



**Sedimentbalans
1960-2000
zwevend stofvracht
Rijn en Maas**

RIZA werkdocument 2002.197X

Project nr 6100.014.15

Auteurs:

Aad Fioole, Erik-Jan Houwing en Ton Visser

Dordrecht, november 2002
(RIZA-WST)



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 3

Samenvatting 5

1 Inleiding 7

- 1.1 Achtergrond 7
- 1.2 Probleemstelling 7
- 1.3 Doelstelling 7
- 1.4 Onderzoeksvragen 9
- 1.5 Leeswijzer 9

2 Dagelijkse zwevend stofvracht bij Lobith 10

- 2.1 Gebruikte gegevens Lobith 10
- 2.2 Verwerking gegevens Lobith 11
 - 2.2.1 Vergelijking steekmonsters met dagverzamelmonsters 11
 - 2.2.2 Berekenen relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer bij Lobith 18
 - 2.2.3 Vergelijking gemeten en berekende dagelijkse zwevend stofvracht bij Lobith 22
 - 2.2.4 Vergelijking van gemeten en berekende zwevend stofvracht, bepaald uit de dagverzamelmonsters 26
 - 2.2.5 Nauwkeurigheid jaarvrachten 33
 - 2.2.6 Vergelijking jaarvrachten 34
 - 2.2.7 Discussie 34

3 Dagelijkse zwevend stofvracht bij Lith 38

- 3.1 Beschikbare gegevens Lith 38
- 3.2 Verwerking gegevens Lith 39
 - 3.2.1 Opstellen relatie tussen dagelijkse zwevend stofvracht bij Lith en de afvoer 39
 - 3.2.2 Vergelijken van gemeten en berekende zwevend stofvracht bij Lith 41
 - 3.2.3 Vergelijken van jaarvrachten 47

4 Conclusies 48

Referenties 50

Samenvatting

In het kader van de actualisering Sedimentbalans Noordelijk Deltabekken 1970-2000 is het van belang juiste informatie te hebben over de vracht aan slib die ons land via de Rijn en Maas binnenkomt. In principe is voor slib de vracht op eenvoudige wijze te berekenen door het debiet met de concentratie zwevend stof te vermenigvuldigen. Voor de Rijn is deze methode na 1989 toe te passen. Vanaf die periode wordt immers dagelijks het debiet gemeten en de concentratie zwevend stof, op basis van dagverzamelmonsters, bepaald. Voor 1989 werd de concentratie zwevend stof echter tweewekelijks middels steekmonsters gemeten. Op basis van vergelijking tussen steekmonsters en dagverzamelmonsters blijken significante verschillen in de waarden te bestaan waarbij de steekmonsters hogere concentraties laten zien. Dit betekent dat de jaarlijkse slibvracht van de Rijn voor 1989, berekend op basis van de steekmonsters, te hoog zal uitvallen. In deze studie wordt onderzocht of de jaarlijkse slibvracht in de Rijn in de periode voor 1989 niet op een andere wijze berekend kan worden.

Op basis van statistische analyse blijkt een goede relatie te bestaan tussen de slibvracht en de afvoer. Hierbij wordt gecorrigeerd voor een waargenomen afname in de concentratie zwevend stof sinds 1960. De nauwkeurigheid van de berekende jaarvracht voor de Rijn ligt rond de 8% (gebaseerd op de berekende vracht en de werkelijk gemeten vracht tussen 1989 en 2000).

Voor de Maas is eenzelfde relatie tussen debiet en slibvracht gevonden. Hierbij kon alleen van steekmonsters gebruik worden gemaakt. Derhalve kon geen nauwkeurigheid van de berekende vrachten voor de Maas worden bepaald.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De ligging van de bodem in het benedenrivierengebied is constant in beweging. Door de rivieren wordt materiaal aangevoerd, er wordt gebaggerd, gestort en er treedt erosie en sedimentatie op. Om de morfologische ontwikkeling in de tijd te kunnen berekenen, is een sluitende sedimentbalans van groot belang. Voor het bepalen van een sedimentbalans voor een rivier wordt onder andere gebruikgemaakt van de zwevend stofvracht wat aan de bovengrens wordt aangeboden. Deze vracht wordt berekend op basis van gemeten waarden voor de afvoer, vermenigvuldigd met de gemeten waarden van de zwevend stofconcentratie op dat moment. Veel rekenmodellen maken gebruik van de morfologische ontwikkeling, de verdeling van het sediment over het **N**(oordelijk) **D**(elta) **B**(ekken) en de huidige ligging van de waterbodem. Interpretatie en verificatie van berekeningsresultaten kan alleen plaatsvinden indien er onder andere beschikt wordt over een goede sedimentbalans (= verdeling van het, door de grote rivieren, aangevoerde materiaal in de tijd over het benedenrivierengebied).

1.2 Probleemstelling

Om een zwevend stofvracht op een bepaalde dag vast te kunnen stellen moeten de afvoer en de zwevend stofconcentratie op die dag bekend zijn. Bij Lobith en Lith wordt iedere dag de afvoer gemeten. Voor de Rijn wordt daarnaast sinds 1989 ook iedere dag de concentratie zwevend stof op basis van dagverzamelmonsters bepaald. Voor de Maas en voor de Rijn vóór 1989 is de concentratie zwevend stof alleen op basis van steekmonsters gemeten. De frequentie van deze steekmonsters lag in het algemeen om de 2 weken. Het bepalen van de slibvracht voor de Rijn is na 1989 eenvoudig te bepalen door het debiet met de concentratie zwevend stof (bepaald met behulp van dagverzamelmonsters) te vermenigvuldigen. Voor de Maas en voor de Rijn vóór 1989 kunnen fouten ontstaan doordat niet doorlopend de concentratie zwevend stof werd gemeten. Daarnaast zijn steekmonsters incidentele waarden. Deze kunnen door wat voor reden dan ook significant hoger (of lager) liggen dan dagverzamelmonsters. Het opstellen van een relatie voor het debiet, het zwevend stofgehalte en de vrachten kan een mogelijke manier zijn om de slibvracht voor de Maas en voor de Rijn vóór 1989 meer nauwkeurig in beeld te krijgen.

Daarnaast blijken van de stations in het NDB waar zwevend stof gemeten wordt alleen steekmonsters beschikbaar te zijn. De voorgestelde relatie tussen debiet, zwevend stof en slibvracht kan voor het opstellen van een slibbalans voor het NDB grote uitkomst bieden.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is:

- Vaststellen van de (dagelijkse) zwevend stof vrachten aangevoerd door de Rijn (Lobith) en de Maas (Lith).

1.4 Onderzoeksvragen

Om tot de gewenste doelen te komen moet er antwoord gegeven worden op de volgende vragen:

- Bestaat er bij Lobith een verschil tussen de steekmonsters en de dagverzamelmonsters?
- Hoe en hoe goed kan de dagelijkse (zwevend stof) vracht bij Lobith bepaald worden?
- Hoe en hoe goed kan de dagelijkse (zwevend stof) vracht bij Lith bepaald worden?

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is beschreven wat de doelstelling van dit onderzoek is, welke problemen zich voor doen en wat de onderzoeksvragen zijn. In de hoofdstukken 2 en 3 is beschreven welke gegevens beschikbaar zijn en hoe de zwevend stofvracht bij Lobith en Lith voor iedere dag berekend kan worden. Ten slotte zijn in hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen vermeld.

2 Dagelijkse zwevend stofvracht bij Lobith

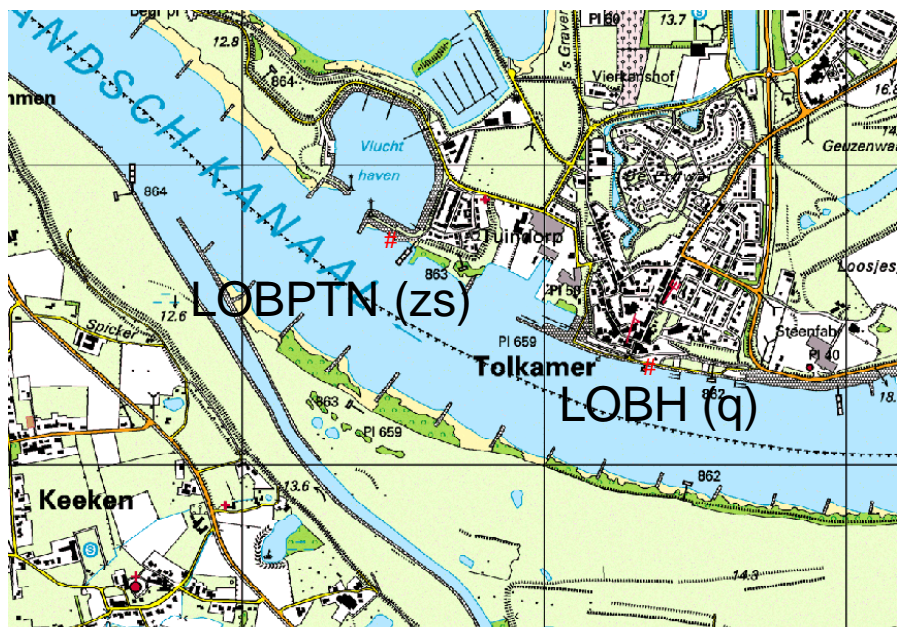
2.1 Gebruikte gegevens Lobith

De gemeten zwevend stofgegevens en de debietgegevens zijn opgeslagen in DONAR, het centrale informatiesysteem voor de gegevens van de natte Rijks-waterstaat.

Bij Lobith wordt als onderdeel van het MWTL (**M**onitoring **W**aterstaatkundige **T**oestand des **L**ands) in de Rijn via een meetponton zwevend stof bemonsterd. Dit gebeurt een aantal keer per jaar voor steekmonsters en sinds 1989 elke dag voor een verzamelmonster, tijdsproportioneel over 24 uur.

Ook wordt bij Lobith het debiet bepaald. Het debiet per dag wordt bepaald uit de afvoerkromme (Q/H- of Q/HH-relatie).

Figuur 2.1 Zwevend stof- en debietmeetpunten Lobith.



In tabel 2.1 is te zien welke gegevens van Lobith wanneer beschikbaar zijn.

Tabel 2.1 Overzicht meetgegevens Lobith.

| periode | dagverzamelmonsters | steekmonsters | afvoer |
|---------------|---------------------|-----------------|-----------|
| 1960 t/m 1965 | . | 1x per 14 dagen | dagelijks |
| 1966 t/m 1987 | . | 1x per 7 dagen | dagelijks |
| 1988 | . | 1x per 14 dagen | dagelijks |
| 1989 t/m 2000 | dagelijks | 1x per 14 dagen | dagelijks |

2.2 Verwerking gegevens Lobith

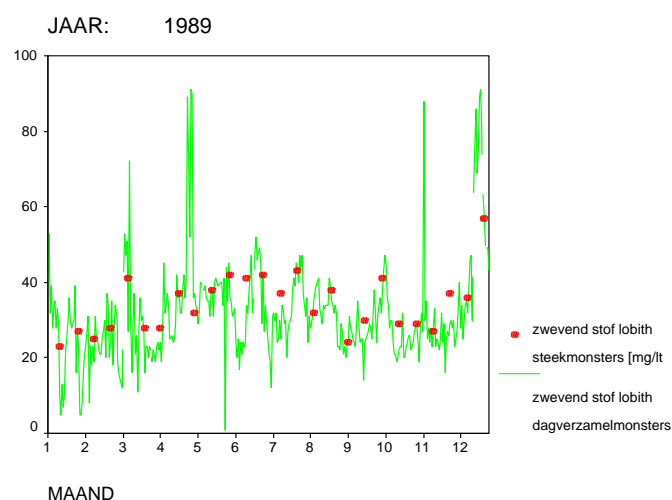
Voor het berekenen van de vracht bij Lobith zijn afvoeren en zwevend stofconcentraties nodig. De afvoeren zijn beschikbaar voor de gehele periode 1960 t/m 2000. Voor de periode 1989 t/m 2000 zijn dagelijks de zwevend stofconcentraties als dagverzamelmonsters beschikbaar. In de periode 1960 t/m 1989 zijn de benodigde zwevend stofconcentraties alleen als steekmonsters met een wisselende frequentie beschikbaar. In tabel 2.1 is reeds een overzicht gegeven van de beschikbaarheid van deze gegevens.

De zwevend stofvracht bij Lith kan voor iedere dag berekend worden door de afvoer [m^3/s] te vermenigvuldigen met de zwevend stofconcentratie [g/m^3] op dezelfde dag. Het resultaat is een vracht met als eenheid g/s . Deze vracht kan omgerekend worden tot ton/d door het gevonden resultaat in g/s te vermenigvuldigen met 0,0864.

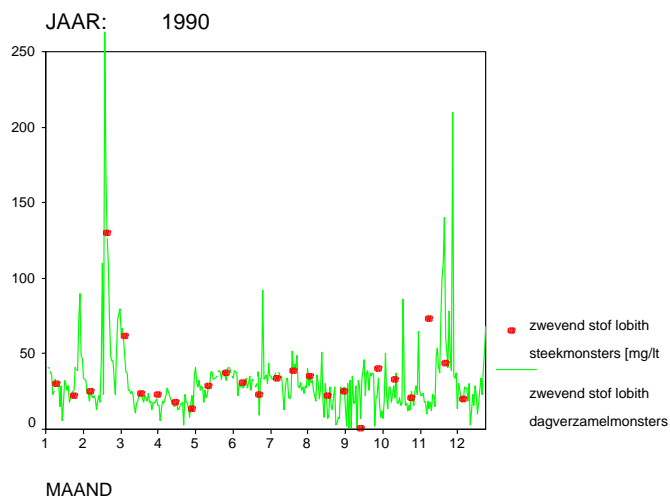
2.2.1 Vergelijking steekmonsters met dagverzamelmonsters

In de figuren 2.2 t/m 2.13 zijn voor de jaren 1989 t/m 2000 de zwevend stofconcentraties van zowel de dagverzamelmonsters als de steekmonsters te zien. In de figuren is te zien dat in de regel de waarden van de steekmonsters goed overeenkomen met die van de dagverzamelmonsters. Toch komt het regelmatig voor dat de zwevend stofconcentratie van een steekmonsters hoger is dan van de dagverzamelmonsters (zie de figuren 2.4, 2.6, 2.10 en 2.11). Mogelijk wordt dit door de momentane vertroebeling ten gevolge van de scheepvaart veroorzaakt. Deze momentane vertroebeling, die meestal alleen overdag plaatsvindt, is in de dagverzamelmonsters uitgemiddeld. Een groter manco in de gegevens van de steekmonsters is dat ze, om de week of om de 2 weken worden genomen. Het komt nogal eens voor dat in de tussenliggende periode hoge piekwaarden in de concentraties voorkomen, bijvoorbeeld als gevolg van een hoge afvoer, die dan gemist worden (zie de figuren 2.6, 2.7 en 2.10). Dit betekent dat jaarlijkse vrachten die op basis van steekmonsters worden berekend, mogelijk grote fouten kunnen bevatten. Met behulp van statistische analyse zal bekeken worden welke fout optreedt indien de vracht op basis van steekmonsters bepaald wordt, en hoe deze fout geminimaliseerd kan worden.

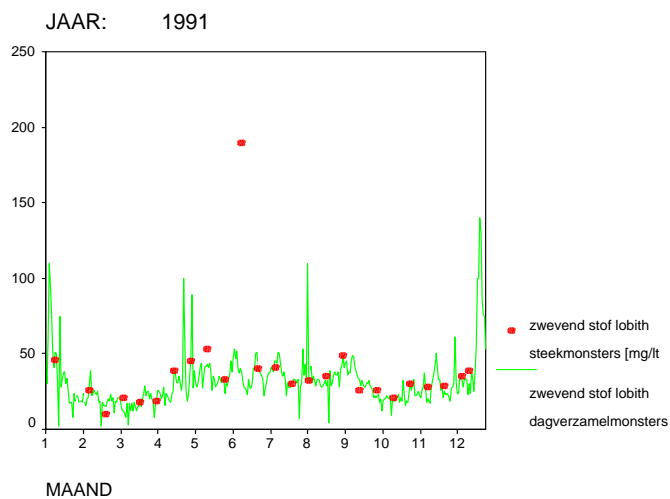
.....
Figuur 2.2 Zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamelmonsters en steekmonsters; jaar 1989.



