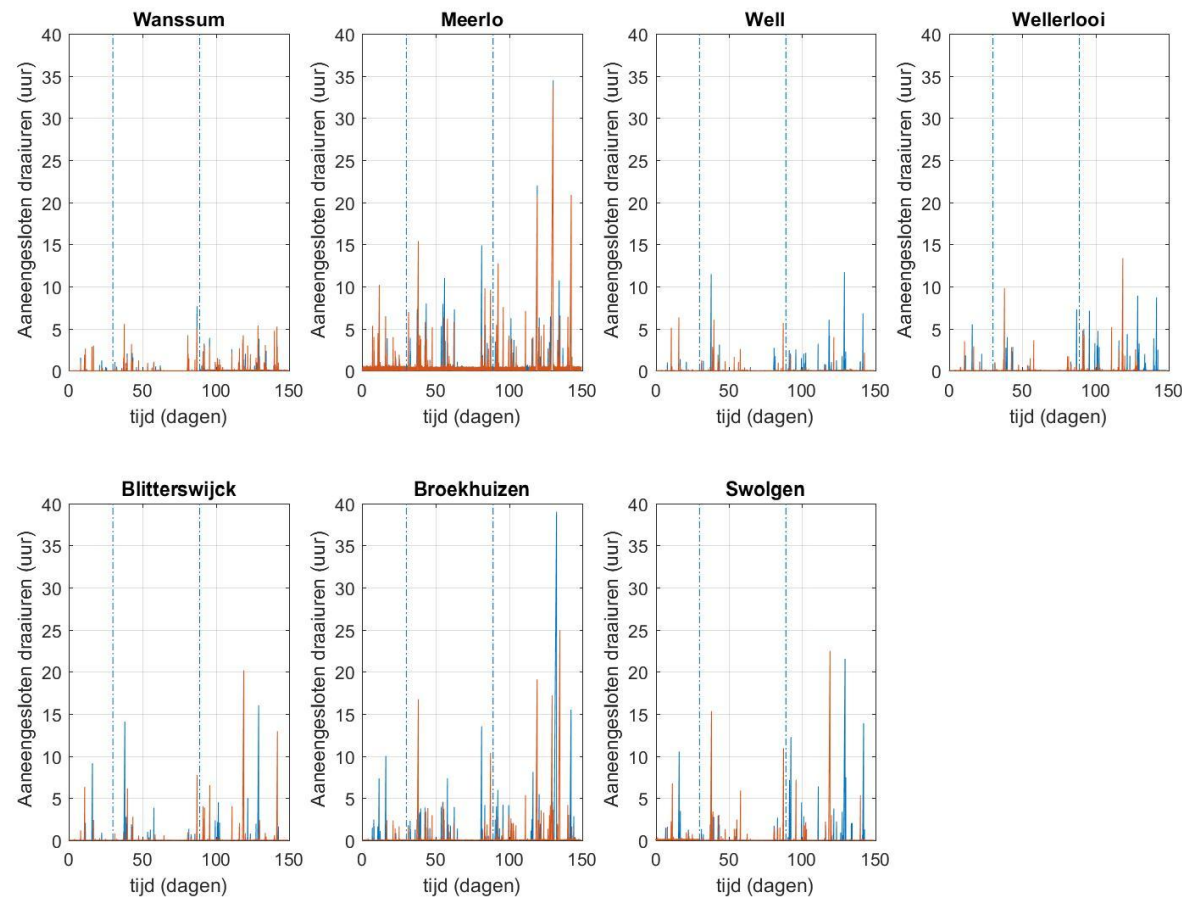


I.8 Storing top 10

