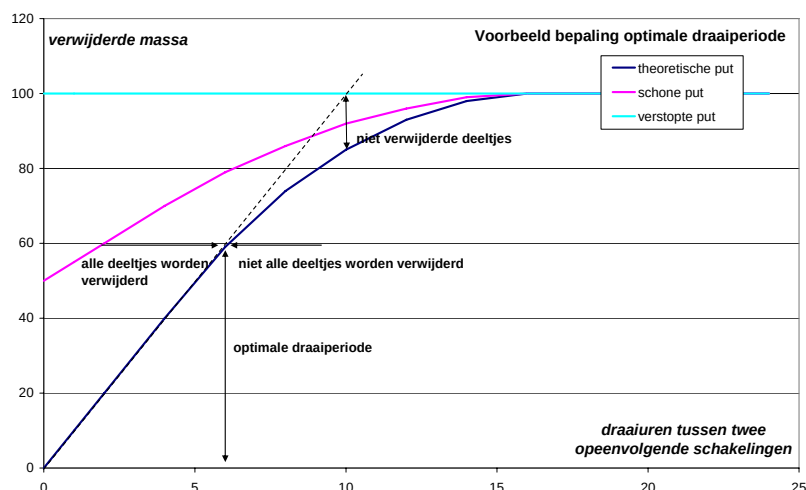


Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal

Putverstopping, deeltjes en schakelen
(uitgevoerde metingen januari – december 2005)



KWR 06.077
februari 2006

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal

Putverstopping, deeltjes en schakelen
(uitgevoerde metingen januari – december 2005)

© 2006 Kiwa Water Research
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of openbaar
gemaakt, in enige vorm of op
enige wijze, hetzij
elektronisch, mechanisch,
door fotokopieën, opnamen,
of enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de uitgever.

Kiwa Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Tel. (030) 606 95 11
Fax (030) 606 11 65
www.kiwawaterresearch.eu

Colofon

Titel

Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal;
Putverstopping, deeltjes en schakelen (uitgevoerde
metingen januari – december 2005)

Projectnummer

30.6043.400

Projectmanager

Marc Balemans

Opdrachtgever

Hydron Midden Nederland

Kwaliteitsborger(s)

Marc Balemans en Rob Breedveld (Hydron A&D)

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het Contractonderzoekproject/adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Voorwoord

Aanleiding: verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal

Het puttenveld Tull en 't Waal van Hydron Midden-Nederland (thans Vitens) verstopt ernstig. Wegens verbouwing en grootschalige aanpassing wil Vitens nagaan of het mogelijk is om het puttenveld “verstoppingsvrij” te maken. Binnen het BTO, het BTS putverstoppingsonderzoek en afzonderlijke adviesopdrachten is hiervoor een methodiek uitgedacht. Achtergronden en aanpak zijn beschreven in ‘Putverstopping en deeltjes in grondwater: diagnose en aanzet voor therapie’ (BTO 2005.046). Binnen het project ‘naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal’ wordt deze methodiek getoetst wat resulteert in concrete adviezen aan Vitens om de putverstopping op het puttenveld Tull en 't Waal te beheersen.

Met ingang van 1 oktober 2006 zijn Hydron Midden-Nederland en Hydron Advies en Diensten samengegaan met Vitens. In deze rapportage is er voor gekozen om de oude benaming te gebruiken, aangezien het inhoudelijke onderzoek voor 1 oktober 2006 uitgevoerd en afgerond was.

Deze rapportage

Gedurende het jaar 2005 is op het puttenveld Tull en 't Waal onderzoek uitgevoerd om te komen tot een verstoppingvrij puttenveld. In het kader van dit onderzoek is het gedrag van de putten uitgebreid gemonitord. Deze monitoring bestond uit continue registratie van de stijghoogte en van de putschakeling en het regelmatig tellen van deeltjes in het onttrokken grondwater. In deze rapportage zijn de resultaten beschreven.

Opdracht aan Kiwa Water Research

Hydron heeft Kiwa Water Research opdracht gegeven om na te gaan hoe het puttenveld Tull en 't Waal ‘verstoppingsvrij’ gemaakt kan worden, het benodigde onderzoek hiervoor uit te voeren en praktische handreikingen op te stellen.

De belangrijkste opbrengst van dit project is een advies voor een optimale bedrijfsvoering (onttrekkingscapaciteit en schakelfrequentie) van de pompputten op Tull en 't Waal, gericht op een minimale verstopping.

Uitgevoerde werkzaamheden

Om te komen tot het hiervoor genoemde resultaat zijn op puttenveld Tull en 't Waal gedurende de periode juni 2004 – juli 2006 de volgende metingen uitgevoerd:

- in alle putten continue meting van de stijghoogten. Uit de resultaten van deze metingen kan het verloop van de afpompings worden bepaald,
- continue registratie van de putschakelingen. Uit de resultaten van deze registratie kan de tijdsduur van de afzonderlijke onttrekkings- en rustperioden worden berekend,
- deeltjestellingen. Om de verkregen resultaten van bovengenoemde metingen te kunnen verklaren en te onderbouwen zijn regelmatig deeltjestellingen uitgevoerd.

De resultaten van de gegevens zijn niet alleen afzonderlijk maar juist in samenhang geïnterpreteerd. De voortgang van het onderzoek, de resultaten en vervolgstappen zijn voortdurend besproken en geëvalueerd met de betrokken medewerkers, en in workshops gepresenteerd.

Rapportage

De resultaten van het gehele onderzoek is in 5 rapportages beschreven. De verkregen resultaten van de metingen zijn geëvalueerd en in drie rapporten vastgelegd:

- KWR 06.076 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Resultaten van uitgevoerde experimenten bij aanleg en bedrijfsvoering (januari - oktober 2005);
- KWR 06.077 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Putverstopping, deeltjes en schakelen (uitgevoerde metingen januari – december 2005);
- KWR 06.078 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Gedrag van deeltjes bij bedrijfsvoering (uitgevoerde metingen t/m juli 2006).

In het tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer H₂O is een artikelenreeks gepubliceerd over het onderzoek, de aanleiding, de aanpak *en* de resultaten. De reeks bestond uit 4 artikelen in H₂O 2 en 3 van 2007 en is te beschouwen als de samenvatting van het onderzoek. Een bundeling van deze 4 artikelen is in een apart rapport opgenomen:

- KWR 07.017 Naar een verstoppingsvrij puttenveld Tull en 't Waal; Samenvatting.

Om de resultaten van het onderzoek ook voor de overige medewerkers van Hydron Midden-Nederland gemakkelijk toegankelijk te maken, is een zakboekje opgesteld. Hierin zijn tevens richtlijnen voor chemische putverstopping opgenomen:

- KWR 06.079 Richtlijnen voor het voorkomen en beheersen van putverstopping.

Projectteam

De werkzaamheden zijn uitgevoerd door een projectteam bestaande uit medewerkers van Hydron Advies en Diensten, Hydron Midden-Nederland en Kiwa Water Research.

Het projectteam bestond uit:

Gertjan Doedens –Regiomanager en Opdrachtgever Hydron-Midden Nederland

Floor Oskam – Teamleider Hydron Midden- Nederland

Nico van der Wurf – Procesauditor Hydron Midden- Nederland

Paul Niekus –Proceauditor Hydron Midden- Nederland

Rob van der Horst –Procesauditor Hydron Midden- Nederland

Rob Breedveld – Specialist Watervoorziening, Hydron Advies en Diensten

Martijn Tas – Gegevensverwerking stijghoogtemetingen, Hydron Advies en Diensten

Jan Willem Kooiman – Projectmanager Kiwa Water Research (tot februari 2005)

Marc Balemans – Projectmanager (vanaf februari 2005), Adviseur putmanagement Kiwa Water Research

Kees van Beek – Expert putverstopping en deeltjes Kiwa Water Research

Hendrik Beverloo – Veldmedewerker, uitvoering deeltjestellingen Kiwa Water Research

Inke Leunk – Hydroloog, data handling Kiwa Water Research

Tenslotte

Tijdens uitvoering van het onderzoek zijn de inzichten voor preventie en beheersing van mechanische putverstopping verder ontwikkeld. Deze inzichten zijn mede door inzet van het projectteam tot stand gekomen. Wij zijn de leden van het projectteam zeer erkentelijk voor hun inzet en de discussies. Wij danken Hydron Midden-Nederland voor de geboden mogelijkheden om deze opdracht uit te kunnen voeren.

December 2006

Marc Balemans

Kees van Beek.

Samenvatting

Gedurende het jaar 2005 is op het puttenveld Tull en 't Waal onderzoek uitgevoerd om te komen tot een verstoppingvrij puttenveld. Dit doel is bereikt.

In het kader van dit onderzoek is het gedrag van de putten uitgebreid gemonitord. Deze monitoring bestond uit:

1. Continue registratie van de stijghoogte.
2. Continue registratie van de putschakeling.
3. Regelmatige deeltjestellingen in het onttrokken grondwater.

Uit het verloop van de stijghoogten bleek dat de afpompingsdruk in de putten 20, 21 en 22 (de "proefputten") enigszins varieerde. In de overige putten bleek de afpompingsdruk op het oog gelijk. Na kleine pompproeven bleek dat put 33 enigszins is verstopt.

De variatie in de afpompingsdruk van de putten 20, 21 en 22 kon volledig worden verklaard door variatie in de draaiperiodes: toename van de afpompingsdruk gedurende lange draaiperiodes, en afname van de afpompingsdruk gedurende korte periodes. Deze afname in de afpompingsdruk was niet gelijk aan de toename, zodat na afloop nog een kleine toename resteerde.

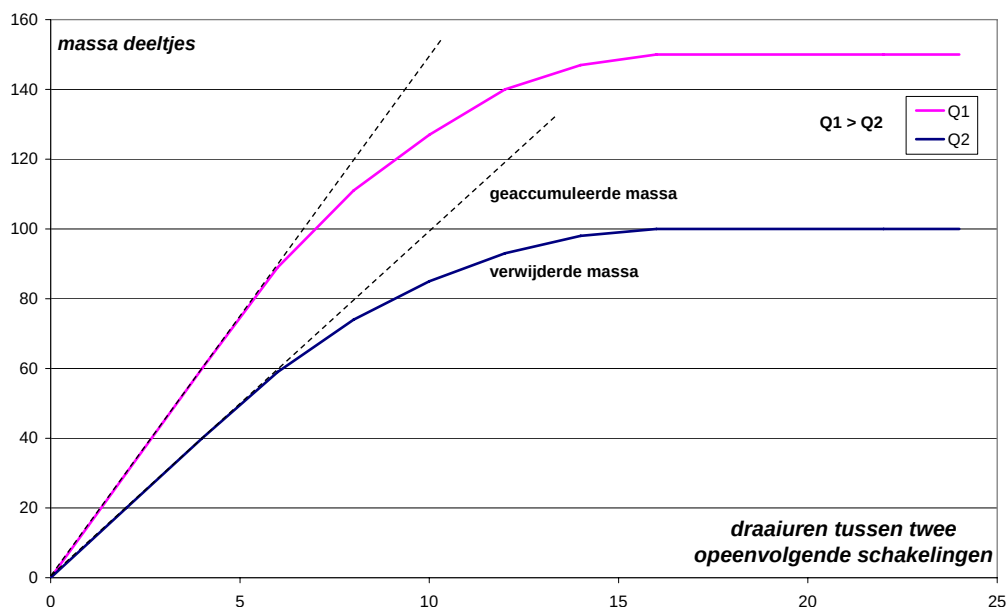
Hieruit blijkt dat op empirische wijze tot een verstoppingvrije putschakeling bij bestaande putcapaciteit kan worden gekomen, maar dat is niet hetzelfde als een optimale bedrijfsvoering. Onder een optimale bedrijfsvoering wordt verstaan de maximale DTS (Draaiperiode Tussen twee opeenvolgende Schakelingen) bij maximale putcapaciteit.

Tijdens het onderzoek is door Hydron MN voor het puttenveld een carrousel-schakeling ontwikkeld. In deze carrousel wordt gewerkt met een periode van 3 uur. Hierdoor ontstaat een zeer gelijkmatig verloop in de draaiperiodes van de individuele putten.

Wel wordt de carrousel-schakeling regelmatig verstoord door kortdurende aan- en uitschakelingen.

Echter bij grote vraag kan een draaiende put naar een volgend niveau van de RWK opschuiven, waardoor de draaiperiode een veelvoud van de carrouselperiode van 3 uur kan bedragen. Dit gedrag vraagt nog nadere aandacht.

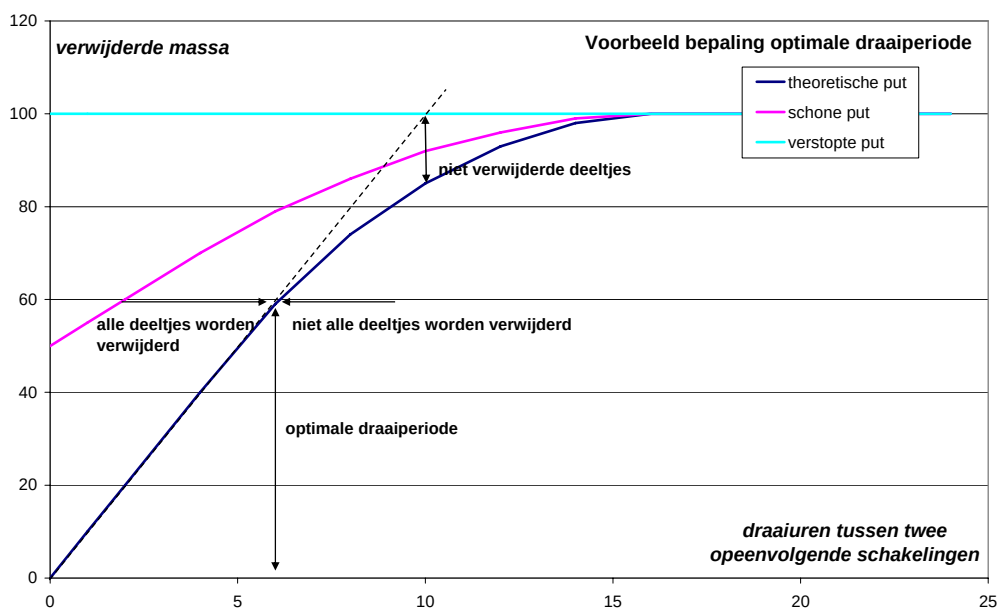
Om te komen tot een optimale bedrijfsvoering zijn deeltjestellingen uitgevoerd. Doel van deze tellingen was om de relatie tussen draaiperiode en verwijderde hoeveelheid deeltjes te bepalen. Onderstaande afbeelding toont de (theoretische) relatie tussen deeltjesconcentratie en DTS: een grotere onderwaterpomp resulteert, bij gelijke draaiperiode, in een grotere massa deeltjes die op de boorgatwand wordt afgevangen, en in een grotere massa die bij aanschakelen van de pomp wordt verwijderd.



Afb. A: Theoretische relatie tussen verwijderd aantal deeltjes bij aanzetten van de onderwaterpomp en duur van de voorgaande onttrekkingperiode voor twee pompcapaciteiten.

Zolang de massa deeltjes die bij iedere keer aanschakelen wordt verwijderd, gemiddeld gelijk is aan de massa die gedurende de voorgaande draaiperiode is geaccumuleerd, zal geen verstopping optreden. Het punt waar beide lijnen uit elkaar gaan lopen, vormt de optimale draaiperiode. Vergelijking van beide relaties levert de optimale bedrijfsvoering.

In onderstaande afbeelding is het resultaat van de deeltjestellingen weergegeven in de vorm van verwijderde massa deeltjes als functie van voorgaande draaiperiode.



Afb. B: Waargenomen relatie tussen verwijderd aantal deeltjes bij aanzetten van de onderwaterpomp en duur van de voorgaande onttrekkingperiode.

Uit bovenstaande afbeelding blijkt dat de relatie niet door de oorsprong gaat. Dit is achteraf gezien ook voor de hand liggend: rond de put is altijd een overmaat deeltjes aanwezig. Bij een nieuwe schone put zijn dat deeltjes afkomstig uit de boorspoeling, bij een verstopte put zijn dat geaccumuleerde deeltjes op de boorgatwand.

Met behulp van een deeltjesbalans kan een orde van grootte worden verkregen van de fractie deeltjes die op de boorgatwand worden afgefilterd. Deze orde van grootte varieert tussen 7 en 25%.

Alle putten op Tull en 't Waal zijn min of meer verstopt. Wellicht is het in het verdere onderzoek mogelijk bij de nieuwe putten 33, 34 en 35 de optimale bedrijfsvoering te bepalen.

Zoals reeds aangegeven is put 33 enigszins verstopt. Dit is merkwaardig omdat de putten 34 en 35 niet verstopten. Mogelijk hangt het verstopten van put 33 samen met de oplevering van put 33 (heeft 5 dagen open gestaan voordat het putfilter werd gesteld, waardoor meer boorspoeling in het boorgat is achtergebleven).

Door introductie van de carrousel putschakeling is een constante bedrijfsvoering van de putten verkregen. De putten worden per groep in gelijke mate belast. Er vallen nu geen putten meer tussen wal en schip: putten die nagenoeg niet of putten die nagenoeg continu in bedrijf zijn.

Deeltjestellingen laten tussen de putten grote verschillen in deeltjesconcentratie en in deeltjesgrootteverdeling zien. Deze verschillen hebben consequenties voor de optimale bedrijfsvoering. Om verstopping van

alle putten te voorkomen dient de bedrijfsvoering op de meest kwetsbare put te worden afgestemd.

Een andere mogelijkheid is putten met vergelijkbare verstoppinggevoeligheid in dezelfde carrouselgroep onder te brengen, en per carrouselgroep de belasting verschillend te kiezen. Deze groepen kunnen al of niet rouleren. Bovenstaande benadering is in onderstaande tabel samengevat.

A. Belasting van alle carrouselgroepen is vergelijkbaar	B. Belasting van de carrouselgroepen laat grote verschillen zien.	
	1. Groepen onderling laten rouleren	2. Groepen onderling niet laten rouleren

De verstoppinggevoeligheid van alle putten is waarschijnlijk niet gelijk. Bij keuze voor carrouselindeling A. wordt de carrouselperiode bepaald door de meest verstoppinggevoelige put. Indeling A. ligt daarom niet voor de hand. Beter is het putten met vergelijkbare verstoppinggevoeligheid in dezelfde carrouselgroep te plaatsen, en de minst gevoelige groep vooraan te zetten (het zwaarst te belasten), en de meest gevoelige groep achteraan. Indeling B. ligt dus meer voor hand.

Afhankelijk van de verschillen in verstoppinggevoeligheid kan dan nog worden gekozen voor het al of niet rouleren van de groepen. Waarschijnlijk is een beperkte roulatie over de carrousels het meest doelmatig.

Er dienen dan nog wel criteria te worden ontwikkeld om te komen tot de verstoppinggevoeligheid van putten.

Inhoud

	Voorwoord	1
	Samenvatting	5
	Inhoud	9
1	Inleiding	11
1.1	Aanleiding	11
1.2	Doelstelling	11
1.3	Uitvoering van het onderzoek	12
1.4	Leeswijzer	12
2	Stijghoogtemetingen	13
2.1	Uitvoering	13
2.2	Resultaten	13
3	Putschakelingen	15
3.2	Putschakelingen	15
3.3	Carrousselschakeling	16
3.4	Bedrijfsuren per maand	17
3.5	Schakelingen per maand	19
3.6	Draaiperiode per schakeling	20
3.7	Complicatie door frequent schakelen	21
4	Deeltjestellingen	23
5	Putverstopping, schakelen en deeltjes	27
5.1	Putverstopping en schakelen	27
5.2	Schakelen en deeltjes	32
5.3	Deeltjesbalans	42
6	Conclusies en aanbevelingen	45
6.1	Conclusies	45
6.2	Aanbevelingen	46

Bijlage 1: Verloop van de stijghoogten in 2005	47
Bijlage 2: Verloop van de draaitijden van de putten in 2005	59
Bijlage 3: Resultaten deeltjestellingen en berekening verwijderde hoeveelheden	71

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het puttenveld Tull en 't Waal van Hydron Midden Nederland wordt geplaagd door het optreden van mechanische verstopping. Dit optreden van putverstopping vormt een bedreiging voor de continuïteit van de onttrekking, en brengt hoge kosten met zich mee voor monitoring en regeneratie.

Onderzoek naar voorkomen en gedrag van deeltjes in onttrokken grondwater heeft geresulteerd in de volgende werkhypothese: Indien bij het aanschakelen van de onderwaterpomp al het materiaal dat gedurende de voorafgaande onttrekkingperiode rond de put is geaccumuleerd, wordt verwijderd, zal geen verstopping optreden. Indien niet al het geaccumuleerde materiaal wordt verwijderd zal wel verstopping optreden. Met andere woorden: door een optimale combinatie van capaciteit van de onderwaterpomp en schakelfrequentie kan het optreden van putverstopping worden tegengegaan. Voor het opstellen van de deeltjes-massabalans zullen deeltjestellingen als instrument worden ingezet.

Uit deeltjesonderzoek blijkt tevens dat binnen een puttenveld grote verschillen in deeltjesconcentratie in het onttrokken grondwater bestaan. Met andere woorden: de optimale combinatie van capaciteit en schakelfrequentie zal voor iedere put anders zijn.

Tull en 't Waal is het eerste puttenveld waar een dergelijk onderzoek op systematische wijze wordt uitgevoerd.

1.2 Doelstelling

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

1. Het komen tot een verstoppingvrij puttenveld Tull en 't Waal. Hierbij zal in deze fase van het onderzoek alleen de schakelfrequentie worden gevarieerd, en niet de onttrekkingcapaciteit.
2. Het vaststellen van het effect van maximale putontwikkeling op concentratie van deeltjes in het onttrokken grondwater en op de verstoppingsnelheid.
3. Het verzamelen van nadere informatie omtrent gedrag van deeltjes in het onttrokken grondwater onder andere ten behoeve van optimale onttrekkingcapaciteit, optimale filterstelling en verschillen in gedrag tussen puttenvelden. Hierbij kan gedacht worden aan:
 - a. concentratie van deeltjes als functie van onttrekkingcapaciteit. Dit geeft nadere informatie omtrent de optimale onttrekkingcapaciteit.
 - b. verdeling van de concentratie van deeltjes over de lengte van het putfilter. Dit geeft nadere informatie omtrent de optimale stelling van het putfilter.
 - c. onderzoek naar de aard en samenstelling van de deeltjes. Dit kan eventuele verschillen in gedrag van deeltjes tussen verschillende puttenvelden verklaren.

Vanwege verbouwing van het pompstation Tull en 't Waal worden binnenkort drie putten verlaten. Deze drie putten zullen door drie putten worden vervangen. Deze nieuwe putten zullen op drie verschillende manieren maximaal worden ontwikkeld.

De putten die binnenkort worden verlaten zijn afgeschreven; op deze putten mogen experimenten worden uitgevoerd die tot verstopping leiden. Op de overige putten mogen geen doelbewuste experimenten worden uitgevoerd die tot verstopping leiden, en zeker niet op de nieuwe putten.

1.3 Uitvoering van het onderzoek

Bij de uitvoering van het onderzoek zullen drie lijnen worden gevolgd, namelijk

1. Continue meting van de stijghoogte in de putten. Deze metingen geven informatie over het al of niet optreden van putverstopping.
2. Continue registratie van de putschakelingen. Deze metingen geven nauwkeurige informatie over de lengte van de opeenvolgende onttrekking- en rustperioden.
3. Deeltjestellingen. Om de doelstellingen te toetsen zullen regelmatig deeltjestellingen worden uitgevoerd.

1.4 Leeswijzer

In de volgende hoofdstukken zullen achtereenvolgens de resultaten van de stijghoogtemetingen (hoofdstuk 2), de registratie van de putschakelingen (hoofdstuk 3) en de deeltjestellingen (hoofdstuk 4) worden besproken. Tenslotte zullen conclusies en aanbevelingen worden geformuleerd.

Een gedeelte van het onderzoek, namelijk het gedeelte dat onder leiding van Nico van der Wurf is uitgevoerd, is vorig jaar gerapporteerd. Dit betreft voornamelijk de aanleg van de putten 33, 34 en 35, de achtergronden en implementatie van de putschakeling en de meting van de specifieke volumestroom van alle putten.

2 Stijghoogtemetingen

2.1 Uitvoering

Met behulp van stijghoogtemeters wordt de stijghoogte in de put continu gemeten en opgeslagen. De stijghoogtemeters zijn afgesteld op een meting per 30 minuten.

De gebruikte stijghoogtemeters hebben een bereik van 10 meter. De stijghoogtemeters moeten zodanig worden ingehangen dat zowel de stijghoogte tijdens rust als tijdens bedrijf binnen dit bereik valt.

Het geheugen van de stijghoogtemeters wordt maandelijks uitgelezen. Na correctie voor de barometerdruk worden “genormaliseerde” stijghoogten berekend.

De stijghoogtemeters zijn niet ingehangen via de peilbuis in de put; de diameter van de stijghoogtemeter was te groot voor deze peilbuis. Daarom zijn de stijghoogtemeters ingehangen in het waarnemingsfilter ter hoogte van de langste filterlengte van de put (de putfilters hebben blinde gedeelten).

Tijdens het plaatsen van de meters, eind 2004, bleek dat de stijghoogte in de waarnemingsfilters nagenoeg gelijk was aan die in de put.

De stijghoogtemeters waren in januari 2005 operationeel.

2.2 Resultaten

De resultaten van de stijghoogtemetingen (48/dag) zijn in bijlage 1 in afbeeldingen weergegeven.

De bovenzijde van de gemeten stijghoogten vormt de stijghoogte in rust, en de onderzijde in bedrijf. Het verschil tussen beide geeft de afpompings.

De gemeten afpompings in een put wordt beïnvloed door het al of niet draaien van naastgelegen putten. Deze onderlinge beïnvloeding resulteert in de “karteling” aan de boven- en onderzijde van de stijghoogtemetingen: de ene keer stonden de naastgelegen aan, de andere keer uit.

In onderstaande tabel zijn de belangrijkste waarnemingen samengevat.

Tabel 2.1: Overzicht van het verloop van de afpompings over 2005.

put	waarneming
20	de afpompings neemt eerst af, vervolgens weer toe, en dan weer af. Blijkbaar is de bedrijfsvoering hier zeer kritisch: de put is aan het verstopten, aan het verbeteren, en weer aan het verstopten.
21	de afpompings neemt af, en blijft vervolgens constant.
22	de afpompings neemt explosief toe, blijft even constant, en blijft vervolgens afnemen.
23	de afpompings blijft gelijk.
24	de afpompings blijft gelijk.
25	de afpompings blijft gelijk.
26	de afpompings blijft gelijk.
27	de afpompings blijft gelijk (laatste maand minder?).
28	de afpompings blijft gelijk.
29	de afpompings blijft gelijk (laatste maand minder?).
30	de afpompings blijft gelijk (laatste maand minder?).
31	de afpompings blijft gelijk.
33	de afpompings neemt iets toe, laatste maand af.
34	de afpompings neemt iets toe, laatste maand af.
35	de afpompings neemt iets toe, laatste maand af.

Uit bovenstaande tabel kunnen meerdere conclusies worden getrokken:

1. afgezien van de putten 20 en 22 zijn de putten gedurende 2005 niet of nauwelijks verstopt.
2. met behulp van putschakelen is het optreden van putverstopping te manipuleren. Met andere woorden, mechanische putverstopping is niet iets wat je overkomt.
3. na verstopping is de put met behulp van putschakelen niet meer tot zijn oorspronkelijke niveau terug te brengen.
4. het gedrag van de maximaal ontwikkelde putten 33, 34 en 35 is vergelijkbaar met de overige putten.

3 Putschakelingen

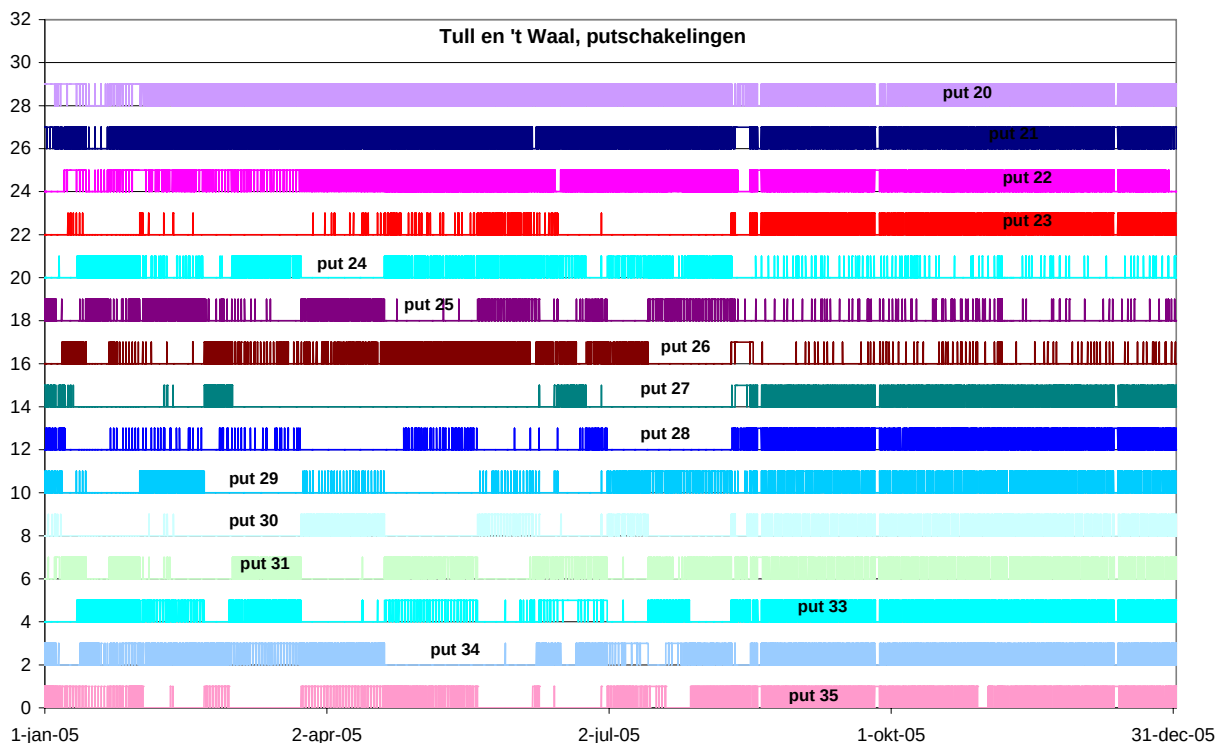
Onder putschakelingen wordt hier verstaan de bedrijfsvoering van de onderwaterpompen, dat wil zeggen het afwisselend draaien en stilstaan van de pompen. De bedrijfsvoering kan worden gekarakteriseerd door:

1. het aantal bedrijfsuren per maand,
2. het aantal schakelingen per maand, en
3. het aantal draaiuren per schakelperiode.

Deze informatie kan worden ontleend aan het PRODUktie Informatie Systeem (PRODUS), waarin alle putschakelingen worden vastgelegd.

3.2 Putschakelingen

Onderstaande afbeelding geeft een overzicht van het al of niet in bedrijf zijn van de aangegeven putten in 2005. In deze afbeelding geeft een "0" aan dat de betreffende put niet in bedrijf is, en een "1" wel in bedrijf.



Afb. 3.1: Overzicht van de schakelingen van de putten in 2005. Een "0" betekent dat de put niet in bedrijf is, een "1" dat de put wel in bedrijf is.

Uit afbeelding 3.1 blijkt duidelijk het verschil in schakelen voor en na augustus 2005. Voor augustus 2005 werd handmatig een schakelprogramma ingesteld. Omdat de putten 20, 21 en 22 voor experimenten beschikbaar waren, stonden deze putten vooraan, en werden daarom zwaar belast. Uit afbeelding 3.1 zijn voor augustus 2005 grote verschillen in bedrijfsuren tussen de putten zichtbaar: sommige putten stonden nagenoeg buiten bedrijf, onder andere put 27 in voorjaar 2005, terwijl andere putten gedurende enkele dagen

continu draaiden, namelijk put 22 in januari 2005, put 26 en 27 augustus 2005, put 33, 34 en 35 in juli 2005.

3.3 Carrousselschakeling

In augustus 2005 werd een automatisch putschakelprogramma operationeel. In dit programma zijn de putten eerst in 5 carroussels van 3 putten met vergelijkbare capaciteit van de onderwaterpomp ingedeeld. Vervolgens zijn de putten uit de carroussels toegedeeld aan verschillende niveaugroepen van de reinwaterkelder, zie tabel 3.1.

Tabel 3.1: Indeling van de putten in carroussels en groepen.

Carroussel	Putten	Niveaugroepen reinwaterkelder								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	20, 21, 22	X			X			X		
II	24, 25, 26					X	X			X
III	23, 27, 28	X					X			X
IV	29, 30, 31			X				X		X
V	33, 34, 35		X		X				X	

Bovenstaand carroussel moet als volgt worden gelezen: zodra het waterpeil in de reinwaterkelder het waterniveau behorend bij niveaugroep 1 neerwaarts passeert, zal groep 1 worden aangeschakeld. Groep 1 bestaat uit twee putten, één uit carroussel I en één uit carroussel III. Wordt ook niveaugroep 2 neerwaarts gepasseerd, dan wordt groep 2 ingeschakeld. Groep 2 bestaat uit één put van carroussel V. Bij verdere vraag naar water wordt groep 3 ingeschakeld, enzovoorts.

Was de kelder leeg en wordt niveaugroep 9 opwaarts gepasseerd, dan zal groep 9 worden uitgeschakeld, bestaande uit drie putten van de carroussels II, III en IV. Bij verdere stijging van het waterniveau wordt groep 8 uitgeschakeld, enzovoorts. Bij het schakelen van de putten wordt dus het principe: laatste in, eerste uit, gehanteerd.

Gewoonlijk kan overdag met de groepen 1 t/m 4 worden volstaan, groep 5 schakelt af en toe bij. De groepen 6 t/m 9 zijn nauwelijks in bedrijf; de groepen 6 en 7 schakelen aan bij calamiteiten, zoals brand. In de praktijk betekent dit dat groep 1 circa 23 uur per dag draait.

Binnen een carroussel worden de putten per 3 uur kloktijd gerouleerd. Als voorbeeld is in onderstaande tabel deze roulatie voor carroussel I weergegeven.

Tabel 3.2: Voorbeeld van putschakeling binnen carrousel I.

	Dag	Kloktijd (uur)	Putschakeling		
groep			1	4	7
	1	0-3	20	21	22
		3-6	21	22	20
		6-9	22	20	21
		9-12	20	21	22
		12-15	21	22	20
		15-18	22	20	21
		18-21	20	21	22
		21-24	21	22	20
	2	0-3	22	20	21
		3-6	20	21	22
		6-9	21	22	20
	enz	enz	enz		

Bovenstaande tabel moet als volgt worden gelezen: indien op dag 1 tussen 0 en 3 uur water wordt gevraagd zal als eerste groep 1 met put 20 inkomen. Indien bij toenemende watervraag groep 4 wordt aangesproken zal put 21 inkomen, en bij nog verder toenemende vraag tenslotte groep 7 met put 22. Tussen 3 en 6 uur zal als eerste put 21 inkomen, vervolgens put 22 en tenslotte put 20. In het voorgaande is al vermeld dat groep 1 vooraan staat en groep 7 nagenoeg achteraan, zodat groep 7 nauwelijks in bedrijf komt. Als dus op dag 1 om 3 uur put 20 van groep 1 verhuist naar groep 7, zal deze put zeer waarschijnlijk uitschakelen, en zal put 21 inschakelen, en indien deze put al draait put 22. Afhankelijk van de vraag zal een put dus maximaal 3 uur, maximaal 6 uur, of langer aan één stuk draaien, en vervolgens dus minimaal 3 uur rust hebben. Dit zal niet het geval zijn op dagen met grote vraag wanneer ook groep 7 staat ingeschakeld; dan zal de put maximaal 9 uur of nog langer draaien.

Merk ook op dat de schakeling per dag varieert: de schakeling op dag 1 van 0 tot 3 uur is niet gelijk aan de schakeling op dag 2 van 0 tot 3 uur, enzovoorts. Met andere woorden een regelmatige onregelmatigheid. Binnen een carrousel zullen de putten dus nagenoeg gelijk worden belast.

3.4 Bedrijfsuren per maand

Onderstaande tabel toont het aantal bedrijfsuren per maand in 2005.

Tabel 3.3: Bedrijfsuren per put per maand.

Put	Bedrijfsuren per maand 2005												Tot
	Jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
20	563	541	613	591	618	620	617	504	418	409	372	422	6289
21	423	383	440	446	506	497	496	390	373	410	364	408	5134
22	342	679	671	612	555	490	515	338	360	390	361	380	5692
23	187	14	201	13	238	18	256	120	231	245	249	240	2013
24	316	22	321	49	218	374	257	66	50	49	33	15	1769
25	175	292	122	302	213	158	305	176	15	30	20	16	1823
26	80	125	59	170	260	299	30	170	28	39	25	20	1304
27	60	691	20	0	0	57	0	232	274	259	236	266	2092
28	49	15	14	8	31	12	0	150	221	237	247	237	1220
29	32	297	5	22	5	20	331	259	176	194	156	175	1672
30	6	648	106	287	201	115	216	140	166	187	155	172	2398
31	347	14	299	143	298	393	32	156	156	192	152	177	2360
33	298	404	99	216	450	486	195	265	337	370	320	359	3798
34	268	177	486	129	0	135	530	350	359	377	311	379	3500
35	350	330	146	580	332	69	368	469	316	304	305	344	3915
totaal	3494	4631	3601	3567	3925	3742	4149	3785	3481	3690	3304	3609	44980

Uit tabel 3.3 blijkt het verschil in bedrijfsuren per maand per carrouselgroep voor en na de introductie van de carrousel-schakeling: na introductie van de carrousel-schakeling zijn de bedrijfsuren per maand binnen een carrouselgroep vergelijkbaar.

Indien we veronderstellen dat de niveaugroepen 6 t/m 9 in het geheel niet hebben gedraaid, kan voor de maanden na augustus een schatting van het aantal draaiuren per niveaugroep worden gemaakt. Het resultaat van deze schatting is in tabel 3.4 weergegeven.

Tabel 3.4: Schatting van het aantal bedrijfsuren per put per maand en per dag.

Carrousel			Niveaugroep				
nr	putten	Gemiddeld aantal draaiuren per maand	1	2	3	4	5
I	20, 21, 22	390	240			150	
II	24, 25, 26	25					25
III	23, 27, 28	240	240				
IV	29, 30, 31	170			170		
V	33, 34, 35	350		200		150	

Het gemiddeld aantal draaiuren bedraagt per carrousel dus respectievelijk 13, 1, 8, 6 en 12 uur/dag.

Door de verdeling van de putten over de niveaugroepen aan te passen ontstaat een gelijkmatiger belasting van de putten. Onderstaande tabel toont de huidige indeling samen met een voorstel voor een aangepaste indeling.

Tabel 3.5: Huidige en voorgestelde indeling van de putten over de niveaugroepen.

Carroussel	Putten	Niveaugroepen reinwaterkelder									Totaal aantal uren
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I	20, 21, 22	X			X			X			13
II	24, 25, 26					X	X			X	1
III	23, 27, 28	X					X			X	8
IV	29, 30, 31			X				X		X	6
V	33, 34, 35		X		X				X		12
Aantal uren in bedrijf		8	7	6	5	1	0	0	0	0	40
I	20, 21, 22	X						X		X	8
II	24, 25, 26				X	X			X		6
III	23, 27, 28	X						X		X	8
IV	29, 30, 31			X	X		X				11
V	33, 34, 35		X				X			X	7
Aantal uren in bedrijf		8	7	6	5	1	0	0	0	0	40

In de huidige indeling varieert de belasting per carrouselgroep van 1 tot 13 uur/dag, in de voorgestelde indeling van 6 tot 11 uur/dag.