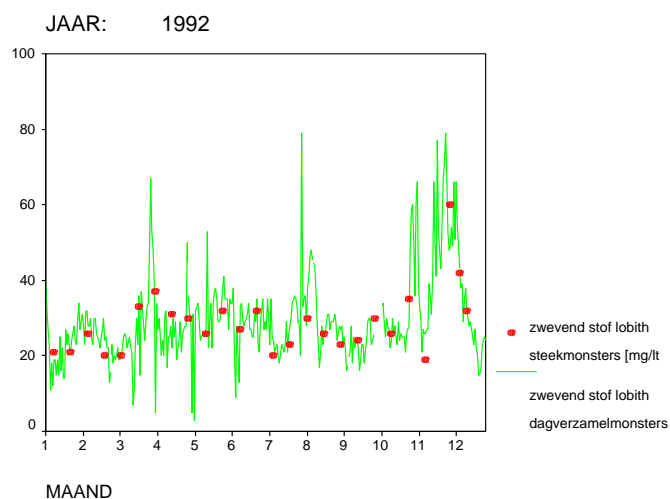
.....
 Figuur 2.3 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1990.



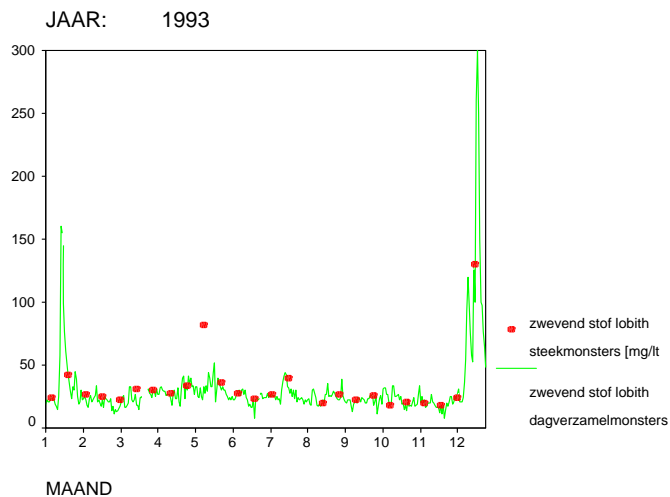
.....
 Figuur 2.4 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1991.



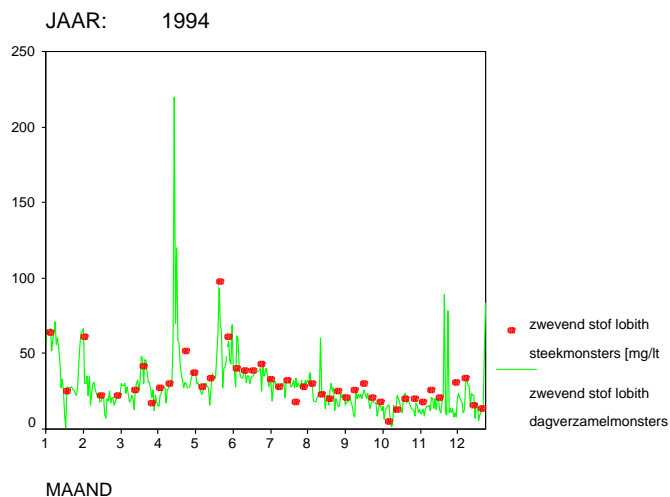
.....
 Figuur 2.5 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1992.



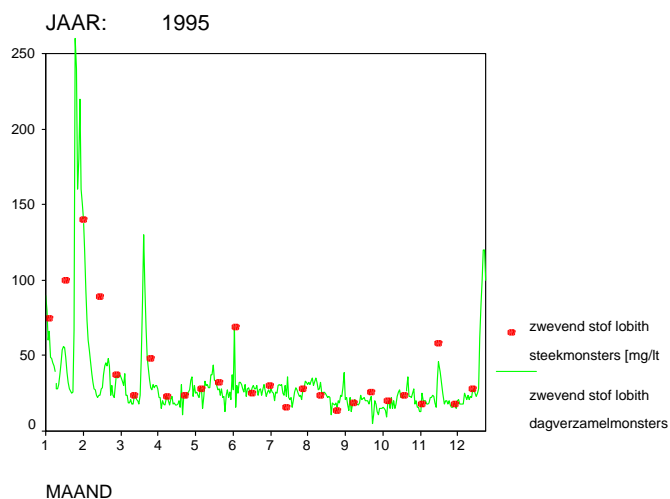
.....
Figuur 2.6 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1993.



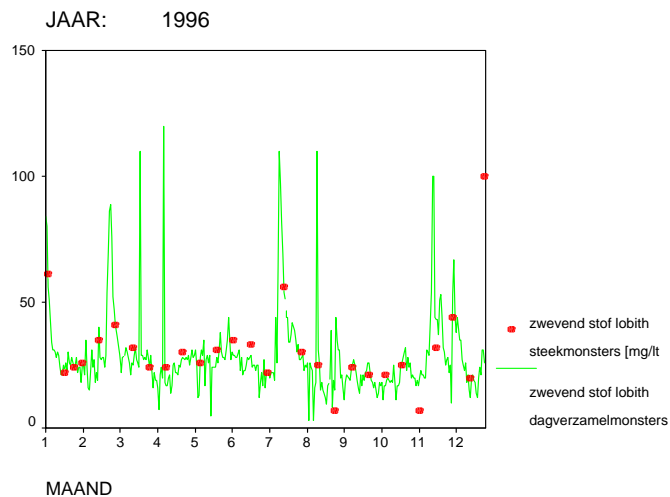
.....
Figuur 2.7 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1994.



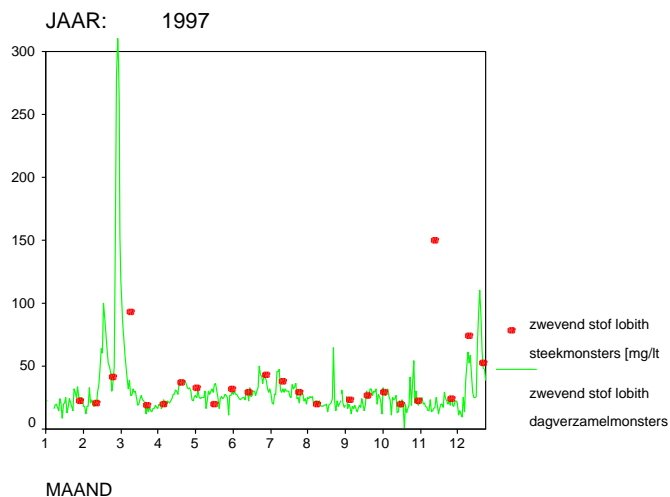
.....
Figuur 2.8 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1995.



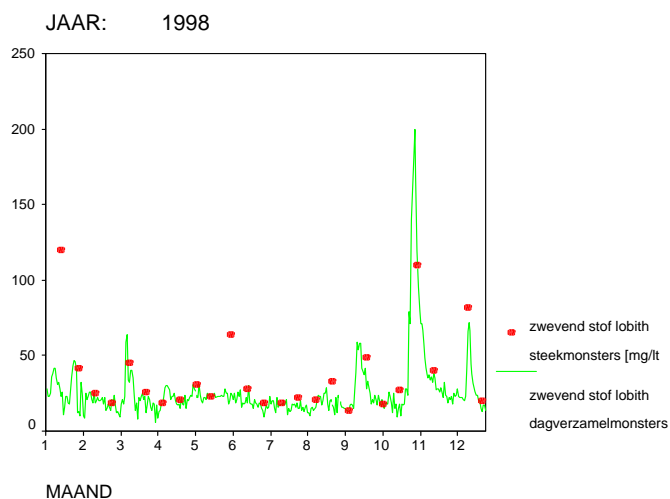
.....
 Figuur 2.9 Zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1996.



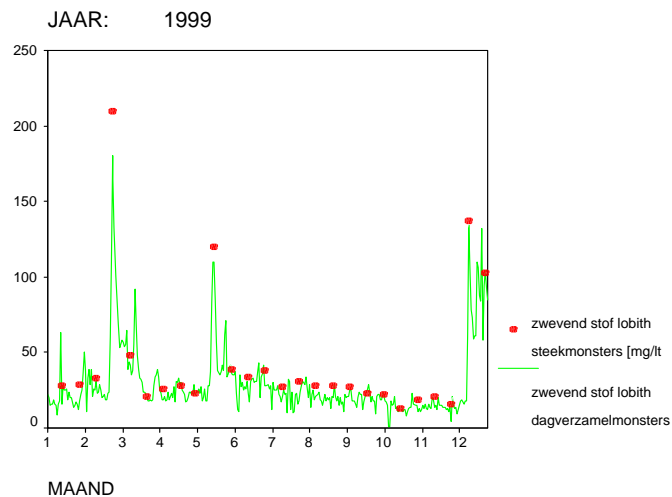
.....
 Figuur 2.10 Zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1997.



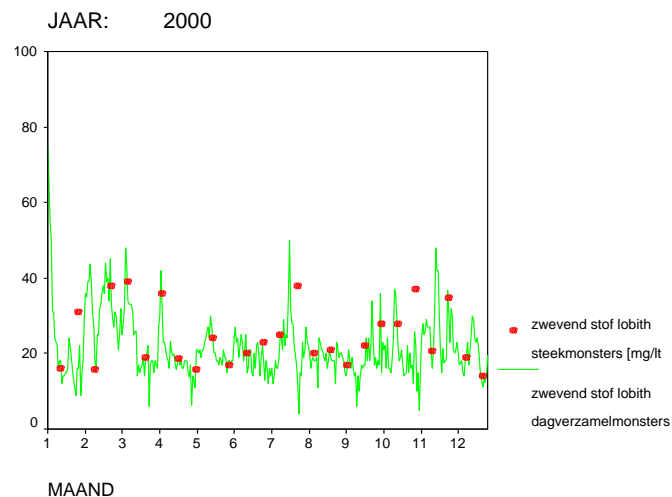
.....
 Figuur 2.11 Zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1998.



.....
 Figuur 2.12 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 1999.



.....
 Figuur 2.13 zwevend stofconcentraties [mg/l] dagverzamel- en steekmonsters; jaar 2000.

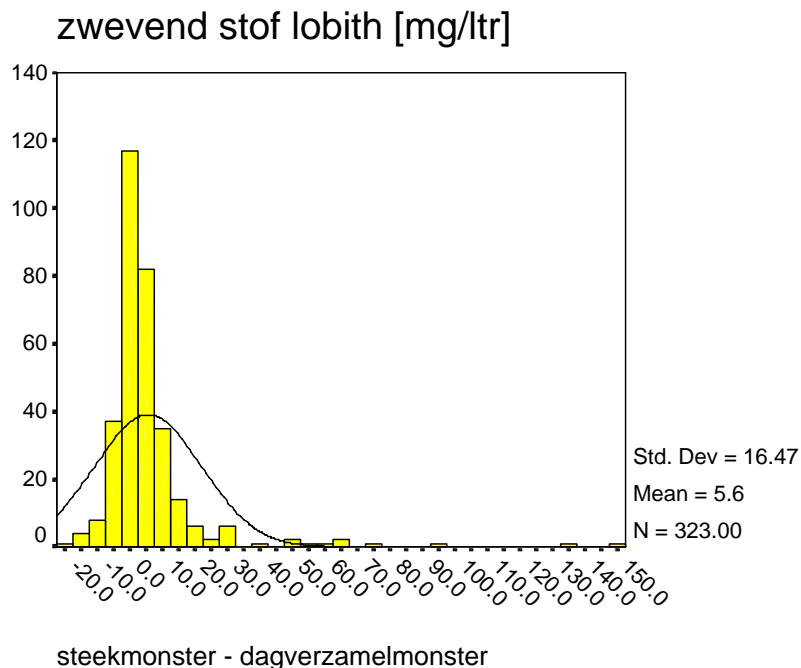


Om te onderzoeken of er ook een systematisch verschil bestaat tussen de steekmonsters en de dagverzamelmonsters, zijn de momentane verschillen (steekmonster – dagverzamelmonster) berekend.

In figuur 2.14 zijn deze verschillen (steekmonster – dagverzamelmonster) middels een histogram weergegeven.

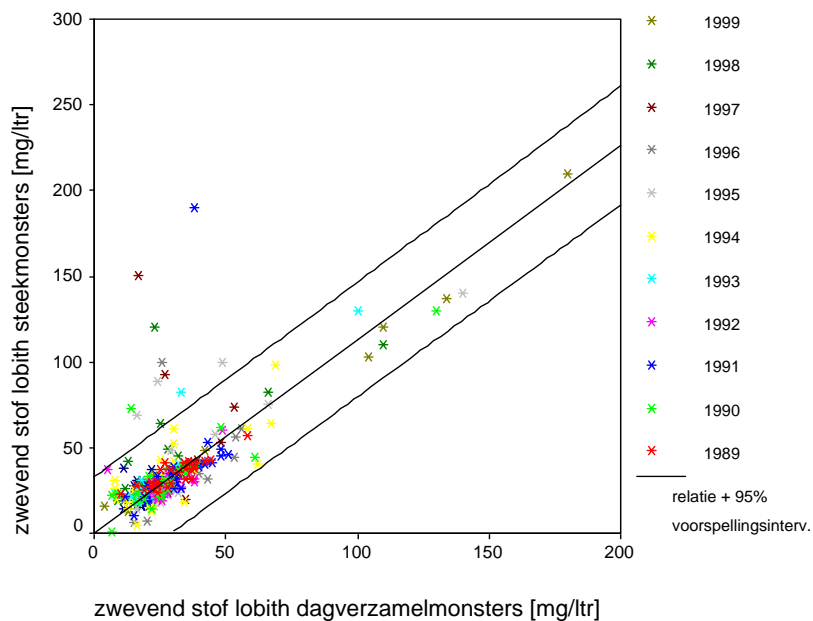
In dit histogram is te zien dat er zeer grote verschillen bestaan, voornamelijk bepaald door uitschieters in de waarde van de steekmonsters. Deze uitschieters kunnen niet aan het voorkomen van hoge afvoeren gekoppeld worden. Mogelijk dat de incidentele hoge waarde door een foute bemonstering of door vertroebeling van het water als gevolg van een langsvarend schip wordt veroorzaakt.

.....
 Figuur 2.14 Histogram steekmonster -
 dagverzamelmonster.



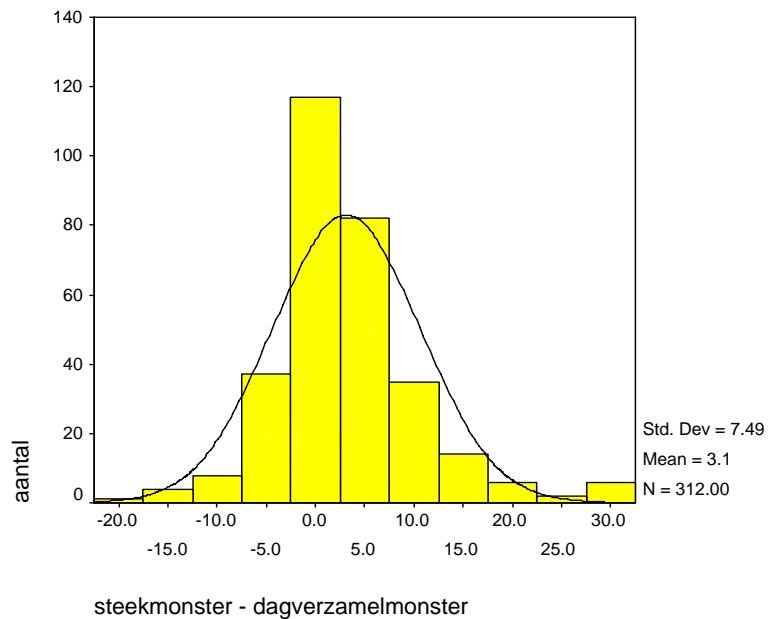
De uitschieters (de grote verschillen tussen steekmonster en dagverzamelmonster) kunnen zichtbaar gemaakt worden door middel van een spreidingsdiagram (figuur 2.15).