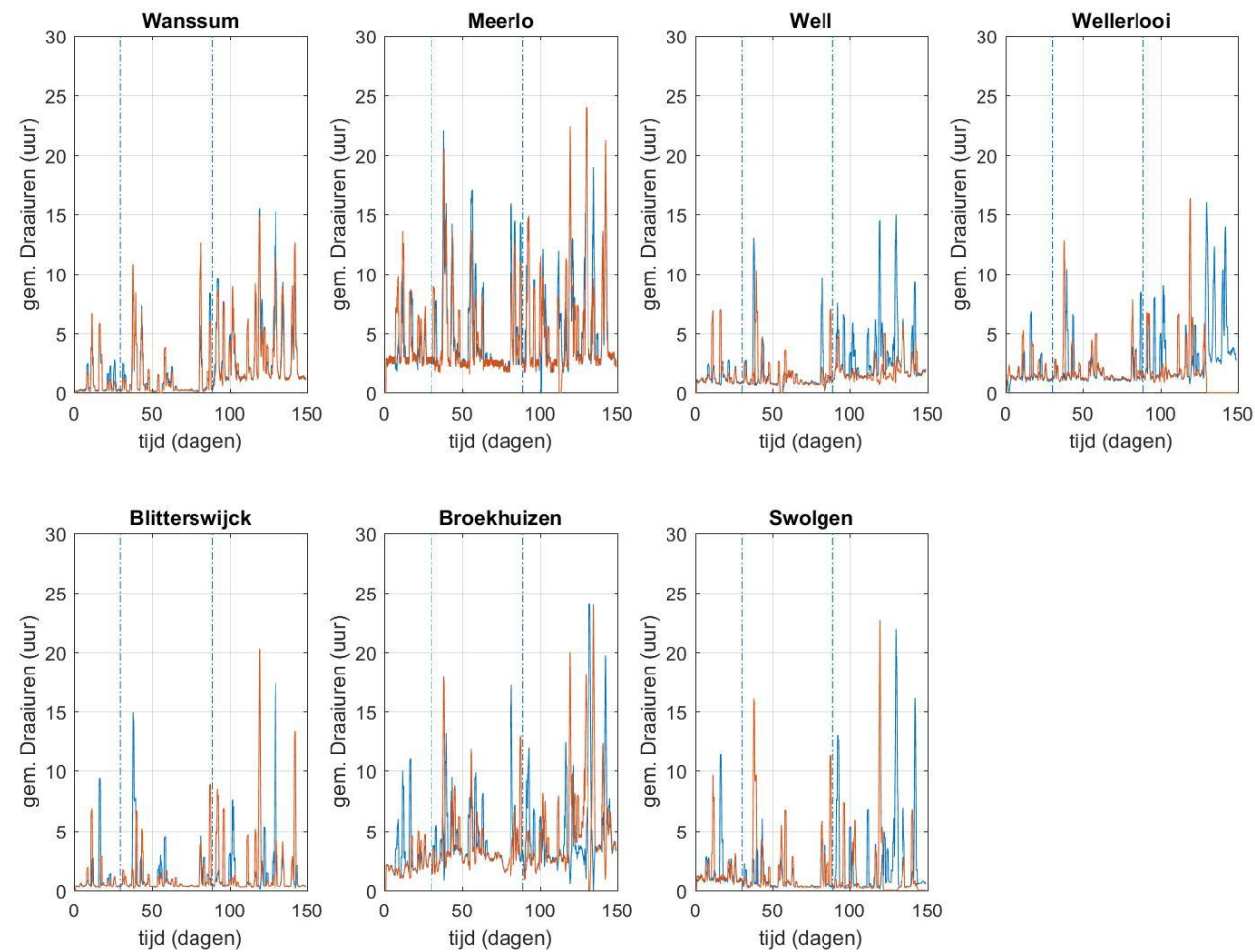


I.9 Draaiuren

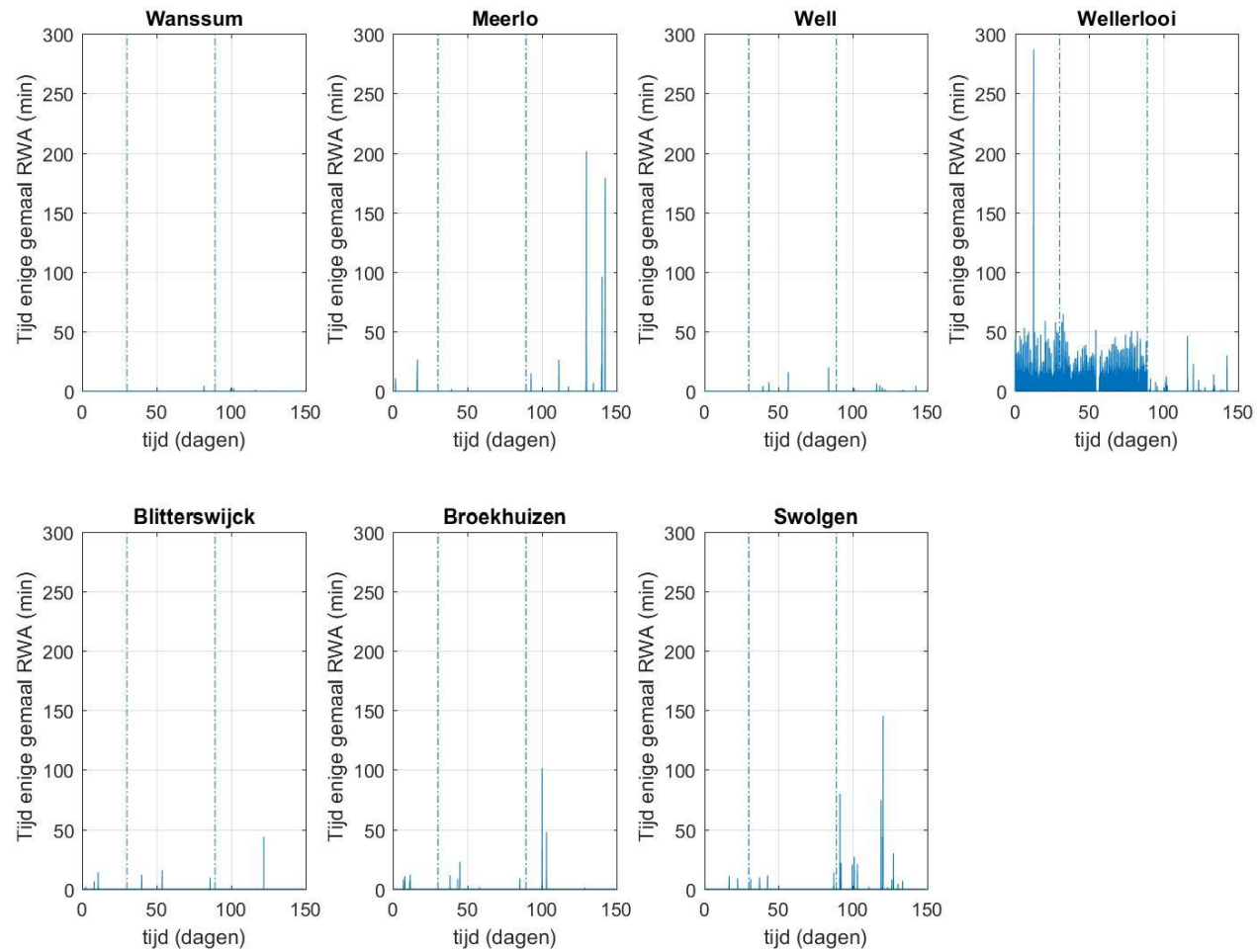
Afbeelding I.8 Aaneengesloten aantal draaiuren per gemaal



