



# Gebiedsanalyse buitenpand Wilhelminakanaal

**Deel 2:  
Zwevend stofkwaliteit 2000-2001**

**RIZA werkdocument 2002.033X**

Project nr 6100.010.33

Dordrecht, januari 2002

Auteurs: R.M. Kouer, ir. D. Ludikhuize  
en dr. J.J.G. Zwolsman  
(RIZA-WST)

---

# Inhoudsopgave

---

## Inhoudsopgave 2

## Samenvatting 3

### 1 Inleiding 4

#### 1.1 Doelstelling onderzoek 4

### 2 Gebiedsbeschrijving 5

### 3 Opzet onderzoek 6

### 4 Probleemstoffen (zwevend stof) 7

### 5 Klassenindeling waterbodem 9

### 6 Vergelijking zwevend stofkwaliteit buitenpand-Wilhelminakanaal - WHK en Maas 11

### 7 Trend bij MTR-overschrijdende stoffen in de Maas 14

### 8 Beschrijving zwevend stoftransport 16

#### 8.1 Wilhelminakanaal 16

#### 8.2 Donge 17

#### 8.3 Markkanaal 17

### 9 Conclusies 21

### Literatuur 22

Foto voorblad: Buitenpand Wilhelminakanaal met brug  
in de A59 (meetlocatie 100.002) (bron: Meetkundige Dienst)

In dit werkdocument worden de resultaten van zwevend stof bemonsteringen beschreven die zijn uitgevoerd in de periode mei 2000 t/m april 2001. Het onderzoek richt zich op een locatie in het buitenpand van het Wilhelminakanaal (WHK), waarbij de gegevens worden vergeleken met die van bemonsteringen op een bovenstrooms gelegen referentiepunt in het WHK en een locatie in de Bergsche Maas (Keizersveer). De conclusie van het onderzoek is dat de zwevend stofkwaliteit in het buitenpand niet aan de normen blijkt te voldoen:

**Het MTR wordt overschreden door cadmium, koper, nikkel, zink, PCB's, DDD, DDE en BAA.**

De in deel 1 van deze studie (lit. 8) gedane uitspraken ten aanzien van de kwaliteit van het zwevend stof worden nu aan de hand van gemeten waarden grotendeels bevestigd, onderbouwd en aangevuld.

De gemeten waarden liggen veelal wat lager dan de eerder berekende maar het daardoor verkregen beeld van de nieuw gevormde waterbodem blijft ongewijzigd. Uit de metingen blijkt dat:

**Sedimentatie van zwevend stof in het buitenpand leidt tot een klasse 4 waterbodem door zink en (mogelijk) cadmium, een klasse 3 bodem door nikkel en klasse 2 door koper, kwik, PCB's en PAK's.**

Voor het gehalte in het buitenpand van cadmium, kwik, nikkel en zink is de aanvoer vanuit het WHK grotendeels bepalend. PCB's, HCB en in iets mindere mate lood zijn voornamelijk afkomstig uit de Maas.

In het buitenpand worden hoge chroomconcentraties gemeten; deze kunnen veroorzaakt worden door opwerveling van oud slib door de scheepvaart.

---

# 1 Inleiding

---

In overeenstemming met NW4 wordt door Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant gewerkt aan realisatie van de waterkwaliteitsdoelstellingen. Om een verdere kwaliteitsverbetering tot stand te brengen is een EmissieBeheersings-Plan (EBP) opgesteld. Hierbij wordt een gebieds- en functiegerichte aanpak gevolgd. De meeste puntbronnen zijn in de afgelopen jaren aanzienlijk gereduceerd. De nadruk wordt nu gelegd op de aanpak van diffuse bronnen. Er zal moeten worden aangegeven tot welk niveau de nog aanwezige bronnen gesaneerd dienen te worden om aan de doelstellingen te voldoen. Er is inmiddels een aantal studies uitgevoerd naar de *waterkwaliteit* van het WHK, meestal in het kader van ruimer onderzoek aangaande het totale stelsel van waterwegen in de provincie Noord-Brabant met de daarbij behorende aanvoerwegen (lit. 1 t/m 7). De waterkwaliteit van het *buitenpand* van het WHK, waarvan Rijkswaterstaat de beheerder is, is in deel 1 van de gebiedsanalyse die door het RIZA is uitgevoerd (lit. 8), in beeld gebracht. Het buitenpand wordt niet alleen gevoed door het WHK, maar staat tevens in open verbinding met de Maas. In voornoemd deel 1 is de kwaliteit van het zwevend stof in het buitenpand en de klasse van de daardoor gevormde waterbodem afgeleid uit de waterkwaliteitsmetingen. De daaraan verbonden conclusies waren daarom slechts indicatief. In het voorliggende werkdocument worden eerdere conclusies getoetst en onderbouwd aan de hand van zwevend stofbemonsteringen die gedurende één jaar hebben plaatsgevonden. Hierdoor wordt een betrouwbaar beeld geschetst van de huidige situatie in het buitenpand van het WHK.

## 1.1 Doelstelling onderzoek

Rijkswaterstaat heeft op dit moment onvoldoende inzicht in de invloed van de huidige (diffuse) bronnen op de water(bodem)kwaliteitsdoelstellingen. Er kan niet worden aangegeven tot welk niveau deze bronnen gesaneerd moeten worden om aan de doelstellingen te voldoen. De beheerder wil, op grond van voldoende gebiedskennis, keuzes kunnen maken om effectieve maatregelen (hoogste milieurendement) te nemen. Doel van de beheerder is om, aan de hand van de meest problematische stoffen, de belangrijkste bronnen van verontreiniging op te sporen en daarvoor maatregelen te formuleren. In dat licht bezien heeft het voorliggende onderzoek de volgende doelstellingen:

- Benoemen van de probleemstoffen in het buitenpand.
- Schatten van de kwaliteit van de waterbodem bij ongewijzigd beleid.

Dit onderzoek levert de benodigde basisinformatie voor het waterkwaliteitsbeleid van Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant. De conclusies en aanbevelingen uit dit werkdocument zullen worden gebruikt bij het uitvoeren en prioriteren van maatregelen uit het EBP.