.....
 Figuur 2.15 Spreidingsdiagram zwe-
 vend stof Lobith – dag-
 verzamelmonsters.



Hierbij worden de uitschieters gedefinieerd als die punten die buiten het 95%-voorspellingsinterval liggen. Voor verdere analyse zijn deze uitschieters verwijderd.

.....
Figuur 2.16 Histogram steekmonster
 - dagverzamelmonster
 (gecorrigeerd).



In figuur 2.16 is te zien dat de spreiding in de verschillen zonder de uitschieters veel kleiner is geworden. Gemiddeld gezien, blijkt er echter nog steeds een significant verschil te bestaan tussen de steekmonsters en de dagverzamelmonsters. Omdat de steekmonsters een te hoge waarde geven voor de sedimentconcentratie is de relatie bepaald tussen de steekmonsters en de dagverzamelmonsters. Bij het uitvoeren van de lineaire regressieanalyse bleek dat er geen significante constante (a) was in de vergelijking:

$$ZWST_{\text{dagverzamel}} = a + b * ZWST_{\text{steek}}$$

De coëfficiënt van de uiteindelijke relatie (zonder constante) staat in tabel 2.2.

.....
Tabel 2.2 De coëfficiënten van de
 relatie (zonder constante).

| | Unstandardized Coefficients B | Std. Error | Standardized Coefficients Beta | t | Sig. |
|------------------------------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|--------|------|
| zwevend stof steekmonster [mg/ltr] | .893 | .010 | .980 | 86.312 | .000 |

a Dependent Variable: zwevend stof Lobith dagverzamelmonsters [mg/ltr].
 b Linear Regression through the Origin.

Conclusie:

Er bestaat een significant verschil tussen steekmonsters en dagverzamelmonsters.

Uit de berekening volgt dat zwevend stofconcentratie in een dagverzamelmonster = 0,9 * zwevend stofconcentratie in een steekmonster.

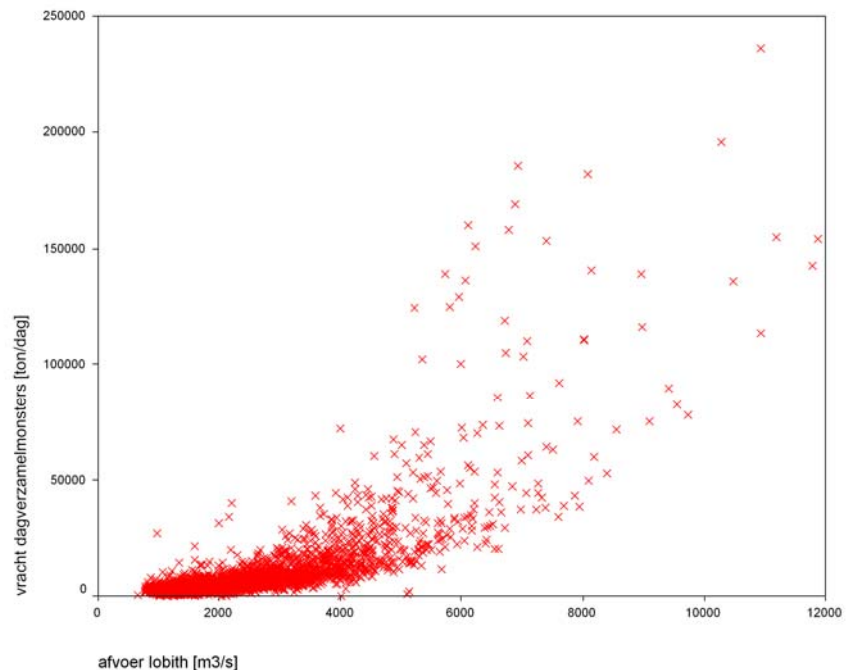
Het verschil tussen steekmonsters en dagverzamelmonsters ontstaat door de fluctuatie over de week en de dag welke vermoedelijk veroorzaakt wordt door de scheepvaart. Omdat er 's nachts weinig scheepvaart is, zal de vertroebeling door de scheepvaart overdag dan ook hoger zijn dan 's nachts. De steekmonsters die overdag genomen worden blijken inderdaad hoger te liggen dan de dagverzamelmonsters (een gemiddelde van de dag en de nacht).

Ondanks dat er slechts voor de laatste 12 jaar dagverzamelmonsters en voor 40 jaar steekmonsters beschikbaar zijn is er toch voor gekozen om de dagverzamelmonsters te gebruiken voor het opstellen van een relatie tussen afvoer en zwevend stof. De reden hiervoor is dat de mogelijke fout in de steekmonsters veel groter is dan in de dagverzamelmonsters. De reeks met dagverzamelmonsters is, als er concentraties ontbraken, aangevuld met steekmonsters die vermenigvuldigd zijn met 0,9. Op deze manier ontstaat er een reeks met gemeten en uit steekmonsters berekende dagverzamelmonsters over de periode 1960-2000.

2.2.2 Berekenen relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer bij Lobith

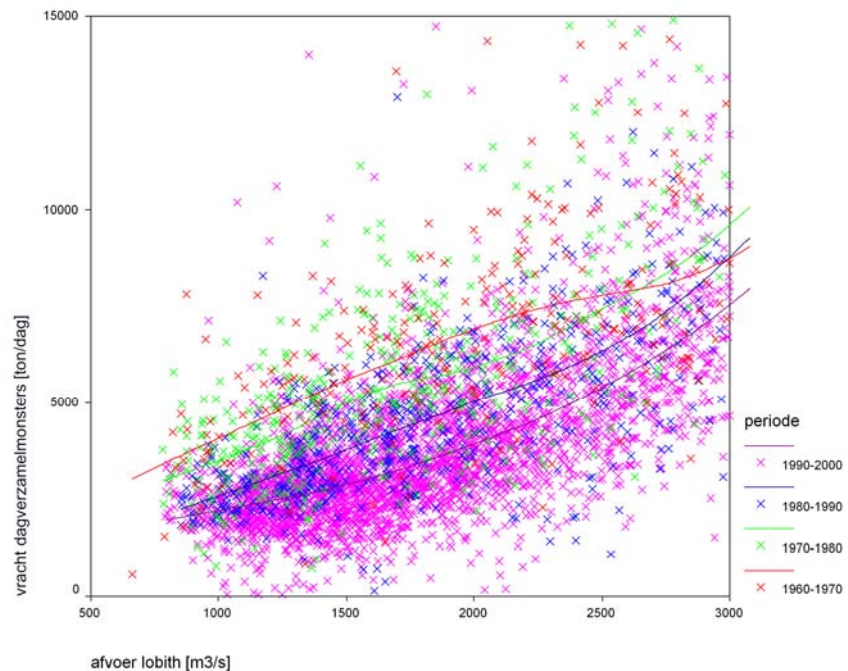
Om te onderzoeken welke relatie er bestaat tussen de zwevend stofvracht en de afvoer te Lobith is in de periode 1989-2000 voor iedere dag de vracht berekend door de afvoer [m^3/s] te vermenigvuldigen met de zwevend stofconcentratie van de dagverzamelmonsters [g/m^3] op dezelfde dag. In figuur 2.17 is de zwevend stofvracht te Lobith uitgezet als functie van de afvoer te Lobith. In deze figuur is te zien dat er een continue toename bestaat van de vracht bij toename van de afvoer. Op basis van statistische analyse wordt bij circa $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$ een knik in de relatie tussen vracht en afvoer gevonden, waarbij de vracht boven de $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$ sneller toeneemt dan onder de $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$. Onduidelijk is waar dit aan kan liggen. Mogelijk dat de erosieve capaciteit van het water boven een afvoer van $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$ zodanig toeneemt (hogere afvoer leidt tot hogere watersnelheden) dat extra slib vanuit de rivier (bedding, kribvak, uiterwaard) kan worden meegenomen. De mogelijkheid bestaat ook dat, boven de afvoergrens van $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$, slib vanuit het stroomgebied via afspoeling meegevoerd gaat worden.

.....
Figuur 2.17 Het bestaan van een continue toename van de vracht bij een toename van de afvoer.



Bovendien is in figuur 2.17 te zien dat er een aanzienlijke spreiding bestaat die toeneemt bij het groter worden van de afvoer. Mogelijk wordt deze spreiding veroorzaakt door hysteresis (zie § 2.2.7) of door de afname van de vracht (lees zwevend stofconcentratie) in de tijd (jaren). Voor afvoeren tot 3.000 m³/s is de vracht nogmaals tegen de afvoer uitgezet, waarbij clusters van 10 jaar zijn onderscheiden (figuur 2.18). Voor iedere periode is het gemiddelde verloop (relatie tussen vracht en afvoer) door de waarnemingen getekend.

.....
 Figuur 2.18 De vracht voor verschillende 10-jarige periodes uitgezet als functie van de afvoer.



Duidelijk is te zien dat de zwevend stofvracht bij een bepaalde afvoer (dus eigenlijk de zwevend stofconcentratie) afneemt in de tijd. Bijvoorbeeld: de vracht bij een afvoer van 2.000 m³/s is in de periode 1960-1970 circa 7.500 ton/d, in de periode 1970-1980 circa 6.500, in de periode 1980-1990 circa 5.500 en in de laatste periode circa 4.500 ton/d. Het is niet duidelijk waardoor deze afname wordt veroorzaakt. Mogelijk dat de insnijding van de Rijn hiermee te maken heeft. Het is bekend dat de Rijn zich in Nederland sterker insnijdt dan in Duitsland. Dit leidt tot een toename in het verhang wat tot een hogere gemiddelde snelheid van het water resulteert. Het resultaat hiervan is het optreden van een vergroving van de bodemsamenstelling in de tijd (Ten Brinke [1]). Daarnaast is gebleken dat sinds de jaren '70 de scheepvaart explosief op de Rijntakken is toegenomen. Ook dit kan tot vergroving van de bodemsamenstelling (zowel in het zomerbed als in de kribvakken) leiden. Het gevolg is dat het systeem in de loop der jaren intern minder slib voorhanden heeft. Dit draagt bij aan een afname van de jaarlijkse slibvracht. Zoals gezegd zijn deze verschillen boven een afvoer van 2.750 m³/s niet meer zichtbaar, omdat in die situaties slib van elders wordt meegevoerd (bijv. afspoeling vanuit het stroomgebied, of erosie van diepere sedimentlagen in vooroever, etc.). Om een juiste relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer te bepalen moeten eigenlijk de verschillende perioden apart behandeld worden. Hoe lang deze perioden moeten zijn kan zo niet gezegd worden. In figuur 2.18 zijn perioden van 10 jaar gebruikt, maar evengoed kan er een verschil bestaan bij perioden van 5 jaar. Het is ook mogelijk om de tijd (jaar) als variabele mee te nemen in het vaststellen van de relatie.

Echter het is niet bekend of de relatie tussen afname zwevend stofconcentratie en jaar lineair of niet-lineair is. Een (pragmatische) oplossing is dat er 1 relatie opgesteld wordt die gebaseerd is op de gehele beschikbare periode (1960-2000). Door achteraf de (gemiddelde) residuen (verschil tussen gemeten en berekende vracht) per jaar te bekijken, kan onderzocht worden hoe goed de gevonden relatie in de tijd is. De berekende relatie tussen de vracht en de afvoer heeft voor afvoeren $< 2.750 \text{ m}^3/\text{s}$ de volgende algemene gedaante:
Zwevend stofvracht = $a + b * \text{afvoer}^c$.

Het resultaat van de berekening (parameters en statistische grootheden) zijn in de volgende tabel vermeld. Bij deze berekening zijn eventuele uitschieters (waarden die buiten het 95%-voorspellingsinterval van de berekende lijn liggen) verwijderd.

| Nonlinear Regression Summary Statistics | | | | Dependent Variable DV | |
|---|--------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|
| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | | |
| Regression | 3 | 75263615735.6 | 25087871911.9 | | |
| Residual | 4289 | 17147965231.1 | 3998126.65683 | | |
| Uncorrected Total | 4292 | 92411580966.8 | | | |
| (Corrected Total) | 4291 | 22919959295.6 | | | |
| R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = .25183 | | | | | |
| Parameter | Estimate | Asymptotic Std. Error | Asymptotic 95 % Confidence Interval | | |
| | | | Lower | Upper | |
| A | 857.72276193 | 435.03893268 | 4.821432650 | 1710.6240912 | |
| B | .141109703 | .217227938 | -.284769415 | .566988821 | |
| C | 1.341938027 | .186902919 | .975511631 | 1.708364422 | |

De gevonden relatie tussen afvoer en zwevend stofvracht tot 2.750 m³/s is dus:

$$\text{Zwevend stof vracht} = 858 + 0,1411 * \text{afvoer}^{1,342} \quad [1]$$

Als algemene gedaante voor het vervolg van de gevonden relaties tussen de vracht en de afvoer voor afvoeren > 2.750 m³/s is de volgende formule gebruikt:

$$\text{Zwevend stof vracht} = 6.676 + b * (\text{afvoer}-2.750)^c$$

Het resultaat van deze berekening (parameters en statistische grootheden) is in de volgende tabel vermeld.

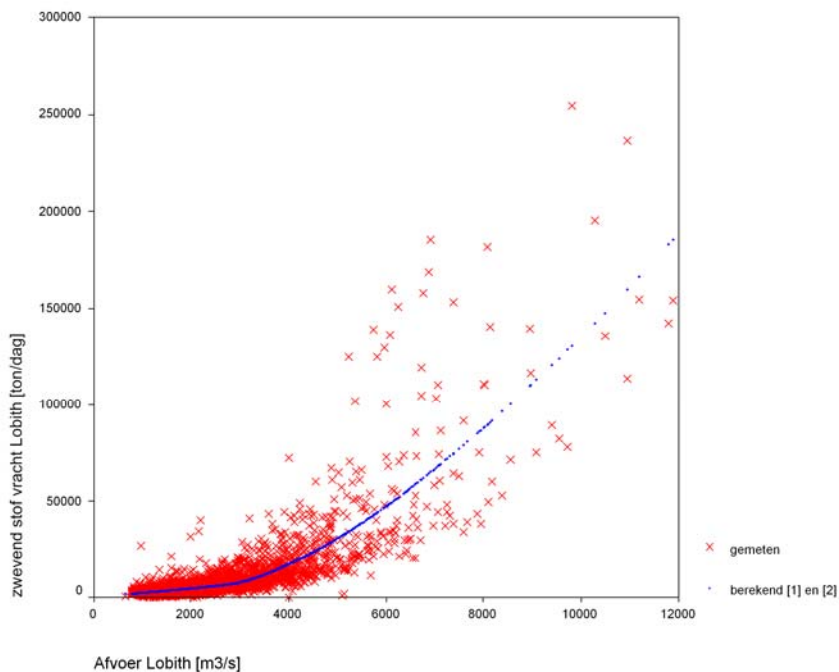
| Nonlinear Regression Summary Statistics | | | | Dependent Variable DV | |
|---|-------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|
| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | | |
| Regression | 2 | 918009495974 | 459004747987 | | |
| Residual | 1210 | 279489777949 | 230983287.561 | | |
| Uncorrected Total | 1212 | 1197499273922 | | | |
| (Corrected Total) | 1211 | 756355033512 | | | |
| R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = .63048 | | | | | |
| Parameter | Estimate | Asymptotic Std. Error | Asymptotic 95 % Confidence Interval | | |
| | | | Lower | Upper | |
| B | .388394458 | .111902224 | .168850523 | .607938392 | |
| C | 1.427948128 | .034090705 | 1.361064671 | 1.494831585 | |

De gevonden relatie tussen afvoer en zwevend stofvracht > 2.750 m³/s is dus:

$$\text{Zwevend stof vracht} = 6.676 + 0,388 * (\text{afvoer}-2.750)^{1,43} \quad [2]$$

Het uiteindelijke resultaat (de relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer) is in figuur 2.19 te zien.

