

Z 2795

Opdrachtgever:



DG Rijkswaterstaat / RIZA

Voedselwebanalyse en bioaccumulatie  
van Cd, Hg en PCB-153 in de Sliedrechtse  
Biesbosch

Verslag

november 2000

**wl | delft hydraulics**

	bibliotheek postbus 177-9000 MH Delft t 015 273 1234 f 015 273 1235/wl
BN	57833
EXL	Z 2795
EXPL	 R0008152

Opdrachtgever:

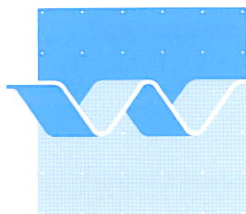
DG Rijkswaterstaat / RIZA

## Voedselwebanalyse en bioaccumulatie van Cd, Hg en PCB-153 in de Sliedrechtse Biesbosch

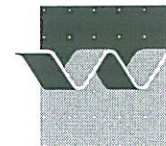
A.N. Blauw, S. Tatman, A.J. Nolte en M.B. de Vries

Verslag

november 2000



**wl | delft hydraulics**



OPDRACHTGEVER: Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling / RIZA  
Postbus 17  
8200 AA Lelystad

TITEL: Voedselwebanalyse en bioaccumulatie van Cd, Hg, en PCB-153 in de Sliedrechtse Biesbosch

#### SAMENVATTING:

Om beter inzicht te krijgen in de waterbodems in de Sliedrechtse Biesbosch is een studie uitgevoerd naar de bioaccumulatie van cadmium (Cd), kwik (Hg) en PCB-153. Hierbij is gekeken naar de accumulatie van deze microverontreinigingen in een tweetal geselecteerde biotopen. De geselecteerde biotopen zijn:







1. ondiep slib; en
2. droogvallend slib.

Bij de bioaccumulatie van kwik gaat het om anorganisch kwik en methylkwik (MeHg). Het percentage methylkwik van het totaal kwik stijgt naarmate het organisme een hoger trofisch niveau inneemt. Anorganisch kwik is berekend overeenkomstig de methode voor cadmium. Voor methylkwik is de methode voor PCB-153 toegepast.

Voor elk van de biotopen is een voedselweb berekend met  $MC^2$ . Vervolgens is de bioaccumulatie van de microverontreinigingen met CHEOPS berekend. Beide modellen zijn gekalibreerd op beschikbare gegevens. Voor de Sliedrechtse Biesbosch waren relatief weinig gegevens bekend van toxische stoffen in organismen. Er is gebruik gemaakt van vergelijkbare gebieden zoals de Dordtse Biesbosch om de gegevens aan te vullen.

De berekende voedselwebben komen goed overeen met de gemeten biomassa in de beide biotopen. Ook de berekende concentraties in de ecogroepen komen goed overeen met de beschikbare gegevens. Het percentage methylkwik neemt toe in de voedselketen en bereikt een waarde van 99% in vissen. Cadmium is het hoogst in de kuifeend en de kluut. De concentratie PCB is hoog in alle vogels en met name in de aalscholver. Ook kwik bereikt de hoogste concentratie in de aalscholver. Tot slot is een analyse gemaakt van het effect van het voedselweb op de accumulatie. De sedimentconcentratie, die vaak hoger is dan de concentratie aan zwevend stof, blijkt belangrijk voor de geaccumuleerde hoeveelheid.

#### REFERENTIES:

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
1	M.B. de Vries 	29-09-'00		F.J. Los 	T. Schilperoort 
2	M.B. de Vries 	06-11-'00		F.J. Los 	T. Schilperoort 
TREFWOORDEN			INHOUD		STATUS
Cadmium, Kwik, PCB-153, bioaccumulatie, CHEOPS, methylkwik			TEKST:	27	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF
			TABELLEN:	17	
			FIGUREN:	6	
			APPENDICES:	--	
PROJECTNUMMER: Z2795					

# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Aanleiding en doelstelling .....	1-1
1.2	Aanpak .....	1-2
1.3	Verantwoording .....	1-2
<b>2</b>	<b>Toepassing van het voedselwebmodel .....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Opzet van de voedselwebmodellen.....	2-1
2.2	Kalibratie .....	2-3
2.3	Resultaten .....	2-4
2.4	Conclusie en discussie .....	2-6
<b>3</b>	<b>Bioaccumulatieberekeningen.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Modelopzet en modelinvoer.....	3-1
3.2	Kalibratie gegevens .....	3-3
3.3	Opzet van het bio-accumulatiemodel.....	3-4
3.3.1	Voedselweb .....	3-4
3.4	Resultaten .....	3-8
3.4.1	Herkomst accumulatie.....	3-8
3.4.2	Cadmium.....	3-8
3.4.3	PCB-153 .....	3-11
3.4.4	Kwik .....	3-13
<b>4</b>	<b>Samenvatting en conclusie.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Voedselwebberekeningen.....	4-1
4.2	Bioaccumulatieberekeningen.....	4-1
4.2.1	Cadmium en PCB-153 .....	4-1
4.2.2	Kwik en Methyl-kwik.....	4-2
<b>5</b>	<b>Literatuur.....</b>	<b>5-1</b>

# I Inleiding

## I.1 Aanleiding en doelstelling

In het kader van het Nader Onderzoek dat door Rijkswaterstaat is opgestart heeft RIZA aan WL | Delft Hydraulics gevraagd een studie uit te voeren naar de bioaccumulatie van cadmium, kwik en PCB-153 in de voedselketen van de Sliedrechtse Biesbosch. De aanleiding van het Nader Onderzoek van Rijkswaterstaat is de observatie van een aanzienlijke hoeveelheid verontreinigd slib die sinds de afsluiting van het Haringvliet in 1970 is gesedimenteerd in het benedenriviereengebied. Deze verontreiniging van de waterbodem heeft een negatief effect op het functioneren van het aquatisch ecosysteem. De hieraan verbonden risico's voor mens en milieu worden door middel van het Nader Onderzoek in kaart gebracht.

Voor de Sliedrechtse Biesbosch wordt de saneringsurgentie bepaald. Ter onderbouwing van risicoschatting met betrekking tot doorvergiftiging wordt door WL gebruikgemaakt van een voedselketen- en een bioaccumulatiemodel. Dit rapport betreft de simulatie van de voedselketen in de Sliedrechtse Biesbosch die werd uitgevoerd met het model MC<sup>2</sup>. MC<sup>2</sup> berekent de biomassafluxen tussen een aantal gedefinieerde functionele ecologische groepen. Het vervolg op deze studie, het simuleren van de bioaccumulatie en doorgifte van cadmium, kwik en PCB-153 in de voedselketen, is met behulp van het model CHEOPS uitgevoerd. De modelresultaten verschaffen inzicht in de effecten van de sanering op het aquatisch ecosysteem.

In deze studie is een onderscheid gemaakt tussen twee verschillende habitats die voorkomen in de Sliedrechtse Biesbosch:

- ondiep slib
- droogvallende platen

De doelstelling van het onderhavige project is het berekenen van de stofstromen in de voedselketen in de Sliedrechtse Biesbosch en de bioaccumulatie berekeningen van cadmium, kwik en PCB-153. Bioaccumulatie van kwik is bijzonder, omdat kwik in twee vormen geaccumuleerd kan worden: als anorganisch kwik ( $\text{Hg}^{2+}$ ) of als methylkwik ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , aangeduid als MeHg). Beide vormen van kwik vertonen een verschillend gedrag. Om beter gesteld te staan voor de modellering van kwik is een kort literatuuronderzoek uitgevoerd. Het literatuuronderzoek is reeds apart gerapporteerd (WL | Delft Hydraulics, 2000).

## **1.2 Aanpak**

Bij uitvoering van het project zijn de volgende onderdelen beschouwd:

- Verzamelen gegevens voor zowel de voedselwebberekening (in de vorm van biomassa's van organismen) als de bioaccumulatieberekening (in de vorm van concentraties Cd, Hg en PCB-153 in organismen en het milieu);
- uitvoeren voedselwebberekeningen met MC<sup>2</sup> voor de 2 geselecteerde biotopen;
- uitvoeren bioaccumulatieberekeningen met CHEOPS voor de 3 microverontreinigingen;
- beknopte rapportage.

De berekeningen zijn uitgevoerd in overleg met en in het bijzijn van de opdrachtgever (in de persoon van dr. P.J. den Besten).

## **1.3 Verantwoording**

Dit project werd uitgevoerd door ir. A.N. Blauw, drs. S. Tatman (beide voedselwebberekeningen), drs. A.J. Nolte en drs. M.B. de Vries (beide bioaccumulatieberekeningen). Mindert de Vries trad tevens op als projectleider. De inhoudelijke controle werd uitgevoerd door drs. F.J. Los.

De opdracht voor de studie werd gegeven met opdrachtbon nummer 35131/WSC d.d. 14 januari 2000.

## 2 Toepassing van het voedselwebmodel

### 2.1 Opzet van de voedselwebmodellen

Bij de opzet van de voedselwebmodellen voor de twee verschillende habitats in de Sliedrechtse Biesbosch zijn de parameterwaarden zoals gebruikt in de voedselwebberekeningen voor het Haringvliet (WL, 1999) als uitgangspunt genomen voor de kalibratie van de deelmodellen. In het onderstaande wordt beschreven hoe tot een eerste schatting van de biomassa voor alle voedselgroepen is gekomen. Tijdens de kalibratie is deze schatting voor bepaalde voedselgroepen aangepast, wanneer er grote onzekerheid bestond over de te gebruiken waarde.

De biomassa van bodemdetritus is gebaseerd op de metingen in Tabel 2.1:

Tabel 2.1: Meetgegevens van organisch materiaal in de bodem (RIZA, 2000)

habitat	gehalte organisch stof (gC/m <sup>2</sup> )
<b>ondiep slib (waterdiepte 1 m)</b>	3,6
<b>Droogvallende platen (waterdiepte 0.25 m)</b>	5

De biomassa's voor de verschillende voedselwebgroepen zijn gebaseerd op de gemeten en geschatte waarden voor de habitats zoals opgegeven in Boudewijn (2000). De biomassa's voor de macrofauna in de Sliedrechtse Biesbosch zijn gemeten en de tabel uit dat rapport is in Tabel 2.2 weergegeven:

Tabel 2.2: Gemiddelde macrofaunabiomassa in de habitats ondiep slib en droogvallende platen in de Sliedrechtse Biesbosch in mg C per m<sup>2</sup> Boudewijn (2000). Tussen haakjes de waarde in het habitat 'ondiepe oeverzone'.

