

Interactie grondwater-oppervlaktewater Hooge Raam



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	1
Hoofdstuk 1	Inleiding2
1.1	Aanleiding en doel.....2
1.2	Gebiedspilot waterkwaliteit Hooge Raam3
1.3	Leeswijzer3
Hoofdstuk 2	Monitoring grond- en oppervlaktewater4
2.1	Monitoring neerslag afvoer.....4
2.2	Monitoring overstorten6
2.3	Monitoring oppervlaktewaterkwaliteit.....7
2.4	Monitoring grondwaterkwaliteit.....9
2.5	Monitoring grondwaterstanden10
Hoofdstuk 3	Analyse van het afvoerverloop11
3.1	Afvoerverloop.....11
3.2	Afvoerverloop en grondwaterstanden.....12
Hoofdstuk 4	Invloed grondwater op oppervlaktewater14
4.1	Grondwaterkwaliteit Hooge Raam14
4.2	Relatie afvoer en waterkwaliteit.....18
Hoofdstuk 5	Maatregelen27
5.1	Noodzaak tot maatregelen27
5.2	Voorstel tot maatregelen28
Bijlage 1: Waterkwaliteit in de tijd (incl. afvoer)	31
Bijlage 2: Waterkwaliteit in de tijd tijdens afvoerpiek	39
Bijlage 3: Box-Whisker plots waterkwaliteit versus afvoer	44
Bijlage 4: Box-Whisker plots waterkwaliteit % snelle afvoer	50
Bijlage 5: Box-Whisker plots waterkwaliteit versus grootte afvoer en % snelle afvoer	56
colofon	62

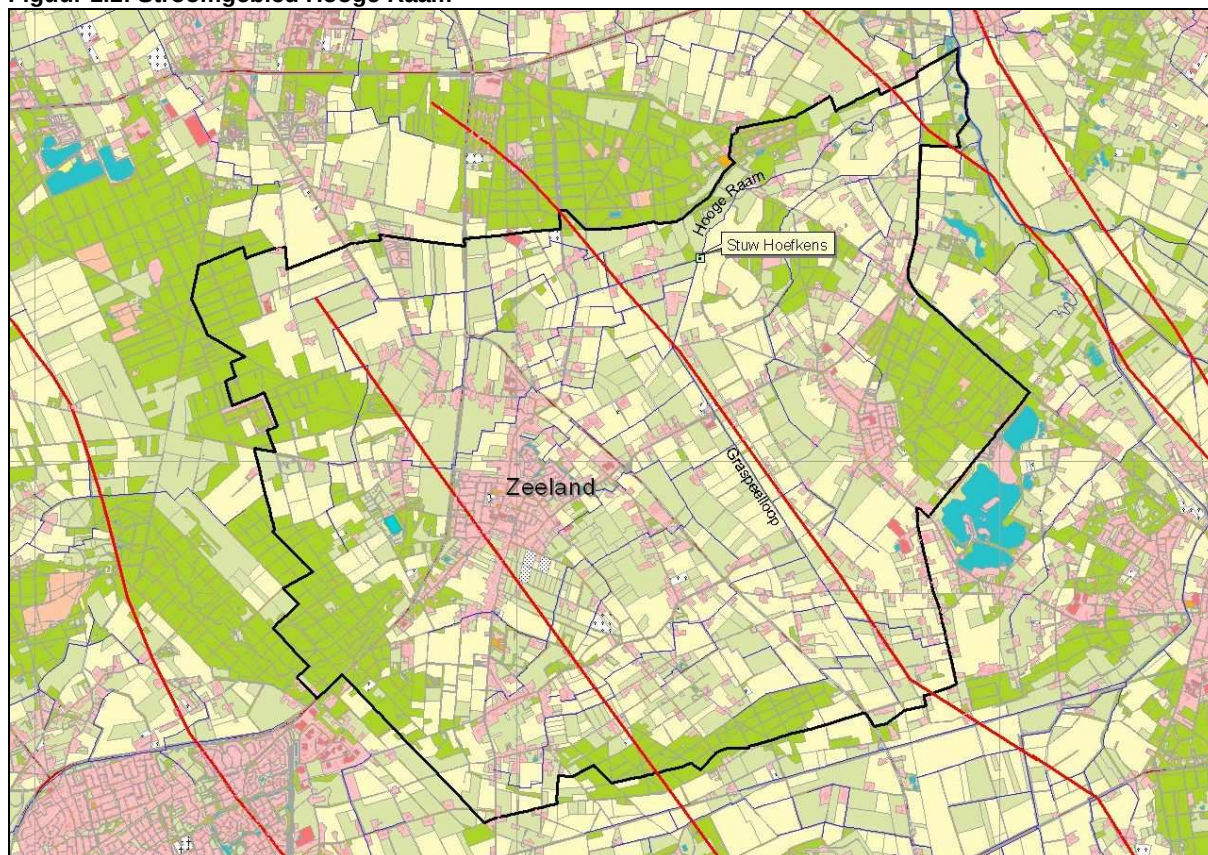
Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Binnen het project STROMON (Stroomgebiedsgerichte Monitoring), opgezet door de Brabantse Waterschappen, de provincie Noord-Brabant en TNO, zijn met een quick-scan (Rozemeijer et.al., TNO-rapport 2008-U-R0406/A, 9 november 2007) duidelijke relaties aangetoond tussen de kwaliteit van het oppervlaktewater onder verschillende afvoeromstandigheden en de bijdrage van het grondwater hieraan. Met de studie is geconcludeerd dat de bijdragen van het grondwater in veel gevallen de voornaamste bron van verontreiniging van het oppervlaktewater vormt en dat de herkomst van dit water een bepalende factor is. De gedachte hierbij is dat bij hoge afvoeren een groot deel van het water afkomstig is van ondiep grondwater en oppervlakkige afstroming (snelle afvoercomponenten). Bij langzame afvoeren (basisafvoer) is het grootste gedeelte afkomstig van dieper grondwater.

Deze resultaten hebben voor Waterschap Aa en Maas aanleiding gevormd om binnen de “Gebiedspilot waterkwaliteit Hooge Raam” de relatie tussen de afvoer en de waterkwaliteit in beeld te gaan brengen. Het stroomgebied van Hooge Raam (zie figuur 1.1) is hier uitermate geschikt voor omdat het een hydrologisch geïsoleerd stroomgebied is (geen aanvoer gebiedsvreemd water, geen RWZI). Een uitzondering hierop vormen de overstorten van de dorpskern van Zeeland. Het landgebruik in het stroomgebied is grotendeels agrarisch.

Figuur 1.1: Stroomgebied Hooge Raam



Bij stuw Hoefkens, waar een debietregistratie plaatsvindt, is in de periode van 1 oktober 2007 tot 1 april 2008 (6 maanden) de relatie tussen de afvoer en de waterkwaliteit gemeten met behulp van een automatische monsternamekast. Het betreft een nieuwe monsternamelocatie die slecht bereikbaar is (5 minuten lopen door weiland / bos).

1.2 Gebiedspilot waterkwaliteit Hooge Raam

In het onderzoeksproject “Gebiedspilot waterkwaliteit Hooge Raam” wordt een aantal maatregelen onderzocht en uitgevoerd waarvan verwacht wordt dat ze een positieve uitwerking hebben op de waterkwaliteit en ecologie. Het effect van de maatregelen wordt uitgebreid onderzocht om inzicht te krijgen in de effectiviteit van de maatregelen. Het doel hiervan is om uitspraak te kunnen doen in hoeverre deze maatregelen breder ingezet kunnen worden om in de toekomst de gewenste verbeteringen te kunnen bereiken.

De projecten zijn samen met verschillende partners opgezet zoals onder andere: lokale agrariërs, gemeente Landerd, ZLTO en Staatsbosbeheer. Waterschap Aa en Maas en provincie Noord-Brabant financieren het project. Het project komt voort uit afspraken die gemaakt zijn in het kader van de Reconstructie.

Binnen de provincie Noord-Brabant voeren ook de waterschappen De Dommel en Brabantse Delta dergelijke pilotprojecten uit. De bedoeling is de kennis die in deze projecten wordt opgedaan te bundelen. Zo kan deze kennis in de toekomst in heel Noord-Brabant worden toegepast. De eerste resultaten van het project worden gebruikt in het stroomgebiedbeheersplan voor de Maas, dat in 2009 ten behoeve van de Europese Kaderrichtlijn Water wordt opgesteld.

Onderhavige studie “Interactie grondwater oppervlaktewater Hooge Raam” maakt onderdeel uit van dit overkoepelende project. Door goed te begrijpen op welke wijze het watersysteem functioneert wordt een beter inzicht verkregen in de haalbaarheid en effectiviteit van maatregelen voor verbetering van de waterkwaliteit.

1.3 Leeswijzer

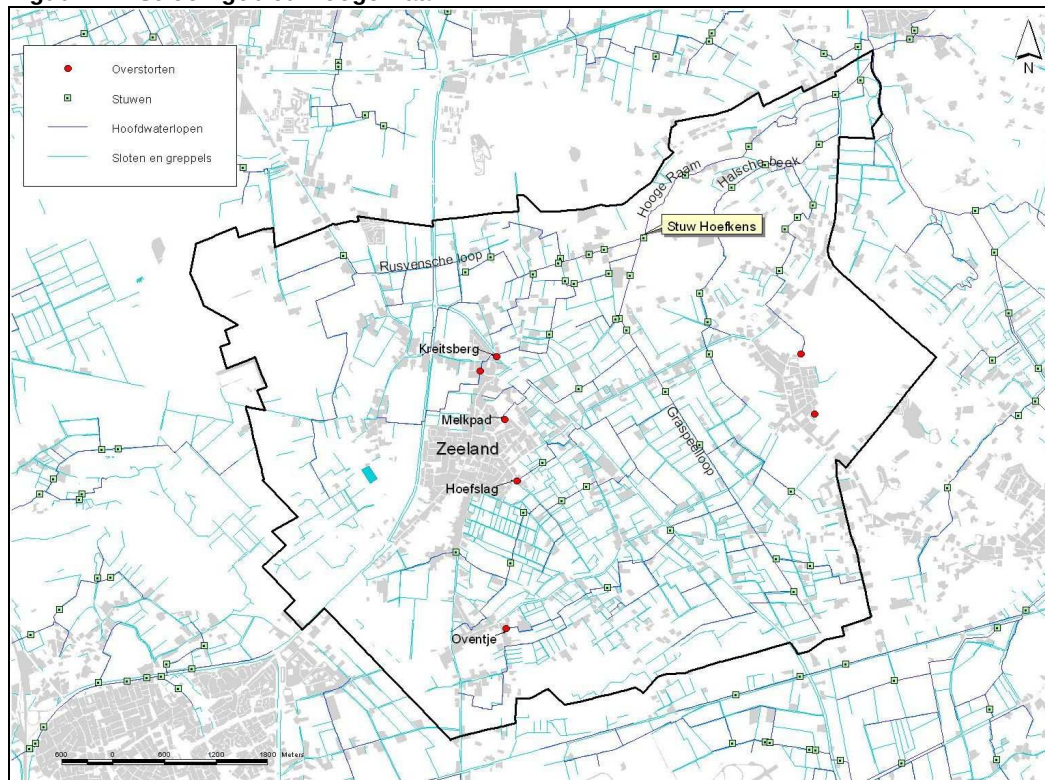
In het volgend hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de monitoring van grond- en oppervlaktewater voor zowel kwaliteit als kwantiteit. Een analyse van het afvoerverloop wordt beschreven in hoofdstuk 3. Hierbij wordt tevens in gegaan op het verloop van de grondwaterstand op een aantal locaties in het gebied. Hoofdstuk 4 beschrijft de relatie tussen de afvoer en de waterkwaliteit waarbij de interactie tussen het grondwater en oppervlaktewater uitgebreid wordt toegelicht. In hoofdstuk 5 tenslotte wordt op basis van de verkregen inzichten een doorkijk gegeven naar maatregelen.

Hoofdstuk 2 Monitoring grond- en oppervlaktewater

2.1 Monitoring neerslag afvoer

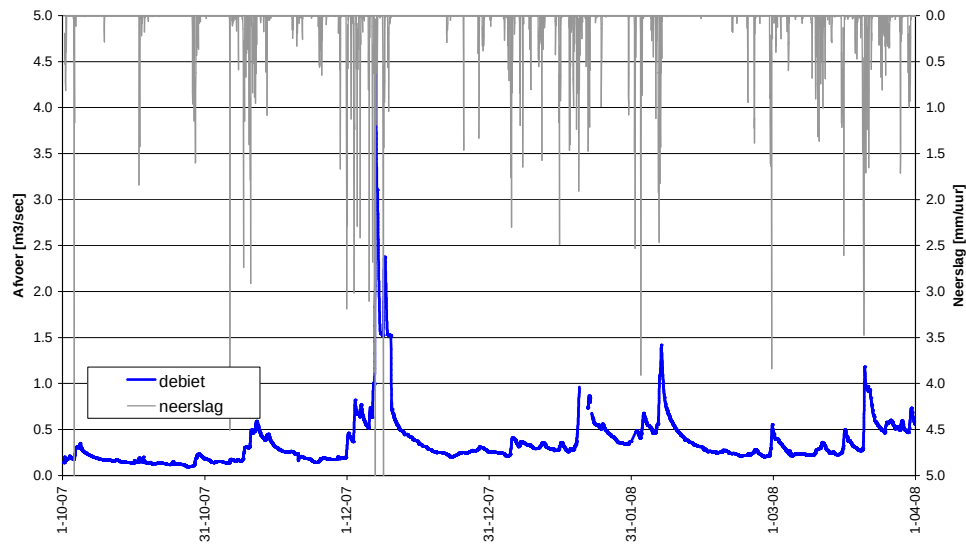
Bij stuw Hoefkens wordt de afvoer continu gemeten met een akoestische debietmeter (ADCP Acoustic Doppler Current Profiler). De gemeten afvoer is representatief voor het overgrote deel van het stroomgebied van de Hooge Raam (zie figuur 2.1). Het watersysteem van de Hooge raam bestaat uit twee beken, de Hooge Raam en de Halsche beek elk met een aantal zijlopen. Het centrale deel van het stroomgebied watert af op de Graspeelloop die overgaat in de Hooge Raam en vervolgens uitmondt in de Graafsche Raam. Het noordelijk deel watert af op de Rusvensche Loop.

Figuur 2.1: Stroomgebied Hooge Raam



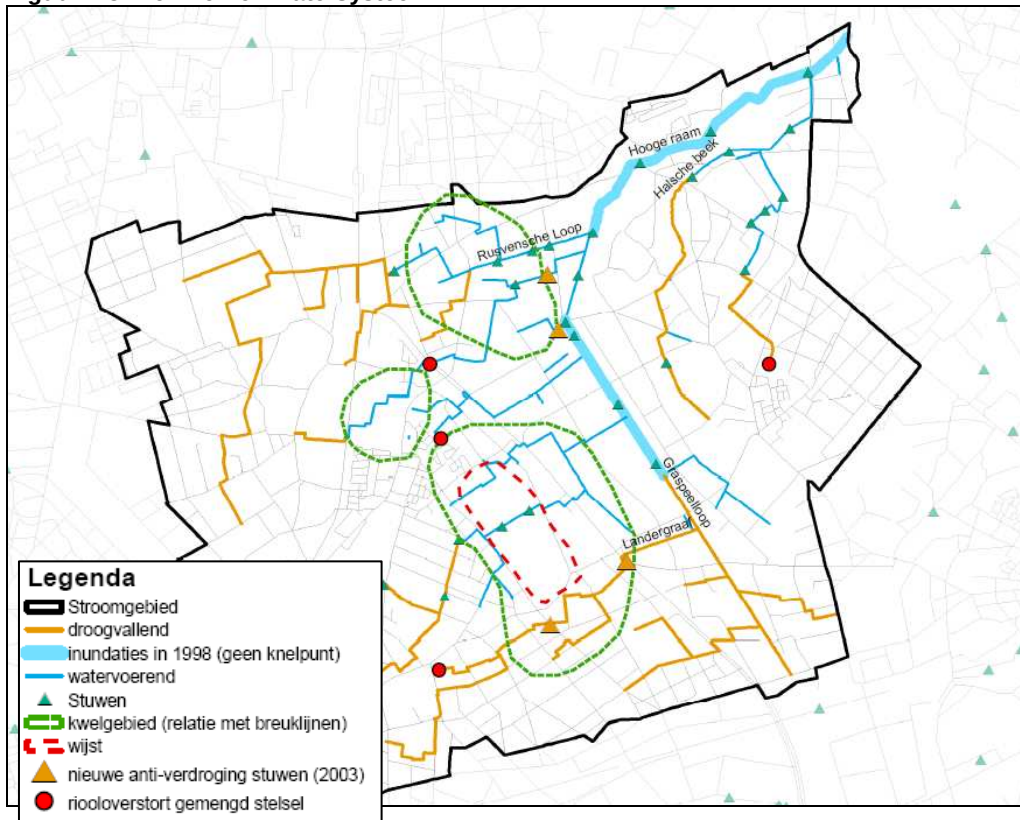
Het verloop van de neerslag voor het stroomgebied is bepaald aan de hand van radarbeelden. Deze gegevens zijn bewerkt tot uurwaarden. Het verloop van de neerslag is samen met het gemeten debiet bij stuw Hoefkens voor de periode 1 oktober 2007 tot en met 1 april 2008 gepresenteerd in figuur 2.2.

Figuur 2.2: Neerslag- en afvoerverloop stuw Hoefkens



Uit de grafiek blijkt dat de afvoer snel reageert op de neerslag. Daarnaast zijn er grote fluctuaties in het debiet aanwezig. In droge perioden is een debiet van $0,15 \text{ m}^3/\text{sec}$ gebruikelijk terwijl na een stortbui het debiet kan toenemen tot ruim $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ tijdens natte perioden. Dit is mede het gevolg van de trechtervorm van het stroomgebied in tegenstelling tot een langgerekt stroomgebied. Daarnaast is voor de ontginning van het landschap met de aanleg van een groot aantal sloten en greppels de afvoer versneld, met incidentele piekafvoeren en droogval in de overige delen van het jaar tot gevolg. Voor de beheersing van het waterpeil is daarom een groot aantal stuwen geplaatst.

Figuur 2.3: Kenmerken watersysteem



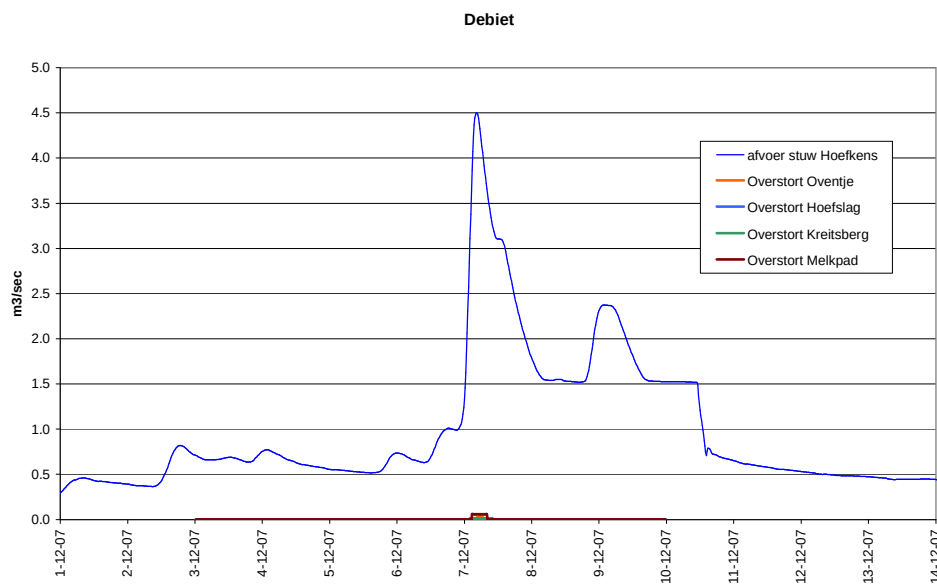
2.2 Monitoring overstorten

In tijden van hevige of langdurige regenval vult het rioolstelsel zich met het gevallen regenwater. Als het rioolgemaal de hoeveelheid gevallen regen niet kan verwerken, moet het water op een andere manier afgevoerd worden om wateroverlast (water op straat) te voorkomen. Via een overstortput wordt het overtollige water dan op het oppervlaktewater geloosd. Dit komt een aantal keren per jaar voor.

Ongeveer 98% van het overstortwater is regenwater. Daarnaast is overstortwater (van een gemengd rioolstelsel) verontreinigd met zware metalen als lood, zink en koper als gevolg van bouwmaterialen (dakgoten, regenpijpen etc) en het wegverkeer. Daarnaast kunnen zand, klei en organische resten van planten en bomen aangetroffen worden. Menselijke en dierlijke uitwerpselen kunnen ook een bron van vervuiling zijn evenals strooizout en bestrijdingsmiddelen kunnen via een regenwaterriool afstromen naar open water.

Er zijn overstorten in het gebied te weten Kreitsberg, Melkpad, Hoefslag en Oventje (zie figuur 2.1). Met de registraties van de overstorten is een inschatting gemaakt van de bijdrage van overstortwater aan de totale afvoer. Hiervoor is de bijdrage van de overstorten tijdens de hoogwatergolf van 7 december 2007 berekend aan de hand van de tijdsduur en het gemeten volume. In figuur 2.4 is de afvoer via de overstorten en de totale afvoer weergegeven.

Figuur 2.4: Afvoer via overstorten in relatie tot totale afvoer



Bovenstaande grafiek illustreert dat de overstorten in het dorp Zeeland een geringe bijdrage hebben aan de totale afvoer. Het volume overstortwater bij het Melkpad was 1170 m^3 gedurende 5,5 uur en dit komt overeen met een afvoer van ca $0,05 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Omdat ongeveer 98% van het overstortwater uit regenwater bestaat wordt daarmee de invloed van de overstorten op de waterkwaliteit en de verontreinigingsvracht van nutriënten en overige stoffen als zeer gering verondersteld.

2.3 Monitoring oppervlaktewaterkwaliteit

Voor de periode van 1 oktober 2007 tot 1 april 2008 (6 maanden) is de waterkwaliteit gemeten met behulp van een automatische monsternamekast. De monsternamekast is gehuurd van de firma AVM / Efcon (zie figuur 2.5).

Figuur 2.5: Monsternamekast gemonteerd op de stuw



In de kast zit een carrousel met 24 flesjes van 1 liter. Deze flesjes worden tijdsproportioneel gevuld: twee flesjes per dag / 12 dagen per carrousel. Het voornemen was om in totaal over de periode van 6 maanden 12 carrousel's aan monsters te verzamelen: 288 monsters.

Figuur 2.6: Carrousel met 24 flesjes van 1 liter

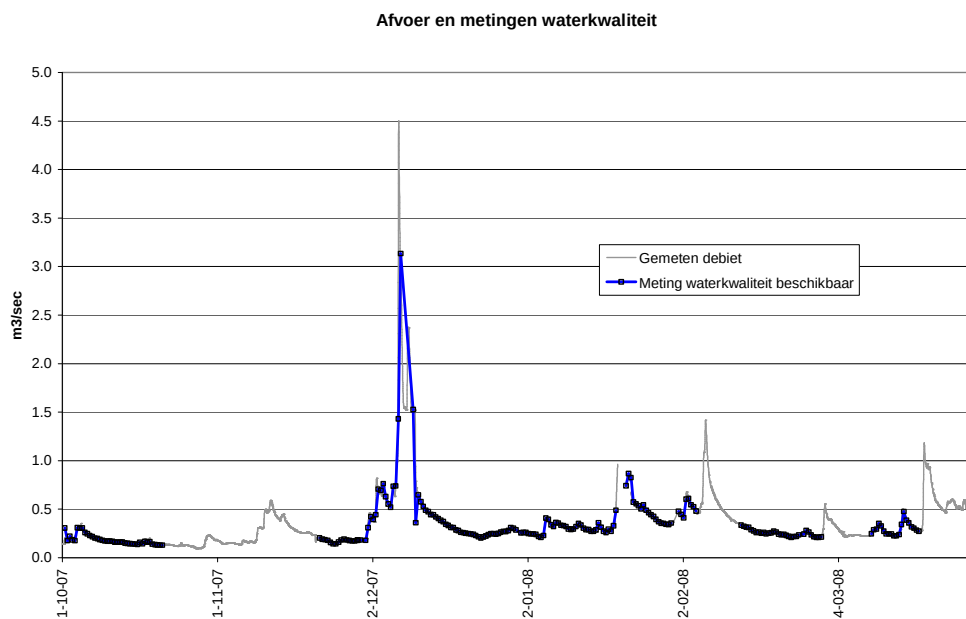


De monsters zijn door het GWL geanalyseerd op de volgende componenten (monsterhoeveelheid 1 liter):

- Algemeen: geleidbaarheid, pH, zwevende stof, Fe (totaal), HCO_3^- , SO_4^{2-}
- Metalen: Al, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn (totaal concentraties)
- Nutriënten: totaal PO_4 , NO_3^- , NO_2^- , N-Kj, N-totaal

In totaal zijn 242 monsters geanalyseerd. Hiervan zijn er 7 monsters waarbij geen debietmeting beschikbaar is en daardoor zijn uiteindelijk 235 monsters beschikbaar voor de analyse. In figuur 2.7 zijn de waterkwaliteitsmetingen uitgezet tegen de gemeten afvoer.