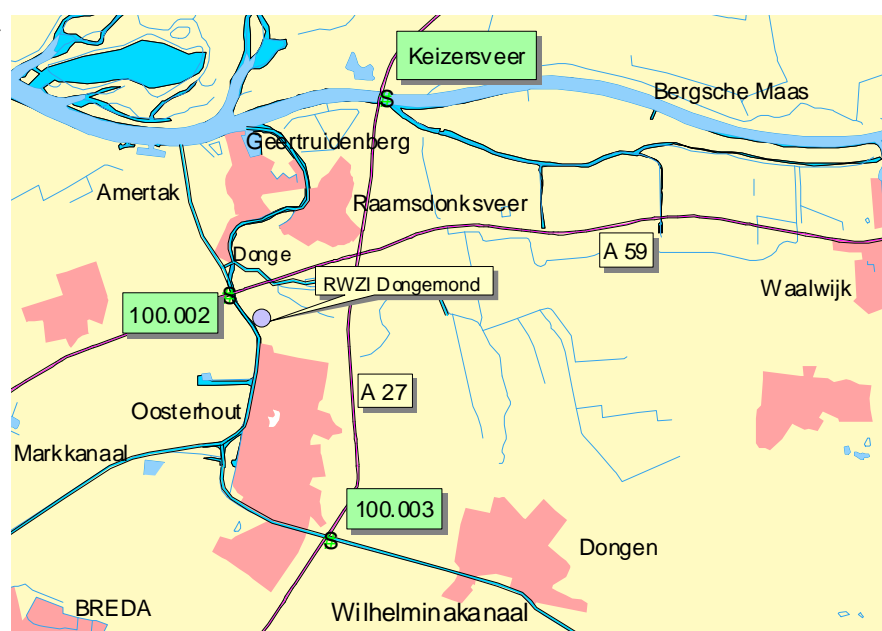
## 2 Gebiedsbeschrijving

In 1905 werd bij wet tot de aanleg van het WHK besloten. Het eerste tracé van Geertruidenberg naar Oosterhout werd in 1912 geopend. In 1915 kwam de verbinding met Breda via het Markkanaal gereed. In 1919 vond de opening plaats van de eerste los- en laadplaats in Tilburg. In 1923 was de hele verbinding gereed met ook de aansluiting tussen Tilburg en de Zuid-Willemsvaart. De totale lengte van het kanaal bedraagt 68 km. Er zijn 5 sluizen in opgenomen. Behalve voor de scheepvaart vervult het WHK een belangrijke functie voor de waterhuishouding.

De Amertak, geschikt voor schepen met een diepgang tot 3 meter, is een nieuwe kanaaltak (1994) ten westen van Geertruidenberg; deze is aangelegd om de nautische beperkingen bij Geertruidenberg op te heffen in de scheepvaartverbinding Breda/Oosterhout/Tilburg/Amer.

Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant is de waterkwaliteitsbeheerder van het *buitenpand* van het WHK, de Donge en de Amertak. Het onderhavige onderzoek richt zich op het buitenpand en twee referentiepunten, gelegen in het WHK en de Maas (figuur 2.1). Het overige water in de provincie Noord-Brabant wordt beheerd door een viertal waterschappen, namelijk De Dommel, De Maaskant en De Aa en het Hoogheemraadschap van West-Brabant (HWB).

**Figuur 2.1** Ligging van de beschouwde meetlocatie 100.002 (buitenpand) en de referentielocaties 100.003 (WHK) en Keizersveer (Maas).



### 3 Opzet onderzoek

---

Ten behoeve van dit onderzoek is een meetplan opgesteld waarbij door de meetdienst van Rijkswaterstaat, directie Zuid-Holland, zwevend stofbemonsteringen zijn uitgevoerd op de locaties 100.002 en 100.003. Meetpunt 100.002 bevindt zich in het buitenpand van het WHK ter hoogte van de brug in de rijksweg A59. Het meetpunt 100.003 ligt enkele kilometers stroomopwaarts in het WHK zelf bij de brug in de rijksweg A27 (figuur 2.1). Dit laatste punt is benut als referentiepunt om aan te kunnen geven in welke mate het buitenpand wordt beïnvloed door het WHK. Het tweede referentiepunt, gekozen om de beïnvloeding van het buitenpand door de Maas aan te geven, is het meetpunt Keizersveer (figuur 2.1). Deze locatie maakt deel uit van het landelijke meetnet van Rijkswaterstaat. De analyseresultaten van de metingen staan vermeld in bijlage 1. De gemeten parameters zijn hierbij in de volgende groepen ingedeeld: algemene parameters, arseen en zware metalen, PCB's, OCB's en PAK's. Een verklaring van de gehanteerde stofnaamafkortingen treft men aan in bijlage 2. De huidige kwaliteit van het zwevend stof op de meetpunten 100.002, 100.003 en Keizersveer is getoetst aan het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) om te bepalen welke stoffen in het WHK en het buitenpand kunnen worden aangemerkt als (potentiële) probleemstof (bijlage 3). Er van uit gaande dat de huidige zwevend stofkwaliteit na sedimentatie de toekomstige bodemkwaliteit wordt, is aan de hand van die kwaliteit een klassenindeling voor de waterbodem gemaakt. Hiermee wordt een indicatief beeld verkregen van de toekomstige waterbodemkwaliteit bij ongewijzigd beleid. Een schematisch overzicht van de gevolgde werkwijze wordt weergegeven in bijlage 4.

*Figuur 3.1* Splittingspunt buitenpand Wilhelminakanaal (onder), Kanaal naar de Amer (Amertak) (links) en Noordergat/Donge (rechts). (Bron: Meetkundige Dienst).



## 4 Probleemstoffen (zwevend stof)

In deel 1 van deze studie zijn de probleemstoffen aan de hand van de gemeten waterkwaliteit benoemd. Probleem hierbij was dat de toetsing van organische microverontreinigingen aan het MTR veel minder "hard" is dan die voor zware metalen. De reden hiervoor is dat de meetwaarden vrijwel altijd in de buurt van of onder de detectielimieten liggen en dus dubieus zijn. Het toetsresultaat voor deze stoffen was daarom op zijn best indicatief.

In het onderhavige werkdocument worden de probleemstoffen benoemd aan de hand van MTR-overschrijding van het gehalte in het zwevend stof. Veel organische microverontreinigingen hechten sterk aan zwevend stof en zijn, indien aanwezig, in deze fase goed te meten.

Omdat er van uit gegaan wordt dat het huidige zwevend stof de nieuw te vormen waterbodem wordt, worden alle gemeten zwevend stofgehalten, alvorens te toetsen, omgerekend naar standaard waterbodem (10% organisch stof en 25% lutum).

Standaardisatie heeft plaatsgevonden volgens de formule:

$$C_{zs,standaard} = C_{zs,gemeten} \times (a + b \times 25 + c \times 10) / (a + b \times \% \text{lutum} + c \times \% \text{org. stof})$$

De waarden voor a, b en c staan vermeld in tabel 4.1 (lit. 9, pag. 142).