Biomassa in mg C/m <sup>2</sup>	Habitat	
	ondiep slib	droogvallende platen
<b>Chironomiden</b>	396	816
<b>Oligochaeten</b>	446	913
<b>Chironomiden + Oligochaeten</b>	842	1729
<b>kleine Bivalven</b>	3948	1150
<b>grote Bivalven</b>	102 (435)	0
<b>Bivalven totaal</b>	4050	1150
<b>Gastropoden</b>	861	324

Bureau Waardenburg heeft in totaal in het kader van het Nader Onderzoek Sliedrechtse Biesbosch vijf habitats onderzocht, waarvan de gegevens van habitat 2 en 4 in dit onderzoek zijn gebruikt voor de voedselweb berekeningen. De habitats 2 en 4 werden als volgt omschreven (Boudewijn 2000):

- habitat 2: slibrijk sediment (ondiepere geulen)
- habitat 4: met laagwater droogvallend slik

De gegevens van Habitat 2 en 4 zijn voor respectievelijk de habitats 'ondiep slib' en 'droogvallende platen' gebruikt. Deze twee habitats hebben een geschatte diepte van respectievelijk 1,0 en 0,25 m.

De gemeten waarden in Tabel 2.2 zijn omgezet naar invoer (biomassa in  $0.01 \text{ gC/m}^2$ ) voor de voedselwebmodellen. De invoerwaarde voor grote Bivalven op ondiep slib werd als enige afgeleid van de gemeten waarde in Habitat 3 (= "sediment waarin zich plantenresten bevinden (ondiepe oeverzone)"), omdat de waarde voor Habitat 2 te laag leek ten opzichte van vergelijkbare habitats.

De biomassa's van fytoplankton en zooplankton zijn afgeleid uit Boudewijn (2000), die zijn schattingen voor de fytoplankton biomassa baseerde op chlorofylconcentraties in de Brabantse Biesbosch en Puttershoek tussen 1995-1999. De gevonden waarde in  $\text{mg C/l}$  werd vermenigvuldigd met 0,25 voor de habitat 'droogvallende platen', i.e. evenredig met de diepte van 0,25 m. Tevens is de biomassa van de voedselweb groep gesuspendeerd detritus gelijkgesteld aan de fytoplankton biomassa. De zoöplankton biomassa's zijn vastgesteld aan de hand van biomassa's berekend voor de Brabantse Biesbosch, Amer en Nieuwe Merwede, waarbij de waarde van de 'droogvallende platen' weer is vermenigvuldigd met de diepte.

De biomassa's van de macrocrustaceën zijn geschat aan de hand van gegevens in het Nader Onderzoek uitgevoerd in het Haringvliet en Brabantse Biesbosch (Boudewijn & van Moorsel, 1996). Voor de biomassa waarde in de habitat 'ondiep slib' is de macrocrustaceën biomassa van de Brabantse Biesbosch ondiep slib gebruikt. Voor de macrocrustaceën biomassa in de habitat 'droogvallende platen' is de helft hiervan aangenomen. Bij gebrek aan gegevens over de macrocrustaceën biomassa op droogvallende platen in de Brabantse Biesbosch is dezelfde verhouding als tussen 'ondiep slib' en 'intergetijdengebied' in het Haringvliet genomen: 2:1.

In het geval van de biomassa's van de vissen zijn waarden gebruikt van de schattingen in Boudewijn (2000), die gebaseerd zijn op metingen voor de Dordtse en Brabantse Biesbosch. Voor de habitat 'droogvallende platen' zijn ook enkele waarden (voor kleine vis, middelgrote witvis en groot witvis) van de gekalibreerde invoergegevens van het Haringvliet gebruikt (WL, 1999).

De uiteindelijke biomassaschattingen voor de twee habitats worden in Tabel 2.3 weergegeven:



Tabel 2.3: Invoer biomassa's voor de kalibratie van MC2 in de onderscheiden habitats

Biomassa in mg C/m <sup>2</sup>	Habitat	
	ondiep slib	droogvallende platen
Gesuspendeerd detritus	104,00	200,00
Bodem detritus	360,00	500,00
Fytoplankton	104,00	200,00
Zooplankton	20,00	5,00
Kleine Bivalven	394,80	115,00
Grote Bivalven	43,50	0
Oligochaeten	44,60	91,30
Chironomiden	39,60	81,60
Macrocrusteen	4,70	2,50
Slak	86,10	32,40
Klein witvis	25,60	19,10
Mid witvis	14,90	4,30
Groot witvis	32,20	3,10
Mid roofvis	2,10	1,60
Groot roofvis	2,50	1,90
Aal	2,30	1,80

De import snelheden zijn gebiedsgemiddelde waarden afkomstig uit het Haringvliet in de ongesaneerde situatie.

## 2.2 Kalibratie

Tijdens de kalibratie zijn voornamelijk aanpassingen gemaakt in de import- en export snelheden. De volgende aanpassingen aan biomassa- en parameterwaarden zijn gemaakt door middel van de kalibratie (biomassa in 0,01 gC/m<sup>2</sup>, fluxen in 0,01 gC/m<sup>2</sup>/dag):

Tabel 2.4: Biomassa- en parameterwaarden na de kalibratie van MC2 in de onderscheiden habitats, een negatieve import betekent een netto export van organismen uit het systeem.

Parameter	Habitat	
	ondiep slib	droogvallende platen
biomassa gesuspendeerde detritus	200,00	100,00
biomassa Fytoplankton	200,00	100,00
biomassa Zooplankton		10,00
import gesusp. Detritus	50,00	25,00
import bodemdetrirus	15,00	30,00
import fytoplankton	50,00	25,00
import zooplankton		-0,1
import mollklein	-3,00	-1,00
import oligochaeten		-1,00
import chironomiden		-1,00
import slak	-1,60	-0,80
import klein witvis	-0,10	

import midwit	-0,10	
---------------	-------	--

De parameterwaarden en de biomassa's van de habitat 'ondiep slib' werden als eerste gekalibreerd. Aanvankelijk werden de biomassa en import snelheid van de bodemdetritus gevarieerd, omdat de biomassa's van de bodemfauna en overige groepen in de basis van de voedselketen te laag bleken te zijn. Bij een verhoging van de biomassa en export van bodemdetritus werd de berekende biomassa van bodemdetritus te hoog en ontstond er een hoge graasdruk op de kleine mollusken. Hierna werden ook de export snelheden van kleine mollusken en slakken gevarieerd om te bepalen of deze effecten hadden op de bodemdetritus, maar bij een verlaging van de export naar 0 was er geen eenduidig effect op de bodemdetritus waar te nemen. Het vermoeden ontstond dat het systeem top-down wordt gestuurd en de bodemdetritus beter de initiële schatting van 360 voor de biomassa moest behouden.

Na deze eerste kalibratie op de lagere groepen in de voedselketen werd besloten om de witvis biomassa's op het ondiep slib te verbeteren omdat deze na de verlaging van de export van slakken en kleine mollusken minder beschikbare voedsel hadden gekregen (waardoor de initiële schatting van de witvis biomassa te hoog bleek te zijn).

De concentraties gesuspendeerd detritus en fytoplankton voor het biotoop droogvallende platen zijn bepaald door ten opzichte van het biotoop 'ondiep slib' dezelfde verhouding aan te houden als voor vergelijkbare biotopen in het Haringvliet (WL, 1999). Vervolgens zijn de importfluxen zodanig gekalibreerd dat de beste overeenkomst met de gemeten en geschatte biomassa's werd verkregen. Hierbij is rekening gehouden met de waarschijnlijkheid dat de betreffende organismen uit het systeem verdwijnen, door bijvoorbeeld graas door vogels.

## 2.3 Resultaten

De voedselwebben die zijn berekend met de gekalibreerde deelmodellen voor de twee habitats worden in Tabel 2.5 en Tabel 2.6 gepresenteerd.

Tabel 2.5: Berekend voedselweb voor de habitat 'ondiep slib' in de Sliedrechtse Biesbosch (biomassa in 0,01 gC/m<sup>2</sup>, productie in 0,01 gC/m<sup>2</sup>/dag).

Groep	import	biomassa berekend	biomassa 'gemeten'	productie
gesuspendeerd detritus	50	384,82	200	0
bodemdetritus	15	370,70	360	0
fytoplankton	50	189,30	200	50
zoöplankton	0	11,12	20	0,72
kleine mollusken	-3	350,07	394,80	3,19
grote mollusken	0	44,11	43,50	0,02
oligochaeten	0	35,64	44,60	0,71
chironomiden	0	41,24	39,60	0,82
macrocrustaceaen	0	4,49	4,70	0,09
slakken	-1,6	82,54	86,10	1,65
<b>totaal biomassa basis</b>		<b>1514,03</b>	<b>1393,30</b>	

Groep	import	biomassa berekend	biomassa 'gemeten'	productie
kleine witvis	-0,1	34,25	25,60	0,29
middelgrote witvis	-0,1	27,05	14,90	0,11
grote witvis	0	17,01	32,20	0,07
middelgrote roofvis	0	3,27	2,10	0,01
grote roofvis	0	3,90	2,50	0,01
aal	0	6,86	2,30	0,01
<b>totaal visbiomassa</b>		<b>92,34</b>	<b>79,60</b>	
<b>totale biomassa</b>		<b>1606,37</b>	<b>1472,90</b>	

Er zijn geen grote verschillen tussen de berekende en gemeten/geschatte biomassa's in het voedselweb voor 'ondiep slib' in Tabel 2.5 te vinden. De biomassa gesuspenseerd detritus is bijna een factor twee overschat, de zoöplankton biomassa is bijna een factor twee onderschat en de oligochaeten zijn onderschat. Dit zijn de enige uitschieters voor de lagere voedselketen groepen. De hogere groepen (vissen) komen over het algemeen redelijk overeen met de gemeten biomassa's, waarbij de grote witvis als enige is onderschat en de roofvissen en overige witvissen (vooral aal, middelgrote- en kleine witvis) zijn overschat.

Tabel 2.6: Berekend voedselweb voor de habitat 'droogvallende platen' in de Sliedrechtse Biesbosch (biomassa in 0,01 gC/m<sup>2</sup>, productie in 0,01 gC/m<sup>2</sup>/dag).