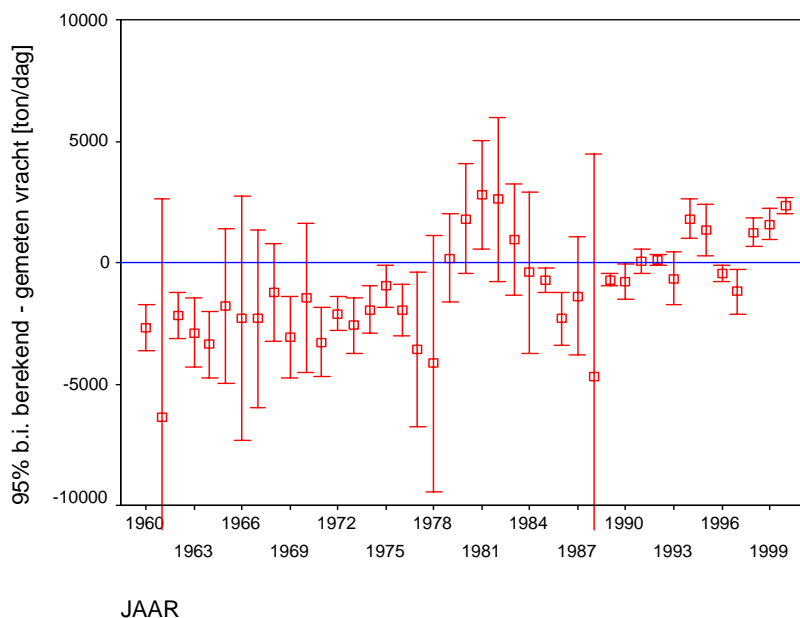
.....
Figuur 2.19 De relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer.



2.2.3 Vergelijking gemeten en berekende dagelijkse zwevend stofvracht bij Lobith

Met de relatie zoals berekend in § 2.2.2 zijn voor iedere dag de zwevend stofvrachten van Lobith berekend uit de afvoer van Lobith. In figuur 2.20 zijn de gemiddelde verschillen met de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van het gemiddelde uitgezet als functie van het jaar van waarneming.

.....
Figuur 2.20 De gemiddelde verschillen met de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van het gemiddelde uitgezet als functie van het jaar van waarneming.

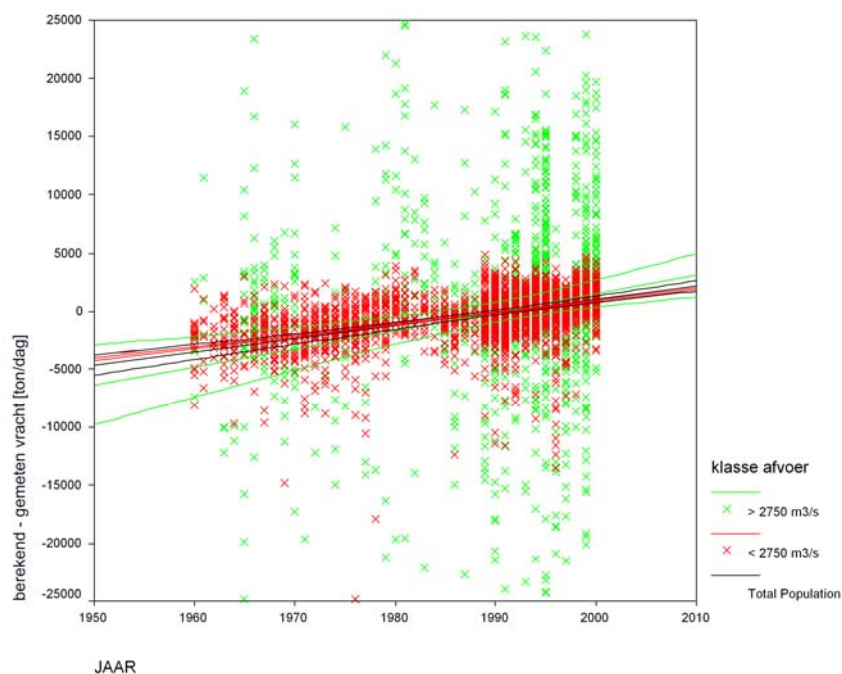


Zoals verwacht zijn de verschillen gerelateerd in de tijd. Er is niet alleen een trend maar ook een zekere periodiciteit. De trend is positief. Dit betekent dat de gebruikte relatie in de beginjaren een te lage vracht en in de laatste jaren een te hoge vracht berekent. Dit was te verwachten, omdat de vracht bij dezelfde afvoer zoals reeds eerder geconstateerd was (figuur 2.18) afneemt in de tijd.

Om te onderzoeken of de residuen (verschillen tussen berekend en gemeten vracht) gerelateerd zijn aan de tijd is de relatie opgesteld tussen residu en jaar. Dit is gedaan voor afvoerclassen kleiner en groter dan $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$.

In figuur 2.21 zijn voor de verschillende afvoerclassen de residuen die optreden, uitgezet als functie van de tijd (JAAR). In deze spreidingsdiagram zijn tevens de berekende (lineaire) relaties en de 95%-betrouwbaarheidsintervallen om de lijn getekend. In de figuur is te zien dat de relaties voor de verschillende afvoerclassen niet significant van elkaar verschillen (betrouwbaarheidsintervallen van de lijnen overlappen). Dit betekent dat er 1 (lineaire) relatie tussen residu en de variabele JAAR gebruikt kan worden.

.....
Figuur 2.21 Spreidingsdiagram van de optredende residuen uitgezet als functie van de tijd (JAAR).



Met de gevonden relatie tussen residu en de variabele JAAR kunnen de residuen die horen bij de met formule [1] en [2] berekende vrachten, geschat worden. Door vervolgens deze geschatte residuen van de berekende vrachten af te trekken, kunnen de resultaten van formule [1] en [2] gecorrigeerd worden voor de afhankelijkheid in de tijd.

Een andere (snellere) mogelijkheid is het relateren van de gemeten vrachten aan de met formule [1] en [2] berekende vrachten en de variabele JAAR. De resultaten van deze relatie staan in de volgende tabel.

Tabel 2.3 De coëfficiënten van de relatie bij alle afvoeren.

| Model | | Unstandardized Coefficients B | Std. Error | Standardized Coefficients Beta | t | Sig. |
|-------|---------------------|-------------------------------|------------|--------------------------------|---------|------|
| 1 | (Constant) | 227623.020 | 21013.017 | | 10.832 | .000 |
| | berekend [1] en [2] | .985 | .009 | .839 | 115.045 | .000 |
| | JAAR | -114.292 | 10.558 | -.079 | -10.825 | .000 |

a Dependent Variable: gemeten vracht.

Dus:

$$\text{Vracht} = 227.623 + 0,985 * \text{BER1} - 114,29 * \text{JAAR} \quad [3]$$

Hierin is:

VRACHT = berekende zwevend stof vracht te Lobith [ton/d]
 BER1 = berekende vracht te Lobith met formule [1] en [2] [ton/d]
 JAAR = jaar van waarneming (1965 enz.) [-]

Substitutie van formule [1] en [2] in formule [3] levert de volgende vergelijkingen voor de afvoerclassen < en > 2.750 m³/s te Lobith:

$$\text{Vracht} = 228.468 + 0,139 * \text{afvoer}^{1.34} - 114,29 * \text{JAAR} \quad [4]$$

En

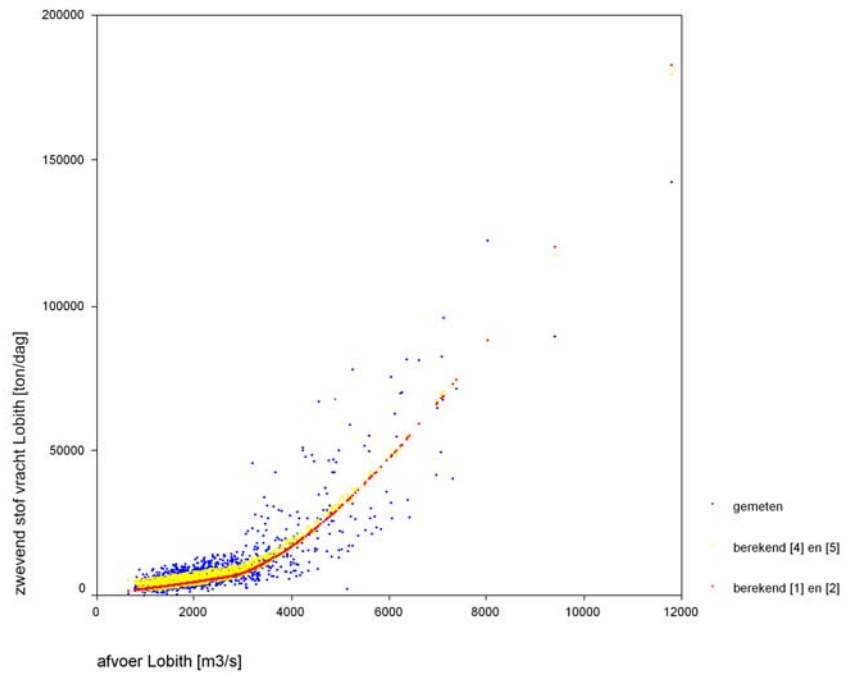
$$\text{Vracht} = 234.199 + 0,382 * (\text{afvoer}-2.750)^{1.43} - 114,29 * \text{JAAR} \quad [5]$$

Hierin is:

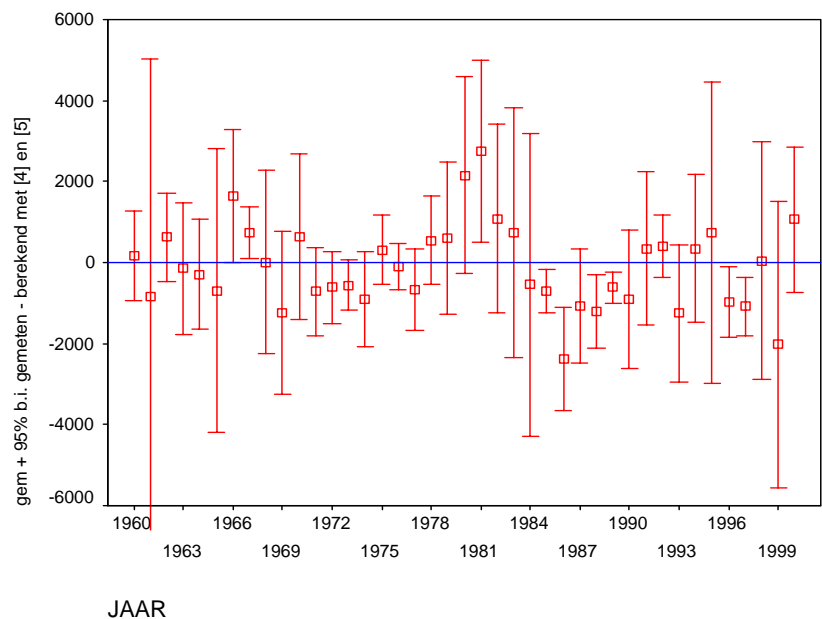
VRACHT = berekende zwevend stof vracht te Lobith [ton/d]
 Afvoer = afvoer te Lobith [m³/s]
 JAAR = jaar van waarneming (1965 enz.) [-]

Als we nogmaals de vrachten berekenen en de residuen bepalen, maar nu met formule [4] en [5], dan veranderen de figuren 2.19 en 2.20 in respectievelijk 2.22 en 2.23.

.....
 Figuur 2.22 De relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer.



.....
 Figuur.2.23 De gemiddelde verschillen met de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van het gemiddelde uitgezet als functie van het jaar van waarneming.



In figuur 2.22 is te zien dat de trend in de residuen niet meer aanwezig is. De periodiciteit is nog wel aanwezig. In figuur 2.23 is te zien dat toevoeging van de variabel JAAR als parameter een gedeelte van de spreiding kan verklaren. De spreiding die overblijft kan voor een gedeelte verklaard worden door de aanwezige hysteresis. Wat hieronder verstaan wordt, is in § 2.2.7 uiteengezet.

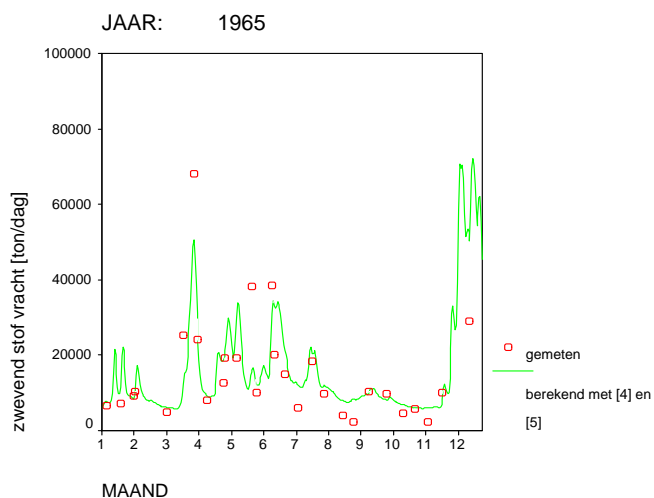
2.2.4 Vergelijking van gemeten en berekende zwevend stofvracht, bepaald uit de dagverzamelmonsters

Om te onderzoeken hoe goed nu de dagelijkse zwevend stofvracht uit de afvoer berekend kan worden, is voor de periode 1989-2000 de berekende vracht vergeleken met de dagelijks gemeten vracht.

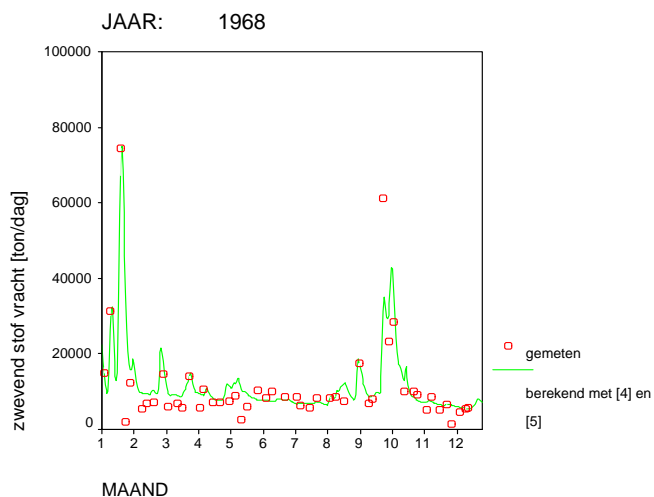
In de figuren 2.24 t/m 2.38 zijn de resultaten (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uit de periode 1960 t/m 2000 uitgezet tegen de tijd.

In de figuren 2.24 t/m 2.32 zijn de "gemeten" vrachten berekend uit de afvoer en steekmonsters * 0,9 en in de figuren 2.33 t/m 2.38 zijn ze berekend uit de afvoer en de dagverzamelmonsters.