Met name dat de belasting minder is dan 12 uur/dag is van belang, omdat op deze wijze met één put per carroussel kan worden volstaan, waardoor het aantal dubbele draaiperioden zal afnemen (3 uur in plaats van 6 uur).

3.5 Schakelingen per maand

Tabel 3.6 geeft een overzicht van het totaal aantal schakelingen per put per maand in 2005. In deze tabel bestaat één schakeling uit het aan- of uitschakelen van de onderwaterpomp.

Tabel 3.6: Aantal schakelingen per put per maand in 2005. Één schakeling bestaat uit het aan- of uitschakelen van de onderwaterpomp.

Put	Aantal schakelingen per maand 2005												Tot
	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
20	101	272	288	270	260	254	284	323	183	228	264	221	
21	511	488	380	372	415	384	363	254	209	240	247	249	
22	88	119	115	235	386	319	430	429	216	326	298	236	
23	22	14	2	82	140	78	1	91	152	176	246	160	
24	1612	78	268	149	307	222	213	126	51	53	118	34	
25	569	244	98	197	158	214	147	123	42	56	161	32	
26	155	115	132	320	493	281	121	14	34	47	77	44	
27	82	117	24	1	1	105	1	89	158	196	255	182	
28	81	48	46	22	86	50	2	120	160	192	213	166	
29	67	216	18	64	28	36	256	190	142	225	732	229	
30	17	11	81	186	117	153	93	160	206	232	761	197	
31	470	12	246	160	122	193	128	239	266	260	741	228	
33	1614	157	290	50	73	71	105	171	220	246	268	227	
34	583	328	238	264	2	164	88	208	196	230	264	237	
35	429	54	39	277	194	18	116	304	224	235	261	249	

Ook uit de schakelfrequentie blijkt weer de introductie van de carrousel-schakeling: het aantal schakelingen per put per maand is binnen een carrouselgroep vergelijkbaar.

3.6 Draaiperiode per schakeling

Uit het aantal draaiuren per maand en het aantal (hele) schakelingen is het gemiddeld aantal draaiuren per draaiperiode te berekenen. Het resultaat van deze berekening is in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 3.7: Gemiddeld aantal draaiuren per draaiperiode per put per maand in 2005.

Put	Gemiddeld aantal uren per draaiperiode per maand 2005												Tot
	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
20	11,0	4,0	4,3	4,4	4,8	4,9	4,4	3,1	4,5	3,6	2,9	3,8	
21	1,5	1,5	2,4	2,4	2,4	2,6	2,8	3,1	3,5	3,4	3,0	3,3	
22	8,3	11,5	12,0	5,2	2,9	3,1	2,4	1,6	3,4	2,4	2,4	3,2	
23	15,6	2,0	0,5	0,3	0,3	0,5	0	2,7	3,0	2,8	2,1	3,0	
24	0,4	0,6	2,4	0,7	1,4	3,4	2,3	1,0	1,9	1,7	0,6	0,9	
25	0,6	2,4	2,6	3,1	2,5	1,5	4,4	2,7	0,7	1,1	0,2	1,0	
26	1,0	2,2	0,9	1,1	1,1	2,1	0,5	28,3	1,6	1,6	0,7	0,9	
27	1,7	11,3	1,6	0	0	1,1	0	5,2	3,4	2,6	1,9	2,9	
28	1,1	0,6	0,6	0,7	0,7	0,5	0,4	2,5	2,8	2,5	2,3	2,9	
29	0,9	2,8	0,6	0,7	0,4	1,1	2,7	2,6	2,5	1,7	0,5	1,7	
30	0,6	108,0	2,7	3,0	3,1	1,4	4,4	2,0	1,8	1,7	0,5	1,8	
31	1,3	2,3	2,5	1,8	4,9	4,1	0,5	1,4	1,5	1,4	0,4	1,7	
33	0,4	5,2	0,7	9,0	12,2	14,3	3,6	3,2	3,1	3,0	2,4	3,1	
34	0,9	1,1	4,3	1,0	0,2	1,7	12,6	3,3	3,6	3,3	2,4	3,2	
35	1,6	12,2	7,7	4,2	3,4	7,7	6,5	3,4	2,8	2,6	2,3	2,8	

Ook uit de draaiperiode per schakeling blijkt weer de invloed van de introductie van carrousel­schakeling. Binnen een carrousel­groep is het aantal draaiuren per draaiperiode binnen een maand vergelijkbaar, en de grote uitschieters in aantal draaiuren zijn verdwenen.

Bijlage 2 geeft een overzicht van de draai­periodes. Uit deze bijlage blijkt dat voor de putten 20, 21 en 22 verschillende draai­periodes zijn ingesteld. Tevens blijkt dat regelmatig zeer lange draai­periodes voorkomen.

Ook uit deze bijlage blijkt weer duidelijk de invloed van de carrousel­schakeling: carrousel­groep I met de putten 20, 21 en 22 met 3 en 6 draaiuren, carrousel­groep II met de putten 24, 25 en 26 met minder dan 3 draaiuren, carrousel­groep III met de putten 23, 27 en 28 met 3 draaiuren, carrousel­groep IV met 3 draaiuren en carrousel­groep V met de putten 33, 34 en 35 met 3 en 6 draaiuren. Uit deze verdeling in draaiuren blijkt dat niveau­groep 5 kort, en niveau­groep 6 in het geheel niet in bedrijf komt.

3.7 Complicatie door frequent schakelen

Zoals reeds vermeld wordt het schakelen van de putten vastgelegd in het PRODuctie Informatie Systeem (PROD­IS). Echter PROD­IS registreert niet meer dan één schakeling per minuut. Indien een put binnen één minuut meerdere keren wordt geschakeld, wordt alleen de laatste schakeling genoteerd. Een dergelijke situatie kan worden herkend aan het twee maal achter elkaar voorkomen van een gelijk teken, een "0" gevolgd door een "0" of een "1" gevolgd door een "1". Indien dus twee maal achter elkaar hetzelfde teken voorkomt, is de put minder dan één minuut voorafgaand aan het tweede teken in actie geweest (minder dan één minuut aan of uit geweest). Deze situatie blijkt regelmatig voor te komen tijdens het spoelen van de filters en bij een waterpeil in de RWK nagenoeg samenvallend met een niveau­groep. In dat laatste geval wordt voortdurend een put aan- en uitgeschakeld.

Deze kortdurende draai­periodes zijn niet zichtbaar in het verloop van de stijghoogte van het grondwater. In ieder geval wordt meer geschakeld dan uit het verloop van de stijghoogte kan worden afgeleid.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van het aantal korte (binnen één minuut aan en uit of uit en aan) schakelingen.

Tabel 3.8: Aantal korte schakelingen per put per maand in 2005. Één schakeling bestaat uit het aan- of uitschakelen van de onderwaterpomp. Feitelijk had onderstaande tabel nagenoeg volledig uit even getallen moeten bestaan.

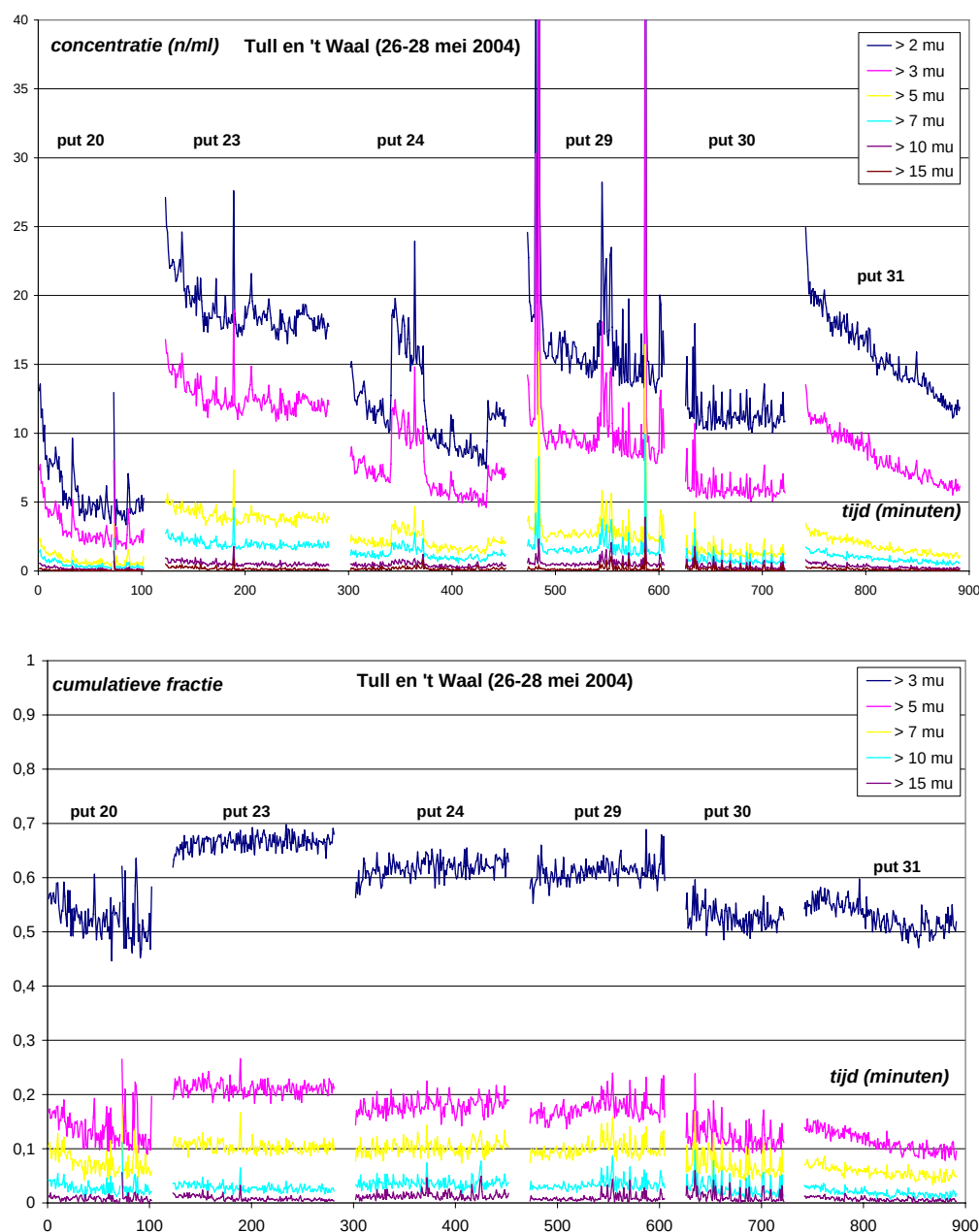
Put	Aantal schakelingen korter dan 1 minuut per maand 2005												Tot.
	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	
20	1	1	3	3	1	3	5	30	1	1	5	1	55
21	91	24	5	4	1	0	3	7	10	3	1	2	151
22	6	1	3	1	2	1	5	27	4	3	2	2	57
23	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	10	1	15
24	1	4	6	1	9	24	25	2	1	3	6	1	83
25	2	6	3	2	36	58	41	25	0	0	5	1	179
26	14	1	2	8	5	27	5	2	0	1	7	1	73
27	17	4	0	0	0	2	1	5	1	0	6	2	38
28	12	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	1	18
29	1	3	0	0	0	0	42	30	0	41	88	24	229
30	1	0	0	7	43	75	23	44	44	26	77	2	342
31	95	0	4	0	0	21	4	29	79	53	51	23	359
33	1	3	22	1	0	2	2	13	0	2	2	2	50
34	22	24	14	8	0	2	4	19	2	1	3	3	102
35	1	2	3	2	2	2	3	35	1	2	3	2	58
Tot.	266	73	65	37	99	219	164	270	144	136	268	68	

Uit tabel 3.8 blijkt dat vanaf augustus 2005 vooral de putten 29, 30 en 31 vaak kort schakelden. Deze putten behoren tot carrouselgroep IV die inkomt bij niveaugroep 3.

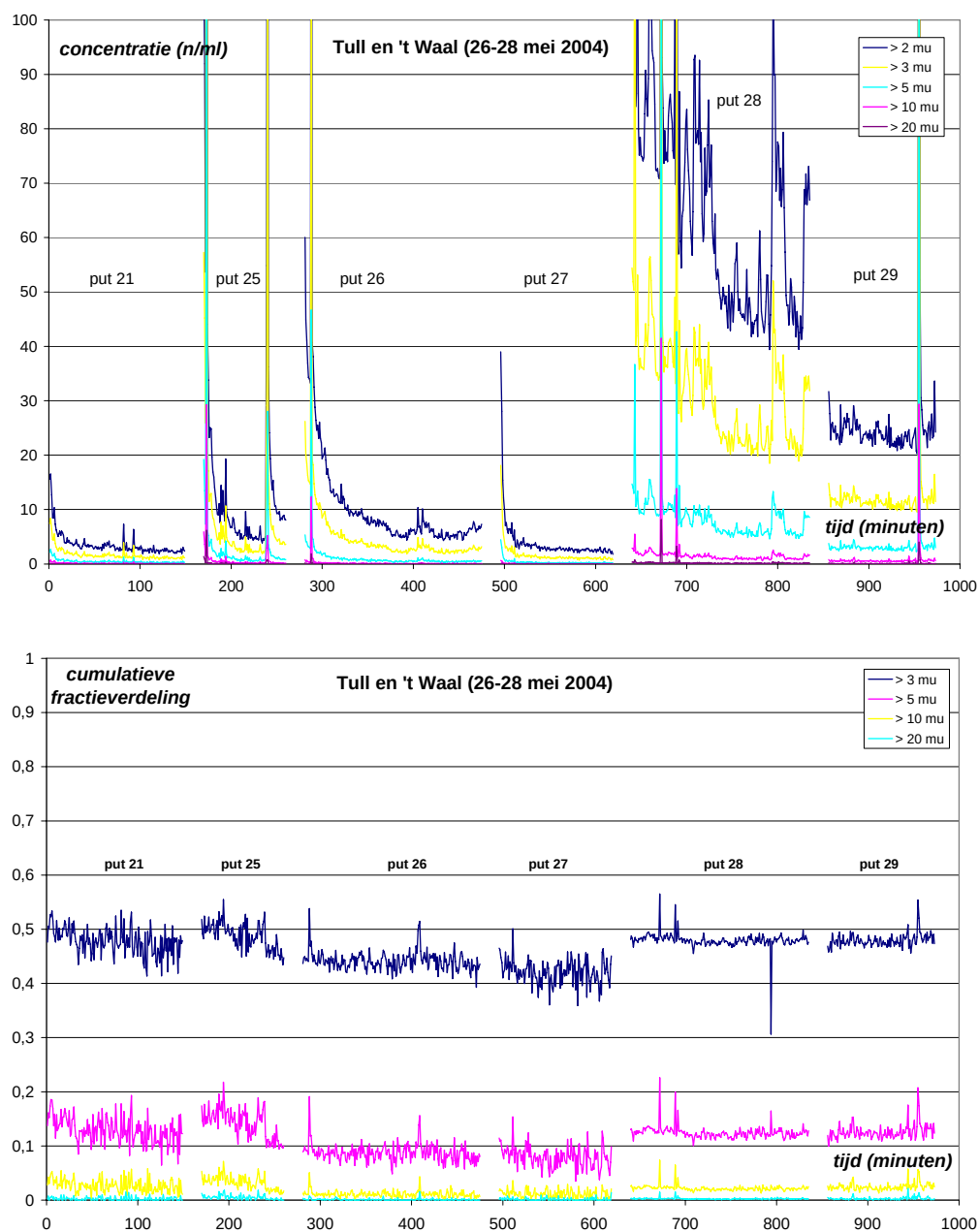
4 Deeltjestellingen

Het onttrokken grondwater kan met betrekking tot de aanwezigheid van deeltjes in het onttrokken grondwater worden gekarakteriseerd met behulp van de concentratie (aantal deeltjes per ml) en de cumulatieve korrelgrootteverdeling.

Daartoe zijn in het onttrokken grondwater van alle putten deeltjestellingen uitgevoerd. De resultaten zijn in onderstaande afbeeldingen en tabel samengevat.



Afb. 4.1: Deeltjesconcentratie en cumulatieve fractieverdeling van deeltjes in onttrokken grondwater, gemeten met Kiwa apparatuur.



Afb. 4.2: Deeltjesconcentratie en cumulatieve fractieverdeling van deeltjes in onttrokken grondwater, gemeten met Hydron A&D apparatuur.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de resultaten van de metingen.

Tabel 4.1: Overzicht van de deeltjesconcentratie en de fractieverdeling in het onttrokken grondwater van alle putten van puttenveld Tull en 't Waal.

Put	Apparaat	Conc deeltjes > 2 µm	Fractie > 3 µm	Fractie > 5 µm	Filter stelling	Geologie
20	Kiwa WR	4	0,50	0,12	122-141	Kd/Te
21	Hydron A&D	3	0,47	0,13	117-141	Kd/Te
22					129-144	Te
23	Kiwa WR	18	0,67	0,21	126-143	Kd/Te
24	Kiwa WR	< 8	0,63	0,18	129-145	Te
25	Hydron A&D	< 5	0,47	0,15	125-144	Kd/Te
26	Hydron A&D	6	0,43	0,09	90-117	Ha/Te
27	Hydron A&D	2	0,42	0,07	108-166	Kd/Te
28	Hydron A&D	42	0,48	0,12	135-165	Te
29	Hydron A&D	23	0,48	0,12	104,5-143	Ha/Kd/Te
	Kiwa WR	14	0,61	0,17		
30	Kiwa WR	12	0,52	0,11	102-142	Ha/Kd/Te
31	Kiwa WR	< 12	0,50	0,10	85-144	Ha/Kd/Te

Uit tabel 4.1 blijkt dat de concentratie van deeltjes met een diameter groter dan 2 µm onder bedrijfsomstandigheden varieert tussen circa 2 en 42/ml. Uit afbeeldingen 4.1 en 4.2 blijkt dat bij de Kiwa metingen de fractie > 3 µm in alle gevallen groter is dan 0,5, en bij de Hydron metingen in alle gevallen kleiner dan 0,5. Dit systematische verschil wordt toegeschreven aan niet correcte ijking van de (Kiwa) apparatuur.

Uit onderzoek is bekend dat bij toenemende onttrekkingsnelheid de deeltjesconcentratie toeneemt, en de fractie kleine deeltjes afneemt. Daartoe is de flux op de boorgatwand berekend.

5 Putverstopping, schakelen en deeltjes

In het voorgaande zijn de verschillende deelonderzoeken besproken, namelijk:

1. Stijghoogtemetingen van het grondwater met behulp van divers. Uit deze stijghoogtemetingen volgt het verloop van de afpompings, en daarmee van het al of niet optreden van putverstopping.
2. Putschakelingen van de onderwaterpomp. Uit deze schakelingen volgen de schakelfrequentie en de lengten van de opeenvolgende draaiperiodes van de onderwaterpomp.
3. Deeltjesconcentratie van het onttrokken grondwater. Door de aanwezigheid van versnellingskrachten onmiddellijk na het aanzetten van de onderwaterpomp worden deeltjes gemobiliseerd, die gedurende de voorgaande draaiperiode op de boorgatwand zijn geaccumuleerd. Uit het verloop van de deeltjesconcentratie kan een schatting van deze geaccumuleerde hoeveelheid worden gemaakt.

Uitgangspunt om te komen tot een verstoppingvrij puttenveld is het gedrag van deeltjes in het onttrokken grondwater. Indien bij iedere keer aanschakelen de geaccumuleerde hoeveelheid deeltjes (gemiddeld) wordt verwijderd, zal geen verstopping optreden. Om tot een verstoppingvrije bedrijfsvoering te komen, staan twee wegen open:

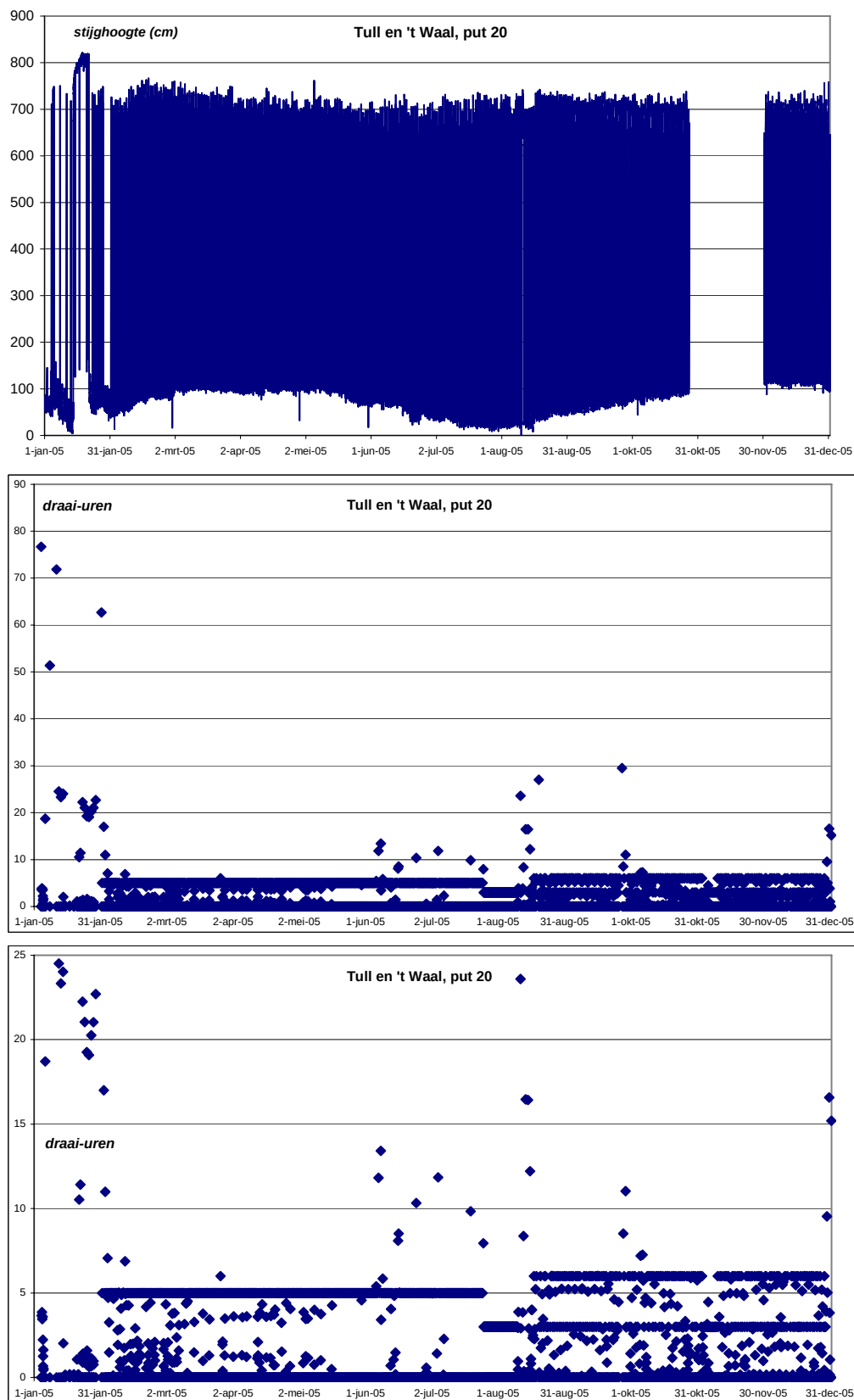
1. Empirische bepaling van de relatie tussen afpompings- en draaiperiode van de onderwaterpomp, en
2. Bepaling van de relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes als functie van voorafgaande draaiperiode van de onderwaterpomp. Zodra deze relatie niet meer lineair is, is de maximale draaiperiode zonder verstopping bereikt.

Bepaling van de maximale draaiperiode zonder verstopping volgens 1. is langdurig, waarbij altijd de kans blijft bestaan dat suboptimaal wordt gewerkt. Bepaling van de maximale draaiperiode volgens 2. kan in korte tijd worden uitgevoerd.

5.1 Putverstopping en schakelen

Bijlage 1 geeft een overzicht van de stijghoogten van het grondwater van alle putten. Het verschil tussen de stijghoogte tijdens bedrijf en tijdens rust geeft de afpompings. Uit bijlage 1 blijkt dat alleen van de putten 20, 21 en 22 de afpompings in de loop van de tijd varieert.

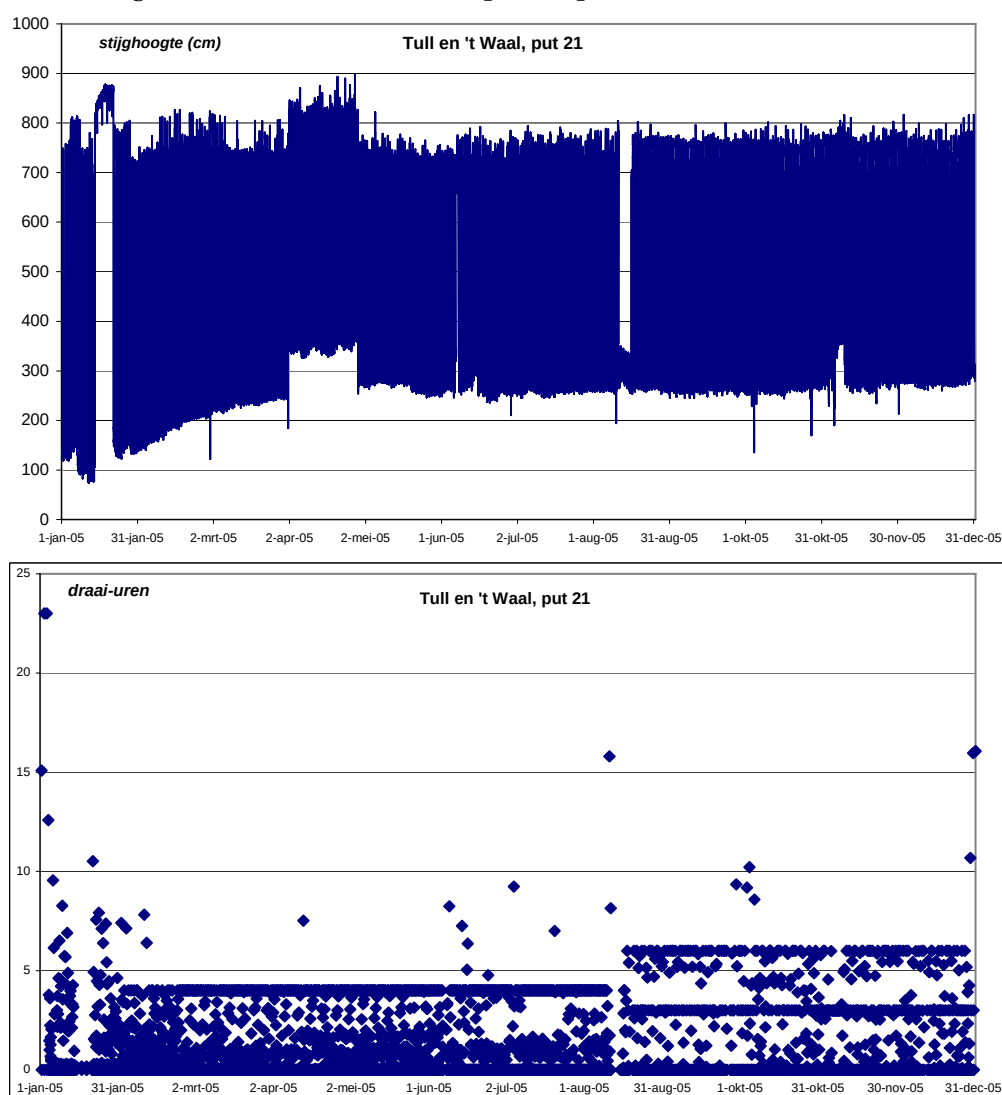
Onderstaande afbeelding toont het verloop van de afpompings van put 20 met het verloop van de draaiperiodes.



Afb. 5.1: Verloop van de stijghoogte in put 20 en van de duur van de onttrekkingperiode.

Uit afbeelding 5.1 blijkt dat het verloop van de afpompings van put 20 gedurende de maand januari 2005 onduidelijk is. Vanaf eind januari tot half mei neemt de afpompings eerst sterk af en vervolgens langzaam. De draaiperiodes bedragen in die perioden 1, 4 en 5 uur. Vanaf half mei neemt de watervraag blijkbaar toe, en bedraagt de draaiperiode gewoonlijk 5 uur. Vanaf dat moment begint ook de afpompings weer toe te nemen. Begin augustus wordt overgegaan op een draaiperiode van 3 uur, waarna de afpompings vrijwel onmiddellijk begint af te nemen. Half augustus wordt overgegaan op een carrouselperiode van 3 uur; de draaiperiodes bedragen voornamelijk 3 en 6 uur. De afpompings blijft afnemen tot eind oktober om vervolgens constant te blijven.

Afbeelding 5.2 toont hetzelfde verloop voor put 21.

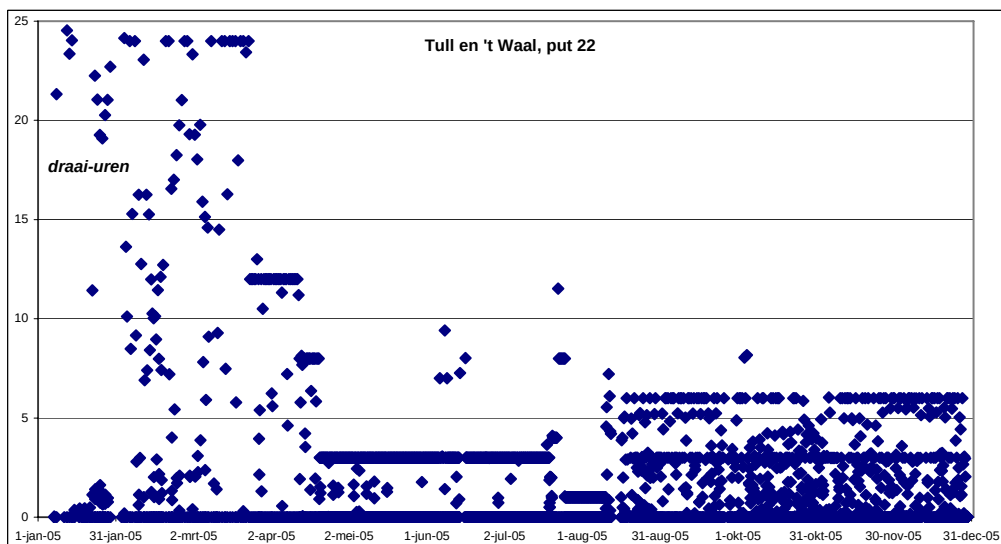
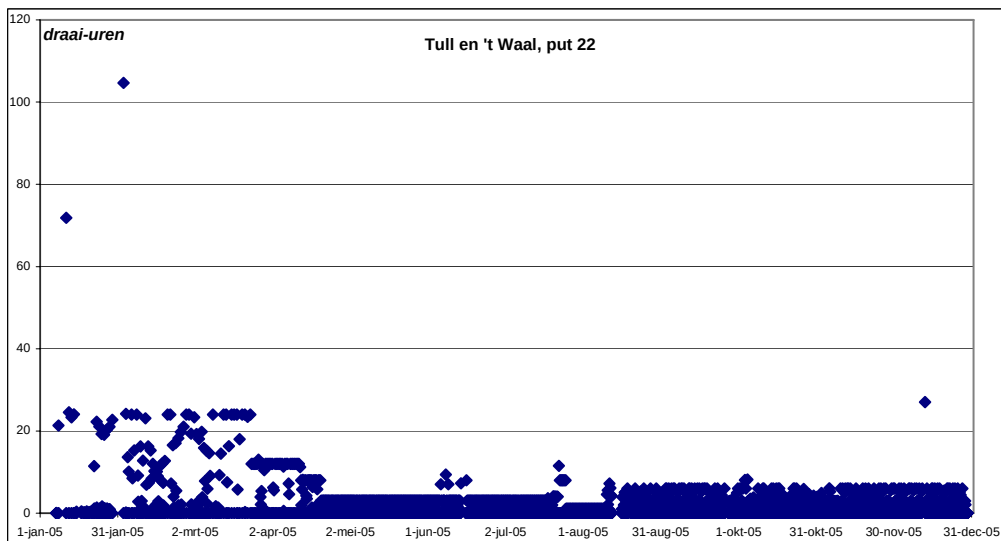
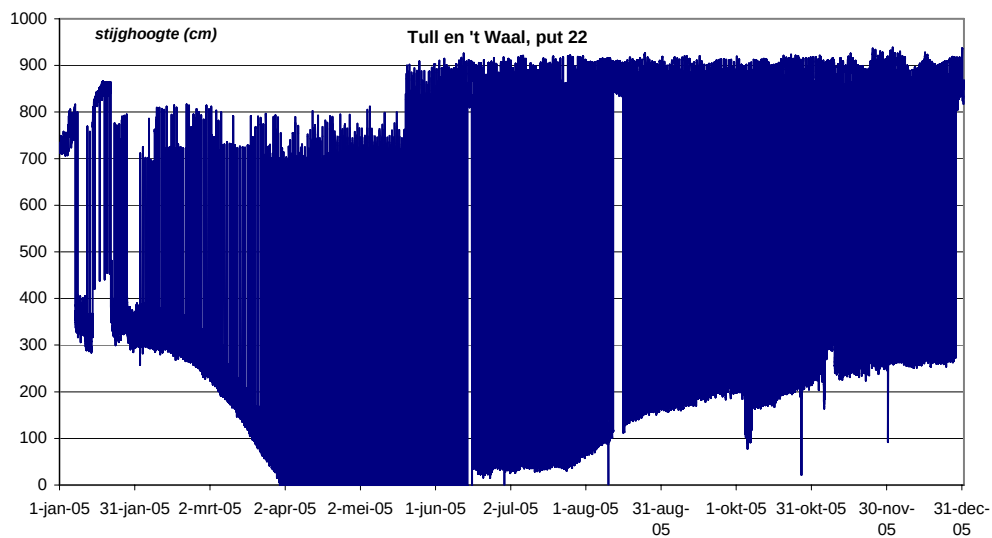


Afb. 5.2: Verloop van de stijghoogte in put 21 en van de duur van de onttrekkingperiode.

Ook bij put 21 is de situatie gedurende januari onduidelijk. Eind januari wordt overgegaan op een draaiperiode van 4 uur, waardoor de put nooit langer, maar vaak veel korter dan 4 uur aan één stuk draait. De afpompings

wordt tot april minder, om vervolgens constant te blijven. Ook na overgang naar een carrouselperiode van 3 uur, waardoor de put veelal 3 of 6 uur aan één stuk draait, blijft de afpompingsnelheid gelijk.

Afbeelding 5.3 toont het verloop van de stijghoogte van put 22 met de daarbij behorende onttrekkingperiodes. Deze put laat spectaculaire veranderingen in afpompingsnelheid zien.



Afb. 5.3: Verloop van de stijghoogte in put 22 met de bijbehorende onttrekkingperioden.

Tot eind maart bedraagt de draaiperiode tot 24 uur en neemt de afpompings exponentieel toe. Eind maart wordt overgegaan op een draaiperiode tot 12 uur, maar de afpompings blijft exponentieel toenemen, en de afpompings loopt uit het bereik van de diver. Dieper hangen van de diver en “knijpen” van de onderwaterpomp brengen de stijghoogte weer binnen het meetbereik. Eind juli wordt overgegaan naar een draaiperiode van 1 uur. De afpompings reageert op deze afname onmiddellijk met een afname in de afpompings. Half augustus wordt overgegaan naar een carrouselperiode van 3 uur, waardoor de put maximaal 3 uur, 6 uur of minder draait. De afpompings blijft afnemen, totdat eind van het jaar een constante waarde wordt bereikt.

Uit voorgaande blijkt dat met een carrouselperiode van 3 uur het optreden van putverstopping wordt voorkomen. Deze conclusie geldt niet voor put 33, die gedurende het jaar 2005 wel enigszins (20%) verstopt is.

Deze waarneming is merkwaardig: de putten 20, 21 en 22 die begin 2005 al verstopt waren, verstopten bij een carrouselperiode van 3 uur niet, terwijl zij zijn uitgerust met een grotere onderwaterpomp en meer draaiuren maakten dan put 33. Overigens de putten 34 en 35, die vergelijkbaar zijn met put 33 verstopten niet. Blijkbaar gedraagt put 33 zich uitzonderlijk.

Uit voorgaande blijkt dat de verstopte putten 20, 21 en 22 scherp op veranderingen in bedrijfsvoering reageren, en de overige putten niet. Blijkbaar zijn rond de verstopte putten al zoveel deeltjes rond de put geaccumuleerd dat de toestroming van grondwater kritisch is geworden, en is de bedrijfsvoering voor de overige putten niet kritisch.

5.2 Schakelen en deeltjes

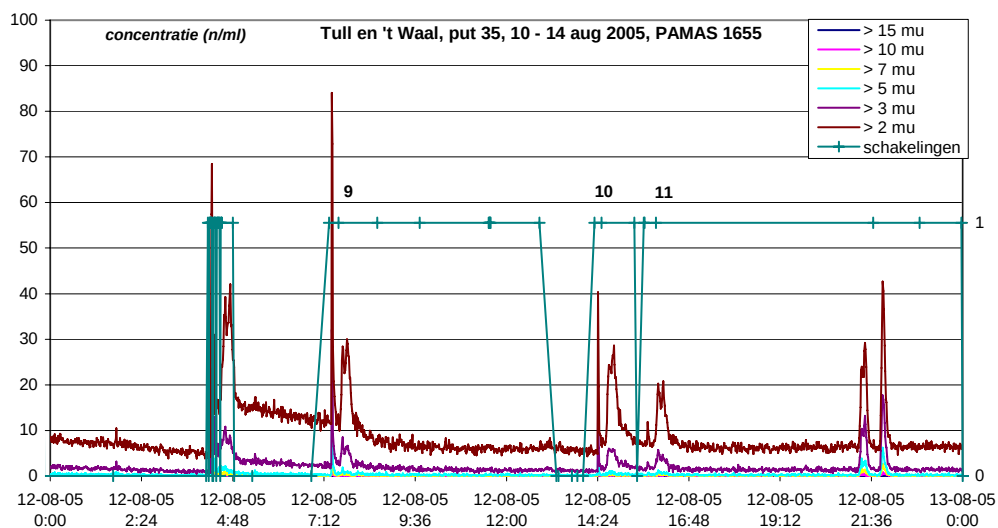
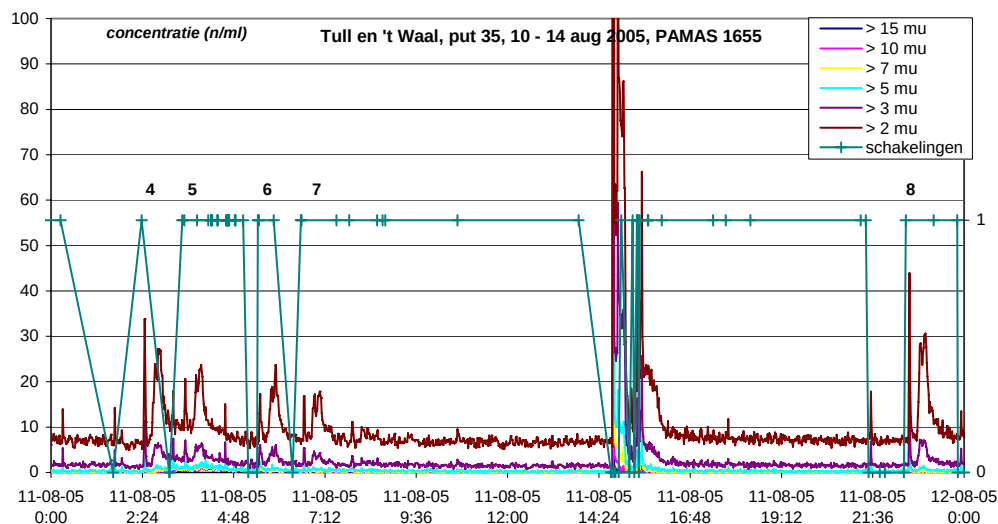
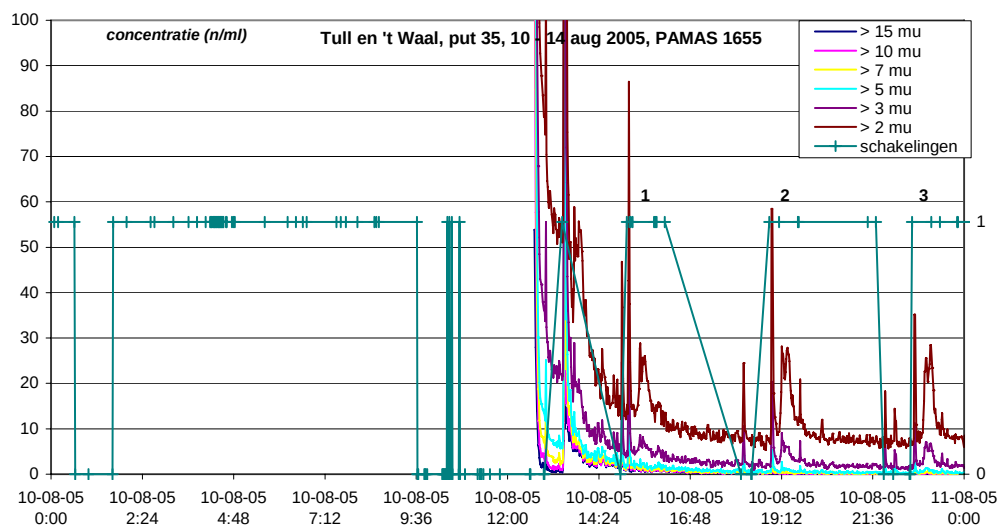
In voorgaande paragraaf is op empirische wijze tot een verstoppingvrije bedrijfsvoering gekomen. Probleem is dat niet bekend is of dit ook de optimale bedrijfsvoering is.

