

evaluatie van de nota's 73-08 en 74-09  
van de projektgroep Hollands Diep -  
Haringvliet en enkele algemene beschouwingen  
over het toepassen van massabalansen

verslag onderzoek

---

R 1176

mei 1977

INHOUD

blz.

LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN

SYMBOLLEN EN EENHEDEN

<u>1</u>	<u>Inleiding</u> .....	1
<u>2</u>	<u>Doel van het onderzoek</u> .....	2
<u>3</u>	<u>Het onderzoek</u> .....	3
3.1	Het onderzoek van de projectgroep Hollands Diep/ Haringvliet.....	3
3.2	De verwerking en presentatie van meetgegevens.....	4
3.3	Het onderhavige onderzoek.....	6
<u>4</u>	<u>De balansmethode</u> .....	7
<u>5</u>	<u>Grootte-orde van de termen</u> .....	9
<u>6</u>	<u>De continuïteitsvergelijking</u> .....	10
<u>7</u>	<u>De bewegings- of Navier-Stokesvergelijking</u> .....	12
<u>8</u>	<u>De stofbalans</u> .....	15
<u>9</u>	<u>De afvoerindeling</u> .....	20
<u>10</u>	<u>Samenvatting: resultaten en aannamen bij een één-dimen- sionale quasi-stationaire beschouwing</u> .....	21
<u>11</u>	<u>Toepassen van één-dimensionale vergelijkingen op het HD/HV-trajekt</u> .....	24
11.1	Grootte van de tijdschalen $T_0$ , $T_v$ , $T_c$ en $T_p$ voor het HD/HV/Maas/Waal-trajekt.....	24
11.2	Lozingen en onttrekkingen.....	27

12	<u>Het verband tussen de balansperiode en de vakinde- ling (algemeen).....</u>	30
13	<u>Het verband tussen vakindeling, balansperiode en betrouw- baarheid bij een constante standaarddeviatie <math>\tau</math>.....</u>	32
14	<u>Betekenis voor het onderzoekgebied.....</u>	37
15	<u>Samenvatting van de statistische beschouwing.....</u>	41

SAMENVATTING RAPPORT

LITERATUUR

BIJLAGEN

FIGUREN

## LIJST VAN FIGUREN EN TABELLEN

### Figuren:

1. De bemonsteringsstations in het Hollands Diep en Haringvliet (uit lit. 2)
2. Overzicht van de meet- en bemonsteringsstations en indeling in segmenten in het onderzoekgebied (uit lit. 2)
3. Lozing op een rivier (blz. 17)
4. Verwacht verloop van de standaarddeviatie als functie van de balansperiode (blz. 31)
5. Het verband tussen  $\Sigma_l$  en het aantal bemonsteringspunten per compartiment
6. De minimale compartimentlengte  $L$  als functie van het aantal bemonsterseries voor verschillende afstanden tussen twee bemonsteringspunten
7. Idem als 6, maar bij een constant aantal bemonsteringen per jaar
8. Idem als 6, maar voor verschillende waarden van de betrouwbaarheid  $a$ .

### Tabellen:

1. Het verhang van Waal/Merwede/HD/HV bij  $Q_{\text{Lobith}} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$  en gemiddeld getij
2. Relatieve concentratieverandering door de persleiding van Breda
3. Relatieve concentratieverandering t.g.v. de Donge
4. Relatieve verandering van het gehalte zwevende stof
5.  $\Sigma_l$  als functie van de compartimentlengte
6. De grootte van  $\hat{\sigma}/\hat{\beta}$  voor verschillende stoffen
7. De minimale compartimentlengte bij een bemonsteringsfrequentie van éénmaal per 14 dagen, als functie van de betrouwbaarheid  $a$  en de afstand  $l$  tussen 2 bemonsterplaatsen.

## LIJST VAN SYMBOLEN EN EENHEDEN

a	- betrouwbaarheid waarmee accumulatie kan worden aangetoond	(m)
A	- oppervlakte van de dwarsdoorsnede van een rivier	(m <sup>2</sup> )
A <sup>*</sup>	- netto accumulatie; omzetting; verdamping	(kg/s)
b	- breedte ter plaatse van het waterloopkundig onderzoek	(m)
c	- concentratie	(kg/m <sup>3</sup> )
c <sub>i</sub>	- concentratie van invoer	(kg/m <sup>3</sup> )
c <sub>p</sub>	- concentratie van polderlozing	(kg/m <sup>3</sup> )
c <sub>u</sub>	- concentratie van uitvoer	(kg/m <sup>3</sup> )
c <sub>o</sub>	- concentratie van onttrekkingen	(kg/m <sup>3</sup> )
c <sup>**</sup>	- concentratie afvalwater	(kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>1</sub>	- concentratie na lozing	(kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>z</sub>	- Chézy coëfficiënt	(m <sup>1/2</sup> /s)
D	- diffusiecoëfficiënt	(m <sup>2</sup> /s)
D <sub>y</sub>	- dwarsdiffusiecoëfficiënt	(m <sup>2</sup> /s)
D <sub>L</sub>	- longitudinale dispersiecoëfficiënt	(m <sup>2</sup> /s)
Fr	- Froude getal	(-)
g	- zwaartekracht versnelling	(m/s <sup>2</sup> )
h	- waterhoogte	(m)
H	- hoogteverschil	(m)
i	- verhang	(-)
I	- watertoevoer naar een vak	(m <sup>3</sup> /s)
k	- reactieconstante (R = - kc)	(-)
l	- afstand tussen twee bemonsteringspunten	(m)
L	- lengtemaat	(m)
L <sup>*</sup>	- lozingen	(m <sup>3</sup> /s)
O	- "natte" omtrek van de dwarsdoorsnede	(m)
O <sup>*</sup>	- onttrekking van hoeveelheid water	(m <sup>3</sup> /s)
P	- bron- of putterm	(kg/m <sup>3</sup> s)
P <sub>1</sub>	- maat voor de concentratieverandering door lozing van "droge" stof	(kg/m <sup>3</sup> s)
P <sub>2</sub>	- maat voor de concentratieverandering door lozing van water	(kg/m <sup>3</sup> s)
q	- lozing of onttrekking per lengte-eenheid	(m <sup>2</sup> /s)
Q	- (water)debiet	(m <sup>3</sup> /s)

$Q_1$	- lozingsdebiet	$(m^3/s)$
$R$	- reactieterm	$(kg/m^3 s)$
$R_H$	- hydraulische straal	$(m)$
$s$	- aantal bemonsteringspunten per compartiment	$(-)$
$t$	- tijd	$(s)$
$T$	- aantal bemonsteringsperioden	$(-)$
$T_o$	- tijdschaal waarmee de afvoer (bij Lobith) een nader te bepalen factor of percentage $\alpha_o$ verandert	$(s)$
$T_c$	- tijdschaal waarmee de concentratie (bij Lobith) een nader te bepalen factor of percentage $\alpha_c$ verandert	$(s)$
$T_m$	- balansperiode	$(s)$
$T_m^{**}$	- schatten voor de balansperiode	$(s)$
$T_p$	- tijdschaal waarop de verstoringen van het waterniveau zich verplaatsen	$(s)$
$T_{Qc}$	- tijdschaal waarmee de vracht (bij Lobith) een nader te bepalen factor of percentage verandert	$(s)$
$T_v$	- de verblijftijd	$(s)$
$u$	- snelheid	$(m/s)$
$u^{**}$	- schuifspanningssnelheid	$(m/s)$
$U$	- de netto afvoer	$(m^3/s)$
$x$	- plaatsvariabele	$(m)$
$\alpha_o$	- verandering van de afvoer binnen tijdschaal $T_o$	$(m^3/s)$
$\alpha_c$	- verandering van de concentratie binnen tijdschaal $T_c$	$(kg/m^3)$
$\beta$	- afname van de concentratie met de plaats	$(kg/m^4)$
$\gamma$	- konstante	$(-)$
$\epsilon_o$	- verhouding van $T_v$ en $T_o$	$(-)$
$\epsilon_c$	- verhouding van $T_v$ en $T_c$	$(-)$
$\lambda$	- wortel van een karakteristieke vergelijking	$(m^{-1})$
$\sigma$	- standaarddeviatie	$(?)$
$\sigma_c$	- standaarddeviatie voor de concentratie	$(kg/m^3)$
$\sigma_Q$	- standaarddeviatie voor de afvoer $Q$	$(m^3/s)$
$\sigma_{Qc}$	- standaarddeviatie voor de vracht	$(kg/s)$
$\Sigma_z$	- gedefinieerd als $\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2} L^2$	$(-)$

## 1 Inleiding

Voor het nemen van beslissingen in beheersvraagstukken is het nodig te beschikken over kennis betreffende processen die in het beschouwde gebied optreden of mogelijk kunnen gaan optreden.

Om deze processen uit de beschikbare bemonsteringsgegevens te leren kennen, moet aangegeven worden hoe deze bemonsteringsgegevens gehanteerd moeten worden. Eén van de mogelijkheden om processen als sedimentatie en erosie aan te tonen, is het opstellen van massabalansen. Aan andere mogelijkheden wordt in het kader van dit onderzoek geen aandacht besteed. Voor het Hollands Diep/Haringvliet zijn door de projectgroep Hollands Diep/Haringvliet dergelijke balansen opgesteld, waarbij gebruik gemaakt werd van diverse aannamen. Dit rapport geeft allereerst een overzicht van de doelstellingen, de werkwijze en de resultaten van deze studie van de projectgroep zoals beschreven in de nota's 73-08 (lit. 1) en 74-09 (lit. 2), met als titel:

„Het aquatisch milieu in het Hollands Diep en Haringvliet"  
over de periode januari/juni resp. januari/december 1972.

Daarnaast wordt een beschouwing gegeven over de invloed van verschillende veronderstellingen die bij het opstellen van massabalansen gedaan kunnen worden op de resultaten en conclusies die verkregen worden.

Tevens is gepoogd aan te geven hoe een water- of massabalans opgesteld moet worden die, gezien de kwaliteit en kwantiteit van de bemonsteringen, optimaal genoemd kan worden.

Als eindconclusie wordt tenslotte vermeld dat bij het toepassen van quasi-stationaire balansvergelijkingen de betrouwbaarheid van uitspraken over de aanwezigheid en/of omvang van genoemde processen door toename van de balansperiode enerzijds zal doen afnemen, daar minder aan de stationaire voorwaarde wordt voldaan, en anderzijds zal doen toenemen, daar over meerdere bemonsteringstijdstippen wordt gemiddeld. De vraag of er bij toepassing van massabalansen een optimale bemonsteringsperiode te vinden is, blijft nog voor bestudering open.

## 2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is het zodanig verwerken van de beschikbare waterkwaliteitsgegevens van het Hollands Diep en het Haringvliet, dat een zo goed en betrouwbaar mogelijk beeld wordt verkregen van de omvang en samenhangen van bepaalde processen in het onderzoekgebied bij gegeven beperkingen wat betreft kosten en methodiek.

De te beschouwen processen zijn:

- sedimentatie en erosie
- chemische omzetting
- verdamping/neerslag.

De beperkingen die aan het onderzoek gesteld worden, zijn:

- a) geen aanvullende metingen i.v.m. kostenfactor
- b) als methodiek: massabalansen.

Wanneer mocht blijken dat het aldus verkregen beeld niet voldoet aan de wens wat betreft detaillering en een nog nader aan te geven of te omschrijven betrouwbaarheid, dient aangegeven te worden hoe een meetprogramma met bijbehorende verwerkingsmethode opgezet zou kunnen worden teneinde de opbrengst te verhogen.



### 3 Het onderzoek

#### 3.1 Het onderzoek van de projektgroep HD/HV

Door de projektgroep zijn twee rapporten opgesteld betreffende de waterkwaliteitsgegevens van 1972 met als titel:

„Het aquatisch milieu in het Hollands Diep/Haringvliet over de periode januari - december 1972”.

De projektgroep is samengesteld uit vertegenwoordigers van het RIZA, het Delta-Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, het Rijksinstituut voor Bodemvruchtbaarheid, de Direktie van de Visserijen, de Regionale Inspectie voor de Milieu-Hygiëne en de Deltadienst.

De projektgroep stelt zich ten doel onderzoek te coördineren en te stimuleren naar de kwalitatieve aspecten van het water in het Hollands Diep en Haringvliet na de afsluiting van het Haringvliet.

De doelstelling van de projektgroep houdt o.m. in:

- de bestudering van de ontwikkeling van het aquatisch milieu in het onderzoekgebied als functie van de tijd
- verrichten van correlatieberekeningen met hydrometeorologische factoren
- bestuderen van de relatie tussen water en bodem
- leveren van randvoorwaarden voor de kwaliteit van het inlaatwater van het toekomstige Zeeuwse Meer
- het rapporteren en adviseren aan beheersinstanties.

De basis voor deze taak is een meetnet (zie fig. 1) dat jaarlijks circa 100,000 gegevens oplevert.

Het door de projektgroep gehanteerde onderzoekprogramma omvat:

1. Onderzoek naar de locale belastingbronnen
2. Onderzoek naar de processen in het aquatisch milieu van het bekken
3. Onderzoek naar de relatie tussen bodemslib en water, voor zover van belang voor de waterfase
4. Oriëntering ten aanzien van visserijkundige aspecten.

### 3.2 De verwerking en presentatie van meetgegevens

Bij de verwerking en presentatie van meetgegevens wordt door de projectgroep een gediskretiseerde water- en stofbalans gehanteerd. De balansen met de daarbij gedane aannamen zien er als volgt uit:

#### A) Waterbalans

Het onderzoekgebied is onderverdeeld in negen segmenten. De indeling in segmenten wordt bepaald door de lokale situatie en de plaats van de bemonsteringsstations (zie fig. 2).

Over ieder segment wordt over een periode van twee weken (de bemonsteringsperiode) een waterbalans opgesteld volgens:

$$I \Delta t + L^* \Delta t = O \Delta t + U \Delta t \quad (3.2.1)$$

Hierin is:

I = de invoer van een segment  $(m^3/s)$

O = de onttrekkingen  $(m^3/s)$

L\* = de lozingen  $(m^3/s)$

U = de netto afvoer  $(m^3/s)$

Er wordt daarbij aangenomen dat er geen berging is.