Groep	import	biomassa berekend	biomassa 'gemeten'	productie
gesuspenseerd detritus	25	192,85	100	0
bodemdetritus	30	482,80	500	0
fytoplankton	25	109,44	100	25
zoöplankton	-0,1	5,40	10	0,35
kleine mollusken	-1,0	110,46	115	1,01
grote mollusken	0	0	0	0
oligochaeten	-1,0	73,97	91,30	1,48
chironomiden	-1,0	79,13	81,60	1,58
macrocrustaceaen	0	1,80	2,50	0,04
slakken	-0,8	40,07	32,40	0,8
<b>totaal biomassa basis</b>		<b>1095,92</b>	<b>1032,80</b>	
kleine witvis	0	23,01	19,10	0,2
middelgrote witvis	0	4,56	4,30	0,02
grote witvis	0	1,53	3,10	0,01
middelgrote roofvis	0	3,06	1,60	0,01
grote roofvis	0	3,64	1,90	0,01
aal	0	5,07	1,80	0,01
<b>totaal vis biomassa</b>		<b>40,87</b>	<b>31,80</b>	
<b>totale biomassa</b>		<b>1136,79</b>	<b>1064,60</b>	

De verschillen tussen de berekende en gemeten/geschatte biomassa's in het voedselweb van de 'droogvallende platen' in Tabel 2.6 zijn vergelijkbaar met het voedselweb van het ondiep slib. De biomassa gesuspendeerd detritus is weer ruim overschat en de zoöplankton biomassa is ruim onderschat. De vissen komen in deze habitat meer overeen met de gemeten biomassa's ten opzichte van 'ondiep slib', waarbij de grote witvis weer als enige is onderschat. Aal wordt duidelijk overschat.

In Tabel 2.5 en Tabel 2.6 worden ook de totale biomassa's aan de basis en in de hogere lagen van de voedselketen voor de twee habitats gegeven. In beide habitats bestaat de basis (detritus, plankton en macrofauna) uit een grotere biomassa dan de hogere voedselweb groepen (wit- en roofvis); de **basis** biomassa's vormen 94% en 96% van de **totale** biomassa voor respectievelijk 'ondiep slib' en 'droogvallende platen'. De **totale** berekende en gemeten/geschatte biomassa voor de habitat 'ondiep slib' is 30% hoger ten opzichte van de habitat 'droogvallende platen'. Ditzelfde geldt ook voor het verschil tussen de **basis** biomassa's van 'ondiep slib' en 'droogvallende platen'.

## 2.4 Conclusie en discussie

De geschatte biomassas van de verschillende voedselgroepen konden voor de beide biotopen goed worden gereproduceerd door de voedselwebmodellen.

Voor de Sliedrechtse Biesbosch waren alleen biotoopspecifieke biomassagegevens beschikbaar voor macrobenthos. Hieruit kwam duidelijk naar voren dat in het ondiepe slib relatief veel schelpdieren voorkomen en op de droogvallende platen juist relatief veel chironomiden en oligochaeten. In de voedselwebmodellen kon dit goed worden gereproduceerd. Ten aanzien van de biomassaschattingen van de overige voedselgroepen bestaat meer onzekerheid. Vissen en vogels migreren vrij tussen de verschillende biotopen. De beschikbaarheid van algen, detritus en zoöplankton in water per biotoop is ook niet eenduidig te bepalen, zeker wanneer er ter plekke geen concentraties zijn gemeten. Tijdens de kalibratie zijn de voedselwebben van de beide biotopen toch zo goed mogelijk benaderd, door biomassaschattingen uit vergelijkbare biotopen te gebruiken. De uitwisseling met andere biotopen is benaderd met behulp van de kalibratie van import -en exportfluxen. Hierdoor lijkt het voedselwebmodel, ondanks de bovenbeschreven onzekerheden, toch een geschikt uitgangspunt voor bioaccumulatieberekeningen voor de biotopen 'ondiep slib' en 'droogvallende platen' in de Sliedrechtse Biesbosch.

## 3 Bioaccumulatieberekeningen

### 3.1 Modelopzet en modelinvoer

De berekening voor Cd en PCB-153 komt overeen met de berekening zoals uitgevoerd in studie T1336 uitgevoerd voor het Hollands Diep en de Dordtse Biesbosch (WL | Delft Hydraulics, 1994). De bepaling van de bioaccumulatie van (totaal) kwik is opgesplitst in twee delen: de bioaccumulatie van anorganisch kwik en van methylkwik. Het totaalgehalte kwik is vervolgens bepaald door de sommatie van de afzonderlijke termen. Anorganisch kwik is als een metaal gemodelleerd, terwijl methylkwik als een organische microverontreiniging is gemodelleerd.

De invoer van het bioaccumulatiemodel CHEOPS bestaat uit:

- opgeloste concentratie in de waterkolom;
- geadsorbeerde concentratie in de waterkolom;
- opgeloste concentratie in het poriewater;
- geadsorbeerde concentratie in het sediment;
- partiticoëfficiënten ( $K_d$  voor Cd en Hg,  $K_{OW}$  voor PCB-153 en MeHg);
- opname-efficiëntie uit voedsel en uit water voor Cd en Hg, alleen uit voedsel voor PCB-153 en MeHg; en
- halfwaardetijd van microverontreinigingen in het organisme.

De concentratie in de waterkolom (opgelost en zwevend stof) is afgeleid uit metingen van de periode 1995-1999. Aangezien geen gegevens bekend zijn van de Sliedrechtse Biesbosch, is gekozen voor een nabij gelegen meetpunt in de Oude Maas (Puttershoek). De sediment gehalten zijn wel bekend voor de twee biotopen in de Sliedrechtse Biesbosch (metingen in het kader van BEO Sliedrechtse Biesbosch).

De opgeloste concentratie in de waterkolom wordt afgeleid uit de partitie-coëfficiënt en de geadsorbeerde concentratie. Voor de Sliedrechtse Biesbosch wordt verder aangenomen dat het zwevend stof voor 50% afkomstig is van de Oude Maas en voor 50% van geresuspendeerd sediment. Aangezien voor de sedimentkwaliteit voor droogvallend slib slechts 2 metingen beschikbaar zijn die tevens hoge waarden laten zien, wordt voor de berekening van de zwevend stof kwaliteit alleen de locatie 'ondiep slib' gebruikt. De geadsorbeerde concentratie wordt derhalve gemiddeld tussen de gemeten geadsorbeerde concentratie op locatie Puttershoek en de gemeten sediment concentratie voor ondiep slib in de Sliedrechtse Biesbosch.

Uit het literatuuronderzoek kwam naar voren dat in de waterkolom en het sediment 1-5% van het totaal kwik in de vorm van methylkwik voorkomt. Voor de berekeningen is aangenomen dat methylkwik 3% van de (totaal)concentratie kwik bedraagt. Tabel 3.1 vermeldt de

gebruikte concentraties. In de literatuur zijn geen waarden gevonden voor de  $K_{ow}$  van MeHg. De  $K_{ow}$  van MeHg is zodanig gekozen dat de MeHg concentratie in het poriewater (ruwweg) overeenkomt met 3% van de poriewaterconcentratie van anorganisch kwik.

Tabel 3.1 Concentraties cadmium, PCB-153, anorganisch kwik en methylkwik zoals gebruikt in de bioaccumulatiemodellering. Zie tekst voor nadere uitleg.

	<i>Droogvallend slib</i>				
	Cd	PCB-153	Hg (totaal)	Hg (anorg)	MeHg
geadsorbeerd aan zwevend stof (Puttershoek)	2,6 mg/kg	19,0 µg/kg	0,90 mg/kg	--	--
gehalte in sediment (SBB)	8,4 mg/kg	62,0 µg/kg	24,2 mg/kg	23,47 mg/kg	0,73 mg/kg
geadsorbeerd aan zwevend stof (gelijk aan SBB ondiep slib)	4,3 mg/kg	18,0 µg/kg	1,55 mg/kg	1,50 mg/kg	0,05 mg/kg
partitie-coëfficiënt	$K_D = 125$ l/g	$K_{OW} = 10^{6,51}$	$K_D = 170$ l/g	$K_D = 170$ l/g	$K_{OW} = 1000$
opgelost waterkolom (Puttershoek)	0,025 µg/l	0,121 µg/l	--	0,009 µg/l	0,001 µg/l
opgelost poriewater (Puttershoek)	0,099 µg/l	0,241 µg/l	--	0,203 µg/l	0,009 µg/l
fractie organisch koolstof in zwevend stof (-)	0,071				
fractie organisch koolstof in het sediment (-)	0,079				
fractie <63 µm in zwevend stof (-)	0,65				
fractie <63 µm in sediment (-)	0,68				
	<i>Ondiep slib</i>				
geadsorbeerd aan zwevend stof (Puttershoek)	2,6 mg/kg	19,0 µg/kg	0,90 mg/kg	--	--
gehalte in sediment (SBB)	6,0 mg/kg	17,0 µg/kg	2,20 mg/kg	2,13 mg/kg	0,066 mg/kg
geadsorbeerd aan zwevend stof (SBB)	4,3 mg/kg	18,0 µg/kg	1,55 mg/kg	1,50 mg/kg	0,05 mg/kg
partitie-coëfficiënt	$K_D = 125$ l/g	$K_{OW} = 10^{6,51}$	$K_D = 170$ l/g	$K_D = 170$ l/g	$K_{OW} = 1000$
opgelost waterkolom (Puttershoek)	0,025 µg/l	0,121 µg/l	--	0,009 µg/l	0,001 µg/l
opgelost poriewater (Puttershoek)	0,087 µg/l	0,113 µg/l	--	0,023 µg/l	0,001 µg/l
fractie organisch koolstof in zwevend stof (-)	0,071				
fractie organisch koolstof in het sediment (-)	0,046				
fractie <63 µm in zwevend stof (-)	0,65				
fractie <63 µm in sediment (-)	0,55				

## 3.2 Kalibratie gegevens

De berekende gehalten van de in het voedselweb zal worden vergeleken met beschikbare gegevens. Aangezien gegevens uit de Sliedrechtse Biesbosch slechts beperkt beschikbaar waren, zijn ook gegevens van de Dordtse Biesbosch voor de kalibratie gebruikt. De gegevens zijn verzameld in Van Hattum *et al.* (1996), Van Hattum *et al.* (1998) en IVM (1999). Gegevens voor de Sliedrechtse Biesbosch zijn geleverd door RIZA (BEO Sliedrechtse Biesbosch).