Tabel 4.1 a-, b- en c-waarden voor de omrekening naar standaard waterbodem.

	a	b	c
arseen	15	0,4	0,4
cadmium	0,4	0,007	0,021
chrom	50	2	0
koper	15	0,6	0,6
kwik	0,2	0,0034	0,0017
nikkel	10	1	0
lood	50	1	1
zink	50	3	1,5
organische micro's	0	0	1

Omrekening naar standaard waterbodem voor organische microverontreinigingen heeft alleen plaatsgevonden indien er op alle locaties minimaal twee metingen boven de detectielimiet aanwezig waren; voor metingen onder de detectielimiet is de halve detectielimiet gebruikt. De naar standaard waterbodem omgerekende gehalten zijn individueel aan het MTR getoetst. Alle parameters waarvoor een omrekening heeft plaatsgevonden staan vermeld in bijlage 3. Hierin treft men onder elkaar aan de naar standaard bodem omgerekende waarde en de aan het MTR uitgevoerde toetsing. Indien er op één van de meetlocaties een overschrijding van het MTR door een bepaalde stof plaatsvindt wordt deze stof als (mogelijke) probleemstof aangemerkt. De stoffen die op deze wijze als probleemstof beschouwd kunnen worden zijn:

- As (in het WHK > MTR);
- de metalen Cd (in het buitenpand > MTR en in het WHK altijd > MTR tot waarden van ruim > 2MTR), Cu (alle locaties > MTR), Ni (op alle locaties altijd > MTR waarbij in het WHK waarden van bijna 5MTR bereikt worden), Zn (alle locatie op één uitzondering na altijd > MTR met in het WHK waarden tot ruim 3MTR);
- PCB's (in het WHK wordt het MTR soms overschreden, vooral door PCB118 tot 2MTR; in het buitenpand voornamelijk PCB101, PCB138, PCB153 (tot 3MTR) en PCB180; in de Maas wordt het MTR vrijwel altijd overschreden tot waarden van meer dan 12MTR (PCB153));
- de som DDD (in geringe mate in de Maas en in het buitenpand), som DDE (vrijwel altijd: in het WHK net boven MTR, in het buitenpand 2MTR tot ruim 3MTR en in de Maas tot bijna 6MTR) en HCB (alleen in de Maas tot 6MTR);
- BAA (alle locaties: WHK net boven MTR, buitenpand 1,5MTR en de Maas ruim 3MTR), ANT en FEN overschrijden alleen in de Maas het MTR.

De herkomst van de hoge gehalten aan zware metalen in het WHK is deels bekend. Een grote bron van cadmium en zink is de rivier de Dommel, die water uit de Kempen afvoert dat vanwege historische activiteiten (zinksmelters) sterk verontreinigd is (lit. 2). Een mogelijke bron van arseen, nikkel en zink is uitloging vanuit landbouwgronden, waar door inzijging van nitraat (landbouw) in de bodem oxidatie kan optreden van pyrietafzettingen. Hierbij komen met name arseen, nikkel en zink vrij. Dit proces draagt waarschijnlijk bij aan de hoge metaalconcentraties in de West-Brabantse rivieren (lit. 7). In hoeverre ook het WHK door deze bron wordt belast is vooralsnog niet duidelijk. Bekende bronnen van koper zijn uitloging van waterleidingen en varkensmest.

*Figuur 4.1* Amertak in zuidelijke richting.



*Figuur 4.2* Amertak vanaf de Bergsche Maas.





## 5 Klassenindeling waterbodem

Van de als (mogelijke) probleemstoffen aangemerkte stoffen is een klassenindeling gemaakt voor waterbodems. Van de naar standaardbodem (bij 10% organisch stof en 25% lutum) omgerekende gehalten is op basis van de in tabel 5.1 vermelde criteria een klassenindeling van de waterbodem bepaald. Hierbij is er van uitgegaan dat de kwaliteit van de door sedimentatie gevormde bodem een gemiddelde is van de in de monsternameperiode gemeten waarden.

Tabel 5.1 Criteria klassenindeling waterbodem volgens NW4.

criterium	klasse
streefwaarde < waarde < grenswaarde	1
grenswaarde < waarde < toetsingswaarde	2
toetsingswaarde < waarde < interventiewaarde	3
waarde > interventiewaarde	4

De klassenindeling van de gemiddelde kwaliteit van de nieuw gevormde waterbodem staat vermeld in tabel 5.2. De eerder in deel 1 van deze studie getrokken conclusies m.b.t. de gevormde waterbodemkwaliteit worden hier volledig bevestigd.

Het zwevend stof van locatie 100.003 (WHK) leidt bij sedimentatie tot een klasse 4-bodem door cadmium en zink, klasse 3 door nikkel en klasse 2 door koper en kwik. Lood en arseen vallen in klasse 1, maar het arseengehalte ligt wel dicht in de buurt van de interventiewaarde (klasse 4).

Het zwevend stof van locatie 100.002 (buitenpand) resulteert bij sedimentatie in klasse 4 voor zink, klasse 3 voor cadmium en nikkel, klasse 2 voor koper en kwik en klasse 1 voor arseen, chroom en lood.

Binnengedrongen zwevend stof van de Maas (locatie Keizersveer) geeft bij bezinking voor zink klasse 4, voor nikkel 3, cadmium, koper en kwik 2 en chroom en lood 1.

Door sedimenterend zwevend stof wordt voor de som 7PCB's uit het materiaal van de Maas een klasse 2-bodem gevormd, in het buitenpand klasse 1 en in het WHK klasse 0.

Voor HCB geldt: vanuit de Maas klasse 2, de beide andere locaties klasse 1. PAK's vormen altijd klasse 2.

De som DDT, DDD en DDE geeft geen enkele overschrijding van de streefwaarde hetgeen in een klasse 0 resulteert.

**Tabel 5.2.1** Naar standaardbodem omgerekende kwaliteit van het zwevend stof per locatie (gemiddeld over de monsternamperiodes mei 2000 t/m april 2001) met de daarbij behorende waterbodemklassenindeling; zware metalen.

	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Zn [mg/kg]
<b>kwaliteit standaardbodem:</b>								
100.002 (buitenpand)	31	11	196	81	1,0	101	120	1.221
100.003 (WHK)	47	21	82	69	1,4	96	179	1.648
Keizersveer (Bergsche Maas)		4,2	129	77	0,7	140	92	851
<b>streefwaarde</b>	<b>29</b>	<b>0,8</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>0,3</b>	<b>85</b>	<b>35</b>	<b>140</b>
<b>grenswaarde</b>	<b>55</b>	<b>2</b>	<b>380</b>	<b>36</b>	<b>0,5</b>	<b>530</b>	<b>35</b>	<b>480</b>
<b>toetsingswaarde</b>	<b>55</b>	<b>7,5</b>	<b>380</b>	<b>90</b>	<b>1,6</b>	<b>530</b>	<b>45</b>	<b>720</b>
<b>interventiewaarde</b>	<b>55</b>	<b>12</b>	<b>380</b>	<b>190</b>	<b>10</b>	<b>530</b>	<b>210</b>	<b>720</b>
<b>klassenindeling:</b>								
100.002 (buitenpand)	1	3	1	2	2	1	3	4
100.003 (WHK)	1	4	0	2	2	1	3	4
Keizersveer (Bergsche Maas)		2	1	2	2	1	3	4

**Tabel 5.2.2** Naar standaardbodem omgerekende kwaliteit van het zwevend stof per locatie (gemiddeld over de monsternamperiodes mei 2000 t/m april 2001) met de daarbij behorende waterbodemklassenindeling; organische microverontreinigingen.