De vergelijking (3.2.1) is verkregen door m.b.v. de bemonsteringen van I, L\* en O de netto afvoer U te bepalen volgens:

$$U = I + L^* - O \quad (3.2.2)$$

Nu wordt aangenomen dat de situatie op het bemonsteringstijdstip representatief is voor de periode tussen twee bemonstertijdstippen ( $\Delta t = 2$  weken). De hoeveelheid water, die gedurende deze periode van 2 weken een bepaald punt in de rivier passeert, kan dan door integratie van de diverse termen worden verkregen, aangezien I, L\*, O en U gedurende een periode van 2 weken geen functie van de tijd meer zijn.

Resultaat:

$$\int_0^{\Delta t} I dt + \int_0^{\Delta t} L^* dt = \int_0^{\Delta t} O dt + \int_0^{\Delta t} U dt$$

$$I \Delta t + L^* \Delta t = O \Delta t + U \Delta t$$

waarmee vergelijking (3.2.1) is gevonden.

Door sommatie over alle segmenten wordt de waterbalans over het gehele onderzoeksgebied verkregen.

#### B) De stofbalans

Met behulp van de waterbalans wordt over dezelfde segmenten als boven een stofbalans opgesteld volgens:

$$I c_i + L^* c_p = U c_u + O c_o + A^{**}$$

Integratie over een periode  $t$  levert:

$$I c_i \Delta t + L^* c_p \Delta t = U c_u \Delta t + O c_o \Delta t + A^{**} \Delta t \quad (3.2.3)$$

waarbij de diffusieterm verwaarloosbaar klein wordt verondersteld ( $D \cong 0$ ). Hierin zijn  $c_i$ ,  $c_p$ ,  $c_u$  en  $c_o$  de concentraties bij resp. invoer, polderlozing, afvoer en onttrekking.  $A^{**}$  is de netto accumulatie, omzetting en/of verdamping.

De door de projektgroep opgestelde aannamen voor de genoemde parameters zijn:

1. Neerslag, verdamping, kwel en berging zijn t.o.v. de overige termen in de waterbalans over een periode van twee weken te verwaarlozen.
2. De belastingen zijn gelijkmatig verdeeld over een periode van vier weken (bemonstering van polderlozingen vindt éénmaal per vier weken plaats).
3. Het afvalwater heeft de samenstelling van het gemiddelde Nederlandse afvalwater.
4. De hoeveelheid water die wordt ingelaten of uitgeslagen bij polders waarvan geen gegevens bekend zijn, wordt geschat.
5. De meetgegevens van een bemonsteringsstation zijn representatief voor een periode van twee weken en voor de gehele dwarsdoorsnede.
6. Bij de bemonsteringsstations is er een homogeen gemengde situatie over de dwarsdoorsnede.

De genoemde aannamen worden in het rapport niet getoetst. Over de geldigheid van deze aannamen is weinig bekend. Wel moet worden opgemerkt dat de werkelijke situatie belangrijk kan verschillen van het in de laatste twee aannamen geschetste beeld.

### 3.3 Het onderhavige onderzoek

Het onderhavige onderzoek, uitgevoerd in samenwerking met Deltadienst, beoogt het vinden van een zodanige verwerking van de beschikbare waterkwaliteitsgegevens van het Hollands Diep/Haringvliet, dat een zo goed en betrouwbaar mogelijk beeld wordt verkregen van de omvang en samenhangen van bepaalde processen.

Daarbij richt de aandacht zich uitsluitend op:

- a) Het onderzoek betreffende de locale belastingbronnen
- b) Het onderzoek naar processen in het aquatisch milieu van het bekken.

De beperkingen bij de uitvoering zijn:

- geen aanvullende metingen
- methodiek: balansen.

Gezien de beperkingen is het onderhavige onderzoek te verdelen in:

- a. De beschouwing van de in genoemde nota's gebruikte methoden en uitgangspunten
- b. Het maken van een foutenanalyse
- c. Een evaluatie van de conclusies van de nota(s)
- d. (waar nodig) aangeven van randvoorwaarden en/of knelpunten die oplossing behoeven
- e. (indien mogelijk) verbetering van de massabalansberekening.

De nadruk ligt op het maken van een foutenanalyse voor de massabalansen die zijn opgesteld met behulp van de waterkwaliteitsgegevens van 1972.

Middels een foutenanalyse wordt aangegeven in welke mate uitspraken omtrent processen gerechtvaardigd zijn.

#### 4 De balansmethode

De balansmethode, zoals de werkgroep HD/HV deze hanteert, gaat uit van verschillende veronderstellingen zoals genoemd op blz.5 .

Om een overzicht te krijgen van de noodzakelijke veronderstellingen om tot de gebruikte balansvergelijking te komen, wordt een beschouwing gegeven van de ééndimensionale continuïteitsvergelijking, bewegingsvergelijking en diffusie-advectievergelijking voor een rivier met variabele dwarsdoorsnede A.

Om deze vergelijkingen op de situatie in het onderzoekgebied te mogen toepassen, moet aan de volgende eis voldaan zijn:

- De concentratie en de snelheid zijn uniform over de gehele dwarsdoorsnede van de rivier:

$$c = c(x,t) \quad \text{en} \quad u = u(x,t)$$

Hoewel de concentratie zeker bij een lozingspunt niet homogeen over de dwarsdoorsnede is, mag bovengenoemde eis voor het onderzoekgebied worden toegepast als op de bemonsteringspunten eventuele lozingen homogeen over de dwarsdoorsnede zijn verdeeld. In hoeverre dit het geval is, zal moeten worden onderzocht.

De continuïteitsvergelijking:

$$b \cdot \frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q = 0 \quad (4.1)$$

h = waterhoogte

b = breedte ter plaatse van het wateroppervlak

Q = (water)debiet

q = lozing of onttrekking per lengte-eenheid.

De bewegingsvergelijking:

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta u Q}{\delta x} + A g \frac{\delta h}{\delta x} + g \frac{Q|Q|}{AC_z^2 R_H} = 0 \quad (4.2)$$

waarin:

u = stroomsnelheid

C<sub>z</sub> = chézy coëfficiënt

R<sub>H</sub> = de hydraulische straal

De diffusievergelijking:

$$\frac{\delta(Ac)}{\delta t} + \frac{\delta(uAc)}{\delta x} = \frac{\delta}{\delta x} (AD_L \frac{\delta c}{\delta x}) + (P + R)A \quad (4.3)$$

waarin:

$D_L$  = longitudinale dispersiecoëfficiënt

$R$  = reactieterm

$P$  = bron- of putterm.

## 5 Grootte-orde van de termen

In de rapporten van de projektgroep wordt uitgegaan van een stationaire situatie (geen berging).

Door schatting van de orde-grootte van de termen in de diverse vergelijkingen kan het relatieve gewicht van elke term bepaald worden. Voor een schatting van de grootte-orde van de diverse termen is het noodzakelijk tijdschalen te definiëren, waarop de diverse parameters variëren.

Voor het onderzoeksgebied worden de volgende tijdschalen gekozen:

$T_0$  : de tijdschaal waarop de afvoer (b.v. bij Lobith) een nader te bepalen factor of percentage  $\alpha_0$  verandert.

Door de keuze van  $T_0$  ligt in feite de bandbreedte van een afvoerklasse vast.

$T_c$  : de tijdschaal waarin de concentratie (b.v. bij Lobith) een nader te bepalen factor of percentage  $\alpha_c$  verandert.

$T_p$  : de tijdschaal waarop de verstoringen van het waterniveau zich verplaatsen.

$$T_p = \frac{L}{\sqrt{gh_0}}$$

waarin  $L$  een karakteristieke lengteschaal voor het HD/HV-gebied voorstelt.

$T_v$  : de verblijftijd. Als  $u$  de snelheidsschaal is voor het onderzoeksgebied, dan geldt:

$$T_v = \frac{L}{u_0}$$

## 6 De continuïteitsvergelijking

$$b \cdot \frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q = 0 \quad (6.1)$$

Met behulp van bovengenoemde tijdschalen is het mogelijk de orde grootte van de diverse termen van de continuïteitsvergelijking te schatten.

$$b \cdot \frac{\delta h}{\delta t} = \mathcal{O} \left( \frac{b_0 h_0}{T_0} \right) = \mathcal{O} \left( \frac{A_0 u_0}{T_0 u_0} \right) = \mathcal{O} \left( \frac{Q_0}{L} \cdot \frac{T_v}{T_0} \right)$$

$$\frac{\delta Q}{\delta x} = \mathcal{O} \left( \frac{Q_0}{L} \right)$$

waarbij de index  $_0$  aangeeft dat een karakteristieke waarde wordt bedoeld. De in de nota's gebruikte quasi-stationaire balansmethode, waarvoor moet gelden:

$$b \cdot \frac{\delta h}{\delta t} \ll \frac{\delta Q}{\delta x},$$

is dus een correcte benadering indien  $\frac{T_v}{T_0} \ll 1$ , m.a.w. als de verblijftijd veel kleiner is dan de tijdschaal waarop de afvoer bij Lobith varieert. Is aan bovengenoemde eis voldaan, dan resteert:

$$\frac{\delta Q}{\delta x} = q, \quad (6.2)$$

waarin  $q$  de hoeveelheid water is die wordt geloosd of onttrokken per eenheid.

Bij de bepaling van  $q$  mogen alle bijdragen van de orde  $\left( \frac{Q_0}{L} \cdot \frac{T_v}{T_0} \right)$  of lager worden weggelaten, aangezien de eis voor een quasie-stationair gedrag inhield dat  $T_v \ll T_0$ .

De nauwkeurigheid van de resultaten die met behulp van de benaderde continuïteitsvergelijking zijn verkregen, is dus afhankelijk van de verhouding  $T_v/T_0$ .

Als een hoeveelheid afvalwater gelijkmatig over een periode is verdeeld, kan deze lozing worden verwaarloosd indien deze een orde of meer kleiner is dan de bandbreedte  $\alpha_0$  van een afvoerklasse, horende bij een tijdschaal  $T_0$ .

Voor de afvoer in takken met dergelijke lozingspunten geldt dan

$$\frac{\delta Q}{\delta x} = 0$$



met genoemde onnauwkeurigheid t.g.v. de verwaarlozing van de instationaire termen.

Uit de gepubliceerde nota's blijkt dat de totale hoeveelheid polder- en afvalwaterlozing of onttrekking voor het onderzoekgebied gemiddeld (in de tijd) een orde-grootte van 300.000 inwoner-equivalenten heeft, waarvan Breda alleen al ongeveer 220.000 inwoner-equivalenten.

De bij 1 i.e. behorende hoeveelheid water is naar schatting 100 à 200 liter per dag.

De lozing via de persleiding komt dan overeen met een geloosde hoeveelheid water die via Waal en Maas naar het onderzoekgebied stroomt in de orde van  $70 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$  ligt, heeft de verhouding lozingsdebiet en doorvoer bij Breda een orde-grootte van  $10^{-3}$ .

Blijkbaar is  $q$  alleen belangrijk bij de splitsingspunten (b.v. Kil, Spui of Haringvliet- en Volkeraksluizen) en punten van samenkomst (Moerdijkbrug).

7 De bewegings- of Navier-Stokesvergelijking

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta u Q}{\delta x} + Ag \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{g Q |Q|}{AC^2 R_H} = 0 \quad (7.1)$$

Hierin is  $\frac{\delta Q}{\delta t}$  de versnellingssterm,  $\frac{\delta u Q}{\delta x}$  de kinetische energie,  $Ag \frac{\delta h}{\delta x}$  de potentiële energie en  $\frac{g Q |Q|}{AC^2 R_H}$  de (turbulente) dissipatie.

Afschatting van de eerste drie termen van bovenstaande vergelijking met behulp van de vier tijdschalen levert

$$\frac{\delta Q}{\delta t} = \mathcal{O} \left( \frac{Q_0}{T_0} \right)$$

$$\frac{\delta Q}{\delta x} = \mathcal{O} \left( \frac{u_0 Q_0}{L} \right) = \mathcal{O} \left( \frac{Q_0}{T_v} \right)$$

Aangezien in voorgaande reeds werd geest dat  $T_v/T_0 \ll 1$ , geldt:

$$\frac{\delta Q}{\delta t} \ll \frac{\delta(uQ)}{\delta x} \quad (7.2)$$

Daarmee is de bewegingsvergelijking tijdsafhankelijk (stationair) geworden. Over deze stationaire vergelijking kan voor de situatie in het onderzoekgebied wel iets meer worden gezegd. Het blijkt n.l. mogelijk om voor het onderzoekgebied aan te tonen dat de kinetische energieterm veel kleiner is dan de potentiële energieterm:

$$\frac{\delta(uQ)}{\delta x} \ll Ag \frac{\delta h}{\delta x} \quad (7.3)$$

waarin  $\frac{\delta h}{\delta x}$  het verval van de rivier voorstelt.

Schatting van  $\frac{\delta(uQ)}{\delta x}$  met de tijdschalen

$$\frac{\delta(uQ)}{\delta x} = \mathcal{O} \left( \frac{u_0 Q_0}{L} \right) = \mathcal{O} \left( \frac{Q_0}{T_v} \right)$$

$$Ag \frac{\delta h}{\delta x} = \mathcal{O} \left( A_0 g \frac{H}{L} \right) = \mathcal{O} \left( \frac{Q_0 g H}{u_0 L} \right) = \mathcal{O} \left( Q_0 \cdot \frac{g h_0}{L} \cdot \frac{L}{u_0} \cdot \frac{H}{h_0} \right) =$$

$$\mathcal{O} \left( \frac{Q_0}{T_v} \cdot \frac{H}{h_0} \cdot \frac{T_v^2}{T_p^2} \right) \rightarrow Ag \frac{\delta h}{\delta x} \gg \frac{\delta(uQ)}{\delta x} \quad \text{als } u_0^2 \ll gH \text{ of } Fr_0^2 \ll 1 \quad (7.4)$$

uitgedrukt in de tijdschalen  $T_v$  en  $T_p$ :

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \frac{H}{h_0} \gg 1 \quad (7.5)$$

waarin  $H$  het verval van de waterspiegel voorstelt over het beschouwde gebied.