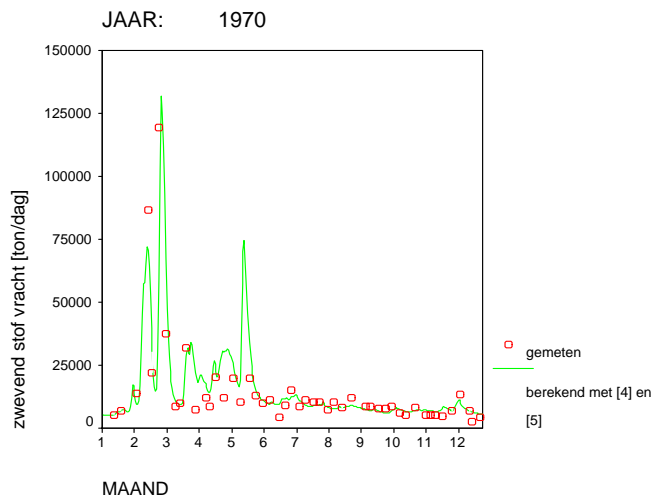
.....
Figuur.2.24 De resultaten uit 1965
(de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



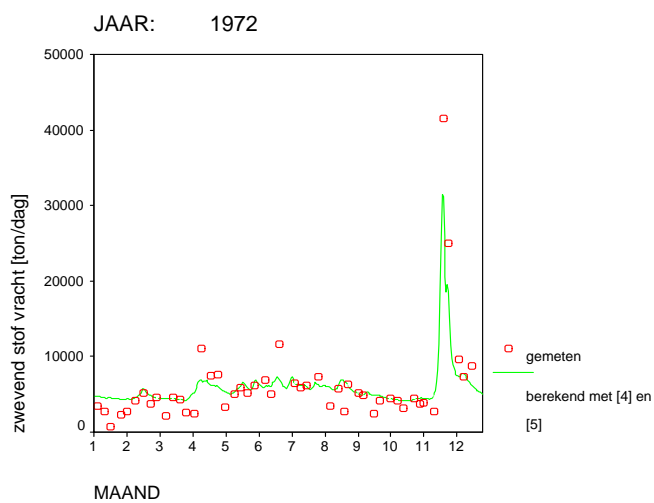
.....
Figuur.2.25 De resultaten uit 1968
(de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



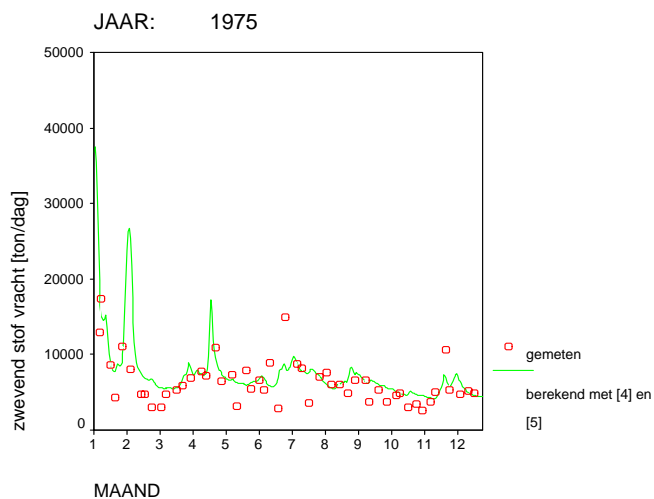
.....
Figuur.2.26 De resultaten uit 1970
 (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



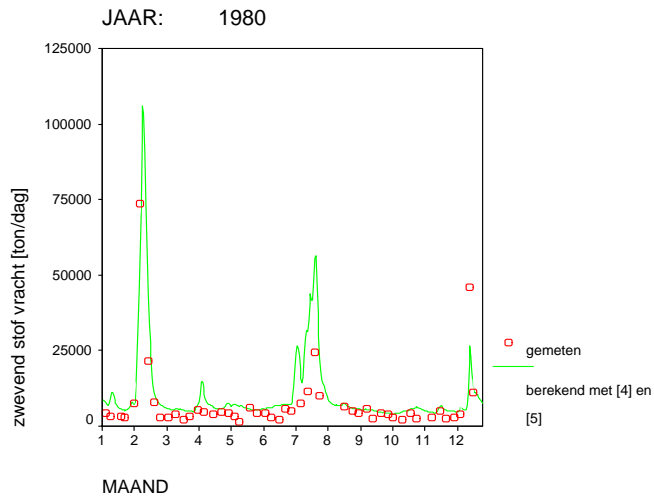
.....
Figuur.2.27 De resultaten uit 1972
 (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



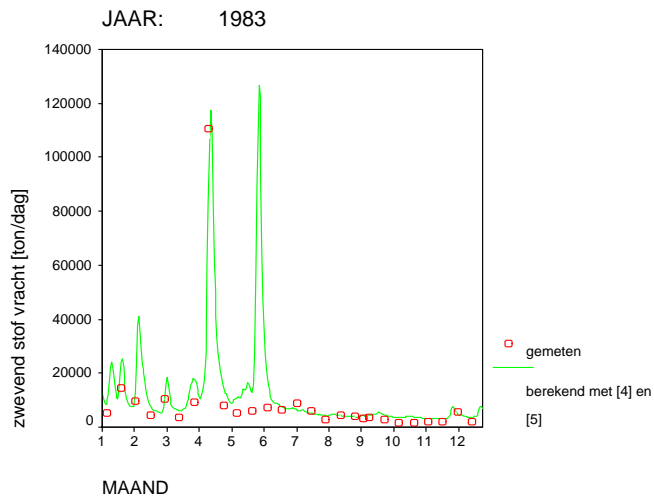
.....
Figuur.2.28 De resultaten uit 1975
 (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



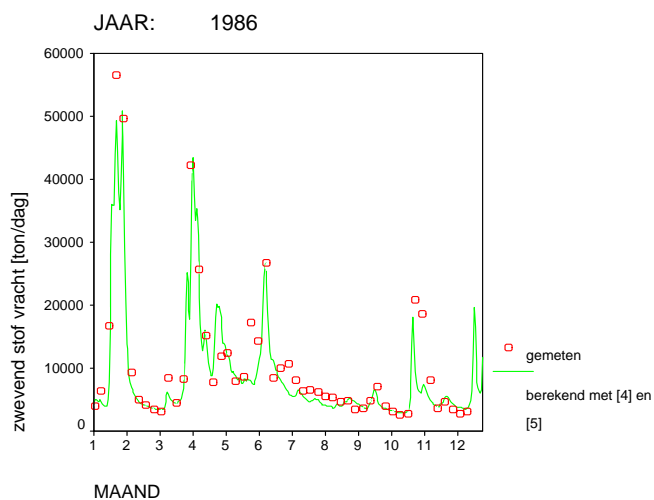
.....
Figuur.2.29 De resultaten uit 1980
 (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



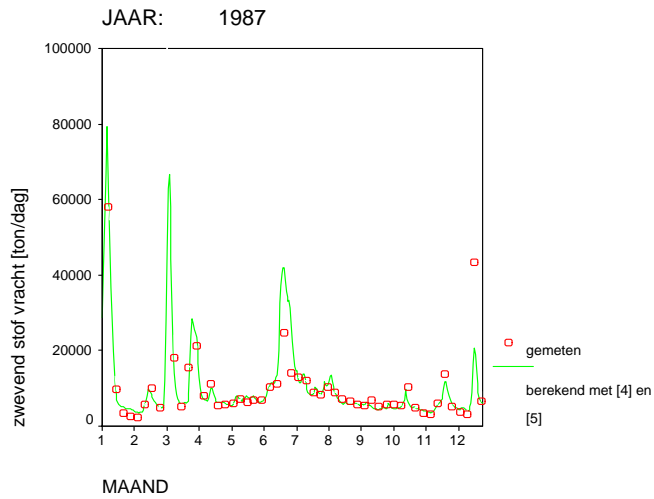
.....
Figuur.2.30 De resultaten uit 1983
 (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



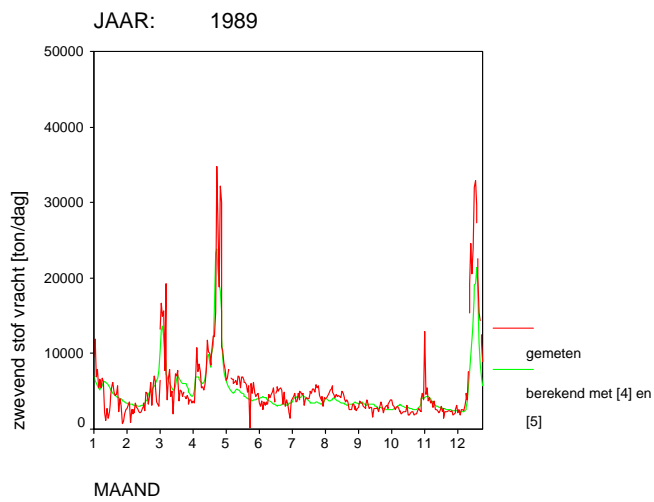
.....
Figuur.2.31 De resultaten uit 1986
 (de vrachten berekend uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren samen met de gemeten vrachten voor verschillende jaren uitgezet tegen de tijd).



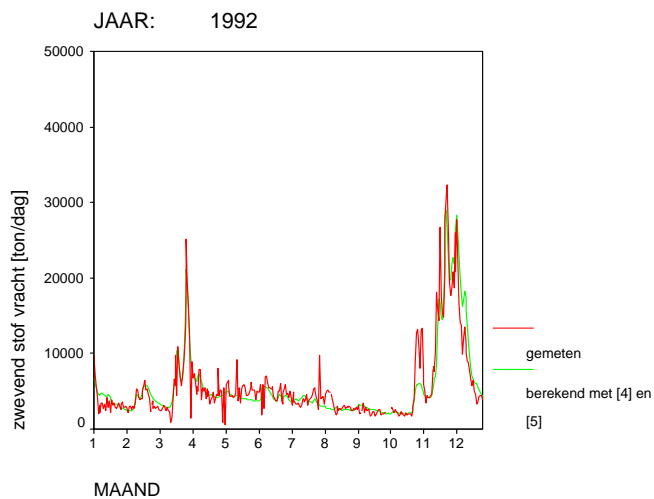
.....
Figuur.2.32 De resultaten uit 1987
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).



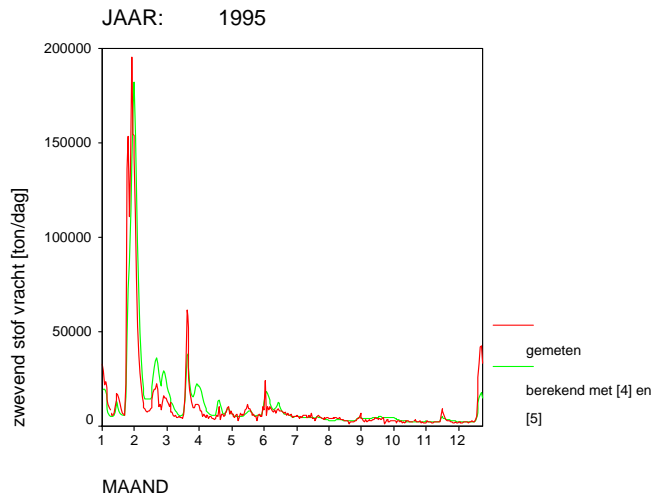
.....
Figuur.2.33 De resultaten uit 1989
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).



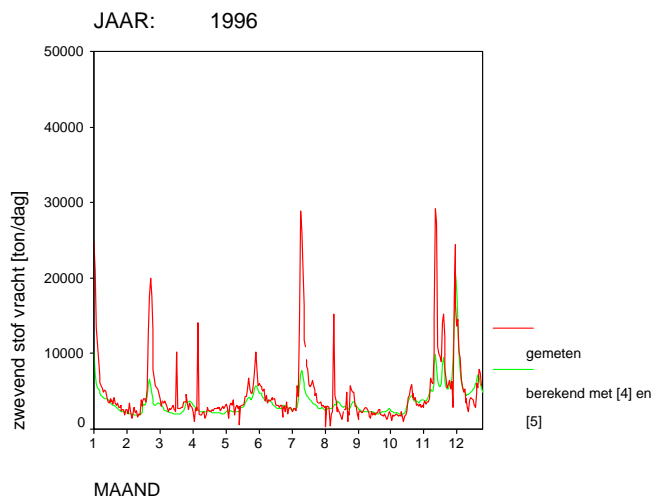
.....
Figuur.2.34 De resultaten uit 1992
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).



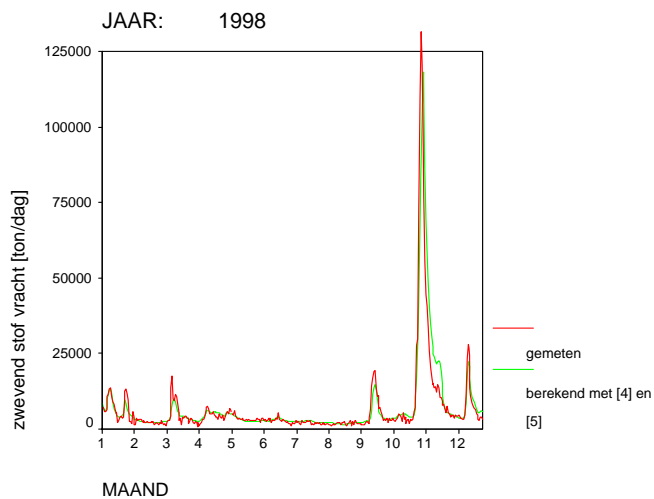
.....
Figuur.2.35 De resultaten uit 1995
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).



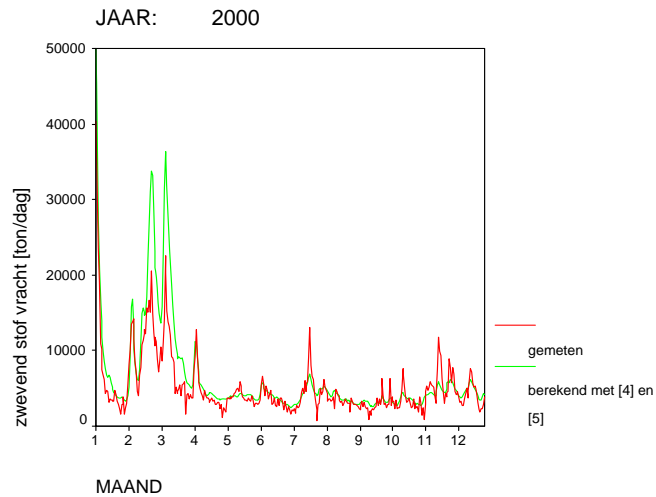
.....
Figuur.2.36 De resultaten uit 1996
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).



.....
Figuur.2.37 De resultaten uit 1998
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).

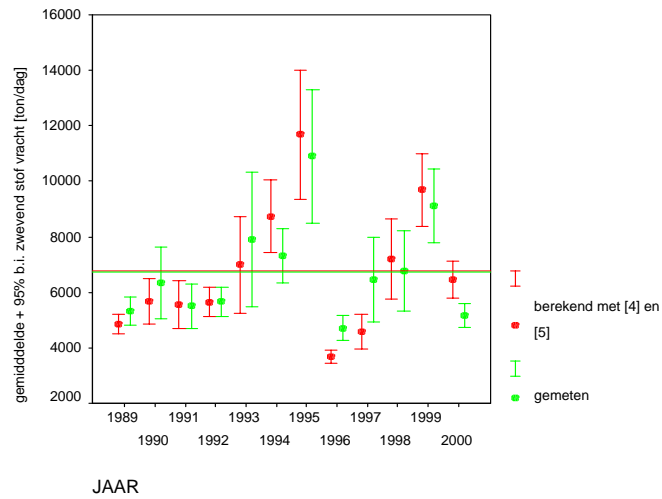


.....
Figuur.2.38 De resultaten uit 2000
 (de vrachten berekend uit
 de dagverzamelmonsters
 en de afvoeren samen met
 de gemeten vrachten voor
 verschillende jaren uitge-
 zet tegen de tijd).



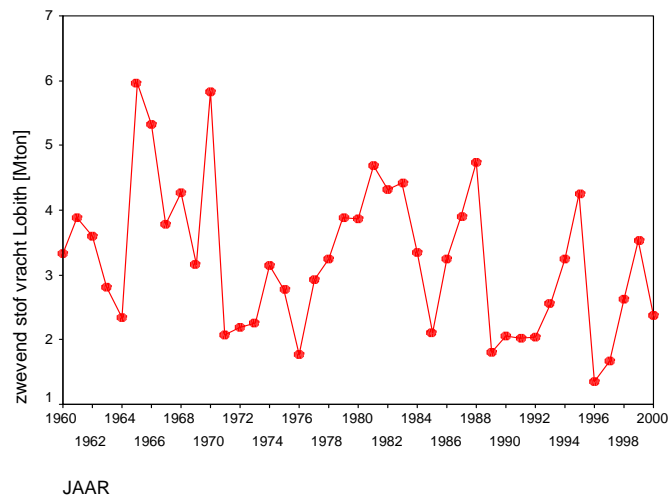
Uit de figuren 2.24 t/m 2.32 kan geconcludeerd worden dat de "gemeten" vrachten goed benaderd kunnen worden door de berekende vrachten. Ook is te zien dat het nogal eens voorkomt dat een piek in de vracht gemist wordt (bijv. 1983, figuur 2.30 en 1987, figuur 2.32). Uit de figuren 2.33 t/m 2.38 kan geconcludeerd worden dat de dagelijkse zwevend stofvracht van Lobith redelijk goed berekend kan worden uit de afvoer te Lobith. Er zijn echter gevallen waar pieken in de vracht optreden (1996, figuur 2.36) die niet veroorzaakt worden door de afvoer. Het gevolg daarvan is dan ook dat er te weinig vracht berekend wordt. Omgekeerd komt het ook voor dat er een hogere vracht berekend wordt dan er gemeten is (2000, figuur 2.38). Omdat het vooral gaat om jaarlijkse vrachten is er nog gekeken naar de verschil in gemiddelde vrachten voor de jaren 1989 t/m 2000. In figuur 2.39 zijn daarom de gemiddelde gemeten en berekende vrachten samen met de 95%-betrouwbaarheidsintervallen voor het gemiddelde uitgezet voor de verschillende jaren. Ook zijn de gemiddelde vrachten over de periode 1989-2000 (de groene en rode horizontale lijnen) in de figuur getekend. Het gemiddelde over de jaren 1989-2000 van de gemeten vracht is 6.774 ton/d, van de berekende vracht is dit 6.730 ton/d. Het verschil ontstaat, doordat de berekende vracht gebaseerd is op de relatie die afgeleid is uit de periode 1960-2000. Zou de vracht berekend zijn uit de relatie die opgesteld is voor de periode 1989-2000, dan zou er geen verschil bestaan.