	PCB28 µg/kg	PCB52 µg/kg	PCB101 µg/kg	PCB118 µg/kg	PCB138 µg/kg	PCB153 µg/kg	PCB180 µg/kg	som 7-PCB µg/kg	som DDT/D/E µg/kg	HCB µg/kg	som 10-PAK µg/kg
<b>kwaliteit standaardbodem:</b>											
100.002 (buitenpand)	2,5	2,4	5,5	2,9	6,0	7,6	5,2	32	5,5	1,8	3,9
100.003 (WHK)	1,6	1,6	3,3	2,1	4,1	4,6	2,9	20	3,8	1,5	3,5
Keizersveer (Bergsche Maas)	4,6	4,9	12,3	6,5	21,4	26,1	21,0	97	8,2	10,2	5,7
<b>streefwaarde</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>20*</b>	<b>10</b>	<b>0,05</b>	<b>1</b>
<b>grenswaarde</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
<b>toetsingswaarde</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
<b>interventiewaarde</b>								<b>1.000</b>	<b>4.000</b>	<b>999</b>	<b>40</b>
<b>klassenindeling:</b>											
100.002 (buitenpand)	1	1	2	0	2	2	2	1	0	1	2
100.003 (WHK)	1	1	0	0	2	2	0	0	0	1	2
Keizersveer (Bergsche Maas)	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2

\* streefwaarde geldt voor de som zonder PCB118.

---

## 6 Vergelijking zwevend stofkwaliteit buitenpand-Wilhelminakanaal - WHK en Maas

---

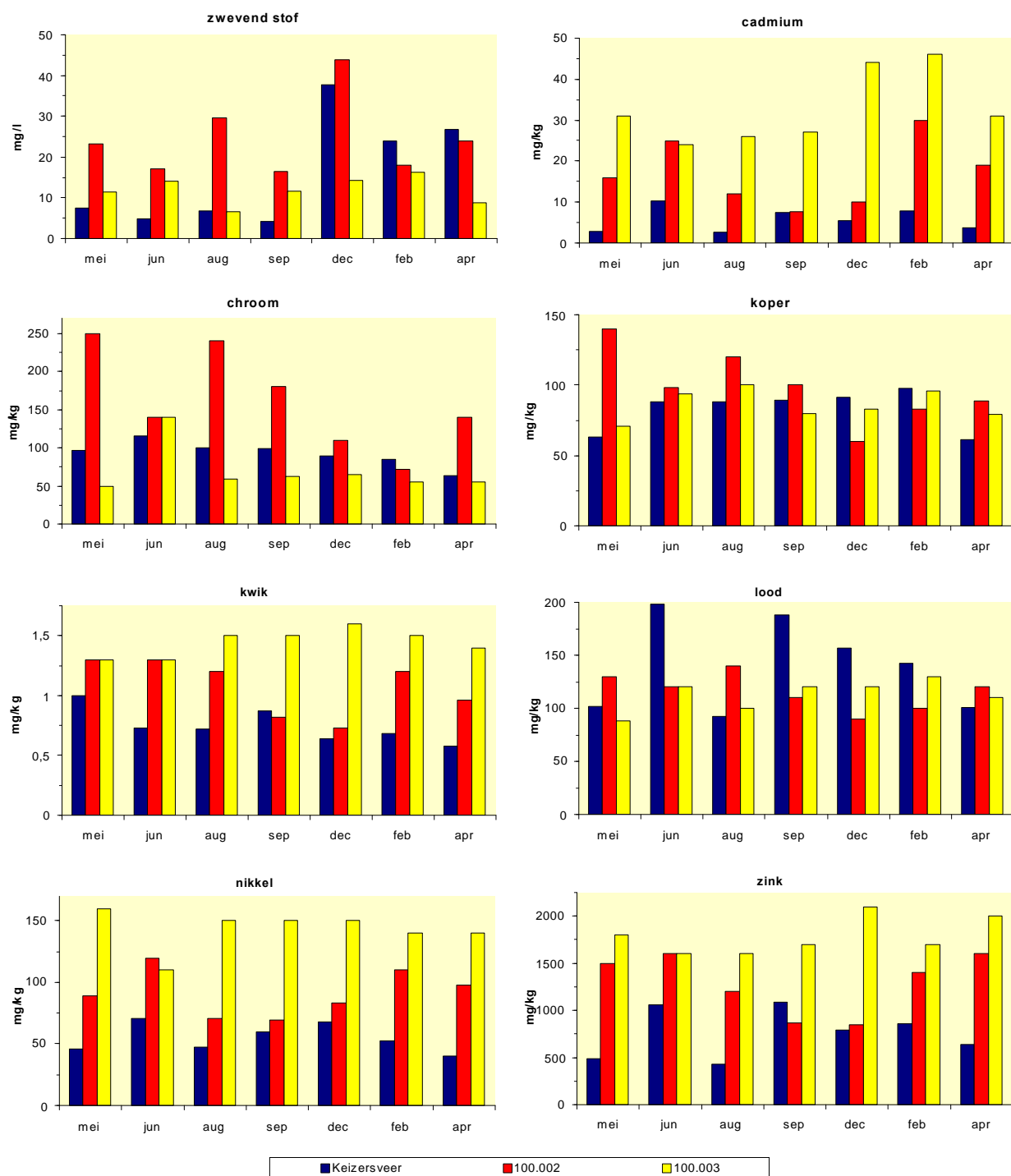
In figuur 6.1 wordt het verband tussen het gemeten gehalte in het buitenpand met enerzijds het gemeten gehalte in het WHK en anderzijds het gemeten gehalte in de Maas over de beschouwde periode duidelijk gemaakt. Het gehalte in het buitenpand wordt zowel door het gehalte in het WHK als dat van de Maas beïnvloed (lit. 8). Meestal houdt het gehalte in het buitenpand dan ook het midden tussen het gehalte van het WHK en dat van de Maas, zie bijv. cadmium.

Opmerkelijk is *de hoge concentratie zwevend stof in het buitenpand* in vergelijking met die van het WHK en de Maas. Alleen in de winterperiode lijkt deze enigermate beïnvloed te zijn vanuit de Maas maar verder *kan alleen de scheepvaart een verklaring vormen*. Bij de verdere beschouwing kan het beeld hierdoor enigermate vertekend worden omdat de gemeten gehalten mogelijk beïnvloed zijn door opwerveling van de in het verleden gevormde bodem.

