



Faculteit Wetenschappen
Vakgroep Geologie en Bodemkunde



Academiejaar 2002-2003

*Scriptie voorgelegd voor het verkrijgen van het
diploma van licentiaat in de Geologie*

Promotor: Prof. Dr. P. Jacobs

Co-Promotor: Prof. Dr. F. Mostaert

Leescommissie: Prof. Dr. L. Lebbe, Prof. Dr. M. De Batist

Opgedragen aan Herman Janssens,

Die mij leerde dieper op de dingen in te gaan,
Zonder de brede kijk op het Universum te verliezen...

Dankwoord

Dit eindwerk is het einde van een reis, een reis van vijf jaar studeren waarvan één jaar intensief zoeken naar antwoorden. Maar het stelt net zo goed een begin voor van een nieuwe manier van denken, onderzoeken, beantwoorden en opnieuw zoeken.

Dit is grotendeels te danken aan de mensen met wie ik heb mogen samenwerken aan dit interessante werk.

In de academische kring zijn dit op de eerste plaats natuurlijk mijn promotor en co-promotor, Pr. dr. Jacobs en Pr. dr. Mostaert. Mijn waardering voor hun inzet, zowel wat betreft academische expertise als persoonlijke ondersteuning, is te groot voor woorden.

Maar ook professoren waar ik in de kandidaturen les van gehad had, zoals Pr. dr. Goeminne en Pr. dr. Iserentant stonden me met raad en daad bij en dat was een fantastische ervaring.

Wat misschien het wonderbaarlijkste aan deze reis is geweest, is dat ze zo grensoverschrijdend gewerkt heeft. Het onderwerp van dit eindwerk leende zich tot uitwaaieren naar alle hoeken van deze universiteit en verder. Eerst faculteitoverschrijdend, waarbij ik mensen als Pr. dr. Verhoeven, dr. Cornelis, Pr. dr. Desoppere en Pr. dr. Van der Meeren moet bedanken, vervolgens landoverschrijdend. Hierbij gaat een speciale vermelding naar dr. Horowitz, die in tientallen e-mails mijn inzicht in de materie dermate verhoogd heeft dat mijn thesis minstens vijftig pagina's langer is geworden.

Dank u om uw jarenlange zwoegen op vergelijkingen en monsternames samen te ballen in die vele e-mails, zodat die ook voor mij verstaanbaar werden. Dank u ook, omdat u deze samenwerking nog wil verderzetten in de komende jaren.

Dit laatste geldt ook voor Pr. dr. Walling en dr. Asselman.

Natuurlijk mag ik ook Jozef Engels, Jan de Schutter, Ivo Milants, Solveig Buysschaert, Jean-Paul Van Laethem en alle andere medewerkers van het WLH niet vergeten te bedanken voor hun medewerking en inzet. Zonder hen zou ik zelfs geen onderwerp gehad hebben voor mijn eindwerk en ik kon ook altijd bij hen terecht met de lastigste vragen en de meest onmogelijke suggesties.

Ook gaat mijn dank uit naar Pr. dr. Lebbe en Pr. dr. De Batist die zich bereid toonden om deze hele turf door te nemen.

En ten slotte moet ik ook nog die mensen vermelden die altijd daar geweest zijn voor mij, op de moeilijke uren, op de blijde momenten, ...

Dank je Tine, Alexander, Ywan, Hans, Mama, Papa, Kirstine, Arne en Saartje, ... om te zijn wie jullie zijn.