Figuur 2.7: Metingen waterkwaliteit en gemeten afvoer

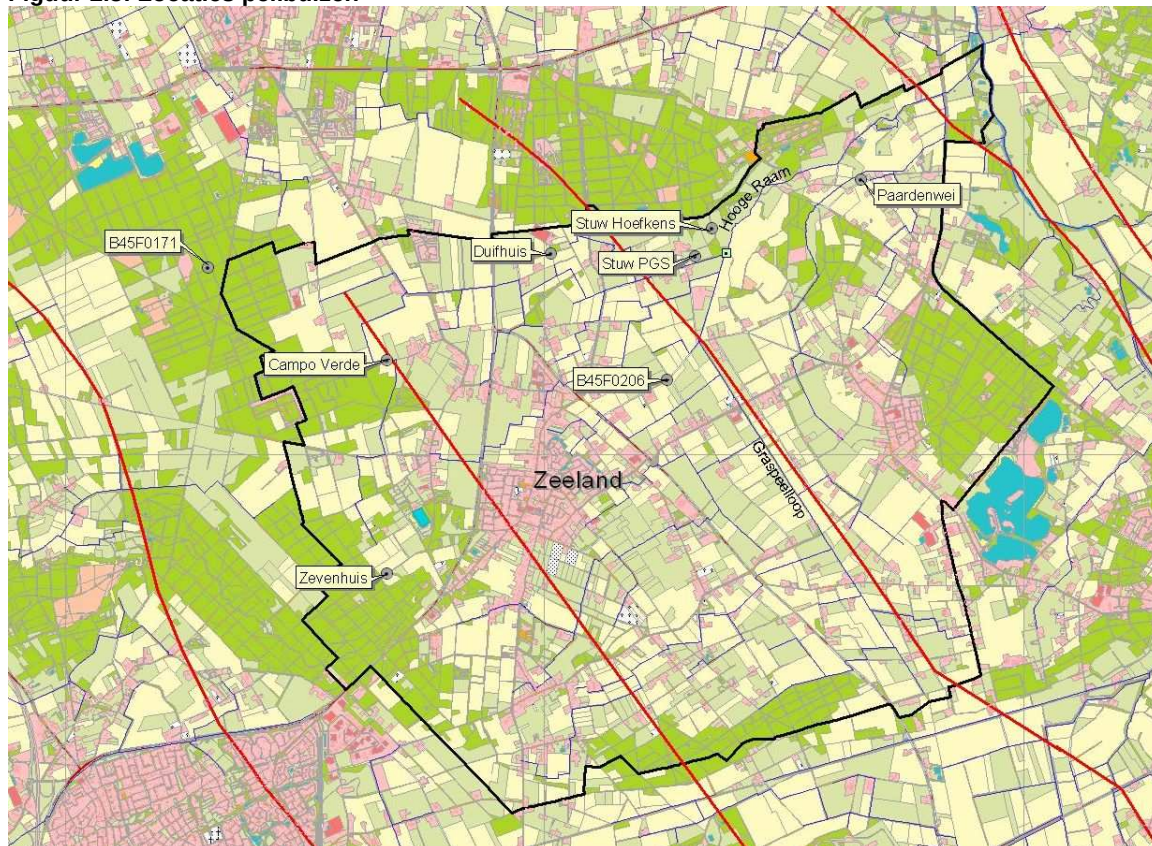


Door de wijze van monsternamen is niet voldaan aan de conserverings- en monsternamerichtlijnen. Zo worden de monsters in de carousel circa 10 dagen gekoeld (4 gr C) bewaard. Om het effect hiervan in te schatten is er een vergelijking gemaakt met een referentiemonster dat wel volgens de juiste richtlijnen behandeld is (identiek analysepakket). Hieruit is gebleken dat er een beperkt verloop (afname) zit in de parameters nitraat (<20%) en de pH (< 1 eenheid). Aangezien het bij dit onderzoek niet zozeer gaat over de absolute waarde (bijvoorbeeld ten behoeve van een normvergelijking) zijn de monsters hier niet voor gecorrigeerd.

2.4 Monitoring grondwaterkwaliteit

Voor een aantal locaties in het gebied is de grondwaterkwaliteit geanalyseerd. De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven in figuur 2.8.

Figuur 2.8: Locaties peilbuizen



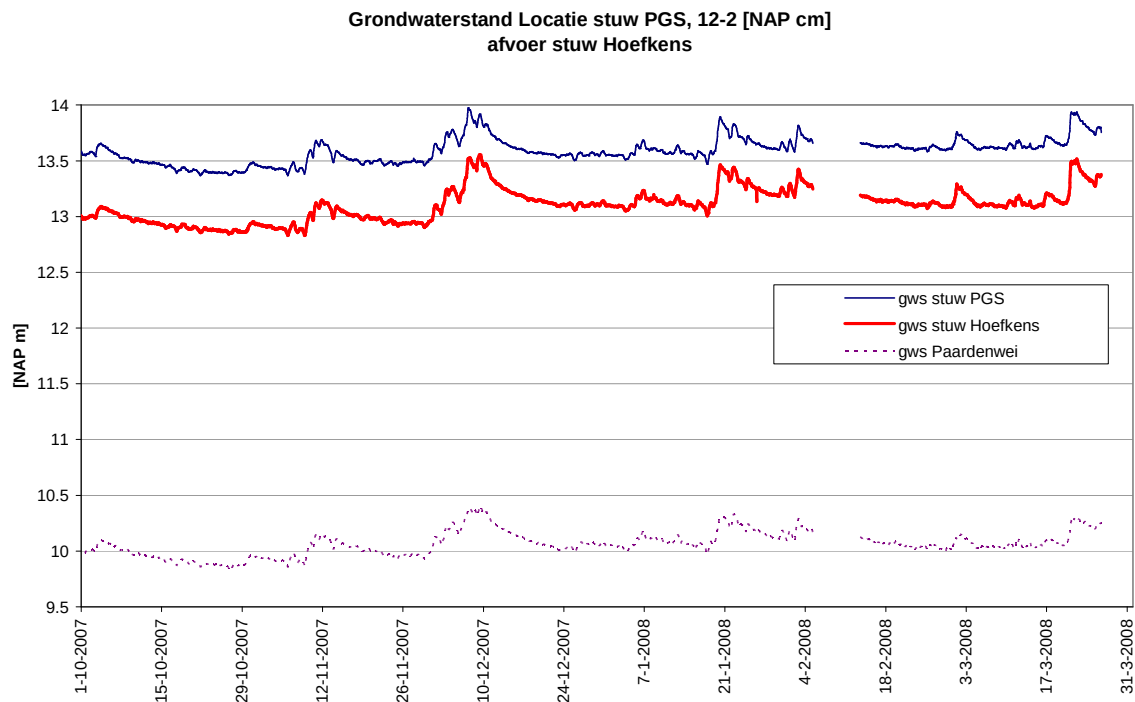
Het betreft in totaal 8 peilbuizen. Bij zes peilbuizen (Beleidsmeetnet verdroging Provincie Noord-Brabant) is de filterstelling ondiep (circa 2 - 3 m-mv) en de gemeten waterkwaliteit bij peilbuizen is representatief voor het freatisch grondwater.

- Locatie Paardenwei: grasland
- Locatie stuw Hoefkens: grasland
- Locatie stuw PGS: grasland
- Locatie Duifhuis: Bouwland / divers
- Locatie Campo Verde: Bouwland
- Locatie Zevenhuis: Grasland

2.5 Monitoring grondwaterstanden

Voor een aantal peilbuizen waar de kwaliteit van het grondwater is geanalyseerd zijn tevens de grondwaterstanden opgenomen. Voor drie peilbuizen locatie Stuw Hoefkens, locatie stuw PGS en locatie Paardewei zijn de gemeten grondwaterstanden opgenomen in figuur 2.9.

Figuur 2.9: Grondwaterstanden



Hoofdstuk 3 Analyse van het afvoerverloop

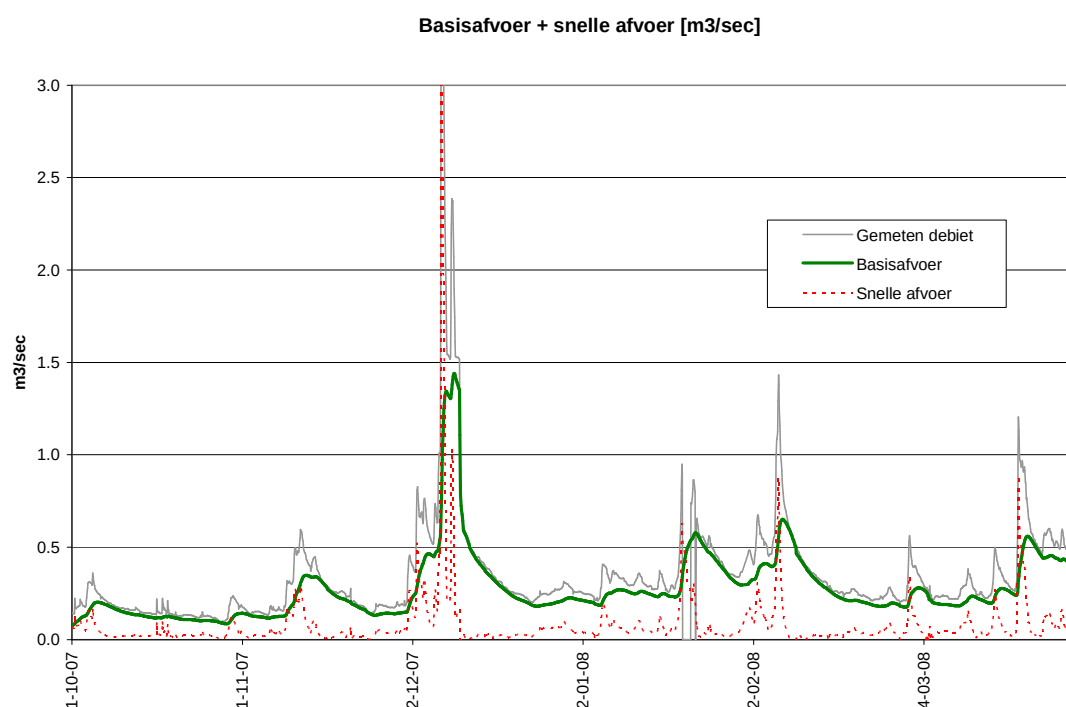
3.1 Afvoerverloop

Het verloop van de afvoer geeft voor een gebied een sterk inzicht in de hydrologische karakteristieken van het gebied. Gebieden met veel sloten/watergangen (hoge drainageintensiteit) reageren snel. Dat wil zeggen na perioden met (veel) neerslag nemen zowel grondwaterstanden als afvoeren snel toe/af. Traag reagerende systemen (zoals de Veluwe) reageren veel minder op neerslagperioden en is de afvoer in de beken nagenoeg constant.

Voor het scheiden van het afvoerverloop in een basisafvoer* en snelle afvoer is gebruik gemaakt van een digitale filter-methode (Parker, G. (2006) "Automated Baseflow Separation for Canadian Datasets (ABSCAN), www.thinknew.ca). Deze filter-methoden (zoals bijvoorbeeld gebruikt voor stemherkenning) splitsen het signaal in perioden met hoge frequentie (runoff) en lage frequentie (basisafvoer). Meer specifiek is hierbij gebruik gemaakt van het Eckhardt Filter (Eckhardt K (2005) How to construct recursive digital filters for baseflow separation. Hydrological Processes 19, 507-515).

Het resultaat van het scheiden van het afvoerverloop bij Hooge Raam is weergegeven in figuur 3.1:

Figuur 3.1: Afvoerverloop, basisafvoer en snelle afvoer

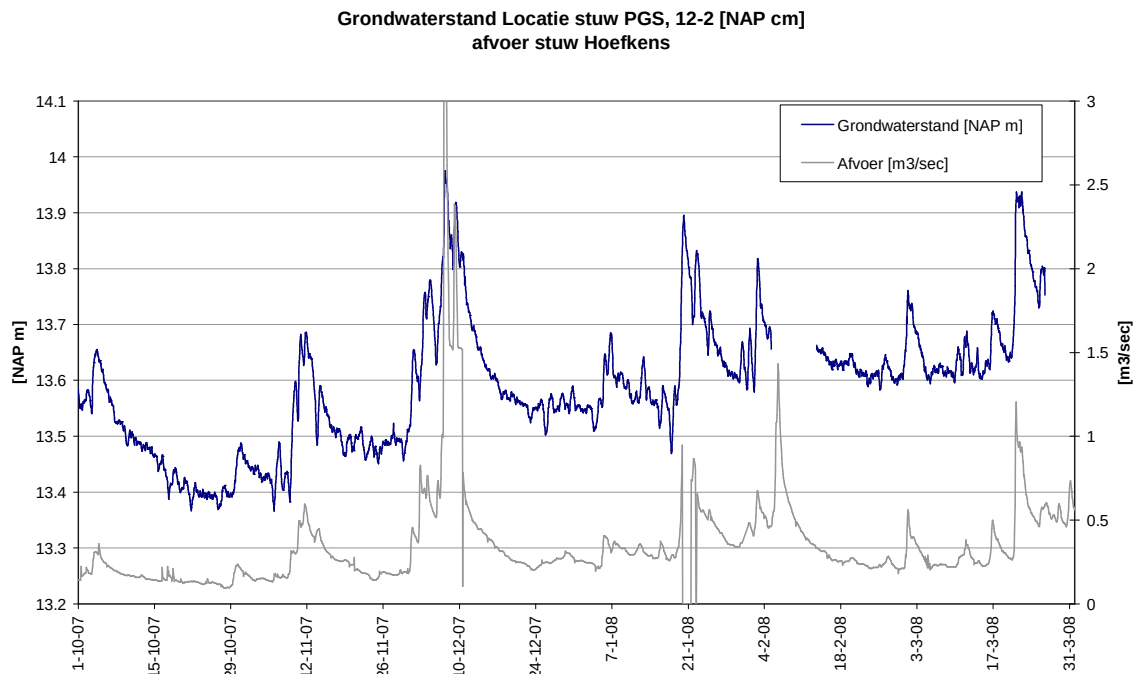


*: basisafvoer, ook wel trage afvoer genoemd, is dat deel van de afvoer dat na berging pas na verloop van tijd tot stand komt terwijl de snelle afvoer vrijwel direct plaats vindt.

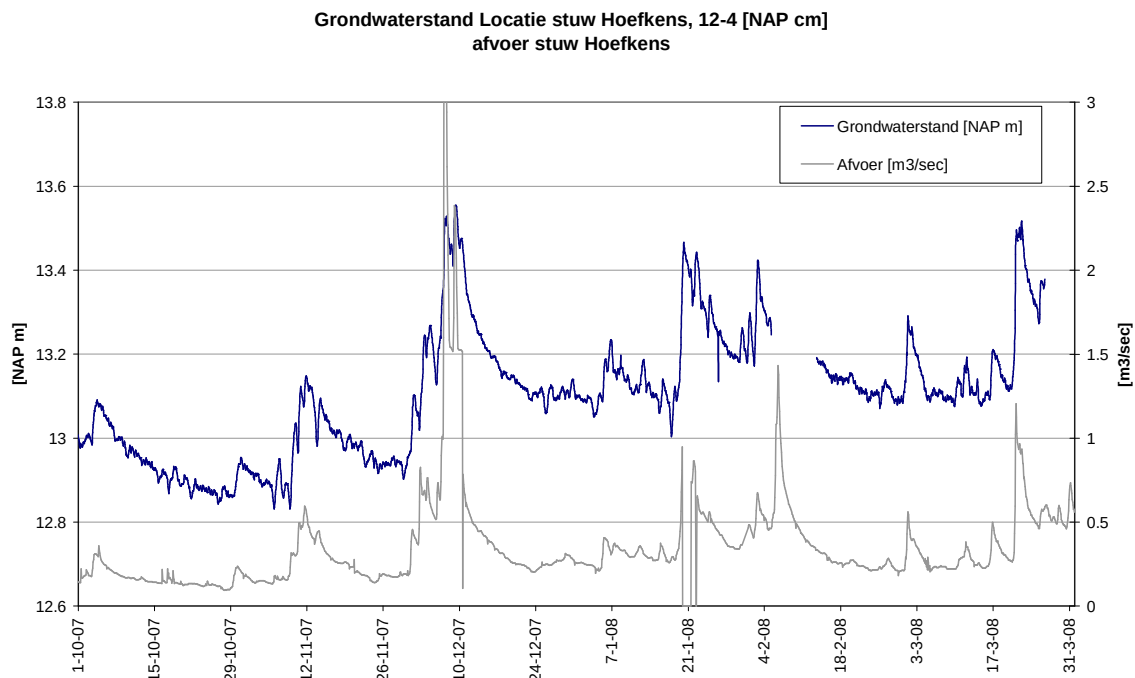
3.2 Afvoerverloop en grondwaterstanden

De gemeten freatische grondwaterstanden bij stuw PGS en stuw Hoefkens zijn samen met het afvoerverloop uitgezet in figuur 3.2 en 3.3. Uit de grafieken blijkt een zeer sterke relatie tussen de afvoer en het niveau van de grondwaterstand.

Figuur 3.2: Grondwaterstand locatie stuw PGS (12-2)

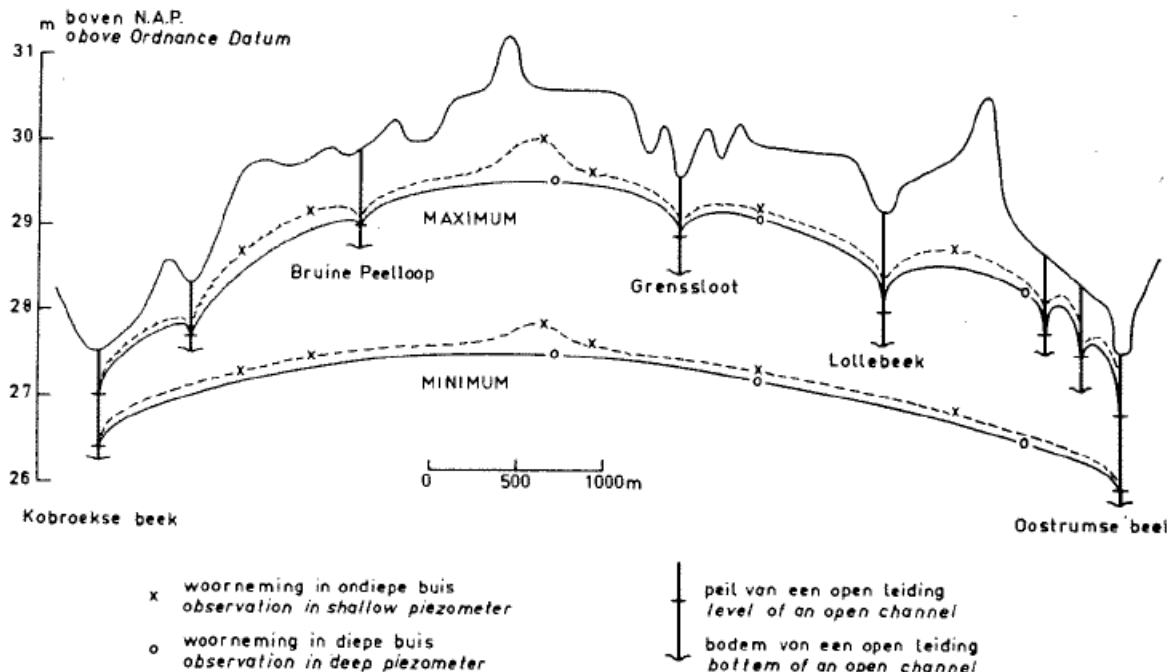


Figuur 3.3: Grondwaterstand locatie stuw Hoefkens (12-4)



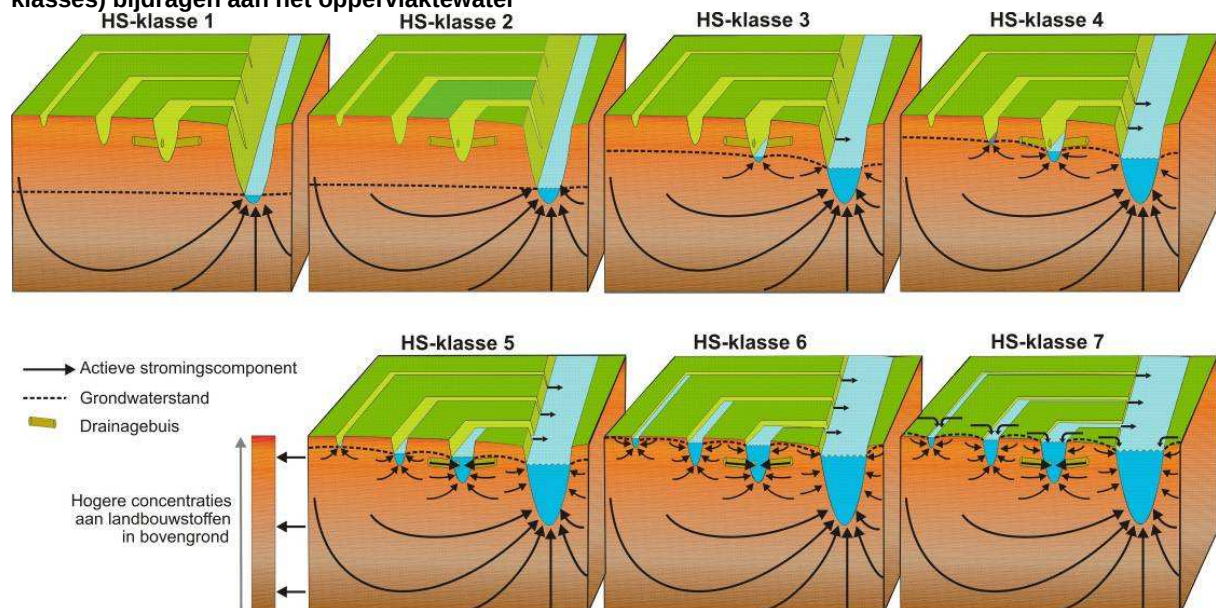
In droge perioden bij dalende grondwaterstanden vallen sloten steeds meer droog en beperkt de afvoer zich tot het primaire afwateringsysteem (dalend verloop van de afvoer). In nattere perioden is de grondwaterstand veel hoger en doen ook de kleinere waterlopen en sloten en greppels mee aan de afvoer en is er een snelle reactie van de afvoer op de neerslag (zie ter illustratie figuur 3.4).

Figuur 3.4: Relatie grondwaterstand en de werking van het drainagesysteem (Ernst, 1962)



In de quick-scan van de bijdrage van grondwater aan de oppervlaktewaterkwaliteit (Rozemeijer et.al., TNO-rapport 2008-U-R0406/A, 9 november 2007) is de relatie tussen grond- en oppervlaktewater gevisualiseerd met HS-klassen (zie figuur 3.5).

Figuur 3.5: grondwaterstromingscomponenten die onder verschillende afvoeromstandigheden (HS-klassen) bijdragen aan het oppervlaktewater



Hoofdstuk 4 Invloed grondwater op oppervlaktewater

4.1 Grondwaterkwaliteit Hooge Raam

Op 26 maart 2008 zijn de 6 freatische peilbuizen bemonsterd. Per peilbuis is het landgebruik aangegeven en op basis van het kwel- infiltratiepatroon (Watersystemen in beeld, TNO-rapport, NITG00-10-A, november 2000) is een inschatting gemaakt van de hydrologische situatie (infiltratie / intermediair / kwel). De analysesresultaten zijn opgenomen in tabel 4.1.