Uit tabel 1 kan het verhang van de rivier (Rijn/Waal/HD/HV) worden afgelezen. Het hoogteverschil  $H$  kan hieruit door vermenigvuldiging van het verhang met de lengte van het beschouwde gebied worden bepaald.

plaats	Lobith/Moerdijk	Moerdijk/Zee
$\frac{\delta H}{\delta x}$	$- 10^{-4}$	$- 10^{-6}$

Tabel 1: Het verhang van Waal/Merwede/HD/HV  
bij  $Q_{Lobith} = 2200 \text{ m}^3/\text{s}$  en gem. getij

Het onderzoekgebied wordt in twee gebieden verdeeld:

- het gebied ten westen en
- het gebied ten oosten van de Moerdijkbrug.

a) Lobith - Moerdijk

De verblijftijd Lobith - Moerdijk (120 km) is ongeveer  $1\frac{1}{2}$  dag (uitgaande van  $u_0 \approx 1 \text{ m/s}$ ), terwijl voor de grootte van  $T_p$  met  $h_0 \approx 3 \text{ (m)}$  geldt:

$$T_p = \frac{12 \cdot 10^4}{\sqrt{30}} = 6 \text{ uur} \rightarrow \left(\frac{T_v}{T_p}\right) = 6$$

Het hoogteverschil  $H$  tussen Lobith en Moerdijk bedraagt  $(120 \cdot 10^3)(10^{-4}) = 12 \text{ (m)}$ , terwijl  $h_0 \approx 3$  geschat wordt. In dit gebied wordt, gezien de schatting van  $T_v$ ,  $T_p$ ,  $H$  en  $h_0$  voldaan aan de eis:

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \frac{H}{h_0} \gg 1 \quad \text{of} \quad \frac{u_0^2}{gh} = Fr_*^2 \ll 1.$$

Er geldt m.a.w.:  $\frac{\delta(uQ)}{\delta x} \ll Ag \frac{\delta h}{\delta x}$ .

b) Moerdijk - Haringvlietsluizen

De verblijftijd Moerdijk - Haringvlietsluizen (50 km) is ~ volgens de projektgroep - ongeveer 20 dagen.

De gemiddelde snelheid die hieruit kan worden berekend, is dan:

$$u_0 \approx 2,5 \text{ km/dag} = 0,03 \text{ m/s.}$$

$$\text{De grootte van } T_p = \frac{5 \cdot 10^4}{\sqrt{30}} = 2,5 \text{ uur} \rightarrow \left(\frac{T_v}{T_p}\right) = 190.$$

Het hoogteverschil H over het traject Moerdijk - Haringvlietsluizen is volgens tabel ongeveer  $(50 \cdot 10^3) (10^{-6}) = 5 \text{ cm}$ . Aangezien  $h_0 \approx 3 \text{ (m)}$  is, wordt ruimschoots aan de eis

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \frac{H}{h_0} \gg 1$$

voldaan.

Er geldt in beide gebieden dus  $Ag \frac{\delta h}{\delta x} \gg \frac{\delta(uQ)}{\delta x}$ .

De bewegingsvergelijking reduceert daarmee tot:

$$Ag \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{g Q |Q|}{AC^2 R_H} = 0 \tag{7.6}$$

$$- \frac{\delta h}{\delta x} = \frac{u^2}{C^2 R_H} \quad \delta f \quad u = C_z \sqrt{R_H \left| \frac{\delta h}{\delta x} \right|} \tag{7.7}$$

De hydraulische straal  $R_H = \frac{A}{O}$  (O = "natte" omtrek) kan voor rivieren, waarbij de breedte aanzienlijk groter is dan de waterdiepte, worden benaderd door  $R_H = h_0$ , waarmee (7.7) kan worden geschreven als:

$$u = C_z \sqrt{h_0 i} \tag{7.8}$$

waarin i het verhang voorstelt.

De stroomsnelheid is daarmee te bepalen uit gegevens van de (absolute) waterstand (voor rivieren geldt  $C_z \approx 40$ ).

8 De stofbalans

Het beschouwen van de diffusie-advectievergelijking geeft informatie over de stofbalans van een gebied.

In Appendix I is aannemelijk gemaakt, dat voor de beschouwde gebieden de dispersie term in de vergelijking kan worden verwaarloosd.

De diffusie-advectievergelijking is in die situatie te schrijven als:

$$\frac{\delta(Ac)}{\delta t} + \frac{\delta(uAc)}{\delta x} = (P + R)A \quad \text{met} \quad Q = uA \quad (8.1)$$

waarin R de reactie- en P de bron- of putterm is.

Bij de behandeling van continuïteits- en bewegingsvergelijking bleek de nauwkeurigheid van de quasi-stationaire vergelijkingen sterk afhankelijk van  $T_v/T_0$  te zijn: we noemen deze verhouding voortaan  $\epsilon_0$ .

Schatting van de diverse termen van vergelijking (8.1) is mogelijk als we aannemen dat de concentratie c in tijdschaal  $T_c$  verandert. Voor een stof geldt  $T_c \approx T_0$ , indien de vracht (= Q.c) op een traject constant is.

Voor niet-conservatieve stoffen zal de concentratie c een andere tijdschaal hebben dan voor de afvoer Q.

Schatting van vergelijking (8.1) levert:

$$\begin{aligned} \frac{\delta(Ac)}{\delta t} &= \mathcal{O}\left(\frac{A_0 c_0}{T_c}\right) \\ \frac{\delta(uAc)}{\delta x} &= \mathcal{O}\left(\frac{A_0 c_0 u_0}{L}\right) = \mathcal{O}\left(\frac{A_0 c_0}{T_c} \cdot \frac{T_c}{T_v}\right) = \mathcal{O}\left(\frac{A_0 c_0}{T_c} \cdot \frac{1}{\epsilon_c}\right) \end{aligned}$$

Er is een quasi-stationaire situatie als

$$\frac{\delta(Ac)}{\delta t} \ll \frac{\delta(uAc)}{\delta x} \quad \text{d.w.z. als}$$

$$\epsilon_c = T_v/T_c \ll 1$$

Voor een conservatieve stof geldt in de meeste gevallen:  $\epsilon_0 = \epsilon_c$  aangezien  $T_0 \approx T_c$ .

Daarmee wordt vergelijking (8.1) gereduceerd tot:

$$\frac{\delta Qc}{\delta x} = (P + R)A \quad (8.2)$$

Voor conservatieve stoffen ( $R \equiv 0$ ) bovendien:

$$\frac{\delta Qc}{\delta x} = PA$$

$$\delta f \quad c \frac{\delta Q}{\delta x} + Q \frac{\delta c}{\delta x} = PA \quad (8.3)$$

Als geldt dat  $\epsilon_0 \ll 1$  en dat  $q$  de hoeveelheid water is die wordt onttrokken of aangevoerd bij een splitsings- resp. samenvloeiingspunt in de rivier, dan is het resultaat na uitwerken van vergelijking (8.3) en substitutie van  $q = \frac{\delta Q}{\delta x}$ :

$$cq + Q \frac{\delta c}{\delta x} = PA = (P_1 + P_2)A \quad (8.4)$$

waarbij:

- 1)  $P_1 = 0$  als  $\frac{\delta Q}{\delta x} = 0$  lozing van "droge" stof, geen water
- 2)  $P_2 = 0$  als  $\frac{\delta c}{\delta x} = 0$  lozing van water met bestaande concentratie =  $c$ .

$P_1$  geeft de concentratieverandering aan door lozing van "droge" stof, d.w.z. waarbij het waterdebiet van de hoofdstroom onveranderd blijft.

$P_2$  geeft de concentratieverandering aan veroorzaakt door een lozing van water met gelijke concentraties in hoofd- en lozingsstroom.

In feite is  $cq$  de verdunning t.g.v. het geloosde water en  $PA$  de geloosde vracht, waardoor een verhoging van de concentratie op zal treden.

Na definiering van  $Q_L$  als het totale lozingsdebiet kan  $q$  geschreven worden als  $q = \frac{Q_L}{L}$ , waarbij  $L$  de afstand is waarover wordt geloosd.

Beschouwing van een lozing op een rivier volgens figuur 3, waarbij  $c^*$  de concentratie van de te beschouwen stof in het afvalwater voorstelt en  $c$  de aanvankelijke concentratie in de rivier voordat de lozing plaatsvond, levert onder aanname dat een quasi-stationaire situatie aanwezig is:

$$c_0 q + (Q + Q_L) \frac{\Delta c}{L} = c^* q \quad (8.6)$$

$$\delta f \quad \frac{\Delta c}{c_0} = \left( \frac{c^* - c_0}{c_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_z}{Q + Q_z} \right) \quad (8.7)$$

waarin  $\Delta c$  de concentratieverandering t.g.v. de lozing is:

$$\Delta c = c_1 - c_0 \quad (8.8)$$

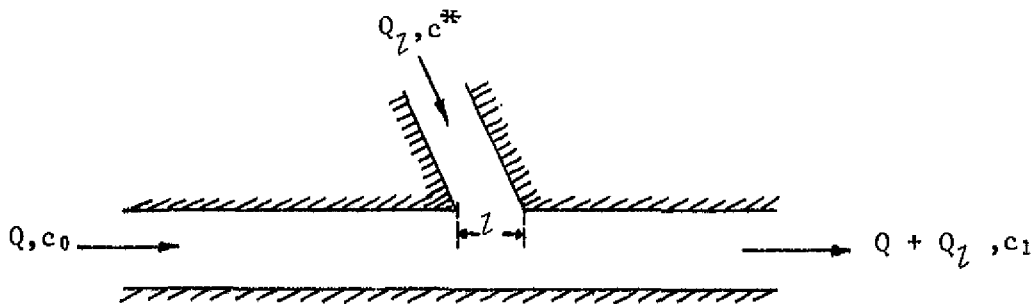


fig. 3: lozing op een rivier

M.b.v. voorgaande vergelijking kan voor ieder lozingspunt een schatting gemaakt worden van  $\frac{\Delta c}{c_0}$ .

De twee voornaamste lozingspunten zijn de persleiding van Breda en de watergang de Donge. Daarnaast zijn natuurlijk ook de splitsingspunten van groot belang. Voor de persleiding van Breda zijn de parameters vermeld in tabel 2. Daarbij is er vanuit gegaan dat stoffen over het lozingstrajekt niet reageren ( $R \equiv 0$ ) en dat 1 inwoner-equivalent correspondeert met 200 liter water. Bij de continuïteitsvergelijking is reeds aangetoond dat daaruit kan worden afgeleid dat:

$$Q_z/Q \ll (10^{-3}).$$

stof	$c^*$ (mg/l) afvalwater	$c_0$ (mg/l) Moerdijk (afvoer- klasse B)	$c^*/c_0$	$\frac{\Delta c}{c_0}$ (%)
P- $P_{tot}$	20	0,5	40	4
P- $PO_4$	10	0,3	35	4
N- $NH_4$	30	4	10	1
N-Kjedahl	35	5	10	1
zwevende stof	450	10	50	5

tabel 2: relatieve concentratieverandering door persleiding van Breda.

Afvalwatergegevens afkomstig van literatuur (1).

Het tweede belangrijke lozingspunt (watergang de Donge) heeft een geforceerde doorspoeling ondergaan in 1972, waarbij een maximaal debiet van 2,5 m<sup>3</sup>/s is aangehouden.

Het debiet van de Maas over de eerste helft van 1972 is ongeveer 225 m<sup>3</sup>/s en daarmee

$$\frac{Q_z}{Q + Q_z} \approx 1,1\%$$

voor de bepaling van de waarde van  $\frac{\Delta c}{c_0}$  is de invloed van de hoeveelheid water die wordt geloosd dus veel kleiner dan de invloed van het verschil in concentratie.

Bij gevolg:

$$\frac{\Delta(Qc)}{Qc} \approx \frac{\Delta c}{c} = \theta' \left( \frac{\alpha_c}{c} \right)$$

Als de concentratieverandering  $\Delta c$  t.g.v. een lozing vergeleken wordt met de bandbreedte  $\alpha_c$  kan worden nagegaan of de concentratieverandering en daarmee de verandering van de vracht verwaarloosbaar is. Uit de resultaten van lozingspunt de Donge (tabel 3) blijkt dat bij relatief kleine bandbreedte  $\alpha_c$  dit lozingspunt wel degelijk in rekening moet worden gebracht.

stof	$\frac{\Delta c}{c} \approx \frac{\Delta Qc}{Q_0 c_0}$
P-P <sub>tot</sub>	4%
P-PO <sub>4</sub>	5%
N-NH <sub>4</sub>	5%
N-Kjedahl	6%
zwevende stof	10%

tabel 3: relatieve concentratie-

verandering t.g.v. de Donge.

Afvalwatergegevens afkomstig van literatuur (1).

Overige plaatsen waar bij het opstellen van de stofbalans rekening moet worden gehouden met een significante verandering van de vracht door lozing, zijn de Haringvliet- en Volkeraksluizen (zout-bezwaar).



Op deze plaatsen wordt er weliswaar netto een bepaald debiet geloosd, maar ook zal er een bepaalde hoeveelheid (zout) water in omgekeerde richting het onderzoeksgebied binnendringen.

Er wordt dus een hoeveelheid zoet water buiten en een (kleinere) hoeveelheid zout water binnen het onderzoeksgebied gebracht.

De overige belastende bronnen (zoals b.v. de diverse polders die op het onderzoeksgebied lozen) hebben invloeden op de vracht die geringer zijn dan 1% van de vracht in de hoofdstroom en worden om die reden vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Samenvattend blijkt dat de grootste veranderingen van de concentratie door lozing van afvalwater optreden bij de persleiding van Breda en de watergang de Donge. In hoeverre deze veranderingen van de concentratie (of vracht) significant zijn terug te vinden in metingen (of uit berekeningen) is afhankelijk van de grootte van de totale fout of standaarddeviatie in de bepaling van de concentratie (of vracht).

Bij het opstellen van een stofbalans zijn alle plaatsen waar de vracht een verandering ondergaat interessant. In het onderzoeksgebied treden de grootste veranderingen van de vracht op bij de reeds genoemde lozingspunten Breda en Donge en bij de splitsings- en samenvloeiingspunten Spui, Kil, Moerdijk, Haringsvliet- en Volkeraksluizen.