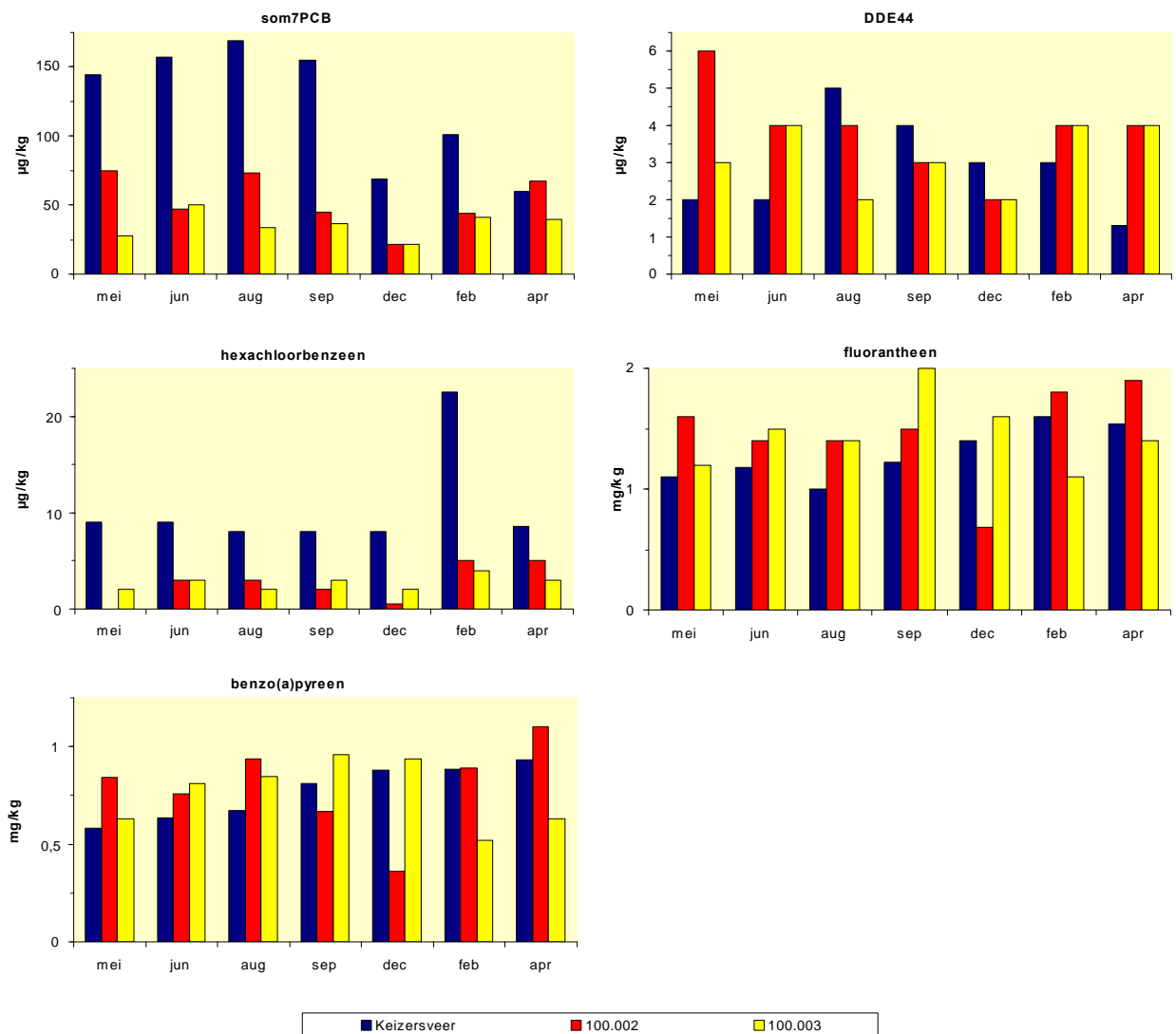
*Overduidelijk is evenwel dat de aanvoer van cadmium, kwik, nikkel en zink vanuit het WHK grotendeels bepalend is voor het gehalte in het buitenpand. PCB's, HCB en in iets mindere mate lood zijn voornamelijk afkomstig uit de Maas.*

*De hoge chroomconcentraties (t/m 1998) deden vermoeden dat deze afkomstig zouden zijn van een locale (gesaneerde) bron (lit. 8). Bij de recente zwevend stofbemonsteringen zijn in het buitenpand echter weer veel hogere concentraties gemeten dan op de beide referentielocaties. Deze hoge concentraties kunnen mogelijk verklaard worden door de reeds eerder genoemde opwerveling van oud materiaal door de scheepvaart; de hogere concentraties treden namelijk op als ook de concentratie van het zwevend stof in het buitenpand hoger is dan op de beide andere locaties. Dit zelfde fenomeen wordt, met uitzondering van de metingen in december en februari, eveneens bij koper waargenomen.*

**Figuur 6.1** Gemeten zwevend stofkwaliteit Keizersveer (Maas), locatie 100.002 (buitenpand) en 100.003 (WHK).



**Figuur 6.1** (vervolg) Gemeten zwevend stofkwaliteit Keizersveer (Maas), locatie 100.002 (buitenpand) en 100.003 (WHK).