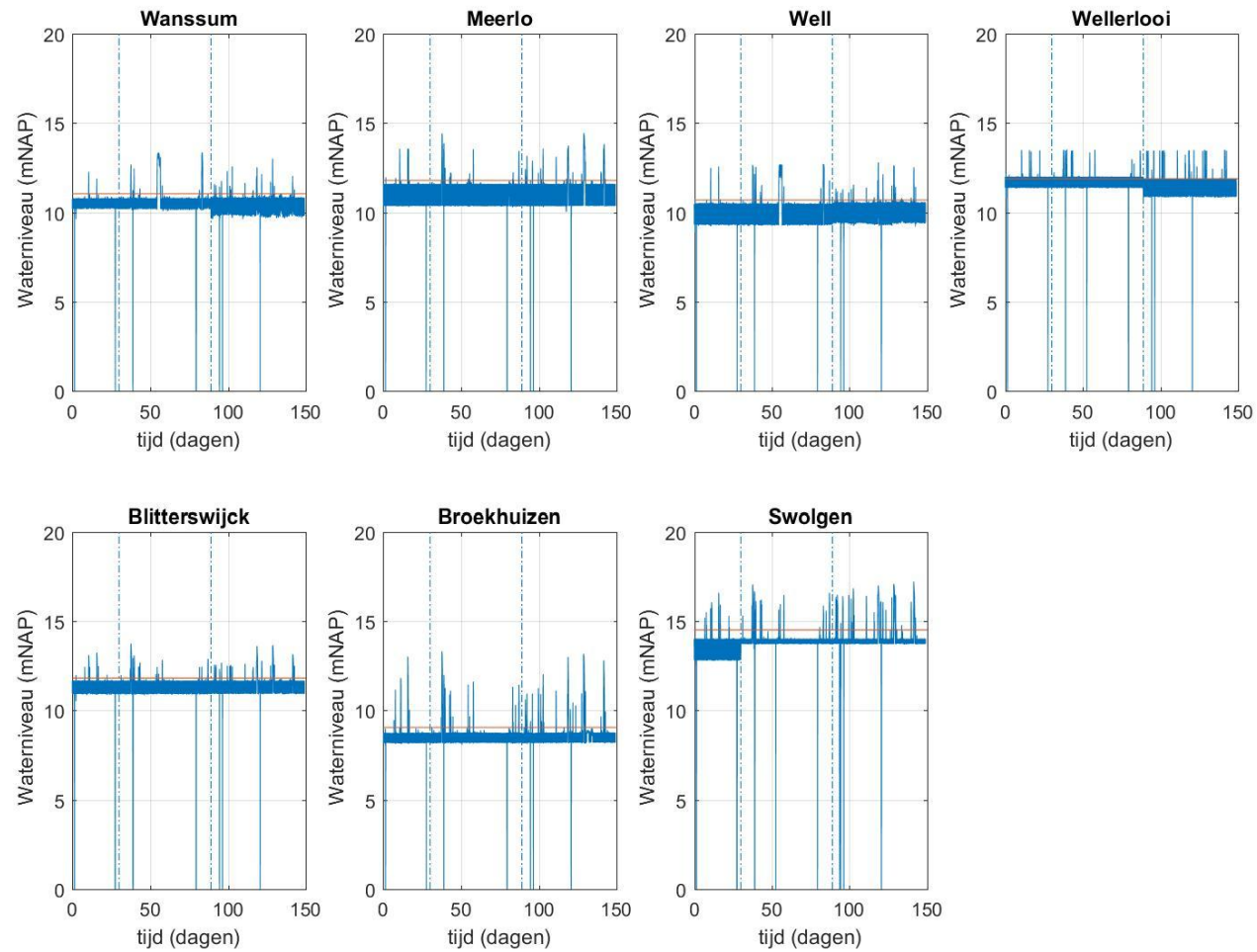
Afbeelding I.9 Gemiddeld aantal draaiuren (per 24 uur)



I.10 Bedrijfsmodus gemalen



I.11 Waterniveau



I.12 Drukgebaseerde leidingbreukconditie