## 9 De afvoerindeling

De afvoerindeling wordt bepaald door de keuze van de tijdschaal  $T_0$  waarin de afvoer een faktor  $\alpha_0$  varieert. Seizoenvariaties in de afvoer of kortstondige afvoerpieken kunnen dus een periode van quasi-stationaire afvoer begrenzen. Doorspoelen van het onderzoekgebied d.m.v. het openen van de Haringvliet-sluizen geeft hoge afvoerpieken in Haringvliet en Hollands Diep gedurende korte tijd. Wanneer dergelijke pieken optreden kan in het algemeen dan ook niet gesproken worden van een quasi-stationaire situatie.

Naarmate de tijdschaal  $T_0$  korter (kleiner) wordt gekozen (d.w.z. de bandbreedte  $\alpha_0$  kleiner) zal het aantal meetpunten dat in een dergelijke afvoerklasse valt, geringer worden.

Nader onderzoek zal moeten uitwijzen welk verband er is tussen de tijdschaal  $T_0$ , de bandbreedte  $\alpha_0$  en het aantal bemonsterpunten per compartiment dat noodzakelijk is om de in dat compartiment optredende processen met de gewenste betrouwbaarheid te kunnen beschrijven.

In hoofdstuk 12 e.v. is een simpel model uitgewerkt waarmee dit verband tussen  $T_0$ ,  $\alpha_0$  en het aantal bemonsterpunten per compartiment onder bepaalde omstandigheden kan worden afgeleid.

10 Samenvatting: resultaten en aannamen bij een één-dimensionale quasi-stationaire beschouwing

Met behulp van de aannamen:

1.  $c = c(x,t)$  en

2.  $u = u(x,t)$ ,

d.w.z. uniforme snelheid en concentratie over de dwarsdoorsnede van de rivier op de bemonsterplaatsen, kunnen de continuïteitsvergelijking, de bewegingsvergelijking en de stofbalans (diffusie verwaarloosd) geschreven worden als:

continuïteitsvergelijking:  $b \cdot \frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q$  (10.1)

bewegingsvergelijking :  $\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta uQ}{\delta x} + Ag \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{g Q |Q|}{AC^2 R_H} = 0$  (10.2)

stofbalansvergelijking :  $\frac{\delta(Ac)}{\delta t} + \frac{\delta(uAc)}{\delta x} = (P + R)A$  (10.3)

a) De continuïteitsvergelijking is quasi-stationair als  $T_v/T_0 \ll 1$ , de vergelijking is dan te reduceren tot

$$\frac{\delta Q}{\delta x} = q.$$

Het blijkt dat, met uitzondering van de splitsingspunten Moerdijk, Kil, Spui en Volkerak- en Haringvlietsluizen alle lozingen een relatieve verandering van de afvoer tot gevolg hebben, die kleiner is dan 1%. Hierbij is verondersteld dat de lozingen voldoen aan de eisen die de projektgroep daarvoor heeft opgesteld (zie blz. 5). Vergelijk lit. 7.

b) De bewegingsvergelijking is quasi-stationair als  $T_v/T_0 \ll 1$ . Voor het onderzoekgebied kan bovendien worden afgeleid dat de bijdrage van de kinetische energie verwaarloosbaar is t.o.v. de potentiële energie t.g.v. het verval van de rivier.

Daarvoor is noodzakelijk dat

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \left(\frac{H}{h_0}\right) \gg 1$$
 (10.4)

In het onderzoekgebied wordt aan deze eis ruimschoots voldaan (zie blz.13 en 14) De bewegingsvergelijking wordt dan gereduceerd tot:

$$u = C_z \sqrt{R_H \left| \frac{\delta h}{\delta x} \right|} \quad (10.5)$$

met  $R_H$  = hydraulische straal

$$\frac{\delta h}{\delta x} = \text{verhang}$$

$C_z$  = chézyfaktor.

c) de stofbalansvergelijking is quasi-stationair als  $T_v/T_c \ll 1$ . De vergelijking kan in dat geval geschreven worden als:

$$\frac{\delta(Qc)}{\delta x} = (P + R)A$$

Vinden er binnen het beschouwde gebied geen reacties plaats, dan geldt:

$$\frac{\delta(Qc)}{\delta x} = PA \quad (10.6)$$

Stel  $Q_1$  = lozingsdebiet, dan is bij geldigheid van de aannamen betreffende lozingen de concentratieverandering

$$\frac{\Delta c}{c_0} = \left( \frac{c^* - c_0}{c_0} \right) \cdot \left( \frac{Q_z}{Q + Q_z} \right) \quad (\text{één-dimensionaal, quasi-stationair})$$

Voor de belangrijkste lozingspunten Donge en persleiding van Breda betekent dit een relatieve afvoer- en concentratieverandering, die maximaal (voor zwevende stof) gelijk blijkt te zijn aan de in tabel 4 genoemde waarde.

	Breda	Donge	
$\left(\frac{\Delta Q}{Q}\right)_{\text{max}}$	0,1%	1,1%	← uit continuïteitsverg.
$\left(\frac{\Delta c}{c}\right)_{\text{max}}$	5 %	10 %	← uit stofbalans

tabel 4: Relatieve verandering van het gehalte zwevende stof.

Overige lozingen hebben (gezien de lozingsgegevens volgens lit. (1)) alle

een verandering van minder dan 1% tot gevolg ( $\frac{\Delta Qc}{Qc} \approx \frac{\Delta c}{c} < 0,01$ ).

Bij de berekening van  $\frac{\Delta c}{c}$  is verondersteld dat de beschouwde stof niet reageert over het traject, waarover wordt geloosd en dat een lozing uniform over de dwarsdoorsnede verdeeld wordt.

Voor het opstellen van balansen is het echter voldoende te eisen dat op de bemonsteringspunten een uniforme concentratie over de dwarsdoorsnede aanwezig is.

Zijn er in de quasi-stationaire situatie geen lozingspunten, dan geldt volgens de continuïteitsvergelijking dat  $\frac{\delta Q}{\delta x} = 0$  en blijft de concentratie onveranderd, tenzij er accumulatie, mobilisatie of soortgelijke processen plaatsvinden.

Bij afwezigheid van lozingspunten is de stofbalans in formulevorm:

$$Q_0 \frac{\delta c}{\delta x} = (P + R)A \quad \text{of} \quad \frac{\delta c}{\delta x} = (P + R)u \quad (10.7)$$

Veronderstellen we over een traject  $\frac{\delta c}{\delta x} = \gamma = \text{constant}$ , dan geldt volgens vergelijking (10.1):

$$(P + R)u = \gamma = \text{constant} \quad (10.8)$$

$$(P + R)A = \gamma Q_0 = \text{constant} \quad (10.9)$$

In dat geval accumuleert, mobiliseert of reageert er per kilometer rivierlengte een constante hoeveelheid stof (vracht). Dit is het model dat de projectgroep in de nota's hanteert: een uniforme accumulatie per compartiment, waarbij echter de accumulatie per compartiment kan verschillen. In hoofdstuk 14 zal de geldigheid en het resultaat van dit model worden beschouwd vanuit een ander model, dat weliswaar uitgaat van een lineaire afname van de concentratie over één compartimentlengte, maar waarbij de afvoer constant (d.w.z. tijdsafhankelijk) verondersteld wordt.

## 11 Toepassen van één-dimensionale vergelijkingen op het HD/HV-trajekt

### 11.1 Grootte van de tijdschalen $T_0$ , $T_v$ , $T_c$ en $T_p$ voor het HD/HV/Maas/Waal-trajekt

In de door de projektgroep opgestelde nota's wordt er vanuit gegaan dat op ieder bemonsteringstijdstip een quasi-stationaire situatie in het onderzoekgebied aanwezig is (geen berging). Om de vergelijkingen betreffende een quasi-stationaire toestand te mogen toepassen, is het noodzakelijk dat aan bepaalde voorwaarden is voldaan. De nauwkeurigheid van de resultaten, verkregen met behulp van de quasi-stationaire vergelijkingen, hangt af van de mate waarin aan de noodzakelijke voorwaarden is voldaan.

Als aan deze voorwaarden niet wordt voldaan, kan niet worden aangegeven wat de gevolgen daarvan zijn voor de oplossing van de quasi-stationaire vergelijking. En wordt er dan ook bij de behandeling van de tijdschalen vanuit gegaan dat de tijdschalen  $T_0$ ,  $T_c$  vastliggen door de eis dat  $\epsilon_0$  en  $\epsilon_c \ll 1$  moeten zijn.

De noodzakelijke voorwaarden zijn:

1.  $\epsilon_0 = T_v/T_0 \ll 1$

2.  $\epsilon_c = T_v/T_c \ll 1$

3.  $\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \left(\frac{H}{h_1}\right) \gg 1$  , waarin H het verval over het beschouwde gebied voorstelt.

Voor het schatten van de grootte van bovenstaande tijdschalen en om te onderzoeken of aan de daaraan gestelde voorwaarden is voldaan, wordt het onderzoekgebied in 3 gebieden verdeeld:

- a) Het Haringvliet
- b) Het Hollands Diep
- c) Maas/Waal-trajekt.

#### a) Het Haringvliet

De projektgroep hanteert in haar rapport (lit. (1)) voor het Haringvliet bij gesloten Haringvlietsluizen een verblijftijd van ongeveer 3 weken. Bij hoge afvoeren is de verblijftijd aanzienlijk korter, mede doordat dan de Haringvlietsluizen geopend zijn. Met de keuze van  $T_0$  ligt het relatieve gewicht van elke term in de beschouwde vergelijking bij toepassing op de beschouwde compartiment(en) vast, daar  $\epsilon_0$  door de keuze van  $T_0$  is bepaald.

Stel b.v. dat  $\varepsilon_0$  minstens 0,1 moet zijn  $\rightarrow T_0 = 10 T_v = 30$  weken voor het Hollands Diep/Haringvliet; dus  $T_0$  moet minstens van de orde  $\frac{1}{2}$  jaar worden gekozen om ervoor te zorgen dat het gewicht van de instationaire termen relatief klein wordt.

Als de afvoer (als functie van de tijd) in het Haringvliet bekend is, kan daarmee worden bepaald welk percentage  $\alpha_0$  de afvoer zal variëren binnen de gekozen tijdschaal  $T_0$ .

Bij vastliggende  $T_0$  is  $\alpha_0$  alleen afhankelijk van het verloop van de afvoerkromme!

De stofbalansvergelijking (10.6) voor een quasi-stationaire situatie mag worden toegepast als:

$$\varepsilon_c = T_v/T_c \ll 1.$$

Voor conservatieve stoffen is  $T_c$  in het algemeen gelijk aan  $T_0$ . Voor niet-conservatieve stoffen ligt  $T_c$  met de keuze van  $\varepsilon_c$  vast en kan daarmee uit het verloop van de concentratie als functie van de tijd bepaald worden welk percentage  $\alpha_c$  de concentratie zal variëren binnen die gekozen tijdschaal  $T_c$ .

$T_p$  is de tijdschaal voor de voortplanting van drukverschillen. Er geldt:

$$T_p = \frac{L_{HV}}{\sqrt{gh_0}} \approx \frac{27 \times 10^3}{\sqrt{10^3}} \approx 1,4 \text{ uur.}$$

Aanwezige drukverschillen zullen in een quasi-stationaire situatie binnen korte tijd vereffend worden.

Aangezien

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \left(\frac{H}{h_0}\right) \gg 1$$

mag in dit gebied de kinetische energieterm verwaarloosd worden t.o.v. de potentiële energieterm en is de stroomsnelheid alleen een functie van het verhang en de hydraulische straal volgens:

$$u = C_z \sqrt{R_H \left| \frac{\delta h}{\delta x} \right|}$$

Nu geldt:

$$R_H = \frac{A}{O} \approx h = 3 \text{ (m)} ; \frac{\delta h}{\delta x} \approx 10^{-6}$$

terwijl voor kanalen geldt:

$$C_z = 50 \text{ (m}^2/\text{s)} \rightarrow u \approx 50 \sqrt{3} \cdot 10^{-6} = 0,08 \text{ (m/s)}$$

hetgeen redelijk overeenkomt met de schattingen van  $u$  uitgaande van de verblijftijd  $T_v$  (schatting van de projektgroep).

b) Het Hollands Diep

Voor dit gebied is de verblijftijd volgens de projektgroep:  $T_v \approx 7$  dagen.  $T_0$  respectievelijk  $T_c$  worden bepaald door het gewenste relatieve gewicht van de instationaire termen: ( $\epsilon_0$  respectievelijk  $\epsilon_c$ ).

Met behulp van de uit de eisen voor  $\epsilon_0$  en  $\epsilon_c$  bepaalde waarden van  $T_0$  en  $T_c$  kunnen dan de variaties  $\alpha_0$  en  $\alpha_c$  bepaald worden, die de afvoer respectievelijk concentratie binnen de desbetreffende tijdschaal zullen vertonen.

De tijdschaal  $T_p$  voor de vereffening van drukverschillen is

$$T_p = \frac{L_{HD}}{\sqrt{gh_0}} = \frac{17 \times 10^3}{\sqrt{10} \cdot 3} \approx 0,9 \text{ uur.}$$

Aan de voorwaarde waaronder de kinetische energieterm verwaarloosd mag worden t.o.v. de potentiële energieterm:

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \left(\frac{H}{h_0}\right) \gg 1$$

wordt ook in het Hollands Diep voldaan.

c) Waal/Maas

Voor dit gebied is de verblijftijd 1 à 1,5 dag (Lobith - Werkendam).

Door de relatief kleine waarde van  $T_v$  kan door een reeds betrekkelijk kleine tijdschaal  $T_0$  worden voldaan aan de eis voor een quasi-stationaire situatie dat  $\epsilon_0 = T_v/T_0 \ll 1$ . De met een dergelijke  $T_0$  corresponderende afvoerklasse zal dan ook in het algemeen een kleinere bandbreedte (of  $\alpha_0$ ) hebben dan op het Hollands Diep of Haringvliettrajekt.