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de minimum en maximum concentratie in de organismen van het voedselweb.

Tabel 3.2 Gemeten concentraties in organismen

	mg/kg ww Cadmium		µg/kg ww PCB-153		mg/kg ww Kwik	
	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum
zoöplankton					0,14	0,14
kleine mollusken	0,08	0,4	0,01	0,11	0,015	0,032
grote mollusken						
oligochaeten	0,01	0,13	0,01	0,05	0,014	0,039
chironomiden	0	0,11	0	0,03	0,008	0,025
macrocrustaceen						
slakken						
kleine witvis	0,01	0,03	0,03	0,14	0,015	0,138
middelgrote witvis	0	0,08	0,07	0,42	0,023	0,073
grote witvis	0,04	0,04	0,26	0,26	0,093	0,093
middelgrote roofvis	0,01	0,01	0,29	0,34	0,101	0,137
grote roofvis						
aal	0,04	0,05	0,25	1,27	0,013	0,058
kuifeend					0,025	0,042
aalscholver	0,01	0,14	0,14	14	0,392	1,456
fuut					0,34	2,565
steltlopers						
kluut						
visdiefje						

### 3.3 Opzet van het bio-accumulatiemodel

#### 3.3.1 Voedselweb

De voor een CHEOPS-toepassing benodigde gegevens betreffende de energiehuishouding zijn de groeisnelheid, de respiratiesnelheid en de conversie-efficiëntie van voedsel. Deze gegevens worden omgerekend uit de resultaten van de MC<sup>2</sup>-studie (voedselweb-berekeningen Hollands Diep en Dordtse Biesbosch, Waterloopkundig Laboratorium, Michielsen, T1260, juni 1994).

In de onderstaande vergelijkingen is weergegeven op welke wijze uit de ongeassimileerde fractie (FF), de daily ration (DR) en de metabolische fractie (MR), de groei per dag (PR) en de respiratie per dag (RS) berekend kan worden. De voor CHEOPS benodigde conversie-efficiëntie (CV) wordt voor elke predator berekend uit (1,0 - de gewogen FF's van alle prooien)

$$PR = DR \times (1 - MR) \quad (-)$$

$$RS = DR \times MR \quad (d^{-1})$$

$$CV = (1 - FF) \quad (-)$$

In de onderstaande tabellen worden de uit de in hoofdstuk 2 beschreven MC<sup>2</sup> toepassing gebruikte coëfficiëntwaarden weergegeven.

Tabel 3.3 Voedselweb Droogvallende platen

Ecogroep	DR	FF	MR
ZOPLANK	0,035	0,0650	0,344
MOLLKLEIN	0,026	0,0091	0,153
MOLLGROOT	0,002	0,0005	0,396
OLIGO	0,060	0,0200	0,102
CHIRONO	0,060	0,0200	0,133
MACRUST	0,060	0,0200	0,133
SLAK	0,060	0,0200	0,100
KLEIN	0,034	0,0086	0,800
MIDWIT	0,016	0,0040	0,505
GROOTWIT	0,016	0,0040	0,149
MIDROOF	0,012	0,0030	0,800
GROOTROOF	0,012	0,0030	0,800
AAL	0,018	0,0020	0,800
<i>KUIFEEND</i>	<i>0,300</i>	<i>0,0014</i>	<i>0,800</i>
<i>AALSCH</i>	<i>0,110</i>	<i>0,0002</i>	<i>0,800</i>
<i>FUUT</i>	<i>0,200</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,800</i>
<i>STELTLOP</i>	<i>0,500</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,800</i>
<i>KLUUT</i>	<i>0,200</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,800</i>
<i>VISDIEFJE</i>	<i>0,500</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,800</i>



Tabel 3.4 Voedselweb Ondiep water

Ecogroep	DR	FF	MR
ZOOPLANK	0,035	0,0650	0,339
MOLLKLEIN	0,026	0,0091	0,196
MOLLGROOT	0,002	0,0005	0,396
OLIGO	0,060	0,0200	0,103
CHIRONO	0,060	0,0200	0,155
MACRUST	0,060	0,0200	0,155
SLAK	0,060	0,0200	0,100
KLEIN	0,034	0,0086	0,800
MIDWIT	0,016	0,0040	0,481
GROOTWIT	0,016	0,0040	0,138
MIDROOF	0,012	0,0030	0,800
GROOTROOF	0,012	0,0030	0,800
AAL	0,018	0,0020	0,800
<i>KUIFEEND</i>	<i>0,300</i>	<i>0,0014</i>	<i>0,800</i>
<i>AALSCH</i>	<i>0,110</i>	<i>0,0002</i>	<i>0,800</i>
<i>FUUT</i>	<i>0,200</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,800</i>
<i>STELTLOP</i>	<i>0,500</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,800</i>
<i>KLUUT</i>	<i>0,200</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,800</i>
<i>VISDIEFJE</i>	<i>0,500</i>	<i>0,0015</i>	<i>0,800</i>

Vogels zijn niet vanaf het begin in het voedselweb meegenomen maar werden voor de bioaccumulatietoepassing aan het voedselweb toegevoegd. De gebruikte coëfficiëntsettings zijn gebaseerd op veldgegevens van Bureau Waardenburg ("Onderbouwing voedselwebmodel Nieuwe Merwede", Boudewijn 1992, rapport 92.34) over de dagelijkse consumptie en eiproduktie van elke soort. Hierbij is ervan uitgegaan dat de eiproduktie vrijwel geheel de term PR verklaard.

Data per vogel:

RS waarden zijn vastgezet op de gemiddelde dagelijkse consumptie van voedsel door elk vogel.

**Kuifeend:** 10 eieren/jaar (a 53 gram nat) = 530 gram produktie  
Een Kuifeend weegt gemiddeld 900 gram, PR wordt hiermee bepaald op 0,0016/dag (uit:  $530/900 \times 1/365$ ).

**Aalscholver:** 3.2 eieren/jaar (a 48.4 gram) = 155 gram produktie. Voor een gemiddeld vogelgewicht van 2430 gram volgt een PR van 0,0002/dag

**Fuut:** 3.3 eieren/jaar (a 38.9 gram) = 128 gram produktie. Voor een vogelgewicht van 1200 gram volgt een PR van 0,0003/dag  
Steltloper (op basis van Scholekster data): 4 eieren/jaar (a 47 gram): 188 gram produktie. Voor een vogelgewicht van 542 gram volgt een PR van 0,0010/dag

Op grond van de MC<sup>2</sup> toepassing zijn de preferenties bepaald voor de beide systeemgemiddelde voedselwebben. De preferenties voor vogels zijn later toegevoegd. De waarden hiervan zijn (voor beide voedselwebben) gelijk genomen aan de waarden voor de reeds uitgevoerde Nieuwe Merwede studie (“Analyse van voedselwebben en bioaccumulatie-niveaus”, WL | Delft Hydraulics, T1055, juli 1993) en T1336 “Kalibratie CHEOPS voor Hollands Diep en Dordtse Biesbosch” (WL | Delft Hydraulics, 1994).

In de onderstaande tabel wordt de verdeling van de preferenties over de voedsel relaties per ecogroep gegeven:

Tabel 3.5 Voedselpreferenties van ecogroepen

Ecogroep	Voedselgroep	preferentie droogvallend slib	preferentie ondiep slib
ZOOPLANK	SUSDET	0,49	0,54
ZOOPLANK	FYTOPLANK	0,51	0,46
MOLLKLEIN	SUSDET	0,24	0,34
MOLLKLEIN	BOTDET	0,51	0,31
MOLLKLEIN	FYTOPLANK	0,25	0,35
MOLLGROOT	FYTOPLANK	0	0,45
MOLLGROOT	SUSDET	0	0,34
MOLLGROOT	MOLLGROOT	0	0,21
OLIGO	SUSDET	0,02	0,04
OLIGO	BOTDET	0,98	0,96
CHIRONO	SUSDET	0,37	0,53
CHIRONO	BOTDET	0,63	0,47
MACRUST	BOTDET	0,63	0,47
MACRUST	SUSDET	0,37	0,53
SLAK	BOTDET	1	1
KLEIN	ZOOPLANK	0,2	0,39
KLEIN	OLIGO	0,34	0,25
KLEIN	CHIRONO	0,43	0,31
KLEIN	MACRUST	0,03	0,05
MIDWIT	ZOOPLANK	0	0
MIDWIT	MOLLKLEIN	0,04	0,25
MIDWIT	SLAK	0,01	0,05
MIDWIT	OLIGO	0,42	0,29
MIDWIT	CHIRONO	0,44	0,3
MIDWIT	MACRUST	0	0
MIDWIT	BOTDET	0,08	0,09
GROOTWIT	OLIGO	0,18	0,12
GROOTWIT	CHIRONO	0,18	0,12
GROOTWIT	ZOOPLANK	0	0
GROOTWIT	MOLLKLEIN	0,01	0,04
GROOTWIT	SLAK	0,01	0,04
GROOTWIT	MACRUST	0	0
GROOTWIT	BOTDET	0,63	0,69
MIDROOF	KLEIN	0,91	0,95

MIDROOF	MIDWIT	0,09	0,05
GROOTROOF	KLEIN	0,91	0,95
GROOTROOF	MIDWIT	0,09	0,05
AAL	KLEIN	0,66	0,39
AAL	MIDWIT	0,05	0,01
AAL	GROOTWIT	0,05	0,4
AAL	MIDROOF	0,07	0,06
AAL	GROOTROOF	0,09	0,07
AAL	AAL	0,08	0,08
KUIFEEND	MOLLKLEIN	1	1
AALSCH	MIDWIT	0,78	0,78
AALSCH	MIDROOF	0,15	0,15
AALSCH	KLEIN	0,05	0,05
AALSCH	AAL	0,02	0,02
FUUT	KLEIN	1	1
STELTLOP	OLIGO	0,4	0,4
STELTLOP	CHIRONO	0,4	0,4
STELTLOP	MOLLKLEIN	0,2	0,2
KLUUT	OLIGO	0,5	0,5
KLUUT	CHIRONO	0,5	0,5
VISDIEFJE	KLEIN	1	1

Naast voedselweb gerelateerde informatie wordt door het model ook gebruik gemaakt van de onderstaande coëfficiënten. Waarden werden overgenomen uit de studie T1336 (WL | Delft Hydraulics, 1994).