.....
 Figuur.2.39 De gemiddelde gemeten en berekende zwevend stofvrachten (in ton/d) uitgezet samen met de 95%-betrouwbaarheid.



De conclusie van de vergelijking is dat met formule [4] en [5] een goede schatting van de zwevend stofvracht te Lobith uit de afvoer van Lobith berekend kan worden. Voor het opstellen van een sedimentbalans van het NDB kan voor de jaren 1960-2000 gebruikgemaakt worden van de vrachten zoals deze berekend zijn met formule [4] en [5]. De totale jaarvrachten zwevend stof van Lobith zijn voor de verschillende jaren weergegeven in figuur 2.40 en in tabel 2.2.

.....
 Figuur.2.40 De totale jaarvrachten zwevend stof van Lobith voor de verschillende jaren.



Tabel 2.4 Zwevend stofvracht Lobith per jaar (in Mton).

| jaar | vracht [Mton] | jaar | vracht [Mton] | jaar | vracht [Mton] | jaar | vracht [Mton] |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1960 | 3,33 | 1970 | 5,83 | 1980 | 3,86 | 1990 | 2,05 |
| 1961 | 3,88 | 1971 | 2,08 | 1981 | 4,68 | 1991 | 2,02 |
| 1962 | 3,60 | 1972 | 2,18 | 1982 | 4,32 | 1992 | 2,04 |
| 1963 | 2,81 | 1973 | 2,26 | 1983 | 4,42 | 1993 | 2,56 |
| 1964 | 2,34 | 1974 | 3,15 | 1984 | 3,34 | 1994 | 3,25 |
| 1965 | 5,96 | 1975 | 2,78 | 1985 | 2,10 | 1995 | 4,25 |
| 1966 | 5,33 | 1976 | 1,77 | 1986 | 3,25 | 1996 | 1,35 |
| 1967 | 3,78 | 1977 | 2,93 | 1987 | 3,90 | 1997 | 1,66 |
| 1968 | 4,27 | 1978 | 3,24 | 1988 | 4,73 | 1998 | 2,62 |
| 1969 | 3,16 | 1979 | 3,89 | 1989 | 1,80 | 1999 | 3,54 |
| | | | | | | 2000 | 2,37 |

2.2.5 Nauwkeurigheid jaarvrachten

De nauwkeurigheid van de jaarvrachten is geschat door de jaarvrachten uit de jaren 1989-2000 die berekend zijn uit de dagverzamelmonsters en de afvoeren, te vergelijken met de jaarvrachten die berekend zijn met formule [4] en [5]. Omdat de spreiding in de vrachten toeneemt bij groter wordende afvoer, zal ook de mogelijke fout in de jaarvrachten afhankelijk zijn van de grootte van de jaarvrachten. Om deze reden zijn de procentuele absolute verschillen berekend tussen de "gemeten" en berekende jaarvrachten. Deze verschillen kunnen gebruikt worden als maat voor de totale toevallige fout in de vrachten. Het procentuele absolute verschil tussen berekend en gemeten is bepaald volgens:

$$AVP = 100 * | VRACHT_{DV} - VRACHT_{BER} | / VRACHT_{BER} \quad [6]$$

Hierin is:

- AVP = procentuele absolute verschil [%]
- VRACHT_{DV} = jaarlijkse zwevend stofvracht "gemeten" [Mton]
- VRACHT_{BER} = jaarlijkse zwevend stofvracht berekend met formule [4] en [5] [Mton]

Tabel 2.5 Percentielwaarden van de procentuele absolute fout in de jaarvrachten.

| Percentiel | AVP |
|------------|-------|
| 5 | 0,76 |
| 25 | 5,72 |
| 50 | 8,05 |
| 75 | 19,50 |
| 95 | 38,36 |

Uit tabel 2.5 kan geconcludeerd worden dat de mediaan van de mogelijke fout in de jaarvrachten 8% is.

2.2.6 Vergelijking jaarvrachten

De jaarvrachten zijn reeds eerder berekend voor bepaalde perioden door Van Dreumel [2], Ten Brinke [3] en volgens de methode Terwindt (zie Van Dreumel [2]). Ook is het mogelijk de zwevend stofvracht te berekenen met de gewogen concentratiemethode [4]. In tabel 2.6 zijn de jaargemiddelde hoeveelheden zwevend stof in megaton, die aangevoerd worden door de Bovenrijn, voor verschillende perioden en berekeningsmethoden, te zien.

Tabel 2.6 De gemiddelde zwevend stofvracht te Lobith (in Mton per jaar).

| periode | Van Dreumel | Ten Brinke | Fioole | Terwindt | gewogen concentratie | gewogen concentratie |
|---------------|-------------|--------------------|--------|----------|----------------------|----------------------|
| 1960 t/m 1970 | | | 3,85 | | 4,23 ¹⁾ | |
| 1970 t/m 1979 | | | 3,01 | | 3,42 ¹⁾ | |
| 1980 t/m 1989 | | 3,21 ³⁾ | 3,64 | | 3,84 ¹⁾ | |
| 1990 t/m 1999 | | 2,58 | 2,53 | | 3,09 ¹⁾ | 2,58 ²⁾ |
| 1982 t/m 1992 | 2,95 | | 3,09 | 3,10 | 3,50 ¹⁾ | |

¹⁾ Gebaseerd op steekmonsters.

²⁾ Gebaseerd op dagverzamelmonsters.

³⁾ Gebaseerd op steek- en dagverzamelmonsters.

In de tabel is te zien dat er voor de periode 1990-1999 nauwelijks verschil bestaat tussen de berekende gemiddelde jaarvracht door Ten Brinke en Fioole. Ten Brinke is voor deze periode uitgegaan van dagelijks gemeten dagverzamelmonsters en afvoeren. Verwacht mag worden dat deze gemiddelde jaarvracht dan ook juist is. Dit betekent dat berekening van de jaarvrachten door Fioole met formule [4] en [5] een zeer goede schatting is.

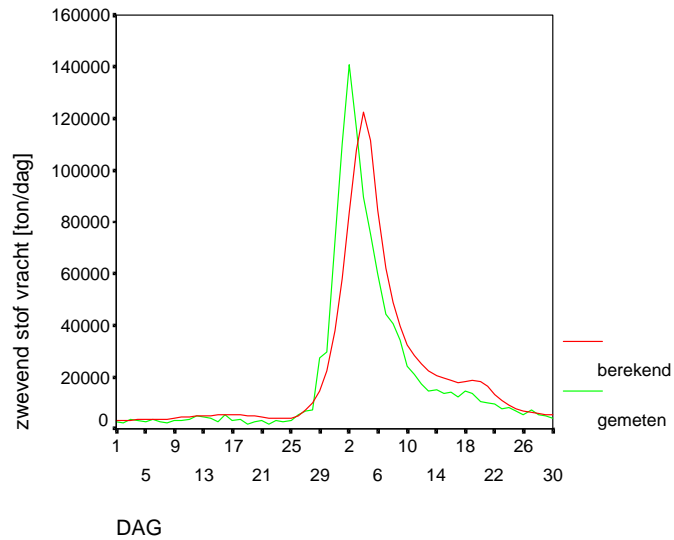
Voor de periode 1980-1989 is in de studie van Ten Brinke [3] de gewogen concentratiemethode voor steekmonsters aangevuld met dagverzamelmonsters toegepast. De statistische berekeningen zijn niet correct toegepast waardoor te lage vrachten zijn berekend.

De resultaten van de gewogen concentratiemethode die alleen op steekmonsters zijn gebaseerd (zie tabel 2.6) komen niet overeen met de volgens Fioole berekende methode. Zoals eerder gemeld zijn steekmonsters onvoldoende in de tijd genomen en zijn verder onnauwkeurig. Dit feit blijkt ook als we kijken naar de jaarvrachten in de periode 1982 t/m 1992. De gemiddelde jaarvrachten berekend door Van Dreumel, Fioole en volgens de methode Terwindt zijn bijna hetzelfde, terwijl de jaarvracht berekend met de gewogen concentratiemethode op basis van steekmonsters, circa 15% hoger is.

2.2.7 Discussie

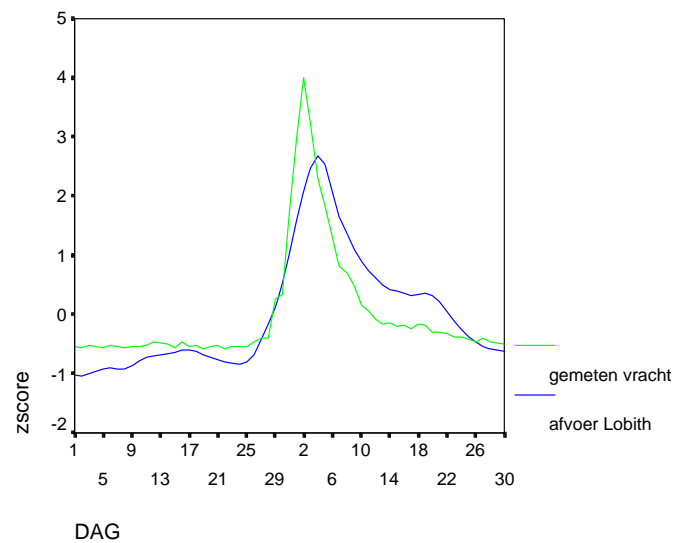
De vracht is goed te voorspellen uit de relatie met de afvoer. Gemiddeld blijkt er dan ook nauwelijks verschil te bestaan in de totale vrachten per jaar die gemeten en berekend zijn (zie figuur 2.39). Er bestaat echter wel een verschil in het verloop tussen de berekende en gemeten zwevend stofvracht in de tijd. Als we bijvoorbeeld inzoomen op de maanden oktober en november 1998, dan is dit feit duidelijk te zien (zie figuur 2.41).

.....
 Figuur.2.41 Verschil in het verloop tussen berekende en gemeten zwevend stofvracht in de tijd.



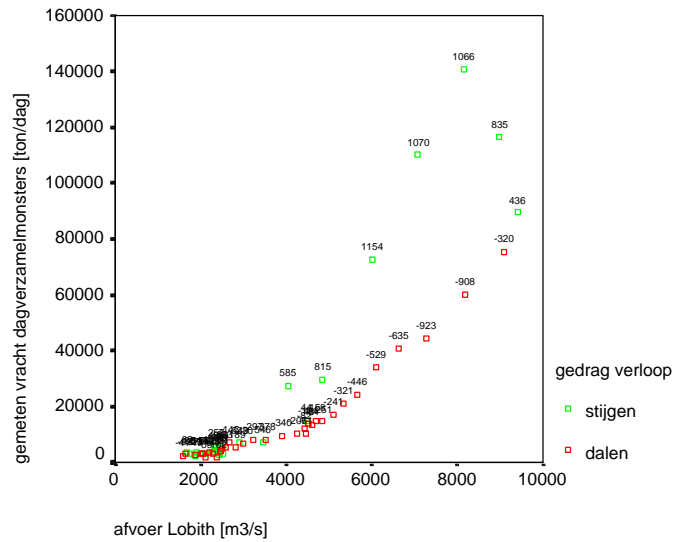
De oorzaak van dit verschil moet gezocht worden in het verschil in verloop tussen afvoer en de vracht in de tijd. In figuur 2.42 is een voorbeeld hiervan gegeven. Te zien is het gestandaardiseerde verloop van de afvoer en de vracht in oktober en november 1998. Als de afvoer toeneemt, neemt de zwevend stofvracht ook toe. Echter als de afvoer nog verder toeneemt, neemt de concentratie (door de verdunning) af. De vracht echter blijft wel toenemen. Je zou verwachten dat de piek in de afvoer samenvalt met de piek in de vracht. Dit is echter niet zo. De afvoer stijgt nog, terwijl de vracht afneemt.

.....
 Figuur.2.42 Verschil in het verloop tussen de afvoer en de vracht in de tijd.



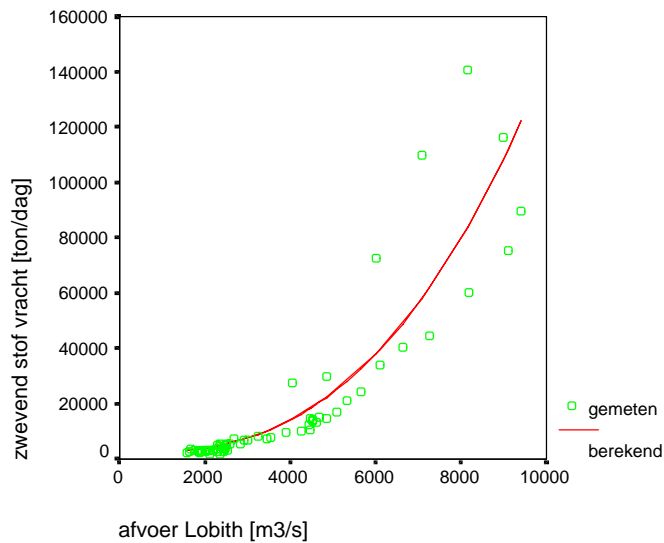
Als de vracht uitgezet wordt tegen de afvoer (zie figuur 2.43) dan blijkt er een duidelijke hysteresis aanwezig te zijn. De vracht bij een bepaalde afvoer in stijgende fase van de afvoer is beduidend hoger dan de vracht bij dezelfde afvoer in dalende fase.

.....
 Figuur 2.43 Verschil in het verloop
 tussen de afvoer en de
 vracht in de tijd.



De berekende relatie tussen afvoer en vracht (figuur 2.44) is dan ook het gemiddelde tussen de stijgende en de dalende fase. De spreiding (de hysteresis) kan voor een groot gedeelte verklaard worden door de stijging/daling van de afvoer mee te nemen in de relatie. Verklaring van deze hysteresis is echter voor het bepalen van jaarvrachten niet noodzakelijk.

.....
 Figuur 2.44 De berekende relatie tus-
 sen afvoer en vracht.



3 Dagelijkse zwevend stofvracht bij Lith

3.1 Beschikbare gegevens Lith

De gemeten zwevend stofgegevens en de debietgegevens zijn opgeslagen in DONAR, het centrale informatiesysteem voor de gegevens van de natte Rijkswaterstaat.

Bij Lith is in de Maas in het kader van het waterkwaliteitsonderzoek in de Rijkswateren, de voorloper van het MWTL, tot 1993 zwevend stof bemonsterd. Een aantal keer per jaar werd op deze locatie een steekmonster genomen en o.a. geanalyseerd op de hoeveelheid aanwezige zwevend stof.

Het debiet wordt bij Lith per dag bepaald uit de afvoerkromme (Q/H- of Q/HH-relatie).

Figuur 3.1 Overzicht bemonsteringslocaties bij Lith.



In tabel 3.1 is te zien wanneer er zwevend stof en afvoer gemeten is te Lith.