Elin Vanlierde, 23-5-2003

Inhoudstafel

Dankwoord

Inhoudstafel	1
1. Inleiding	6
1.1. Het belang van het meten van suspensielading, slib, in de rivieren en de impact van sediment bij de rivierwerking en het belang om het te kunnen voorspellen	7
1.2. Doelstellingen en plan van aanpak	8
2. Verklarende woordenlijst	11
2.1. Definities	12
2.2. Sediment discharge	13
2.3. Randopmerkingen over het taalgebruik	13
2.4. Afkortingen	14
3. Suspensietransport in rivieren	15
3.1. Inleiding	16
3.2. Fysische achtergrond	16
3.3. Methodes om concentratie aan sediment in suspensie te meten	17
3.3.1. Methode gebruikt in het WLH	17
3.3.2. Verschillende andere methodes om sedimenten in suspensie te meten	17
3.3.2.1. Bepalen van suspensietransport	17
3.3.2.2. Bepalen van concentratie aan gesuspendeerd sediment	19
3.3.2.3. Bepalen van hoeveelheid massatransport of jaarlijkse fluxen van sedimenten in suspensie	19
3.4. Besluit	21
4. Doelstelling en ontstaansgeschiedenis van het sedimentmeetnet	23
5. Lokalisering	25
5.1. Inleiding	26
5.2. Korte beschrijving van een meetpost	26
5.3. Locaties	26
5.3.1. Kleine Nete te Grobbendonk	27
5.3.2. Zenne te Epegem	30
5.3.3. Dijle te Haacht	31
5.3.4. Leie te Menen	32
5.3.5. Grote Nete te Itegem	34
5.3.6. Dender te Overboelaere	35
5.3.7. Demer te Aarschot	36
5.3.8. Grote Nete te Geel-Zammel	38
5.4. Besluit	38

6. Methoden en instrumenten	40
6.1. Inleiding	41
6.2. De samplermethode en instrumenten	41
6.2.1. De methode	41
6.2.2. De sampler	41
6.2.3. De laboratoriumtesten en –instrumenten	42
6.2.3.1. Filtratie	42
6.2.3.2. De troebelheidsmetingen	43
6.2.4. Verwerking	43
6.3. Het meten van de troebelheid met de terreinmonitor	43
6.3.1. Fysische achtergrond	43
6.3.2. De methode	47
6.3.3. De turbiditeitsmeter of monitor	47
6.3.4. De sonde	48
6.3.5. De datalogger	48
6.3.6. Inlezen en opslaan van de data	49
6.3.7. IJking van de turbiditeitsmeter in mg/l	49
6.4. Besluit	50
7. Problematiek	51
7.1. Inleiding	52
7.2. Pompsampler	52
7.2.1. Samplers voor het bemonsteren van sediment in suspensie	52
7.2.1.1. Punt- en diepte-integrerende samplers	53
7.2.1.2. Sampler accessoires	54
7.2.1.2.1. Nozzles	54
7.2.2. Automatische pompsamplers	56
7.2.2.1. Ontwerp van de sampler	56
7.2.2.2. Installatie- en gebruikerscriteria	57
7.2.2.3. Plaatsing van het opzuigstuk	58
7.2.2.4. De oriëntatie van het opzuigstuk	59
7.2.2.5. Representatieve en niet representatieve monsternamen en hun correctiefactoren	59
7.2.2.5.1. Isokinetische monsternamen	59
7.2.2.5.2. Opzuigefficiëntie	61
7.2.2.5.3. Dwarsdoorsnede coefficient	62
7.2.3. Site-selectie	62
7.3. Turbiditeitsmeter	63
7.3.1. Monitor	63