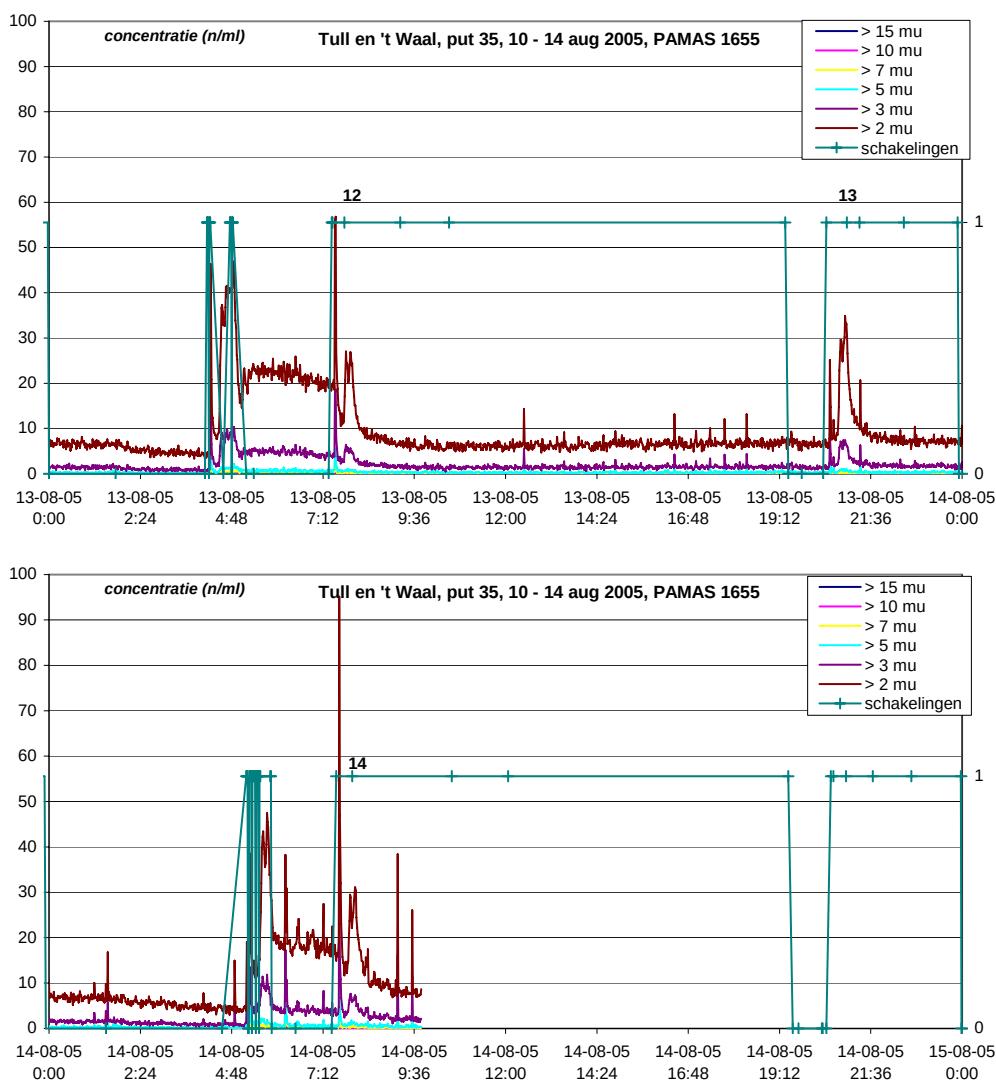
Met behulp van deeltjestellingen is het mogelijk om op systematische wijze tot de optimale bedrijfsvoering te komen, namelijk een zolang mogelijke draaiperiode bij een zo hoog mogelijke onttrekkingcapaciteit zonder dat verstopping optreedt. Zolang een lineaire relatie bestaat tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes en duur van de voorafgaande onttrekkingperiode, worden alle deeltjes verwijderd die gedurende die periode op de boorgatwand zijn geaccumuleerd. Het punt waar deze relatie niet meer lineair is (niet al het geaccumuleerde wordt afgevoerd) vormt het optimale punt.

In deze paragraaf zal deze benadering aan twee uitersten worden toegelicht, namelijk: de nieuwe put 35 gedurende de periode 10 tot 14 augustus 2005, en de oude put 22 gedurende de periode 6 tot 11 januari 2006. Voor andere putten wordt deze relatie in de bijlagen gepresenteerd.

Onderstaande afbeelding toont het verloop van de deeltjesconcentratie en de putschakeling per dag van put 35. In de afbeeldingen zijn 14 schakelingen voor verdere analyse geselecteerd. Frequente schakelingen zijn niet geschikt voor onderzoek. Het concentratieverloop van deeltjes gedurende deze 14

schakelingen is vervolgens over een periode van 50 minuten uitgelicht en (vergroot) gepresenteerd. Het beginpunt van ieder verloop wordt gevormd door de piek in concentratie van deeltjes afkomstig van de putkop.

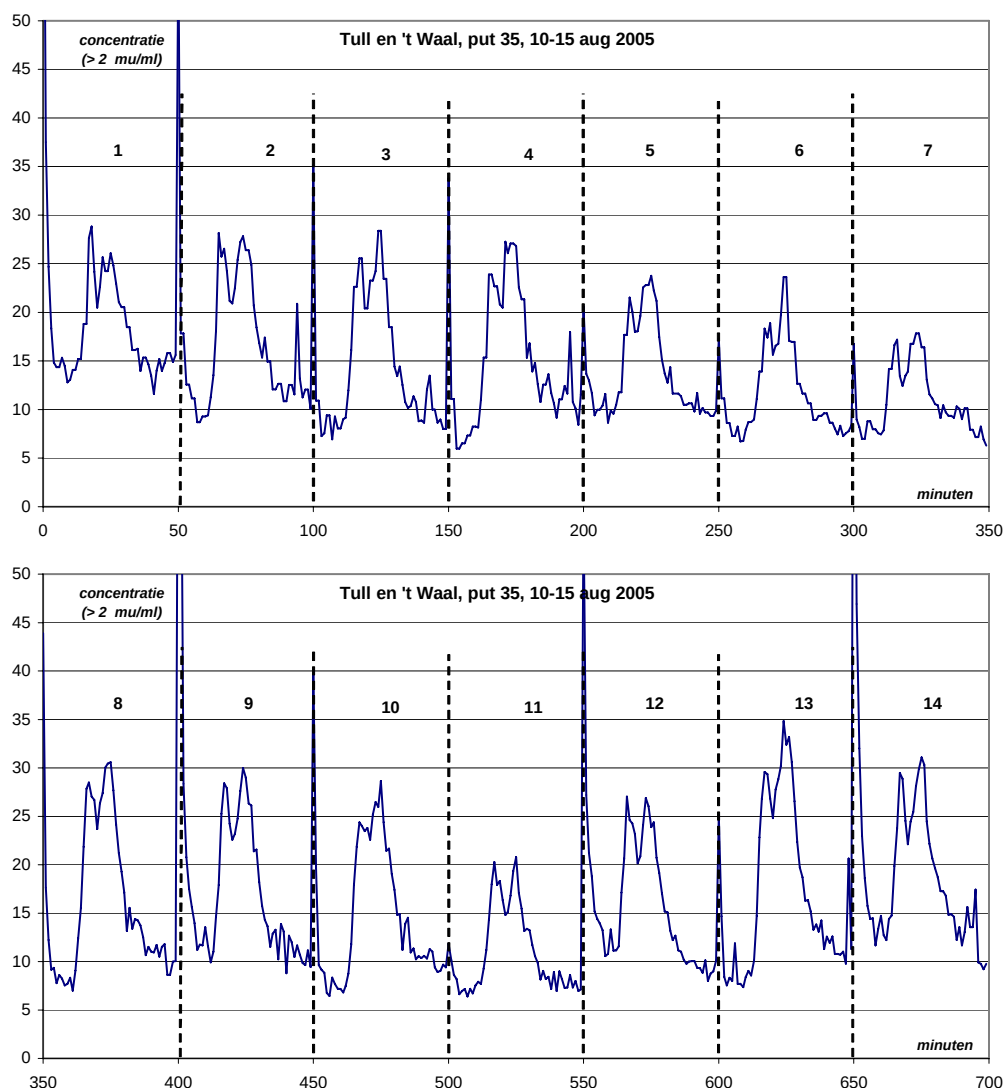




Afb. 5.4: Verloop van de concentratie van deeltjes in het onttrokken grondwater van put 35 gedurende de periode 10 tot 14 augustus 2005.

Uit bovenstaande afbeelding blijkt duidelijk dat iedere piek afkomstig van de boorgatwand tweetoppig is: het putfilter bestaat uit twee gedeelten. Blijkbaar leveren beide putfilters deeltjes; omdat de tweede piek wat hoger en breder is dan is eerste piek, levert het diepe putfilter het meeste materiaal.

Opvallend is het verschil in achtergrondniveau van de concentratie: 7 à 8 deeltjes/ml in schakeling 2 en 5, en 10 à 11 deeltjes/ml in schakeling 4 en 6.



Afb. 5.5: Verloop van de concentratie deeltjes in het onttrokken grondwater van put 35 gedurende 50 minuten na het (aan)schakelen van de onderwaterpomp.

Put 35 is uitgerust met een onderwaterpomp van 60 m³/h, het duurt dus enige tijd voordat het onttrokken grondwater de putkop heeft bereikt. Uit bovenstaande afbeelding blijkt dat deze periode 17 minuten bedraagt. Uit bovenstaande afbeelding blijkt ook dat de piek in concentratie tweetoppig is. Het putfilter van put 35 bestaat uit twee gedeelten; blijkbaar leveren beide filters een piek in concentratie.

In de meeste gevallen is de tweede piek in concentratie hoger en breder dan de eerste piek. Blijkbaar levert het diepe putfilter meer deeltjes dan het ondiepe filter.

Uit bovenstaande afbeelding blijkt tevens dat het maximum van de concentratie varieert tussen 15 en 35 deeltjes/ml, en de achtergrondconcentratie tussen 7 en 13 deeltjes/ml.

De vorm van de pieken in concentratie vertoont enige variatie. Dit wordt veroorzaakt door het "oplossend" vermogen van de meting: één telling duurt 1 minuut. Variaties binnen één minuut kunnen dus niet worden

waargenomen. Bovendien is het tijdraster nooit op identieke wijze op het actuele verloop van de concentratie gesuperponeerd.

Een maat voor de hoeveelheid deeltjes die door het schakelen wordt verwijderd, wordt gevormd door de oppervlakte onder het verloop van de actuele deeltjesconcentratie minus de evenwichtsconcentratie:

$$M = Q \int_0^{\infty} (c_{d>2\mu\text{m},\text{actueel}} - c_{d>2\mu\text{m},\text{achtergrond}}) dt = Q \left(\int_0^{\Delta t} c_{d>2\mu\text{m},\text{actueel}} dt \right) - c_{d>2\mu\text{m},\text{achtergrond}} \Delta t$$

Hierin is:

M: maat voor verwijderd aantal deeltjes (aantal),

Q: volumestroom (m³/h)

$c_{d>2\mu\text{m},\text{actueel}}$: actuele concentratie van deeltjes met een diameter groter dan 2 μm (aantal/ml),

$c_{d>2\mu\text{m},\text{achtergrond}}$: achtergrond/evenwichtsconcentratie van deeltjes met een diameter groter dan 2 μm (aantal/ml),

t: tijd (h).

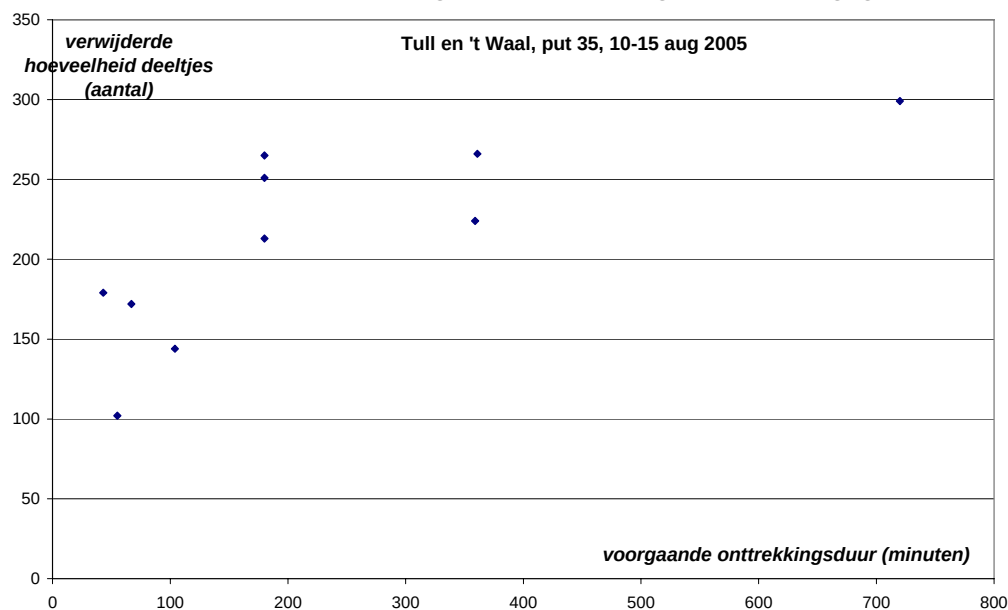
Beschouwing van afbeelding 5.1 en 5.2 leert dat de achtergrond concentratie in het onttrokken grondwater varieert van 7 tot 13 deeltjes/ml. Deze variatie in achtergrondconcentratie bemoeilijkt een schatting van de verwijderde hoeveelheid deeltjes. Want bij gelijke vorm van de curve zal een hoger maximum in concentratie samen gaan met een bredere basis. Daarom is als achtergrond concentratie met het (relatieve) minimum na de piek gerekend.

Het resultaat van deze berekening is voor put 35 in onderstaande tabel samengevat.

Tabel 5.1: Berekende hoeveelheid verwijderde deeltjes en duur van de voorafgaande onttrekkingperiode voor put 35.

Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	10 aug	Frequente schakeling		165
2		15.08 - 18.08	180	213
3		18.53 - 21.53	180	251
4		22.38 - 01.38	180	265
5	11 aug	02.23 - 03.06	43	179
6		03.27 - 05.11	104	144
7		05.26 - 06.21	55	102
8		15.28 - 21.29	361	266
9		Frequente schakeling		255
10	12 aug	07.20 - 13.19	359	224
11		14.19 - 15.26	67	172
12		Frequente schakeling		228
13	13 aug	07.26 - 19.26	720	299
14		Frequente schakeling		259

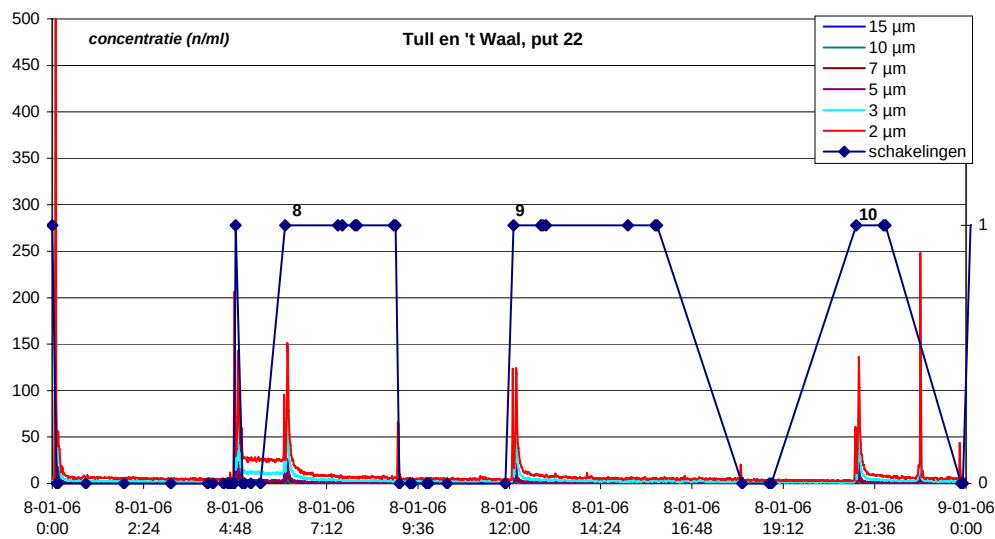
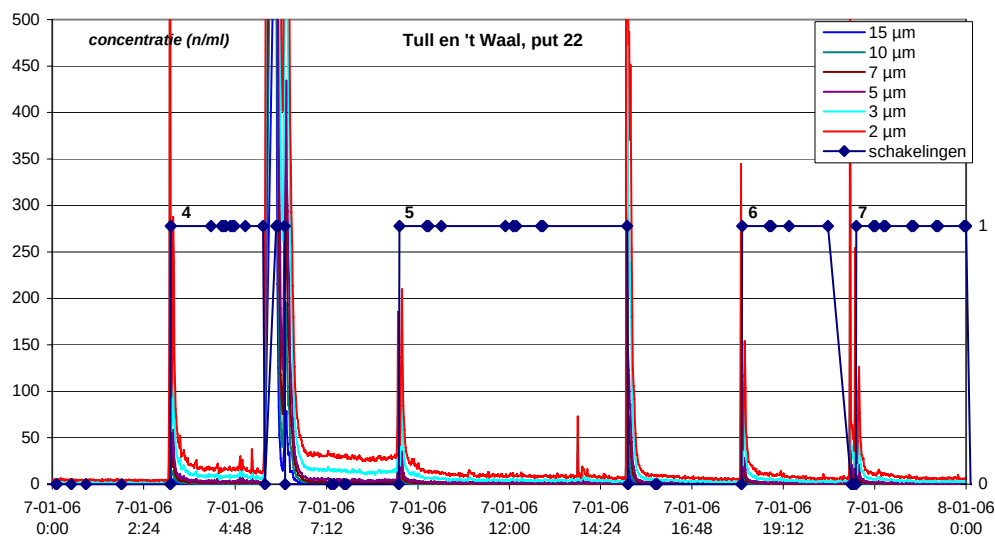
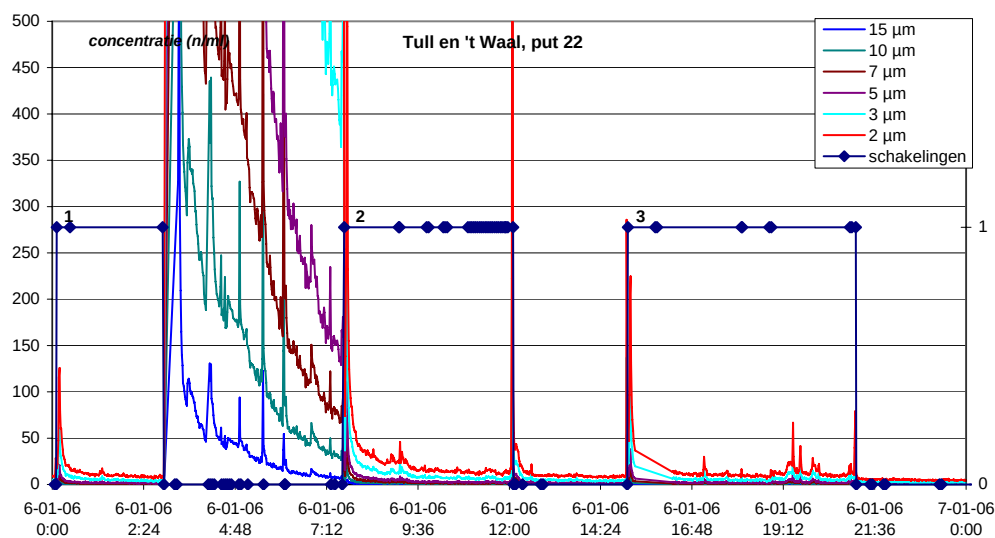
Het resultaat van deze berekening is onderstaand grafisch weergegeven.

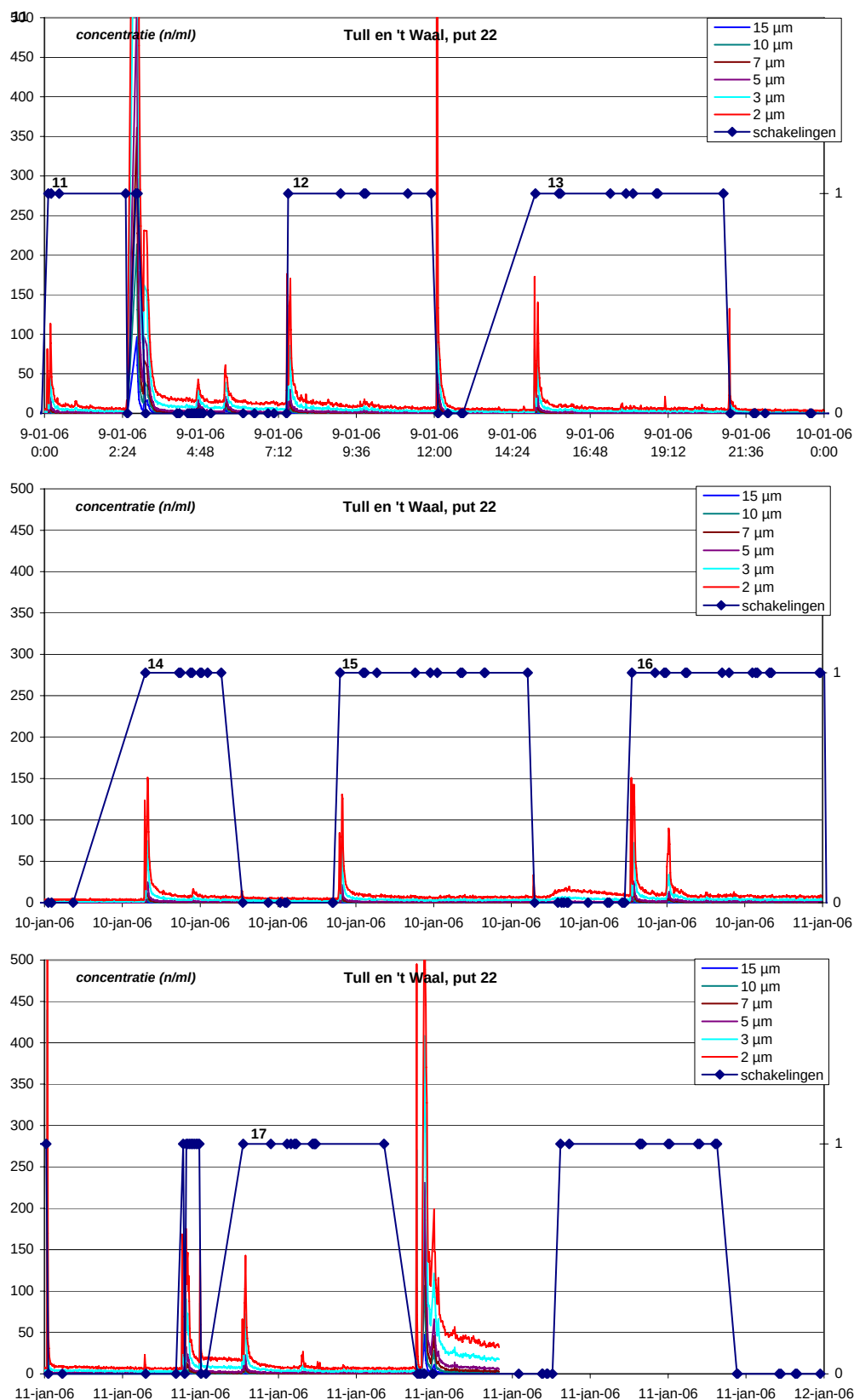


Afb. 5.6: Relatie tussen verwijderd aantal deeltjes en duur van de voorgaande onttrekkingperiode voor put 35.

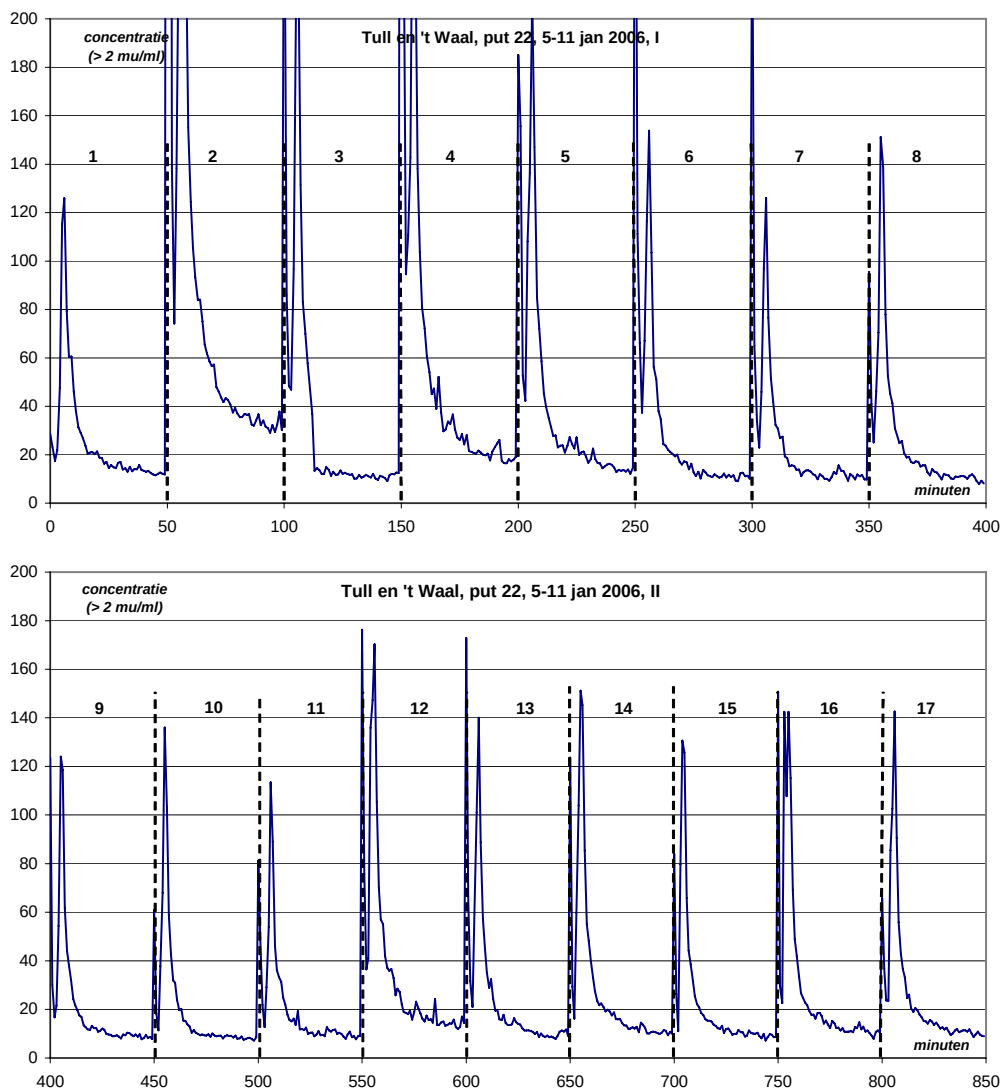
Uit afbeelding 5.6 blijkt een globale relatie aanwezig tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes en de lengte van de voorgaande onttrekkingperiode.

De resultaten van de metingen van put 22 zijn op identieke wijze uitgewerkt. Onderstaande afbeelding toont het verloop in concentratie van deeltjes in het onttrokken grondwater van de verstoppende put 22.





Afb. 5.7: Verloop van de concentratie van deeltjes in het onttrokken grondwater van put 22 gedurende de periode van 6 tot 11 januari 2006.



Afb. 5.8: Verloop van de concentratie van deeltjes in het onttrokken grondwater van put 22 gedurende 50 minuten onmiddellijk na het aanschakelen van de onderwaterpomp.

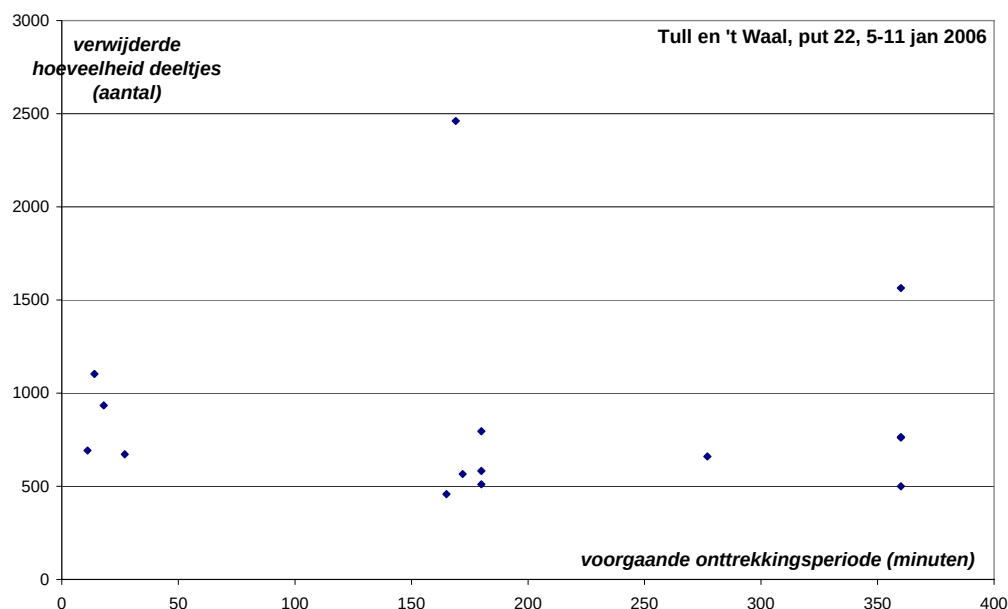
Put 22 is uitgerust met een onderwaterpomp met een capaciteit van 150 m³/h. Ten gevolge van deze grotere capaciteit verschijnt de piek in concentratie na het aanschakelen van de onderwaterpomp veel sneller dan bij put 35, namelijk na 5 of 6 minuten. In meerdere gevallen is de piek in concentratie zichtbaar als een schouder in het verloop van de concentratie onmiddellijk na het aanzetten van de onderwaterpomp.

Vergelijking van afbeelding 5.5 en 5.8 laat zien dat de piek in concentratie afkomstig van het putfilter in put 22 hoger is (115 tot 150 deeltjes/ml) dan bij put 35 (20 tot 35 deeltjes/ml) en ook de variatie in achtergrondconcentratie, 10 tot 35 deeltjes/ml bij put 22 tegen 7 tot 13 deeltjes/ml bij put 35.

Tabel 5.2: Berekende verwijderde hoeveelheid deeltjes en duur van de voorgaande onttrekkingperiode voor put 22.

Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	5 jan			675
2	6 jan	00.07 – 02.56	169	2461
3		07.40 – 12.07	267	-
4		15.07 – 21.07	360	1564
5	7 jan	05.53 – 06.07	14	1103
6		09.07 – 15.07	360	764
7		18.07 – 20.59	172	566
8	8 jan	04.49 – 05.00	11	692
9		06.07 – 09.07	180	511
10		12.07 – 18.07	360	500
11		21.07 – 23.52	165	458
12	9 jan	02.49 – 03.07	18	934
13		07.30 – 12.07	277	660
14		15.07 – 21.07	180	795
15	10 jan	03.07 – 07.07	180	583
16		09.07 – 15.07	360	762
17	11 jan	04.22 – 04.49	27	672

De resultaten van bovenstaande tabel zijn onderstaand grafisch weergegeven.



Afb. 5.9: Relatie tussen verwijderd aantal deeltjes en duur van de voorgaande onttrekkingperiode.

Uit bovenstaande afbeelding blijkt voor de (verstopte) put 22 geen relatie te bestaan tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes en duur van voorgaande onttrekkingperiode.

In bijlage 3 zijn meer resultaten van deeltjestellingen op deze wijze uitgewerkt. Het blijkt dat de resultaten van deze uitwerkingen het midden houden tussen beide bovenstaande voorbeelden.

Er blijkt geen lineaire relatie aanwezig tussen verwijderd aantal deeltjes bij aanzetten van de onderwaterpomp en duur van de voorgaande onttrekkingperiode. Voor de nieuwe putten is een zwakke relatie aanwezig; na een voorgaande onttrekkingperiode langer dan circa 5 uur is de verwijderde hoeveelheid deeltjes constant. Bij de oude (verstopte) putten wordt steeds een vergelijkbare hoeveelheid deeltjes verwijderd.

5.3 Deeltjesbalans

Dat er geen duidelijke relatie wordt gevonden tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes bij aanschakelen van de onderwaterpomp en de duur van de voorgaande ontrekkingsperiode ligt eigenlijk wel voor de hand. Verwacht mag worden dat rond een put op de boorgatwand een groot reservoir deeltjes aanwezig is. Tijdens de onttrekking wordt dat reservoir aangevuld met deeltjes die op de boorgatwand worden afgefilterd. Indien deze hoeveelheid klein is ten opzichte van de reeds aanwezige hoeveelheid, zal bij iedere start van de onttrekking een vergelijkbare hoeveelheid deeltjes worden verwijderd. Putten die niet meer de oorspronkelijke specifieke volumestroom bezitten worden gekenmerkt door een groot reservoir deeltjes. In deze situatie zal bij het aanschakelen van de onderwaterpomp iedere keer een vergelijkbare hoeveelheid deeltjes worden verwijderd. Deze hoeveelheid wordt bepaald door de versnellingskracht opgewekt bij het aanzetten van de onderwaterpomp.

Bij putten die volledig zijn ontwikkeld en die hun oorspronkelijke specifieke capaciteit bezitten, worden gekenmerkt door een klein reservoir deeltjes. Indien dit reservoir maar klein is ten opzichte van de tijdens de voorgaande onttrekking geaccumuleerde hoeveelheid, zal mogelijk wel een verband bestaan tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes en duur van de voorgaande onttrekking.

Het is echter wel mogelijk een deeltjesbalans op te stellen. Deze balans zal hier als voorbeeld voor de putten 35 en 22 worden opgesteld.

Uit bijlage 2 blijkt dat de onttrekkingperiode van put 35 van 10 tot 15 aug 2005 gemiddeld circa 3 uur bedroeg. Uit afbeelding 5.6 blijkt dat bij het schakelen circa 250 d.min/ml worden verwijderd, en uit afbeelding 5.4 dat de achtergrondconcentratie circa 8 d/ml bedraagt. De deelstroom waaraan gemeten is bedroeg 60 ml/min, terwijl put 35 in die tijd was uitgerust met een onderwaterpomp van 60 m³/h. De werkelijke onttrekking was dus een factor $1/60 \cdot 10^6$ groter.

De hoeveelheid deeltjes die de boorgatwand is gepasseerd is gelijk aan:

$$M_{\text{gepasseerd}} = 3h \cdot \frac{8d}{ml} \cdot \frac{60ml}{min} \cdot \frac{60min}{h} \cdot \frac{10^6}{60} = 1440 \cdot 10^6 d$$

$$M_{\text{geaccumuleerd}} = \frac{250d \cdot min}{ml} \cdot \frac{60ml}{min} \cdot \frac{10^6}{60} = 250 \cdot 10^6 d$$

Het totaal aanbod van deeltjes op de boorgatwand gedurende deze periode is dus gelijk aan $M_{\text{totaal}} = M_{\text{gepasseerd}} + M_{\text{geaccumuleerd}} = 1440 \cdot 10^6 + 250 \cdot 10^6 = 1690 \cdot 10^6$ deeltjes. Van dit totale aanbod is dus $250/1690 \approx 15\%$ op de boorgatwand achtergebleven.

Bij deze benadering is geen rekening gehouden met de deeltjes die bij aanschakelen in de putkop worden gemobiliseerd.

Voor put 22 gelden de volgende kengetallen: onttrekking gedurende circa 3 uur, verwijderde hoeveelheid deeltjes 600 d.min/ml, achtergrondconcentratie 10 d/ml, en capaciteit van de onderwaterpomp 150 m³/h.

De hoeveelheid deeltjes die de boorgatwand is gepasseerd is gelijk aan:

$$M_{\text{gepasseerd}} = 3h \cdot \frac{10d}{ml} \cdot \frac{60ml}{min} \cdot \frac{60min}{h} \cdot \frac{150 \cdot 10^6}{60 \cdot 60} = 4500 \cdot 10^6 d$$

$$M_{\text{geaccumuleerd}} = \frac{600d \cdot min}{ml} \cdot \frac{60ml}{min} \cdot \frac{150 \cdot 10^6}{60 \cdot 60} = 1500 \cdot 10^6 d$$

Het totaal aanbod van deeltjes op de boorgatwand gedurende deze periode is dus gelijk aan $M_{\text{totaal}} = M_{\text{gepasseerd}} + M_{\text{geaccumuleerd}} = 4500 \cdot 10^6 + 1500 \cdot 10^6 = 6000 \cdot 10^6$ deeltjes. Van dit totale aanbod is dus $1500/6000 \approx 25\%$ op de boorgatwand achtergebleven.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de berekende resultaten van de overige metingen.

Tabel 5.3: Schatting van de fractie van de deeltjes afgefilterd op de boorgatwand.

put nr	periode	1	2	3	4	5	6	7
		m ³ /h	l/ml	h	min/ml	10 ⁶	10 ⁶	
35	10-15 aug	60	8	3	250	1440	250	0,15
22	6-15 jan	150	10	3	600	4500	1500	0,25
21	5-11 jan	100	2	3	27,5	600	45,8	0,07
33	10-15 aug	60	3	4	125	720	125	0,15
33	5-27 okt	60	3	3	120	540	120	0,18
33	13-27 okt	60	2,5	2,5	100	375	100	0,21
35	15-18 nov	60	8	3	300	1440	300	0,17
35	15-18 nov	60	5	3	180	900	180	0,17

1) Capaciteit van de owp

2) Gemeten achtergrondconcentratie

- 3) Gemiddelde duur van de onttrekking
- 4) Verwijderde hoeveelheid deeltjes
- 5) $M_{\text{gepasseerd}}$
- 6) $M_{\text{geaccumuleerd}}$
- 7) Gedeelte achtergebleven

Uit bovenstaande tabel blijkt dat de orde van grootte van deeltjes die op de boorgatwand worden afgefilterd, varieert tussen 7 en 25%.