Tabel 3.6 Gebruikte coëfficiëntwaarden voor type blootstelling (EXP), clearance rates (CR) , vetgehalte (VET) en dier-gewicht (GR)

ecogroep	EXP	CR	VET	GR
ZOOPLANK	1	1.000	.014	.001
MOLLKLEIN	1	.200	.024	.015
MOLLGROOT	1	.100	.015	.500
OLIGO	1	.010	.010	.015
CHIRONO	1	.010	.010	.015
MACRUST	1	.010	.015	.015
SLAK	1	.010	.017	.015
KLEIN	2	.000	.010	7.000
MIDWIT	2	.000	.021	98.000
GROOTWIT	2	.000	.026	500.000
MIDROOF	2	.000	.007	98.000
GROOTROOF	2	.000	.013	500.000
AAL	2	.000	.183	100.000
KUIFEEND	3	.000	.050	900.000
AALSCH	3	.000	.129	2430.000
FUUT	3	.000	.050	1200.000
STELTLOP	3	.000	.050	225.000
KLUUT	3	.000	.050	360.000
VISDIEFJE	3	.000	.050	125.000

EXP - blootstelling aan opgeloste toxicant (1 - uit opp. water, 2 - uit poriewater)

CR - m<sup>3</sup>/gC/dag

VET - vetgehalte als fractie van natgewicht

GR -gewicht in grammen natgewicht

## 3.4 Resultaten

### 3.4.1 Herkomst accumulatie

Tabel 3.7 geeft per stof aan welke fractie afkomstig is uit het sediment. Impliciet volgt hieruit welke fractie afkomstig is uit de waterfase (inclusief gesuspendeerd materiaal).

Tabel 3.7 Fractie van de geaccumuleerde stof afkomstig uit het sediment

	Cadmium		PCB-153		Anorganisch kwik		Methylkwik	
	Droogvallend		Droogvallend		Droogvallend		Droogvallend	
	Ondiep slib	slib	Ondiep slib	slib	Ondiep slib	slib	Ondiep slib	slib
ZOPLANK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MOLKLEIN	0.138	0.280	0.229	0.588	0.172	0.798	0.214	0.794
MOLLGROOT	0.001		0.006		0.000		0.001	
OLIGO	0.986	0.994	0.958	0.990	0.985	0.999	0.973	0.998
CHIRONO	0.758	0.859	0.466	0.778	0.720	0.977	0.606	0.949
MACRUST	0.626	0.775	0.451	0.770	0.676	0.972	0.490	0.919
SLAK	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
KLEIN	0.143	0.230	0.524	0.818	0.113	0.587	0.406	0.884
MIDWIT	0.162	0.189	0.569	0.850	0.313	0.783	0.669	0.952
GROOTWIT	0.774	0.773	0.912	0.963	0.902	0.986	0.964	0.994
MIDROOF	0.003	0.005	0.490	0.792	0.001	0.014	0.166	0.686
GROOTROOF	0.003	0.005	0.490	0.792	0.001	0.014	0.166	0.686
AAL	0.029	0.010	0.783	0.782	0.014	0.017	0.863	0.870
KUIFEEND	0.138	0.280	0.229	0.588	0.172	0.798	0.214	0.794
AALSCH	0.138	0.165	0.582	0.837	0.262	0.739	0.704	0.945
FUUT	0.143	0.230	0.524	0.818	0.113	0.587	0.406	0.884
STELTLOP	0.680	0.753	0.616	0.832	0.773	0.968	0.744	0.963
KLUUT	0.907	0.942	0.762	0.910	0.899	0.989	0.856	0.983
VISDIEFJE	0.143	0.230	0.524	0.818	0.113	0.587	0.406	0.884

De voedselwebrelaties zijn terug te vinden in tabel 3.7. Ecogroepen die zich met name voeden met bodemmateriaal (chironomiden, oligochaeten, grote witvissen: zie tabel 3.5) en ecogroepen die deze groepen consumeren, accumuleren voornamelijk materiaal uit het sediment. De vogels die foerageren op de bodem (bijvoorbeeld steltlopers) hebben een beduidend hogere fractie afkomstig uit de bodem dan bijvoorbeeld de fuut die uitsluitend foerageert op vissen.

De algemene trend is dat het droogvallend slib voedselweb voor een groter deel de microverontreinigingen accumuleert uit de bodem dan het ondiep slib voedselweb. Gezien de hoge concentraties in het sediment van het droogvallend slib is dit overeenkomstig de verwachting.

### 3.4.2 Cadmium

Voor cadmium zijn de benodigde opname-efficiënties en excretie-snelheden zonder wijzigingen overgenomen uit de studie T1336 (WL | Delft Hydraulics, 1994).

Tabel 3.8 Coëfficiëntwaarden Cadmium accumulatie

ecogroep	EE-water	EE-vdsl	Excretie
ZOOPLANK	.0100	.0100	1.000
MOLLKLEIN	.0100	.0100	50.000
MOLLGROOT	.0100	.0100	50.000
OLIGO	.0100	.0040	100.000
CHIRONO	.0100	.0040	100.000
MACRUST	.0100	.0040	100.000
SLAK	.0100	.0040	50.000
KLEIN	.0100	.0100	50.000
MIDWIT	.0100	.0020	75.000
GROOTWIT	.0100	.0020	100.000
MIDROOF	.0100	.0100	75.000
GROOTROOF	.0100	.0100	100.000
AAL	.0100	.0100	200.000
KUIFEEND	.0000	.1000	33.000
AALSCH	.0000	.1000	100.000
FUUT	.0000	.1000	100.000
STELTLOP	.0000	.1000	20.000
KLUUT	.0000	.1000	100.000
VISDIEFJE	.0000	.1000	100.000

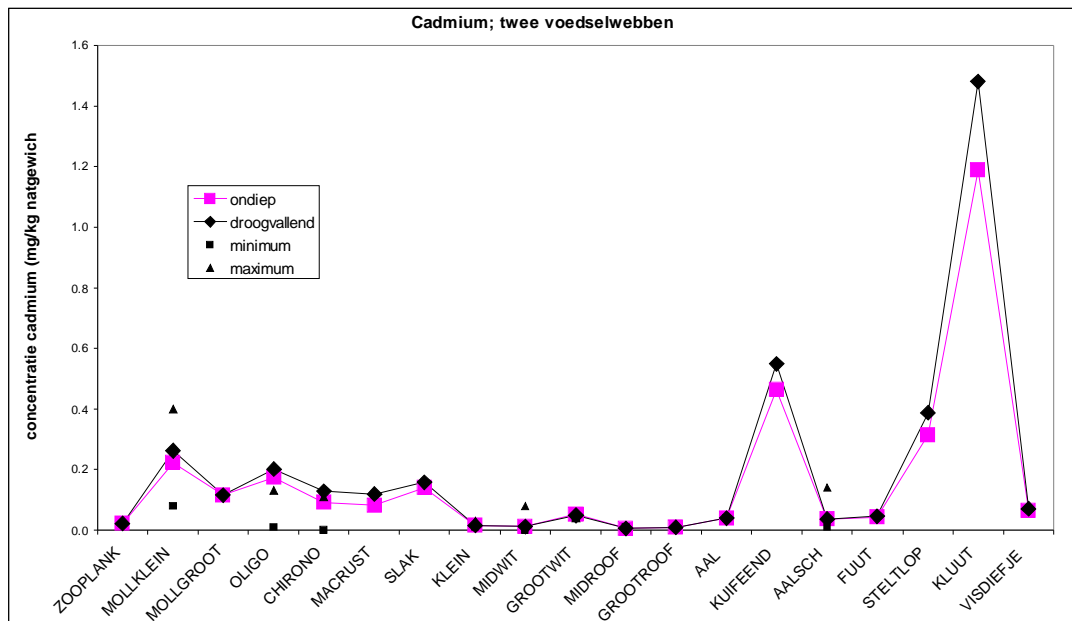
EE-water - Extractie-efficiëntie uit water (-)

EE-vdsl - Extractie-efficiëntie uit voedsel (-)

Excretie - Halfwaardetijd excretie (dagen)

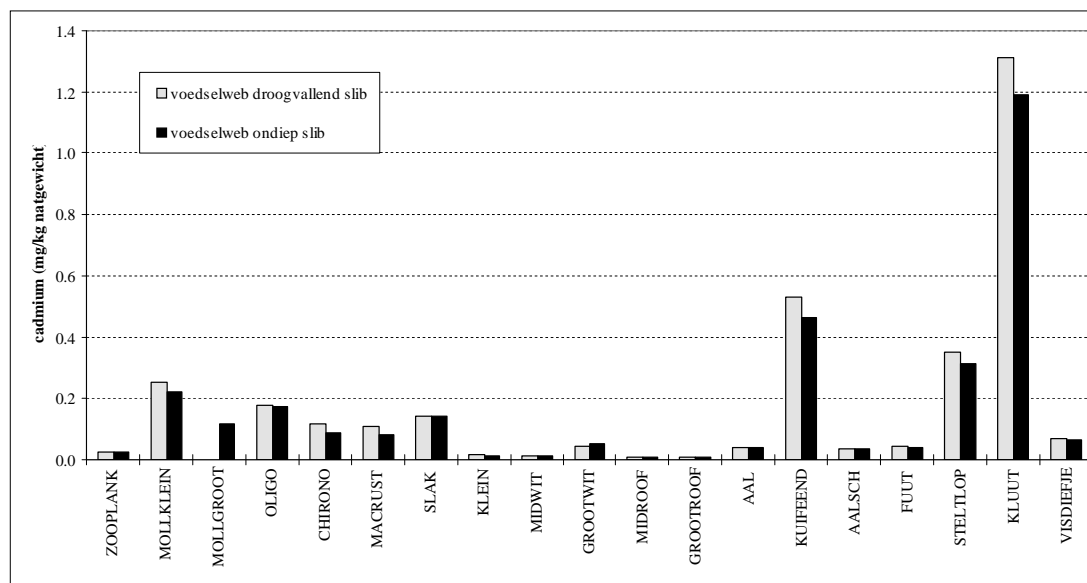
Tabel 3.9 Concentraties cadmium in de biotopen *droogvallend slib* en *ondiep slib* voor de 19 ecogroepen (mg/kg natgewicht)

	Droogvallend slib	Ondiep slib
zoöplankton	0,02	0,02
kleine mollusken	0,26	0,22
grote mollusken	0,12	0,12
oligochaeten	0,20	0,17
chironomiden	0,13	0,09
macrocrustacean	0,12	0,08
slakken	0,16	0,14
kleine witvis	0,02	0,01
middelgrote witvis	0,01	0,01
grote witvis	0,05	0,05
middelgrote roofvis	0,01	0,01
grote roofvis	0,01	0,01
aal	0,04	0,04
kuifeend	0,55	0,46
aalscholver	0,04	0,04
fuut	0,05	0,04
steltlopers	0,39	0,32
kluut	1,48	1,19
visdiefje	0,07	0,06



Figuur 3.1 Berekende concentratie Cadmium voor ondiep slib en droogvallend slib in vergelijking met gemeten waarden.