Tabel 3.1 Overzicht beschikbaarheid gegevens Lith.

| periode | steekmonsters | afvoer |
|---------------|-----------------|-----------|
| 1965 | 1x per maand | dagelijks |
| 1966 t/m 1987 | 1x per 14 dagen | dagelijks |
| 1988 t/m 1992 | 1x per maand | dagelijks |
| 1993 t/m 2000 | - | dagelijks |

3.2 Verwerking gegevens Lith

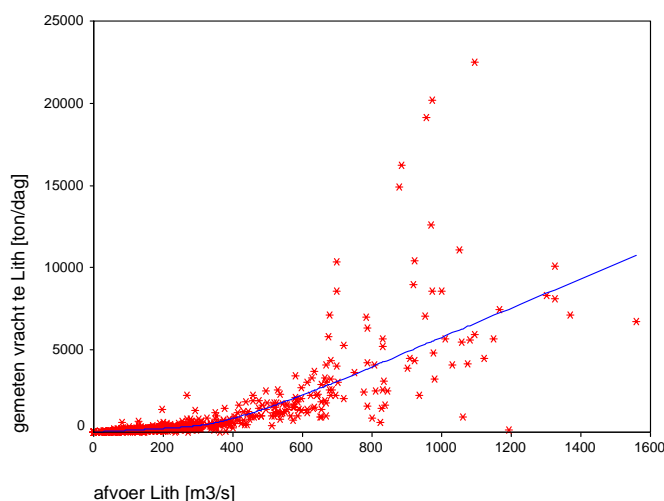
Voor het berekenen van de vracht bij Lith kan voor de gehele periode 1960-2000 de dagelijks gemeten afvoer gebruikt worden. De zwevend stofconcentratie is echter alleen beschikbaar als steekmonsters met een wisselende frequentie. In tabel 3.1 is reeds een overzicht gegeven van de beschikbaarheid van deze gegevens. Door het ontbreken van gegevens in verschillende jaren, zal schatten van jaarlijkse vrachten, indien gebruik zou worden gemaakt van de gewogen concentratiemethode [4], niet mogelijk zijn voor de periode 1960 t/m 1964 en 1993 t/m 2000.

De zwevend stofvracht bij Lith kan voor iedere dag berekend worden door de afvoer [m^3/s] te vermenigvuldigen met de zwevend stofconcentratie [g/m^3] op dezelfde dag. Het resultaat is een vracht met als eenheid g/s . Deze vracht kan omgerekend worden tot ton/d door het gevonden resultaat in g/s te vermenigvuldigen met 0,0864.

3.2.1 Opstellen relatie tussen dagelijkse zwevend stofvracht bij Lith en de afvoer

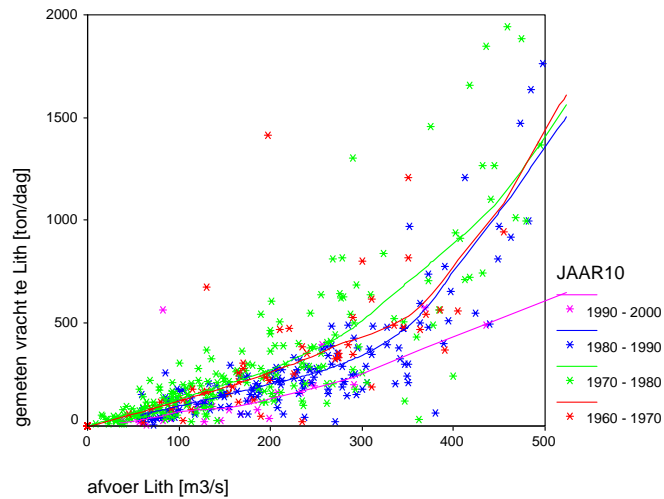
Om te onderzoeken welke relatie er bestaat tussen vracht en afvoer zijn in figuur 3.2 de vrachten uitgezet tegen de afvoer.

.....
Figuur 3.2 De relatie tussen vracht en afvoer bij Lith.



In de figuur is te zien dat de vracht toeneemt bij groter wordende afvoer. Ook is te zien dat er bij een afvoer van circa $250 \text{ m}^3/\text{s}$ een andere relatie geldt. Boven de $250 \text{ m}^3/\text{s}$ neemt de vracht sneller toe dan onder de $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat de stroomsnelheid bij een afvoer $> 250 \text{ m}^3/\text{s}$ groot genoeg is om de waterbodem te laten eroderen. Hierdoor wordt er ook bodemmateriaal en niet alleen achtergrondmateriaal door de rivier aangevoerd. Om te onderzoeken of de vracht (net zoals bij de Rijn) afneemt in de tijd is figuur 3.3 gemaakt. In figuur 3.3 is de vracht uitgezet tegen de afvoer waarbij onderscheid is gemaakt tussen verschillende 10-jaarlijkse perioden. Voor iedere periode is het gemiddelde verloop te zien welke de mogelijke relatie laat zien tussen vracht en afvoer. Ondanks het feit dat de vracht bij een afvoer van $200 \text{ m}^3/\text{s}$ in de periode 1960-1970 hoger is dan in de periode 1990-2000, is er op voorhand geen periode-indeling gemaakt. Wel zijn er twee berekeningen uitgevoerd: 1 voor een afvoer $< 250 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1 voor een afvoer $> 250 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor een eventuele relatie met de tijd (JAAR) zal achteraf gecorrigeerd worden.

.....
Figuur 3.3 De relatie tussen vracht en afvoer bij Lith bij 10-jaarlijkse perioden.



In eerste instantie is met de gegevens uit alle jaren de relatie bepaald tussen de afvoer en de zwevend stofvracht met als algemene gedaante:

$$\text{Zwevend stof vracht} = a + b * \text{afvoer}^c$$

Het resultaat van de berekening (parameters en statistische grootheden) zijn voor de afvoer klasse < 250 in de volgende tabel te zien.

| Nonlinear Regression Summary Statistics | | | Dependent Variable | |
|---|-------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------|
| VRLITH | | | | |
| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | |
| Regression | 2 | 8205958.66154 | 4102979.33077 | |
| Residual | 331 | 1783645.24160 | 5388.65632 | |
| Uncorrected Total | 333 | 9989603.90314 | | |
| (Corrected Total) | 332 | 3833929.19328 | | |
| R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = .53477 | | | | |
| Parameter | Estimate | Asymptotic Std. Error | Asymptotic 95 % Confidence Interval | |
| | | | Lower | Upper |
| B | 1.218190743 | .468522245 | .296534023 | 2.139847464 |
| C | .983513132 | .074436194 | .837085467 | 1.129940796 |

De gevonden relatie tussen afvoer en vracht te Lith bij een afvoer < 250 m³/s is dus:

$$\text{Zwevend stof vracht} = 1,218 * Q_{\text{LITH}}^{0,98} \quad [7]$$

De algemene gedaante voor de relatie voor afvoeren > 250 m³/s is:

$$\text{Zwevend stof vracht} = 273 + b * (Q_{\text{Lith}} - 250)^c$$

Het resultaat van de berekening (parameters en statistische grootheden) zijn voor de afvoerklasse > 250 m³/s in de volgende tabel te zien.

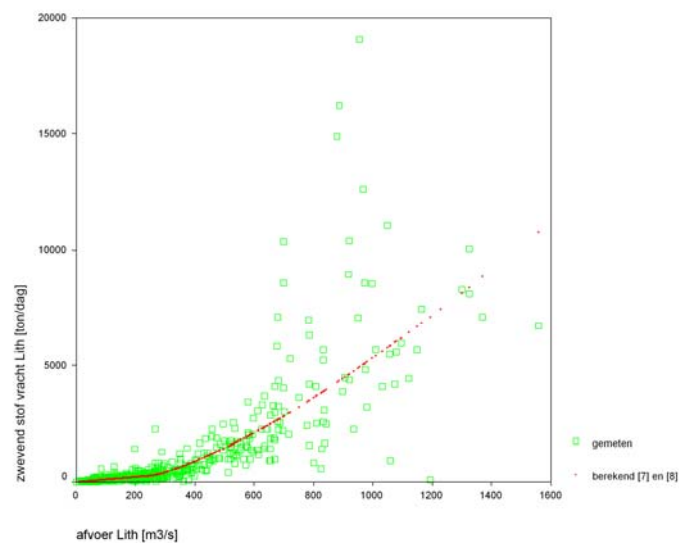
| Nonlinear Regression Summary Statistics | | | Dependent Variable | |
|--|-------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------|
| VRLITH | | | | |
| Source | DF | Sum of Squares | Mean Square | |
| Regression | 2 | 1715110141.00 | 857555070.500 | |
| Residual | 250 | 407616273.702 | 1630465.09481 | |
| Uncorrected Total | 252 | 2122726414.70 | | |
| (Corrected Total) | 251 | 1258104053.37 | | |
| R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = | | | .67601 | |
| Parameter | Estimate | Asymptotic Std. Error | Asymptotic 95 % Confidence Interval | |
| | | | Lower | Upper |
| B | .811552312 | .421727970 | -.019040248 | 1.642144872 |
| C | 1.324516995 | .079772083 | 1.167406005 | 1.481627984 |

De gevonden relatie tussen afvoer en vracht te Lith bij een afvoer > 250 m³/s is dus:

$$\text{Zwevend stof vracht} = 273 + 0,81 * (\text{qlith}-250)^{1,32} \quad [8]$$

Het uiteindelijke resultaat (de relatie tussen zwevend stofvracht en afvoer) is in figuur 3.4 te zien.

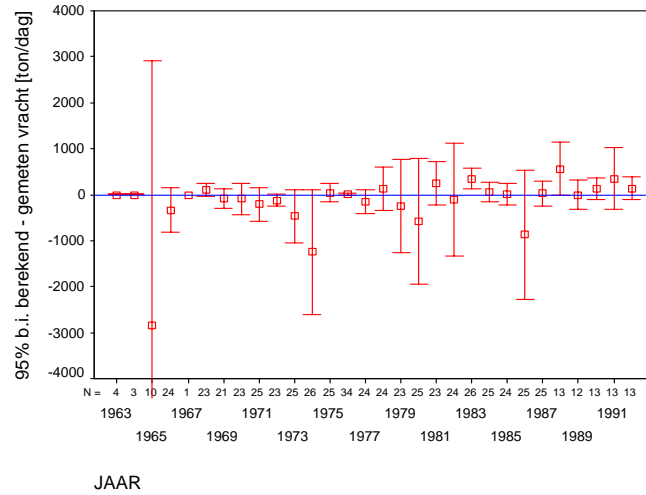
.....
 Figuur 3.4 De relatie tussen vracht en afvoer bij Lith.



3.2.2 Vergelijken van gemeten en berekende zwevend stofvracht bij Lith

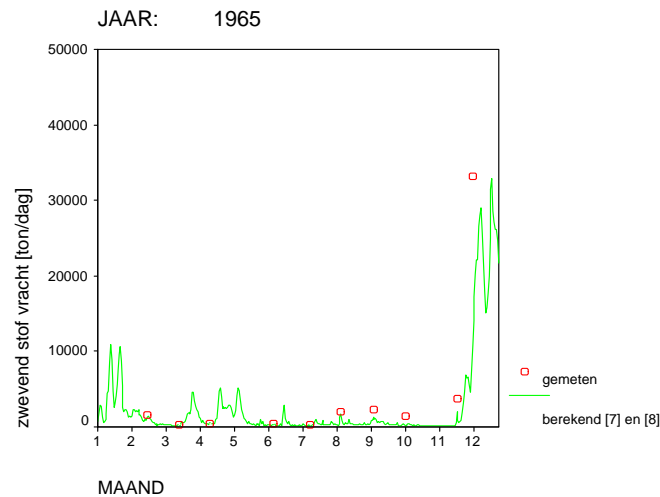
Met de relatie zoals berekend in § 3.2.1 zijn voor iedere dag de zwevend stofvrachten van Lith uit de afvoer van Lith berekend. In figuur 3.5 zijn de gemiddelde verschillen tussen gemeten en berekend met de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van het gemiddelde uitgezet als functie van het jaar van waarneming.

.....
Figuur 3.5 De gemiddelde verschillen tussen gemeten en berekend met 95%-betrouwbaarheidsintervallen van het gemiddelde uitgezet als functie van het jaar van waarneming.

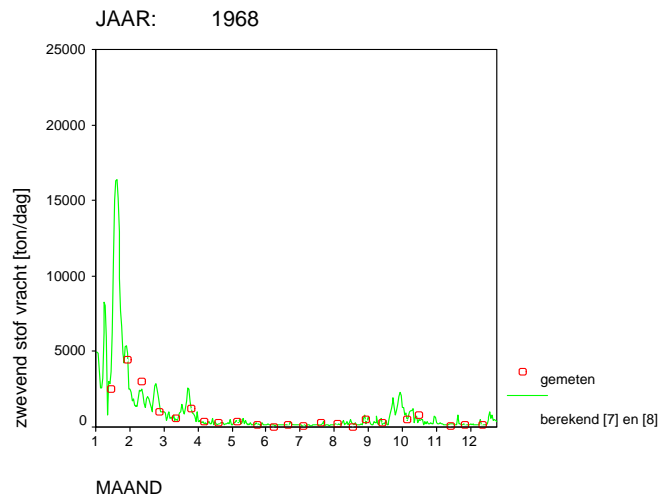


In figuur 3.5 is te zien dat voor bijna alle jaren geldt dat de verschillen niet significant afwijkend van 0 zijn (0 ligt overal binnen het betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde). Er bestaan dus geen systematische verschillen tussen berekende en gemeten vrachten. Dit houdt in dat de gebruikte relatie [7] en [8] voor alle jaren geldig is. Dus er is niet zoals bij Lobith sprake van een afname van de zwevend stofvracht in de tijd. Om te onderzoeken hoe goed de dagelijkse zwevend stofvracht uit de afvoer berekend kan worden, is voor verschillende jaren uit de periode 1960-2000 de berekende vracht vergeleken met de "gemeten" vracht. In de figuren 3.6 t/m 3.16 zijn de "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd.

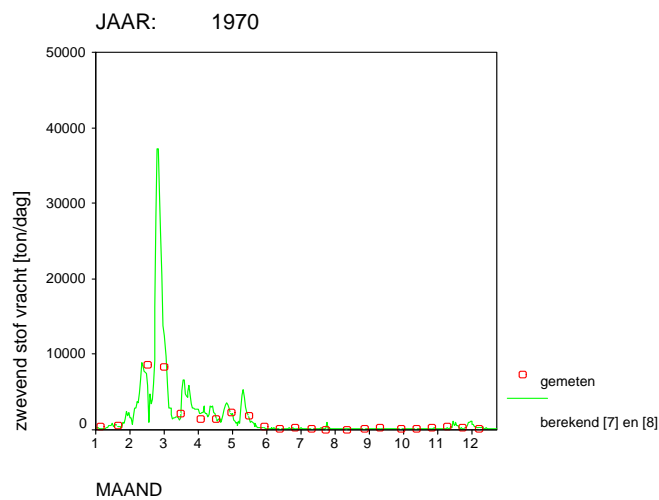
.....
Figuur 3.6 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1965.



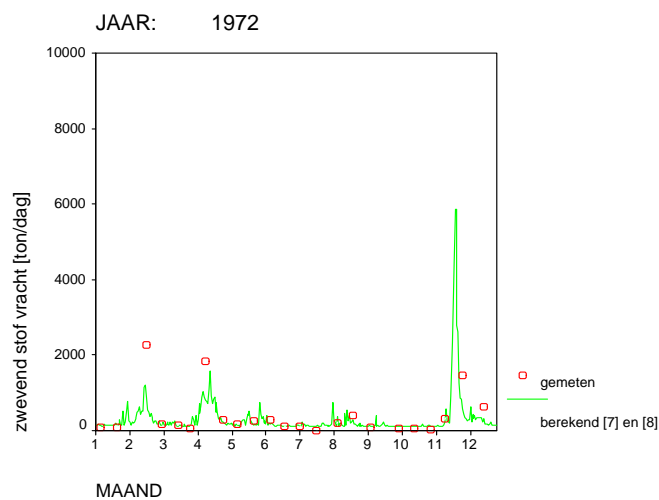
.....
Figuur 3.7 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1968.