---

## 7 Trend bij MTR-overschrijdende stoffen in de Maas

---

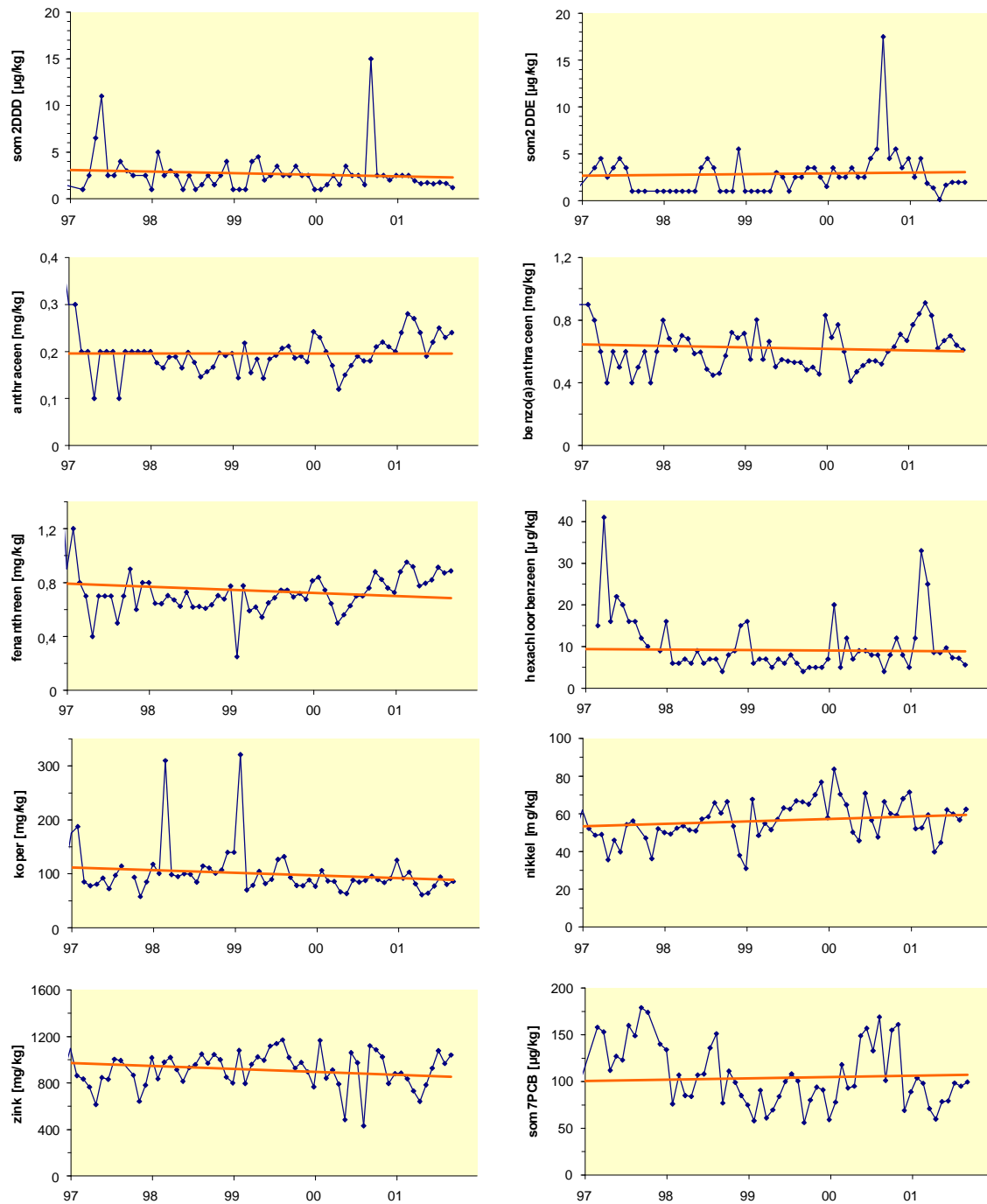
Van alle stoffen die bij de locatie Keizersveer het MTR overschrijden (bijlage 3) wordt in figuur 7.1 een tijdreeks van de gemeten waarden over de afgelopen 5 jaar gepresenteerd. In elke grafiek wordt eveneens de trend weergegeven. Het is duidelijk dat, als er al een trend waarneembaar is, deze slechts marginaal is en bij geen enkele stof invloed heeft op de in dit werkdocument getrokken conclusies. Ook de positieve trend bij nikkel zal niet leiden tot een hogere bodemklassenindeling. Daar is immers een ruime verdubbeling van de huidige gehalten voor nodig (zie tabel 5.2.1). Wel kan de dalende trend bij zink, indien deze zich blijft voortzetten, op langere termijn een verschuiving van klasse 4 naar klasse 2 teweegbrengen. Dit betekent evenwel niet dat deze bodemklasse ook daadwerkelijk in het buitenpand zal ontstaan aangezien de aanvoer van dit metaal grotendeels vanuit het WHK geschiedt en de gehalten daar ver boven de interventiewaarde liggen (zie tabel 5.2.1).

---

*Figuur 7.1 Aansluiting Amertak op Bergsche Maas (richting Keizersveer).*



Figuur 7.2 Trend bij MTR-overschrijdende stoffen in de Maas (Keizersveer).



---

## 8 Beschrijving zwevend stoftransport

---

Uit het voorgaande is gebleken dat het zwevend stofgehalte in het buitenpand van het WHK groter is dan in de aantakende wateren: de Amer (Maas) en het WHK. Daarnaast blijkt vooral het gehalte chroom in het buitenpand hoger dan op de Maas en het WHK. De vraag is in hoeverre de bovenstaande constatering verklaard kunnen worden door het zwevend stoftransport in het buitenpand.

Om een goede verklaring te kunnen geven voor de kwaliteit van het zwevend stof in het buitenpand is het noodzakelijk om inzicht te hebben in het transport van zwevend stof. In deze paragraaf is dit in beschrijvende zin uitgewerkt; een eenduidige kwantificering van het transport kan op basis van de huidige gegevens niet worden gegeven.

Bij de beschrijving van het zwevend stoftransport spelen een aantal zaken een rol:

1. De waterbeweging onder invloed van waterafvoer c.q. aanvoer door het buitenpand.
2. Het (schijn)getij vanuit de Amer.
3. De sedimentatie van zwevend stof in situaties met geringe stroomsnelheden.
4. De erosie/resuspensie van zwevend stof onder invloed van stroming, wind of scheepvaart.
5. De kwaliteit van het aangevoerde zwevend stof en de waterbodem van het buitenpand.

### *ad 1) waterbeweging door afvoer*

De waterbeweging in het buitenpand wordt bepaald door de aanvoer en afvoer van water vanuit de volgende watersystemen:

- het WHK,
- de Donge,
- het Mark/Dintel-watersysteem.

Daarnaast speelt het getij een rol in de waterbeweging (zie ad 2).

### **8.1 Wilhelminakanaal**

Vanuit het WHK wordt gemiddeld ongeveer 2 à 3 m<sup>3</sup>/s aangevoerd naar het buitenpand. Dit debiet kan in nattere perioden oplopen tot 40 m<sup>3</sup>/s. In extreem droge situaties wordt er water vanuit het buitenpand teruggepompt naar het WHK (ongeveer 1 m<sup>3</sup>/s) ter compensatie van schutverliezen van de schutsluis tussen het buitenpand en het WHK.



---

## 8.2 Donge

De Amertak van het buitenpand (ten noorden van de A59) is gegraven in 1994. Daarvoor was het buitenpand via de Donge, door Geertruidenberg, aangesloten op de Amer. Deze oude tak via Geertruidenberg staat nog steeds in open verbinding met het buitenpand. Het water uit het WHK wordt zowel via de Amertak als door de Dongetak afgevoerd. De Donge zelf is afgedamd.

## 8.3 Markkanaal

Via de Markduiker kan water vanuit het buitenpand worden ingelaten naar het Markkanaal (Mark/Dintel-watersysteem). In principe wordt deze inlaat alleen gebruikt in de droge perioden van het jaar als er vanuit de bovenstroomse beken van het Mark/Dintel-systeem onvoldoende water wordt aangevoerd. De maximale inlaatcapaciteit is ongeveer  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , het jaargemiddelde inlaatdebiet is geringer dan  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat het jaargemiddelde debiet in het deel van het buitenpand tot de Amertak ongeveer 2 tot  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  bedraagt. Hier komt nog  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  bij vanuit de RWZI Dongemond bij Oosterhout. Uitgaande van de afmetingen van het kanaal (dwarsdoorsnede ongeveer 170 tot  $200 \text{ m}^2$ ) is het niet te verwachten dat er onder invloed van de aanvoer dan wel afvoer van water hoge stroomsnelheden kunnen ontstaan. Gemiddeld over het jaar liggen de stroomsnelheden in de orde van 0,01 tot 0,02 m/s, in nattere perioden kan dit oplopen tot ongeveer 0,1 m/s en het maximum is ongeveer 0,25 m/s.