Cadmium resultaten zijn niet verder gekalibreerd. Opvallend is de goede overeenkomst met beschikbare meetgegevens. De invloed van de twee verschillende voedselwebben en de verschillende blootstelling is relatief gering. Het effect van verschillende blootstelling op de bodemdieren-eter 'Kluut' is het grootst. Hiermee is ook aangetoond dat met name de vogels die prederen op bodemdieren een aanzienlijk hogere accumulatie vertonen dan de visetende vogels (Kuifeend, Steltloper, Kluut versus Aalscholver, Fuut en Visdiefje). De beide voedselwebben kennen uitsluitend verschil in bodemkwaliteit, de oppervlaktewater kwaliteit is gelijk.



Figuur 3.2 Effect van de voedselketen op de accumulatie van cadmium. Vergelijking tussen de voedselketen voor droogvallend slib en ondiep slib met dezelfde sediment- en waterkwaliteit (namelijk van ondiep slib)

De voedselketen voor droogvallend slib is voor een groter deel op bodem detritus gebaseerd dan de voedselketen voor ondiep slib. Deze hogere afhankelijkheid is de reden voor de ietwat hogere cadmiumgehalten in een deel van de voedselgroepen (Figuur 3.2). Het verschil tussen de voedselwebben is over het algemeen niet groot. Het meest in het oog springen de kuifeend, de steltlopers en de kluut. Deze voeden zich met kleine mollusken, chironomiden en oligochaeten. De hogere concentratie in deze groepen in de droogvallend slib voedselketen wordt doorgegeven naar de hogere trofische niveaus.

### 3.4.3 PCB-153

Tabel 3.10 Coefficientwaarden PCB-153 accumulatie

ecogroep	EE-water	EE-vdsl	Excretie	Pop-TO	Metabo
ZOOPLANK	.1000	.100	.00	7.000	.000
MOLLKLEIN	.1000	.100	.00	730.000	.000
MOLLGROOT	.1000	.100	.00	730.000	.000
OLIGO	.1000	.020	.00	365.000	.000
CHIRONO	.1000	.020	.00	365.000	.000
MACRUST	.1000	.100	.00	730.000	.000
SLAK	.1000	.020	.00	365.000	.000
KLEIN	.6000	.6000	.00	365.000	.000
MIDWIT	.6000	.2000	.00	730.000	.000
GROOTWIT	.6000	.2000	.00	1460.000	.000
MIDROOF	.6000	.6000	.00	730.000	.000
GROOTROOF	.6000	.6000	.00	1460.000	.000
AAL	.6000	.2000	.00	9999.000	.000
KUIFEEND	.0000	.0700	.00	1095.000	.002
AALSCH	.0000	.2000	.00	1095.000	.000
FUUT	.0000	.2000	.00	1095.000	.001
STELTLOP	.0000	.0700	.00	1095.000	.002
KLUUT	.0000	.0700	.00	1095.000	.001
VISDIEFJE	.0000	.2000	.00	1095.000	.002

EE-water - Extractie-efficiëntie uit water (-)

EE-vdsl - Extractie-efficiëntie uit voedsel (-)

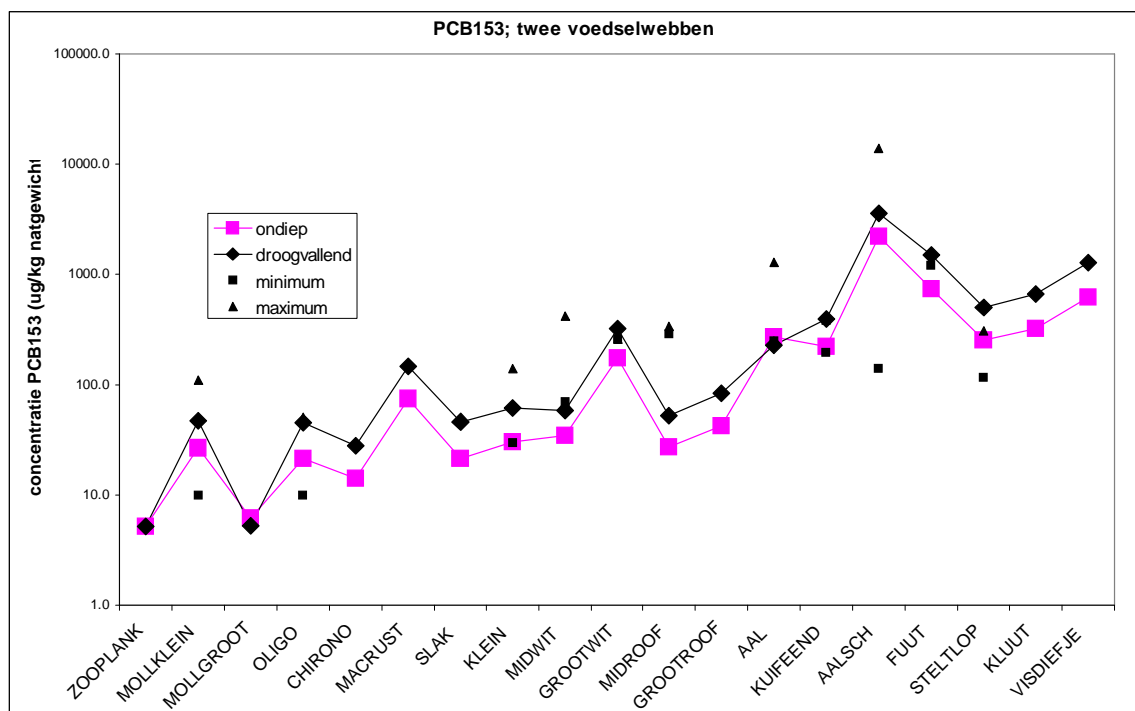
Excretie - Halfwaardetijd excretie (dagen), wordt niet gebruikt voor PCB-type stoffen. Deze waarde wordt bepaald uit de verhouding Kow en opnameflux.

Pop-TO - Halfwaardetijd van de populatie (dagen)

Metabo - Verliesterm door Metabolisme of Excretie via eieren/jongen (1/d)

Tabel 3.11 Concentraties PCB-153 in de biotopen *droogvallend slib* en *ondiep slib* voor de 19 ecogroepen (µg/kg natgewicht)

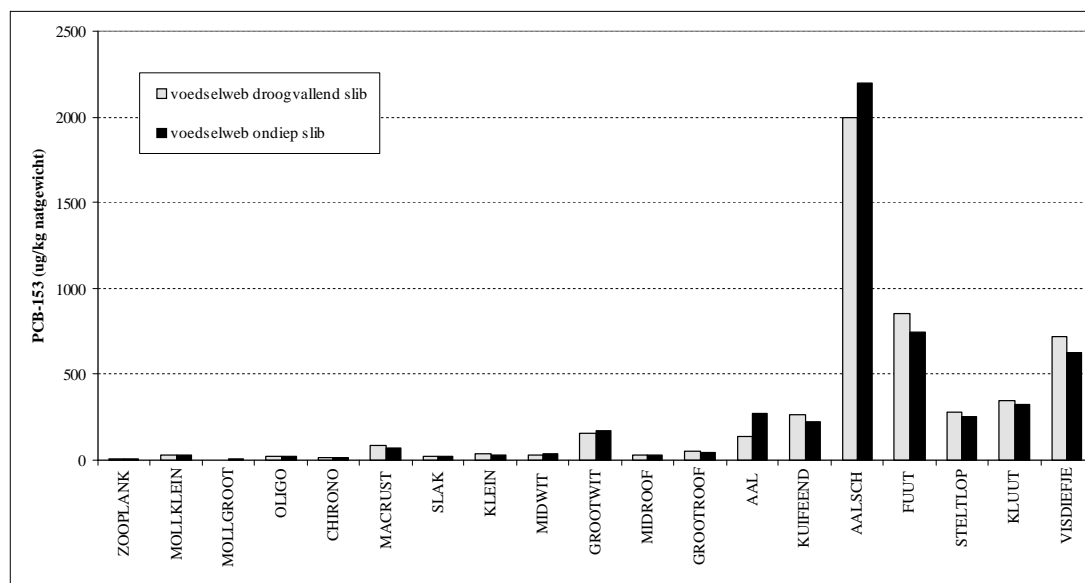
	Droogvallend slib	Ondiep slib
zoöplankton	5	5
kleine mollusken	47	27
grote mollusken	5	6
oligochaeten	45	21
chironomiden	28	14
macrocrustaceaan	147	75
slakken	46	22
kleine witvis	61	30
middelgrote witvis	58	34
grote witvis	323	174
middelgrote roofvis	52	27
grote roofvis	82	43
aal	226	272
kuifeend	392	223
aalscholver	3590	2200
fuut	1510	744
steltlopers	505	255
kluut	664	321
visdiefje	1270	625



Figuur 3.3 Berekende concentratie PCD-153 voor ondiep slib en droogvallend slib in vergelijking met gemeten waarden.



Vanwege de grote verschillen in accumulatie-niveaus worden de resultaten in de figuur logaritmisch getoond. De coëfficiënt-waarden zijn rechtstreeks overgenomen uit T1336 (WL | Delft Hydraulics, 1994) en er is geen kalibratie uitgevoerd. Het model geeft goede resultaten over alle trofieniveaus van de voedselwebben. Opvallend is de grote range van veldgegevens voor Aalscholver. De beide voedselwebben verschillen uitsluitend in bodemkwaliteit, de oppervlaktewater kwaliteit is gelijk.