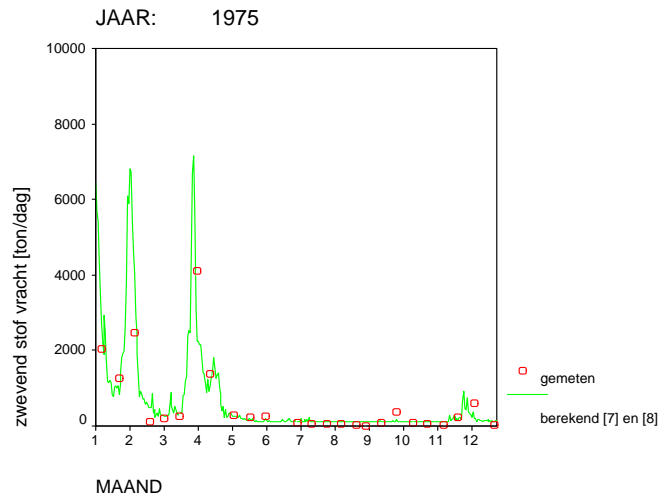
.....
Figuur 3.8 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1970.



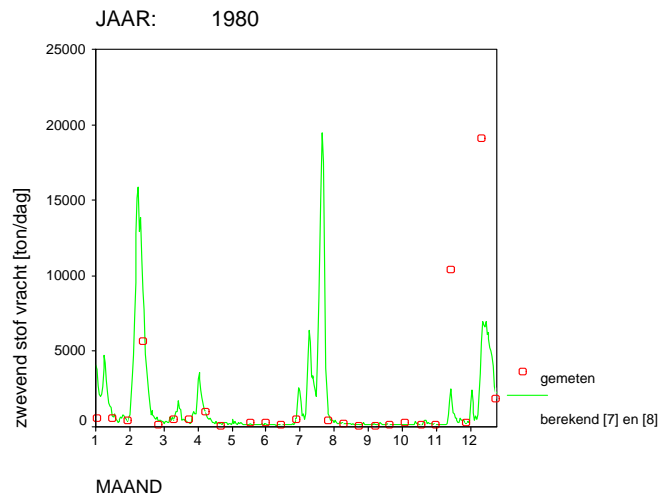
.....
Figuur 3.9 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1972.



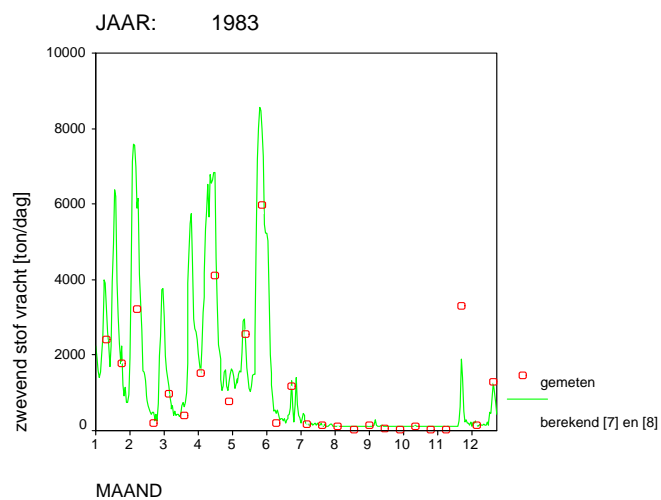
.....
 Figuur 3.10 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1975.



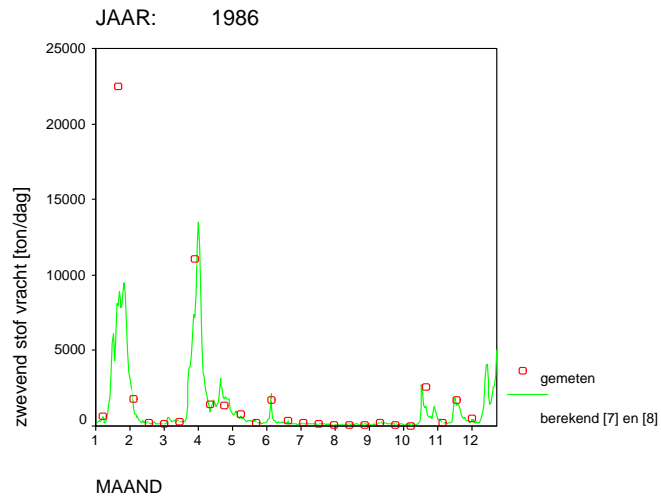
.....
 Figuur 3.11 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1980.



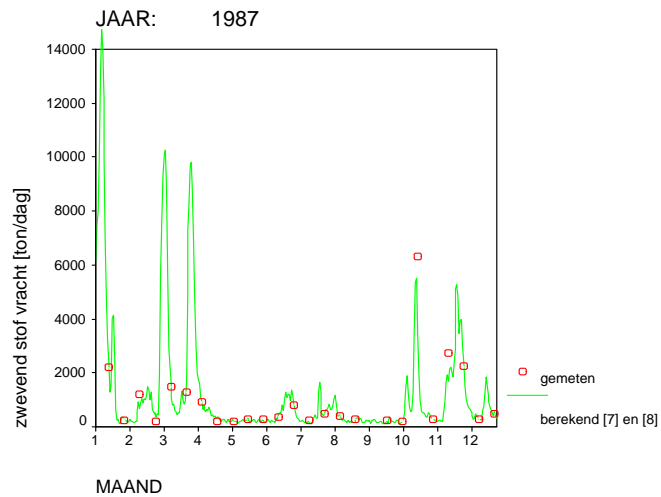
.....
 Figuur 3.12 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1983.



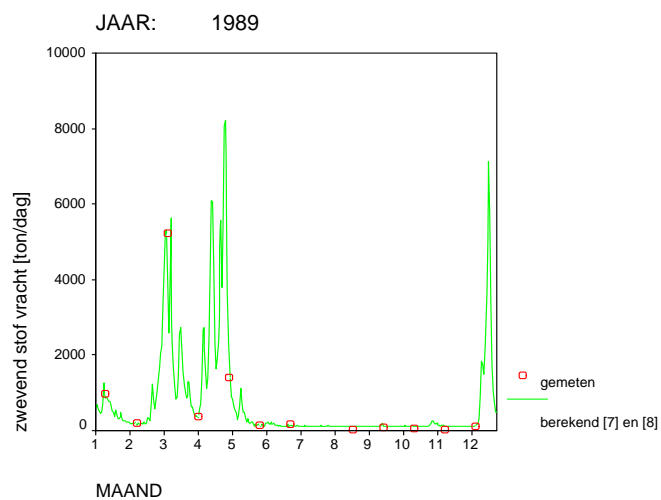
.....
 Figuur 3.13 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1986.



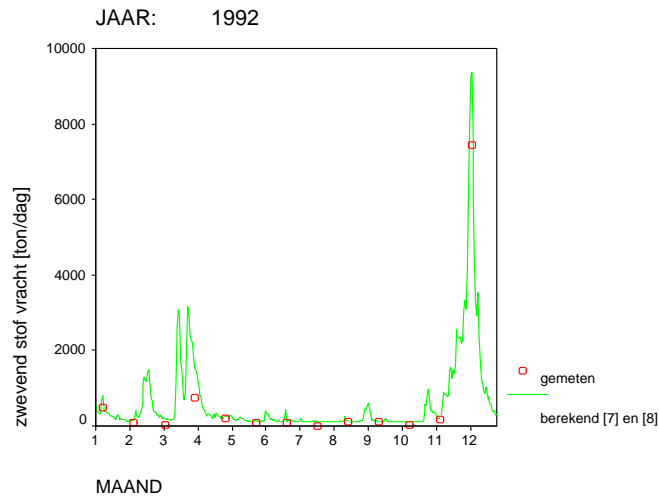
.....
 Figuur 3.14 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1987.



.....
 Figuur 3.15 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1989.



.....
 Figuur 3.16 De "gemeten" vrachten samen met de berekende vrachten uitgezet als functie van tijd voor het jaar 1992.



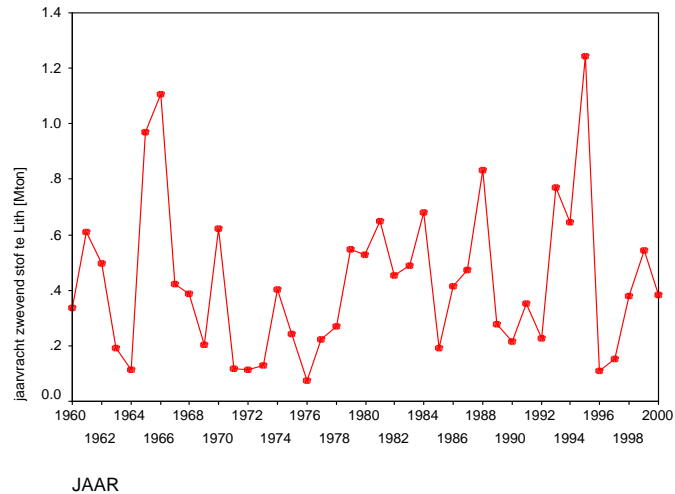
Uit de figuren 3.6 t/m 3.16 kan geconcludeerd worden dat de "gemeten" vrachten goed benaderd kunnen worden met de berekende vrachten. Ook is te zien dat, door de grote tussenpozen waarop de steekmonsters genomen worden, de meeste pieken gemist worden.

Voor het opstellen van de sedimentbalans van het NDB kan voor de jaren 1960-2000 gebruikgemaakt worden van de vrachten zoals deze berekend zijn met formule [6] en [7]. De totale jaarvrachten zwevend stof van Lith zijn voor de verschillende jaren weergegeven in tabel 3.2 en in figuur 3.17.

.....
 Tabel 3.2 Zwevend stofvracht Lith per jaar (in Mton).

| jaar | vracht [Mton] | jaar | vracht [Mton] | jaar | vracht [Mton] | jaar | vracht [Mton] |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 1960 | 0,34 | 1970 | 0,62 | 1980 | 0,53 | 1990 | 0,21 |
| 1961 | 0,61 | 1971 | 0,12 | 1981 | 0,65 | 1991 | 0,35 |
| 1962 | 0,50 | 1972 | 0,11 | 1982 | 0,45 | 1992 | 0,23 |
| 1963 | 0,19 | 1973 | 0,13 | 1983 | 0,49 | 1993 | 0,77 |
| 1964 | 0,11 | 1974 | 0,40 | 1984 | 0,68 | 1994 | 0,64 |
| 1965 | 0,97 | 1975 | 0,24 | 1985 | 0,19 | 1995 | 1,24 |
| 1966 | 1,11 | 1976 | 0,07 | 1986 | 0,41 | 1996 | 0,11 |
| 1967 | 0,42 | 1977 | 0,22 | 1987 | 0,47 | 1997 | 0,15 |
| 1968 | 0,39 | 1978 | 0,27 | 1988 | 0,83 | 1998 | 0,38 |
| 1969 | 0,20 | 1979 | 0,55 | 1989 | 0,28 | 1999 | 0,54 |
| | | | | | | 2000 | 0,38 |

.....
Figuur 3.17 De totale jaarvrachten zwevend stof van Lith voor de verschillende jaren.



3.2.3 Vergelijken van jaarvrachten

De jaarvrachten kunnen ook op andere manieren berekend worden. Zo is ook door Van Dreumel [2] en volgens de methode Terwindt (in Van Dreumel [2]) de jaarvracht in de periode 1982-1992 geschat. Ook is het mogelijk de jaarvrachten zwevend stof te berekenen met de gewogen concentratiemethode [4]. In tabel 3.3 zijn de resultaten van de verschillende berekeningen te zien.

.....
Tabel 3.3 Resultaten verschillende berekeningen jaarvrachten zwevend stof.

| periode | Van Dreumel | Fioole | Terwindt | gewogen concentratie |
|------------------------|-------------|--------|----------|----------------------|
| 1965, 1966, 1968, 1969 | | 0,67 | | 0,79 ¹⁾ |
| 1960 t/m 1969 | | 0,48 | | |
| 1970 t/m 1979 | | 0,27 | | 0,34 ¹⁾ |
| 1980 t/m 1989 | | 0,46 | | 0,50 ¹⁾ |
| 1990 t/m 1992 | | 0,27 | | 0,22 ¹⁾ |
| 1990 t/m 1999 | | 0,46 | | |
| 1982 t/m 1992 | 0,45 | 0,42 | 0,70 | 0,37 ¹⁾ |

¹⁾ Gebaseerd op steekmonsters.

De genoemde verschillen tussen de berekening op basis van gewogen concentratie en op basis van Fioole liggen anders dan bij de Rijn (Lobith). Dit is een gevolg van het feit dat bij Lith geen dagverzamelmonsters aanwezig zijn. Er kan voor dit geval geen correctiefactor bij de methode Fioole worden toegepast. Hierdoor is een vergelijking tussen gewogen methode en Fioole niet goed mogelijk. Onduidelijk is waarom de waarden berekend volgens de methode Terwindt zo hoog liggen.

4 Conclusies

De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- De concentratie zwevend stof gebaseerd op steekmonsters ligt gemiddeld gezien 10% hoger dan de concentratie die op basis van dagverzamelmonsters wordt bepaald. Daarnaast worden steekmonsters veel minder frequent genomen. Hierdoor komt het nogal eens voor dat hoge piekwaarden in de concentratie zwevend stof, gerelateerd aan piekafvoeren, gemist worden. Het berekenen van de slibvracht door het debiet te vermenigvuldigen met de waarde van de steekmonsters kan daardoor grote fouten bevatten.
- Voor de Rijn neemt de vracht bij een afvoer boven $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$ sterker toe dan eronder. Voor de Maas treedt zo'n trendbreuk bij een afvoer boven circa $250 \text{ m}^3/\text{s}$ op. Mogelijk dat boven deze afvoeren de erosieve capaciteit van het water sterk toeneemt waardoor extra slib vanuit de rivier zelf wordt geërodeerd. Mogelijk kan ook slib via afspoeling in het stroomgebied meegevoerd worden.
- Uit de jaarreeksen van slibvracht blijkt voor de Rijn onder het afvoerniveau van $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$ de vracht sinds 1960 af te nemen. Duidelijke oorzaken voor deze afname kunnen op dit moment niet gegeven worden. Wellicht dat het verschil in autonome bodemdaling tussen Nederland en Duitsland, wat tot een groter verhang leidt, ervoor zorgt dat het systeem minder slib bevat. Mogelijk kan ook de explosieve toename in scheepvaart een bijdrage geleverd hebben aan het grover worden van het bodemsediment. beide fenomenen kunnen daarmee bijdragen aan een afname in de loop van de tijd van de jaarlijkse slibvracht behorende bij afvoeren beneden de $2.750 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Voor de Rijn kan een statistische relatie tussen de dagelijkse afvoer en de slibvracht opgesteld worden, gecorrigeerd voor de afname in vracht sinds 1960. Met behulp van deze relatie kan met een nauwkeurigheid van circa 10% de jaarlijkse slibvracht bij Lobith berekend worden.
- Ook voor de Maas kan eenzelfde relatie tussen debiet en slibvracht opgesteld worden. Omdat in dit geval dagverzamelmonsters ontbreken kan niets over de nauwkeurigheid van de gevonden relatie gezegd worden.
- In vergelijking met de sedimentbalans opgesteld door Van Dreumel (1995) worden even grote slibvrachten bij Lobith en bij Lith berekend.

Referenties

1. Brinke, W.B.M. ten (1997). De bodemsamenstelling van Waal en IJssel in de jaren 1966, 1978, 1989 en 1995. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA rapport 97.009.
2. Dreumel, P.F. van, 1995. Slib- en zandbeweging in het Noordelijk Delta-bekken in de periode 1982–1992, Rijkswaterstaat directie Zuid-Holland, afdeling watersysteemkennis.
3. Brinke, W.B.M. ten, L.J. Bolwidt, E. Snippen en L.W.J. van Hal (2001). Sedimentbalans Rijntakken 2000. Een actualisatie van de sedimentbalans voor slib, zand en grind van de Rijntakken in het beheersgebied van de Directie Oost-Nederland. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling/RIZA rapport 2001.043.
4. Klavers, H. & A. de Vries, 1993. Vrachtberekeningsmethoden, een casestudy voor Maas en Rijn, werkdocument GWWS-93.111X/RIZA werkdocument 93.021X, Den Haag/Lelystad.