### *ad 2) waterbeweging door getij*

Onder invloed van het (schijn)getij op de Amer treedt een uitwisseling van water tussen de Amer en het buitenpand op. De amplitude van het getij is gecorreleerd met het debiet van de Maas c.q. de Rijn. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de afvoer van rivierwater wordt gereguleerd via de Haringvlietsluizen. Tijdens vloed kan er niet worden gespuid, zodat dan de waterstand in het Haringvliet/Hollandsch Diep en dus ook de hierop aantakende wateren oploopt; bij eb wordt gespuid en neemt de waterstand weer af. In het geval van een toename van de rivierafvoer neemt de amplitude van de waterstandsvariatie (getijslag) op het Haringvliet/Hollandsch Diep dus toe. De variatie van de gemiddelde waterstand is niet lineair afhankelijk van het Maasdebiet, dit heeft te maken met de besturing van de Haringvlietsluizen en de afvoerdeling over het Noordelijk Deltabekken. Bij een hogere rivierafvoer op de Maas is er ook meer zwevend stof aanwezig. De samenstelling van het zwevend stof varieert, waardoor het zwevend stof (gemiddeld) bij hogere afvoeren een andere samenstelling heeft dan bij lagere afvoeren. De gegevens over getij en zwevend stof bij verschillende Maasafvoeren zijn gepresenteerd in tabel 8.1.

Tabel 8.1 Gegevens van getij en zwevend stof in de Amer bij verschillende Maasafvoeren.

omschrijving	Maasafvoer [m <sup>3</sup> /s]	gemiddelde waterstand [m NAP]	getijslag Amer [m]	gehalte zwevend stof [mg/l]	valsnelheid zwevend stof [m/dag]	frequentie afvoeren [%]
lage afvoer	50	0,3	0,25	15	0,5	30
gemiddelde afvoer	250	0,5	0,3	20	1	50
hoge afvoer	500	0,4	0,6	50	2	15
extreme afvoer	1.000	0,7	0,8	100	5	5

Uit de gegevens in de bovenstaande tabel kan worden afgeleid dat de gemiddelde waterstand in de Amer en het buitenpand rond de NAP +0.4 m ligt. De getijslag ligt normaliter rond de 0,3 m, alleen bij hogere rivierafvoeren ligt de getijslag beduidend hoger. Gezien het feit dat de lengte van het buitenpand (ongeveer 8 km) gering is ten opzichte van de lengte van de getijgolf, mag worden aangenomen dat de waterstand in het buitenpand vrijwel horizontaal is. De hoeveelheid water, die per getij in en uit het buitenpand wordt getransporteerd is afhankelijk van de getijslag en het wateroppervlak van het buitenpand. Het wateroppervlak van het buitenpand is ongeveer 800.000 m<sup>2</sup>. Uitgaande van een sinusvormige getijkromme zijn de maximale vul- en ledigdebieten bij de gemiddelde getijslag ongeveer 17 m<sup>3</sup>/s en bij de maximale getijslag ongeveer 45 m<sup>3</sup>/s. De maximale snelheden onder invloed van het getij, welke optreden aan het begin van het buitenpand bij de Amer, zijn in de orde van 0,10 m/s (gemiddelde getijslag) tot 0,30 m/s (maximale getijslag). De snelheden onder invloed van het getij nemen af met de afstand tot de Amer; achter in het buitenpand, bij de schutsluis naar het WHK zijn de getijsnelheden per definitie 0 m/s.

### ad 3) sedimentatie van zwevend stof

Sedimentatie van zwevend stof treedt op in situaties met weinig turbulentie in het oppervlaktewater. Dit betekent in dit kanaalsysteem dat sedimentatie optreedt in situaties met geringe stroomsnelheden. De stroomsnelheid waarbij sedimentatie optreedt varieert van ongeveer 0,7 m/s voor fijn zand, ongeveer 0,5 m/s voor geflocculeerd slib tot ongeveer 0,25 m/s voor de zeer fijne slibfractie. Gezien de hierboven gegeven stroomsnelheden is het dan ook de verwachting dat er gedurende vrijwel het gehele jaar sedimentatie van slib zal optreden over het gehele buitenpand. Alleen in de monding van het buitenpand bij de Amer kan bij maximum vloed- en ebstroming de sedimentatie van de fijnere slibfractie waarschijnlijk niet meer optreden. Daarnaast is het niet waarschijnlijk dat er sedimentatie in het buitenpand optreedt bij extreme afvoer vanuit het WHK.

De sedimentatie in het buitenpand is onder gemiddelde omstandigheden te schatten op basis van het gemiddelde gehalte in het buitenpand en de valsnelheid. Uitgaande van het gemiddelde gehalte van 15 mg/l tot 20 mg/l en een valsnelheid van orde 0,5 tot 1 m/dag ligt de sedimentatie in het grootste deel van het buitenpand op ongeveer 3 tot 6 kg/m<sup>2</sup>/jaar (dikte van orde 0,01 m/j); alleen in de monding van het buitenpand ligt de sedimentatie waarschijnlijk in de orde van 12 kg/m<sup>2</sup>/j (orde 0,03 m/j), vanwege de invloed van de hogere concentraties zwevend stof tijdens afvoergolven van de Maas.

#### ad 4) erosie/resuspensie

Erosie van bodemmateriaal vindt plaats bij het overschrijden van een bepaalde kritische bodemschuifspanning, welke wordt veroorzaakt door stroming en/of golven. Resuspensie in de waterkolom vindt plaats onder invloed van turbulentie, zowel door stroming als door golven. In de situatie van het buitenpand is de stroming dusdanig gering dat er ten gevolge van de aanvoer of afvoer van water dan wel door het getij geen erosie van bodemmateriaal kan optreden. Ook de effecten van windgedreven stroming of windgolven zijn veel te gering om erosie te kunnen veroorzaken. De enige andere mogelijkheid voor erosie/resuspensie is erosie door scheepvaart. Uitgaande van de door Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant opgegeven afmetingen van het buitenpand (200 m<sup>2</sup>: 4 m diep, 50 m breed), van een geladen (3 m diep) en een ongeladen (1,0 m diep) binnenvaartschip van 10 m breed is bij een vaarsnelheid van 15 km/uur de retourstroming in het kanaal bepaald en gepresenteerd in tabel 8.2. Deze retourstroming treedt op over het resterende kanaalprofiel; dit betekent dat, bij stroomsnelheden boven de kritische stroomsnelheid van erosie, over de gehele (onbeschermde) kanaalbodem erosie van bodemmateriaal kan optreden.