$T_p$  heeft voor het Maas/Waal-trajekt een ordegrrootte van 0,5 uur. Hiermee



kan op dezelfde wijze als bij Hollands Diep/Haringvliet worden aangetoond dat

$$\left(\frac{T_v}{T_p}\right)^2 \cdot \left(\frac{H}{h_0}\right) \gg 1$$

en geldt:

$$u = C_z \sqrt{R_H \left| \frac{\delta h}{\delta x} \right|}$$

Schatting:

$$u = 50 \sqrt{3 \cdot 10^{-4}} = 0,86 \text{ (m/s)}$$

hetgeen goed overeenkomt met de schatting van  $u$  uit de verblijftijd  $T_v$  (lit. (1)). Samenvattend moet opgemerkt worden dat op het HD/HV-trajekt de tijdschaal  $T_0$  zeer groot ( $\sigma = \frac{1}{2}$  jaar) moet zijn om een  $\varepsilon_0 \approx 0,1$  te verkrijgen. De bandbreedte  $\alpha_0$  van de afvoerklasse, die door een tijdschaal  $T_0$  van de genoemde grootte wordt vastgelegd, zal, gezien de fluctuaties van de afvoer binnen een dergelijke tijdschaal  $T_0$  groot zijn (relatieve verandering van de afvoer van 50% geen uitzondering).

De projectgroep past de quasi-stationaire vergelijkingen op iedere bemonsterserie binnen het onderzoekgebied toe.

De onnauwkeurigheid van de quasi-stationaire vergelijkingen kan bij een dergelijke beschouwing van de bemonsteringen door het verwaarlozen van de instationaire termen zo groot zijn, dat de resultaten die met behulp van quasi-stationaire vergelijkingen worden verkregen weinig (of beperkte) betekenis hebben.

De projectgroep meent dit te kunnen ondervangen door een zodanige lange periode te beschouwen, dat instationaire verschijnselen uitmiddelen. Voor discussie van een dergelijke werkwijze wordt verwezen naar hoofdstuk 14.

## 11.2 Lozingen en onttrekkingen

Zaals bij de continuïteits- en stofbalansvergelijking werd beschreven, worden bij de beschouwing van een quasi-stationaire situatie alle bijdragen die een faktor  $T_v/T_0$  kleiner zijn dan de overige bijdragen aan de continuïteitsvergelijking verwaarloosd. Het relatieve gewicht van de instationaire termen is voor alle 3 basisvergelijkingen van de orde  $T_v/T_0$ .

Indien alle lozingen aan de door de projektgroep gestelde aannamen voldoen (blz. 5), dan hebben, uitgezonderd de lozingen van Breda en Donge, alle geloosde vrachten een relatieve verandering van de totale vracht van minder dan 1% tot gevolg.

Splitsingspunten moeten wél in rekening worden gebracht. De juistheid van de bovenstaande redenering (en de daaruit getrokken conclusies) hangt dus alleen af van de mate waarin aan de eisen betreffende lozingen wordt voldaan. Voor ieder lozingspunt zal de geldigheid van de aannamen moeten worden onderzocht. Is voor een lozingspunt één van de genoemde aannamen onjuist, dan zal de invloed van de desbetreffende lozing op de rivier nader moeten worden onderzocht.

#### Aannamen betreffende de lozingen:

1. Neerslag, verdamping, kwel en berging verwaarloosbaar t.o.v. de overige termen van de waterbalans,
2. Belastingen hebben samenstelling van het gemiddelde Nederlands afvalwater.
3. De belastingen zijn gelijkmatig over een periode verdeeld.
4. De meetgegevens van een bemonsteringsstation zijn representatief voor een periode van twee weken en voor de dwarsdoorsnede.
5. Bij de bemonsteringsstations is er een homogeen gemengde situatie over de gehele dwarsdoorsnede.
6. De snelheid is uniform over de dwarsdoorsnede.

#### Discussie betreffende aannamen:

Bij lozingen blijkt zeer vaak dat vanaf het lozingspunt een bandvormig spoor ontstaat. De geloosde hoeveelheid stof wordt dan niet direkt uniform over de dwarsdoorsnede gemengd. Ook kunnen thermische of dichtheidsstratificaties ontstaan. De monsters zijn in een dergelijk geval niet representatief voor de dwarsdoorsnede. Bij de beschouwing van de lozing van de Breda-persleiding blijkt een relatieve concentratieverandering op te treden van 5% voor fosfaat- en zwevende stofgehalten, onder voorwaarde dat er volledige menging over de dwarsdoorsnede is.

Als deze aanname onjuist is en de lozing inderdaad een bandvormig spoor in de hoofdstroom doet ontstaan, kan door onjuiste bemonstering (b.v. één meting per dwarsdoorsnede, toevallig precies in het bandvormige lozingsspoor gelegen) een relatieve concentratieverhoging van vele malen de genoemde 5% worden waargenomen.

Schijnbaar onbelangrijke lozingen kunnen dan aanzienlijke bemonsteringsfou-

ten tot gevolg hebben.

M.b.v. een dwars dispersiecoëfficiënt kan een lengtemaat voor homogene menging worden afgeleid: (zie ook lit. 3)

$$L = \frac{ub^2}{D_y} \rightarrow L = \frac{5b^2}{2h} = \frac{5}{2} \cdot \frac{b}{h} \cdot b \quad \left\{ \begin{array}{l} b = 300 \\ h = 3 \end{array} \right\} \frac{b}{h} = 100 \rightarrow L \approx 250b = 75 \text{ km!}$$

waarin L een lengtemaat en  $D_y$  de dwars dispersiecoëfficiënt is.

Er zal dus wel degelijk moeten worden nagegaan of de lozing op de bemonsteringsplaats wel homogeen gemengd is. In de volgende hoofdstukken wordt er toch van uitgegaan dat de lozing homogeen verdeeld is.

Naast het verschijnsel van een niet-gelijk over de dwarsdoorsnede verdeelde lozing (aanname 5) kan de lozing ook ongelijk over een bepaalde balansperiode verdeeld zijn (aanname 3).

De invloed van deze fout is niet nader onderzocht.

## 12 Het verband tussen de balansperiode en de vakindeling (algemeen)

Het streven is een zo gedetailleerd (naar plaats en tijd) en betrouwbaar mogelijk beeld van de processen in het onderzoekgebied te kunnen geven, uitgaande van de beschikbare meetgegevens.

Dit kan bereikt worden door de meetgegevens op een bepaalde manier te bewerken, zoals b.v. middelen over tijd, plaats of tijd en plaats.

Het middelen van meetresultaten kan over verschillende gebieden of perioden plaatsvinden, maar het beschikbare aantal meetresultaten is een vast gegeven.

Een grote detaillering in de tijd zal dan ook in het algemeen noodzakelijk maken dat het onderzoekgebied in grote compartimenten wordt verdeeld. Bij het middelen over een bepaalde periode wordt de daarbij noodzakelijke vakindeling bepaald door het onzekerheidspercentage in de eindresultaten dat toelaatbaar wordt geacht.

In het voorgaande wordt uitgegaan van een quasi-stationaire situatie, gedefinieerd als die periode  $T_0$  waarbinnen de afvoer bij bijvoorbeeld Lobith een bepaald percentage  $\alpha_0$  varieert;  $\alpha_0$  is de "bandbreedte" van een afvoerklasse.

De keuze van  $T_0$  hangt af van de nauwkeurigheid en gedetailleerdheid waarmee men de processen in het onderzoekgebied wil leren kennen.

Enerzijds heeft een relatief grote waarde van  $T_0$  tot gevolg dat de kennis betreffende een weinig gedetailleerd proces bekend zal worden en anderzijds heeft een kleine waarde van  $T_0$  tot gevolg dat het relatieve gewicht van de stationaire termen groot wordt, waardoor de nauwkeurigheid van de basisvergelijkingen een beperkende faktor wordt.

Er moet dan ook gezocht worden naar een optimale situatie, die afhankelijk is van de eisen die men aan het eindresultaat stelt.

Als de tijdschaal  $T_0$  eenmaal vastligt, dan is daarmee de bandbreedte  $\alpha_0$  bepaald door de afvoer als functie van de tijd.

Omgekeerd is het natuurlijk ook mogelijk om  $\alpha_0$  vast te kiezen, waarbij de keuze wordt bepaald door de gewenste grootte van  $T_0$  (in verband met

$T_v/T_0 \ll 1$ ).

Wat is nu het verband tussen de compartimentlengte (of het aantal bemonsteringspunten per compartiment), de balansperiode en de gewenste betrouwbaarheid van onze uitspraken?

Een poging deze vraag te beantwoorden m.b.v. enige aannamen betreffende de afvoer  $Q$  en de concentratie  $c$  is uitgewerkt in de volgende paragraaf.

Gegeven zijn bemonsteringen van de concentratie en de afvoer op verschillende plaatsen over een lange periode.

Deze periode strekt zich dus ook uit over mogelijke niet-stationaire perioden. De uit een lange reeks waarnemingen bepaalde standaarddeviatie  $\hat{\sigma}$  is in het algemeen groter dan de standaarddeviatie bepaald uit een even lange reeks waarnemingen binnen een quasi-stationaire periode. De standaarddeviatie is dus, evenals de bandbreedte  $\alpha_0$ , afhankelijk van de keuze van  $T_0$ , terwijl bepaald wordt door de eis  $T_v/T_0 \ll 1$ .

De waarde van  $\hat{\sigma}$  is minimaal als de afvoer tijdsafhankelijk is. De  $\hat{\sigma}$  wordt in dat geval alleen bepaald door meetfouten of onjuiste bemonsteringsmethoden. Voor een gekozen tijdschaal  $T_0$  (bepaald voor  $T_v/T_0 \ll 1$ ) is  $\hat{\sigma}$  (evenals  $\alpha_0$ ) dan ook afhankelijk van het verloop van de afvoer.

Uitgaande van een bemonsteringsfrequentie van éénmaal per 14 dagen wordt bij het vergroten van de balansperiode  $T_m$  de  $\hat{\sigma}$  enerzijds groter doordat in die (grotere) periode  $T_m$  ook instationaire verschijnselen kunnen voorkomen, maar anderzijds kleiner doordat  $\hat{\sigma}$  wordt bepaald uit meerdere bemonsteringsgegevens.

Wat het netto resultaat bij vergroten van  $T_m$  voor  $\hat{\sigma}$  is, hangt af van het verloop van de afvoer.

De waarde van  $T_m$  waarvoor  $\hat{\sigma}$  minimaal is, is een goede keus voor  $T_0$ , mits geldt  $T_v/T_0 \ll 1$ . (fig. 4)

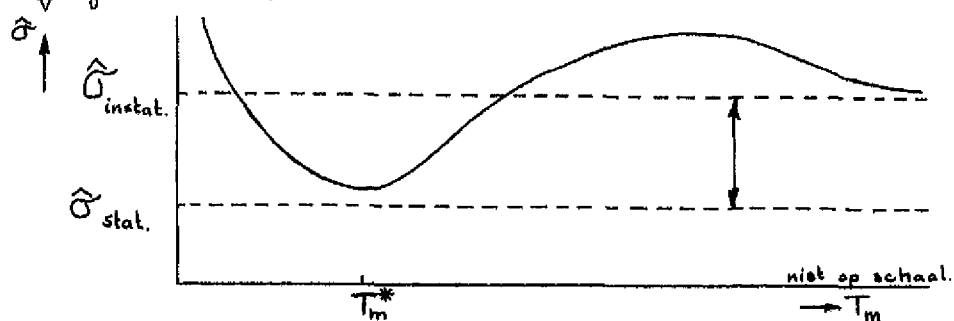


fig. 4: Verwacht verloop van de standaarddeviatie als functie van de balansperiode.  $T_m^*$  is een goede schatter voor de quasi-stationaire periode  $T_0$ , mits geldt  $T_v/T_0 \ll 1$ .

Nu wordt de standaarddeviatie, bepaald uit 52 bemonsteringen verdeeld over 2 jaar, verondersteld een goede schatting te zijn van  $\sigma$  (voor een willekeurige  $T_m$ ). Het verband tussen de balansperiode, de compartimentlengte en de betrouwbaarheid van de resultaten kan alleen gevonden worden als de standaarddeviatie als functie van de balansperiode  $T_m$  bekend is. Omdat deze relatie onbekend is, wordt in de volgende paragraaf verondersteld  $\sigma = \hat{\sigma}_{52}$  onafhankelijk van  $T_m$ .

13 Het verband tussen vakindeling, balansperiode en betrouwbaarheid bij een constante standaarddeviatie  $\sigma$ .

Zoals in het voorgaande reeds werd beschreven, wordt nu een situatie bekeken waarin de afvoer constant (onafhankelijk van  $x$  en  $t$ ) is en de concentratie lineair afhankelijk van de plaats. Als de concentratie afneemt bij toenemende afstand is er accumulatie.

In een compartiment kunnen zich verschillende bemonsterpunten bevinden. Wordt een compartiment gevormd door twee bemonsterpunten, dan is dat te vergelijken met de situatie die de projektgroep heeft bekeken. Als verschil met de in deze paragraaf beschouwde situatie is dat de projektgroep de vracht i.p.v. de concentratie bekijkt. Voor conservatieve stoffen is de vracht onafhankelijk van  $x$  en minder (of niet) afhankelijk van de afvoer, dit in tegenstelling tot de concentratie (d.w.z. als het lozingscriterium onafhankelijk van  $Q$  is). Als tegenargument kan gebruikt worden dat de projektgroep niet rechtstreeks de vracht kan bepalen, maar aangewezen is op het produkt van de sterk fluctuerende afvoer en concentratie. Tengevolge van een niet-frequente bemonstering van de concentratie en onnauwkeurigheden in de bepaling van de afvoer heeft de vracht, bepaald uit concentratie en afvoer, een grillig verloop met een aanzienlijke standaarddeviatie.

Uitgaande van een lineaire verandering van de concentratie met de afstand geldt het verband:

$$c_i = \alpha + \beta x_i + e_i \tag{13.1}$$

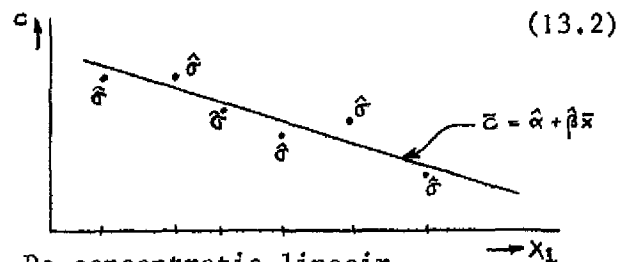
waarin  $c_i$  de concentratie,  $x_i$  de plaats,  $\beta$  de (constante) afname van de concentratie met de plaats en  $e_i$  de afwijking van  $(x_i, e_i)$  van de lijn

$$\bar{c} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \bar{x} \quad (\text{zie figuur}) \tag{13.2}$$

Hierbij moet  $e_i$  aan de volgende voorwaarden voldoen:  $\sum e_i = 0$

$$\text{Variantie } (e_i) = \hat{\sigma}^2$$

$e_i$  niet gecorreleerd en normaal verdeeld.