Tabel 4.1: Analysesresultaten grondwaterkwaliteit 6 freatische peilbuizen

	Duihuis	Stuw PGS	Stuw Hoefkens	Paardenwei	Campo Verde	Zevenhuis
Landgebruik	bouwland	grasland	grasland	grasland	bouwland	grasland
Hydrologie	intermediair	kwel	kwel	intermediair	infiltratie	infiltratie
Filter [m-mv]	3.92	2.9	3	3	1.14	3.45
x-coördinaat	175080	176579	176756	178312	173364	173368
y-coördinaat	414600	414565	414866	415369	413485	411258
datum	26-mrt-08	26-mrt-08	26-mrt-08	26-mrt-08	26-mrt-08	26-mrt-08
grondwaterstand [m-mv]	0.69	0.46	0.32	0.43	0.74	0.87
EGV-lab [μ S/cm]	448	782	704	449	581	286
pH	5.1	6.5	6.4	6.4	5.4	5.1
Fe2+ [mg/l]	4.7	0.064	< 0,05	< 0,05	0.34	0.056
Mn2+ [mg/l]	-	-	-	-	-	-
Ca2+ [mg/l]	-	-	-	-	-	-
Mg2+ [mg/l]	-	-	-	-	-	-
Hardheid [mmol/l]	-	-	-	-	-	-
Na+ [mg/l]	-	-	-	-	-	-
K+ [mg/l]	-	-	-	-	-	-
T-PO4 [mg P/l]	0.36	< 0,04	0.048	< 0,04	0.26	0.12
N-Kj [mg N/l]	10	2.5	2.2	0.48	5.7	1.7
Cl- [mg/l]	-	-	-	-	-	-
HCO3- [mg/l]	26	340	270	63	8.6	7.4
NO3- [mg N/l]	0.06	0.49	21	12	34	18
NO2- [mg N/l]	< 0,01	0.011	0.058	0.035	< 0,01	< 0,01
N-Tot [mg N/l]	10.06	3	23.2	12.48	39.7	19.7
SO4-- [mg/l]	110	89	38	74	82	24
Al [μ g/l]	510	< 50	< 50	< 50	1700	730
Cd [μ g/l]	< 0,1	< 0,1	0.24	< 0,1	0.63	0.49
Cr [μ g/l]	2.7	1.7	2.6	< 0,5	2.4	3.7
Cu [μ g/l]	< 1	5.4	22	< 1	12	59
Ni [μ g/l]	12	5.9	53	4.6	4.8	4.7
Pb [μ g/l]	< 1,5	< 1,5	2.2	< 1,5	1.7	8.2
Zn [μ g/l]	12	< 3	36	< 3	160	120

Uit bovenstaand overzicht blijkt dat de kwaliteit van het bovenste grondwater bij alle meetpunten een relatief groot gehalte heeft aan opgeloste stoffen (EGV minimaal 286 μ S/cm). De EGV van regenwater ligt rond de 20 μ S/cm (Landelijk meetnet regenwatersamenstelling, meetresultaten 2000, station Vredepeel, RIVM). Dit is ofwel een gevolg van de hoge belasting aan maaiveld of het is water met een grotere ouderdom (kwelwater).

Bij de locaties stuw PGS en stuw Hoefkens is het water sterk verrijkt met bicarbonaat en dit is een indicatie voor het feit dat het water al geruime tijd onderweg is en in contact heeft gestaan met kalkrijke sedimenten. Naast het oplossen van kalk kunnen reductieprocessen in de ondergrond (denitrificatie onder invloed van organisch materiaal) ook een belangrijke bron zijn van bicarbonaat. Opvallend is dat het grondwater bij stuw Hoefkens naast het hoge bicarbonaatgehalte tevens nitraatrijk is en sterk belast met verontreinigende stoffen vanuit de

landbouw (sterk verhoogde gehalten nitraat en zware metalen zoals koper, nikkel en zink, zie kader). Mogelijk is hier het infiltrerende nitraatrijke water vermengd met het oude gereduceerde nitraatloze water grondwater. Bij stuw PGS is kwaliteit van het grondwater veel minder belast.

Kader: Zware metalen in het grondwater (Peelhorst)

Zware metalen (koper, cadmium, nikkel, zink) komen onder meer in het grondwater doordat in de landbouwgebieden in Nederland accumulatie van zware metalen in de bodem plaats vindt. Dit komt doordat de aanvoer van zware metalen via kunstmest en dierlijke mest groter is dan de afvoer. Daarnaast komen vooral in Zuidoost-Nederland verhoogde gehalte cadmium en zink voor als gevolg van de historische belasting vanuit de zinkverwerkende industrieën.

Op de Peelhorst worden vaak sterk verhoogde gehalten zware metalen zoals nikkel en zink aangetoond waarbij de herkomst niet alleen verklaard kan worden vanuit de externe belasting. De mobilisatie van zware metalen uit het sediment blijkt hierbij van groot belang te zijn. Naast het feit dat het grondwater op de Peelhorst van nature zuurder is (met hogere concentraties zware metalen) omdat het een regionaal infiltratiegebied is speelt pyrietoxidatie een belangrijke rol. Geochemisch onderzoek bij drinkwaterwinning Oostrum (Zware metalen in het grondwater: pyrietoxidatie en desorptie (1), Helvoort et. al., H₂O, jrg. 2000, nr 24) heeft aangetoond dat pyriet geoxideerd door nitraathoudend (landbouw)water een belangrijke factor is. Hierdoor verdwijnt het nitraat, maar komen de in pyriet ingebouwde metalen als zink, nikkel en arseen vrij. Daarnaast is gebleken dat desorptie door kationomwisseling (naast pyrietoxidatie) ook een belangrijke bron is. Het optreden van desorptie wordt aangezet door de indringing van nitraathoudend landbouwwater. Enerzijds omdat door de verzuring (als gevolg van pyrietoxidatie) zware metalen van het adsorptiecomplex worden verdrongen door H⁺-ionen en anderzijds doordat hoge concentraties van calcium en kalium in het infiltrerende landbouwwater de zware metalen verdringen.

De kwaliteit van het grondwater bij Campo Verde en Zevenhuis is karakteristiek voor recent geïnfiltrerd water dat sterk belast is door landbouwactiviteiten. Het water is daarbij verzuurd wat blijkt uit verhoogde gehalten aluminium. Regenwater is vrij zuur (pH ~ 5) maar de bodem wordt ook indirect belast met sterke zuren als salpeterzuur en zwavelzuur als gevolg van de atmosferische depositie en de toevoer van mest. Door het oplossen van kalk (van nature aanwezig of door de landbouw aangevoerd) worden deze zuren geneutraliseerd. Wanneer er geen kalk meer aanwezig is kunnen aluminiumhydroxiden worden aangesproken voor buffering. Bij dit proces komt aluminium vrij. Verhoogde gehalten aluminium in het grondwater zijn dan ook altijd een indicatie voor verzuring. Naast verhoogde gehalten aluminium is het water rijk aan nitraat en zijn er licht verhoogde gehalten zware metalen zoals zink en koper.

Het bovenste grondwater bij locatie Duifhuis is anaëroob van karakter (ijzerrijk) maar heeft geen verhoogde gehalten nitraat. Daarentegen is wel het fosfaatgehalte verhoogd. Aansluitend is het sulfaatgehalte sterk verhoogd en heeft het water een lage pH (en verhoogd aluminium). Vermoedelijk is dit water karakteristiek voor sterk belast landbouwwater waarbij nitraat is gedenitrificeerd onder invloed van pyrietoxidatie waarbij sulfaat en H⁺-ionen vrijkomen.

In tabel 4.2 zijn tevens de analyseresultaten van de 2 peilbuizen van Dinoloket (meerdere filters) opgenomen.

Tabel 4.2: Analyseresultaten grondwaterkwaliteit B45F0171 en B45F0206

	B45F0171	B45F0171	B45F0171	B45F0206	B45F0206	B45F0206
Landgebruik	bos	bos	bos	grasland	grasland	grasland
Hydrologie	infiltratie	infiltratie	infiltratie	kwel	kwel	kwel
Filter [m-mv]	10.5	15	22.95	3.5	9	24
x-coördinaat	171500	171500	171500	176284	176284	176284
y-coördinaat	414450	414450	414450	413282	413282	413282
datum	22-mei-02		15-mei-00	4-aug-98	28-nov-01	28-nov-01
grondwaterstand [m-mv]	-2.84		-3.2	-1.05	-1.47	-1.41
EGV-lab [µS/cm]	241		158	792	430	403
pH	4.1		6.2	6.4	7.1	7.3
Fe2+ [mg/l]	0.04		14.2	11.0	5.7	2.7
Mn2+ [mg/l]	0.2		0.26	0.65	-	-
Ca2+ [mg/l]	2.7		9.5	95.0	87.9	78.9
Mg2+ [mg/l]	1.6		3.2	8.0	6.4	6.3
Hardheid [mmol/l]						
Na+ [mg/l]	8.5		8.4	23.0	8.0	13.5
K+ [mg/l]	1.8		1.1	13.0	3.0	3.1
T-PO4 [mg P/l]	<0,062		<0,062	<0,05	<0,2	0.7
NH4+ [mg N/l]	<0,014		0.028	1.1	0.5	0.57
Cl- [mg/l]	13.8		12.8	39.0	15.6	10.2
HCO3- [mg/l]	-		27.1	158.6	274.0	298.0
NO3- [mg N/l]	10.2		1.2	<0,02	<0,11	<0,11
NO2- [mg N/l]						
N-Tot [mg N/l]						
SO4-- [mg/l]	53.0		41.0	150	22.2	<0,5
Al [µg/l]	14407		<53,960	43	<50,00	<50,00
Cd [µg/l]	1.1		<0,020	0.1	<0,1	<0,1
Cr [µg/l]	<1,040		<1,040	<1,00	0.9	0.9
Cu [µg/l]	10.1		<1,271	<2,00	3.5	2.9
Ni [µg/l]	30.4		<1,174	3	0.7	0.7
Pb [µg/l]	-		-	<5,00	0.7	0.6
Zn [µg/l]	189.6		<13,078	8	7.3	6.1

Het bovenste grondwater bij peilbuis B45F0206 is eveneens kenmerkend voor sterk belast landbouwwater en het optreden van pyrietoxidatie. Hier bevat de ondergrond echter nog kalk voor de buffering van de sterke zuren. Het sterk verhoogde chloride en kalium gehalte indiceren de landbouwbelasting en het sulfaatgehalte is zodanig verhoogd dat alleen pyrietoxidatie hieraan ten grondslag kan liggen. Omdat de pH als gevolg van de kalkbuffering hoog blijft zijn de zware metalen gehalten niet sterk verhoogd. De kwaliteit van het grondwater op grotere diepten (zelfde locatie) is water dat geen /zeer geringe sporen van menselijke beïnvloeding laat zien (geïnfiltreerd voordat de belasting van de landbouwgronden plaatsvond). Het chloride gehalte ligt rond de 10 – 15 mg/l (kenmerkend voor onbelast grondwater), de pH is neutraal en er zijn geen verhoogde gehalten nitraat/ sulfaat of zware metalen. Het verhoogd gehalte fosfaat is een gevolg van de natuurlijke mineralisatie van organisch materiaal.

De kwaliteit van het grondwater bij peilbuis B45F0171 is typerend voor water geïnfiltreerd in bosgebied in combinatie met een sterk uitgeloogde ondergrond. Het water op 10 m-mv is sterk verzuurd (pH rond de 4 en aluminium zeer hoog).

De resultaten van de metingen van de grondwaterkwaliteit in het stroomgebied zijn in grote lijnen in overeenstemming met de resultaten van het provinciale meetnet grondwaterkwaliteit voor de Peelhorst. Een gebiedsdekkend beeld van de grondwaterkwaliteit voor verschillende diepteniveaus is vervaardigd in het kader van het Stromon project (Rozemeijer et.al., TNO-rapport 2008-U-R0406/A, 9 november 2007).

Een samenvattend overzicht van de grondwaterkwaliteit voor meerdere diepteniveaus op basis van de metingen in het stroomgebied van de Hooge Raam en de algemene inzichten van de grondwaterkwaliteit op de Peelhorst is opgenomen in tabel 4.3.

Tabel 4.3: Samenvattend overzicht grondwaterkwaliteit stroomgebied Hooge Raam

	Typering waterkwaliteit	
Bovenste grondwater (landbouwgrond)	Zeer sterk belast en verzuurd water met verhoogde gehalten nitraat (10 – 40 mg N/l), chloride (40 mg/l), lage pH, verhoogde gehalten aluminium en zware metalen als koper, nikkel en zink	
Middeldiep grondwater (5 – 15 m-mv)	Sterk belast water met verhoogde gehalten nitraat, sulfaat, chloride en zware metalen. De aanwezigheid van pyriet en kalk in de ondergrond is bepalend voor de samenstelling van het water op deze diepten. Bij de oxidatie van pyriet (verzurend proces) door nitraathoudend (landbouw)water verdwijnt weliswaar het nitraat, maar komt sulfaat vrij (> 100 mg/l) en mobiliseren de in pyriet ingebouwde metalen als zink, nikkel en arseen. Bij aanwezigheid van kalk blijven de gehalten zware metalen gering.	
Diep grondwater / Regionaal kwelwater	Onbelast tot matig belast water. Veelal rijk aan ijzer (gereduceerd) en bicarbonaat met een chloride gehalte ligt rond de 10 – 15 mg/l (kenmerkend voor regenwater zonder externe belasting). Geen verhoogde gehalten nitraat. Lokaal sterk verhoogde gehalten sulfaat (> 100 mg/l) gerelateerd aan pyrietoxidatie. Licht verhoogde gehalte fosfaat / ammonium als gevolg van de natuurlijke mineralisatie van organisch materiaal.	

4.2 Relatie afvoer en waterkwaliteit

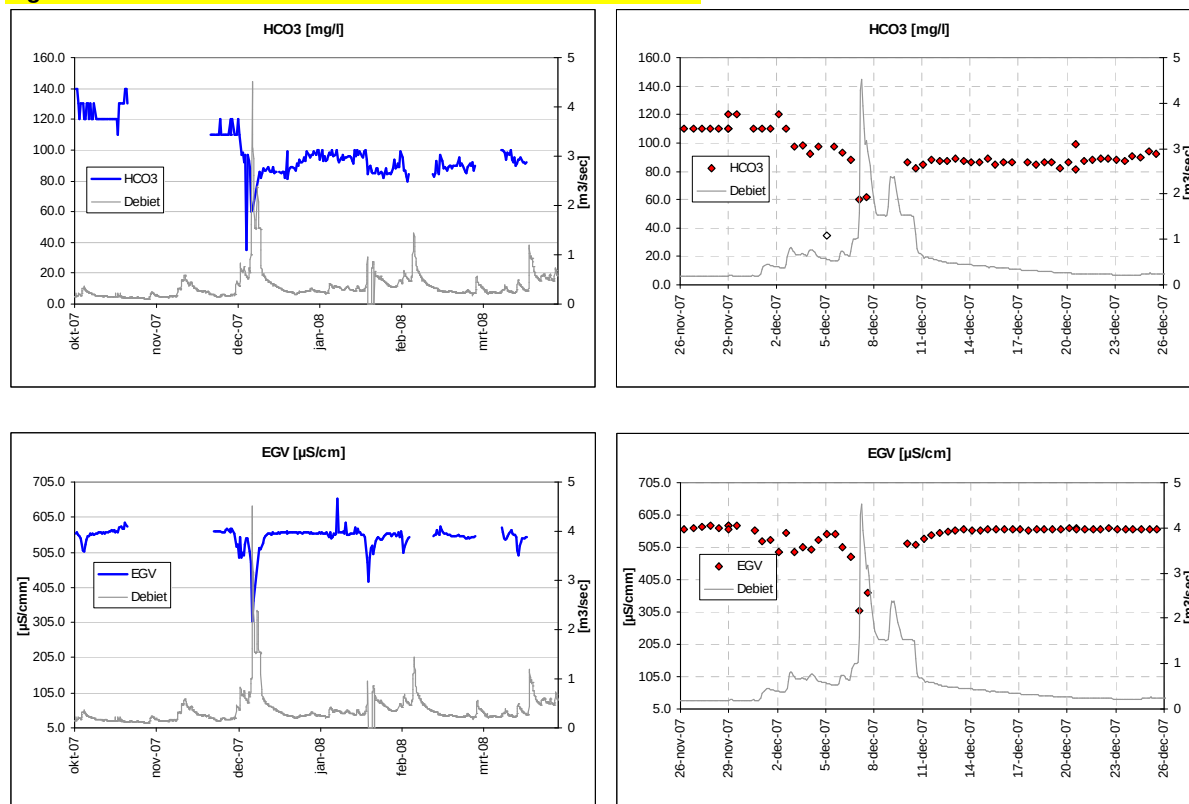
In bijlage 1 zijn de gemeten gehalten voor alle geanalyseerde parameters uitgezet tegen de tijd in combinatie met de gemeten afvoer. In bijlage 2 zijn grafieken opgenomen waarbij is ingezoomd op de hoge afvoerpiek van begin december. Uit de overzichten zijn opvallende patronen en relaties te herkennen. Bepaalde parameters laten een vergelijkbaar patroon zien zoals zwevend stof en sterk adsorberende zware metalen maar ook parameters die de bijdrage van grondwater typeren zoals waterstofcarbonaat, sulfaat en EGV.

EGV, sulfaat, waterstofcarbonaat

De relatie tussen de gemeten afvoer de concentratie bicarbonaat en het EGV is weergegeven in figuur 4.1. Aan de linkerzijde zijn de gegevens over de gehele meetperiode (oktober 2007 – april 2008) weergegeven en aan de rechterzijde is ingezoomd naar de periode rond begin december tijdens een hoge afvoerpiek.

De variatie van bicarbonaat met de afvoer is sterk illustratief voor de bijdrage van grondwater van verschillende diepteniveaus. De concentratie bicarbonaat ligt in het najaar (tijdens lage afvoeren) tussen de 120-140 mg/l terwijl na de hoogwaterpiek begin december het gehalte consequent een stuk lager ligt (rond de 90 mg/l). In het najaar is de grondwaterstand laag en vindt de afvoer plaats in het primaire afwateringstelsel met een grote bijdrage van “diep” grondwater (hoog bicarbonaatgehalte). In het voorjaar staat de grondwaterstand hoger en is de bijdrage van ondiep grondwater (met relatief lage pH en lage bicarbonaatgehalten) aan de afvoer groter (zie figuur 3.5).

Figuur 4.1: Gemeten afvoer EGV en concentratie bicarbonaat



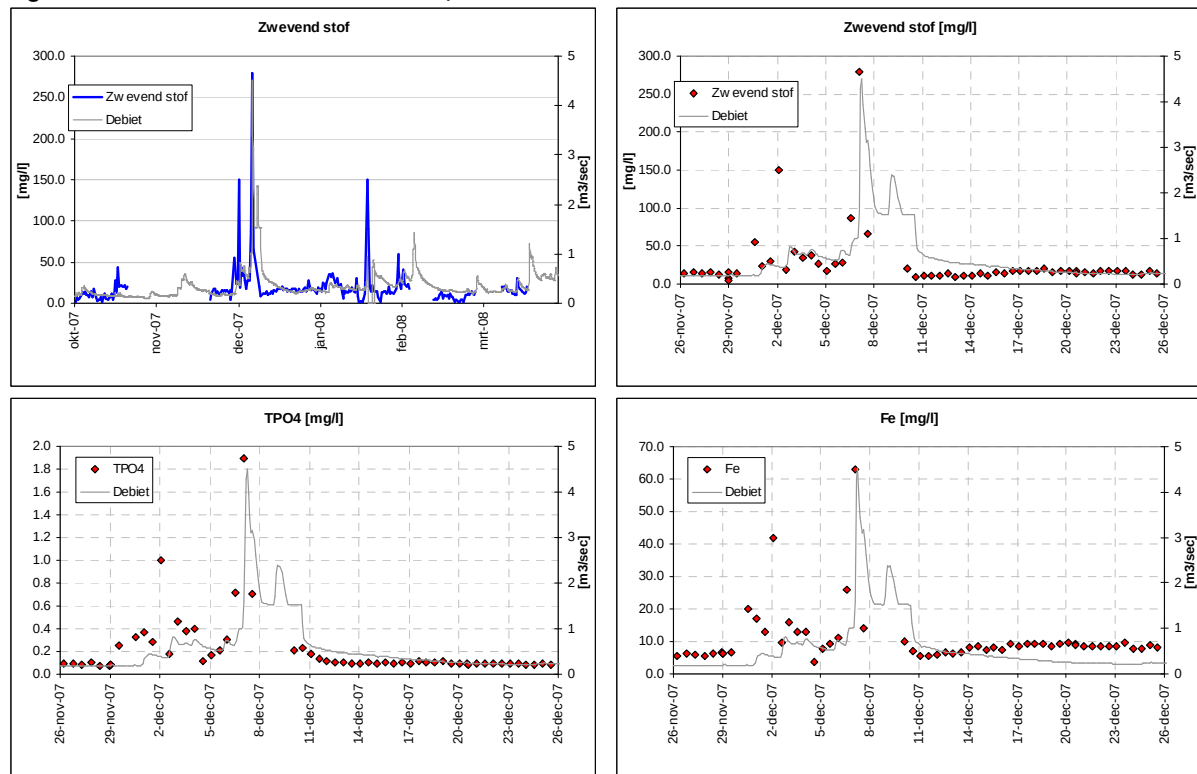
Tijdens piekafvoeren is voor de concentratie bicarbonaat een sterk verdunnend effect te zien. Deze verdunning illustreert dat de bijdrage van oppervlakkige afvoercomponenten (net gevallen regenwater) aan de totale afvoer omvangrijk is tijdens deze natte perioden (rond de

40% op basis van de mate van verdunning). Tijdens kleinere buien is immers geen verdunnend effect te zien en is er geen / geringe oppervlakkige afstroming. Deze waarnemingen zijn in overeenstemming met de metingen die gedaan zijn in het kader van DYNAQUAL waarbij oppervlakkige afstroming tijdens hevige regenbuien goed bleek te zijn voor tot 70% van de totale afvoer (Rozemeijer et al. H2O, nr 19, 2008) Voor zwevend stof, totaal-fosfaat en zware metalen is een tegenovergesteld effect waar te nemen.

Zwevend stof, totaal-fosfaat en zware metalen

De relatie tussen het zwevend stof gehalte, totaal fosfaat, ijzer, lood en de afvoer is weergegeven in figuur 4.2. Uit de figuur blijkt een sterke correlatie tussen het gehalte zwevend stof en de concentraties totaal-fosfaat, ijzer en lood. Vergelijkbare relaties zijn er voor de zware metalen cadmium, chroom en aluminium. Zware metalen adsorberen pH-afhankelijk aan organisch materiaal en fosfaat bindt sterk aan ijzer- en aluminiumoxiden. Omdat zwevend stof bestaat uit sedimentdeeltjes waaronder klei, organisch materiaal en ijzer- en aluminiumoxiden zijn de gemeten totaal-concentraties goed te verklaren.

Figuur 4.2: Concentratie zwevend stof, P-tot en Fe versus afvoer



In de grafieken zijn de verschijnselen van een aantal kenmerkende processen waar te nemen zoals het flushing effect en hysteresis (zie kader).

Zwevend stof (resuspensie, flushing effect en hysteresis)

Zwevend stof is een belangrijke drager van nutriënten, zware metalen en overige verontreinigingen en daarom is inzicht in het gedrag van zwevend stof in de beek belangrijk. De concentraties zwevend stof zijn onder meer afhankelijk van de afvoer (naast landgebruik, samenstelling rivierbedding, oevererosie, aanwezigheid stuwen) maar deze relatie blijkt niet eenduidig:

In droge perioden neemt na verloop van tijd de afvoer (en ook de stromingsnelheid) in de beek af en treedt bezinking van zwevende stof op (sedimentatie). Tijdens deze perioden vindt tevens in het stroomgebied van de beek ophoping plaats van verontreinigende stoffen (droge depositie, bemesting, verkeer). Bij de eerste grote regenbui worden deze opgehoopte stoffen uitgespoeld naar het oppervlaktewater. Dit verschijnsel wordt ook wel “flushing effect” genoemd.