6 Conclusies en aanbevelingen

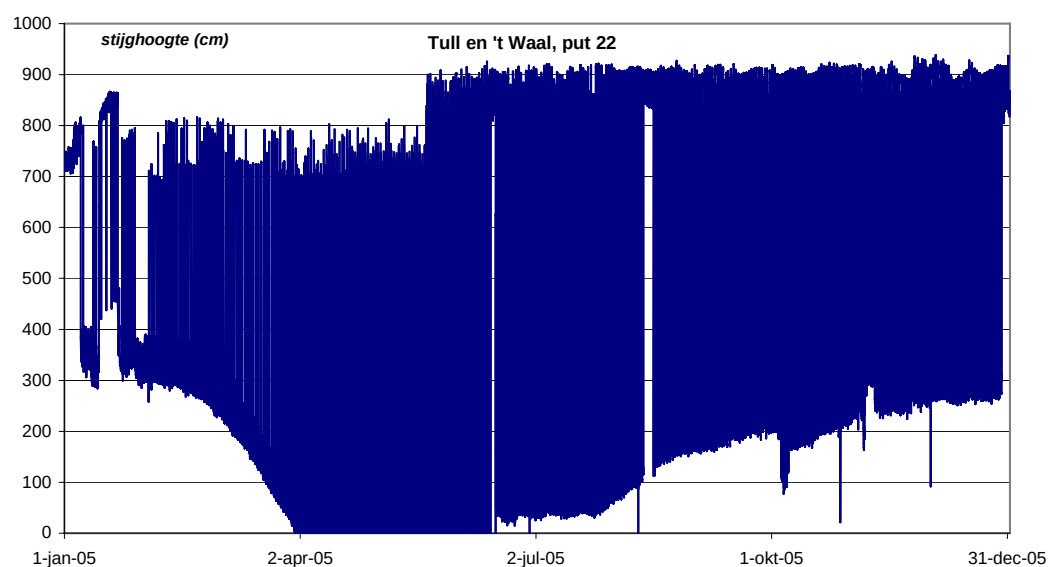
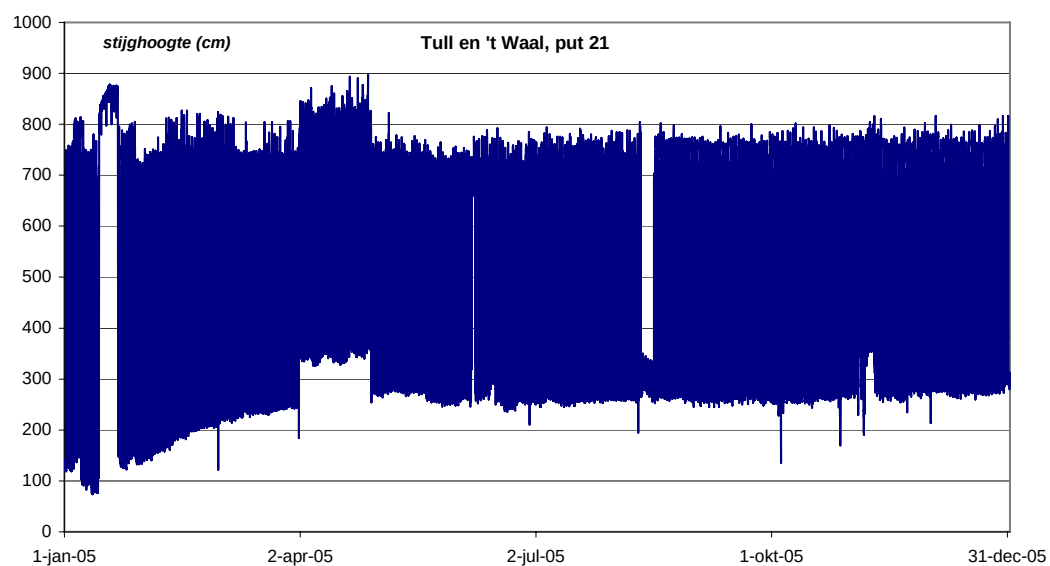
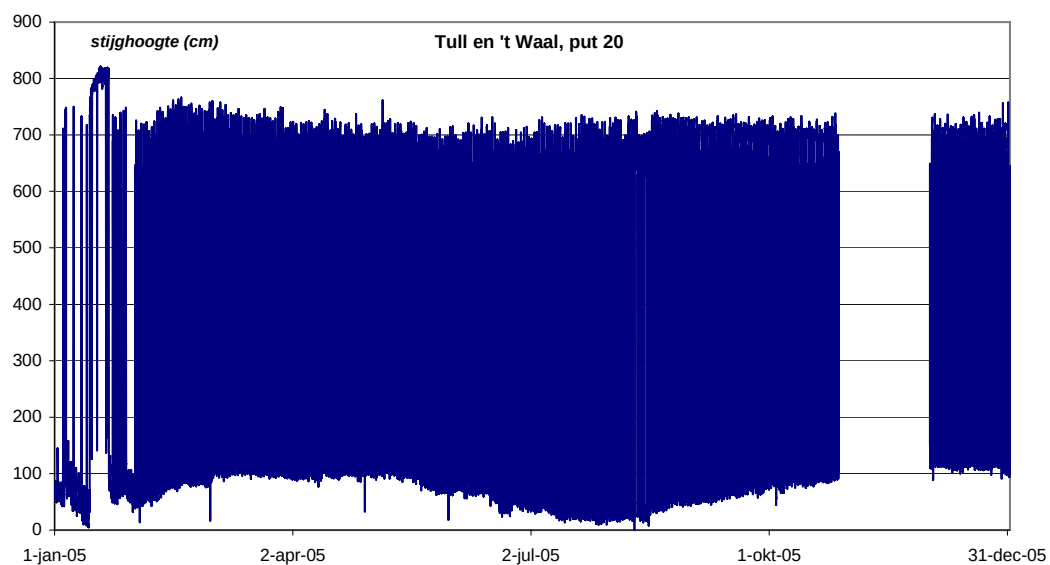
6.1 Conclusies

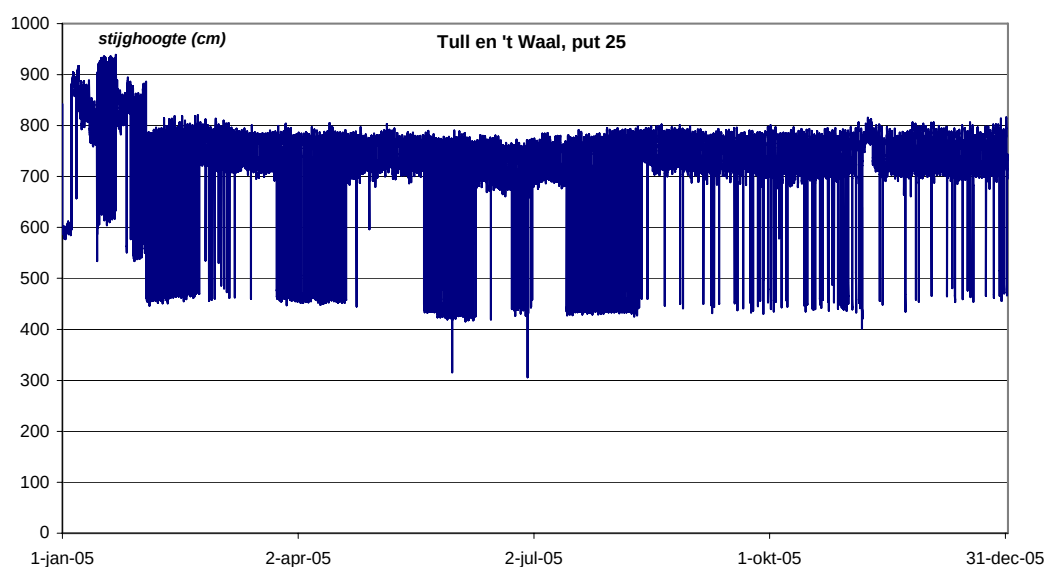
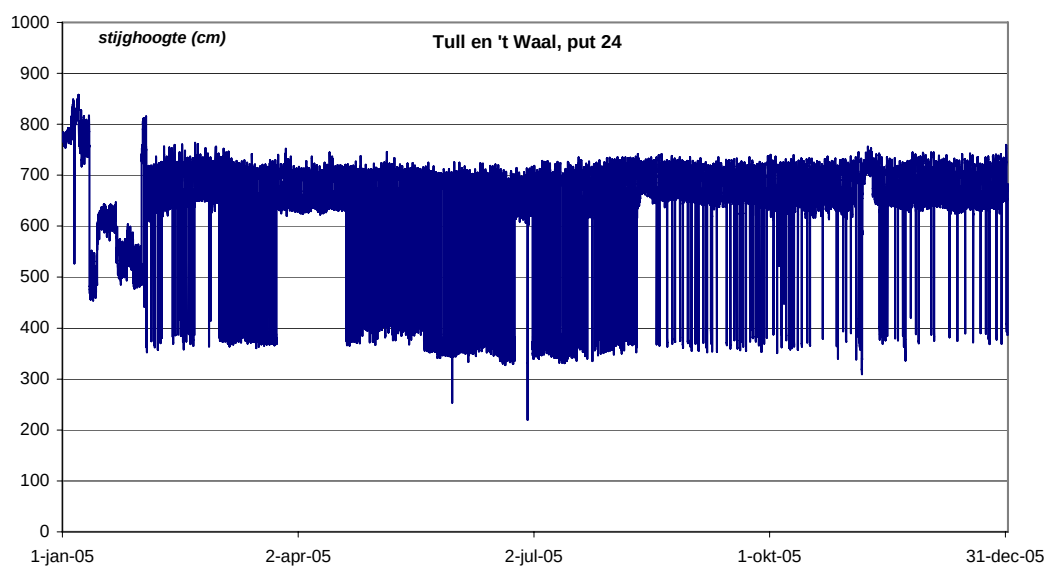
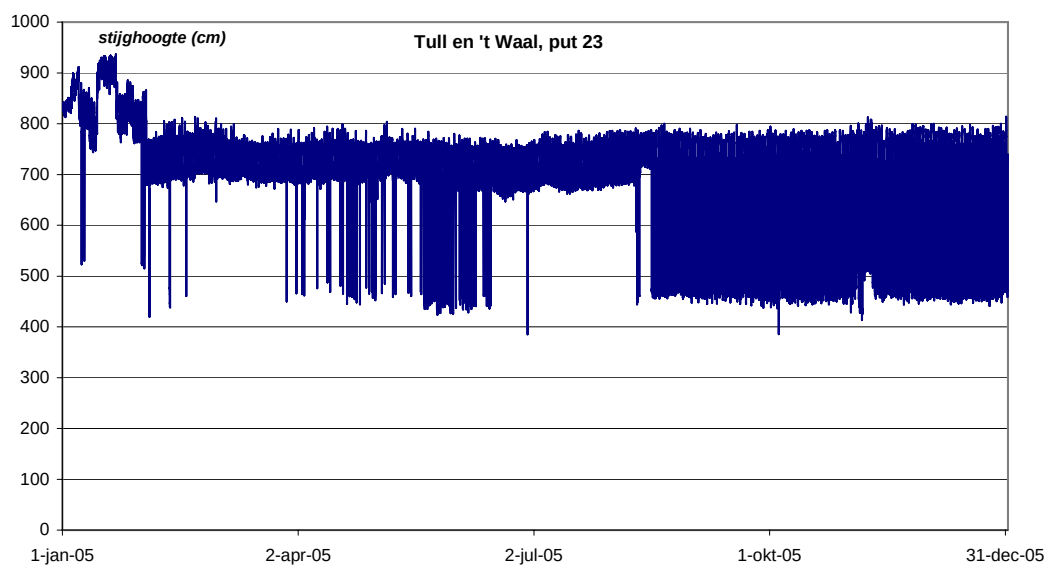
1. Afgezien van de (experimenteer)putten 20 en 22 zijn de overige putten gedurende 2005 niet of nauwelijks verstopt.
2. Met behulp van putschakelen is het optreden van putverstopping te manipuleren. Met andere woorden, mechanische putverstopping is niet iets wat je overkomt.
3. Na verstopping is de put met behulp van putschakelen niet meer tot zijn oorspronkelijke niveau terug te brengen.
4. Het gedrag van de maximaal ontwikkelde putten 33, 34 en 35 is vergelijkbaar met de overige putten.
5. Door introductie van de carrousel putschakeling is een constante bedrijfsvoering van de putten verkregen. De putten worden per groep in gelijke mate belast. Er vallen nu geen putten meer tussen wal en schip: putten die nagenoeg niet of putten die nagenoeg continu in bedrijf zijn.
6. De carrousel schakeling wordt regelmatig verstoord door kortdurende (korter dan één minuut) aan- en uitschakelingen. Deze schakelingen hebben de experimenten nadelig beïnvloed.
7. Deeltjestellingen laten tussen de putten grote verschillen in deeltjesconcentratie en in deeltjesgrootteverdeling zien. Deze verschillen hebben consequenties voor de optimale bedrijfsvoering. Om verstopping van alle putten te voorkomen dient de bedrijfsvoering op de meest kwetsbare put te worden afgestemd. Een andere mogelijkheid is putten met vergelijkbare verstoppinggevoeligheid in dezelfde carrouselgroep onder te brengen, en per carrouselgroep de belasting verschillend te kiezen.
8. De verstopte putten 20, 21 en 22 reageren scherp op veranderingen in bedrijfsvoering, de overige putten niet. Blijkbaar zijn rond de verstopte putten al zoveel deeltjes rond de put geaccumuleerd dat de toestroming van grondwater kritisch is geworden, en is de gevolgde bedrijfsvoering voor de overige putten niet kritisch.
9. Er blijkt geen lineaire relatie aanwezig tussen verwijderd aantal deeltjes bij aanzetten van de onderwaterpomp en duur van de voorgaande onttrekkingperiode. Voor de nieuwe putten is een zwakke relatie aanwezig; na een voorgaande onttrekkingsperiode langer dan circa 5 uur is de verwijderde hoeveelheid deeltjes constant. Bij de oude (verstopte) putten wordt steeds een vergelijkbare hoeveelheid deeltjes verwijderd. Blijkbaar is bij de oude (verstopte) putten een grote overmaat deeltjes aanwezig, waardoor steeds een vergelijkbaar aantal wordt verwijderd. Dit aantal wordt bepaald door de versnellingskracht opgewekt bij het aanzetten van de onderwaterpomp.
10. Met behulp van een deeltjesbalans kan een orde van grootte worden verkregen van de fractie deeltjes die op de boorgatwand worden afgefilterd. Deze orde van grootte varieert tussen 7 en 25%.

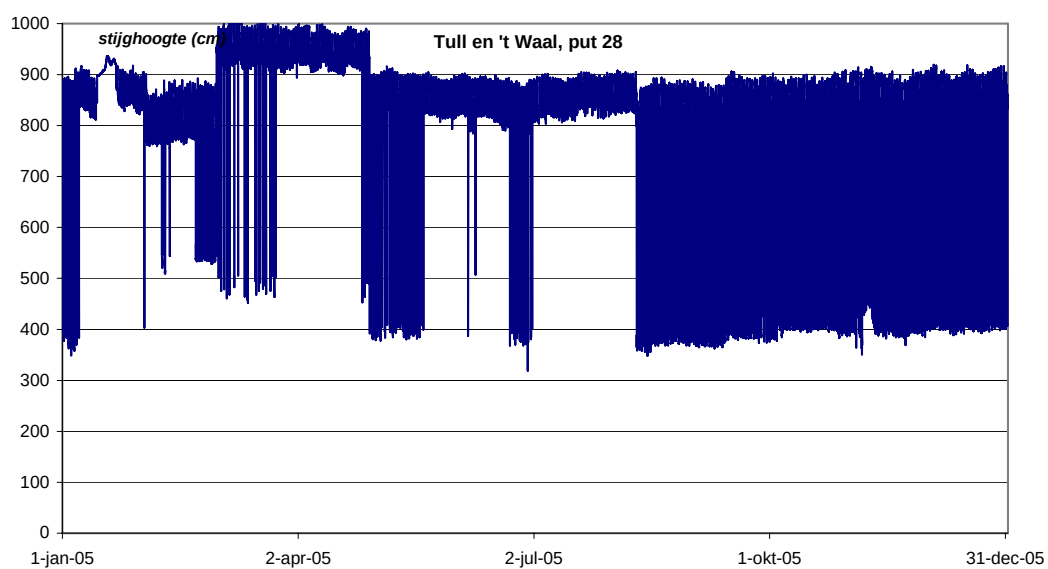
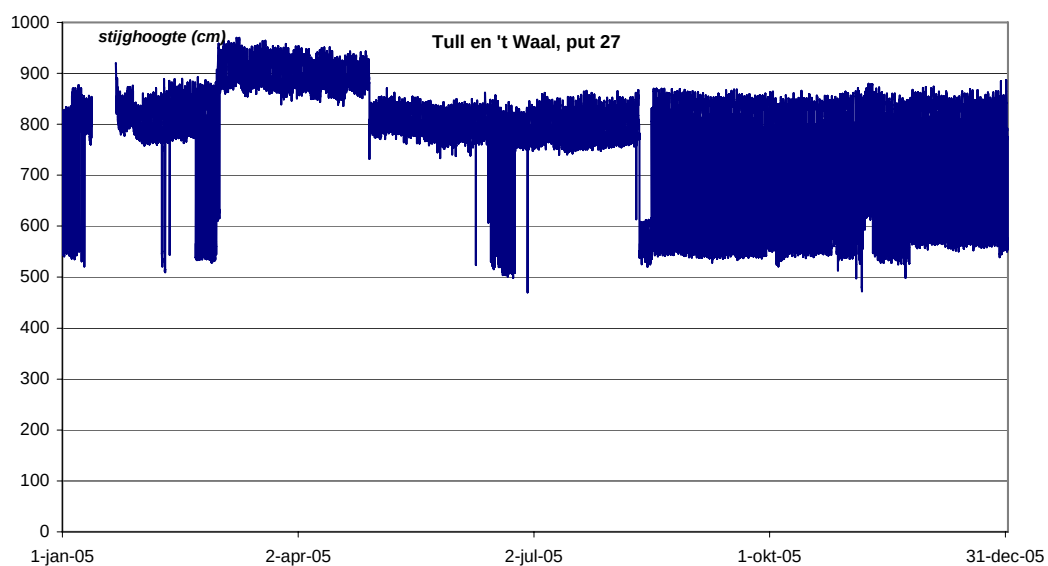
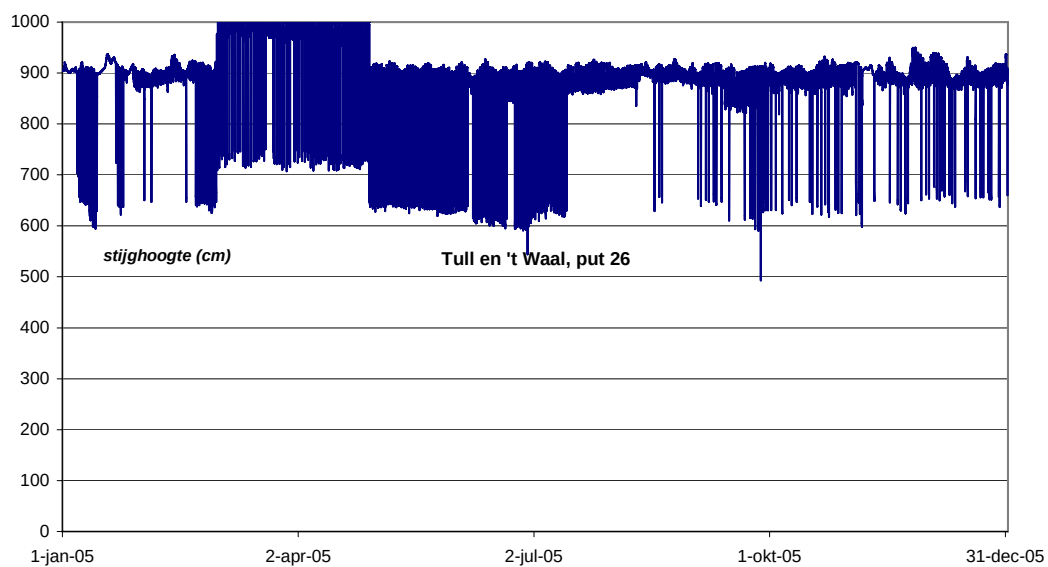
6.2 Aanbevelingen

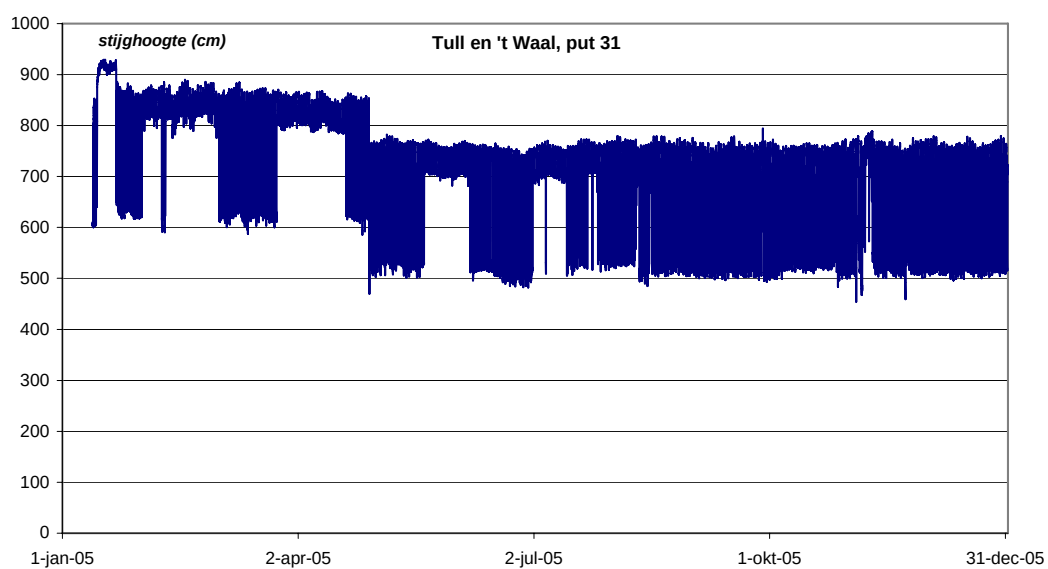
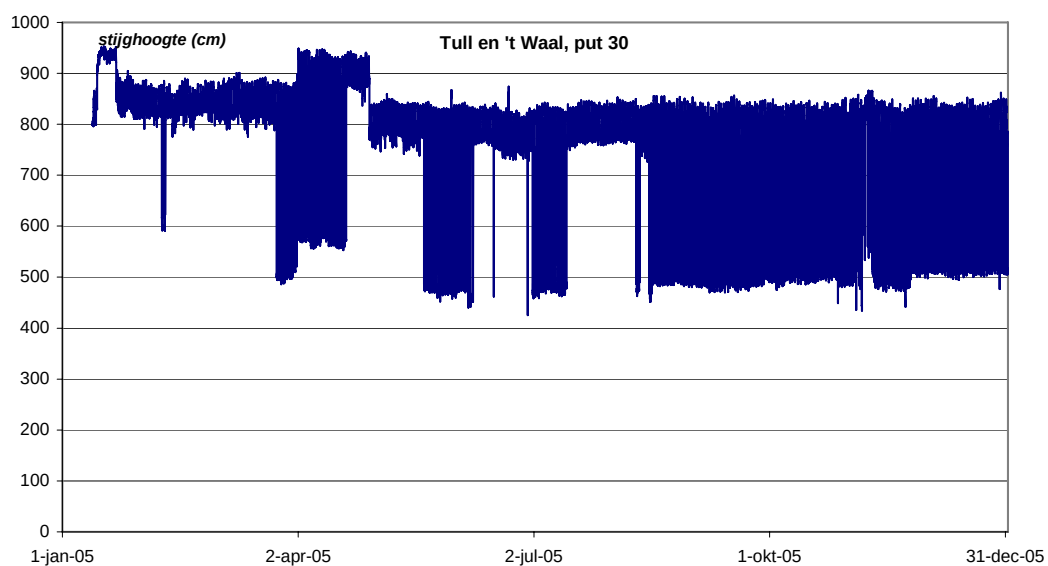
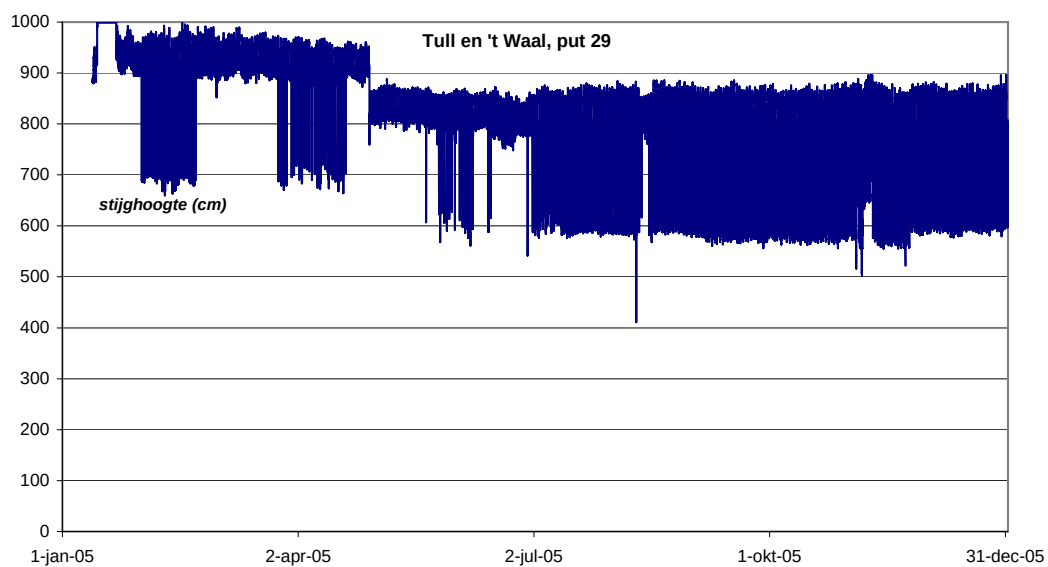
1. Tussen de carrouselgroepen bestaan grote verschillen in belasting. De vraag is wat optimaal is: alle groepen een gelijke belasting zodat ook alle putten in gelijke mate worden belast, of de verschillen tussen de groepen nog groter maken, en de carrouselgroepen ook laten rouleren, zodat putten afwisselend zwaar en licht worden belast.
Of bij de indeling rekening houden met de verstoppinggevoeligheid, en putten met gelijke gevoeligheid in dezelfde groep indelen.
2. Ontwikkelen van criteria om de verstoppinggevoeligheid van putten te bepalen.
3. Implementeren van een putschakelschema waarin de kortdurende schakelingen worden onderdrukt.
4. Een kortere draaiperiode van de put valt samen met een hogere schakelfrequentie. Het is de vraag wat doorslaggevend is: de lengte van de draaiperiode of de schakelfrequentie.

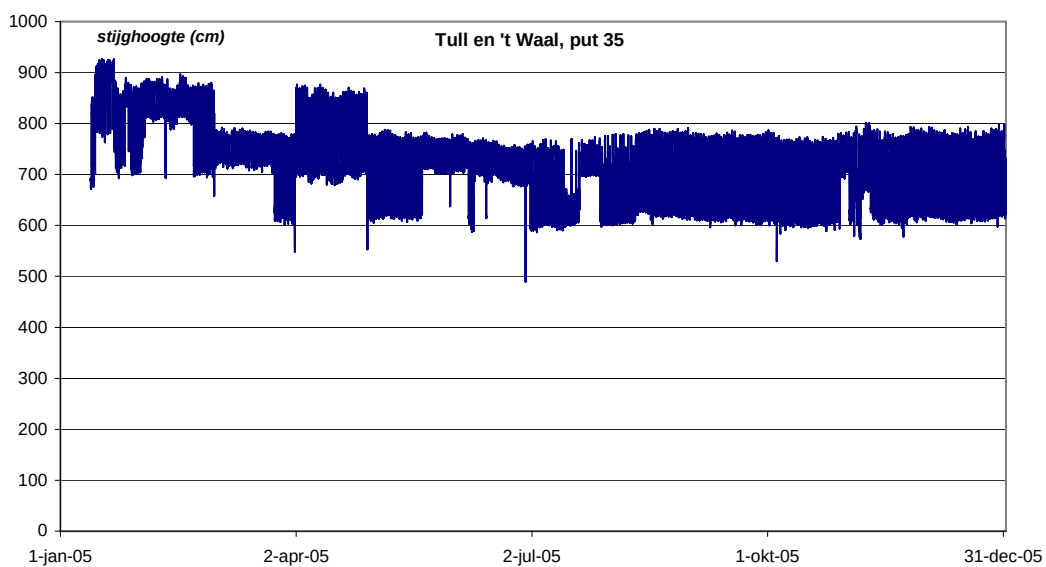
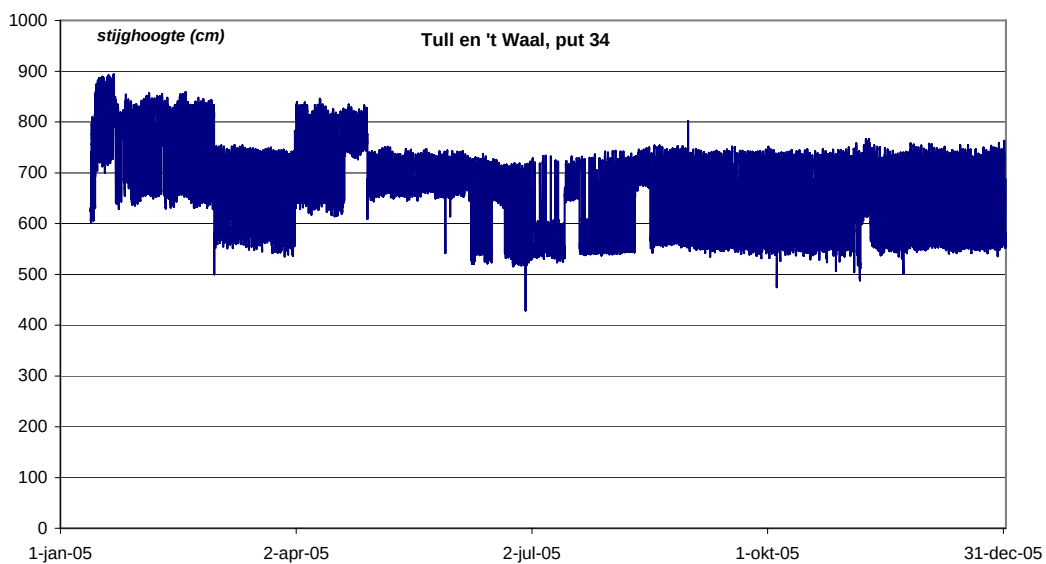
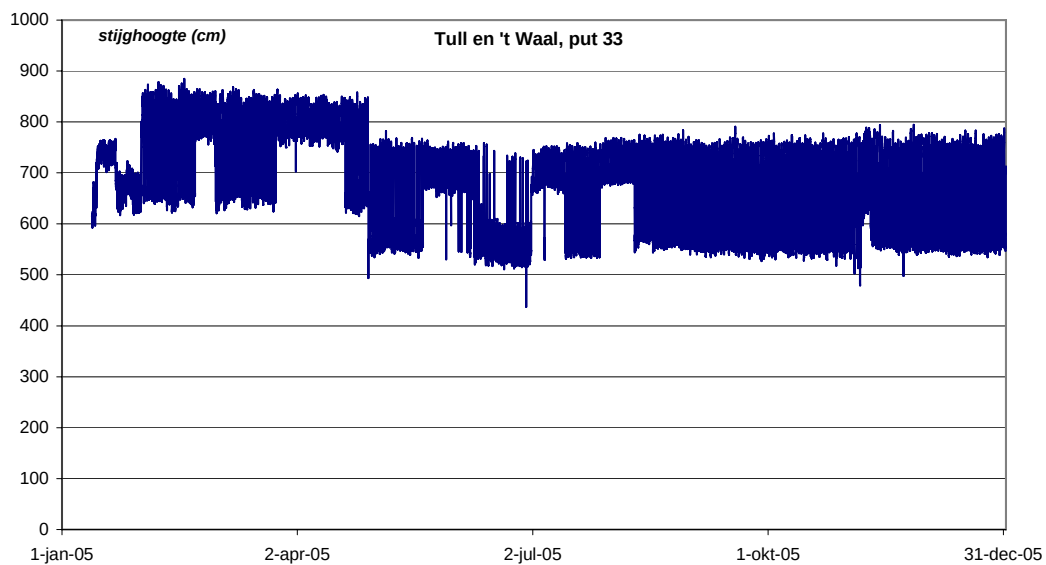
Bijlage 1: Verloop van de stijghoogten in 2005

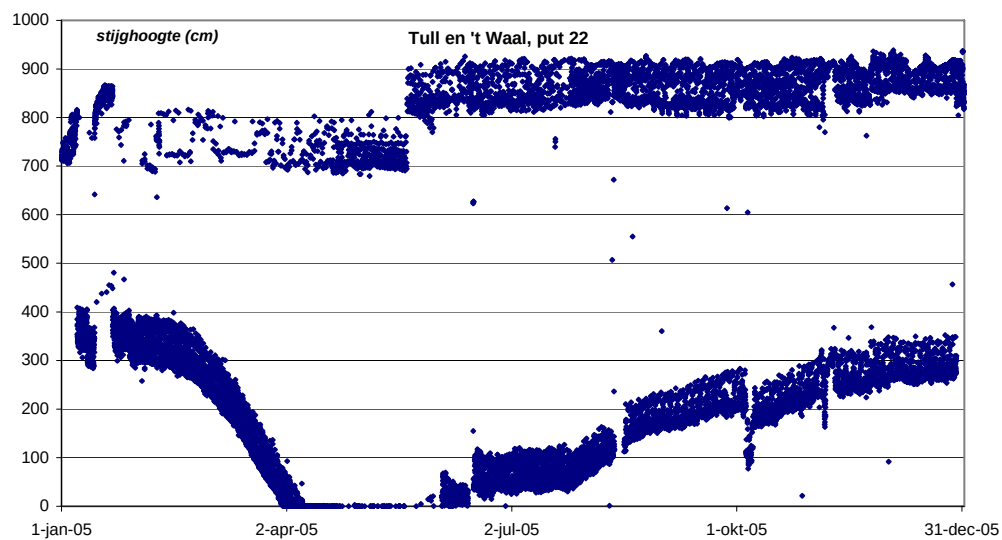
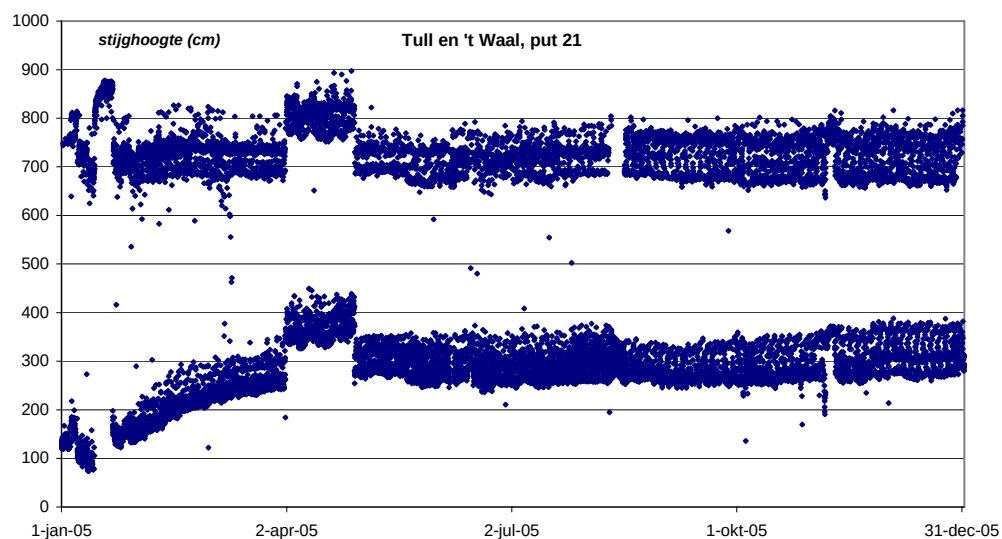
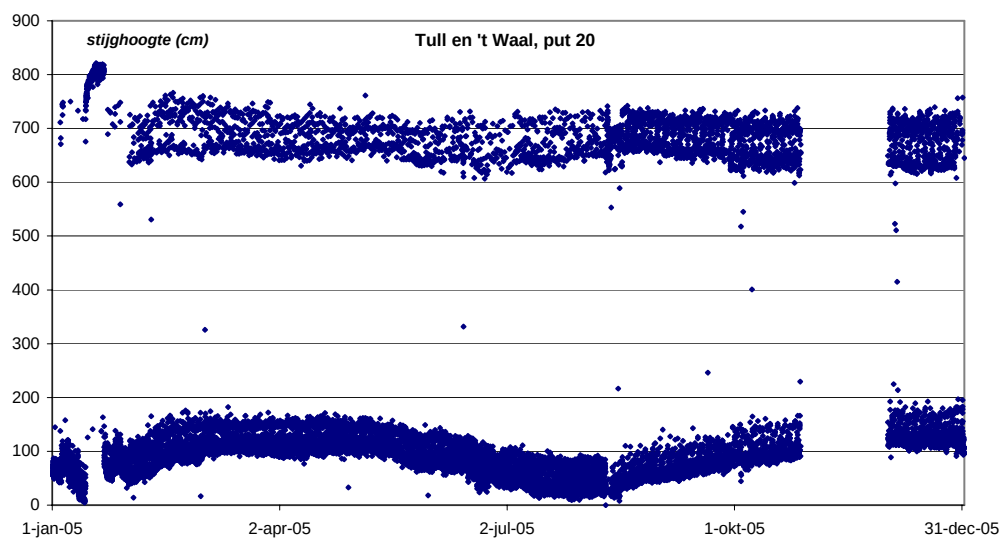