Tabel 8.2 Retourstroming rond ongeladen en geladen binnenvaartschip (10 m breed, 15 km/uur).

belading	oppervlak schip [m <sup>2</sup> ]	vaarsnelheid [m/s]	oppervlak kanaal resterend [m <sup>2</sup> ]	retourstroming [m/s]
ongeladen	10	4,2	190	0,22
geladen	30	4,2	170	0,73

Uitgaande van een enigszins geconsolideerde bodem is een stroomsnelheid van ongeveer 0,5 m/s voldoende om erosie van een slibachtige bodem te kunnen veroorzaken. In het geval van de passage van een geladen schip treedt er erosie van bodemmateriaal op door retourstroming. Daarnaast is bij een geladen schip de kielspeling dusdanig klein (orde 1 m) dat ook erosie door de schroefstraal mag worden verwacht; in het geval van een ongeladen schip is de kielspeling te groot (ruim 3 m) om nog enige erosie door de schroefstraal te verwachten. Op basis van gegevens over de scheepvaart is bekend dat er ongeveer 80 schepen per dag door het buitenpand varen (tussen de Amer en de haven Weststad); in het laatste deel van het buitenpand naar het WHK varen ongeveer 60 schepen per dag. Uitgaande van de aanname dat de helft van de schepen geladen is betekent dit dat er minimaal 30 geladen schepen per dag passeren. De erosiecapaciteit die deze schepen veroorzaken (alleen op basis van de retourstroming) volgt uit de passagetijd (orde 30 s per schip), de retourstroomsnelheid (ongeveer 0,73 m/s) en een geschatte erosiesnelheid van een enigszins geconsolideerde bodem van ongeveer 1 kg/m<sup>2</sup>/dag. Dit levert uiteindelijk een erosiecapaciteit op van orde 5 kg/m<sup>2</sup>/j. Deze erosiecapaciteit ligt in de orde van de sedimentatiecapaciteit (3 tot 6 kg/m<sup>2</sup>/j).

Uitgaande van het bovenstaande kan het volgende beeld van het zwevend stoftransport in het buitenpand worden geschetst:

- normaliter treedt sedimentatie van zwevend stof op vanwege de geringe stroomsnelheid;
- bij de passage van geladen schepen treedt vermoedelijk erosie van bodemmateriaal op; deze erosie zorgt voor een (tijdelijke) verhoging van de concentratie zwevend stof;
- bij de schatting van de erosiecapaciteit is uitgegaan van een enigszins geconsolideerde bodem (6 maanden consolidatie); gezien de frequentie van de scheepspassage (dagelijks) zal de toplaag van de bodem niet de kans krijgen te consolideren;

- 
- de verwachting is daarom dat er een relatief dikke toplaag continue in beweging is (dikte orde 0,1 tot 0,2 m); gezien het geringe zwevend stoftransport bestaat deze toplaag waarschijnlijk uit een mengsel van gesedimenteerd materiaal over een lange periode (tientallen jaren).

*ad 5) de bodemkwaliteit van het buitenpand*

Uit boringen die in het kader van het bestemmingsplan "Bergsche Poort" zijn verricht blijkt dat er op ongeveer 0,5 tot 1,0 m diepte in de bodem van de Donge bij Geertruidenberg een sliblaag is met beduidend hogere concentraties verontreinigingen dan in de huidige situatie, waarbij echter de concentraties chroom extreem veel hoger zijn. Het feit dat deze laag is afgedekt doet vermoeden dat we hier te maken hebben met een laag sediment die orde 10-20 jaar oud is en die mogelijk in het verleden lokaal sterk verontreinigd is met chroom. Ook de toetsingsresultaten van het in 1992 door MH Nederland uitgevoerde oriënterend bodemonderzoek in het buitenpand van het WHK wijzen in deze richting. Ten gevolge van de erosie en resuspensie van de scheepvaart ligt deze sliblaag nu echter veel meer aan het oppervlak. Dit zou de verklaring kunnen zijn voor het feit dat de zwevend stofkwaliteit in het buitenpand met name voor chroom afwijkt van de kwaliteit in de Maas en het WHK.

---

## 9 Conclusies

---

1. De kwaliteit van het zwevend stof in het buitenpand voldoet niet aan de normen (MTR). De belangrijkste probleemstoffen in dit verband zijn Cd, Cu, Ni, Zn, PCB's, DDD, DDE en BAA.
2. Afzetting van zwevend stof in het buitenpand leidt tot een klasse 4-waterbodem door Zn en (mogelijk) Cd; klasse 3 door Ni en klasse 2 door Cu, Hg, PCB's en PAK's.
3. De zwevend stofkwaliteit van het buitenpand van het WHK wordt zowel door het WHK als door de Amer beïnvloed. De kwaliteit van het zwevend stof in het buitenpand ligt doorgaans tussen de zwevend stofkwaliteit van het WHK en die van de Amer.
4. Een duidelijke uitzondering hierop is chroom, waarvan het gehalte in het buitenpand aanmerkelijk hoger ligt dan in het WHK en de Amer. Opwerking van oude sliblagen lijkt hiervoor verantwoordelijk te zijn.
5. De gehalten aan zware metalen (Cd, Hg, Ni, Zn) in het buitenpand worden vooral bepaald door de aanvoer vanuit het WHK. Organische microverontreinigingen (PCB's, PAK's, HCB, DDD, DDE) worden vooral via de Amer aangevoerd.
6. Vanwege de geringe stroomsnelheid treedt normaliter afzetting van zwevend stof op in het buitenpand. Bij passage van geladen schepen treedt echter erosie van bodemmateriaal op; deze erosie leidt tot relatief hoge zwevend stofconcentraties in het buitenpand (t.o.v. de concentraties in het WHK en de Amer).

1. *I.G.W.M. Kuppen*, **2000**. Identificatie van bronnen en kwantificering van emissies naar oppervlaktewater. Hoogheemraadschap van West-Brabant. Onderzoek waterkwaliteitsproblematiek Wilhelminakanaal.
2. *M.Lieberom & A.H.H.M.Schomaker*, **1999**. Werkgroep waterkwaliteit kanaalstelsel. Haskoning.
3. Jaaroverzicht waterkwaliteit Midden-Limburgse en Noord-Brabantse kanalen 1995. WATAK projectgroep 12, **1996**.
4. Jaaroverzicht waterkwaliteit 1996 – 1997. WATAK Werkgroep waterkwaliteit kanaalstelsel, **1998**.
5. Jaaroverzicht waterkwaliteit 1998. WATAK Werkgroep waterkwaliteit kanaalstelsel, **1999**.
6. BPN 1999. Beheersplan natte infrastructuur Noord-Brabant. Rijkswaterstaat, directie Noord-Brabant, **1999**.
7. *TAUW*, **1997**. Rapportage onderzoek trends in oppervlaktewater. Rapport R3457044.H03/RSI/RVB (in opdracht van Hoogheemraadschap West-Brabant), TAUW Milieu, Deventer
8. *Kouer, R.M. & Zwolsman, J.J.G.*, **2000**. Gebiedsanalyse buitenpand Wilhelminakanaal. Deel 1. Microverontreinigingen 1990-1999. RIZA werkdocument 2000.131X, Dordrecht.
9. *Van de Guchte, C., Beek, M., Tuinstra, J. & Van Rossenberg, M.* **2000**. Normen voor het waterbeheer. Commissie Integraal Waterbeheer.