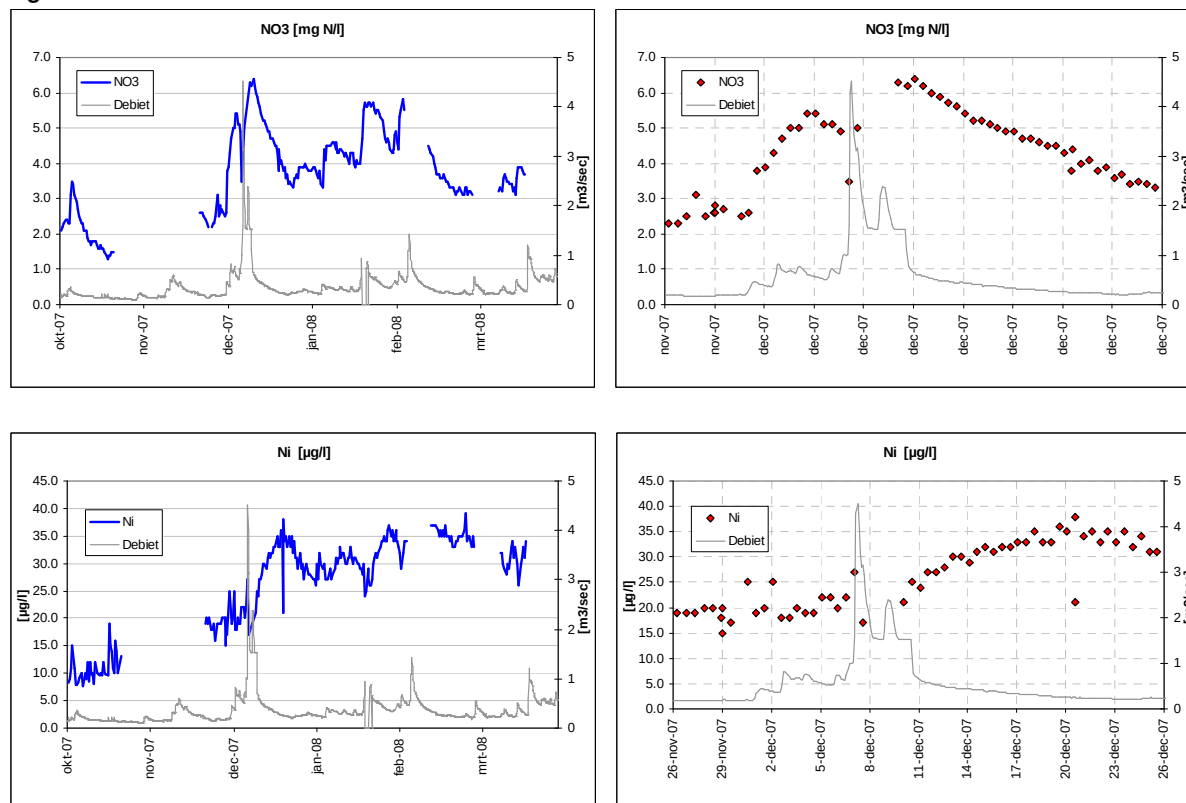
De concentratie zwevend stof is tijdens de toename van de afvoer hoger dan in de dalende fase. Dit verschijnsel wordt hysteresis genoemd (heenweg anders dan de terugweg) en is net als bij flushing een gevolg van uitputting van het systeem.

Tijdens de piekafvoer van 7 december 2007 zijn de concentraties zwevend stof (en de stoffen hieraan gebonden) maximaal over de gemeten periode. Er is niet, zoals bij nitraat of het EGV, een verdunnend effect te zien. De zwevend stofvracht zal naast, de sedimentdeeltjes losgemaakt uit de waterbodem (opwerveling) voor een belangrijk deel bestaan uit stoffen die via het snel afstromende regenwater worden meegevoerd.

Nitraat en nikkel

Het verloop van de concentratie nitraat en nikkel in relatie tot de afvoer is weergegeven in figuur 4.2. Naast de gehele meetperiode (oktober 2007 tot april 2008) is ingezoomd naar de piekafvoer van begin december 2007.

Figuur 4.3: Concentratie nitraat en nikkel versus afvoer

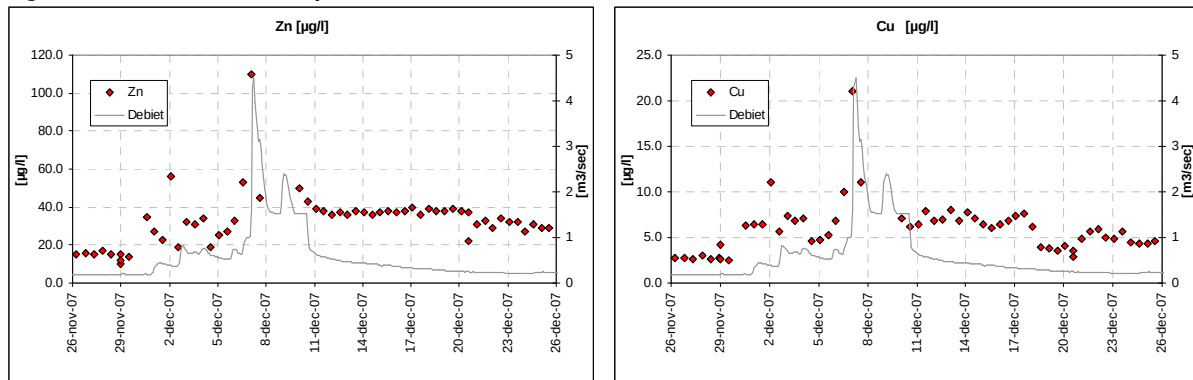


Voor zowel nitraat als nikkel is een kenmerkend verloop waar te nemen met een duidelijke relatie tussen de concentratie en de grootte van de afvoer.

Tijdens droge perioden met lage afvoer wordt het oppervlaktewater voornamelijk gevoed vanuit het diepe, relatief schone grondwater (relatief lage concentraties nitraat en nikkel). Onder natte omstandigheden met hoge afvoeren gaat het ondiepe grondwater, dat het meest verontreinigd is door landbouwactiviteiten, ook bijdragen aan de oppervlaktewaterafvoer. Dit bovenste grondwater komt langs zeer korte stroombanen via kleinere sloten, greppels en drains in de beek terecht. Dit is goed te zien in de snelle toename van de concentratie nitraat in het oppervlaktewater bij de toename van de afvoer (en de hogere grondwaterstanden). Bij nikkel is de piek in de concentratie trager dan bij nitraat. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de mengverhouding van grondwater van verschillende dieptes. Het bovenste (snel reagerende) grondwater bevat hoge concentraties nitraat en verhoogde nikkelconcentraties zitten op iets grotere diepte.

Koper en zink

Figuur 4.2: Concentratie koper en zink versus afvoer



Het verloop van de concentratie nitraat en de zware metalen nikkel, koper en zink in relatie tot de afvoer is weergegeven in figuur 4.3 en 4.4.

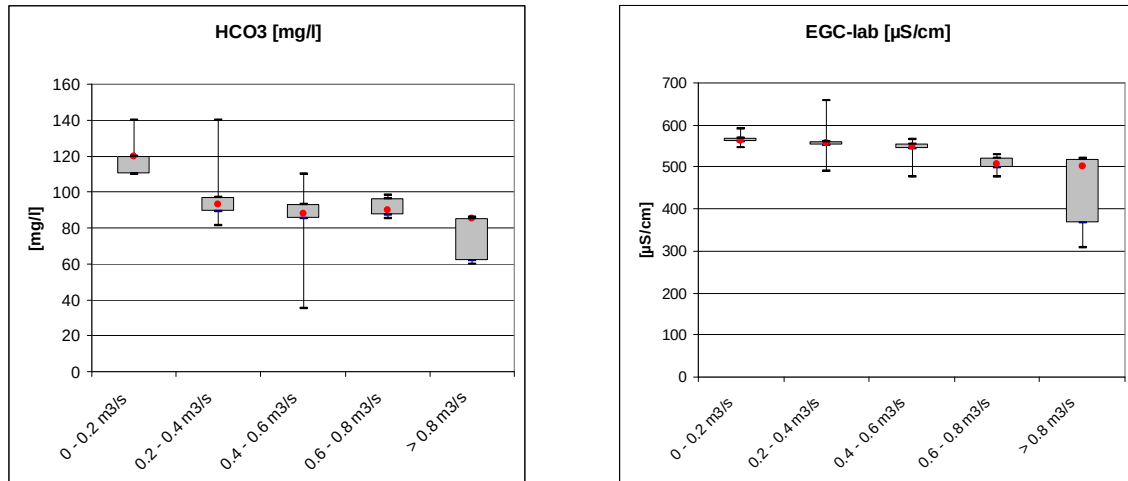
Box-whisker plots concentraties versus afvoer (bijlage 2)

Voor de relatie tussen de gemeten concentraties en de grootte van de afvoer zijn box-whisker plots gemaakt. Hierbij is de volgende indeling in 5 klassen toegepast:

- Klas 1: 0 - 0.2 m³/sec
- Klas 2: 0.2 - 0.4 m³/sec
- Klas 3: 0.4 - 0.6 m³/sec
- Klas 4: 0.6 - 0.8 m³/sec
- Klas 5: > 0.8 m³/sec

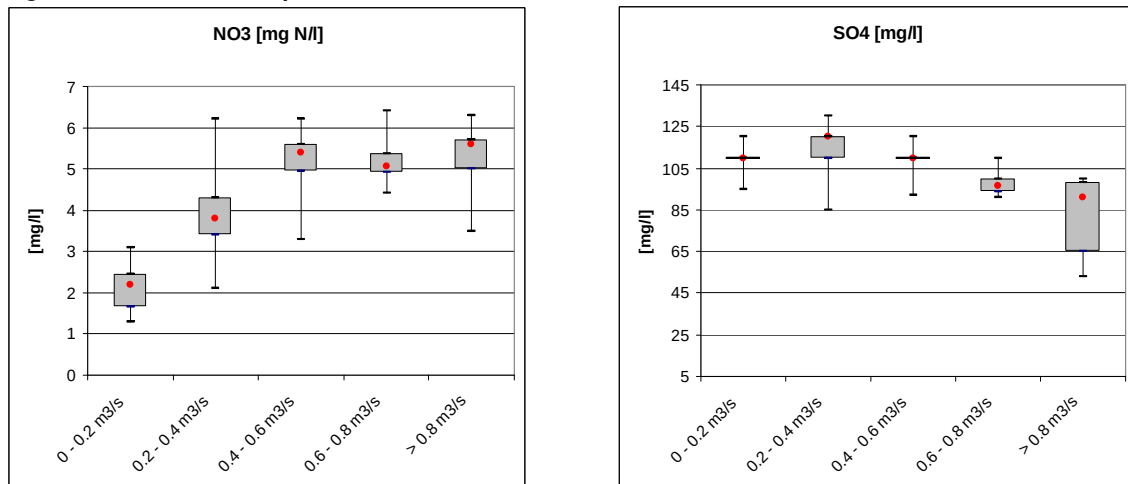
Ter illustratie zijn voor het EGV en het bicarbonaatgehalte de plots weer gegeven (figuur 4.6). Hieruit zijn duidelijke relaties te zien op basis waarvan de bijdrage van diep grondwater en snel afstromend regenwater duidelijker wordt.

Figuur 4.6: Box-whisker plots bicarbonaat en EGV



In figuur 4.7 zijn de box-whisker plots voor nitraat en sulfaat gepresenteerd.

Figuur 4.7: Box-whisker plots nitraat en sulfaat



Voor nitraat is een sterk verband tussen de grootte van de afvoer en het nitraatgehalte. Van belang hierbij is dat vanaf 0,4 m³/sec (wanneer de bijdrage van ondiep grondwater een belangrijke rol in de afvoer speelt) het nitraatgehalte zo rond de 5 mg N/l ligt. De sulfaatconcentraties zijn daarentegen bij de lagere afvoeren het hoogst. Dit illustreert dat het sulfaatgehalte in het diepere grondwater (als gevolg van pyrietyoxidatie) verhoogd is en dat tijdens de piekafvoeren wanneer ook de bijdrage van snel afstromend regenwater en ondiep grondwater een rol gaat spelen het sulfaatgehalte lager wordt.

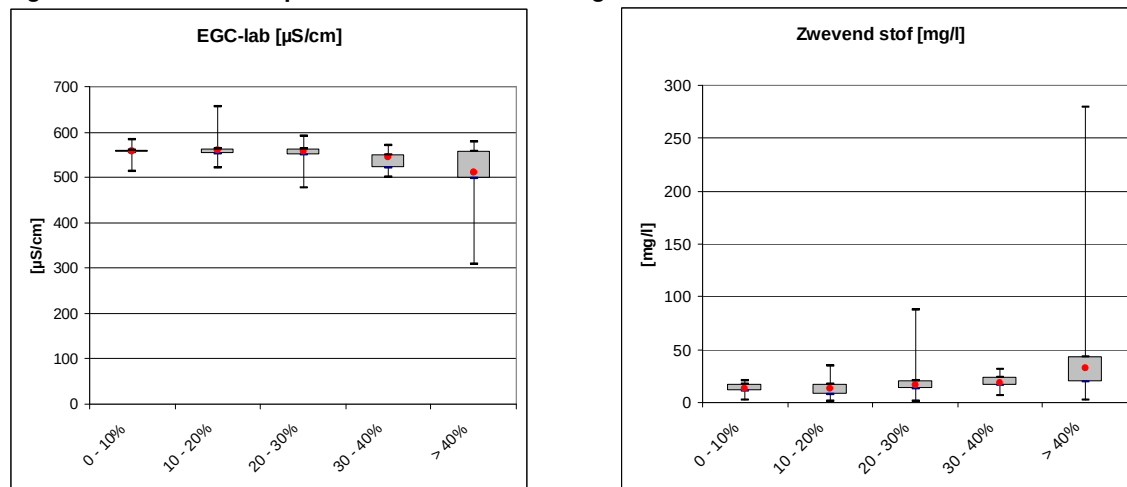
Box-whisker plots concentraties versus snelle afvoer (bijlage 3)

Voor de relatie tussen de gemeten concentraties en de bijdrage van de snelle afvoer (zie figuur 3.1) is de volgende indeling in 5 klassen toegepast:

- Klas 1: 0 – 10% snelle afvoer
- Klas 2: 10– 20% snelle afvoer
- Klas 3: 20 – 30% snelle afvoer
- Klas 4: 30 – 40% snelle afvoer
- Klas 5: > 40% snelle afvoer

Ter illustratie zijn voor het EGV en het zwevend stofgehalte de plots weer gegeven (figuur 4.8). Tijdens perioden met veel snelle afvoer (> 40%) is het EGV lager en het zwevend stofgehalte hoger.

Figuur 4.8: Box-whisker plots EGV en zwevend stofgehalte



Over het algemeen zijn er voor een aantal stoffen duidelijke relaties te onderscheiden maar de grootte van de afvoer blijkt veelal een sterker onderscheid te maken. Daarom is met de combinatie van de grootte van de afvoer en de procentuele bijdrage van snelle afvoer een sterk onderscheid te maken in de hoogte van de concentraties van de verschillende stoffen.

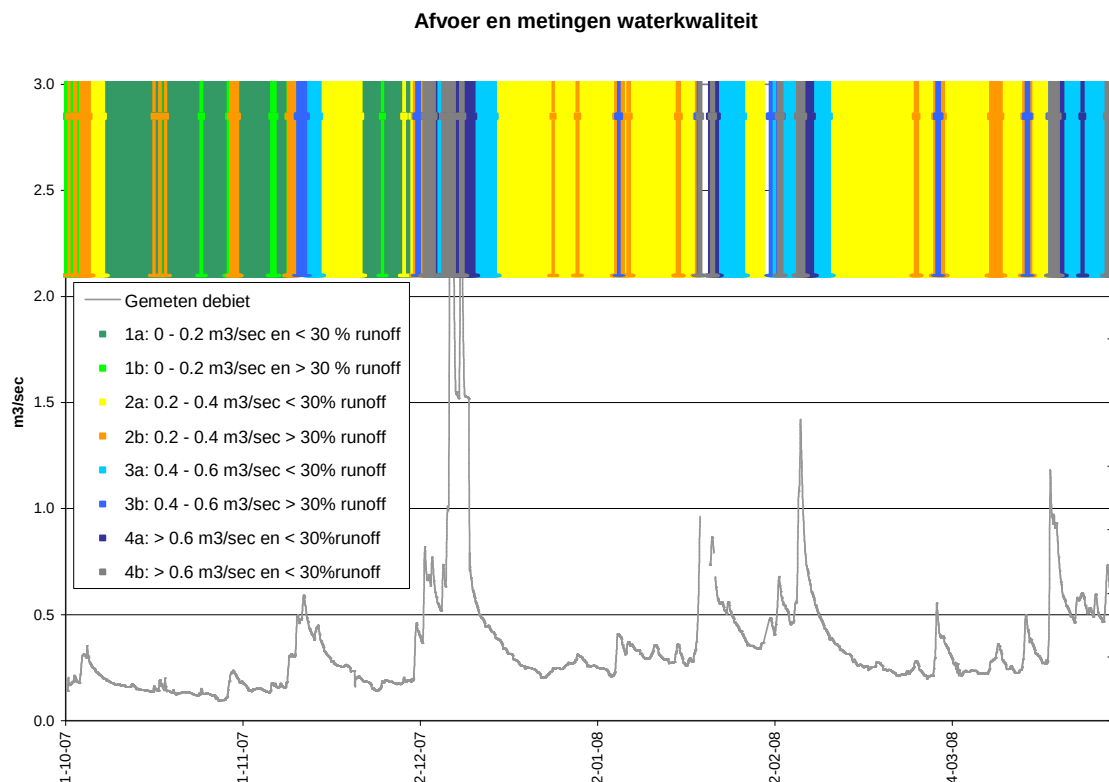
Box-whisker plots waterkwaliteit versus grootte afvoer en % snelle afvoer (bijlage 4)

Door het verloop van de afvoer te splitsen naar de grootte van de afvoer en de bijdrage van snelle afvoer zijn de relatie met de waterkwaliteit nader geanalyseerd. De volgende klassen-indeling is gebruikt:

1a	Afvoer 0 - 0.2 m3/sec, snelle afvoer < 30%
1b	Afvoer 0 - 0.2 m3/sec, snelle afvoer > 30%
2a	Afvoer 0.2 - 0.4 m3/sec, snelle afvoer < 30%
2b	Afvoer 0.2 - 0.4 m3/sec, snelle afvoer > 30%
3a	Afvoer 0.4 - 0.6 m3/sec, snelle afvoer < 30%
3b	Afvoer 0.4 - 0.6 m3/sec, snelle afvoer > 30%
4a	Afvoer > 0.6 m3/sec, snelle afvoer < 30%
4b	Afvoer > 0.6 m3/sec, snelle afvoer > 30%

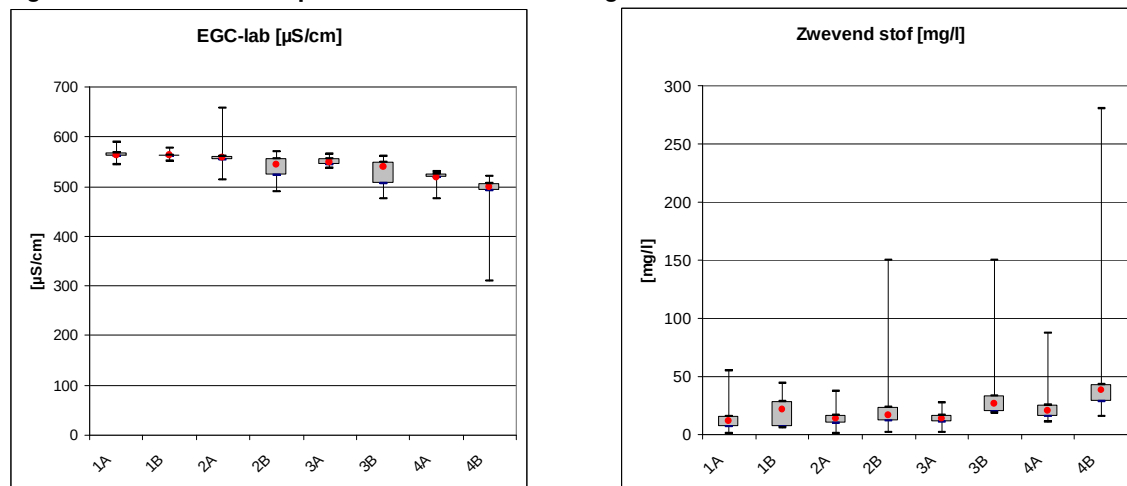
In figuur 4.9 is het afvoerterloop ingedeeld in deze klassen.

Figuur 4.9: Afvoerverloop ingedeeld in klassen



Voor het EGV en het zwevend stofgehalte zijn de plots weer gegeven (figuur 4.10). Tijdens perioden met veel snelle afvoer (> 40%) is het EGV lager en het zwevend stofgehalte hoger.

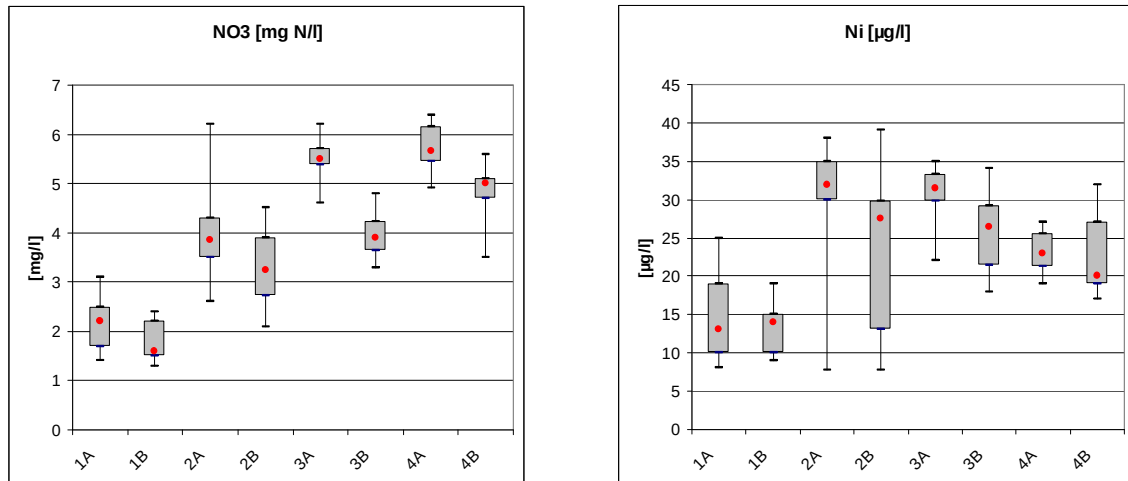
Figuur 4.10: Box-whisker plots EGV en zwevend stofgehalte



De hoofdverdeling in 4 klassen is naar grootte van de afvoer. De nadere onderverdeling in A en B geeft een iets scherper onderscheid. Zo is goed te zien dat de mate van verdunning door regenwater vooral in klassen 4B sterk tot uiting komt. De hoge gehalten zwevend stof zijn ook vooral in de B-klassen te vinden.

In figuur 4.11 zijn voor nitraat en nikkel de plots gepresenteerd. Hieruit blijkt dat er een sterk onderscheid in concentraties tussen de verschillende klassen kan worden waargenomen.

Figuur 4.11: Box-whisker plots nitraat en nikkel



Het nitraatgehalte neemt toe naarmate de afvoer toeneemt. In perioden met een grote bijdrage van snelle afvoercomponenten (piekafvoeren) is het nitraatgehalte echter lager. Bij nikkel zijn de hoogste concentraties gerelateerd aan de afvoerclassen 2A en 3A. Dit is verbonden met het feit dat de hoge nikkel concentraties in de periode na de afvoerpiek vertraagd (als gevolg van de binding aan bodemdeeltjes) tot afvoer komt.

Hoofdstuk 5 Maatregelen

In dit hoofdstuk wordt beschreven op welke wijze maatregelen genomen kunnen worden, gericht op het verlagen van de belasting van het watersysteem met de vijf boven genoemde parameters en het afvlakken van de pieken in concentraties.

5.1 Noodzaak tot maatregelen

In tabel 5.1 wordt een globale vergelijking gemaakt van de gemeten concentraties (periode 1 oktober – 1 april 2008) en de verschillende waterkwaliteitsnormen voor de meest kritische parameters.

Tabel 5.1: Vergelijking doelstellingen en gemeten concentraties voor vijf parameters in het oppervlaktewater

	N-tot (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ni (µg/l)	Cd (µg/l)	SO ₄ (mg/l)
MTR (opgelost)	2,2	-	5,1	0,4	100
KRW zomergemiddelde voor beken	4,0	-	-	-	-
KRW jaargemiddelde	-	-	20	0,08	-
Maximaal gemeten	10,6	6,4	39	1,1	130
Gemiddeld gemeten	6,0	3,8	26,5	0,19	111

- : niet van toepassing

Metingen op basis van de meetreeks 1 okt 2007 – 1 apr 2008

Typerend voor de waterkwaliteit in het stroomgebied van de Hooge Raam zijn de overschrijdingen van de normen voor N-tot, NO₃, Ni, Cd en SO₄. Fosfaat geeft geen probleem omdat het uittredende grondwater rijk is aan ijzer waardoor fosfaat wordt vastgelegd. Op basis van de analyse in hoofdstuk 4 kan een onderverdeling worden gemaakt in twee categorieën stoffen:

1. Mobiele parameters zoals NO₃ en Ni (koper en zink in mindere mate) waarbij de concentraties in het oppervlaktewater sterk zijn verbonden met de grootte van de afvoer (seizonaal patroon). In natte perioden met hoge afvoeren en grondwaterstanden is er veel uitspoeling vanuit de landbouwgronden, en in droge perioden met lagere grondwaterstanden staan de slootjes droog sterk en is de bijdrage van diep ("schoner") grondwater dominant. Door maatregelen te nemen waardoor het grondwater minder snel uitspoelt, en dus meer wordt vastgehouden, kunnen de pieken in concentraties worden afgevlakt. Op langere termijn zullen de stoffen echter nog steeds uitspoelen.
2. Stoffen die sterk correleren met zwevende stof zoals de zware metalen Cd, Cu, Pb, Fe en fosfaat. Hoge pieken in concentraties komen voor tijdens perioden met grote regenval. Door de hoeveelheid opwervend zwevend stof te verminderen kunnen de concentraties verminderd worden.