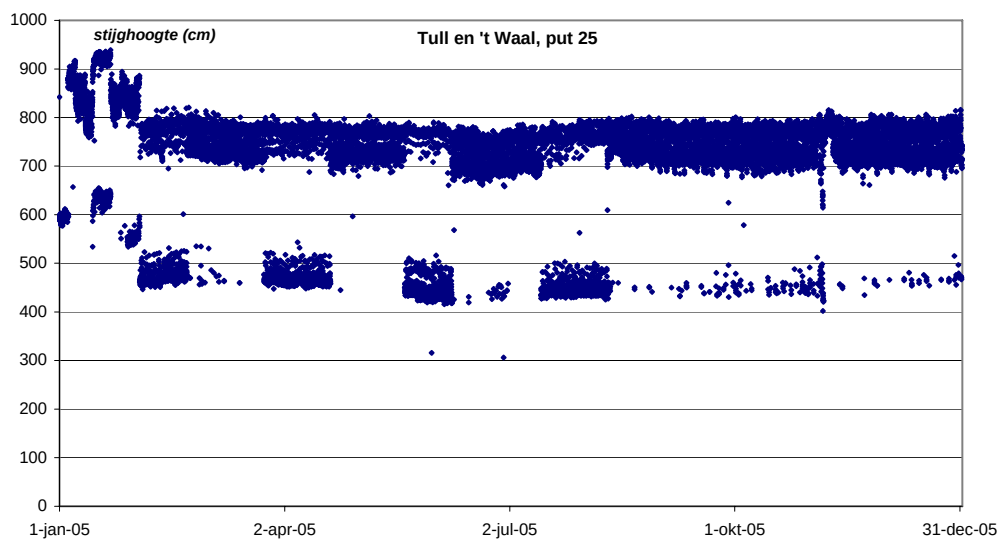
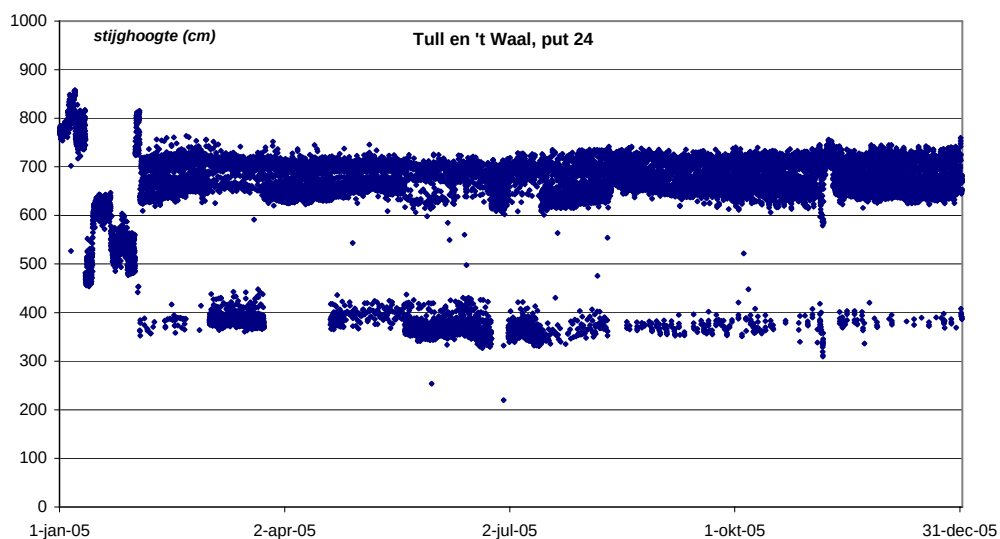
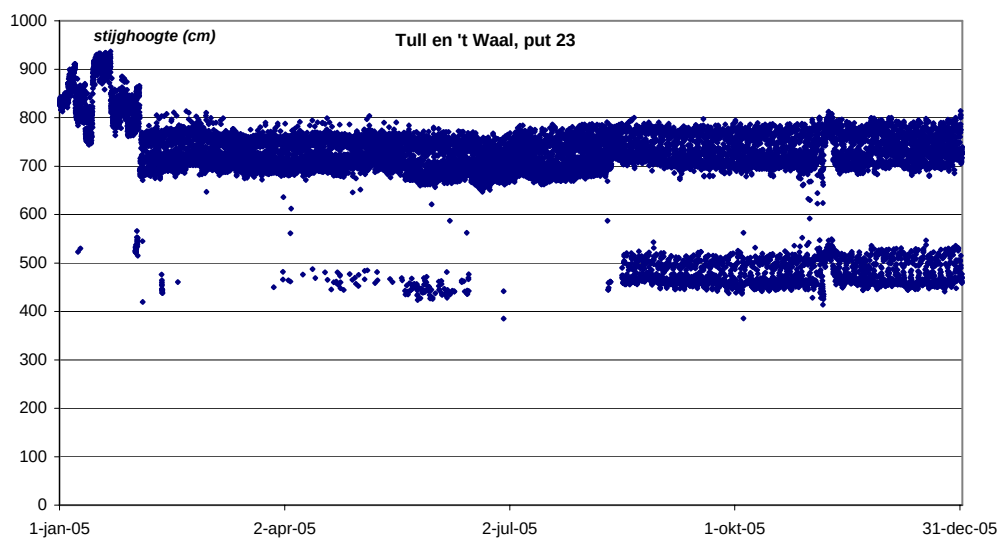


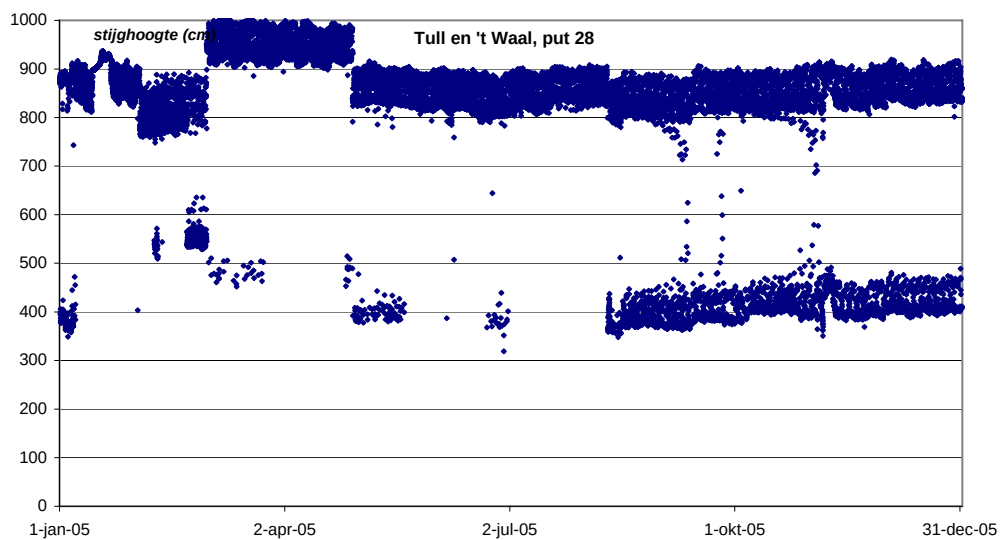
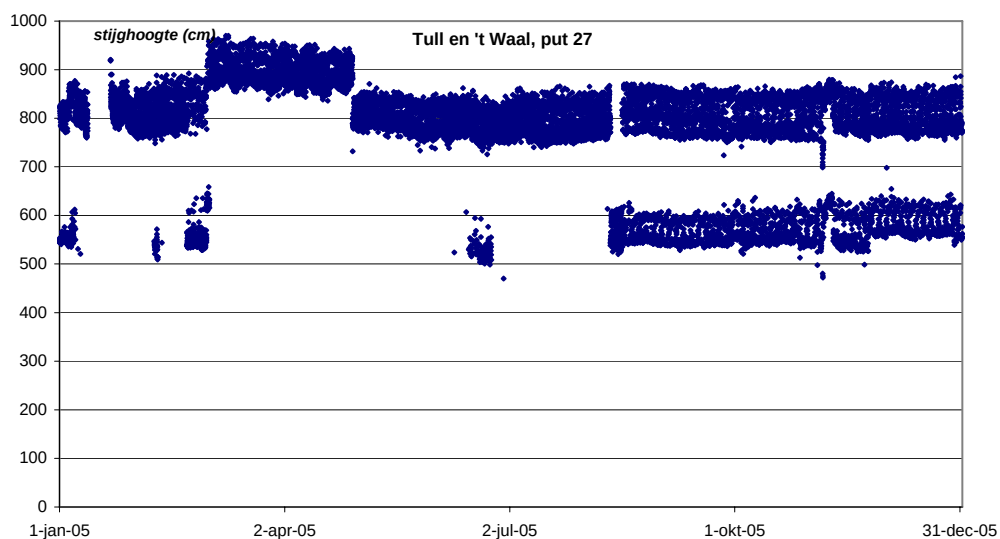
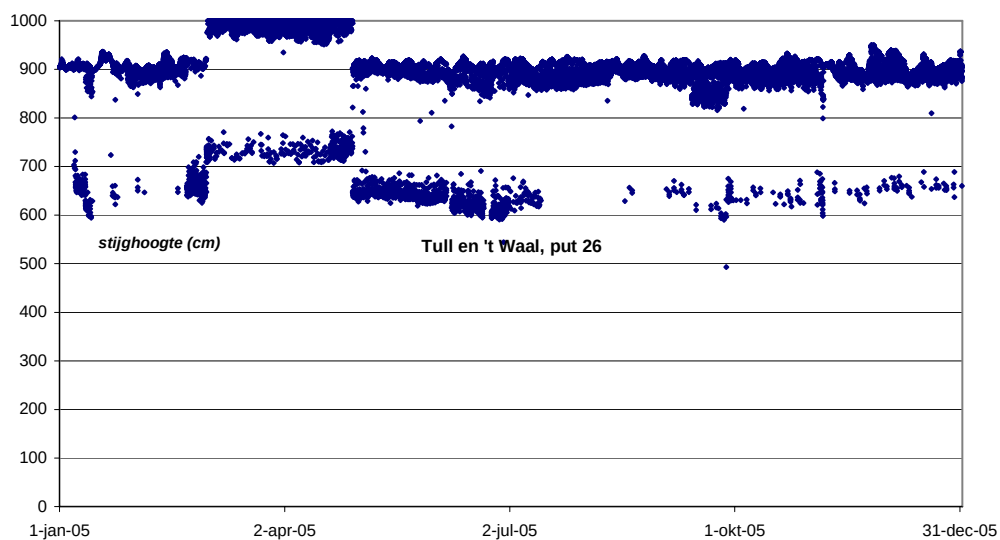


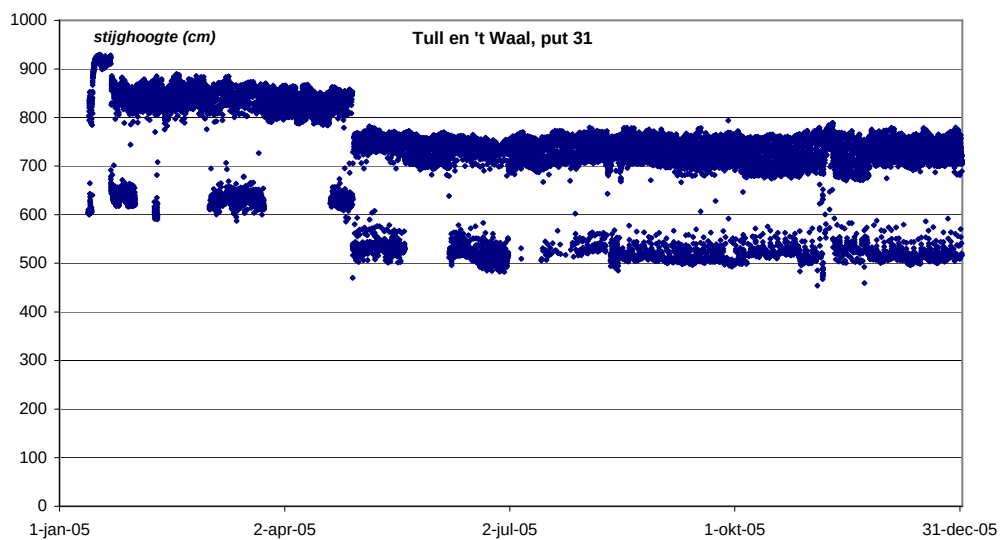
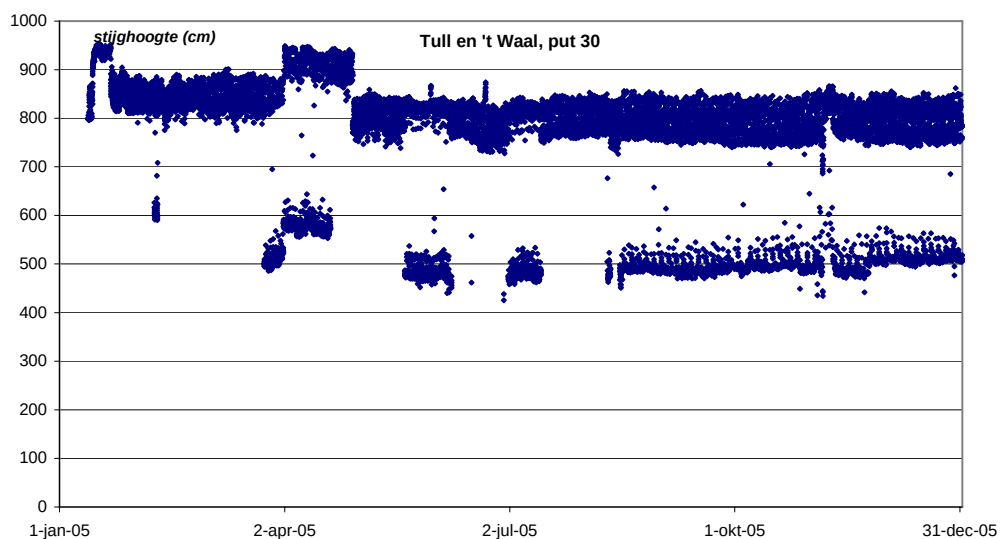
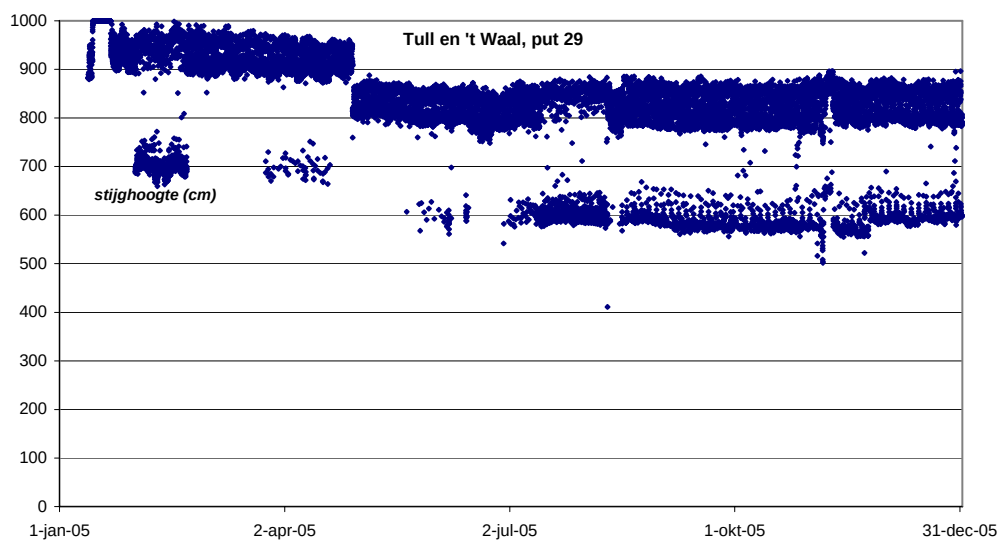


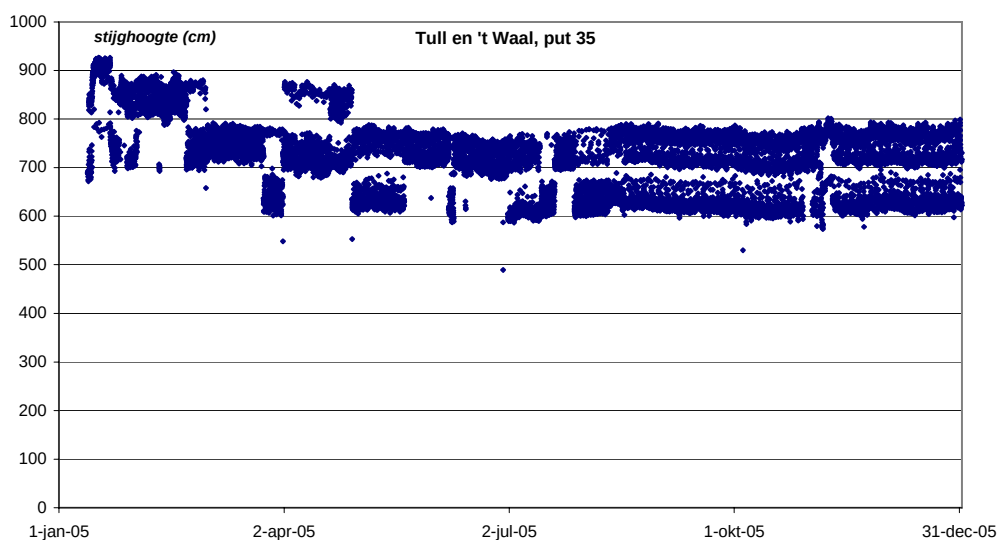
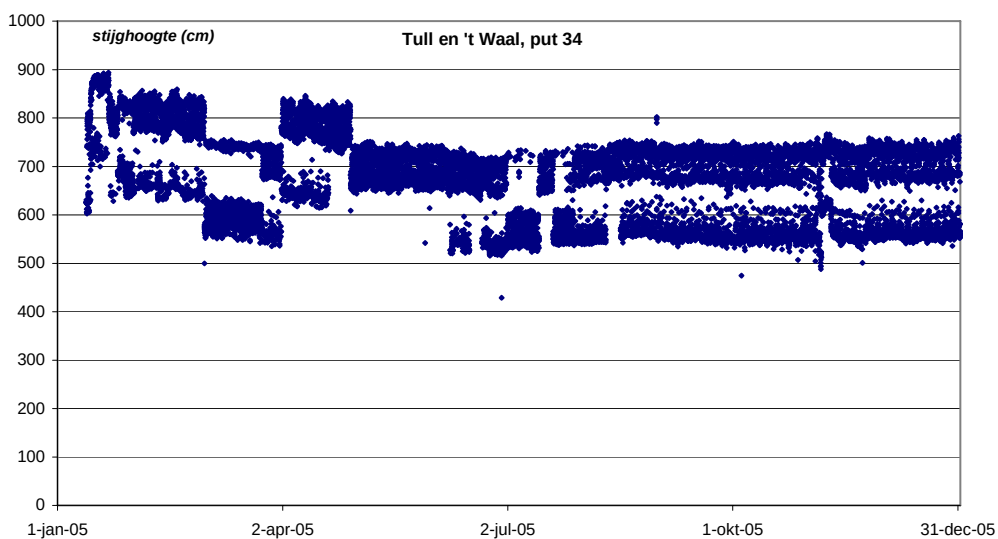
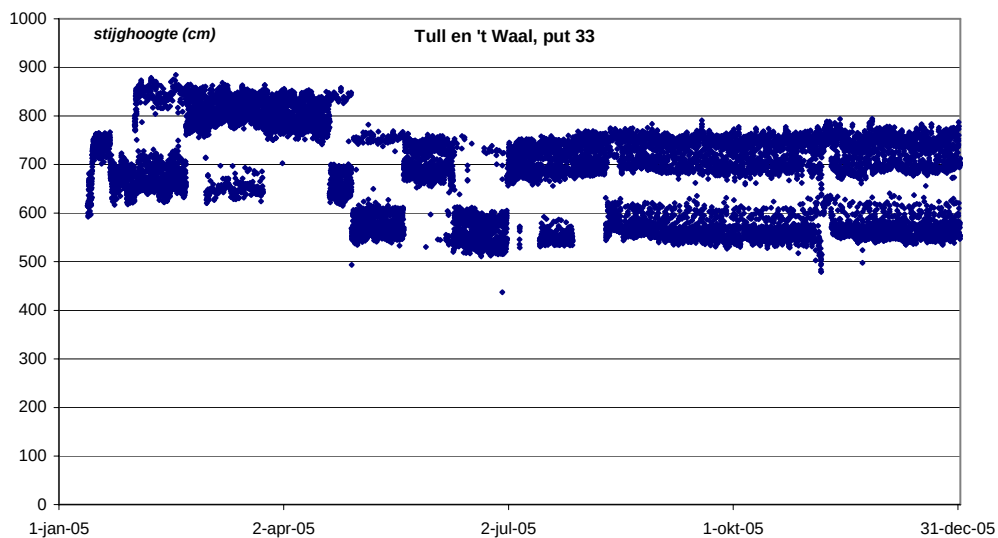




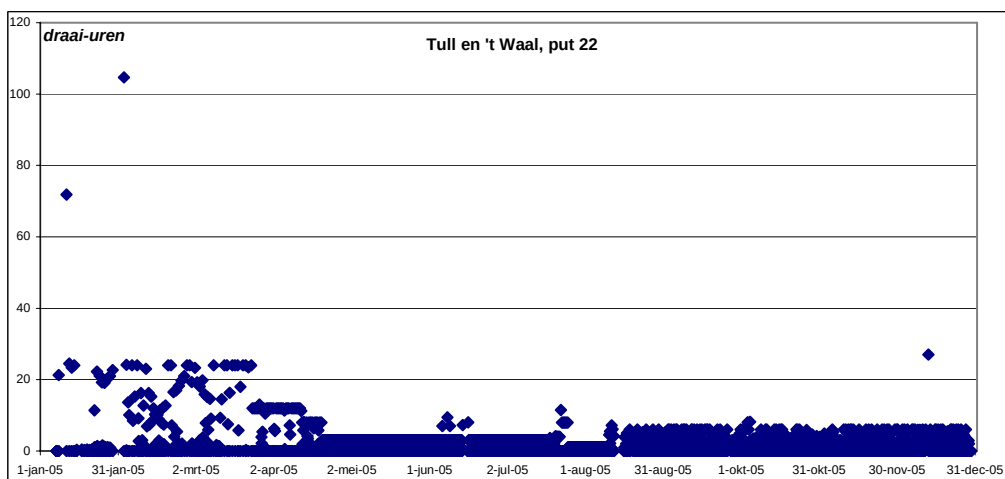
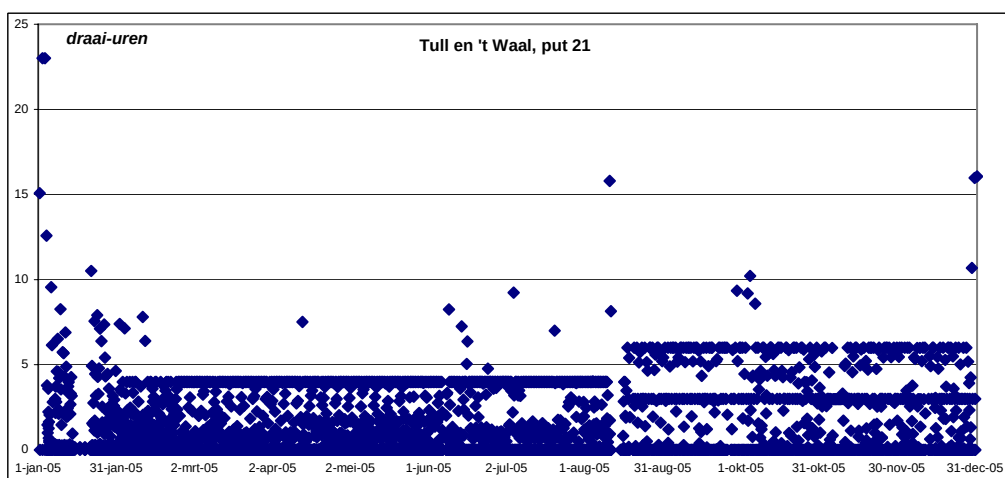
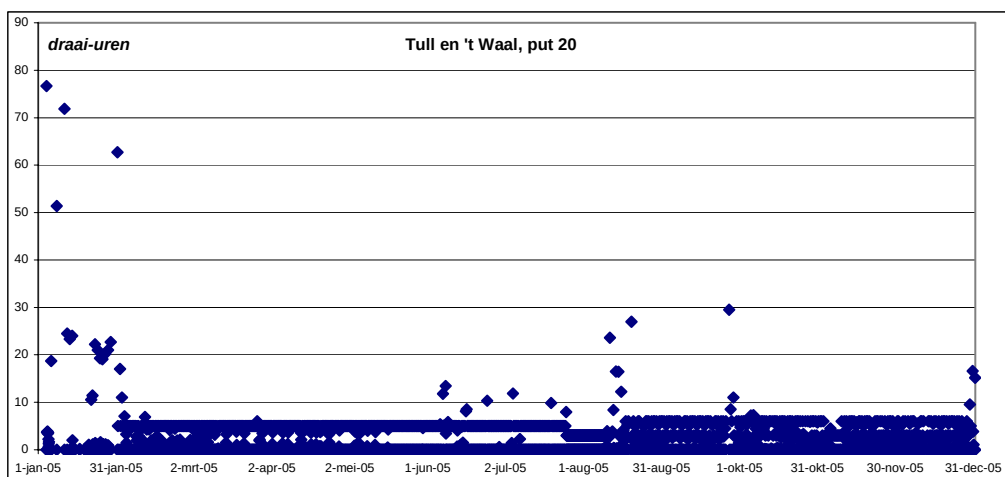


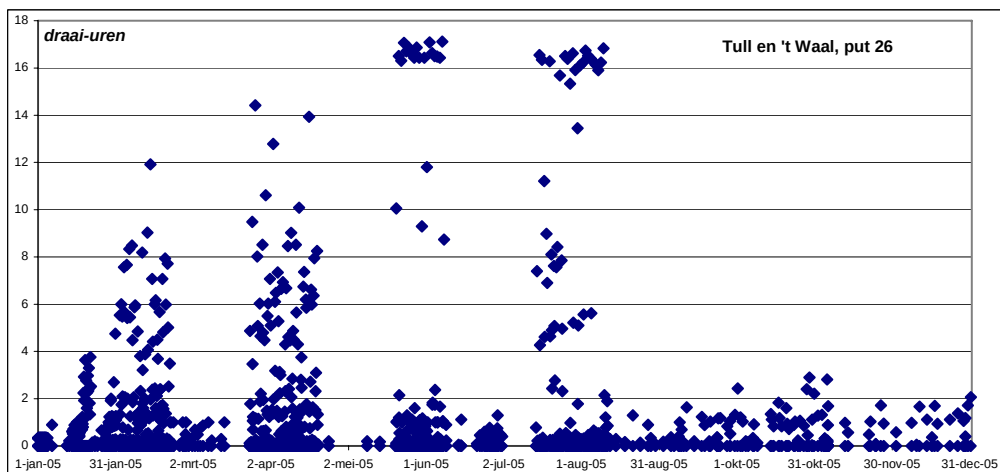
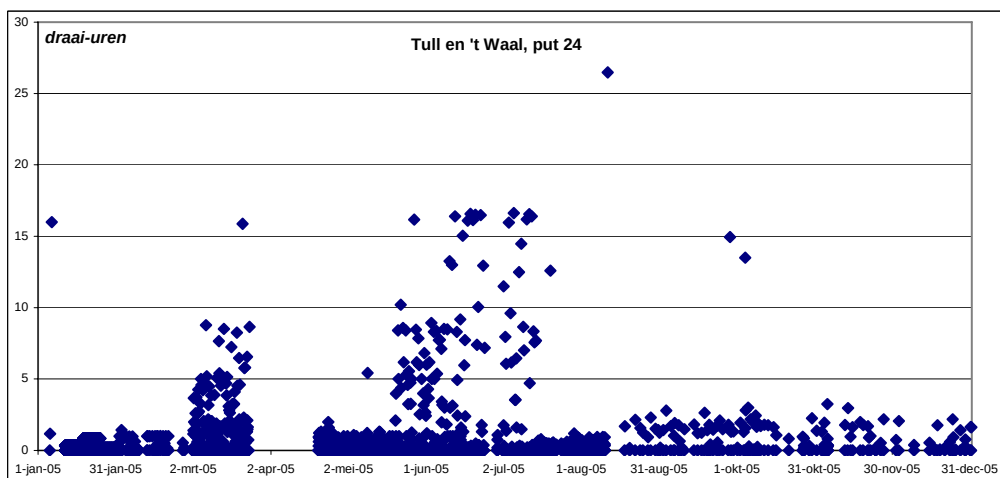
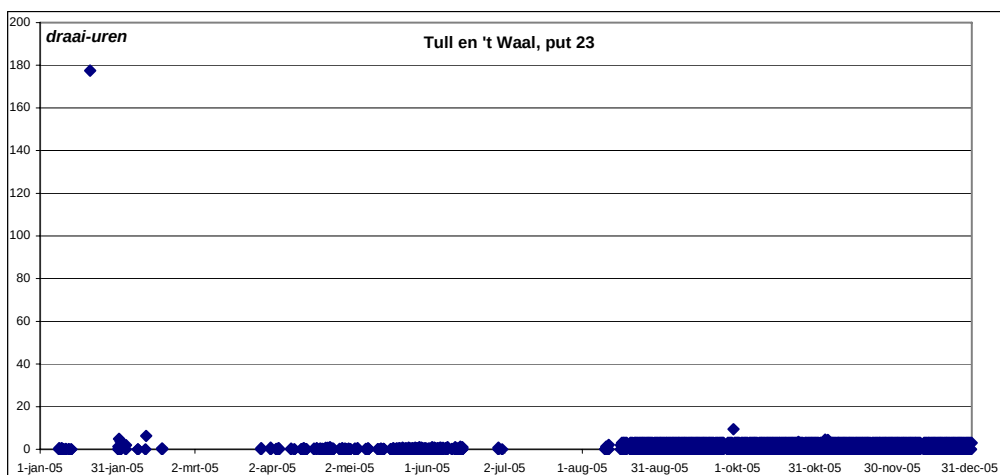


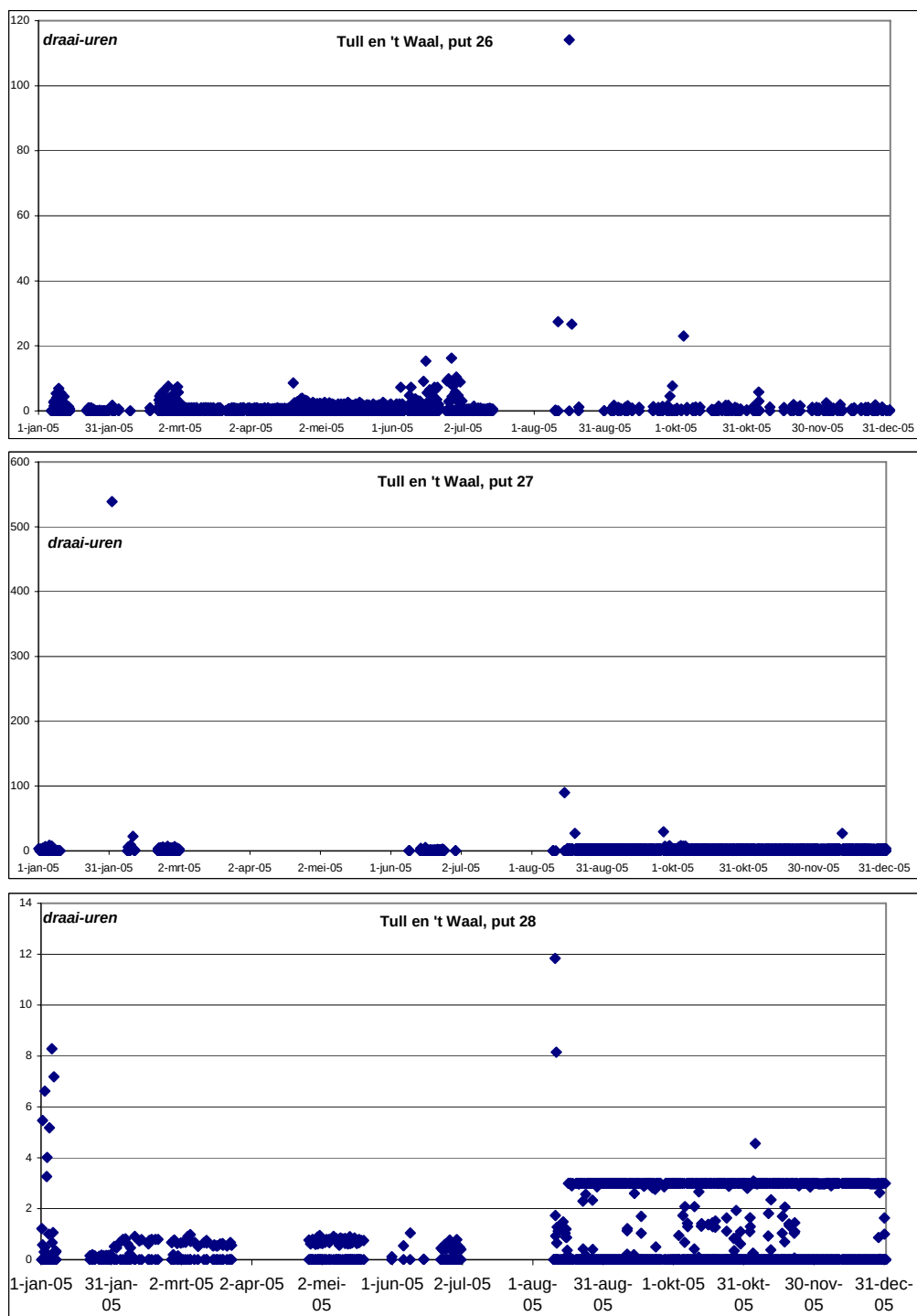


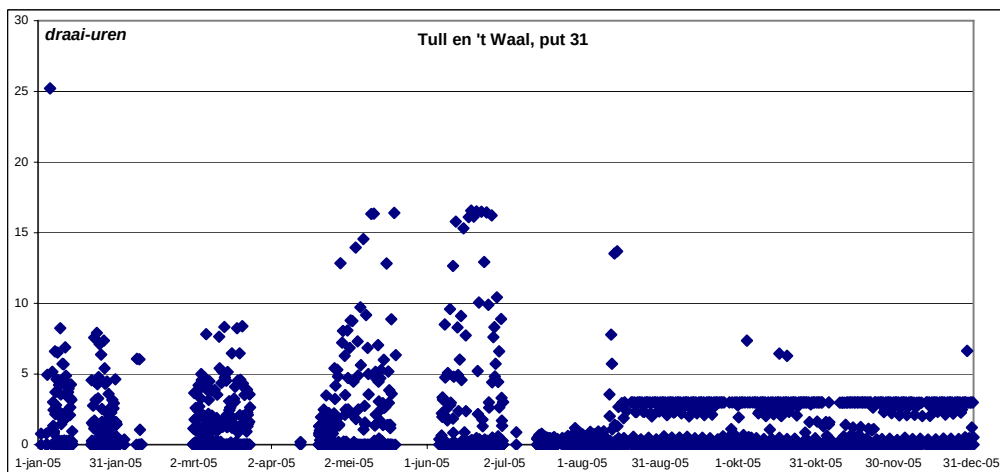
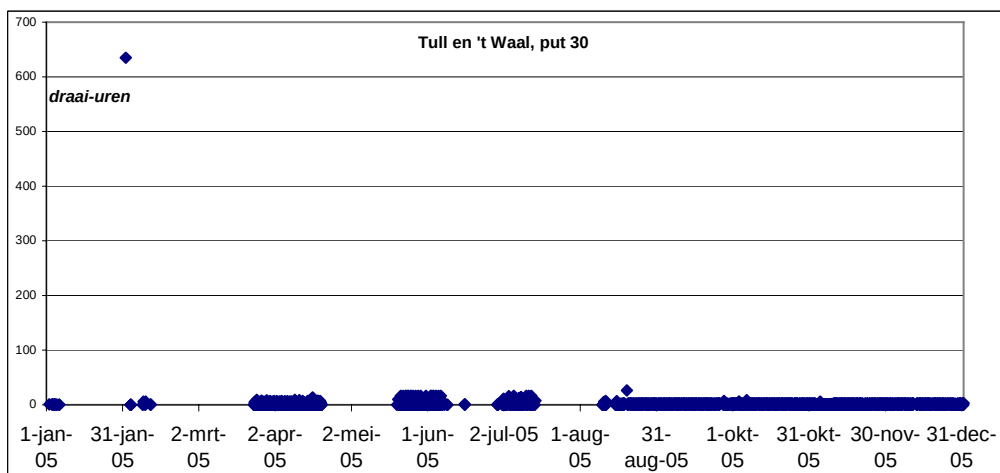
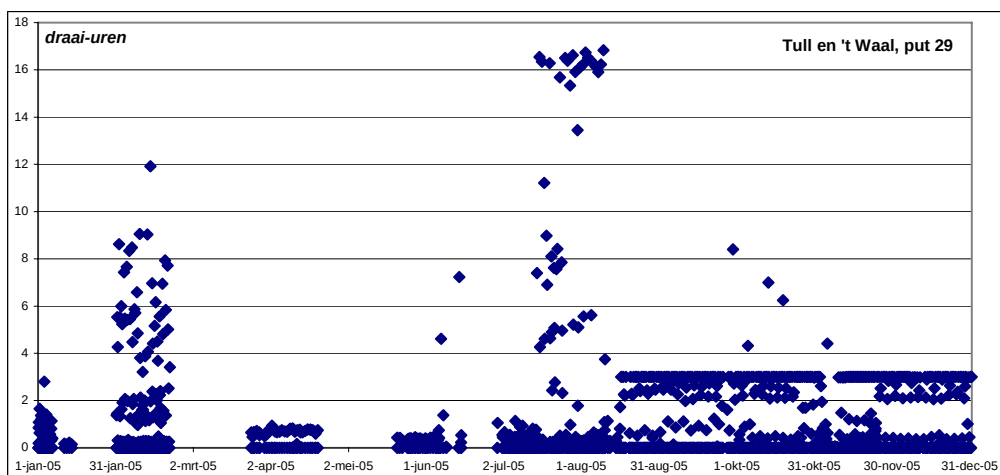


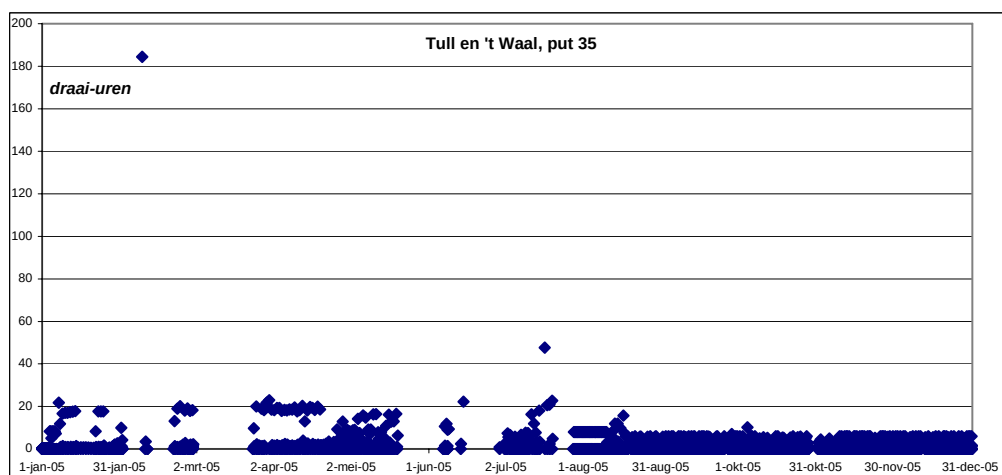
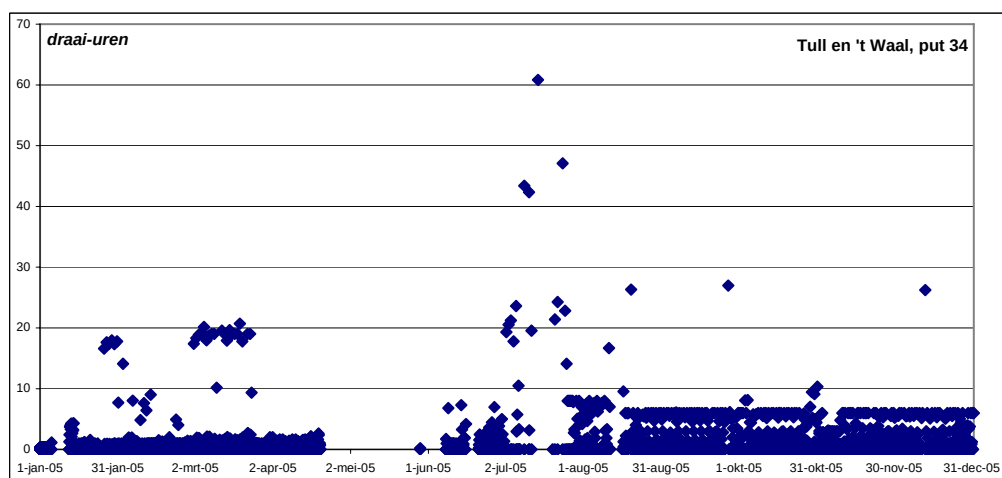
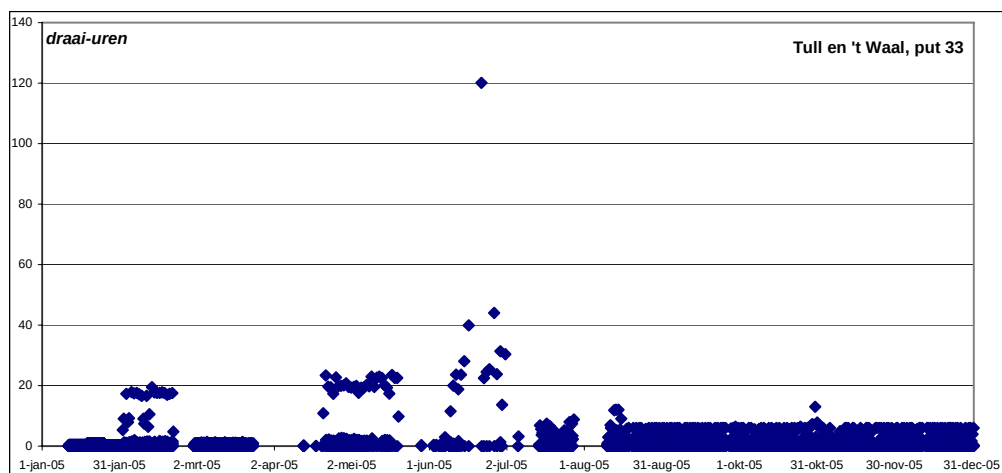
Bijlage 2: Verloop van de draaitijden van de putten in 2005