Figuur 3.4 Effect van de voedselketen op de accumulatie van PCB-153. Vergelijking tussen de voedselketen voor droogvallend slib en ondiep slib met dezelfde sediment- en waterkwaliteit (namelijk van ondiep slib)

De hogere concentraties voor het droogvallend slib voedselweb in de meeste ecogroepen wordt veroorzaakt door de grotere afhankelijkheid van de voedselketen van het bodem detritus. De hogere concentratie in aal en aalscholver wordt bepaald door de grote inname van grote witvissen door aal (40% in droogvallend slib ten opzichte van 5% in ondiep slib). De relatief hoge concentratie die al aanwezig is in de grote witvissen, neemt verder toe in aal en vervolgens de aalscholver.

### 3.4.4 Kwik

De kalibratie is gestart met de parameter setting voor cadmium (Tabel 3.8) voor anorganisch kwik en met de setting voor PCB-153 (Tabel 3.10) voor methylkwik. Tijdens de kalibratie zijn hierop de volgende aanpassingen gedaan:

- extractie-efficiëntie anorganisch kwik uit water en uit voedsel:

zoöplankton	Cd 0,010	Hg 0,05
kleine mollusken	Cd 0,010	Hg 0,025
grote mollusken	Cd 0,010	Hg 0,025
oligochaeten	Cd 0,010	Hg 0,005
- extractie-efficiëntie methyl kwik uit voedsel:

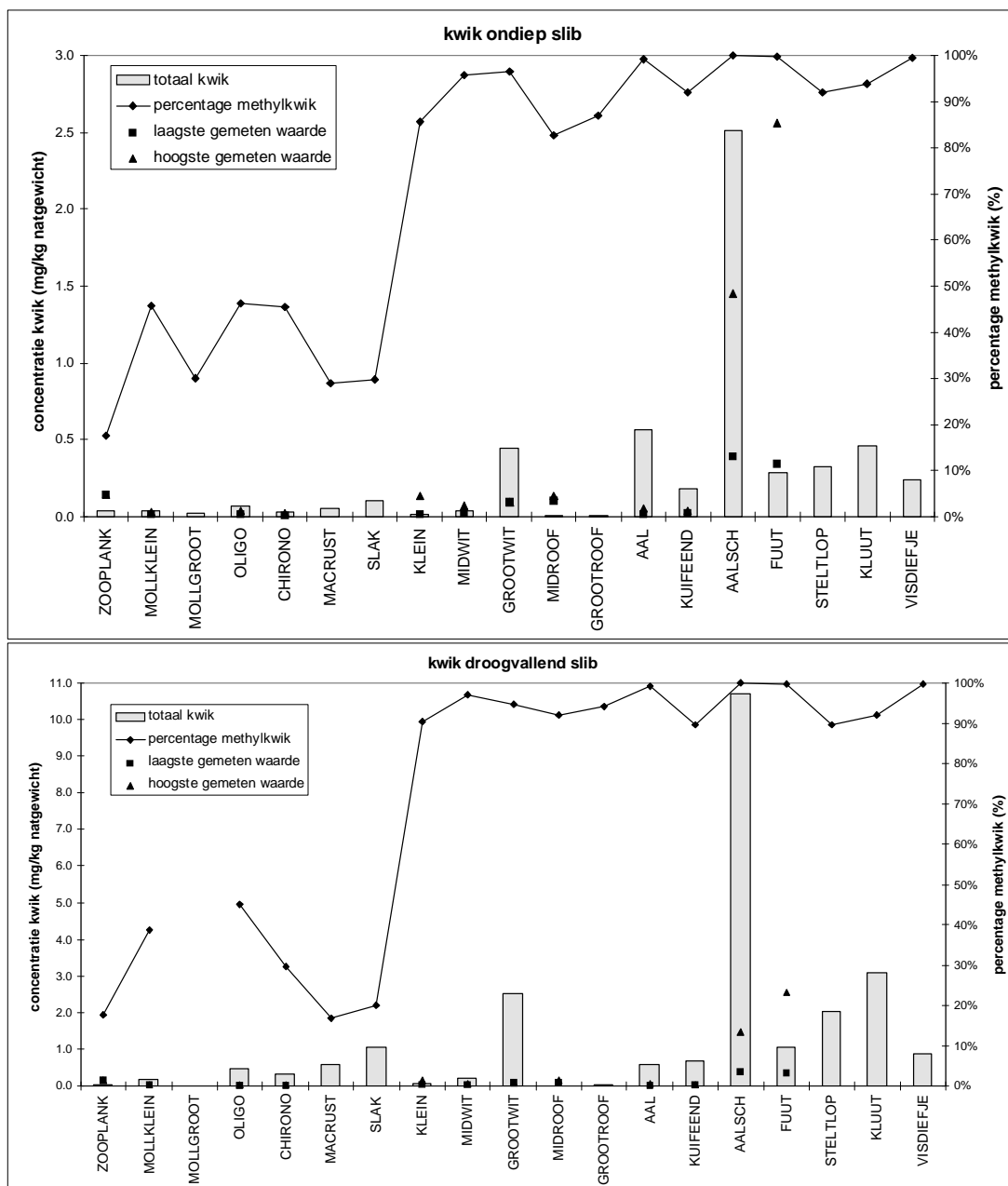
oligochaeten	PCB-153 0,02	MeHg 0,01
--------------	--------------	-----------

chironomiden	PCB-153 0,02	MeHg 0,01
macrocrustaceaen	PCB-153 0,10	MeHg 0,01
slakken	PCB-153 0,02	MeHg 0,01
middelgrote witvis	PCB-153 0,20	MeHg 0,60
grote witvis	PCB-153 0,20	MeHg 0,60
aal	PCB-153 0,20	MeHg 0,60

Tabel 3.12 geeft een overzicht van de berekende kwikconcentratie, uitgesplitst in anorganisch kwik en methyلكwik. Figuur 3.5 toont een vergelijking van de berekende totaal-kwikconcentratie met gemeten waarden en tevens het percentage van het totaal dat voorkomt in de vorm van methyلكwik.

Tabel 3.12 Concentraties anorganisch kwik, methyلكwik en totaal kwik in de biotopen *droogvallend slib* en *ondiep slib* voor de 19 ecogroepen (mg/kg natgewicht)

	Droogvallend slib			Ondiep slib		
	Hg	MeHg	totaal	Hg	MeHg	totaal
zoöplankton	3,05e-02	6,55e-03	3,71e-02	3,06e-02	6,57e-03	3,72e-02
kleine mollusken	1,16e-01	7,34e-02	1,89e+01	2,36e-02	2,00e-02	4,36e-02
grote mollusken	1,41e-02	5,88e-03		1,43e-02	6,18e-03	2,05e-02
oligochaeten	2,61e-01	2,15e-01	4,76e-01	3,78e-02	3,24e-02	7,02e-02
chironomiden	2,26e-01	9,54e-02	3,21e-01	1,81e-02	1,51e-02	3,32e-02
macrocrustaceaen	4,92e-01	9,91e-02	5,91e-01	4,02e-02	1,65e-02	5,67e-02
slakken	8,50e-01	2,11e-01	1,06e+00	7,53e-02	3,20e-02	1,07e-01
kleine witvis	4,55e-03	4,28e-02	4,74e-02	1,92e-03	1,15e-02	1,34e-02
middelgrote witvis	6,66e-03	2,12e-01	2,19e-01	1,77e-03	4,11e-02	4,29e-02
grote witvis	1,36e-01	2,38e+00	2,52e+00	1,56e-02	4,34e-01	4,50e-01
middelgrote roofvis	9,53e-04	1,08e-02	1,18e-02	9,37e-04	4,47e-03	5,41e-03
grote roofvis	1,23e-03	1,95e-02	2,07e-02	1,21e-03	8,04e-03	9,25e-03
aal	5,15e-03	5,94e-01	5,99e-01	5,11e-03	5,62e-01	5,67e-01
kuifeend	7,09e-02	6,14e-01	6,85e-01	1,44e-02	1,68e-01	1,82e-01
aalscholver	2,59e-03	1,07e+01	1,07e+01	7,77e-04	2,51e+00	2,51e+00
fuut	1,91e-03	1,05e+00	1,05e+00	8,07e-04	2,83e-01	2,84e-01
steltlopers	2,09e-01	1,82e+00	2,03e+00	2,60e-02	3,02e-01	3,28e-01
kluut	2,46e-01	2,83e+00	3,08e+00	2,83e-02	4,33e-01	4,61e-01
visdiefje	2,41e-03	8,85e-01	8,87e-01	1,02e-03	2,38e-01	2,39e-01



Figuur 3.5 Berekende (totaal)concentratie kwik voor ondiep slib (boven) en droogvallend slib (onder) in vergelijking met gemeten waarden. Tevens is het percentage methylkwik weergegeven.

Door de hoge concentratie kwik in het sediment kan de biotoop droogvallend slib niet als representatief voor de Sliedrechtse Biesbosch worden gezien. De vergelijking van de metingen met de berekende kwikconcentratie wordt derhalve gebaseerd op de biotoop ondiep slib. In deze biotoop komen de gemeten en berekende concentraties in het onderste deel van de voedselketen goed overeen. Voor grote witvissen wordt een hogere concentratie berekend dan is gemeten. Er is voor grote witvissen echter maar 1 meting beschikbaar, zodat een gedegen vergelijking bemoeilijkt wordt.

Het is opvallend dat de roofvissen, die voor circa 95% foerageren op kleine witvissen, een lagere kwikconcentratie hebben dan hun prooi. De aal vertoont wel een sterke bioaccumulatie

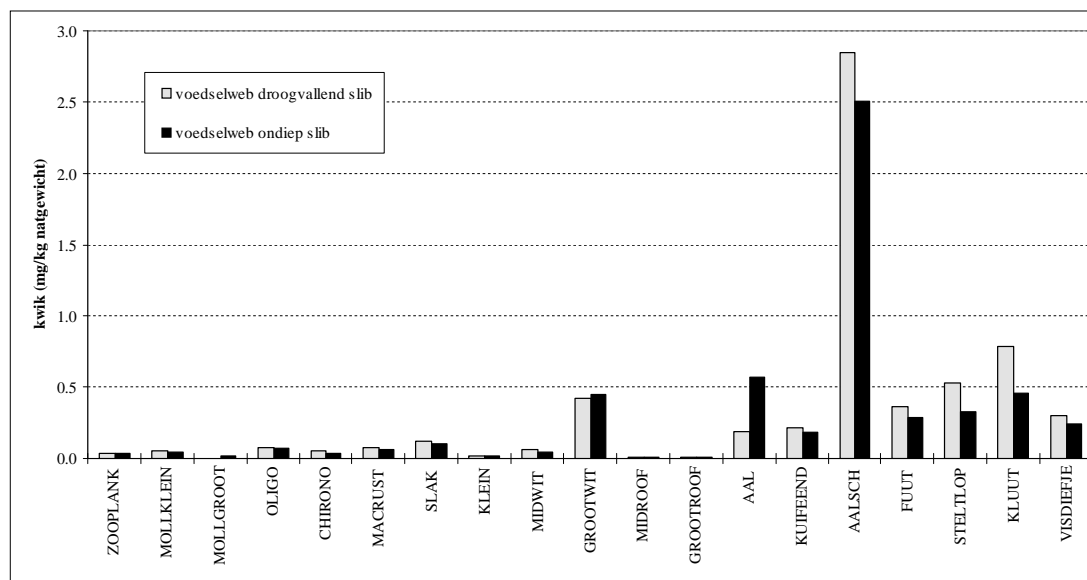
via het eten van met name de kleine en grote witvissen. Ook alle vogels hebben hoge kwikconcentraties, waarbij de aalscholver de hoogste concentratie heeft. Dit komt overigens goed overeen met de hoge waarden die voor aalscholvers gemeten zijn.