5.2 Voorstel tot maatregelen

De maatregelen worden samengesteld in een onderlinge logische samenhang die aansluit bij de bestaande plannen binnen het gebied. De maatregelen kunnen worden ingedeeld in drie clusters:

1. Maatregelen aan de bron. Alleen door minder nutriënten en metalen te gebruiken wordt de belasting op de lange termijn terug gedrongen. Deze maatregelen hebben op de korte termijn echter vaak weinig effect
2. Het afvlakken van de pieken in concentraties. Het gebied van de Hooge Raam kenmerkt zich in hoge pieken in waterafvoer en concentraties. Juist deze pieken kunnen, vooral in het zomerseizoen, schadelijk zijn voor het waterleven
3. Het zuiveren van het uitstromende water naar het benedenstroomse gebied

Ad. 1 Maatregelen aan de bron

Maatregelen aan de bron zijn alleen wettelijk af te dwingen met landelijke wetten en maatregelen. Op dit moment is het landelijke mestbeleid afgestemd op het derde actieprogramma nitraat. Hierin worden gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat gedefinieerd en wordt een fosfaatevenwichtsbemesting in 2015 gerealiseerd. Vanaf 2009 wordt dit landelijke beleid waarschijnlijk verder aangescherpt met de uitvoering van het vierde nitraat actieprogramma.

Op lokale schaal kan het waterschap op beperkte schaal invloed uitoefenen op het nutriënten- en metalengebruik, bijvoorbeeld in de vorm van pilots en stimulering van maatregelen. Het waterschap kan dit doen door bijvoorbeeld het volgende te stimuleren:

- een cursus Bodemkwaliteit, Omgeving en Bedrijfssystemen (BOB), waarin de agrariër wordt geleerd om het bodembeheer te verbeteren. Voedingsstoffen worden dan beter opgenomen door de planten en zullen dus minder uitspoelen;
- Voorlichting over het gebruik van metalen in veevoer (zoals cadmium en zink). Vaak zit er een overmaat aan metalen in. Door een uitgekiende voeding afgestemd op de eisen van het vee kan hierop bespaard worden.

Ad 2. Het afvlakken van de pieken

Het watersysteem van de Hooge Raam reageert heel snel. Daarom kunnen bijvoorbeeld nitraat en nikkel snel uitspoelen. Door het opwervelen van sediment komen bovendien meer verontreinigingen (metalen, fosfaat) in het watersysteem. Door het inrichten van een meer duurzaam watersysteem is het mogelijk om de piekbelasting te verminderen. Deze maatregelen hebben vaak een dubbel nut; niet alleen de waterkwaliteit wordt verbeterd, maar ook de waterhuishouding. Mogelijke maatregelen zijn:

- het meanderen van waterlopen. Water wordt meer vastgehouden en komt langzamer tot afvoer. De stroomsnelheden worden lager, waardoor minder zwevend stof opwervelt;
- het inrichten van zuiverende sloten. Bestaande sloten worden ingezet als lintvormige helofytenfilters. De profielen en het maaibeheer moeten hiervoor geoptimaliseerd worden. Dit is maatwerk per perceel. Dit idee is door Waterschap Aa en Maas ingediend als idee voor het KRW innovatieprogramma;
- het dicht maken van greppeltjes waardoor water langer wordt vastgehouden in het systeem. De pieken in afvoer worden daardoor afgevlakt;
- het toepassen van peilgestuurde drainage (systeem van Iersel) waardoor water minder snel wordt gedraineerd. In het gebied komt maar beperkt drainage voor. Daarom kan deze maatregel maar beperkt ingezet worden;
- Het plaatsen van LOP-stuwen waardoor het oppervlaktewater meer vastgehouden kan worden. Agrariërs kunnen dit zelf instellen. Dit systeem zal vooral effect hebben in droge zomers met kortstondige hoge neerslagpieken. Dit water kan dan

vastgehouden worden. In natte tijden zullen agrariërs het water waarschijnlijk snel willen afvoeren uit het gebied;

- Het zuiveren van erfwater. Na hevige regenval kan mest op het erf snel afspoelen naar het oppervlaktewater. Dit water kan worden afgevangen en door een zuiveringssysteem (helofytenfilter) worden geleid. In het zuiveringssysteem kan stikstof, maar ook metalen worden vastgelegd in het plant materiaal en het slib;
- Het vormen van droge bufferstroken. In een zone van ongeveer 5 meter wordt dan niet meer bemest. Langs deze strook zullen nutriënten minder (snel) uitspoelen.

Veel van de maatregelen hebben ook een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg. Dit heeft zowel een positief als negatief effect op de waterkwaliteit. Aan de ene kant zal de denitrificatie van nitraat toenemen. Negatief effect is dat door de hogere grondwaterstand stikstof en metalen meer zullen uitspoelen naar het oppervlaktewater. De bovenste lagen van het bodemsysteem worden sneller schoon gespoeld. Op de langere termijn kan dit als een positief effect worden gezien.

Ad 3. Maatregelen in het uitstromende grondwater

Het oppervlaktewater stroomt via de Hooge Raam het gebied uit naar de Graafse Raam, achterliggende poldergebieden en uiteindelijk de Maas. Deze gebieden kunnen nog verder profiteren van een betere waterkwaliteit door het nemen van aanvullende maatregelen bij het uitstroompunt (achter stuw Hoefkens). Mogelijkheden zijn:

- het plaatsen van een slibvang, waarin het slib met aangehechte metalen en fosfaat wordt afgevangen;
- het maken van een helofytenfilter waarin nutriënten en metalen worden vastgelegd in plant en slibmateriaal. De huidige hoge piekbelastingen maken een helofytenfilter weinig effectief. Door het afvlakken van de piekbelasting wordt deze maatregel mogelijk wel meer interessant.

Tabel 5.2 Samenvatting van de effecten van maatregelen

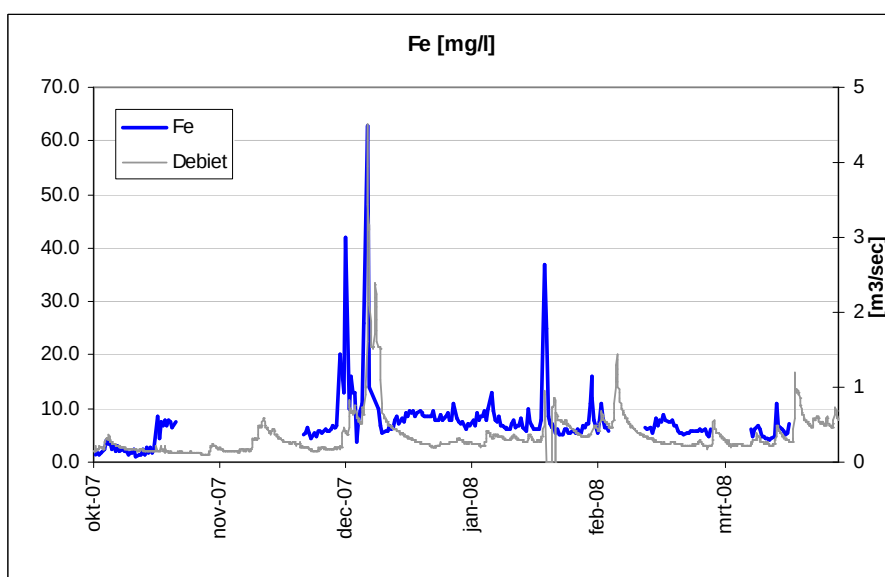
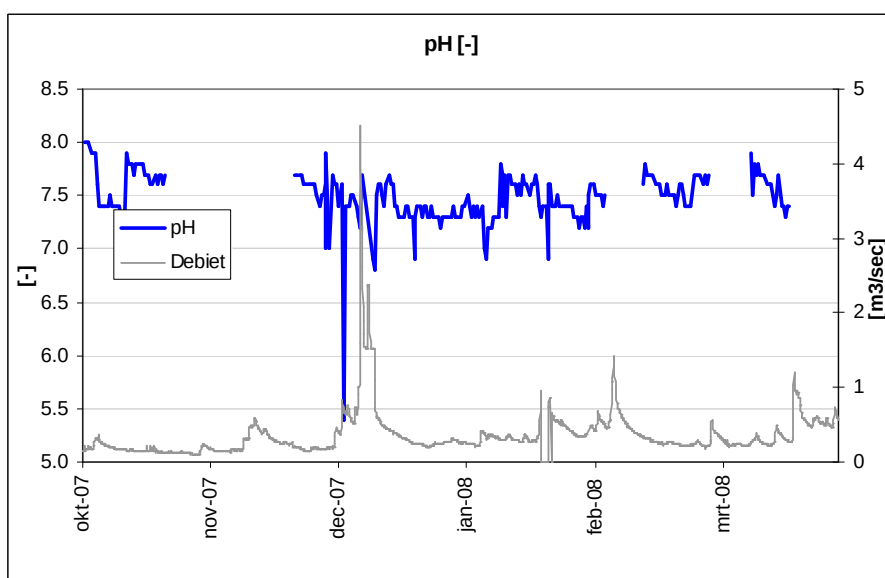
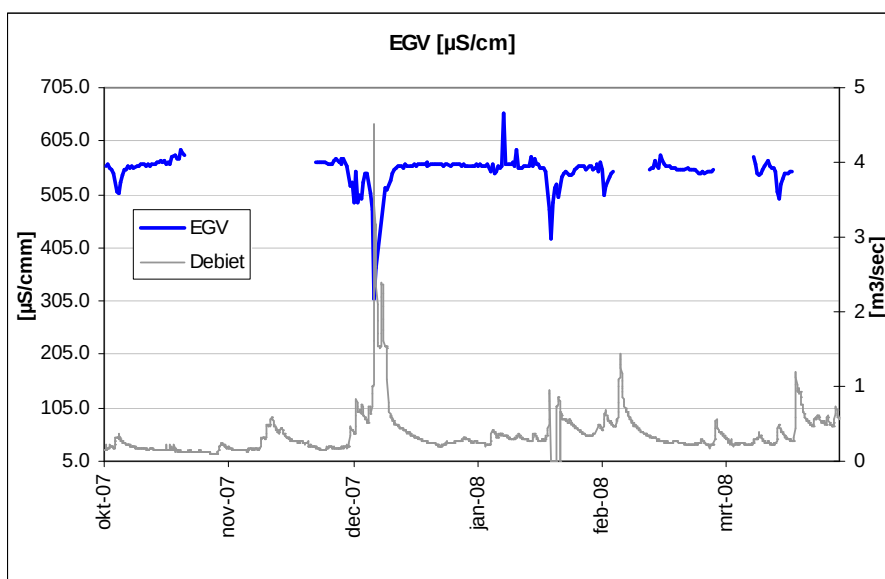
Tabel 012 Samenvatting van de effecten van maatregelen	Effect op waterkwaliteit	Overig Effect	Gericht op	
			N	Metalen
Brongerichte maatregelen				
BOB cursus	Betere opname nutriënten door beter bodembeheer		X	
Voorlichting veevoer	Aanpassing veevoer en daardoor minder metalen			X
Afvlakken pieken				
Meanderen	Minder opwerveling Afvlakken van pieken	Natuurlijker watersysteem	X	X
Zuiverende sloten	Afvangen van nutriënten en metalen	Meer natuurlijke sloten	X	(X)
Dicht maken greppels	Afvlakken pieken uit grondwater	Verhoging grondwaterstand	X	(X)
Peilgestuurde drainage	Afvlakken pieken uit grondwater	Verhoging grondwaterstand	X	(X)
LOP stuwen	Afvlakken pieken in oppervlaktewater	Verhoging grondwaterstand	X	X
Zuiveren erfwater	Afvangen van nutriënten en metalen		X	X
(Droge) bufferstroken	Afvlakken pieken en vrachten uit grondwater	Soortenrijke slootkanten	X	
Uitstromende water				
Slibvang	Opvang van sediment			X
Helofytenfilter	Afvangen van nutriënten en metalen	Natuurontwikkeling	X	X

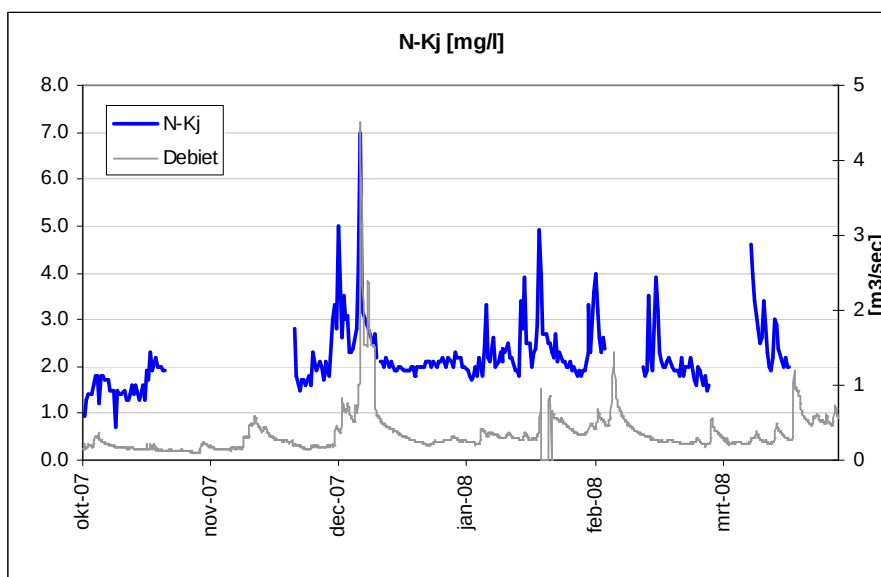
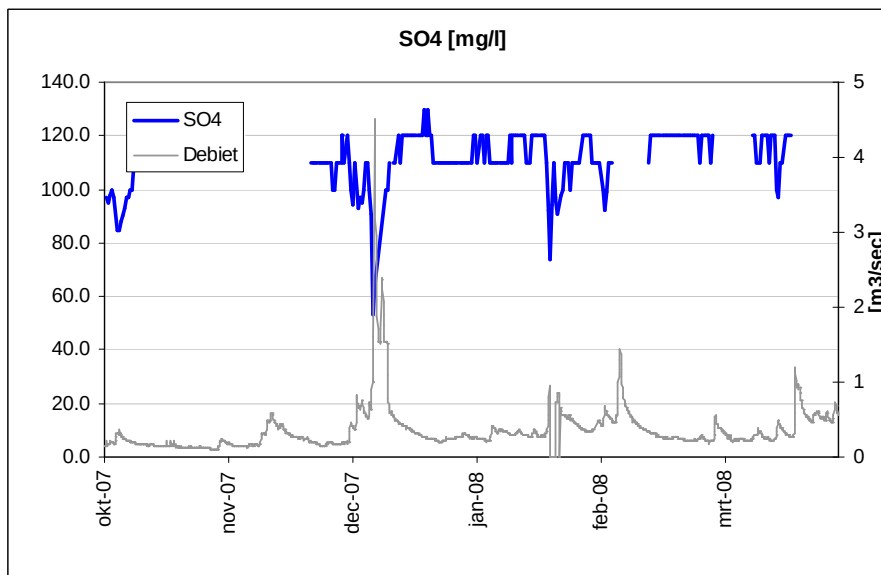
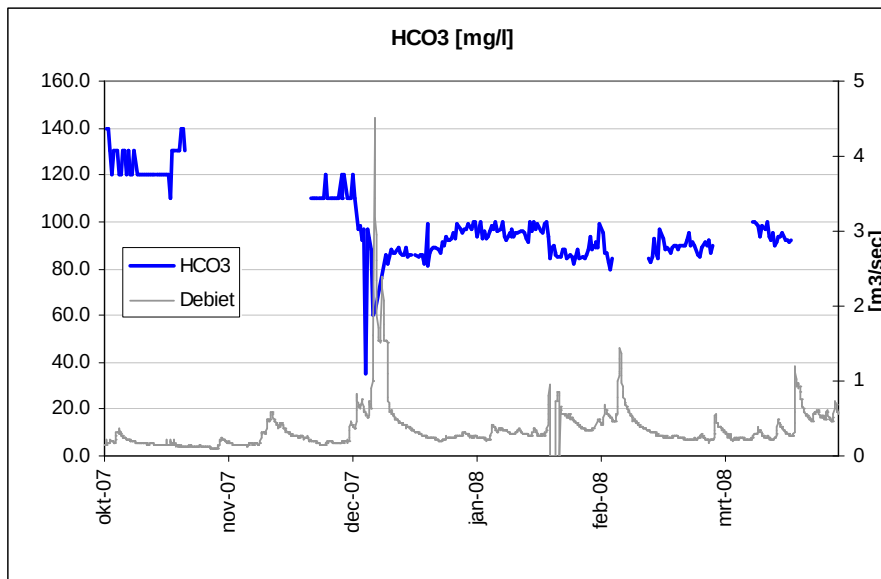
Aanbevelingen voor een proef in de praktijk

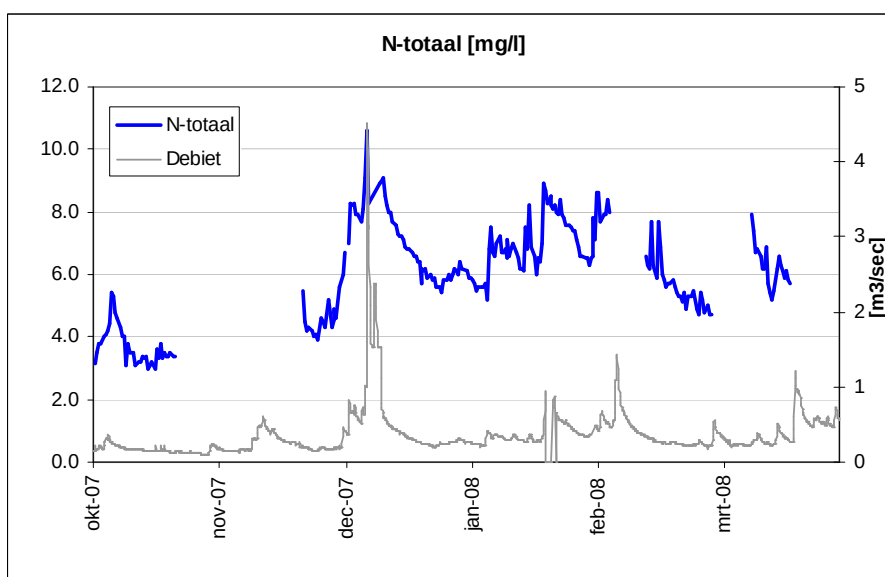
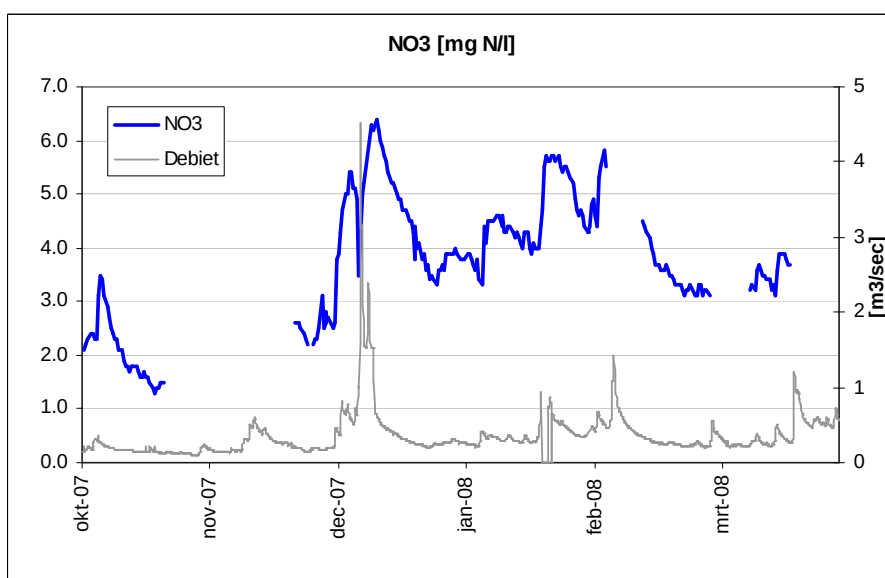
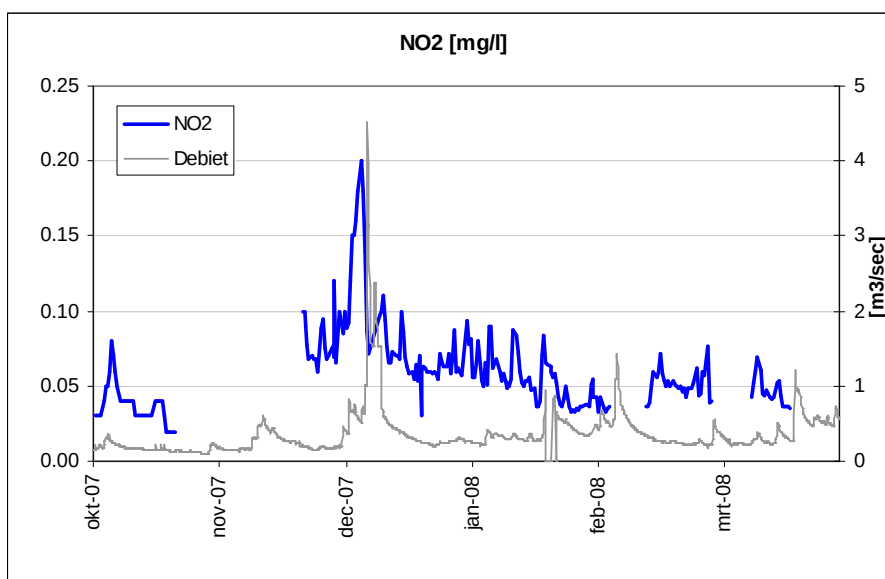
Maatregelen kunnen alleen in de praktijk hun werkelijke waarde bewijzen. Door een gericht meetprogramma kan worden gevolgd of de maatregelen het beoogde effect opleveren. Voor het gebied de Hoge Raam is met name de invloed van de waterbodem en het opwervende zwevende stof van belang. Interessante kennisvragen zijn:

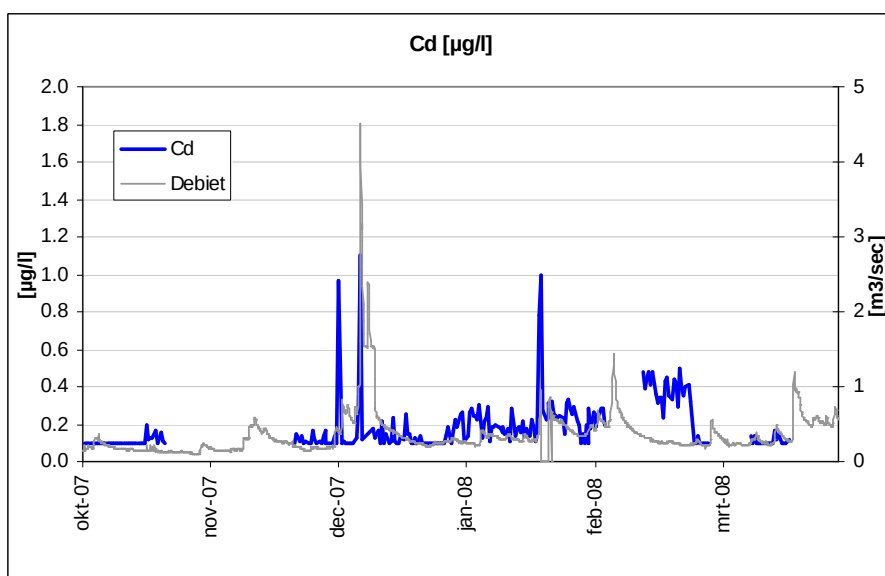
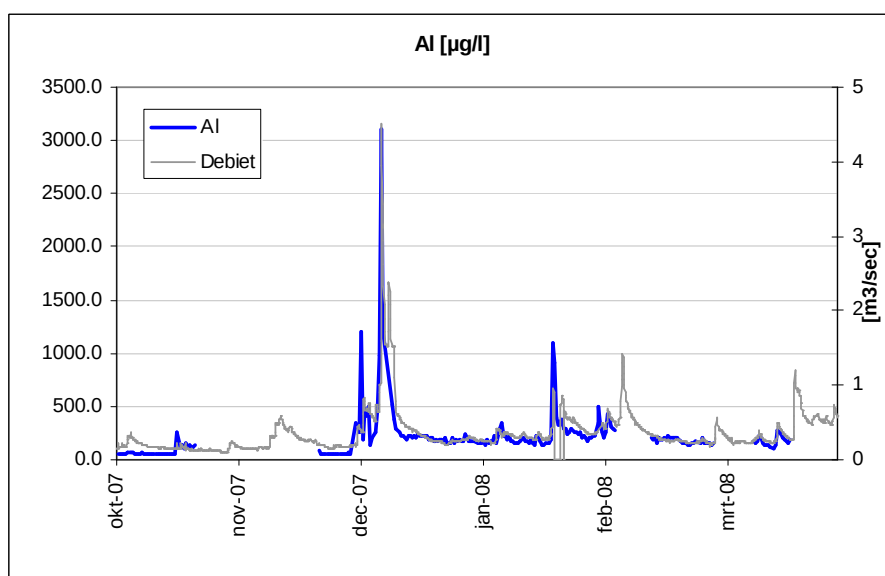
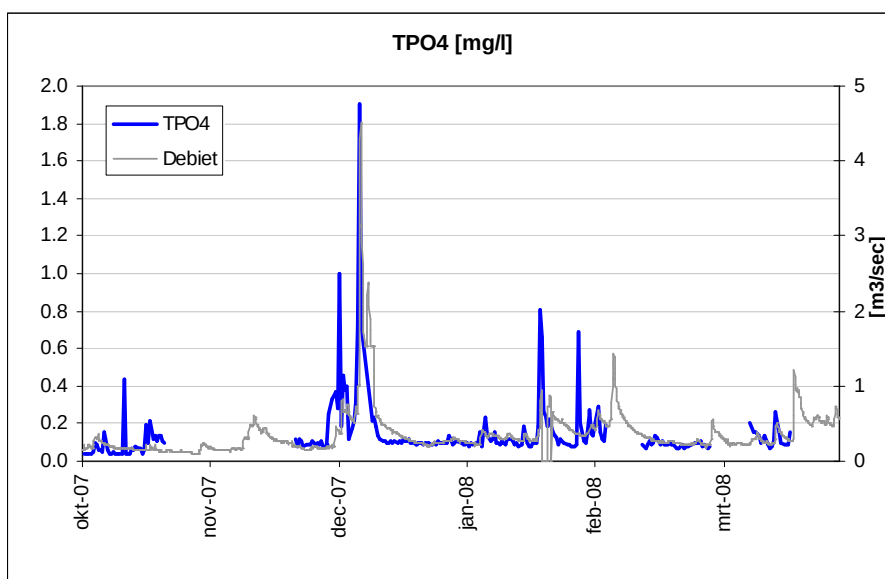
- Komen de pieken in zware metalen bij hoge afvoeren uit het uitspoelende grondwater of uit de waterbodem?
- Zijn deze pieken in de praktijk af te vlakken door bijvoorbeeld te meanderen, de aanleg van een slibvang of het dempen van greppeltjes?
- In hoeverre wordt het zwevende stof afgevoerd uit het stroomgebied van de Hoge Raam of wordt dit opgeslagen in de waterbodem?