7.3.1.1. Inleiding	63
7.3.1.2. Verschillende types van metingen en bijbehorende types van turbiditeitsmeters	64
7.3.1.3. Algemeen onderhoud	64
7.3.1.3.1. Fouling	65
7.3.1.3.2. ‘Drifting’ = Verschuiving	65
7.3.1.3.3. Schoonmaken en kalibreren van een turbiditeitsmeter	67
7.3.1.4. Ijkingsproblematiek bij infrarode turbiditeitsmeters	68
7.3.1.4.1. Inleiding	68
7.3.1.4.2. Invloed van de korreldiameter op de ijkingscurve	68
7.3.1.4.3. Invloed van de aanwezigheid van organisch materiaal op de ijkingscurve	69
7.3.1.4.4. Invloed van de kleur op de ijkingscurven	70
7.3.1.4.5. Invloed van de temperatuur van het water	70
7.3.1.4.6. Invloed van de vorm van de sedimentkorrels	71
7.3.1.4.7. Invloed van het verschil van de refractie-indexen van het sediment en het water	71
7.3.1.4.8. Conclusie	71
7.3.2. Datalogger	71
7.3.3. Ijking van de turbiditeitsmeters in mg/l	72
7.4. Dwarsdoorsnede	72
7.4.1. Inleiding	72
7.4.2. Procedure door het WLH toegepast	74
7.4.3. Methodes door de USGS voorgeschreven	75
7.4.3.1. Sedimenttransport metingen	75
7.4.3.2. Enkelvoudige verticale	76
7.4.3.3. Multi-verticale	77
7.4.3.3.1. De ‘Equal-Discharge-Increment Method’ (EDI)	78
7.4.3.3.2. De ‘Equal-Width-Increment Method’ (EWI)	79
7.4.3.3.3. Voor- en nadelen van EDI en EWI methodes	80
7.4.3.4. Het aantal verticalen	80
7.4.3.5. Transit rate (doorhaalsnelheid)	82
7.5. Besluit	84
8. Mogelijke oplossingen voor het sedimentmeetnet van het WLH	86
8.1. Inleiding	87
8.2. Automatische sampler	87
8.2.1. Bepaling opzuigefficiëntie	87
8.2.2. Site-selectie en plaatsing en oriëntatie van het opzuigstuk	87

8.2.3. Dwarsdoorsnedecorrectie	88
8.3. Turbiditeitsmeter	88
8.3.1. Monitor	88
8.3.1.1. Inleiding	88
8.3.1.2. Laboratoriumvoorbereiding voor terreintesten van 7-03-2003	88
8.3.1.2.1. Turbiditeitsvrij water	88
8.3.1.2.2. Formazine oplossingen	88
8.3.1.3. Terreintesten uitgevoerd op 7-03-2003	89
8.3.1.3.1. Bepaling van fouling	89
8.3.1.3.2. Herprogrammatie van de maximumwaarden van de monitor	91
8.3.1.3.3. Bepalen van drift aan de hand van standaarden	92
8.3.1.3.3.1. Formazine-standaarden	92
8.3.1.3.3.2. Sedimentstalen met gekende concentratie als standaarden	95
8.3.1.3.4. Besluit	98
8.3.1.4. Terreintesten uitgevoerd op 13, 15 en 27-01-2003	98
8.3.1.4.1. Kalibratie van Hach en Analite ten opzichte van Formazine-standaarden	99
8.3.1.4.2. Kalibratie van de verschillende monitoren	99
8.3.1.4.3. Besluit	101
8.3.2. IJking van de turbiditeitsmeter in mg/l	101
8.3.3. Datalogger	102
8.3.3.1. Verlaging maximuminstelling	102
8.3.3.2. Oplossing convertie- en resolutieprobleem	102
8.4. Dwarsdoorsnede	103
8.4.1. Inleiding	103
8.4.2. Dwarsdoorsnede bemonstering (uitgevoerd op 7-3-2003)	104
8.4.2.1. Toestellen	104
8.4.2.2. Theorie en berekeningen	105
8.4.2.3. Aantal puntmonsters en verticalen	105
8.4.2.4. Praktische uitwerking op het veld	106
8.4.2.5. Laboratoriumproeven	106
8.4.2.6. Opmerking	111
8.5. Besluit	111
9. Data-analyse	113
9.1. Inleiding en probleemstelling	114
9.2. Relatie debiet-jaartransport	114
9.3. Relatie debiet-concentratie (bepaald uit monitorgegevens)	115
9.4. Relatie debiet-concentratie (bepaald uit filtratiegegevens)	126