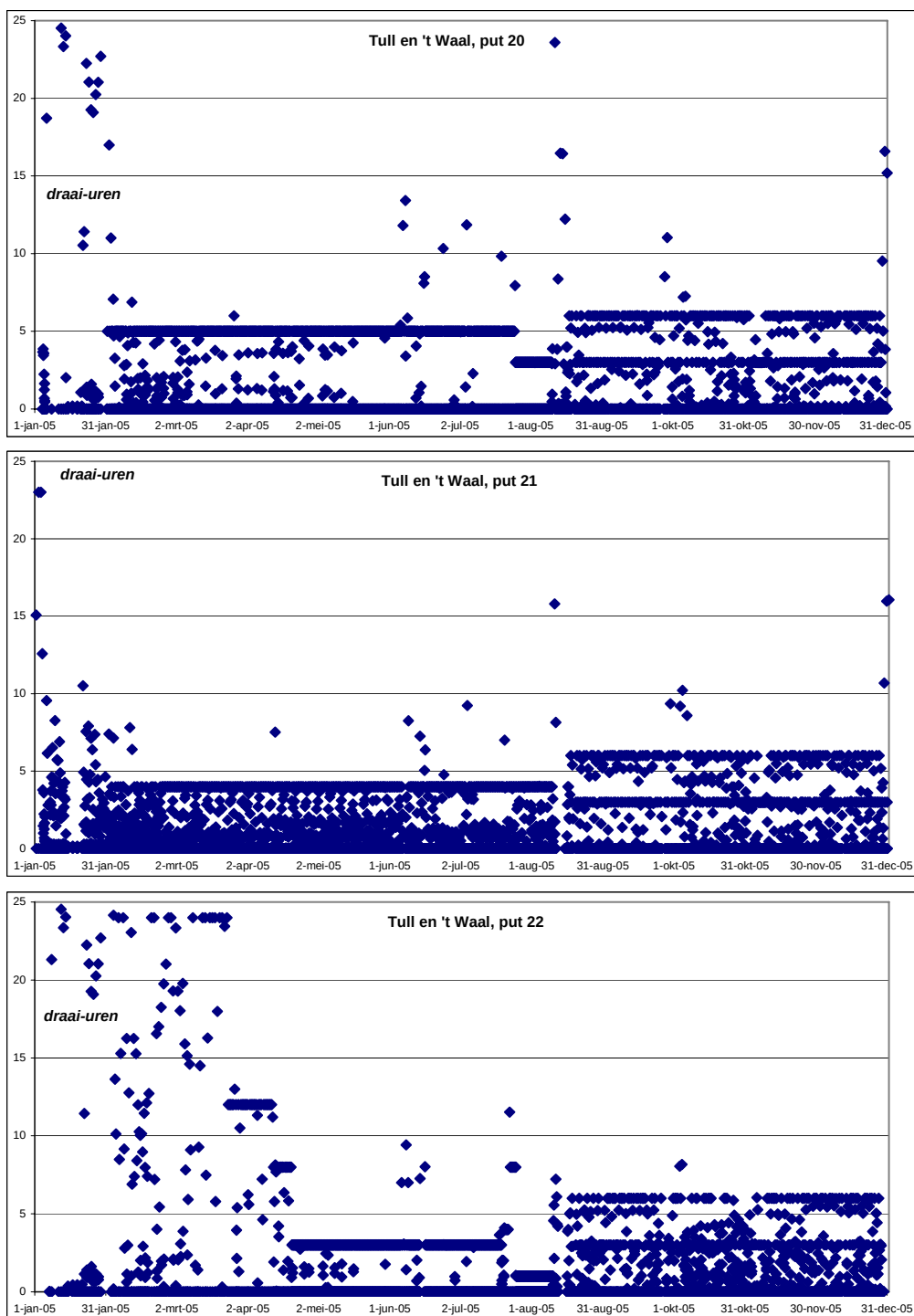


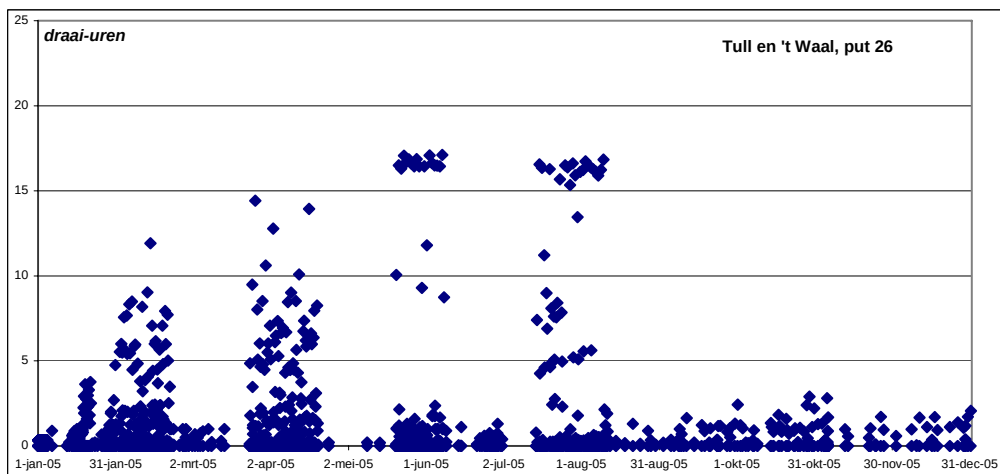
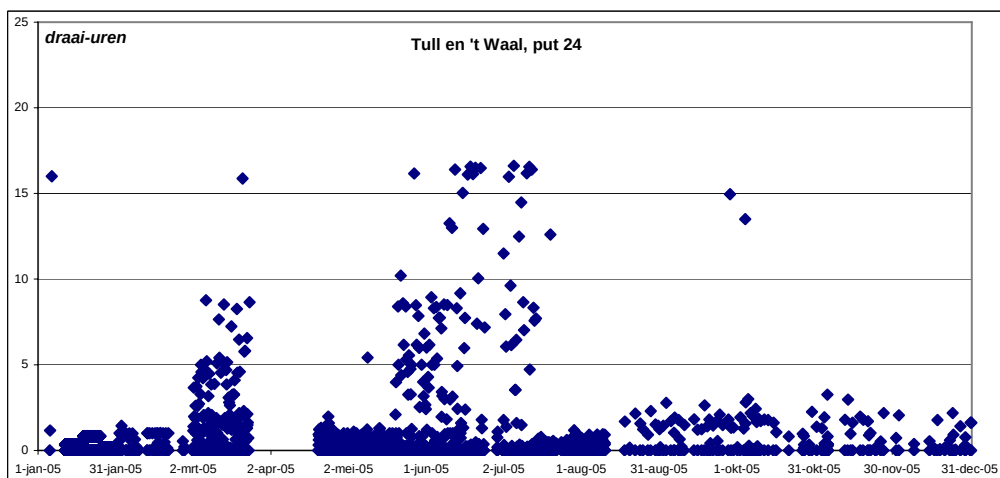
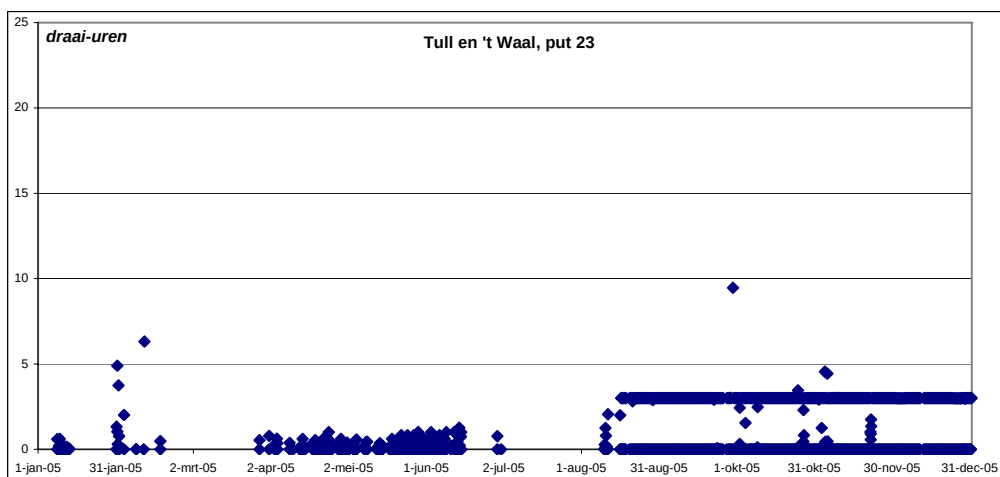


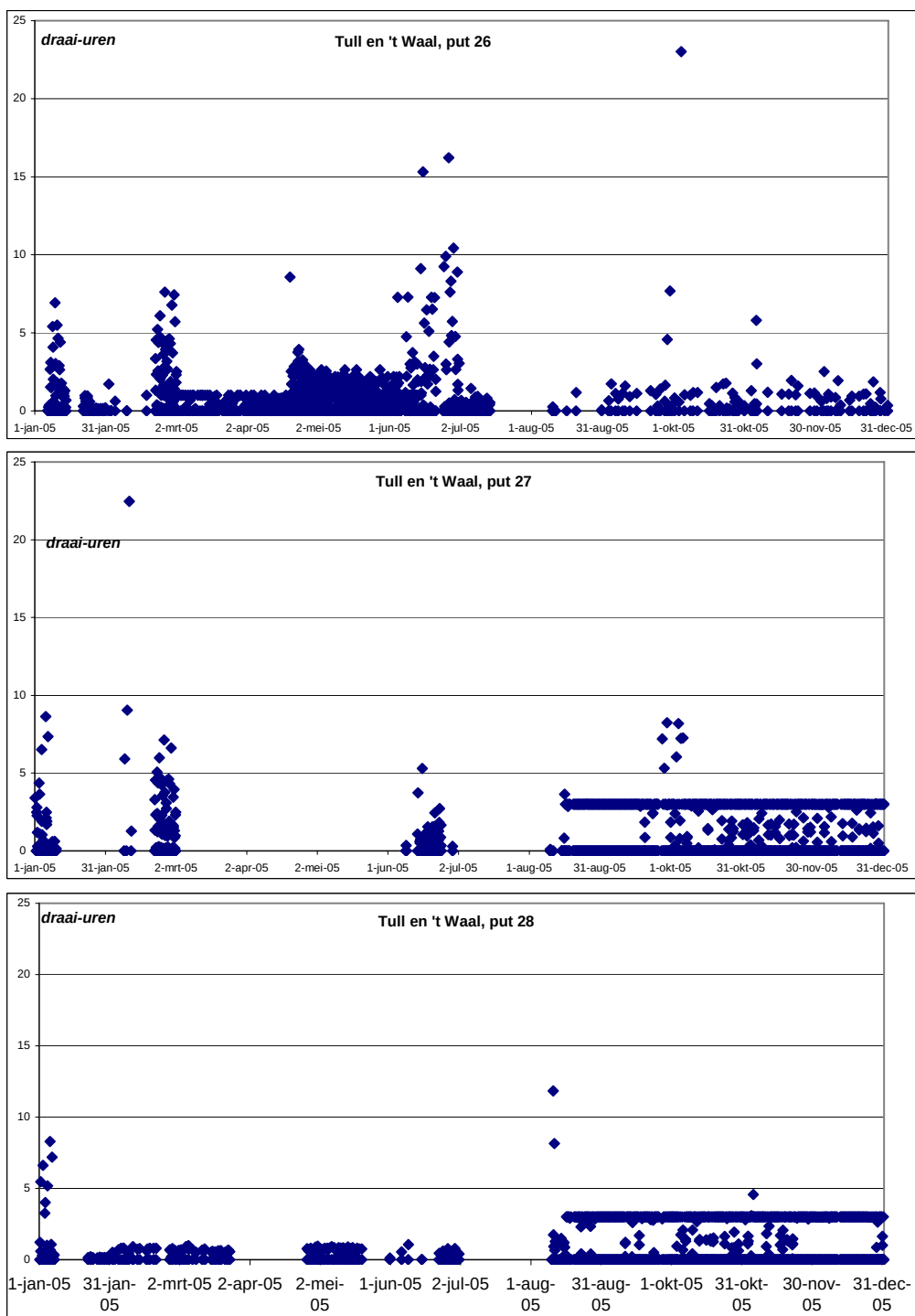


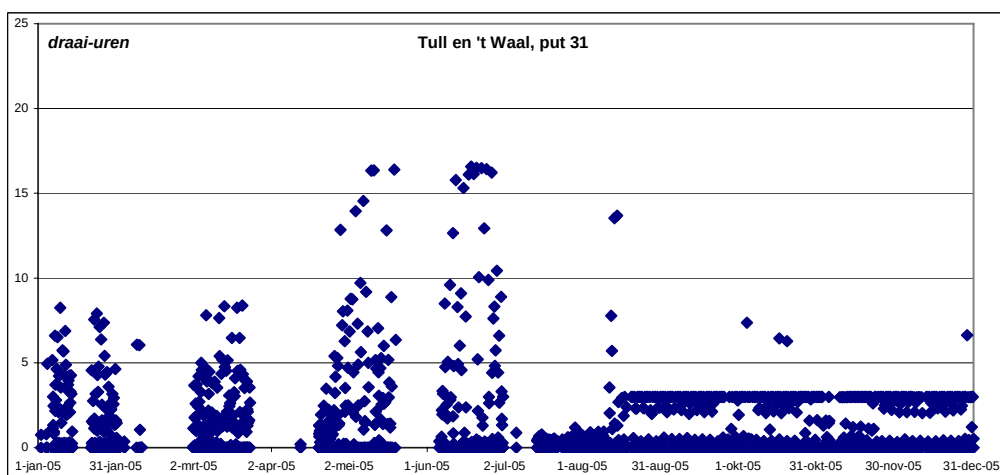
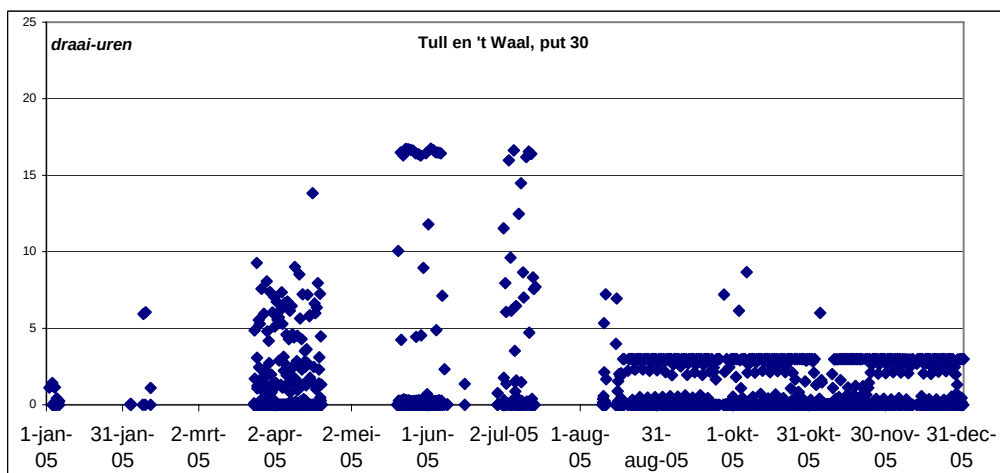
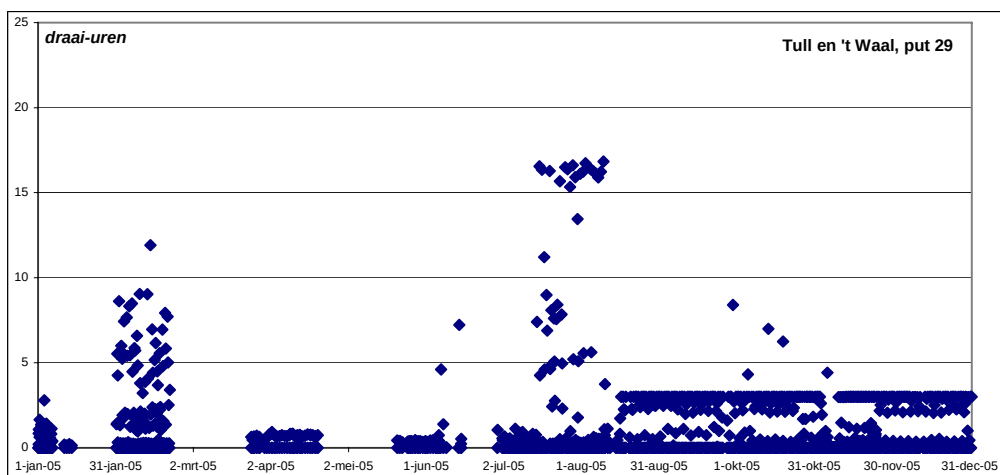


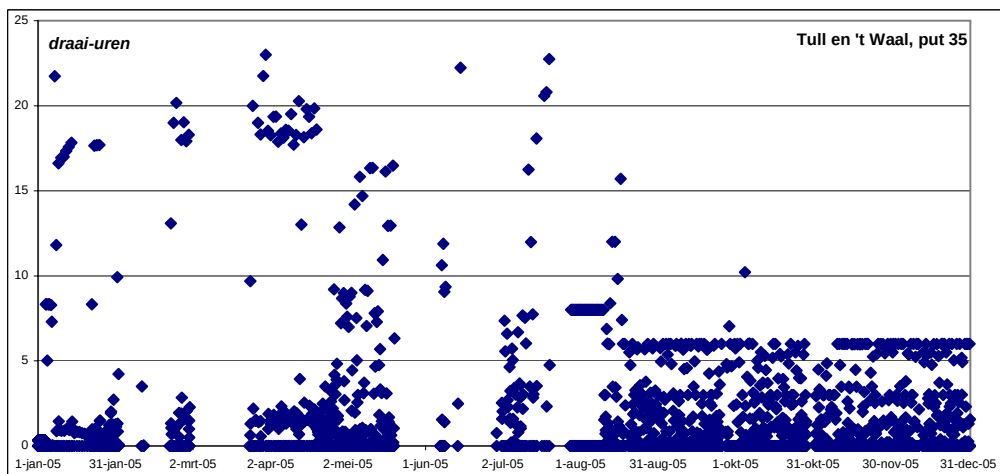
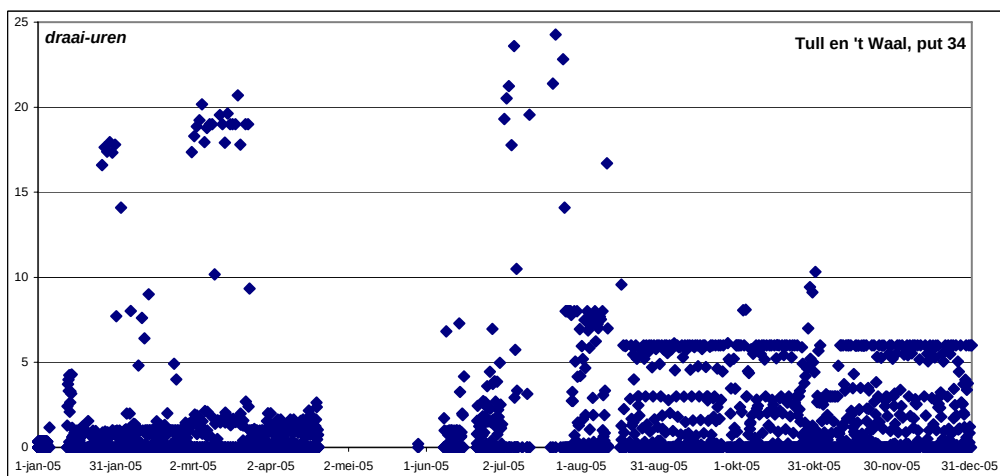
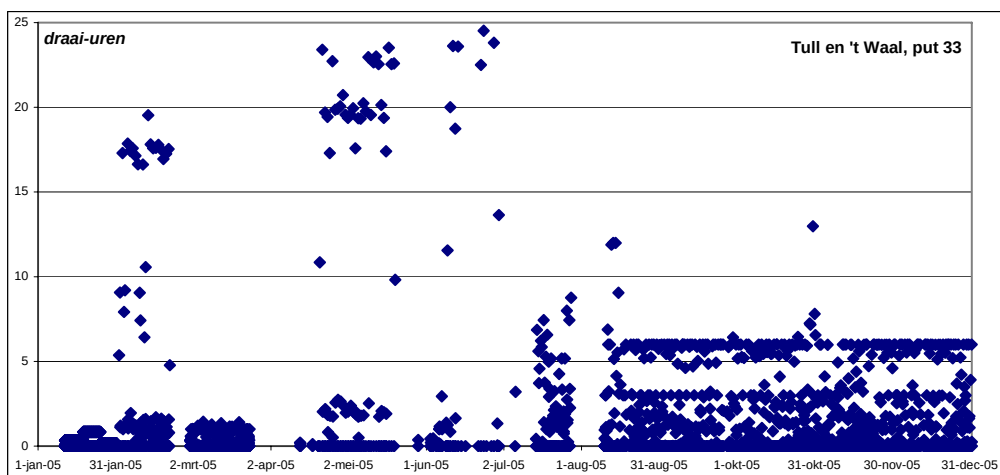












Bijlage 3: Resultaten deeltjestellingen en berekening verwijderde hoeveelheden

Deze bijlage bevat de volgende resultaten en bewerkingen.

Put 21, 05-11 jan 2006, PAMAS

Put 22, 05-11 jan 2006, in tekst

Put 33, 10-15 aug 2005, PAMAS

Put 33, 05-27 okt 2005, PAMAS 6728

Put 33, 13-27 okt 2005, PAMAS 7608, periode 50 minuten

Put 33, 13-27 okt 2005, PAMAS 7608, periode 100 minuten

Put 35, 10-14 aug 2005, PAMAS 1655, in tekst

Put 35, 10-14 aug 2005, PAMAS, 100 minuten

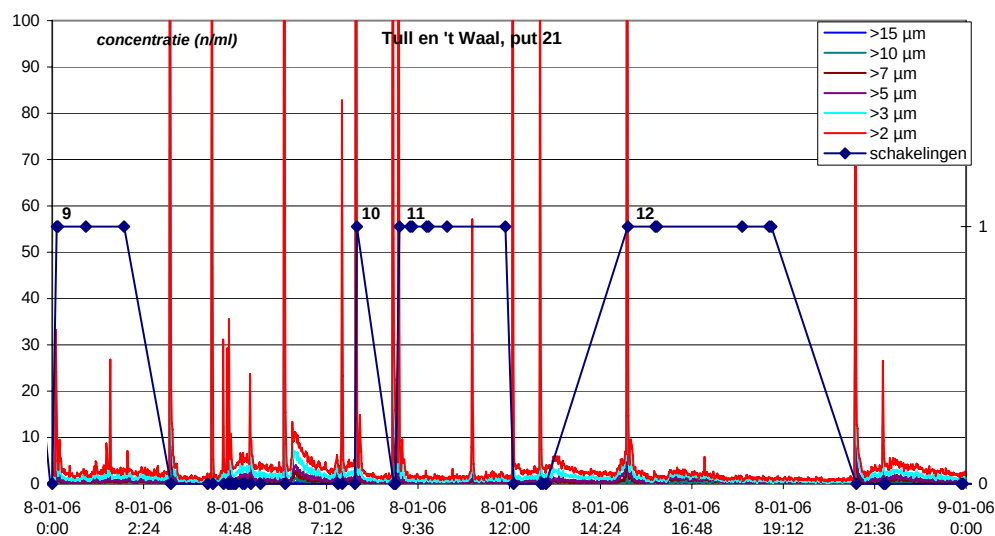
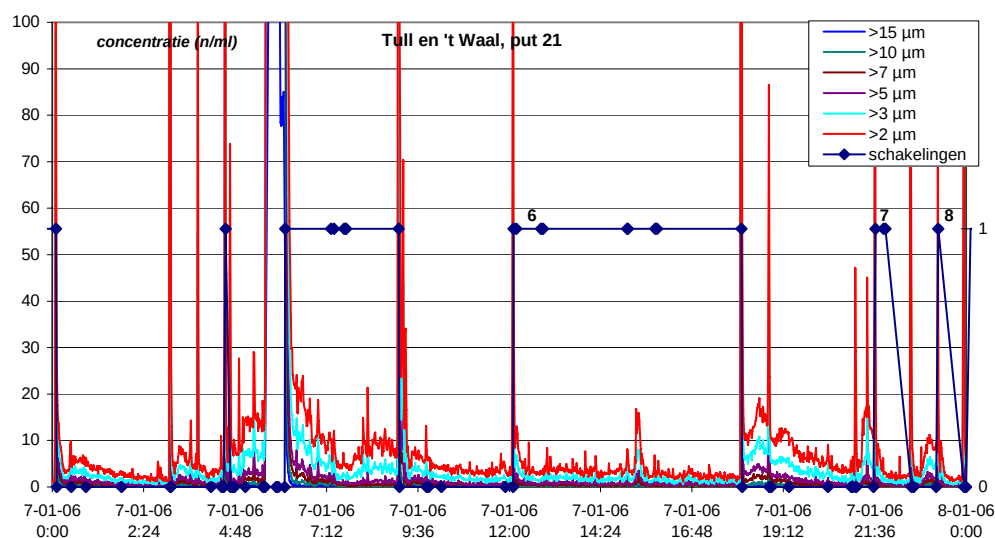
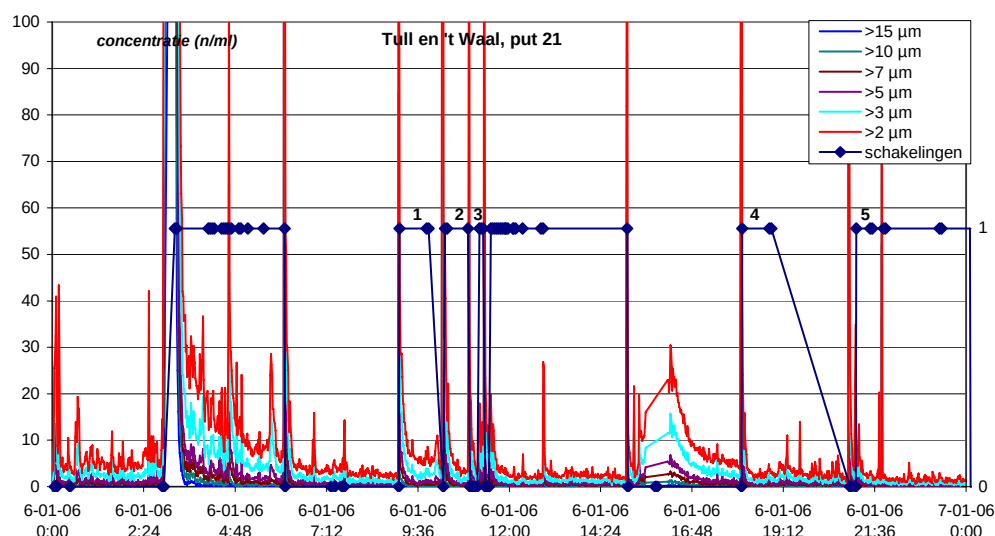
Put 35, 15-18 nov 2005, PAMAS 6728

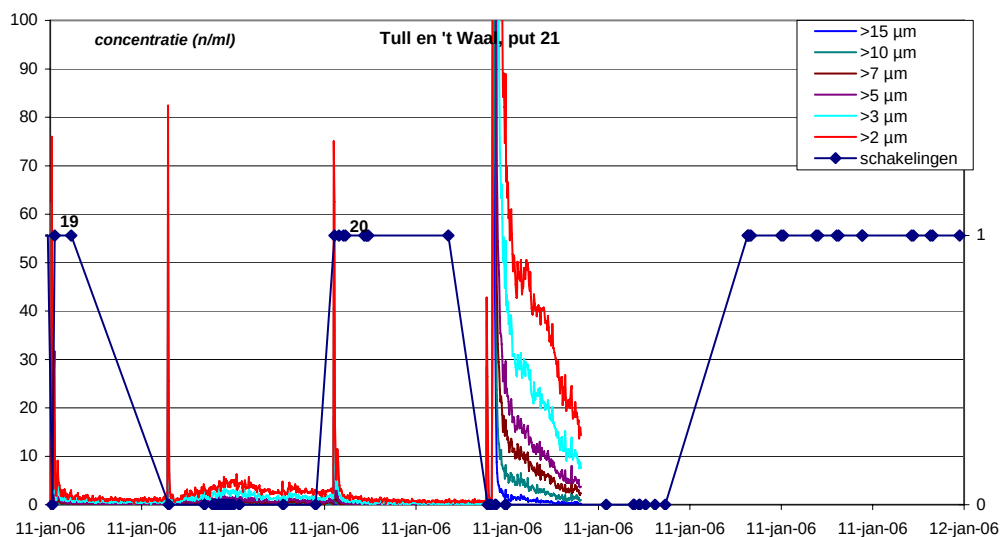
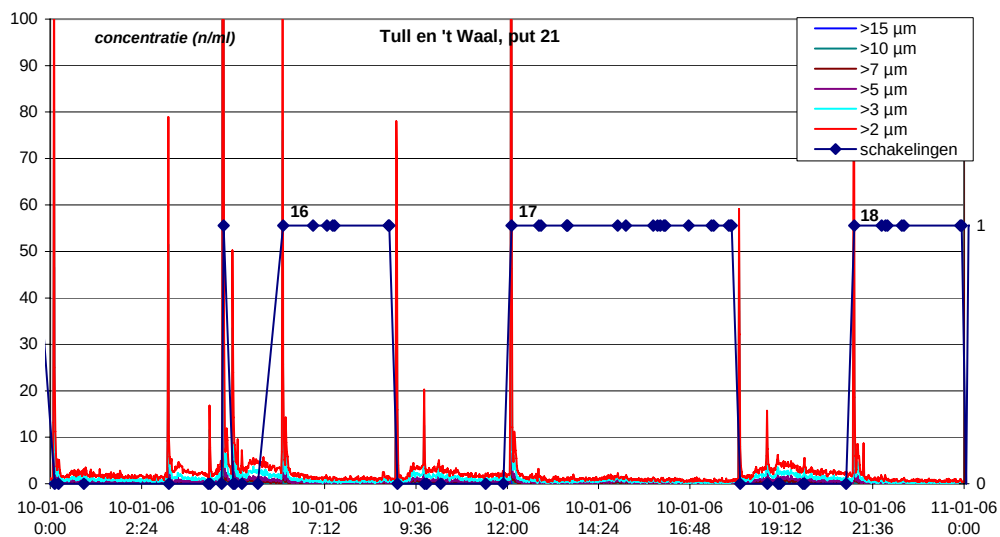
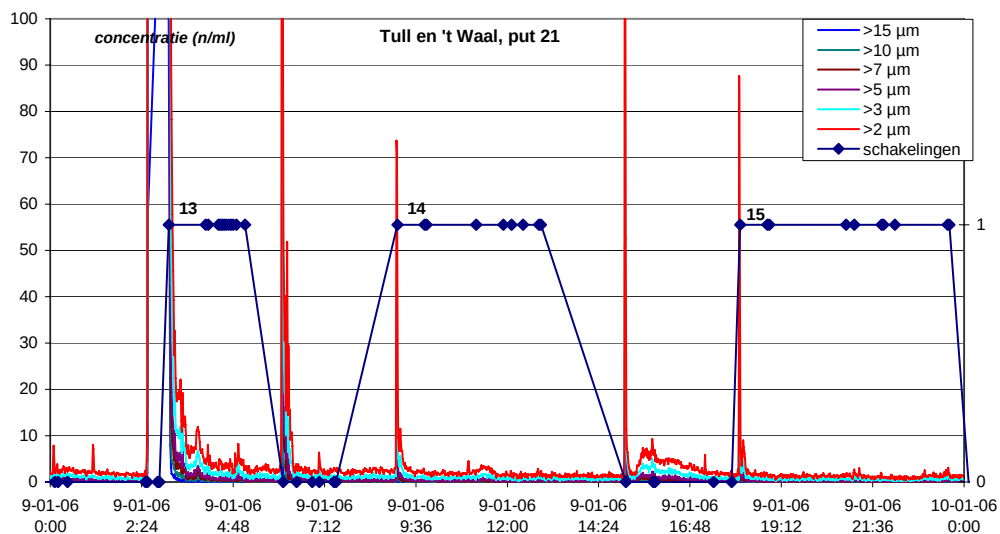
Put 35, 15-18 nov 2005, PAMAS 7608

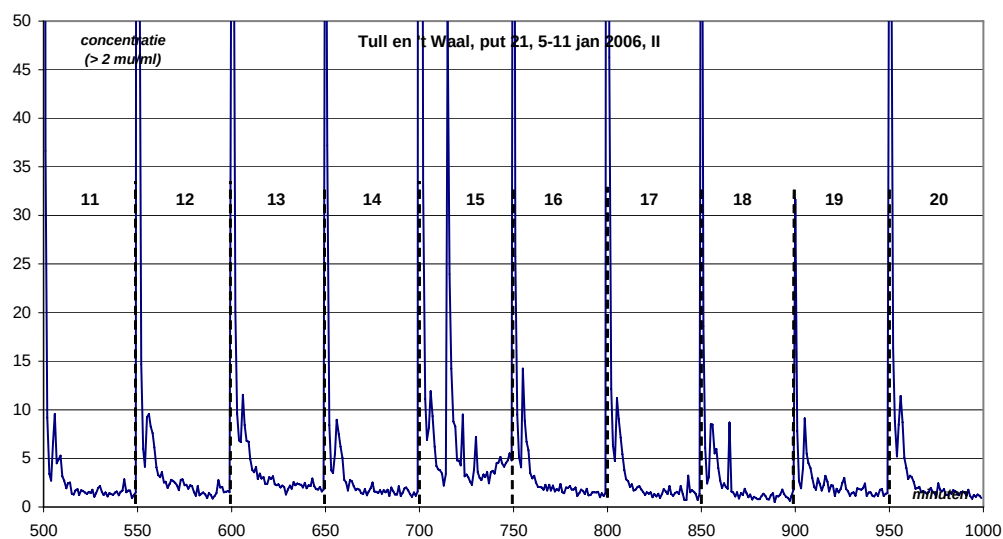
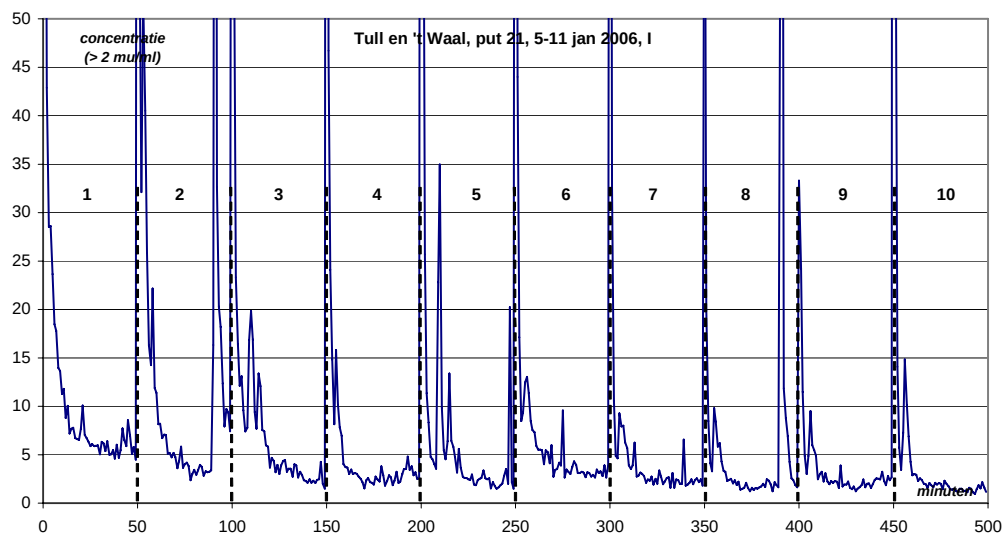
De resultaten van deze metingen zijn standaard verwerkt:

1. Presentatie van het verloop van deeltjesconcentratie en putschakeling per dag.
2. Samenvatting van de geselecteerde schakelingen over 50 minuten, of indien aangegeven 100 of 200 minuten.
3. Berekening van de verwijderde hoeveelheden deeltjes
4. Grafische presentatie van de relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes en voorafgaande draaiperiode van de onderwaterpomp.