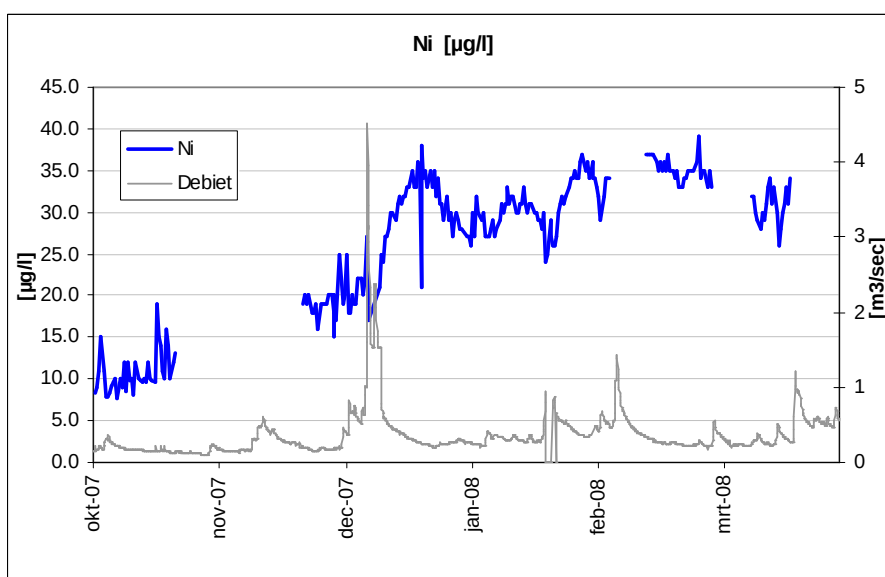
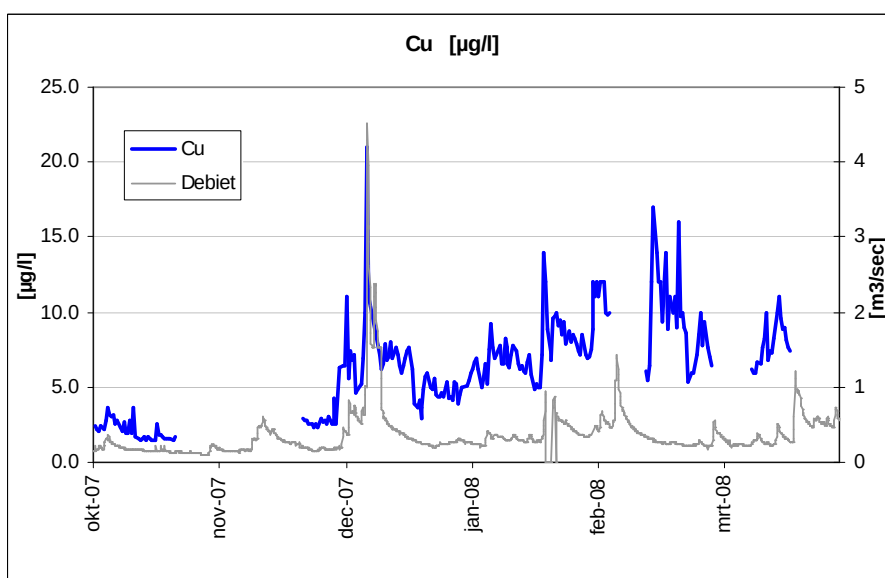
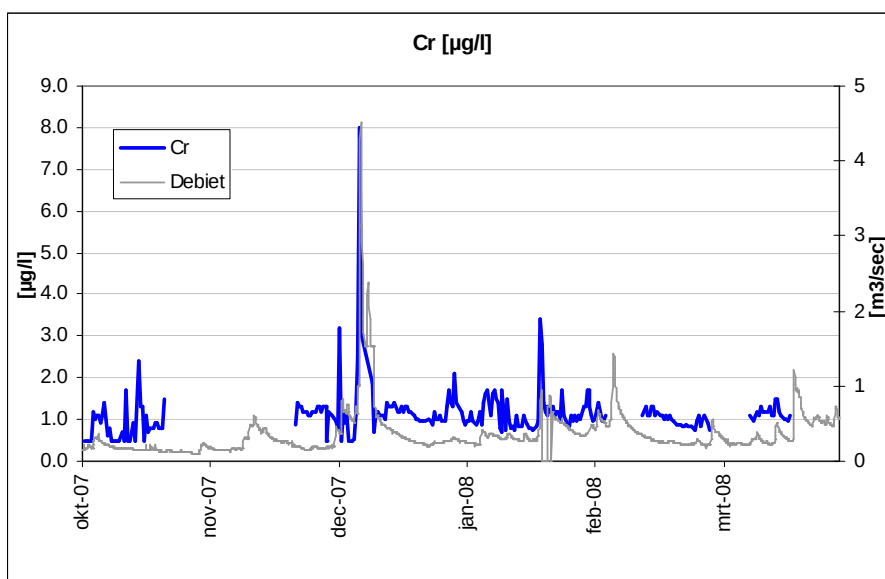
Bijlage 1: Waterkwaliteit in de tijd (incl. afvoer)

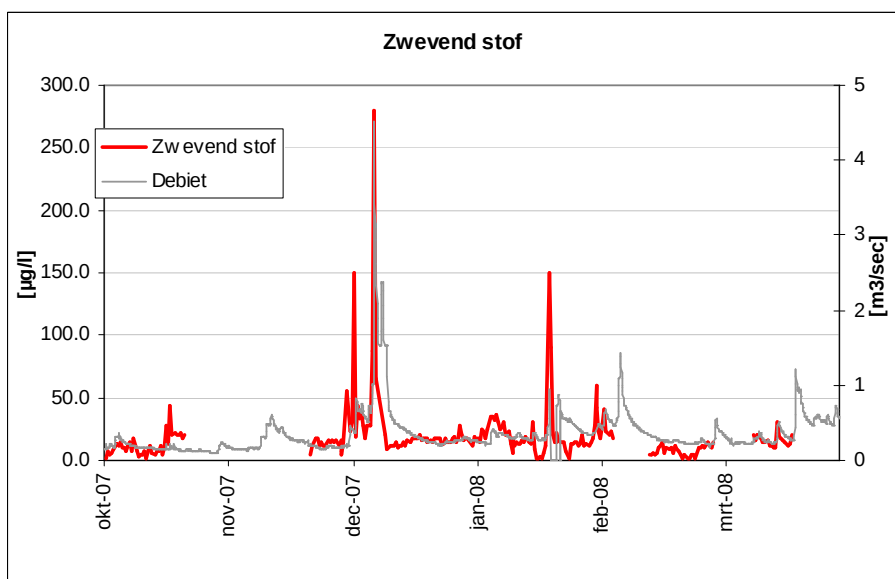
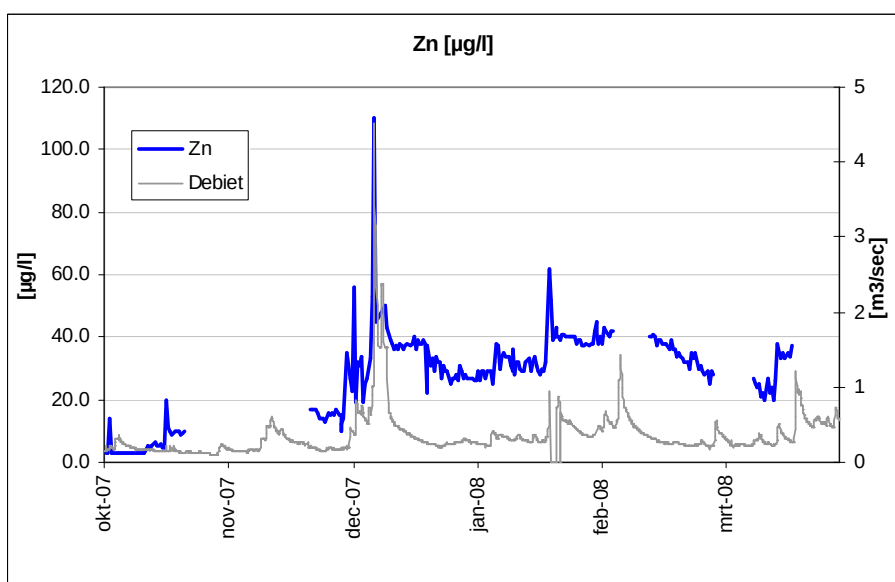
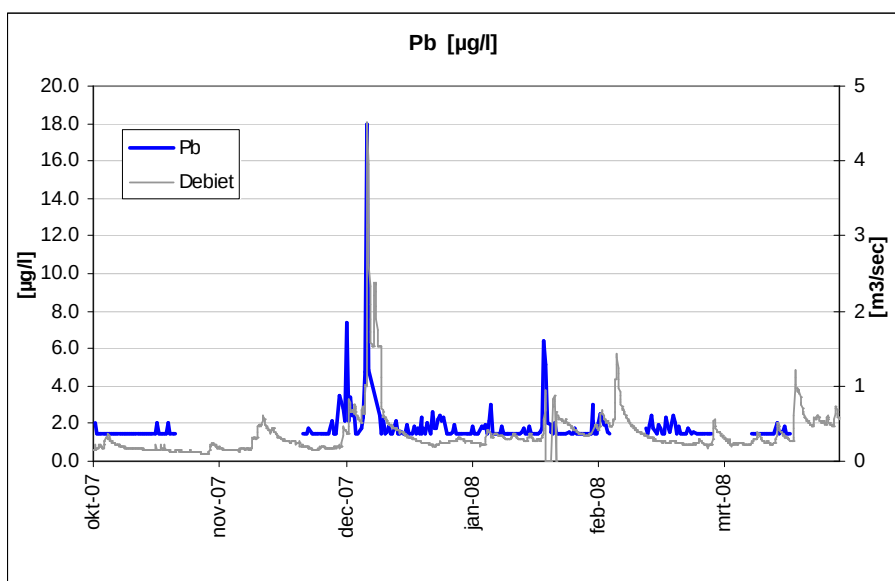




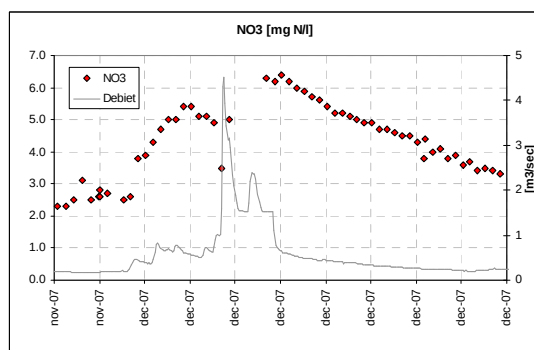
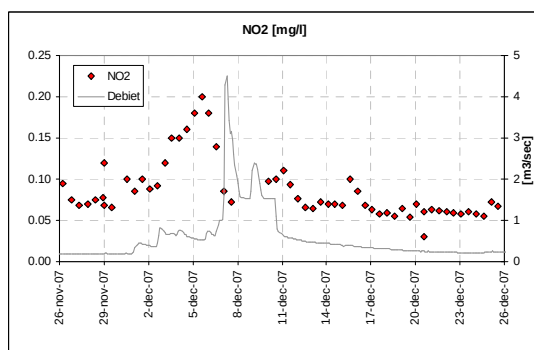
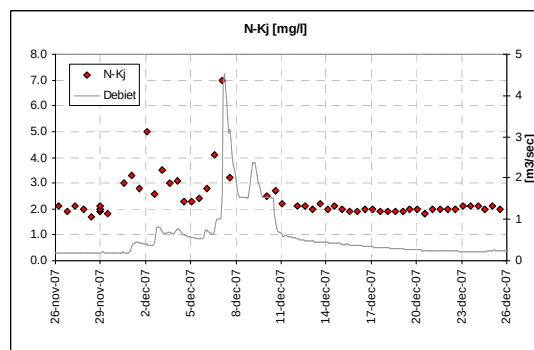
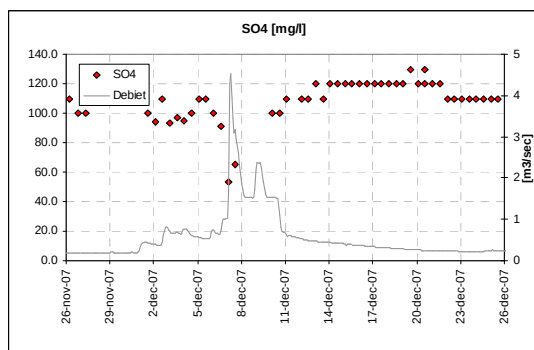
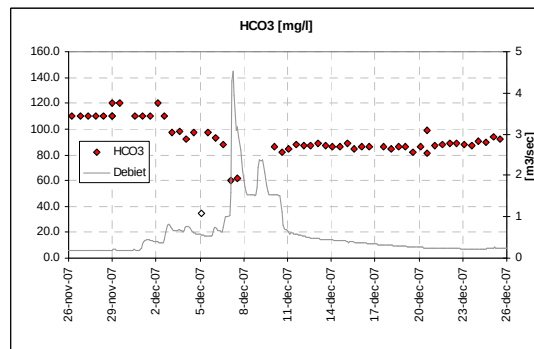
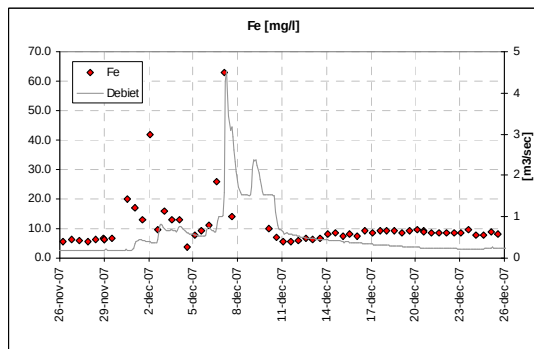
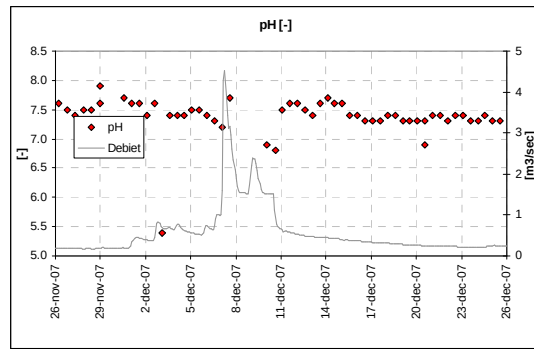
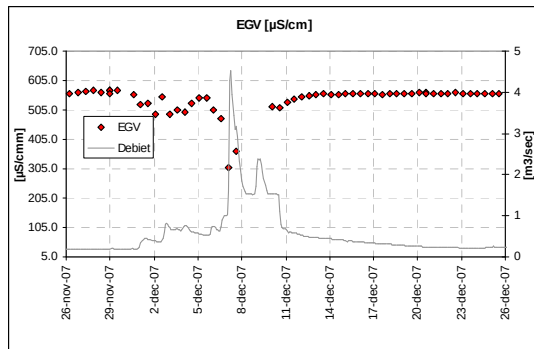


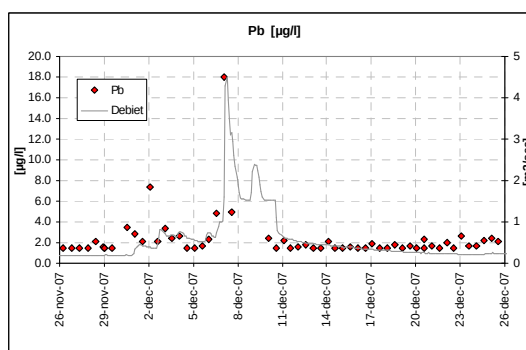
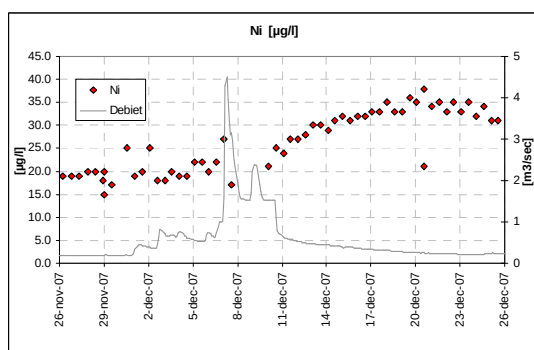
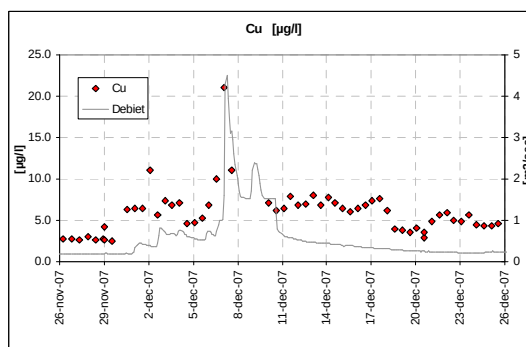
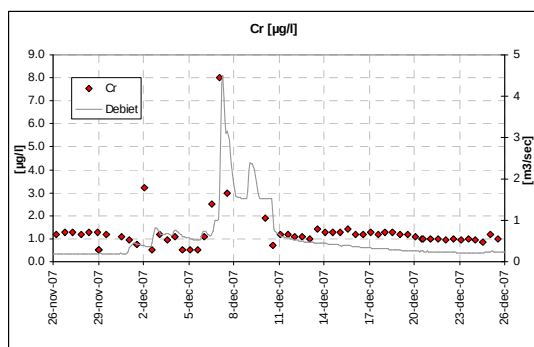
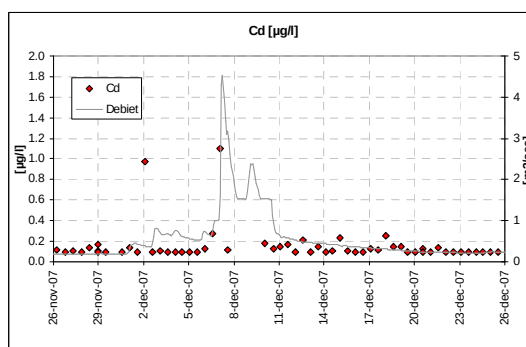
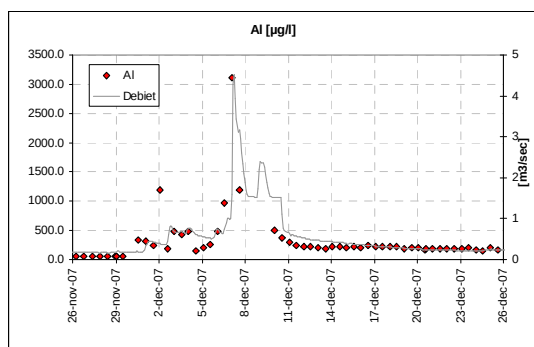
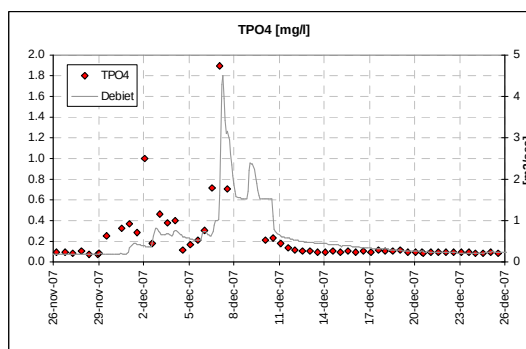
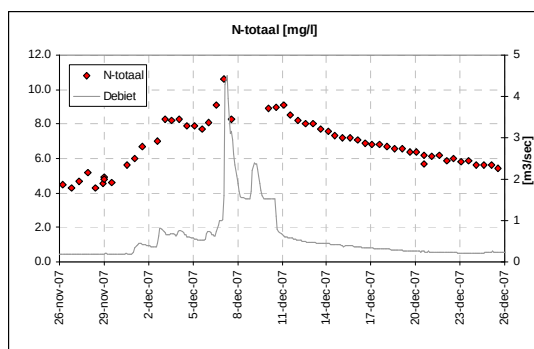


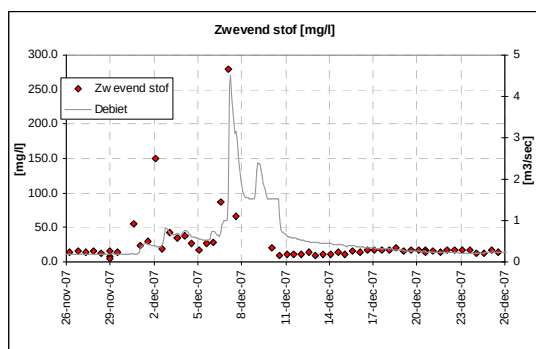
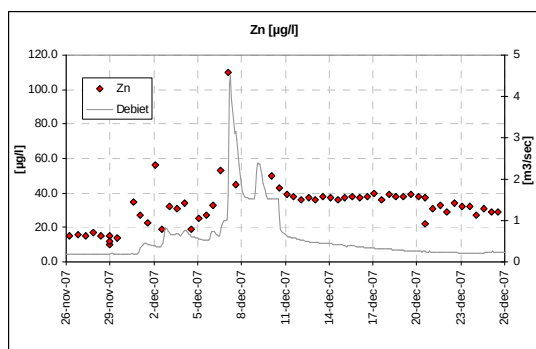