.De concentratie lineair afhankelijk van de plaats.

Uit de resultaten van de bemonsteringen in het onderzoekgebied kan worden berekend (bijlagen **II**) dat de schatter voor  $\sigma$  bepaald uit 52 bemonsteringen

van de beschouwde stof voor verschillende plaatsen van dezelfde orde-grootte is. Voor een stof met afnemende concentratie  $c_i$  bij toenemende  $x_i$  betekent dit een verhoging van  $\frac{\hat{\sigma}}{c_i}$ .

Om de berekeningen niet te gecompliceerd te maken, wordt er vanuit gegaan dat de standaarddeviatie voor een bemonstering ongeacht plaats en tijd constant is en gelijk aan  $\hat{\sigma}$ .

Nu kan een schatting van de helling  $\hat{\beta}$  bepaald worden: (lit. 5 en 6)

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (c_i - \bar{c})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{en} \quad \bar{c} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}\bar{x} \quad (13.3)$$

Een schatter voor de standaarddeviatie van de helling is:

$$\hat{\sigma}_{\beta}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (13.4)$$

Als het onderzoeksgebied niet éénmaal maar  $T$  maal wordt bemonsterd, kan voor de schatting van  $\sigma_{\beta}^2$  worden geschreven:

$$\hat{\sigma}_{\beta}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{T \cdot \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (13.5)$$

Een schatter voor de standaarddeviatie  $\sigma$  per meting wordt bepaald uit de 52 beschikbare gegevens per bemonsterpunt. Aangenomen wordt dat  $\hat{Q}_{52}$  een goede benadering is van  $\hat{\sigma}$ .

We definieren dat een accumulatie of sedimentatie kan worden aangetoond als:

$$\hat{\sigma}_{\beta} < a\hat{\beta} \quad (13.6)$$

waarin  $a$  een nog vrij te kiezen constante is.

Door  $a$  wordt de betrouwbaarheid of juistheid van de stelling dat er accumulatie is gekwantificeerd.

Een aanvaardbare keuze lijkt  $a = \frac{1}{3}$ .

Stel dat de bemonsteringspunten op gelijke afstanden  $l$  van elkaar liggen dan kan de parameter  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  worden uitgedrukt in de totale compartimentslengte  $L$  en de afstand tussen de bemonsterpunten  $l$ .

De verhouding  $\frac{L}{l} + 1$  geeft het aantal bemonsteringspunten per compartiment

weer:

$$s = \frac{L}{l} + 1 \quad \text{of} \quad l = \frac{L}{s - 1}$$

Nu is het mogelijk voor een gekozen compartimentering de waarde van de parameter  $\Sigma (x_i - \bar{x})^2$  uit te rekenen.

Bij een compartiment bestaande uit twee bemonsteringspunten op afstand  $l$  van elkaar en compartimentlengte  $L = 2l$  geldt:

$$\Sigma (x_i - \bar{x})^2 = (\frac{1}{2}l)^2 + (\frac{1}{2}l)^2 = \frac{1}{2}l^2 \rightarrow \Sigma (x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2}l^2 = 1.$$

Een compartimentering bestaande uit 3 bemonsteringspunten op afstand  $l$  van elkaar (compartimentlengte  $L = 2l$ ):

$$\Sigma (x_i - \bar{x})^2 = (l)^2 + (l)^2 = 2(l)^2 \rightarrow \Sigma (x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2}l^2 = 4$$

Voor een volledige beschrijving van  $\Sigma (x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2}l^2$  als functie van het aantal bemonsterpunten per compartiment wordt verwezen naar tabel 5 en figuur 5. Noem  $\Sigma (x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2}l^2 = \Sigma_l$  dan is  $\hat{\sigma}_\beta^2$  te schrijven als

$$\hat{\sigma}_\beta^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{T \cdot \Sigma_l \cdot \frac{1}{2}l^2} \tag{13.7}$$

Voor een willekeurig aantal bemonsteringen  $T$ , compartimentlengte  $L$  en afstand  $l$  tussen twee bemonsteringspunten is de  $\hat{\sigma}_\beta$  uit te drukken in de (bekende) schatter  $\hat{\sigma}$  per bemonstering.

De betrouwbaarheid van de uitspraak dat er in een compartiment accumulatieprocessen plaatsvinden, wordt aangegeven door a:

$$\frac{\hat{\sigma}_\beta}{\beta} < a \tag{13.8}$$

Substitutie van  $\hat{\sigma}_\beta$  uit bovengenoemde vergelijking levert:

$$\frac{\hat{\sigma}^2}{T \cdot \beta^2 \Sigma_l \cdot \frac{1}{2}l^2} < a \quad \text{of} \quad \frac{1}{2}T \cdot \Sigma_l \cdot l^2 > \left(\frac{\hat{\sigma}}{a\beta}\right)^2$$

en daarmee  $(\frac{1}{2}T \cdot \Sigma_l \cdot l^2)_{\min} = \left(\frac{\hat{\sigma}}{a\beta}\right)^2$



Door keuze van de "betrouwbaarheid"  $a$  is na bepaling van  $\hat{\sigma}$  en  $\hat{\beta}$  uit de meetresultaten een relatie gevonden tussen de balansperioden (met de huidige bemonsterfrequentie gelijk aan  $(T - 1) \times 14$  dagen), de compartimentlengte  $L$  (via  $\Sigma_1$ ) en de afstand  $l$  tussen twee bemonsterpunten. De balansperiode is gelijk aan de bemonsterfrequentie maal het aantal bemonsteringen  $T$ .

Als voor de eenvoud wordt aangenomen dat er over het gehele onderzoeksgebied een gelijke accumulatie ( $\hat{\beta}$ ) is, dan is  $\hat{\sigma}/\hat{\beta}$  constant voor iedere willekeurige compartimentering.

Compartiment- lengte	$\Sigma(x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2} L^2 = \Sigma Z$	Aantal bemonsteringen per compartiment
1 Z	1	2
2 Z	4	3
3 Z	10	4
4 Z	20	5
5 Z	35	6
6 Z	56	7
7 Z	84	8
8 Z	120	9
9 Z	165	10
10 Z	220	11
11 Z	286	12
12 Z	364	13
13 Z	455	14
14 Z	560	15
15 Z	680	16
16 Z	816	17

Tabel 5 Hierin is de afstand tussen twee bemonsterplaatsen

	$\hat{\sigma}$ (mg/l)	$\Delta c$ (mg/l)	$\hat{\beta}$ ( $\frac{\text{mg/l}}{\text{KM}}$ )	$\hat{\sigma}/\hat{\beta}$ (KM)
T-PO <sub>4</sub>	0,15	0,18	$2,5 \times 10^{-3}$	60
O-PO <sub>4</sub>	0,08	0,10	$1,3 \times 10^{-3}$	61
Cl <sup>-</sup>	60	*	*	*
pH	0,20	0,4 <sup>***</sup>	$5 \times 10^{-3}$ <sup>***</sup>	40 <sup>**</sup>
N-NH <sub>4</sub>	1,25	0,8 <sup>***</sup>	$11 \times 10^{-3}$ <sup>***</sup>	115 <sup>****</sup>
N-NO <sub>2</sub> -NO <sub>3</sub>	0,40	0,3 <sup>****</sup>	$4 \times 10^{-3}$ <sup>****</sup>	100 <sup>***</sup>

Tabel 6: De grootte van  $\hat{\sigma}/\hat{\beta}$  voor verschillende stoffen

Verklaring tekens:

- \* : sterk afhankelijk van het beschouwde traject
- \*\*\* : maximale waarde
- \*\*\*\* : minimale waarde.

#### 14 Betekenis voor het onderzoekgebied

Wordt als voorbeeld de situatie op het HD/HV/Waal-trajekt beschouwd met een totale lengte van  $\pm 75$  (KM) dan is de maximale compartimentlengte 75 (KM). Op het gehele trajekt zijn 16 bemonsterpunten aanwezig.

De parameter  $\Sigma_L$  als functie van het aantal bemonsterpunten per compartiment is grafisch weergegeven in fig. 5 en tabel 5. Uit de meetresultaten van het totaalfosfaat (1972 en 1973) over het beschouwde trajekt blijkt dat  $\hat{\sigma} \approx 0,15$  (mg/l): (zie tabel 6). Tevens blijkt uit deze tabel dat  $\hat{\beta} \approx 2,5 \times 10^{-3}$  ( $\frac{\text{mg/l}}{\text{KM}}$ ). Daarmee:  $(\hat{\sigma}/\hat{\beta}) = 60$  (KM) en

$$\frac{1}{2} T \cdot \Sigma_L \cdot L^2 \cdot a^2 > 3600 \quad (14.1)$$

In tabel 6 is getracht  $\hat{\sigma}/\hat{\beta}$  te schatten voor al die stoffen waarvoor  $\hat{\sigma}$  bepaald is.

Uitgaande van vergelijking (14.1) en  $a = \frac{1}{3}$  is een grafische voorstelling gemaakt van het aantal bemonsterseries T als functie van de minimaal noodzakelijke compartimentlengte L voor 3 verschillende waarden van  $L$  (fig. 6).

In figuur 7 is het verband getekend tussen de compartimentlengte L en het aantal bemonsterseries T bij  $a = \frac{1}{3}$  en voor verschillende waarden van P, waarbij P het totaal aantal bemonsteringen per jaar voorstelt binnen het onderzoekgebied. De gestippelde lijn geeft het huidige aantal bemonsteringen per jaar binnen het onderzoekgebied aan ( $P = 312$ ).

Uit de helling van deze lijnen blijkt dat bij het huidige aantal bemonsteringen per jaar de minimale compartimentlengte L slechts weinig afneemt bij toename van het aantal bemonsterseries T (bij gelijke betrouwbaarheid). Hieruit zou men concluderen dat een zeer intensieve meetcampagne dus geen evenredige afname van de minimum compartimentlengte L oplevert. Deze conclusie moet met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd. Bij de berekeningen is namelijk verondersteld dat  $\hat{\sigma}$  onafhankelijk is van de balansperiode  $T_m$ ! Voor een korte periode is de geschatte waarde van  $\sigma$  natuurlijk niet correct, want voor een kortere periode bestaat er een grotere kans dat er een quasi-stationaire situatie in het onderzoekgebied is. In de quasi-stationaire situatie is  $\hat{\sigma}$  kleiner dan de nu gehanteerde  $\hat{\sigma}$ ! Belangrijk is het dan ook dat  $\hat{\sigma}$  wordt berekend voor perioden van verschillende duur en voor verschillende bemonsterfrequenties!

In het onderzoekgebied is de afstand  $L$  tussen twee bemonsterplaatsen onge-

veer 6 (KM). In figuur 8 is voor  $l = 6$  (KM) het verband tussen T, L voor 3 waarden van a grafisch weergegeven. Nu is de bemonsterfrequentie van éénmaal per 14 dagen voor de beschouwing van de metingen (van b.v. 1972) een vast gegeven.

Dat houdt in dat de balansperiode  $(T - 1) \times 14$  dagen is.

Voor accumulatie van totaalfosfaat binnen het onderzoekgebied geldt (14.1):

$$\frac{1}{2}T \cdot \Sigma_l \cdot l^2 \cdot a^2 > 3600. \quad (14.2)$$

Met  $l \approx 6$  (KM):

$$T \cdot \Sigma_l \cdot a^2 > 200 \quad (14.3)$$

Voor een betrouwbaarheid  $a = \frac{2}{3}$  of beter betekent dit:

$$T \cdot \Sigma_l > 450 \quad (14.4)$$

Bij de huidige bemonsterfrequentie ( $T = 26$  in één jaar) betekent dit  $\Sigma_l > 18$  hetgeen overeenkomt met een minimale compartimentlengte  $L = 24$  (KM). (Indien men een balans over één jaar beschouwt.) Dat houdt in dat het onderzoekgebied Haringvlietsluizen → Gorinchem in hoogstens 4 compartimenten kan worden verdeeld (bij betrouwbaarheid  $a = \frac{2}{3}$ ).

Hoe gevoelig is de gevonden compartimentlengte voor veranderingen van de betrouwbaarheid  $a$  of de afstand  $l$ ?

De projektgroep beschouwt het beeld over één jaar ( $T = 26$ ). Substitutie van  $T = 26$  in vergelijking (14.1) levert:

$$\Sigma l \cdot l^2 \cdot a^2 > 280$$

Voor iedere keuze van  $a$  en  $l$  is daarmee het minimum aantal bemonsterplaatsen per compartiment te bepalen (tabel 7):

$L_{\min}$ (KM)	$l = 5$	$l = 6$	$l = 7$
$a = 1$	15	16	18
$a = \frac{2}{3}$	23	24	25
$a = \frac{1}{3}$	37	38	40

Tabel 7 De minimale compartimentlengte bij een bemonsterfrequentie van éénmaal per 14 dagen, als functie van de betrouwbaarheid  $a$  en de afstand  $l$  tussen 2 bemonsterplaatsen.

Uit de tabel blijkt dat  $L_{\min}$  weinig varieert bij toename van  $l$ , maar wel afhankelijk is van de betrouwbaarheid  $a$ .

In vervolg zal dan ook slechts de situatie  $l = 6$  (KM) worden beschouwd.

De in de tabellen vermelde kwantiteiten hebben betrekking op de totaalfosfaat-gegevens.

Voor de overige stoffen zal de geschatte compartimentering dezelfde zijn indien  $(\hat{\sigma}/a\hat{\beta})$  voor die stof gelijk is aan  $(\hat{\sigma}/a\hat{\beta})$  voor het totaalfosfaat.

In het algemeen zal de waarde van  $(\hat{\sigma}/a\hat{\beta})$  verschillend zijn voor diverse stoffen (vgl. tabel 6). Ligt de compartimentering, het aantal bemonsteringen en de afstand tussen twee bemonsterplaatsen vast, dan kan daaruit de maximale waarde van  $(\hat{\sigma}/a\hat{\beta})$  worden bepaald. Omgekeerd kan daaruit voor iedere keuze van  $a$  worden berekend, welke accumulatie  $\hat{\beta}$  bij bekende  $\hat{\sigma}$  als significant kan worden verondersteld.