Het percentage methykwik is in goede overeenstemming met uit de literatuur bekende waarden (WL | Delft Hydraulics, 2000):

- sediment/water 1-5%;
- algen ± 15%;
- invertebraten 20-50%;
- vissen 80-99%.

Uit figuur 3.3 blijkt een opvallend verschil tussen de biotopen ondiep slib en droogvallend slib, waarbij de laatste een aanmerkelijk hogere kwikconcentratie laat zien. Dit wordt veroorzaakt door de hoge concentratie kwik in het sediment (24,2 mg/kg versus 2,2 mg/kg, verhouding 11:1). Terwijl de kwikconcentratie in zoöplankton in beide biotopen ongeveer gelijk is, omdat deze onafhankelijk is van de sedimentconcentratie, worden allen organismen in de verdere voedselketen wel beïnvloed door de hoge concentratie in het sediment. De slakken, die voor hun voedsel voor 100% afhankelijk zijn van het sediment, laten een vrijwel evenredige toename van de kwikconcentratie zien: 1,22 versus 0,107 mg/kg natgewicht (verhouding 11,4:1). Ook de grote witvissen (63% door bodem detritus) accumuleren een grote hoeveelheid kwik.

Om het verschil tussen de voedselwebben te vergelijken is de combinatie van het droogvallend slib voedselweb ook met de ondiep slib sediment- en waterkwaliteit doorgerekend.



Figuur 3.6 Effect van de voedselketen op de accumulatie van kwik. Vergelijking tussen de voedselketen voor droogvallend slib en ondiep slib met dezelfde sediment- en waterkwaliteit (namelijk van ondiep slib)

Voor 15 van de 19 groepen is het kwikgehalte in de droogvallend slib voedselketen hoger dan in de ondiep slib voedselketen. Voor 2 groepen is het andersom en voor zoöplankton is het

vrijwel gelijk. Er is geen vergelijking mogelijk voor de grote mollusken, omdat die niet in de droogvallend slib voedselketen voorkomen.

De droogvallend slib voedselketen is voor een belangrijker deel afhankelijk van het bodem detritus dan de ondiep slib voedselketen, die iets meer op het gesuspendeerde organisch materiaal is gebaseerd. Aangezien het kwikgehalte in de bodem hoger is dan het kwikgehalte aan zwevend stof in de waterkolom, is de kwikconcentratie in de droogvallend slib voedselketen over het algemeen wat hoger dan in de ondiep slib voedselketen. Bijvoorbeeld de kleine mollusken hebben in de droogvallend slib voedselketen een hogere concentratie dan in de ondiep slib voedselketen. Dit wordt veroorzaakt door de grotere afhankelijkheid van bodem detritus in de droogvallend slib voedselketen (51% tegenover 31%). De kuifeend die zich voor 100% voedt met kleine mollusken, heeft vervolgens ook een hoger kwikgehalte.

Significante uitzonderingen zijn de grote witvissen en de aal. De groep van de grote witvissen laat als enige een afname in de hoeveelheid bodem detritus zien (63% in plaats van 69%). Eens te meer geeft dit het doorslaggevend belang van het bodemmateriaal aan. Het voedselpatroon van de aal bestaat voor 40% uit grote witvissen voor ondiep slib. Voor droogvallend slib is dit percentage slechts 5%. Aangezien het kwikgehalte in grote witvissen relatief hoog is in beide biotopen, resulteert een hogere bijdrage van deze soort in een hogere kwikconcentratie in aal.

## 4 Samenvatting en conclusie

### 4.1 Voedselwebberekeningen

Tijdens de kalibratie zijn voornamelijk aanpassingen gemaakt in de import- en export snelheden. Voor de benodigde coëfficiënten is gebruik gemaakt van de beschikbare data uit de voedselwebben uit studie Z2794 (WL | Delft Hydraulics, 1999).

De geschatte biomassa's van de verschillende voedselgroepen kunnen voor de beide biotopen goed worden gereproduceerd door de voedselwebmodellen.

Het voedselwebmodel is daardoor een redelijke benadering en een geschikt uitgangspunt voor bioaccumulatieberekeningen voor de biotopen 'ondiep slib' en 'droogvallende platen' in de Sliedrechtse Biesbosch.

### 4.2 Bioaccumulatieberekeningen

#### 4.2.1 Cadmium en PCB-153

Uit de toepassing van CHEOPS voor de twee voedselwebben van de Sliedrechtse Biesbosch worden de volgende conclusies getrokken:

De in het veld gemeten gehalten kunnen goed worden gereproduceerd met behulp van de coëfficiëntwaarden zoals gekalibreerd en gevalideerd in de eerder uitgevoerde studie in de Dordtsche Biesbosch (WL, 1994).

Het voedselweb draagt voor cadmium in geringe mate bij aan verschillen in accumulatie-niveaus. Grootste invloed is de accumulatie van cadmium door Kluut op basis van consumptie van benthos (chironomiden en oligochaeten).

De consumptie van bodemmateriaal en blootstelling aan poriewater door organismen leidt tot verhoogde accumulatie-niveaus. De bijdrage van contaminanten vanuit de bodem is voor pcb-153 voor visetende vogels meer dan 50%, cadmium daarentegen wordt door viseters weinig uit de bodem geaccumuleerd (<20%). Voor benthos-eters is dit percentage nog wat hoger (PCB-153 > 60%, Cd >70%).

#### **4.2.2 Kwik en Methyl-kwik**

De verdeling tussen anorganisch kwik en methyلكwik wordt door het model goed gereproduceerd. De bijdrage van anorganisch kwik is hoog voor de lagere trofieniveas, maar voor de vissen en vogels is de bijdrage van methyلكwik meer dan 90% van het totaal. De som van beiden is gebruikt voor de succesvolle kalibratie met veldgegevens.

De bijdrage van de bodem aan accumulatie van anorganisch kwik in de ecogroepen is vergelijkbaar met cadmium. Voor methyلكwik berekent het model bijdragen boven de 90% voor vogels uit de bodem.

## 5 Literatuur

Boudewijn, T.J. & van Moorsel G.W.N.M. (1996) *Onderbouwing voedselwebmodellen voor Haringvliet en Brabantse Biesbosch*. Rapport Bureau Waardenburg nr. 96.40, in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA.

Boudewijn, T.J. (2000) *Onderbouwing voedselwebmodel Sliedrechtse Biesbosch*. Rapport Bureau Waardenburg nr. 00-18, in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA.

RIZA, 2000

BEO, *Biotische effecten onderzoek Sliedrechtse Biesbosch*, (in voorbereiding)

Van Hattum, B., I. Burgers, K. Swart, A. van der Horst, J.W. Wegener, P. den Besten (1998) *Biomonitoring van Microverontreinigingen in voedselketens in de Haringvliet en de Amer*, Nader Onderzoek HV-AM. Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije universiteit Amsterdam.

Van Hattum, B., I. Burgers, K. Swart, A. van der Horst, J.W. Wegener, P. Leonards, M. Rijkeboer, P. den Besten (1996) *Biomonitoring van Microverontreinigingen in voedselketens in het Hollandsch Diep, De Dordtsche en de Brabantsche Biesbosch*, Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije universiteit Amsterdam.

Wegener, J.W.M., Y.-L. Chan, A. van der Horst, G.H.J. Hopman-Ubeels, K.A. Oudhoff, C.P. Swart & M. van Velzen (1999) *Bepaling van microverontreinigingen in monsters uit bioaccumulatietesten met sedimenten uit de Zuidrand*, Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije universiteit Amsterdam.

Wegener, J.W.M., C.P. Swart & M. van Velzen (2000) *Bepaling van microverontreinigingen in waterplanten en schelpdieren*. Instituut voor Milieuvraagstukken. Vrije Universiteit Amsterdam.

WL | Delft Hydraulics (1994). *Voedselwebberekeningen voor Hollands Diep en Dordtsche Biesbosch; werkdocument*. Rapport WL | Delft Hydraulics T1260, in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA B.F.Michielsen).

WL | Delft Hydraulics (1994). *Calibratie CHEOPS voor Hollands Diep en Dordtsche Biesbosch; werkdocument*. Rapport WL | Delft Hydraulics T1336, in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA (M.B. de Vries).

WL | Delft Hydraulics (1999). *Voedselwebanalyse en bioaccumulatie in vier biotopen in het Haringvliet*. Rapport WL | Delft Hydraulics Z2794.00, in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA (A.N. Blauw).

WL | Delft Hydraulics (2000). *Literatuuronderzoek Kwik, ten behoeve van bioaccumulatie-berekeningen in de Sliedrechtse Biesbosch*. Rapport WL | Delft Hydraulics Z2795, in opdracht van RIZA (A.J. Nolte).





## **WL | Delft Hydraulics**

Rotterdamseweg 185  
postbus 177  
2600 MH Delft  
telefoon 015 285 85 85  
telefax 015 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

Rotterdamseweg 185  
p.o. box 177  
2600 MH Delft  
The Netherlands  
telephone +31 15 285 85 85  
telefax +31 15 285 85 82  
e-mail [info@wldelft.nl](mailto:info@wldelft.nl)  
internet [www.wldelft.nl](http://www.wldelft.nl)