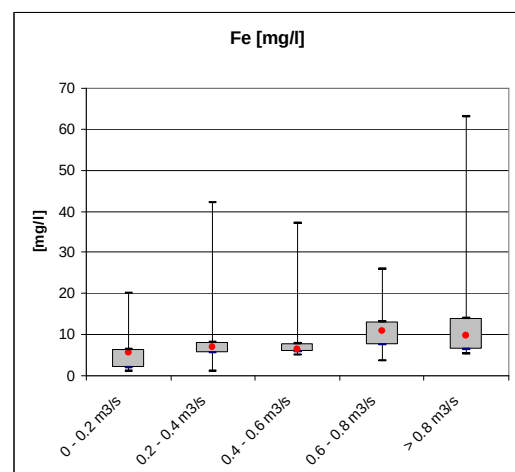
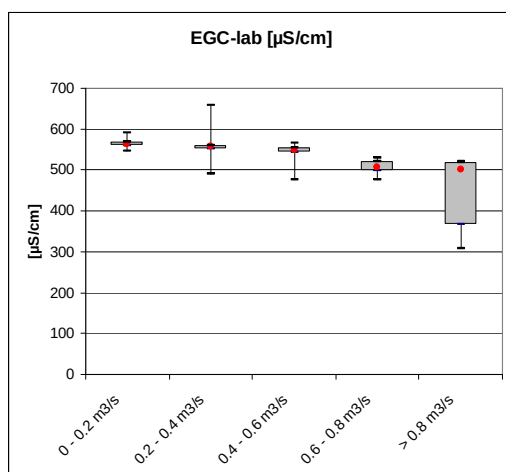
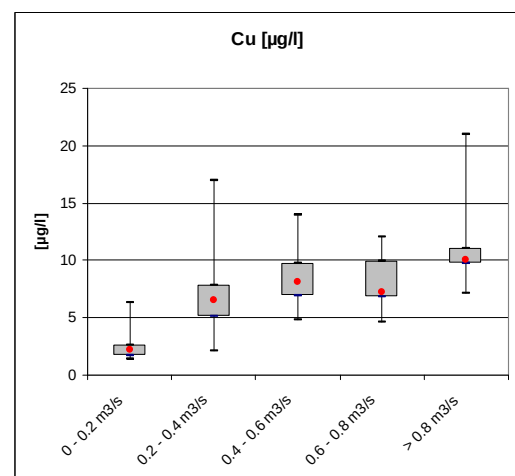
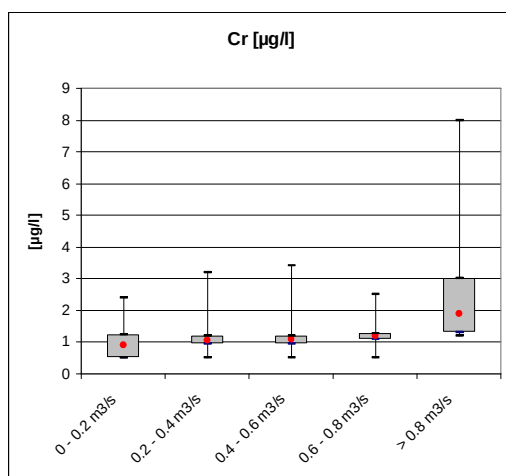
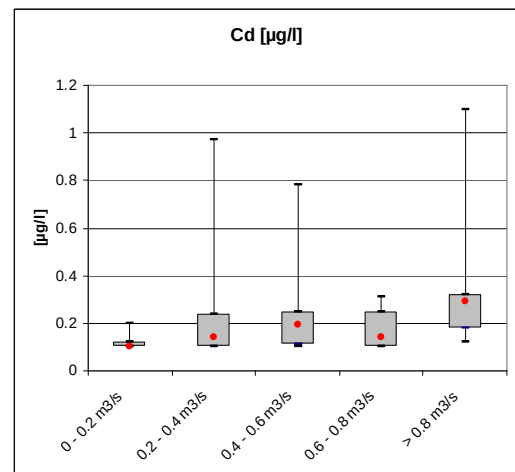
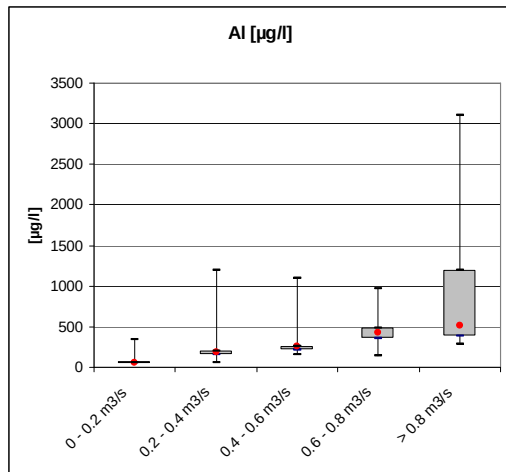
Bijlage 2: Waterkwaliteit in de tijd tijdens afvoerpiek

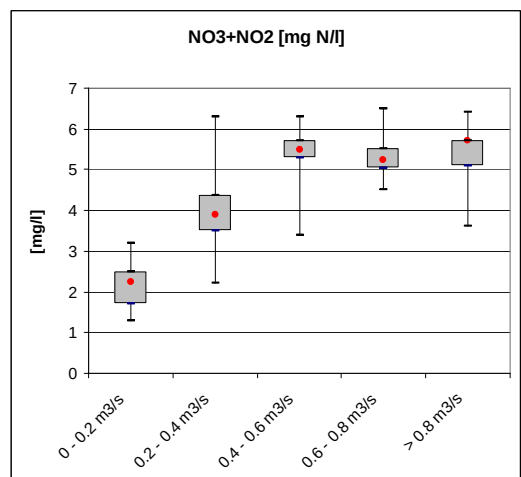
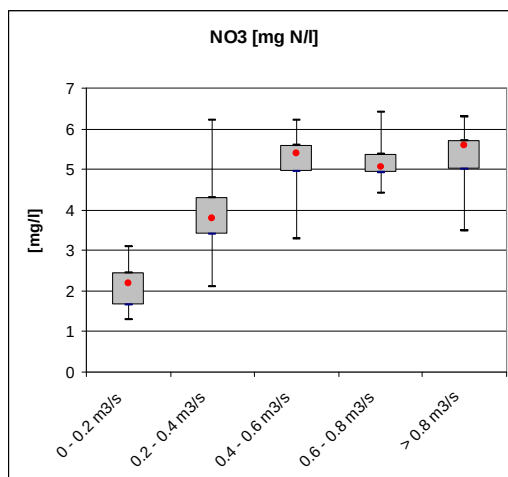
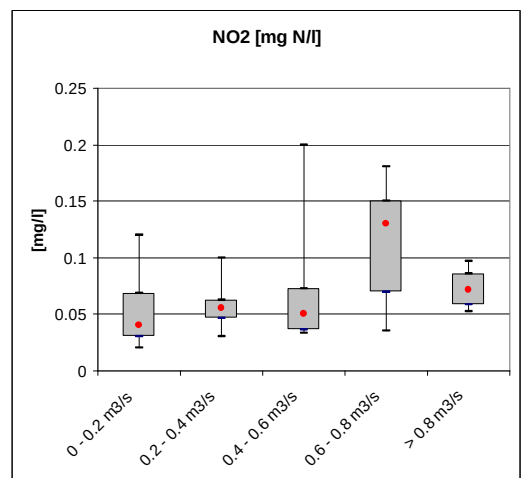
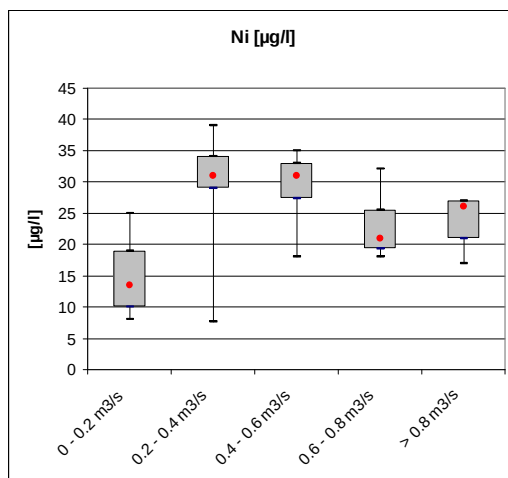
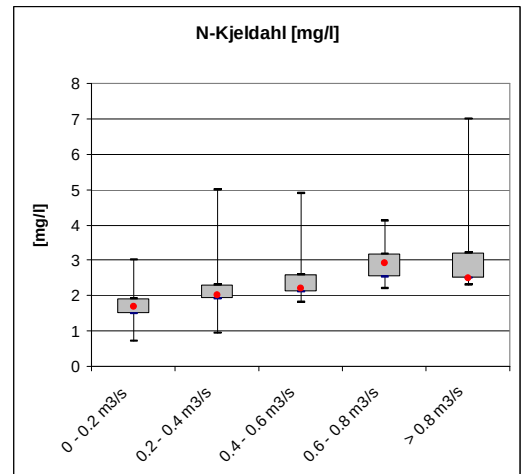
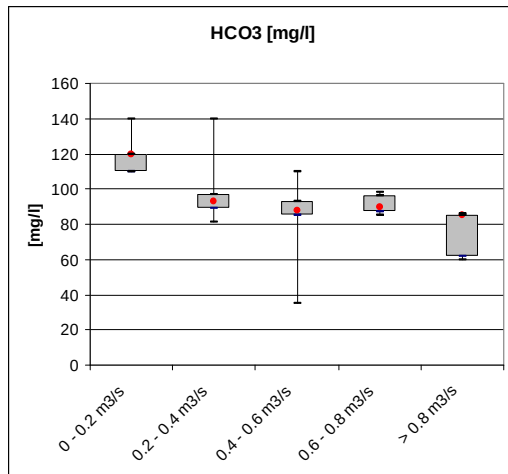


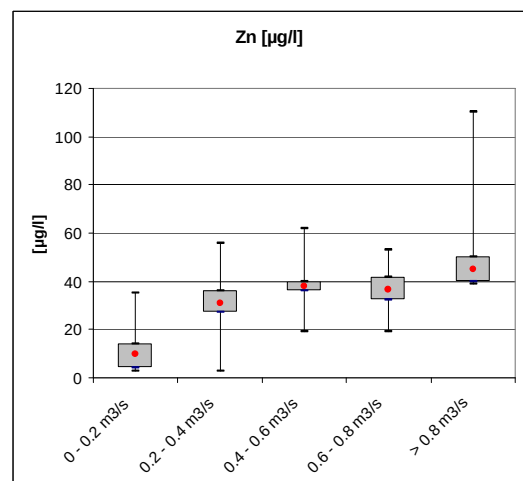
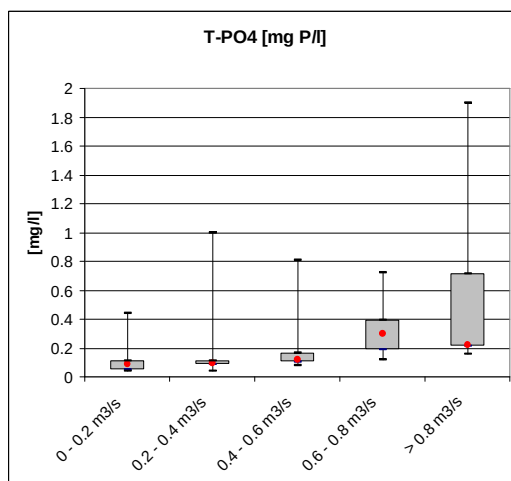
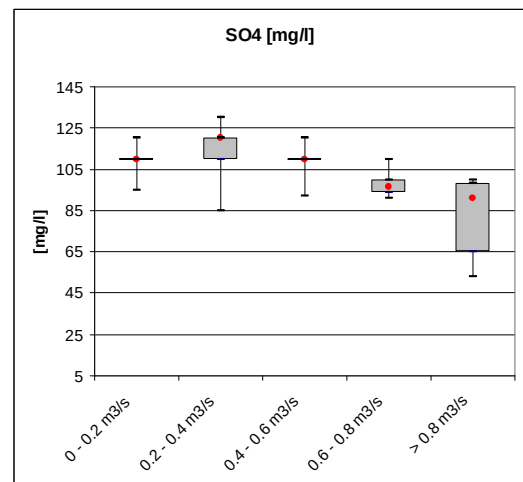
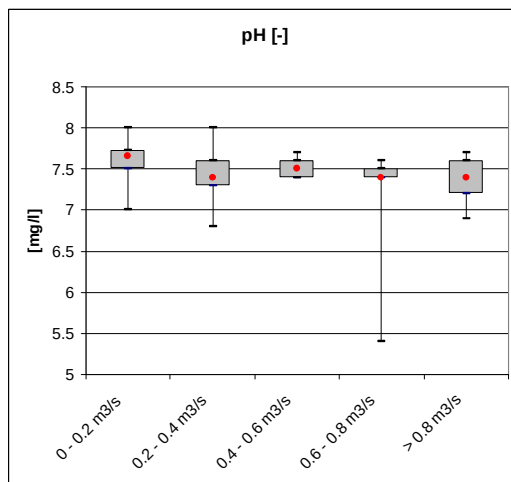
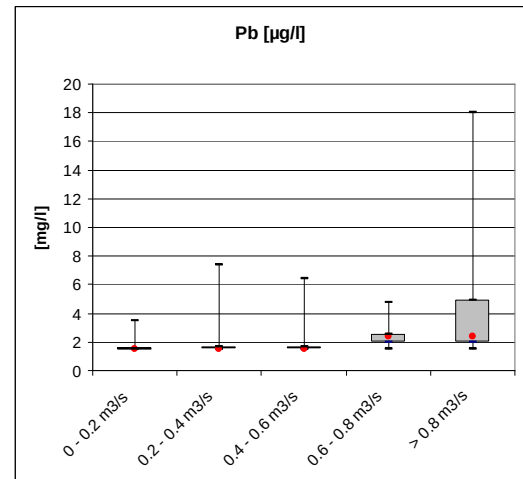
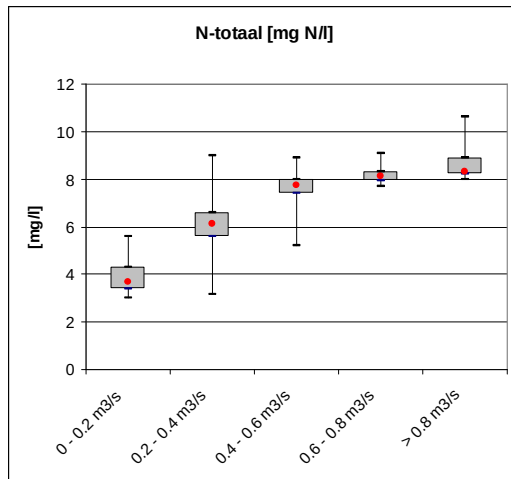


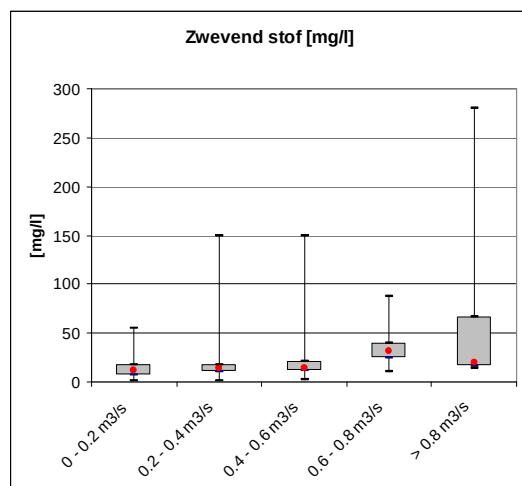


Bijlage 3: Box-Whisker plots waterkwaliteit versus afvoer

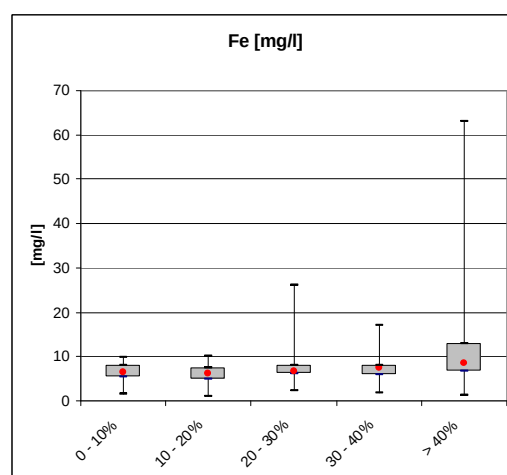
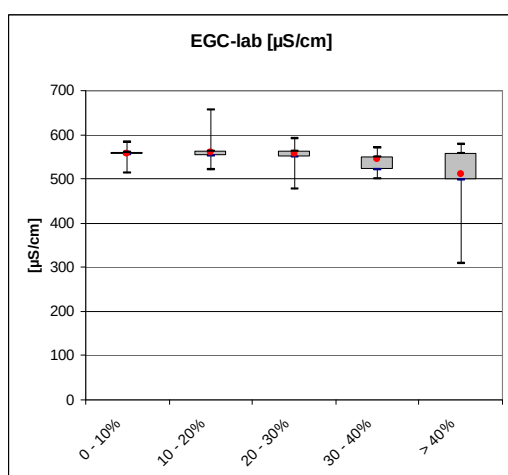
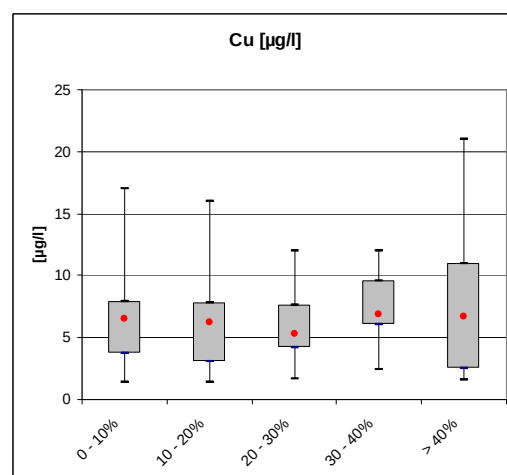
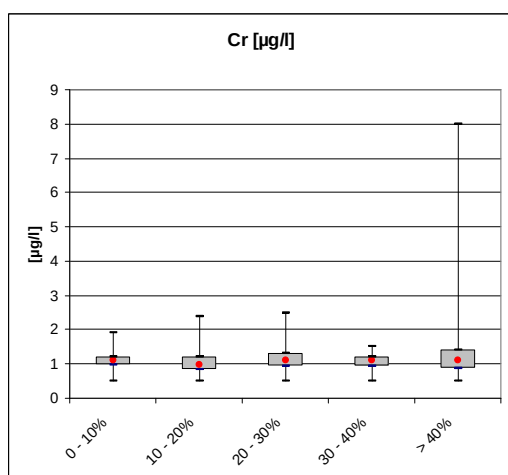
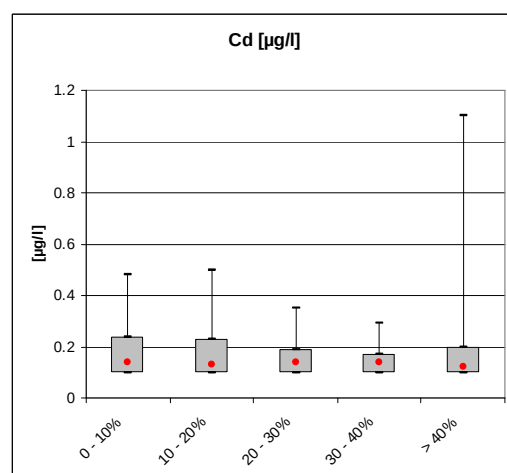
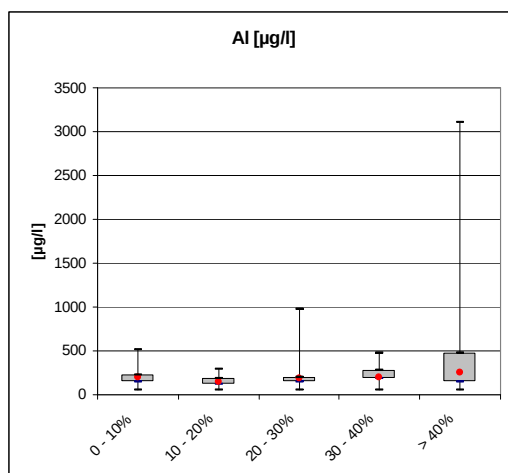


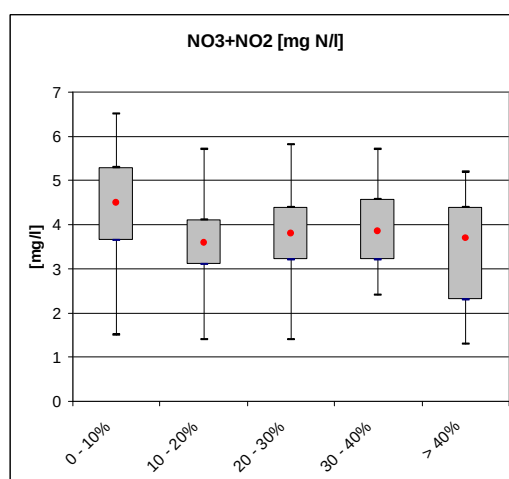
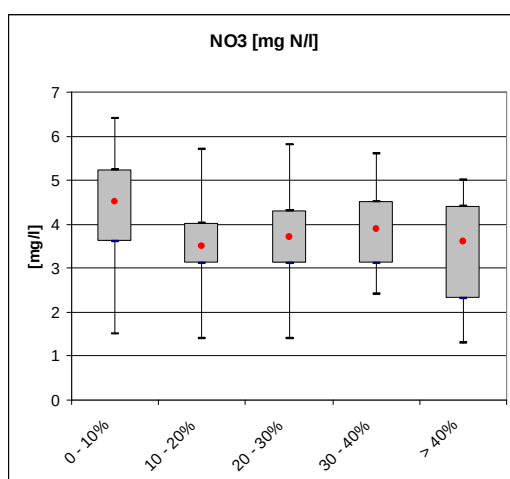
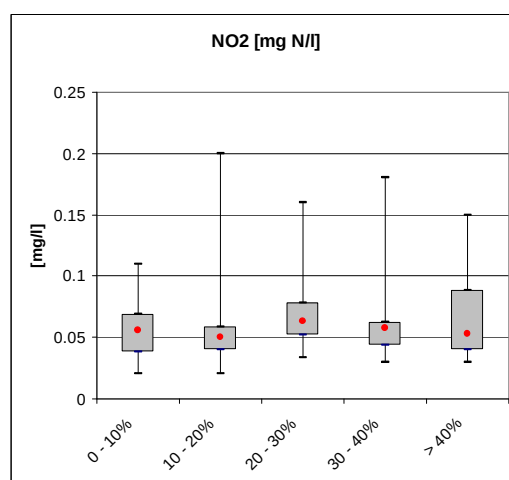
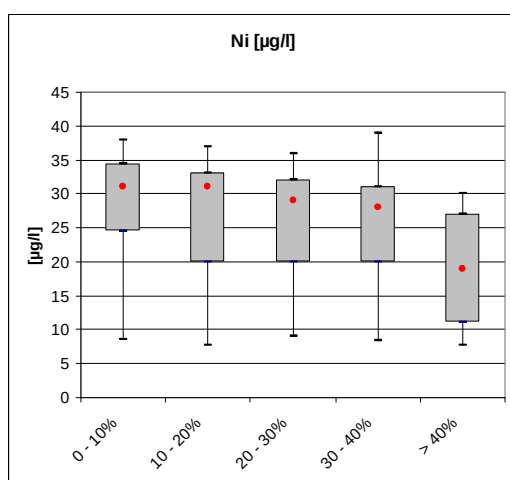
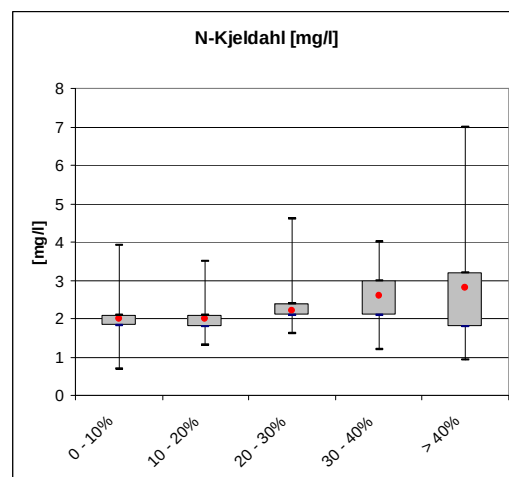
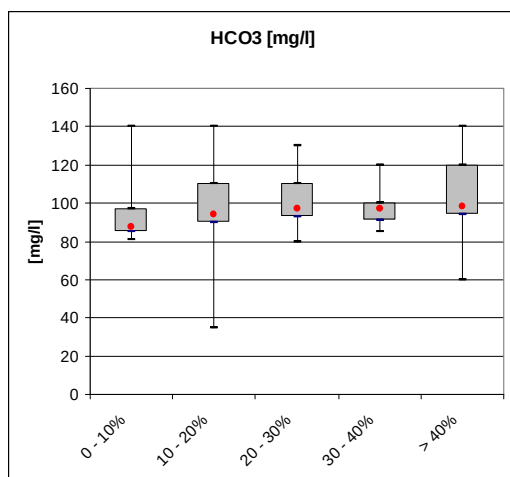