Is de "stofkonstante"  $\hat{\sigma}/\hat{\beta}$  voor een bepaald gebied en periode bekend, dan kan m.b.v.  $(\hat{\sigma}/a\hat{\beta})_{\max}$  de minimale waarde van  $a$  worden berekend. De waarde van  $a$  zal bij vastliggende  $T$ ,  $l$  en  $l$  in het algemeen afhankelijk zijn van de beschouwde stof.

De keuze van de eis betreffende de betrouwbaarheid van het eindresultaat (of de keuze van  $a$ ) bepaalt of een accumulatie al dan niet significant kan worden genoemd, waarbij  $a = 1$  als een ondergrens beschouwd kan worden.

De projectgroep beschouwt een maximale detaillering in de plaats  $\rightarrow$  de compartimentlengte  $l = L$ .

$$\rightarrow \hat{\sigma}_{\beta}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{T \cdot \Sigma l \cdot \frac{1}{2} l^2} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2} T \cdot \Sigma l \cdot l^2 > \left( \frac{\hat{\sigma}}{a\beta} \right)^2$$

Stel  $a = \frac{1}{3}$ ;  $\hat{\beta} = 2,5 \times 10^{-3}$ ;  $\hat{\sigma} = 0,15$  mg/l (voor totaalfosfaat);  $\Sigma l = 1$ .

Substitutie levert:

$$T \cdot l^2 > 65 \times 10^3 \quad \text{of} \quad (T \cdot l^2)_{\min} = 65 \times 10^3$$

Schatting van  $l$ :  $2 < l < 7$  en daarmee

$$1300 < T < 13000.$$

Verlaging van de betrouwbaarheid  $a$  van  $\frac{1}{3} \rightarrow 1$  levert:

$$140 < T < 1400.$$

Per jaar wordt er  $T = 26$  maal bemonsterd; onvoldoende om een significante accumulatie van totaalfosfaat binnen een compartiment met lengte  $l = 6$  (KM) te beschrijven. Daarvoor moet gelden:

$$\hat{\sigma} < 0,06 \text{ (mg/l)} \quad \text{of} \quad \hat{\sigma}/\hat{\beta} < 22.$$

Voor een beschouwing van de accumulatie is het uiteraard beter om bovenstaande redenering toe te passen op de vracht i.p.v. de concentratie. Van de vracht zijn echter geen bemonsteringen beschikbaar, waardoor  $\hat{\sigma}_{Qc}$  onbekend is. De vracht en de standaarddeviatie van de vracht wordt berekend m.b.v.  $Q$ ,  $c$ ,  $T_Q$  en  $T_c$  (zie ook figuur 8). Het verband tussen  $T_{Qc}$ ,  $T_Q$  en  $T_c$  is echter niet bekend.

Aangezien waarschijnlijk geldt:

$$\frac{T_{Qc}}{Qc} < \frac{T_c}{c}$$

is het van het grootste belang voor het verhogen van de nauwkeurigheid dat  $\sigma_{Qc}$  als functie van  $\sigma_Q$ ,  $Q$ ,  $T_c$  en  $c$  bekend is.

## 15 Samenvatting van de statistische beschouwing

Het blijkt in bepaalde gevallen mogelijk een verband te vinden tussen de compartimentlengte, de balansperiode en het aantal bemonsteringspunten per compartiment bij gekozen betrouwbaarheid van het eindresultaat.

De projektgroep beschouwt het verloop van de vracht, terwijl er in dit rapport naar de concentratie gekeken wordt (afvoer = constant). De reden voor deze keuze is dat de standaarddeviatie van de vracht niet direkt geschat kan worden uit de bemonsteringsresultaten, dit in tegenstelling tot de concentratie. Bij aanname van een lineaire afname van de concentratie in een compartiment blijkt het resultaat optimaal als de bemonsteringspunten in het beschouwde compartiment zo ver mogelijk uit elkaar liggen en het aantal bemonsterseries  $T$  maximaal is.

Om een balans (met compartimentlengte  $L = \hat{l} = 6$  (KM)) voor het totaalfosfaat te kunnen opstellen voor één jaar, waarin een bemonsteringsfrequentie van éénmaal per 14 dagen is gehanteerd, zal de standaarddeviatie  $\hat{\sigma}$  kleiner moeten zijn dan 0,06 mg/l om significante accumulatie in dat compartiment aan te tonen. De huidige, uit een reeks van 52 bemonsteringen bepaalde, standaarddeviatie  $\hat{\sigma} = 0,15$  mg/l.

In het huidige model wordt  $\hat{\sigma}$  onafhankelijk van de bemonsterplaats en balansperiode verondersteld. Het is echter duidelijk dat  $\hat{\sigma}$  af zal hangen van de balansperiode  $T_m$  (i.v.m.  $T_v/T_o \ll 1$ ) wordt gekozen. Daarom is het van belang om  $\hat{\sigma}$  als functie van  $T_m$  te leren kennen. Essentieel blijft bij deze beschouwing natuurlijk dat de bemonsteringsgegevens representatief zijn voor de dwarsdoorsnede.

Gezien de onbekendheid van de standaarddeviatie als functie van de bemonsterfrequentie en de balansperiode  $T_m$  is het nog niet mogelijk om een uitspraak te doen over de voorwaarden waaronder accumulatie of mobilisatie kan worden aangetoond.

Tevens zal moeten worden nagegaan hoe met de kennis omtrent  $\sigma_Q$ ,  $\sigma_c$  en (b.v.) correlatie-diagrammen,  $\sigma_{Qc}$  en de vracht bepaald kunnen worden.

### Samenvatting rapport

De quasi-stationaire aanname die ten grondslag ligt aan de water- en stofbalans, gehanteerd door de projektgroep HD/HV bij de verwerking en presentatie van meetgegevens, heeft, zoals in dit rapport uiteen wordt gezet, een aantal consequenties voor de betrouwbaarheid van uitspraken over de aanwezigheid en/of omvang van processen als sedimentatie, erosie etc.

De betrouwbaarheid wordt geringer naarmate aan de stationaire voorwaarde minder wordt voldaan.

Door de balansberekeningen uit te voeren over de kortste periode van bemonsteren (2 weken) zal de betrouwbaarheid van uitspraken als functie van de bemonsteringsduur zeer wisselvallig zijn, omdat de mate waarin voldaan wordt aan de voorwaarde van stationair zijn ( $T_v/T_0 \ll 1$ ) gedurende de jaarcyclus sterk varieert.

Door de balansberekeningen uit te voeren over een langere tijdsduur zal de betrouwbaarheid afnemen tengevolge van bovengenoemde oorzaak en anderzijds toenemen door het uitmiddelen, waarvan het effect toeneemt met het aantal meetpunten.

De vraag die deze constatering oproept, n.l. of er een optimale bemonsteringsperiode voor toepassing van een balansberekening te vinden is, gezien vanuit de mate van betrouwbaarheid van uitspraken, blijft voor bestudering open.



## LITERATUUR

- 1 De waterkwaliteit in het Hollands Diep - Haringvliet:  
periode januari - juni 1972.  
Nota 73-08.
- 2 De waterkwaliteit in het Hollands Diep - Haringvliet:  
periode januari - december 1972.  
Nota 73-09.
- 3 Abraham, G. Limitation of dispersion concept.  
W.L.-report, 1974, R 895 (I).
- 4 Estuarine modelling.  
WPCR-Series, Tracor Inc., 16070 DZV 02/71
- 5 Chatfield, C. Statistics for technology.  
1970.
- 6 Mood, A.M., Graybill, F.A. Introduction to the theory of  
statistics.  
1963.
- 7 C.B.S:-Waterverontreiniging met afbreekbaar organisch en  
eutrofiërend materiaal.  
The Hague, Gort Printing & Editing Office, 1972.

## Bijlage I

Afschatten van de longitudinale diffusie: (lit. 4)

Diffusievergelijking:

$$\frac{1}{A} \frac{\delta(Ac)}{\delta t} + \frac{1}{A} \frac{\delta}{\delta x} (uAc) = \frac{1}{A} \frac{\delta}{\delta x} (AD_L \frac{\delta c}{\delta x}) + P + R \quad (5)$$

Stel gemakshalve  $A \neq A(x,t)$  en  $P = 0$ :

$$\frac{\delta c}{\delta t} + \frac{\delta uc}{\delta x} = D_L \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} + R \quad (6)$$

Beschouwing van een stationaire stroming met 1<sup>e</sup> orde reactie:

$$\begin{aligned} \frac{\delta c}{\delta t} &= 0, \quad \frac{\delta uc}{\delta x} = u \frac{\delta c}{\delta x}; \quad R = -kc: \\ u \frac{\delta c}{\delta x} &= D_L \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} - kc \end{aligned} \quad (7)$$

Schatting met  $c = c_0 e^{\lambda x}$  levert als karakteristieke vergelijking:

$$u\lambda + k = D_L \lambda^2.$$

Oplossing:

$$\lambda = \frac{u}{2D_L} \left( 1 \pm \sqrt{1 + \frac{4kD_L}{u^2}} \right) \quad (8)$$

Nu geldt:

$$\begin{aligned} D_L &= 6 Hu^{**} && \text{waarin } u^{**} = \text{schuifspanningssnelheid} \\ u^{**} &= \bar{u}/15 && \bar{u} = \text{gem. snelheid} \\ D_L &= \frac{2}{5} H\bar{u} && H = \text{waterdiepte} \end{aligned}$$

$$\left( \begin{array}{l} D_{L(\text{Waal})} \approx 2 \text{ (m}^2/\text{s)} \\ D_{L(\text{HD/HV})} \approx 0,1 \text{ (m}^2/\text{s)} \end{array} \right)$$

Voor het HD/HV-gebied geldt bij benadering:

$$\begin{aligned} \bar{u} &= 1 \text{ à } 2 \text{ KM/dag} \\ k &= 0,1 \text{ à } 0,5 \text{ dag}^{-1} \\ H &= 5 \text{ m} \end{aligned} \quad \frac{4kD_L}{\bar{u}^2} = \mathcal{O}(10^{-3}) \ll 1$$

Daarmee wordt vergelijking (8) gereduceerd tot:

$$\lambda = \frac{u}{2D_L} \left[ 1 \pm \left( 1 + \frac{2kD_L}{u^2} \right) \right] \rightarrow \lambda_1 \approx \frac{u}{D_L} \quad \text{en} \quad \lambda_2 \approx -\frac{k}{u}$$

Als enige reële wortel blijft over  $\lambda \approx -\frac{k}{u}$  en daarmee

$$c = c_0 e^{-\frac{kx}{u}} \quad (9)$$

Nu is het mogelijk om met vergelijking (9) een schatting te maken van de orde grootte van de diverse termen in vergelijking (7):

$$\begin{aligned} u \frac{\delta c}{\delta x} &= u \lambda c = \mathcal{O}(kc) \\ D_L \frac{\delta^2 c}{\delta x^2} &= D_L \lambda^2 c = \mathcal{O}\left(\frac{k^2 D_L c}{u^2}\right) \\ kc &= \mathcal{O}(kc) \end{aligned}$$

Blijkbaar

$$\frac{\mathcal{O}\left(u \frac{\delta c}{\delta x}\right)}{\mathcal{O}\left(D_L \frac{\delta^2 c}{\delta x^2}\right)} = \frac{u^2}{kD_L} \gg 1 \quad \text{en mogen we de longitudinale diffusie t.o.v.}$$

advectie verwaarlozen.

CHEMISCHE PARAMETER:  $\text{Cl}^-$  (MG/L)

Station	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Aantal bemonsteringen
SP 20	268	206	58
DK 16	190	47	59
BM 24	195	39	24
H 11	230	71	54
HV 19	233	69	58
HD 18	198	57	59
NM 25	197	45	24
NM 15	220	60	59
H 5	218	60	58
BM 13	213	65	58
H 12	250	91	55
H 9	225	71	54
H 7	179	50	55
BB 23	71	23	24
H 10	235	71	57
H 8	204	58	57
HD 17	198	52	58
H 6	163	66	74
AM 26	110	60	23
AM 14	74	25	58
H 4	72	22	58
BM 21	76	28	24

CHEMISCHE PARAMETER: T-PO<sub>4</sub>-P (MG/L)

Station	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Aantal bemonsteringen
SP 20	0,34	0,11	57
DK 16	0,51	0,16	58
BM 24	0,56	0,16	19
H 11	0,30	0,09	56
HV 19	0,34	0,06	20
HD 18	0,44	0,09	19
NM 25	0,47	0,07	17
NM 15	0,50	0,09	18
H 5	0,60	0,26	57
BM 13	-	-	-
H 12	0,31	0,09	55
H 9	0,36	0,12	55
H 7	0,50	0,15	56
BB 23	0,29	0,09	20
H 10	0,23	-	1
H 8	0,48	0,21	10
HD 17	0,44	0,11	47
H 6	0,50	0,21	72
AM 26	0,43	0,09	18
AM 14	0,47	0,10	20
H 4	0,55	0,19	56
BM 21	0,55	0,14	17

CHEMISCHE PARAMETER:  $O-PO_4-P$  (MG/L)

Station	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Aantal bemonsteringen
SP 20	0,21	0,05	58
DK 16	0,27	0,08	59
BM 24	0,33	0,09	24
H 11	0,20	0,05	58
HV 19	0,24	0,08	34
HD 18	0,27	0,08	34
NM 25	0,30	0,08	23
NM 15	0,30	0,08	37
H 5	0,33	0,09	57
BM 13	0,29	0,08	36
H 12	0,19	0,05	58
H 9	0,23	0,06	58
H 7	0,28	0,08	56
BB 23	0,19	0,12	24
H 10	0,21	0,05	34
H 8	0,26	0,07	44
HD 17	0,31	0,25	48
H 6	0,27	0,09	73
AM 26	0,29	0,09	23
AM 14	0,32	0,10	34
H 4	0,34	0,11	58
BM 21	0,40	0,13	24

CHEMISCHE PARAMETER:  $\text{NO}_2\text{-NO}_3\text{-N}$  (MG/L)