Put 21 gedurende de periode 5 – 11 januari 2006

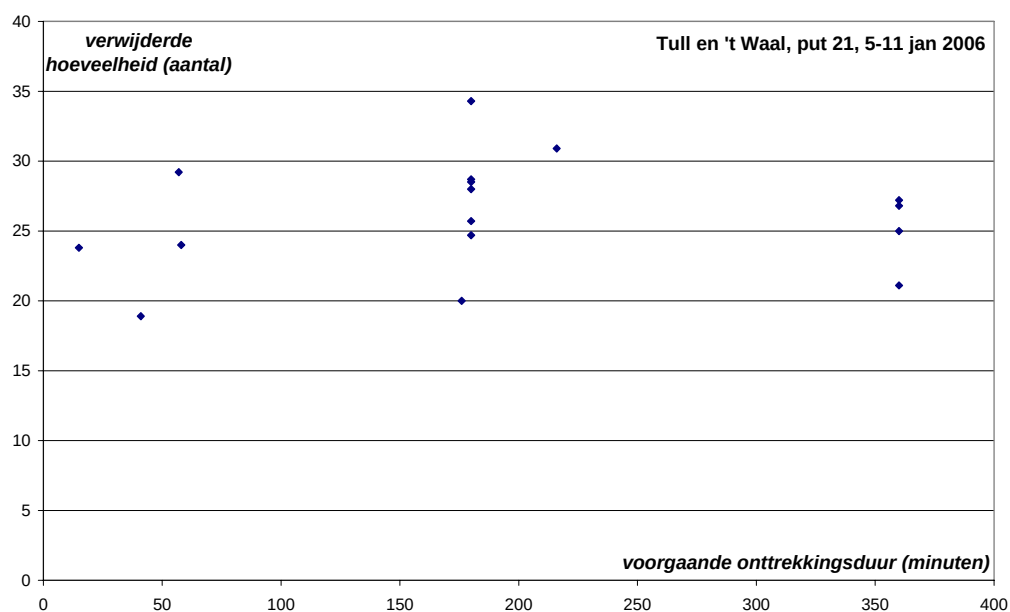






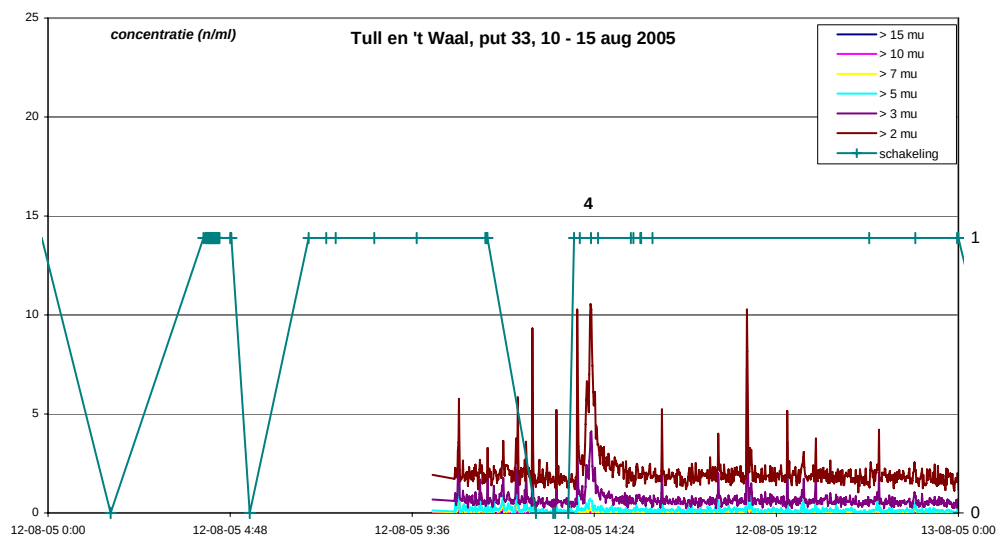
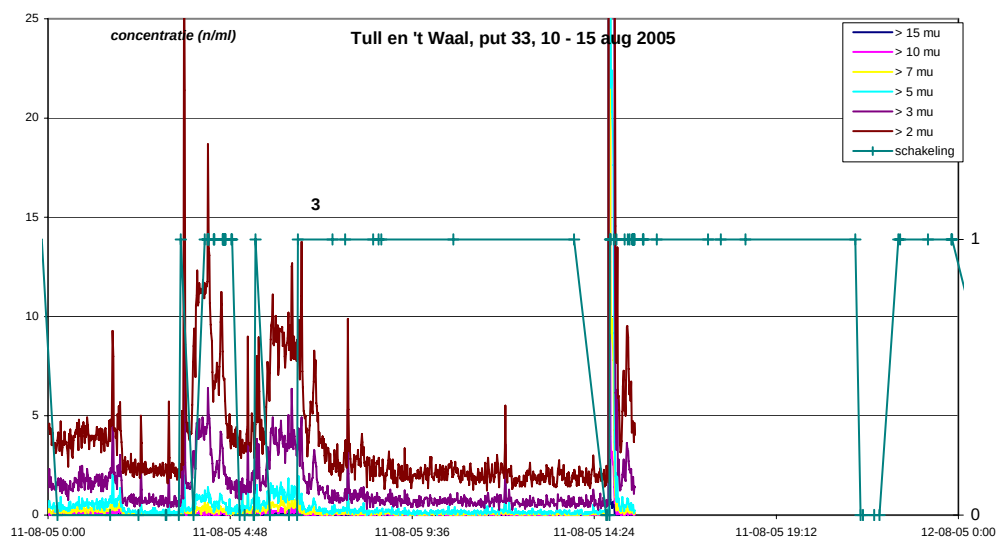
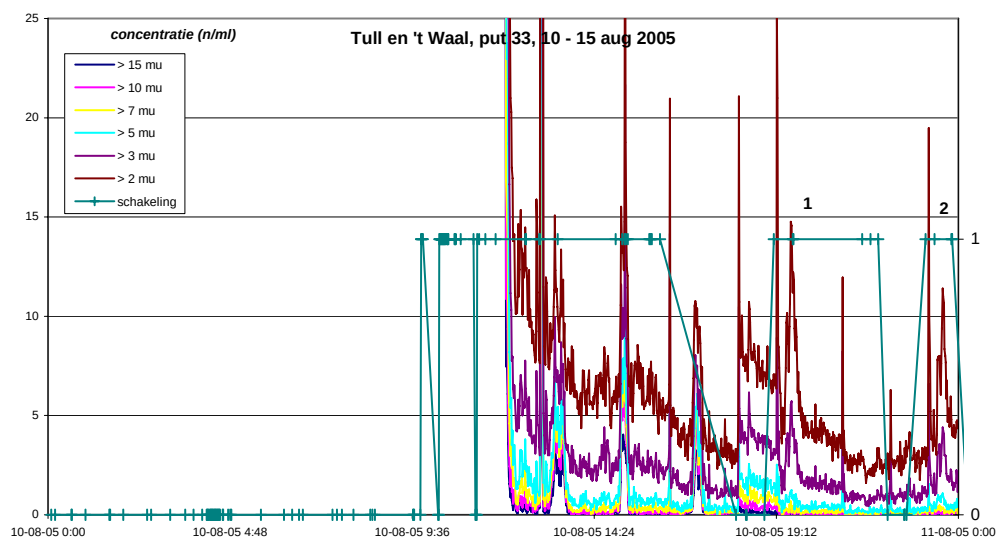
Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	6 jan	03.13 – 06.07	174	-
2		09.07 – 10.16	52	-
3		10.19 – 10.58	39	-
4		11.31 – 15.07	216	30,9
5		18.07 – 20.57	120	-
6	7 jan	06.07 – 09.07	180	34,3
7		12.07 – 17.07	360	31,8
8		21.37 – 22.34	57	26,2
9		23.16 – 23.57	41	18,9
10	8 jan	00.07 – 03.07	180	28,7
11		08.00 – 08.58	58	24,0
12		09.07 – 12.07	180	28,0
13		15.07 – 21.07	360	27,2

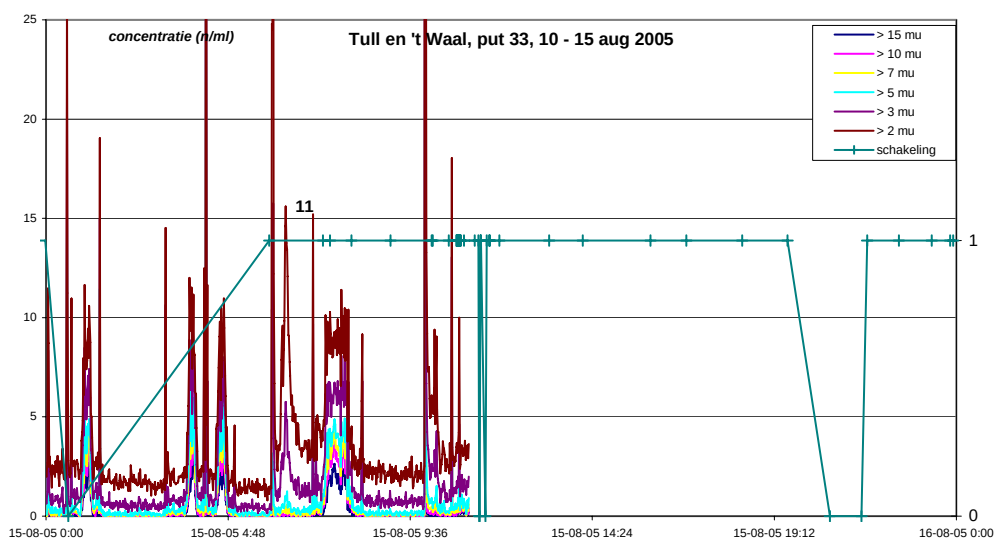
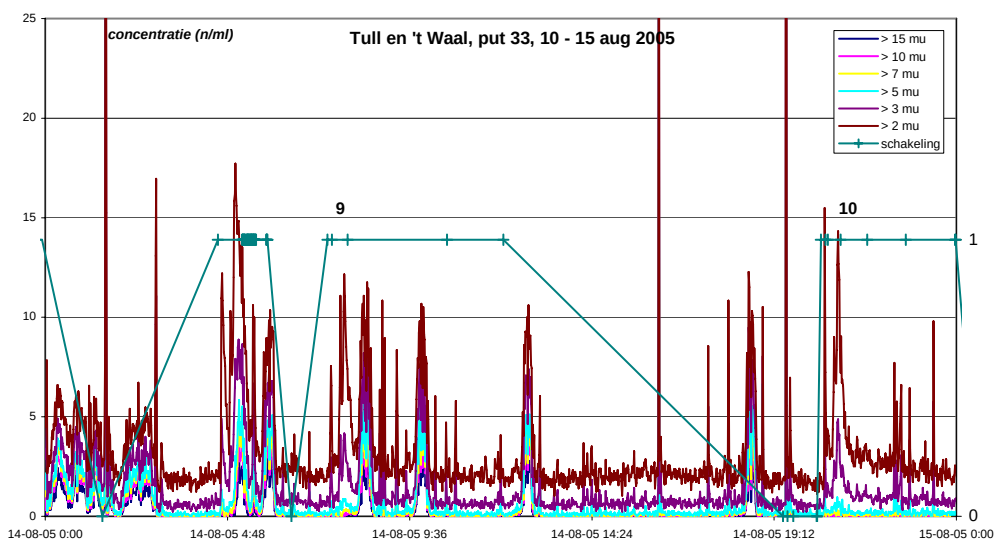
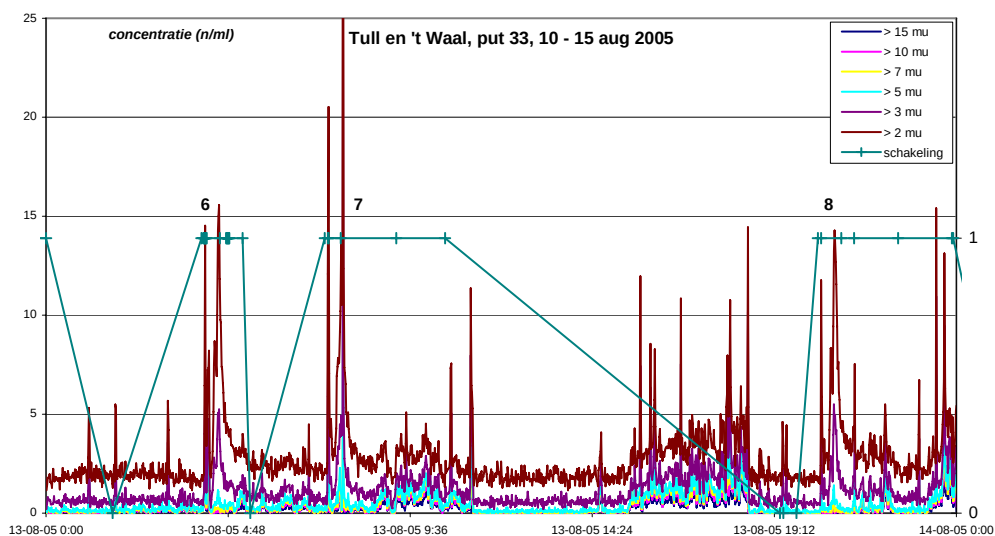
Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte	
			Minuten	
14	9 jan	03.07 - 06.07	180	28,5
15		09.07 - 15.07	360	26,8
16	10 jan	04.33 - 04.48	15	23,8
17		06.07 - 09.07	180	25,7
18		12.07 - 18.07	360	25,0
19		21.07 - 00.03	176	20,0
20	11 jan	00.07 - 03.07	180	24,7

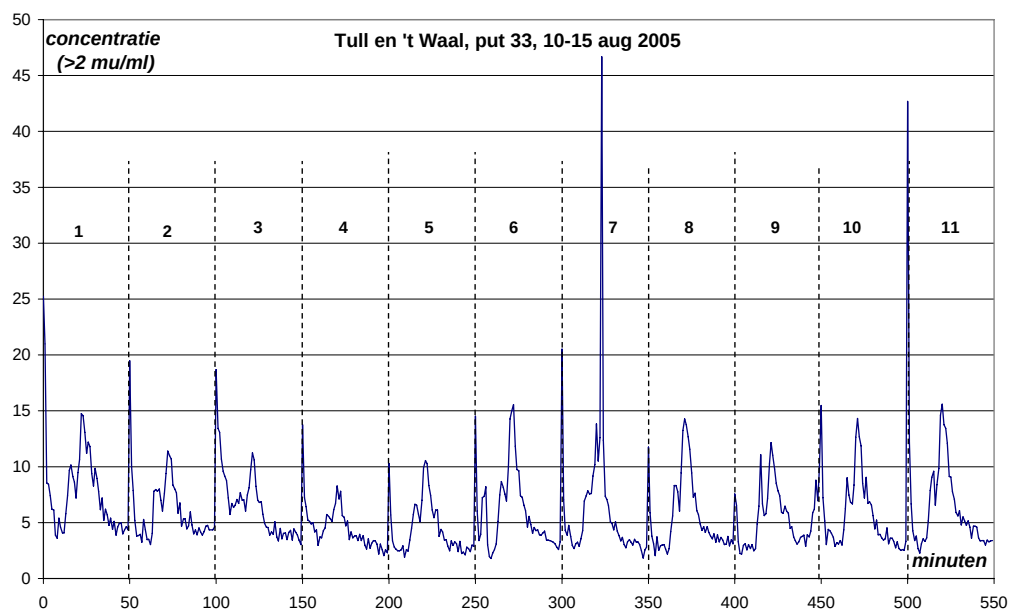


In bovenstaande afbeelding blijkt op het oog geen relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes bij aanschakelen van de onderwaterpomp en duur van voorafgaande onttrekkingperiode.

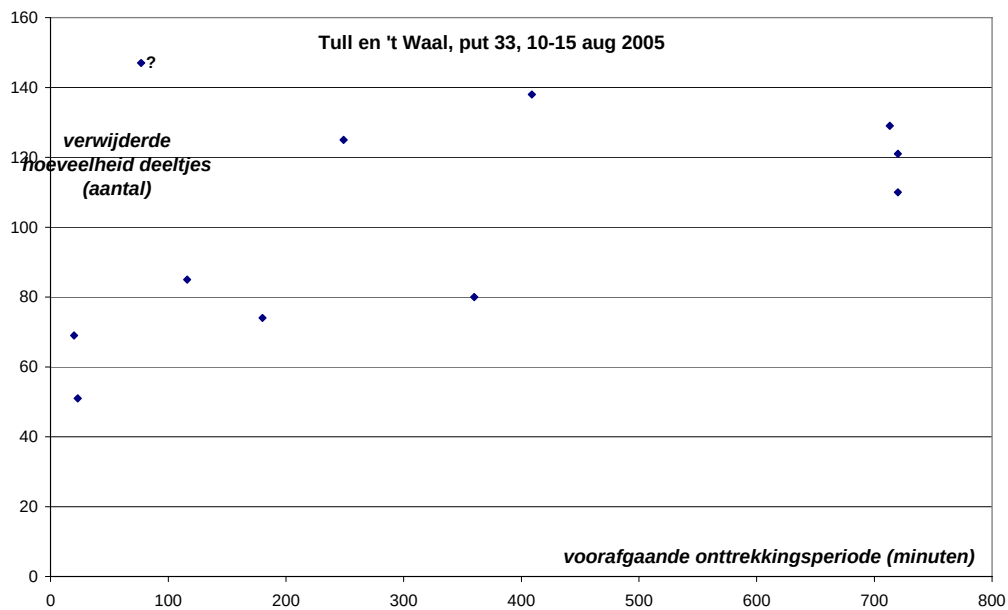
Put 33 gedurende de periode 10 – 15 augustus 2005





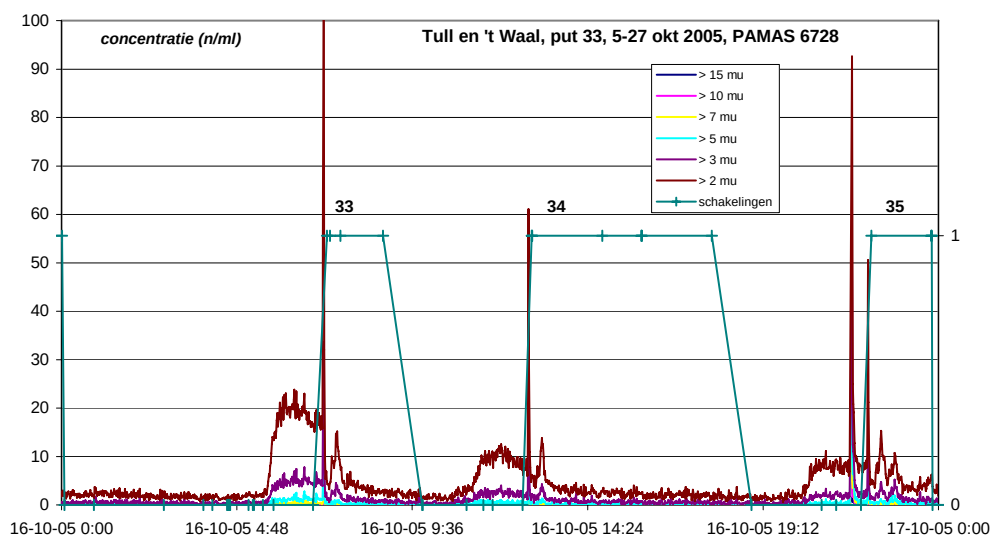
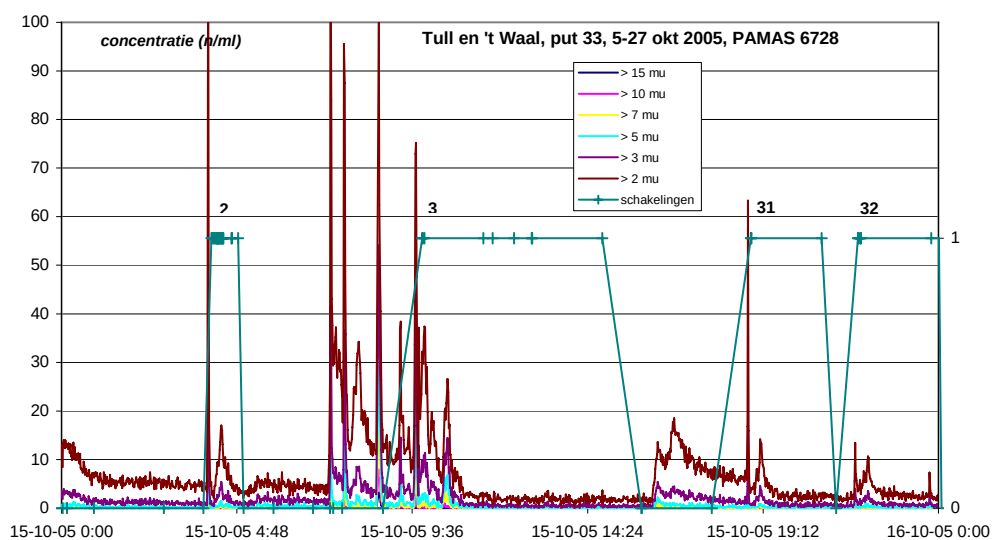
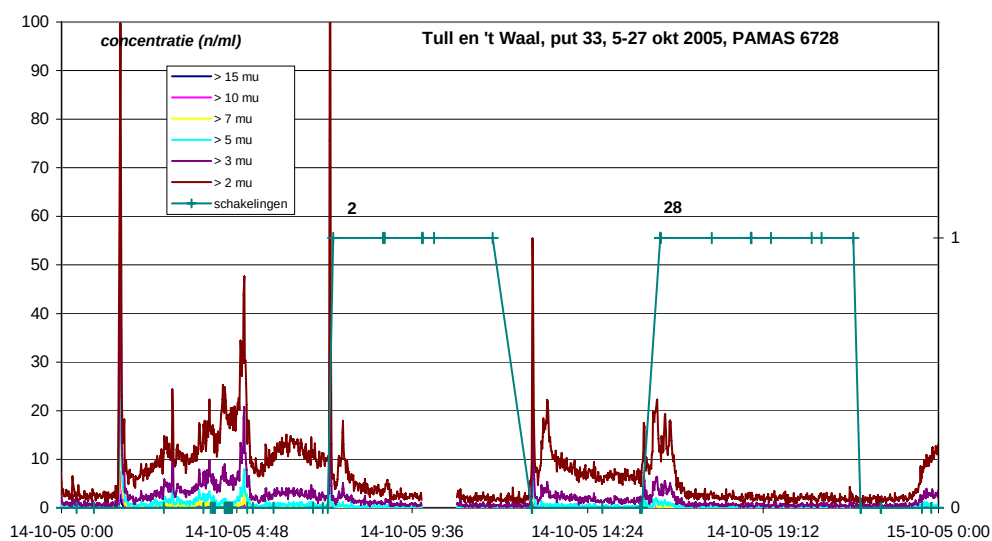


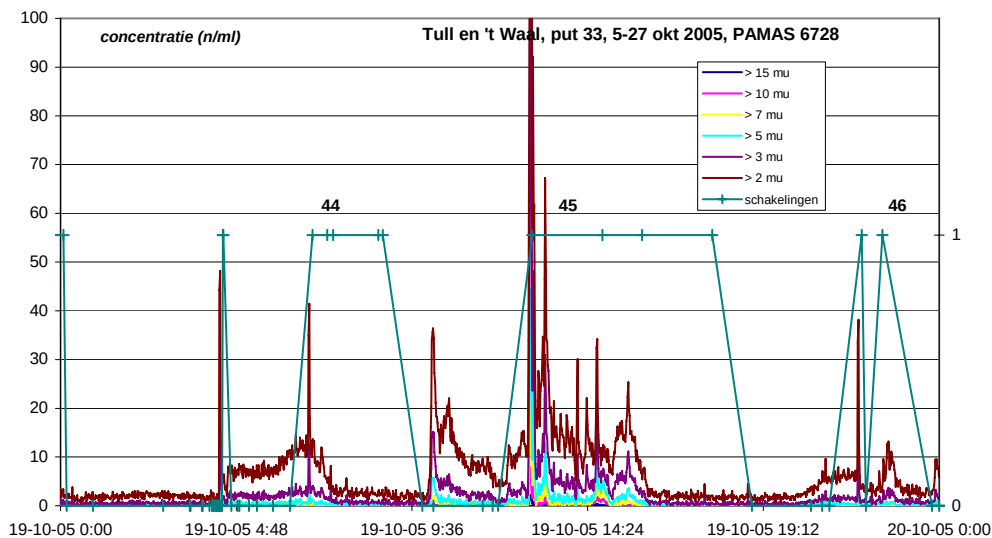
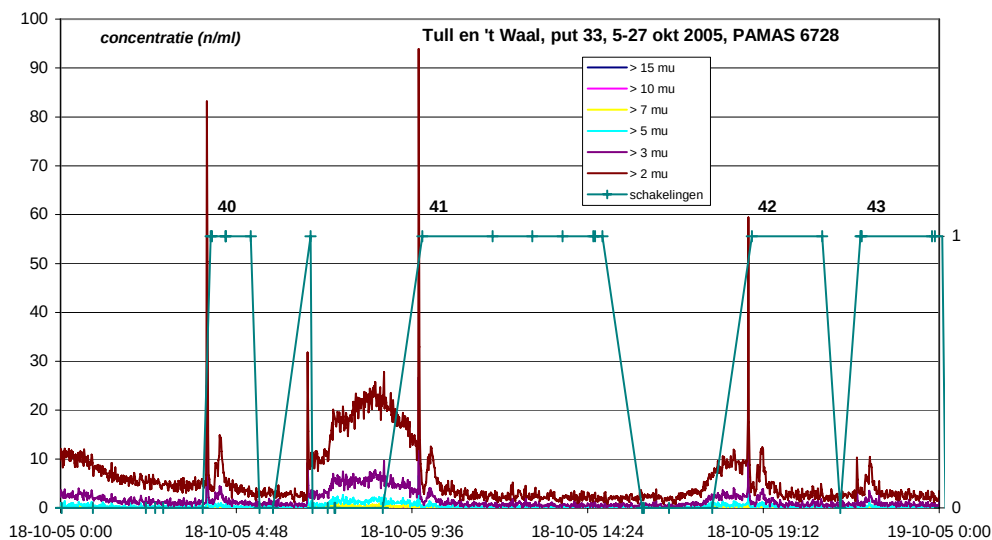
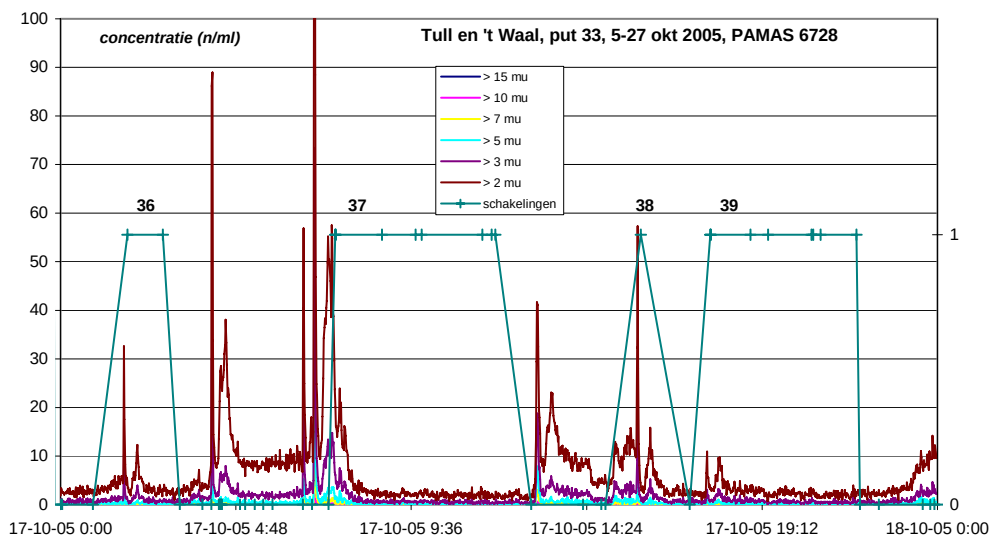
Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	10 aug	11.19 - 18.08	409	138
2		19.08 - 22.08	180	74
3	11 aug	03.30 - 03.50	20	69
4		05.28 - 05.51	23	51
5	12 aug	06.52 - 12.52	360	80
6		13.52 - 01.45	713	129
7	13 aug	04.06 - 05.23	77	147
8		07.21 - 19.21	720	110
9	14 aug	04.33 - 06.29	116	85
10		07.26 - 19.26	720	121
11		20.26 - 00.35	249	125

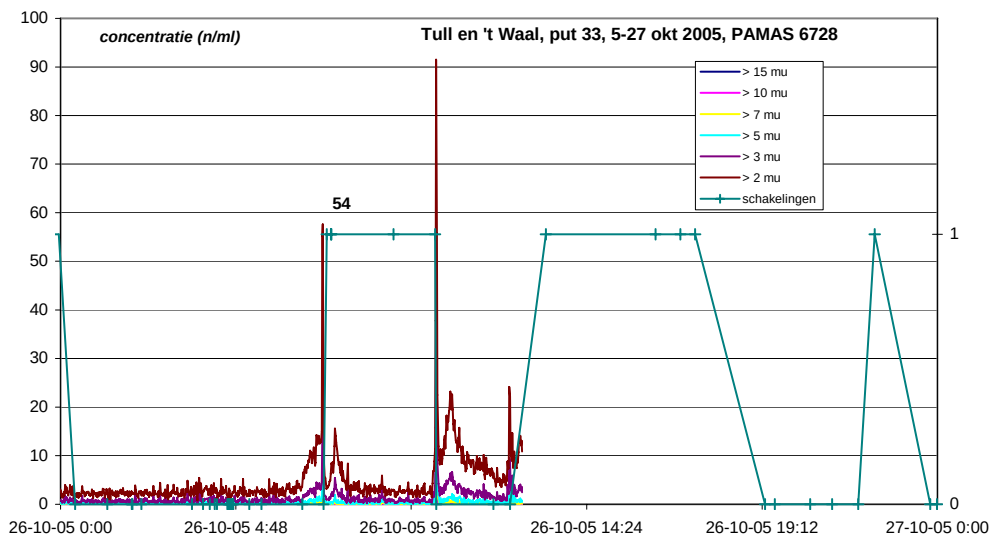
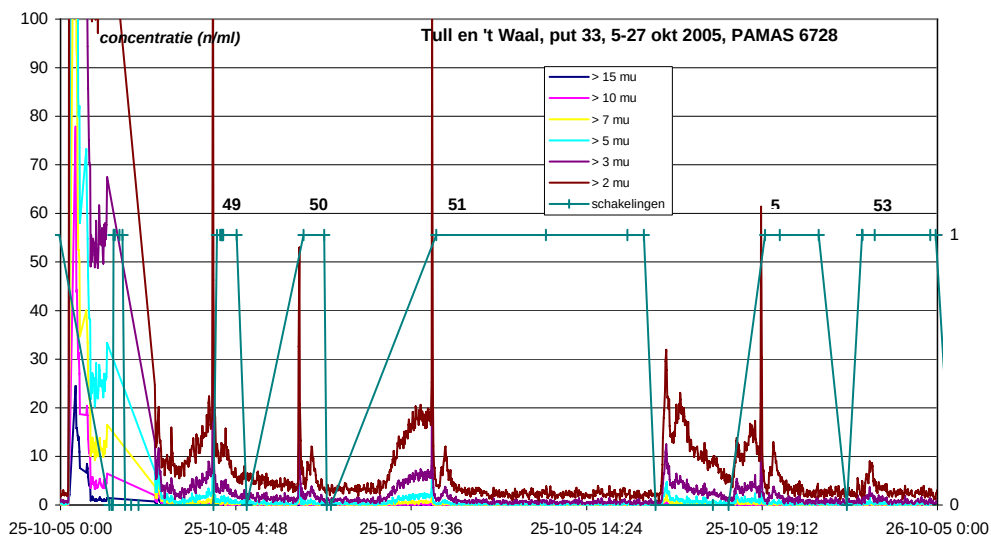
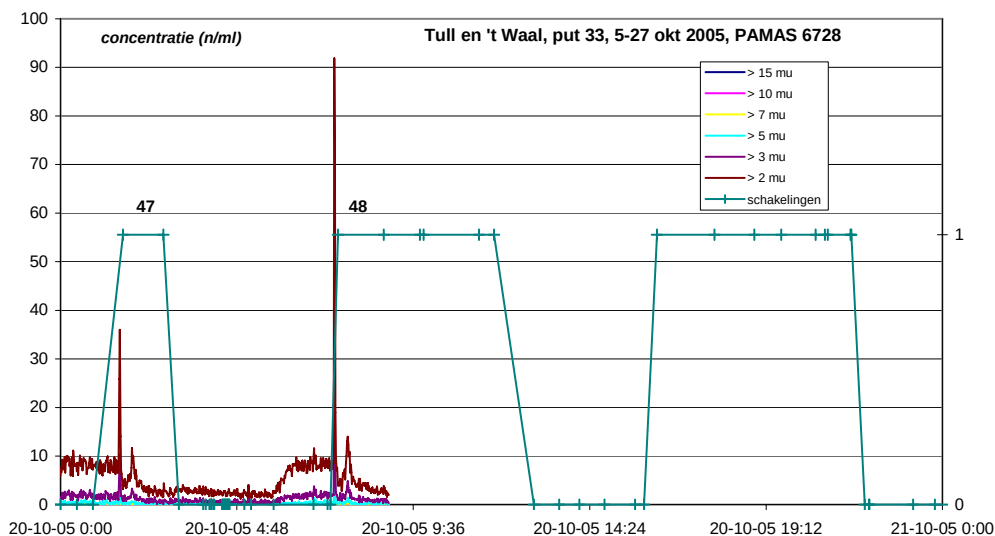


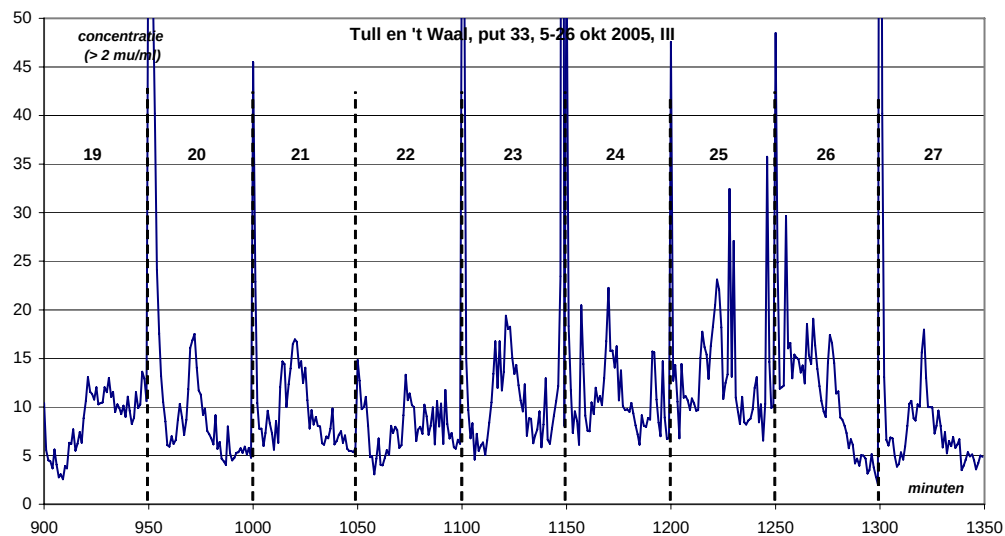
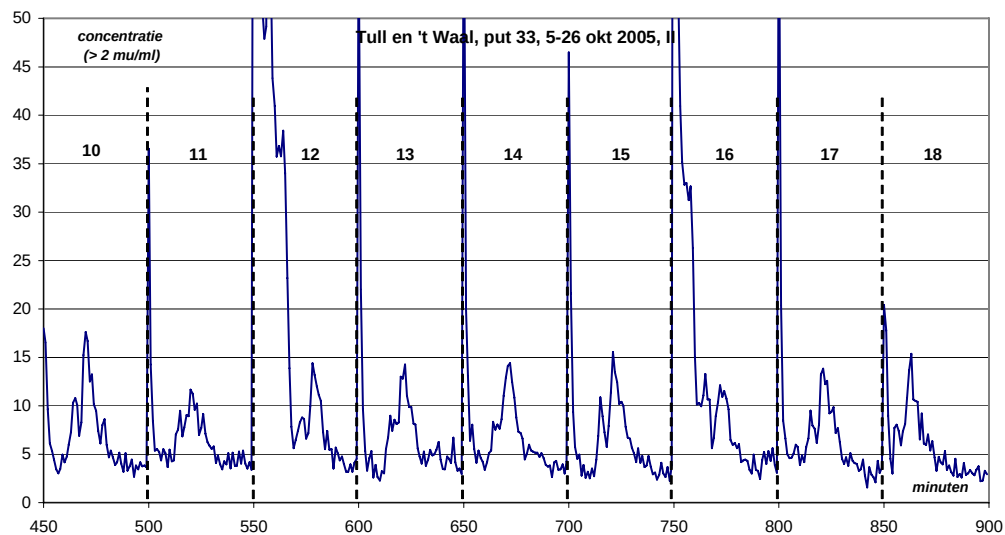
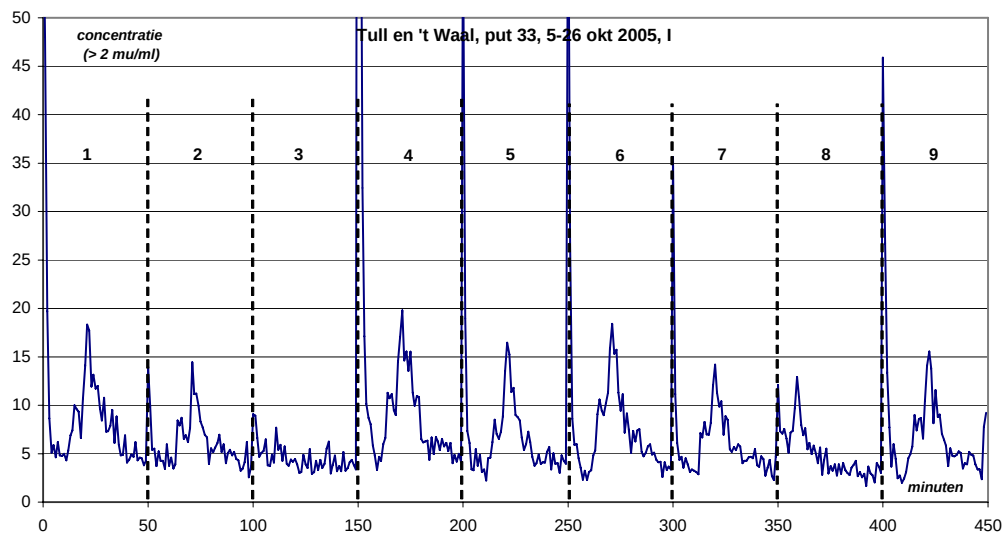
In bovenstaande afbeelding bestaat op het oog een lichte relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes na aanschakelen van de onderwaterpomp en duur van voorafgaande onttrekkingperiode. Het omslagpunt ligt bij 6 uur?