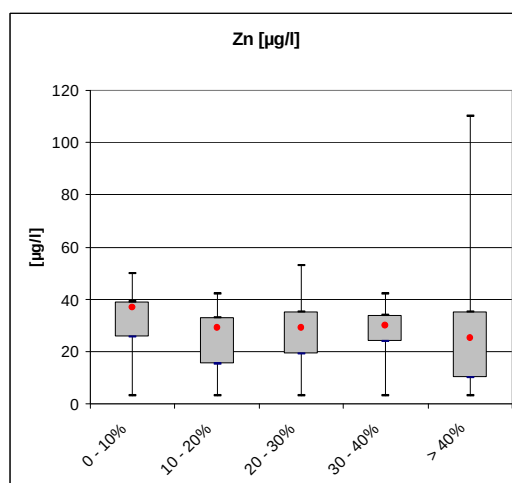
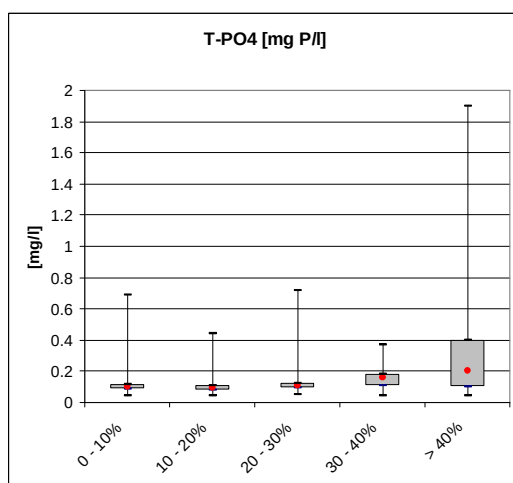
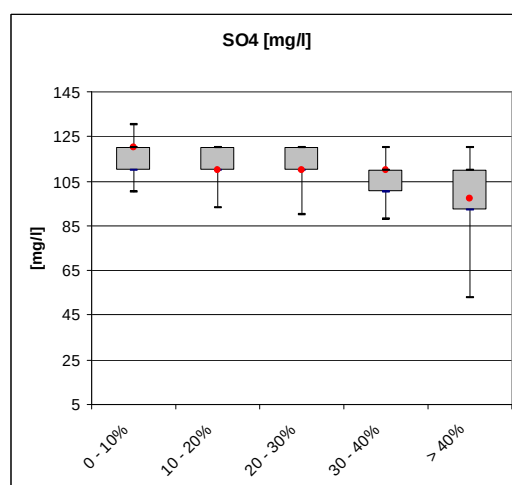
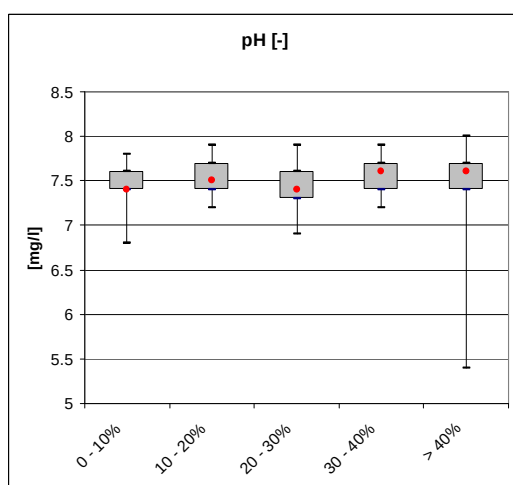
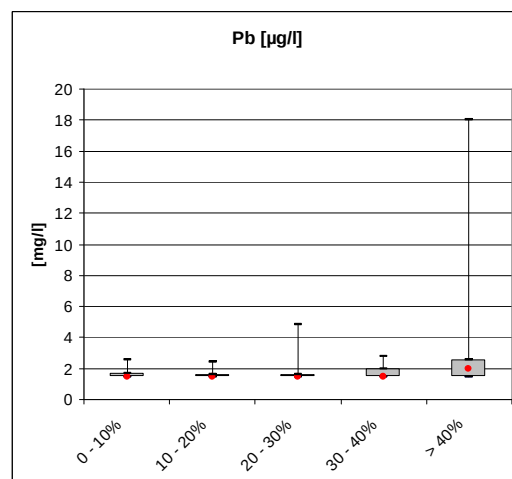
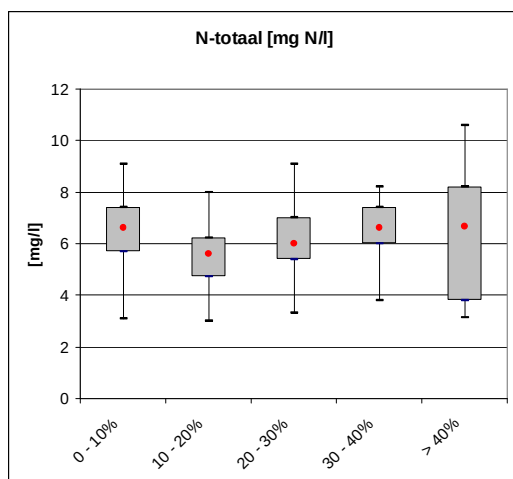


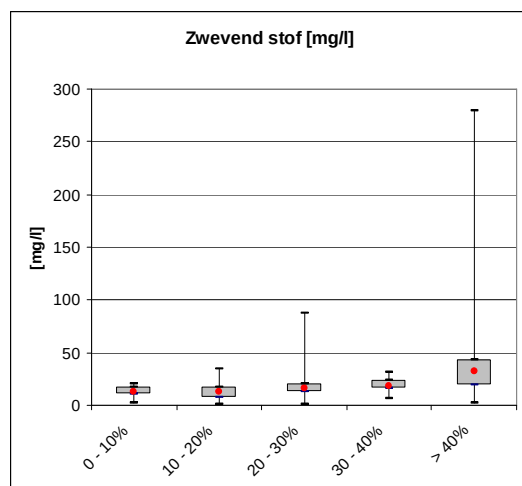


Bijlage 4: Box-Whisker plots waterkwaliteit % snelle afvoer

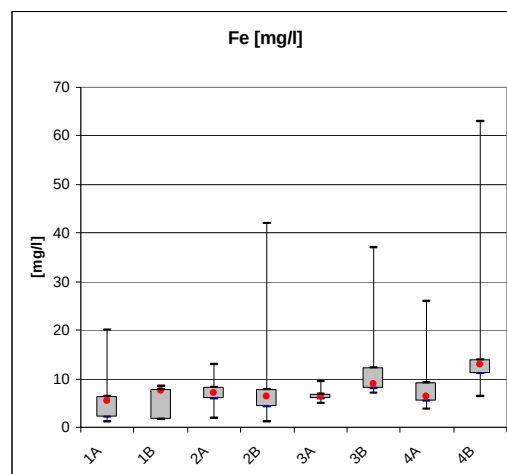
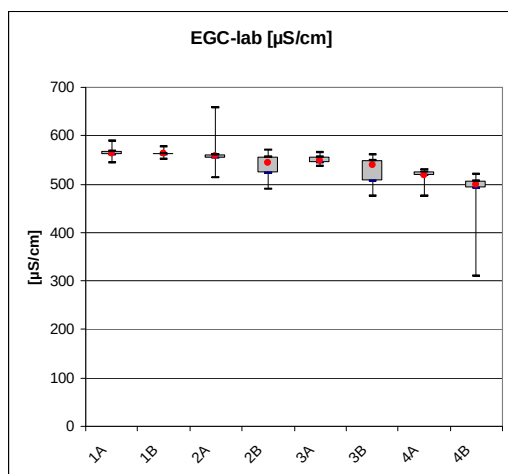
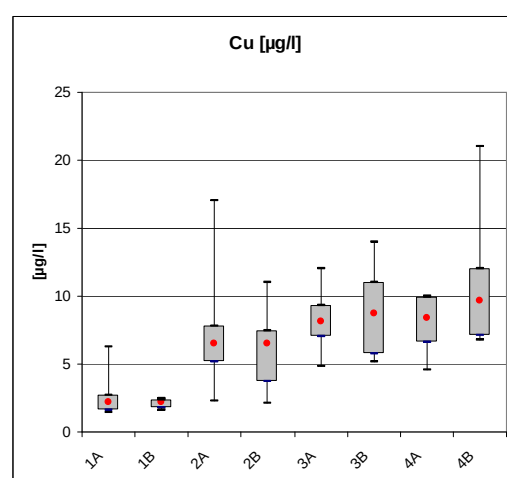
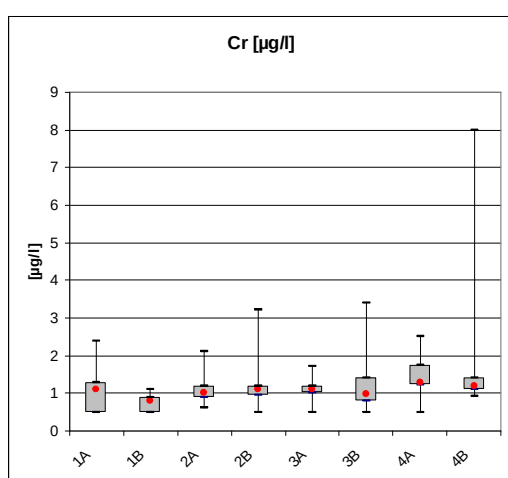
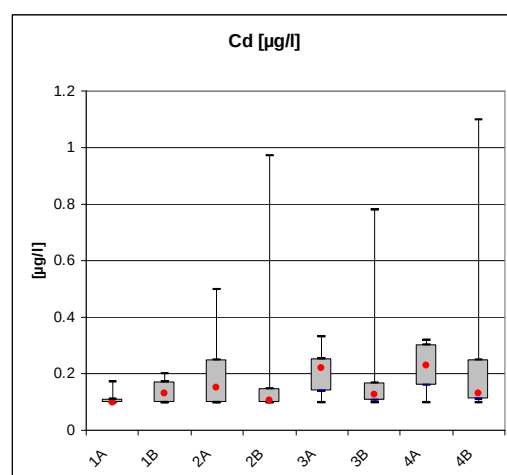
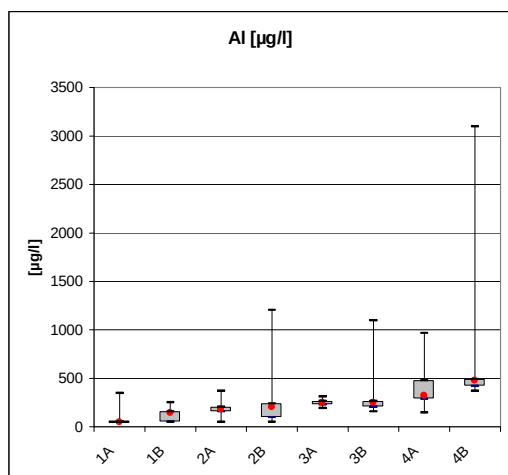




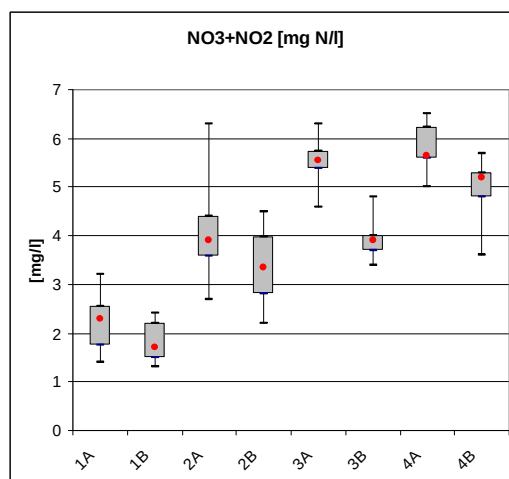
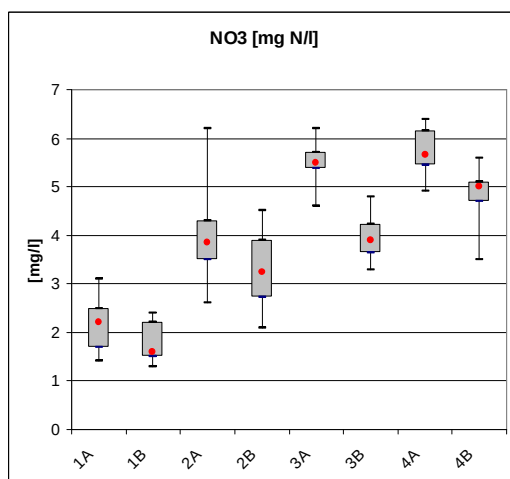
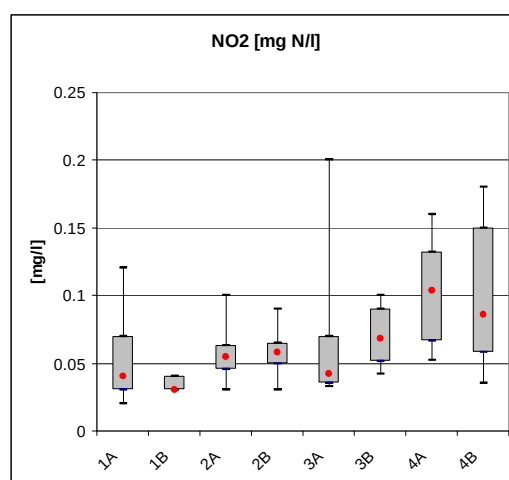
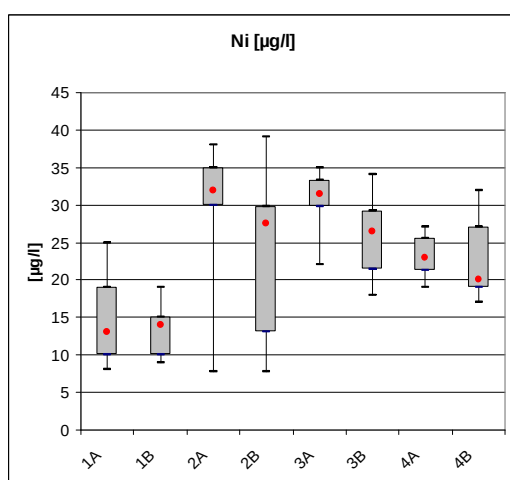
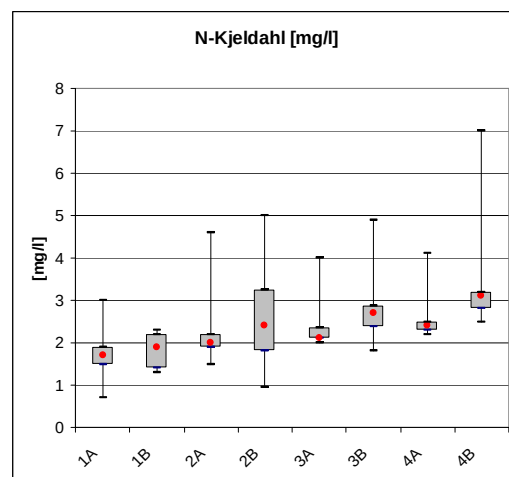
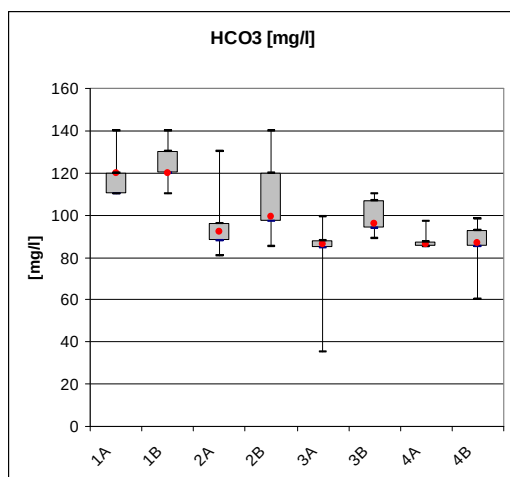




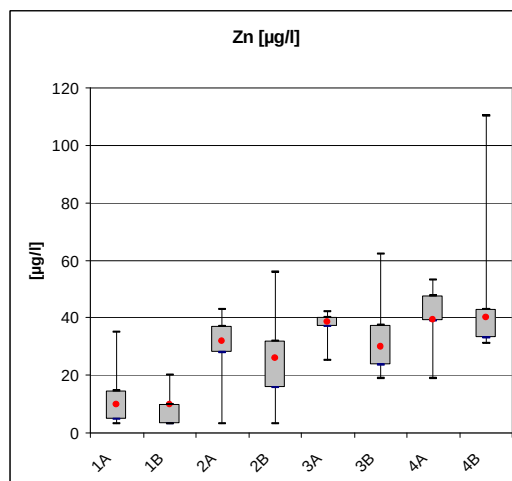
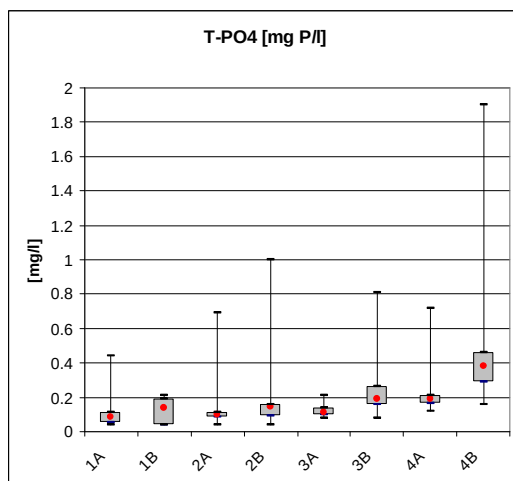
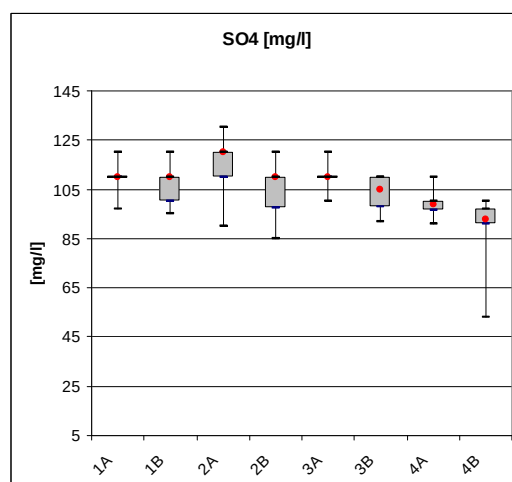
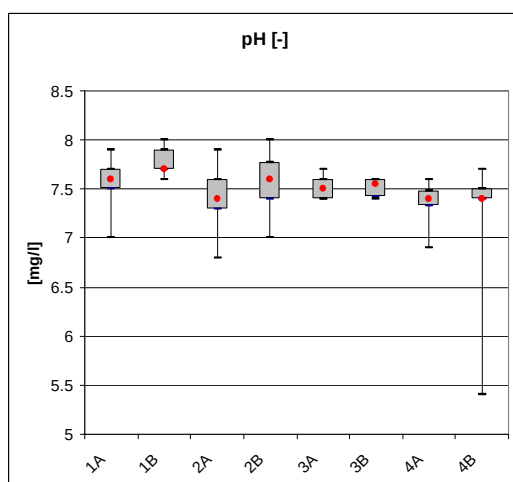
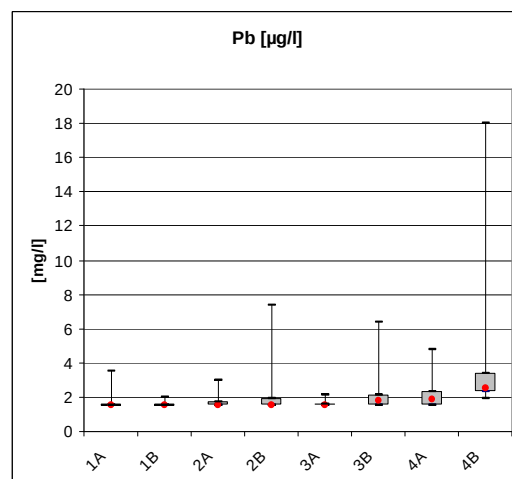
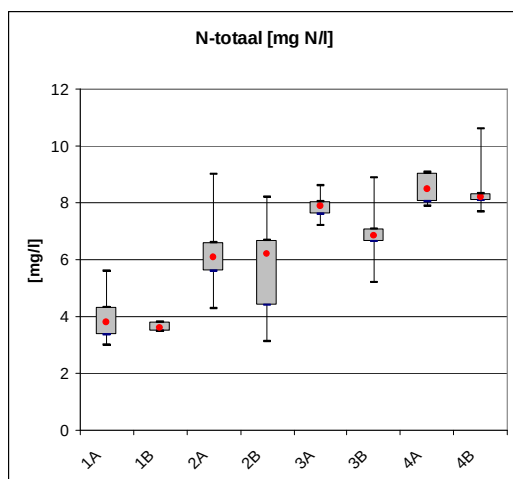
Bijlage 5: Box-Whisker plots waterkwaliteit versus grootte afvoer en % snelle afvoer



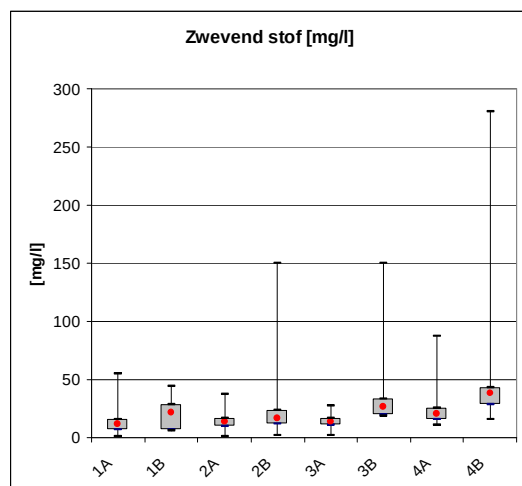
1a	Afvoer 0 - 0.2 m3/sec, snelle afvoer < 30%
1b	Afvoer 0 - 0.2 m3/sec, snelle afvoer > 30%
2a	Afvoer 0.2 - 0.4 m3/sec, snelle afvoer < 30%
2b	Afvoer 0.2 - 0.4 m3/sec, snelle afvoer > 30%
3a	Afvoer 0.4 - 0.6 m3/sec, snelle afvoer < 30%
3b	Afvoer 0.4 - 0.6 m3/sec, snelle afvoer > 30%
4a	Afvoer > 0.6 m3/sec, snelle afvoer < 30%
4b	Afvoer > 0.6 m3/sec, snelle afvoer > 30%



1a	Afvoer 0 - 0.2 m ³ /sec, snelle afvoer < 30%
1b	Afvoer 0 - 0.2 m ³ /sec, snelle afvoer > 30%
2a	Afvoer 0.2 - 0.4 m ³ /sec, snelle afvoer < 30%
2b	Afvoer 0.2 - 0.4 m ³ /sec, snelle afvoer > 30%
3a	Afvoer 0.4 - 0.6 m ³ /sec, snelle afvoer < 30%
3b	Afvoer 0.4 - 0.6 m ³ /sec, snelle afvoer > 30%
4a	Afvoer > 0.6 m ³ /sec, snelle afvoer < 30%
4b	Afvoer > 0.6 m ³ /sec, snelle afvoer > 30%



1a	Afvoer 0 - 0.2 m3/sec, snelle afvoer < 30%
1b	Afvoer 0 - 0.2 m3/sec, snelle afvoer > 30%
2a	Afvoer 0.2 - 0.4 m3/sec, snelle afvoer < 30%
2b	Afvoer 0.2 - 0.4 m3/sec, snelle afvoer > 30%
3a	Afvoer 0.4 - 0.6 m3/sec, snelle afvoer < 30%
3b	Afvoer 0.4 - 0.6 m3/sec, snelle afvoer > 30%
4a	Afvoer > 0.6 m3/sec, snelle afvoer < 30%
4b	Afvoer > 0.6 m3/sec, snelle afvoer > 30%



colofon

Interactie grondwater-oppervlaktewater Hooge Raam

opdrachtgever

Waterschap Aa en Maas

status

Definitief

auteurs

Andries Krikken, Floris Verhagen (Royal Haskoning)
Geert van Mill, Ronald Wolters (WS Aa en Maas)

gecontroleerd door

-

vrijgegeven door

-

's-Hertogenbosch, 16 oktober 2008

Waterschap Aa en Maas
Pettelaarpark 70
5216 PP 's-Hertogenbosch
tel 073 615 66 66
fax 073 615 66 00

info@aaenmaas.nl
www.aaenmaas.nl

© waterschap Aa en Maas. Alle rechten voorbehouden