Station	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Aantal bemonsteringen
SP 20	2,95	0,47	58
DK 16	2,80	0,36	59
BM 24	2,78	0,39	24
H 11	3,00	0,41	54
HV 19	2,87	0,42	57
HD 18	2,78	0,36	59
NM 25	2,73	0,41	24
NM 15	2,72	0,38	59
H 5	2,70	0,38	58
BM 13	2,69	0,42	58
H 12	3,01	0,44	58
H 9	2,89	0,42	54
H 7	2,76	0,33	56
BB 23	2,66	0,56	24
H 10	2,98	0,67	58
H 8	2,80	0,39	58
HD 17	2,77	0,39	57
H 6	2,82	0,33	74
AM 26	2,97	0,40	23
AM 14	3,05	0,60	59
H 4	3,09	0,58	58
BM 21	3,27	0,53	24

## CHEMISCHE PARAMETER: pH

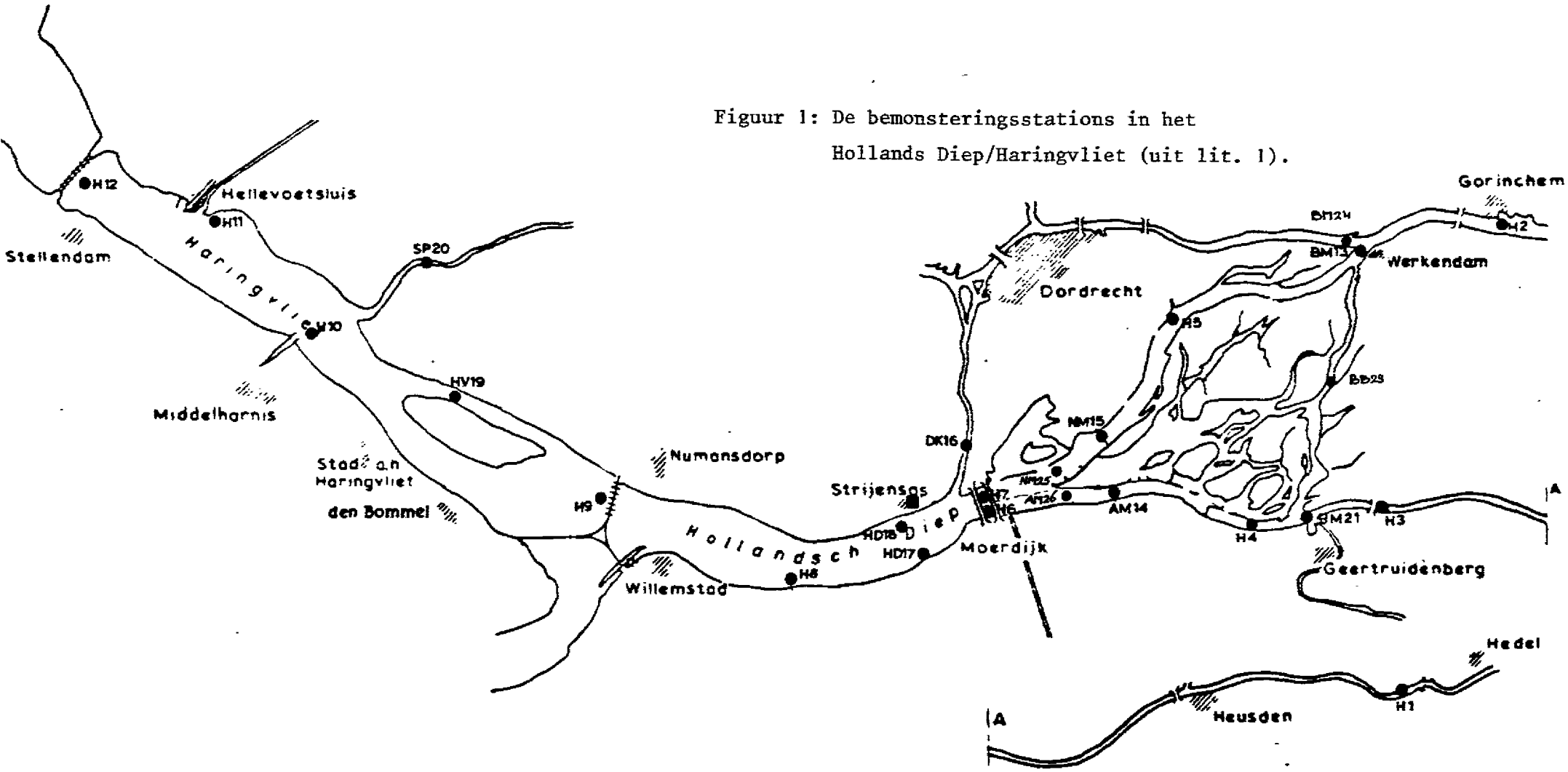
Station	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Aantal bemonsteringen
SP 20	7,79	0,24	58
DK 16	7,55	0,19	59
BM 24	7,52	0,20	24
H 11	7,84	0,29	54
HV 19	7,75	0,19	57
HD 18	7,53	0,18	58
NM 25	7,47	0,13	24
NM 15	7,42	0,46	58
H 5	7,51	0,19	56
BM 13	7,43	0,68	59
H 12	7,82	0,33	58
H 9	7,73	0,19	54
H 7	7,58	0,18	55
BB 23	7,93	0,41	24
H 10	7,82	0,21	58
H 8	7,58	0,17	58
HD 17	7,61	0,16	58
H 6	7,57	0,19	74
AM 26	7,57	0,17	23
AM 14	7,67	0,21	58
H 4	7,65	0,19	58
BM 21	7,65	0,17	24

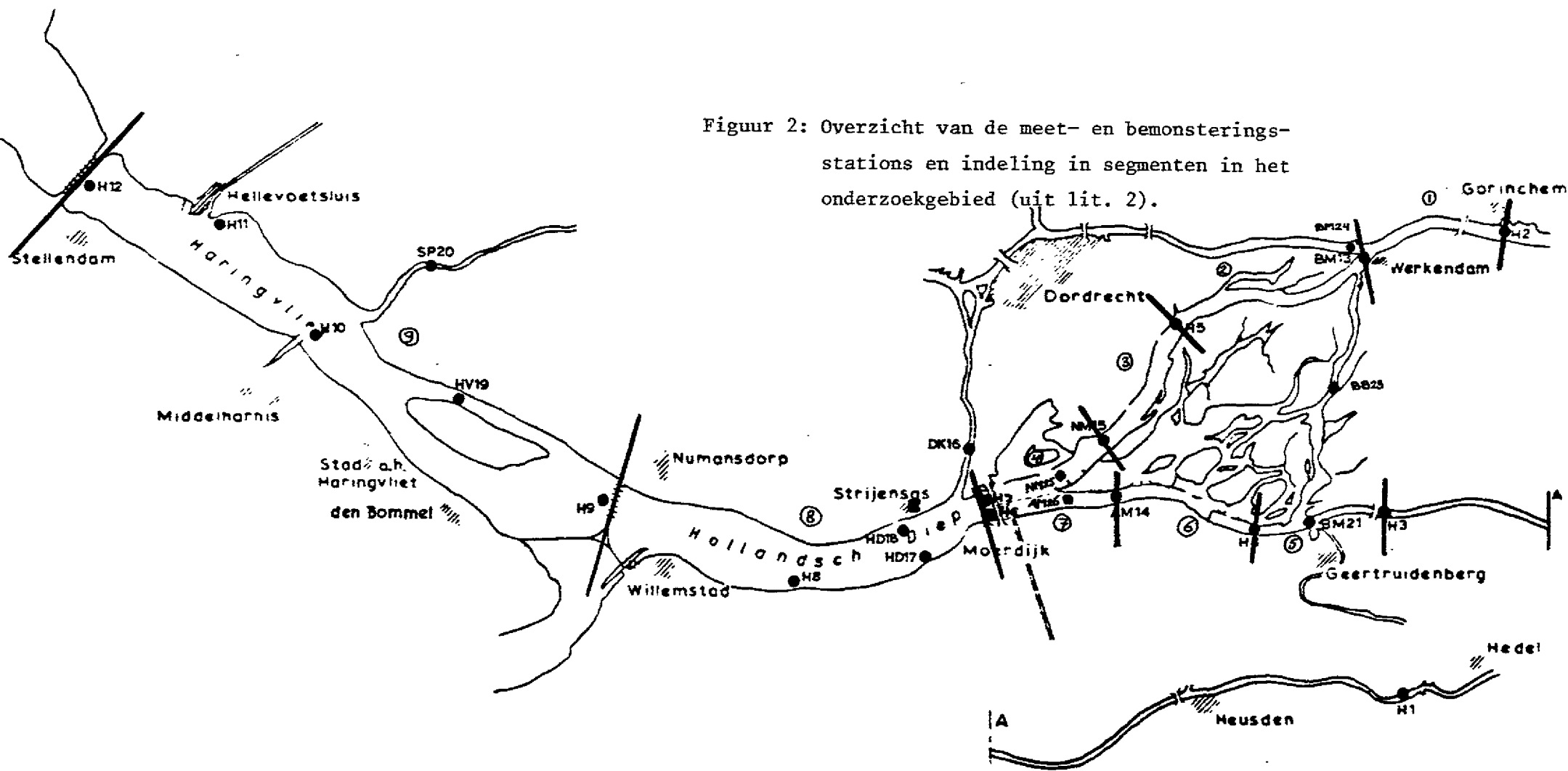


CHEMISCHE PARAMETER:  $\text{NH}_4\text{-N}$  (MG/L)

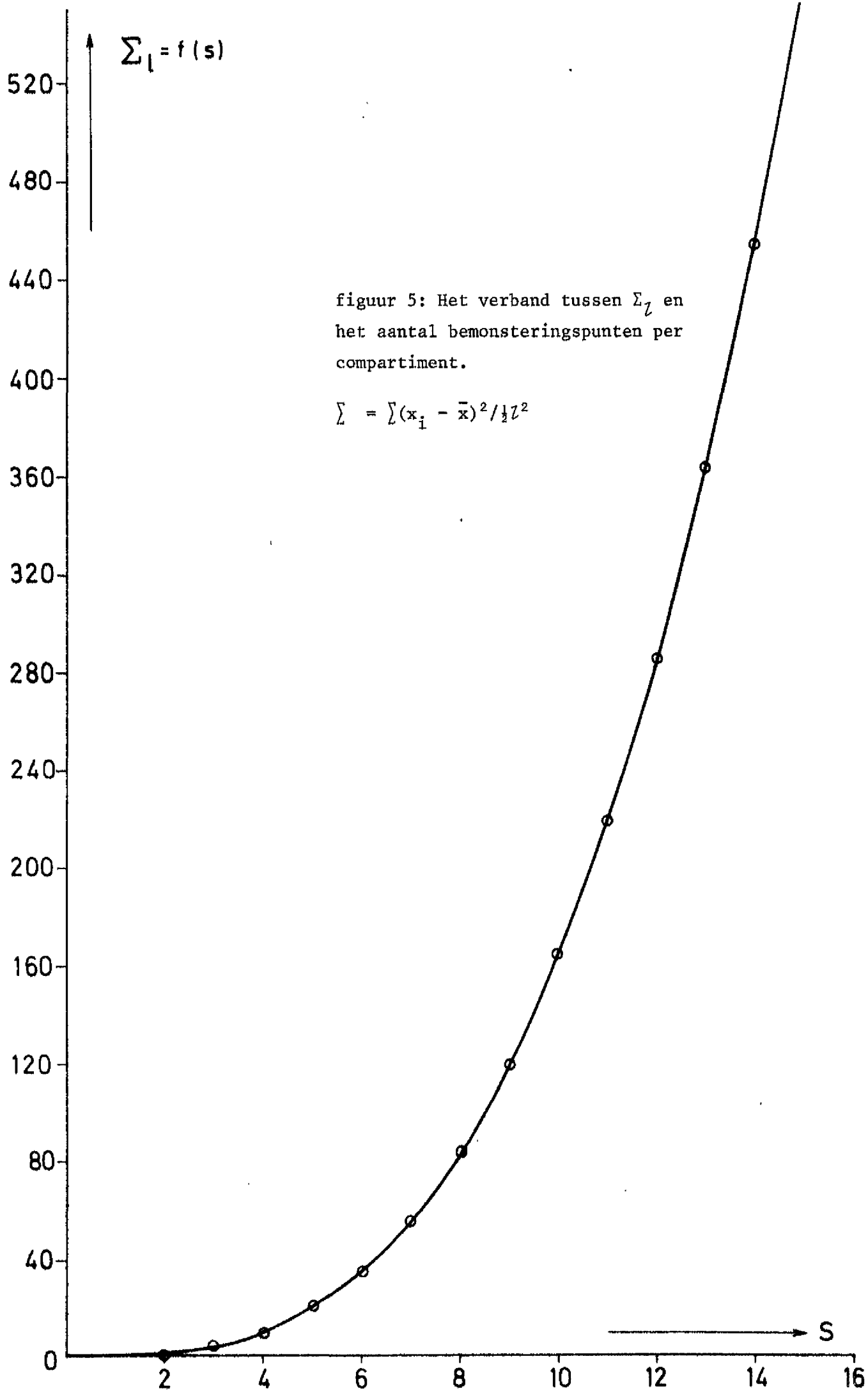
Station	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Aantal bemonsteringen
SP 20	2,09	1,26	58
DK 16	2,74	1,32	58
BM 24	2,40	1,35	24
H 11	1,85	1,17	53
HV 19	2,39	1,27	57
HD 18	2,78	1,23	59
NM 25	2,53	1,26	24
NM 15	2,93	1,46	59
H 5	2,89	1,46	58
BM 13	2,81	1,51	59
H 12	1,89	1,26	58
H 9	2,50	1,26	54
H 7	2,03	1,28	21
BB 23	1,18	0,98	24
H 10	2,24	1,26	57
H 8	2,81	1,27	58
HD 17	2,84	1,31	58
H 6	2,72	1,25	74
AM 26	2,18	1,06	23
AM 14	2,22	0,96	59
H 4	2,33	0,99	58
BM 21	2,18	0,98	24

Figuur 1: De bemonsteringsstations in het  
Hollands Diep/Haringvliet (uit lit. 1).





Figuur 2: Overzicht van de meet- en bemonsteringsstations en indeling in segmenten in het onderzoekgebied (uit lit. 2).



figuur 5: Het verband tussen  $\Sigma_l$  en het aantal bemonsteringspunten per compartiment.

$$\Sigma = \sum (x_i - \bar{x})^2 / \frac{1}{2} l^2$$