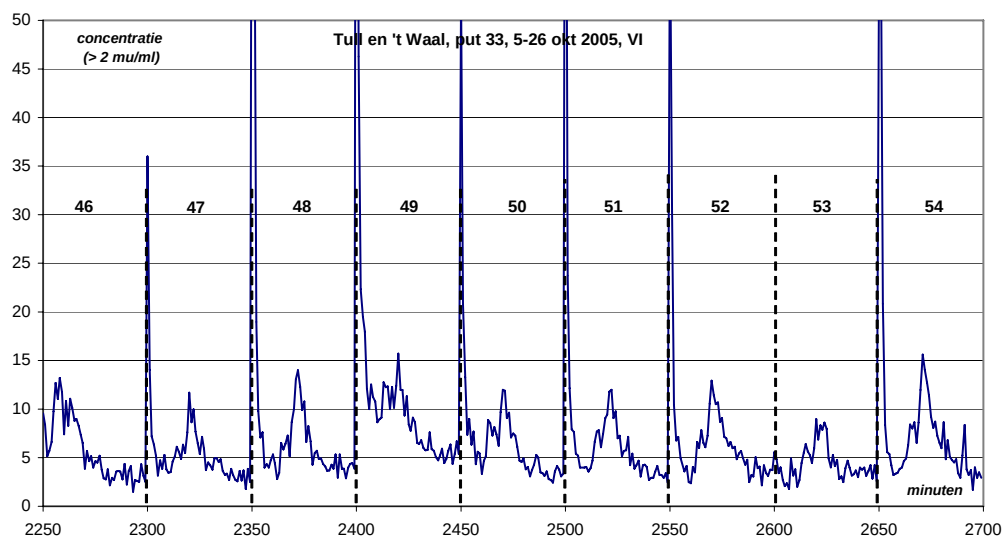
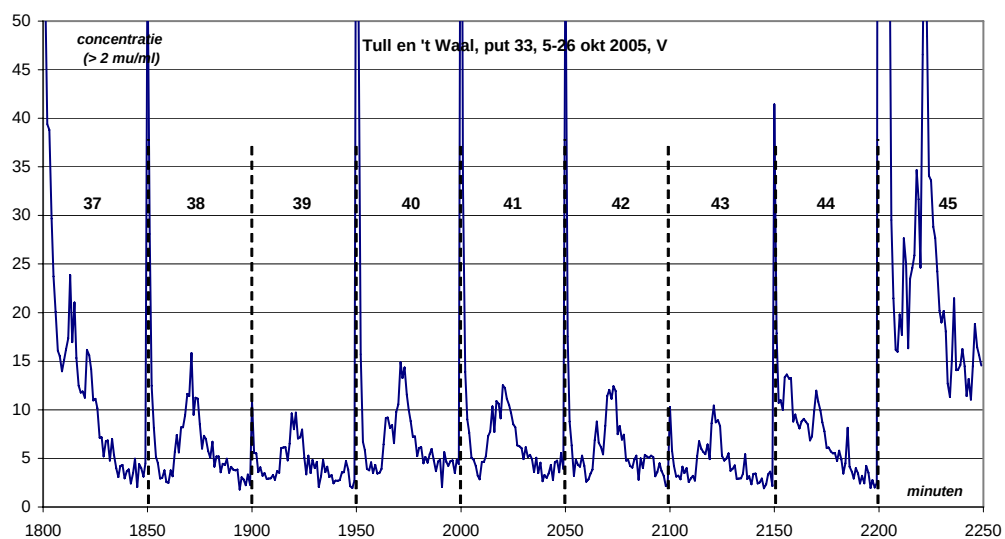
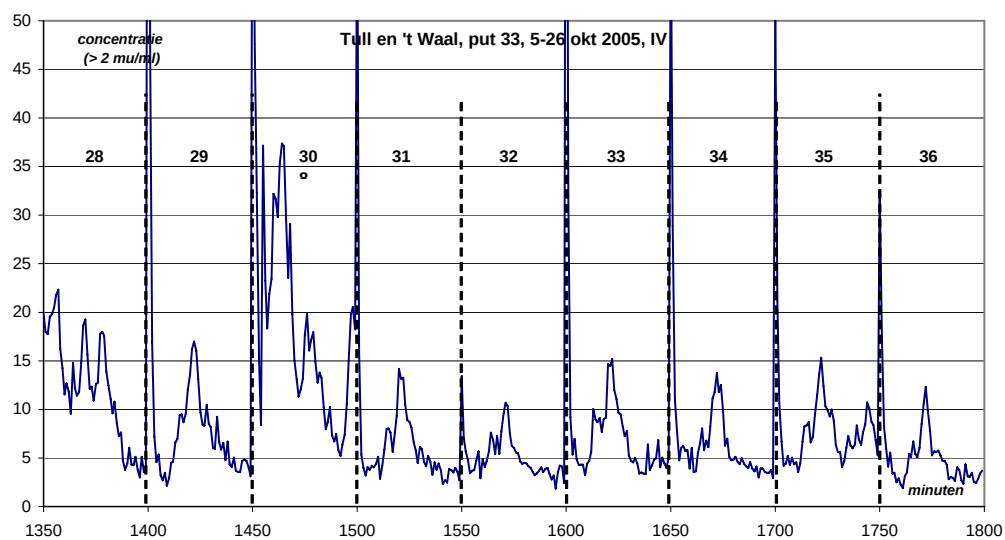
Put 33 gedurende de periode 5 – 27 oktober 2005





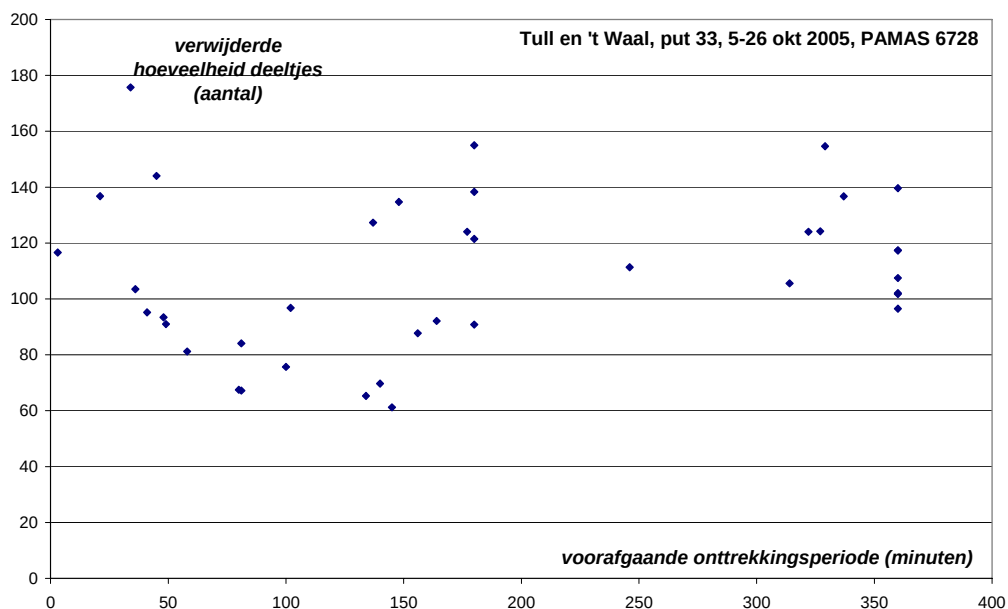






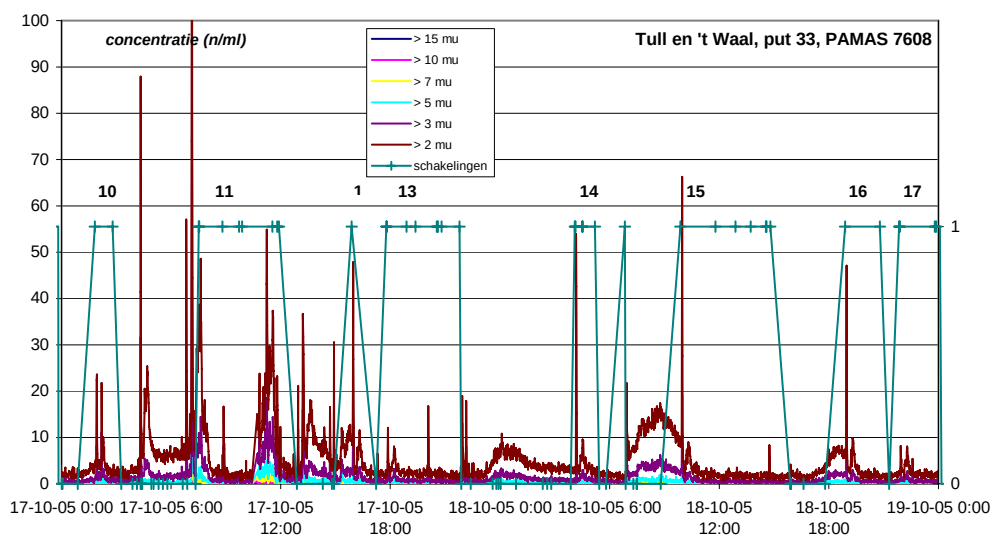
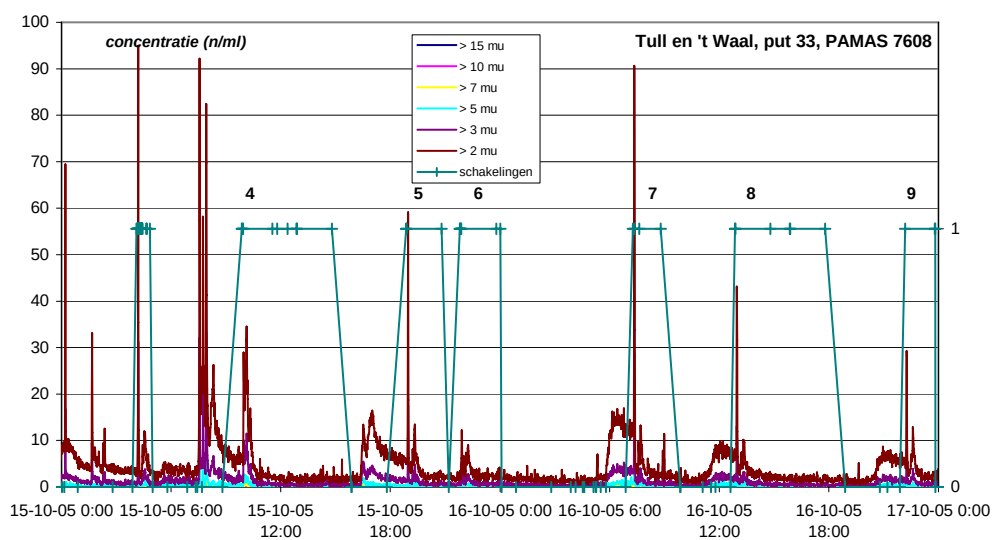
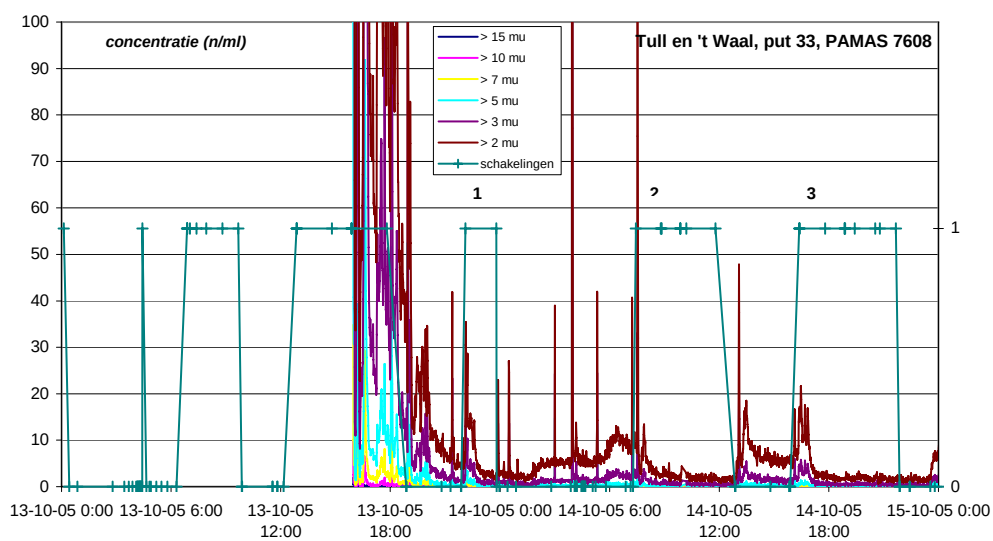
Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte	
			Minuten	
1	5 okt	11.35 - 17.35	360	139,6
2		20.35 - 21.33	58	81,2
3		22.08 - 23.32	84	-
4		23.35 - 00.09	34	175,7
5	6 okt	12.52 - 15.52	180	121,5
6		18.52 - 00.29	337	136,7
7	7 okt	06.55 - 09.52	177	124,0
8		12.52 - 15.36	104	-
9		15.52 - 18.52	180	155,0
10		21.52 - 22.37	45	144,0
11		23.13 - 23.54	41	95,2
12	8 okt	01.20 - 03.33	133	-
13		07.38 - 12.52	314	105,6
14	9 okt	04.23 - 04.59	36	103,5
15		09.52 - 15.52	360	117,4
16	10 okt	04.49 - 05.07	18	-
17		06.52 - 09.52	180	90,8
18		12.52 - 18.52	360	117,3
19		21.52 - 22.56	64	-
20		23.35 - 23.56	21	136,8
21	11 okt	07.35 - 12.52	327	124,2
22		15.52 - 17.52	120	-
23		18.15 - 21.52	180	138,3
24	12 okt	04.08 - 06.52	164	92,1
25		09.52 - 15.52	360	-
26	13 okt	12.52 - 18.52	360	-
27		22.07 - 23.49	102	96,8
28	14 okt	07.26 - 12.52	326	-
29		16.23 - 21.52	329	154,6
30	15 okt	04.06 - 04.59	53	
31		09.52 - 15.52	360	101,8
32		18.52 - 21.12	140	69,7
33		21.48 - 00.05	137	127,3
34	16 okt	07.16 - 09.52	156	87,7
35		12.52 - 18.53	361	96,5
36		22.10 - 23.50	100	75,7
37	17 okt	01.50 - 03.16	86	-
38		07.31 - 12.53	322	124,0
39		15.53 - 17.13	80	67,5
40		17.47 - 21.53	246	111,3
41	18 okt	06.50 - 06.53	3	116,6
42		09.53 - 15.53	360	102,1
43		18.53 - 21.18	145	61,2

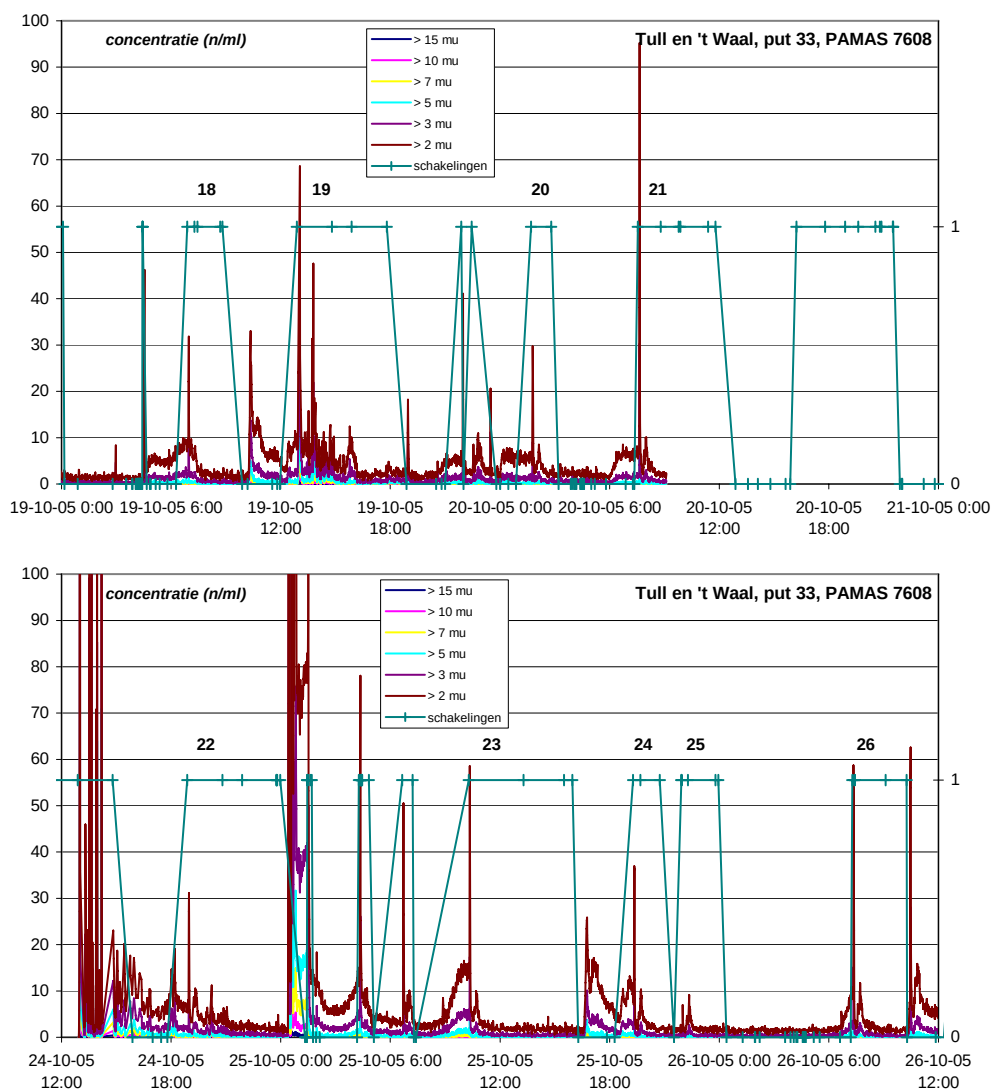
Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte	
			Minuten	
44	19 okt	04.26 - 04.40	14	-
45		06.53 - 09.53	180	-
46		21.53 - 22.00	7	-
47		22.27 - 23.48	81	67,2
48	20 okt	01.42 - 03.13	81	84,1
49	25 okt	01.27 - 01.46	19	-
50		04.17 - 05.06	49	91,0
51		06.37 - 07.17	48	93,4
52		10.17 - 16.17	360	107,5
53		19.17 - 21.31	134	65,3
54		21.56 - 00.24	148	134,7



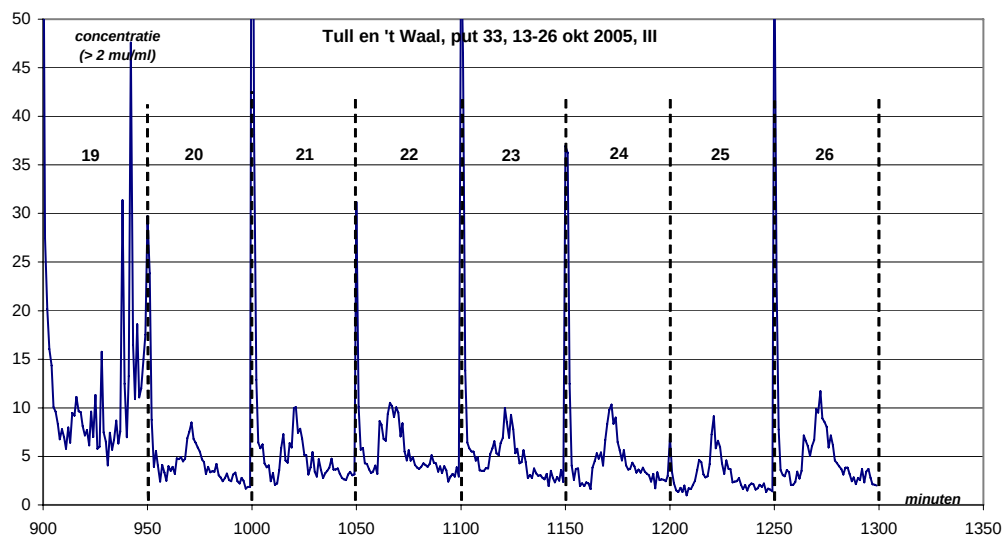
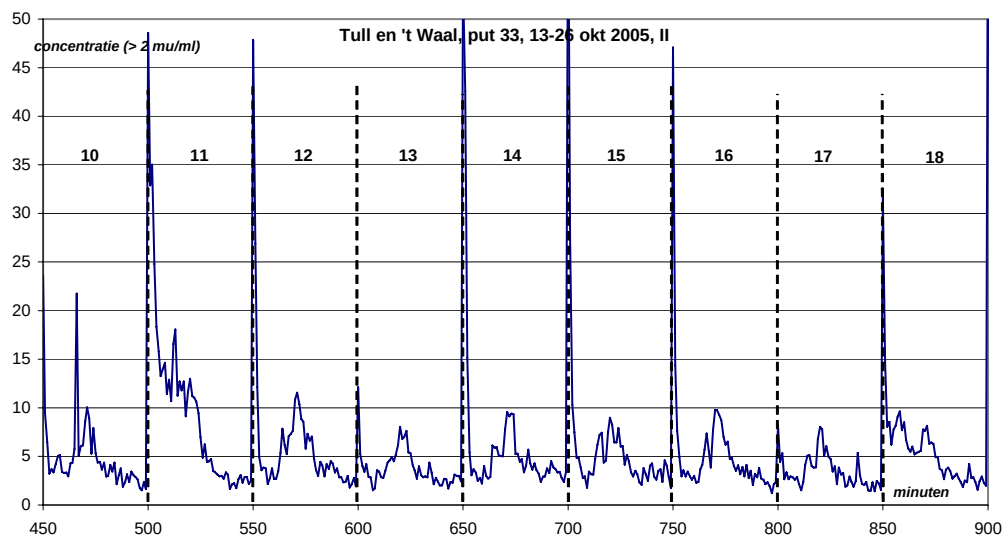
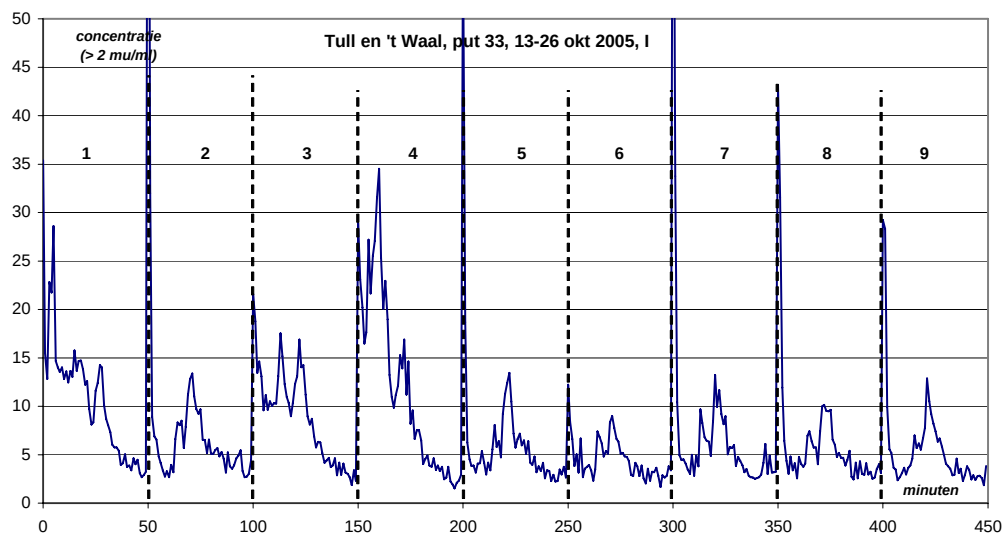
In bovenstaande afbeelding bestaat op het oog geen of een lichte relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes na aanschakelen van de onderwaterpomp en duur van de voorafgaande onttrekkingperiode.

Put 33 gedurende periode 13 – 27 okt 2005

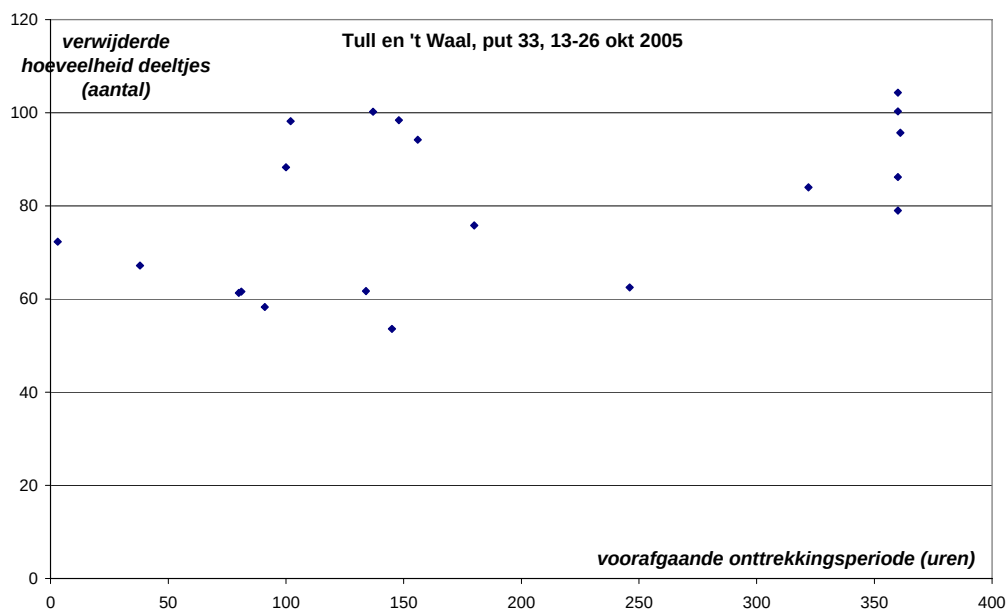




Onderstaand zijn de geselecteerde schakelingen afzonderlijk weergegeven.



Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	13 okt	12.52 - 18.52	360	-
2		22.07 - 23.49	102	98,2
3	14 okt	07..26- 12.52	326	-
4	15 okt	04.06 - 04.59	53	-
5		09.52 - 15.52	360	104,3
6		18.52 - 21.12	180	75,8
7		21.48 - 00.05	137	100,2
8	16 okt	07.16 - 09.52	156	94,2
9		12.52 - 18.53	361	95,7
10		22.10 - 23.50	100	88,3
11	17 okt	01.50 - 03.16	86	-
12		07.31 - 12.63	322	84,0
13		15.53 - 17.13	80	61,3
14		17.47 - 21.53	246	62,5
15	18 okt	06.50 - 06.53	3	72,3
16		09.53 - 15.53	360	86,2
17		18.53 - 21.18	145	53,6
18	19 okt	04.26 - 04.40	14	-
19		06.53 - 09.53	180	-
20		22.27 - 23.48	81	61,6
21	20 okt	01.42 - 03.13	91	48,3
22	24 okt	09.53 - 15.53	360	79,0
23	25 okt	06.39 - 07.17	38	67,2
24		10.17 - 16.17	360	100,3
25		19.17 - 21.31	134	61,7
26		21.56 - 00.24	148	98,4



In bovenstaande afbeelding is op het oog niet/enigszins sprake van een relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes na aanschakelen van de onderwaterpomp en duur van de voorafgaande onttrekkingperiode.

Onderstaand is de berekening herhaald, maar nu is de verwijderde hoeveelheid bepaald over 100 minuten. met een

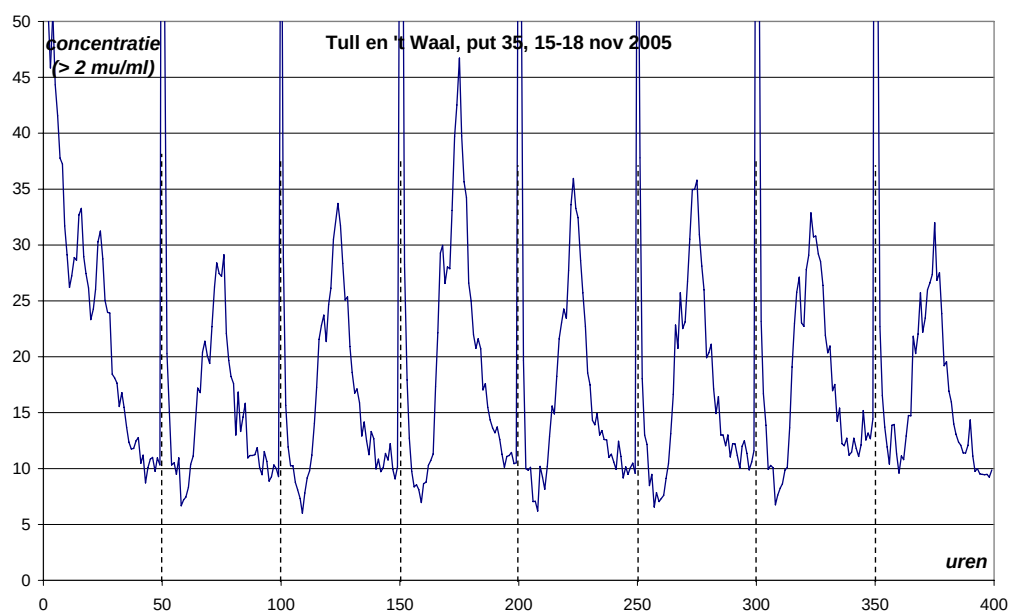
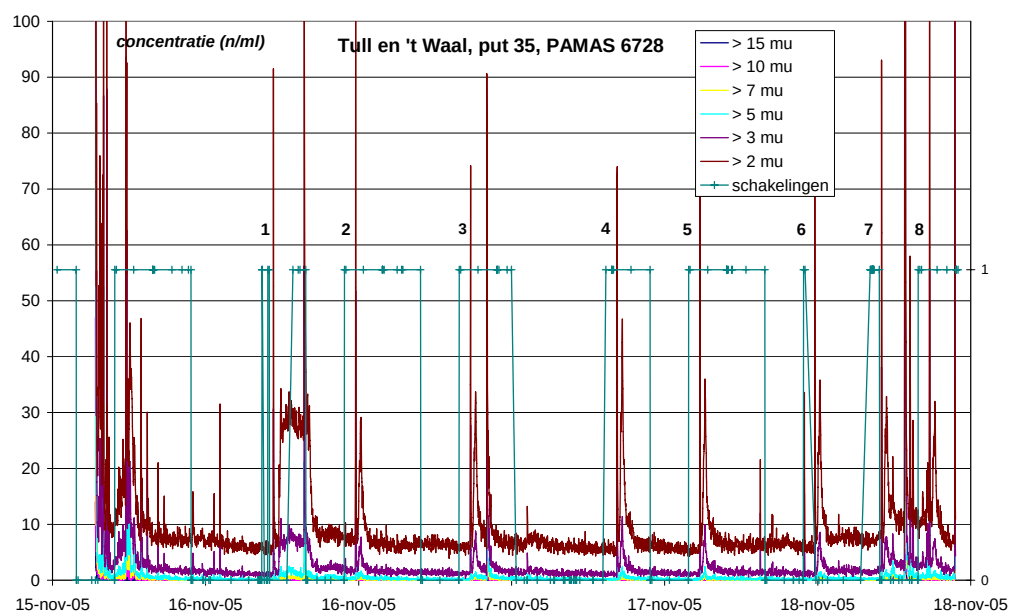
Voorafgaande onttrekkingperiode put 33 PAMAS 7608				Actuele onttrekkingperiode				Verwijderde hoeveelheid
dag	aan	uit	duur	dag	aan	uit	duur	100 minuten
			minuten				minuten	
	12.52	18.52	360	13 okt	22.07	23.49	102	390
	22.07	23.49	102	14 okt	7.26	12.52	326	148
	7.26	12.52	326		16.23	21.52	329	457
	4.06	4.59	53	15 okt	9.52	15.52	360	173
	9.52	15.52	360		18.58	21.12	260	106
	18.52	21.12	140		21.45	0.05	140	86
	21.48	0.05	137	16 okt	7.16	9.52	156	78
	7.16	9.52	156		12.52	18.53	361	141
	12.52	18.53	361		22.10	23.50	100	98
	22.10	23.50	100	17 okt	1.50	3.16	86	89
	1.50	3.16	86		7.31	12.53	322	257
	7.31	12.53	322		15.53	17.13	80	135
	15.53	17.13	80		17.47	21.53	246	92
	17.47	21.53	247	18 okt	4.06	5.26	80	119
	6.0	6.53	3		9.53	15.53	360	97
	9.53	15.53	360		18.53	21.18	265	92

Voorafgaande onttrekkingperiode put 33 PAMAS 7608				Actuele onttrekkingperiode				Verwijderde hoeveelheid
dag	aan	uit	duur	dag	aan	uit	duur	100 minuten
			minu ten				minut en	
	18.53	21.28	145		21.51	0.10	139	76
	4.26	4.40	14	19 okt	6.53	9.53	180	92
	6.53	9.53	180		12.53	18.53	360	93
	22.27	23.48	81	20 okt	1.47	3.13	91	47
	9.53	15.53	360	24 okt	18.53	1.20	327	52
	6.39	7.17	38	25 okt	10.17	16.17	360	120
	10.17	16.17	360		19.17	21.31	134	116
	19.17	21.31	134		21.56	0.24	148	44
	21.56	0.24	148	26 okt	7.17	10.17	180	155

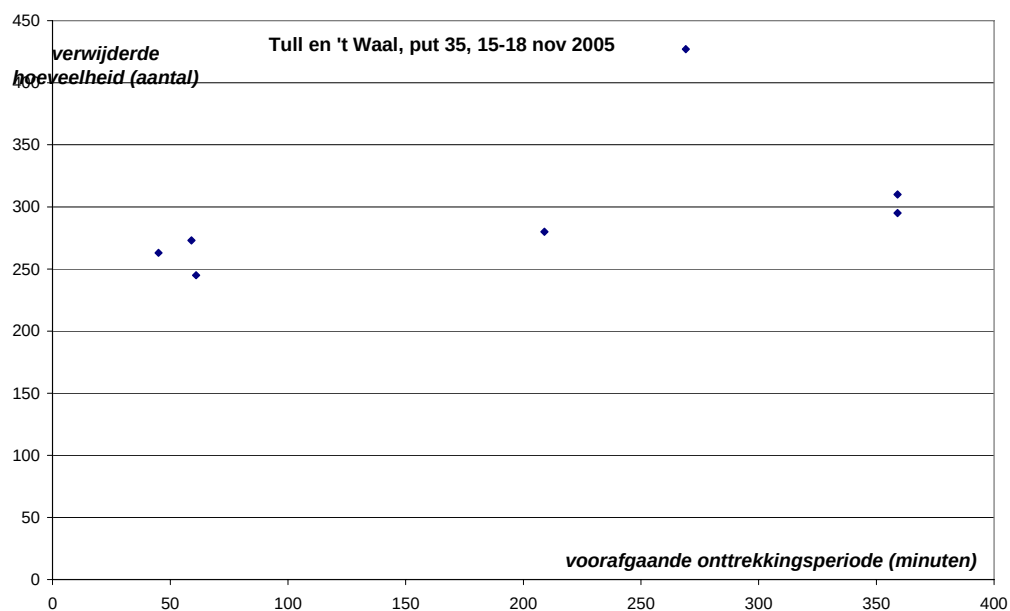
Put 35 gedurende de periode 10 – 14 augustus 2005, PAMAS 1655

Schakeling	Voorgaande draaiperiode	Duur voorgaande onttrekkingperiode	Verwijderde hoeveelheid	
			100 minuten	200 minuten
1	10 aug 15.08-18.08	180	416	406
2	10 aug 18.53-21.53	180	343	Nvt
3	11 aug 5.26-6.21	55	91	307
4	12 aug 4.29-4.50	21	425	579
5	12 aug 14.19-15.26	67	219	267
6	13 aug 4.49-5.11	22	407	504
7	13 aug 7.26-19.26	720	487	518

Put 35 gedurende de periode 15 - 18 november 2005

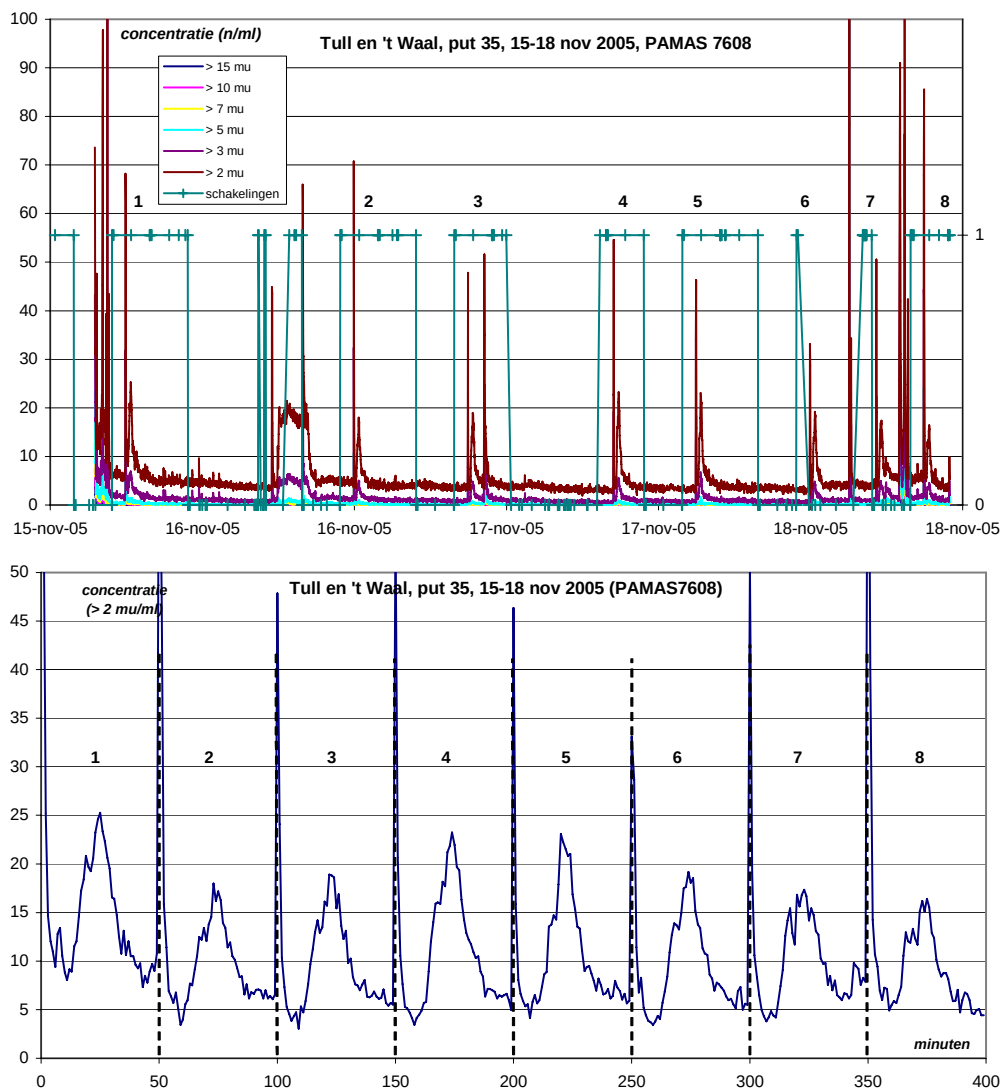


Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	15 nov			
2		06.51 – 07.52	61	245
3		10.53 – 16.52	359	295
4		19.53 – 00.22	269	427
5	16 nov	07.23 – 10.52	209	280
6		13.53 – 19.52	359	310
7		22.53 – 23.52	59	273
8	17 nov	04.07 – 04.52	45	263

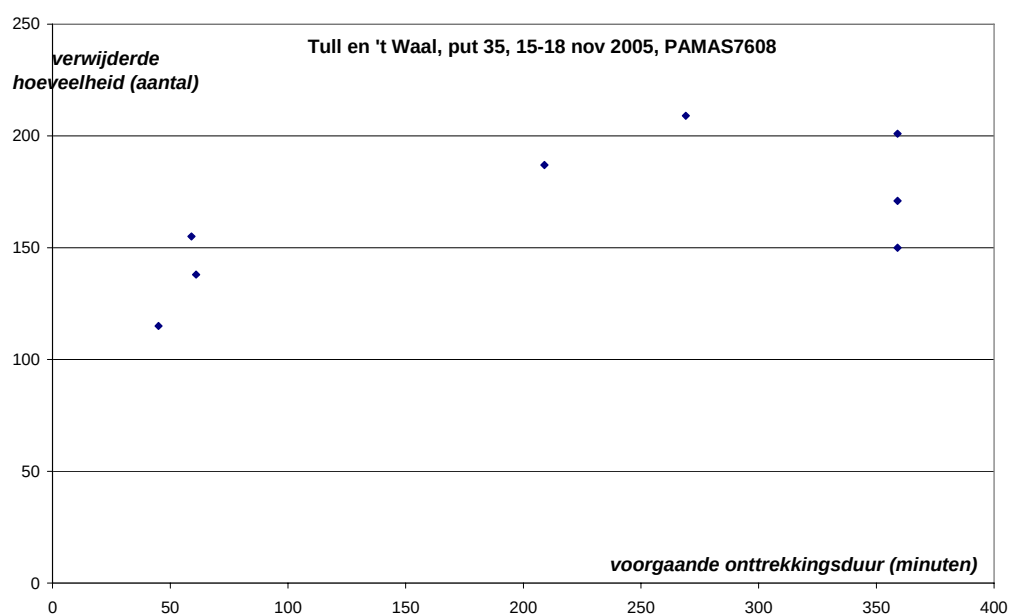


In bovenstaande afbeelding is op het oog sprake van geen/lichte relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes na aanschakelen van de onderwaterpomp en duur van de voorafgaande onttrekkingperiode.

Put 35 gedurende periode van 15 - 18 november 2005
PAMAS 7608



Piek in concentratie	Lengte voorgaande onttrekkingperiode			Verwijderd aantal deeltjes
	Datum	Kloktijd	Lengte Minuten	
1	15 nov	07.53 – 13.52	359	201
2		06.51 – 07.52	61	138
3		10.53 – 16.52	359	150
4		19.53 – 00.22	269	209
5	16 nov	07.23 – 10.52	209	187
6		13.53 – 19.52	359	171
7		22.53 – 23.52	59	155
8	17 nov	04.07 – 04.52	45	115



In bovenstaande afbeelding is op het oog sprake van een lichte relatie tussen verwijderde hoeveelheid deeltjes na aanschakelen van de onderwaterpomp en de duur van de voorgaande onttrekkingperiode. Het omslagpunt ligt bij circa 3uur.

Voorafgaande onttrekkingperiode put 35 PAMAS 7608				Actuele onttrekkingperiode				Verwijderde hoeveelheid
dag	aan	uit	duur	dag	aan	uit	duur	100 minuten
			minu ten				min uten	
	6.51	7.52	61	16 nov	10.53	16.52	235	359
	10.53	16.52	359		19.53	0.22	342	269
	19.53	0.22	269	17 nov	7.23	10.52	339	209
	13.53	19.52	359		22.53	23.52	232	59
	22.53	23.52	59	18 nov	4.07	4.52	221	45