9.4.1. Lineair uitzetten in grafieken van debiet in functie van concentratie	126
9.4.2. Relatie sedimentconcentratie met meteorologische events	138
9.4.2.1. Grobbendonk	138
9.4.2.2. Eppegem	140
9.4.2.3. Haacht	140
9.4.2.4. Menen	141
9.4.2.5. Besluiten	141
9.4.3. Hysteresislussen	141
9.4.4. Debiet- en concentratiepieken	147
9.4.4.1. Sedimentpiek valt samen met de debietpiek	147
9.4.4.2. Sedimentpiek volgt de debietpiek	147
9.4.4.3. Sedimentpiek gaat aan debietpiek vooraf	148
9.4.4.4. Niet-correleerbare sediment- en debietpieken	149
9.4.5. Jaarhistogrammen	150
9.5. Jaartransport bepaald uit filtratie- en monitorgegevens	157
9.5.1. Grobbendonk	158
9.5.2. Eppegem	160
9.5.3. Haacht	162
9.5.4. Menen	164
9.5.5. Itegem	166
9.5.6. Overboelare	168
9.5.7. Aarschot	170
9.5.8. Algemeen besluit	172
9.6. Dubbel-logaritmische translaties	172
9.6.1. Grobbendonk	181
9.6.2. Haacht	181
9.6.3. Besluit	182
9.7. Relatie sedimentvracht – debiet en sedimentvracht – stroomsnelheid	182
9.8. Besluit	188
10. Algemeen besluit	190
11. Referenties	196
12. Bijlagen	201

1 Inleíðing

Some questions should not be asked.

However, someone always does.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

1.1 **Het belang van het meten van suspensielading, slib, in de rivieren en de impact van sediment bij de rivierwerking en het belang om het te kunnen voorspellen**

De milieu-impact van erosie, transport en afzetting van sedimenten door rivierwerking is belangrijk. De eigenheid van de bekkens, mede bepaald door de geologische gesteldheid en de variaties in neerslagkarakteristieken veroorzaken grote verschillen in sedimentaanvoer langs de beken, rivieren en waterwegen.

Bij de wateroverlast van eind 2002 werd de sedimentatie in de rivierbeddingen als belangrijke oorzaak naar voor geschoven. De bergingscapaciteit van de rivieren maar ook in de wachtbekkens wordt erdoor verminderd en dus overstroomt het omgevende gebied des te sneller. Deze eenvoudige redenering is ongetwijfeld een te simplistische benadering omdat de hoeveelheden extra water dermate hoog zijn dat het aanwezige slib niet de enige hindernis is die langs de rivier optreedt. Daarbij komt ook nog kijken dat in de winter veel van het watertransport doorheen de winterbedding van de rivier stroomt. Desondanks is ophoping van sediment in bepaalde gevallen een slechte zaak in het kader van de waterbeheersing.

Het vrijmaken van rivierbeddingen, het baggeren, heeft heel wat maatschappelijke implicaties. Het dient eerst en vooral ook te gebeuren voor een veilige scheepvaart in de bevaarbare waterlopen, voor de efficiënte afvoer van water in de onbevaarbare waterlopen. Het slib heeft echter een kwalijke reputatie en is dus dikwijls verontreinigd; dat betekent dat slib, op het ogenblik dat het wordt gebaggerd, als afvalstof moet behandeld worden, en dat er bergingscapaciteit voor storten of verwerkingscapaciteit voor zuivering moet worden gezocht. Het is in de huidige context zeer moeilijk om baggerslibstortplaatsen te vinden omdat die op zeer grote maatschappelijke weerstand stuiten. Bovendien is de maatschappelijke kost voor baggerwerken en bergen of verwerking van het slib zeer duur.

Het meten en weten van de hoeveelheden te verwachten slib in de rivieren geven dus een indicatie over het verwachte baggerprobleem op verschillende plaatsen (hoeveelheden en tijd van heraanvulling,...), dus van de verwachte kosten die er te maken zijn en van de noodzakelijke vooraf te nemen acties (vanaf het constateren van de noodzaak van een baggerstort tot de eigenlijke realisatie lopen soms 10 jaar).

Als men weet waar het slib vandaan komt, wat de samenstelling is, wat de hoeveelheden zijn dan kan men ook stroomopwaarts pogen de aanvoer van slib in te perken door allerhande maatregelen zoals geadapteerde landbouwtechnieken, inrichten van sedimentatiebekkens, liefst in de natuurlijke vallei van de riviertjes enzovoort.

Een meerderheid van de sporenelementen in rivieren worden getransporteerd in associatie met suspensiesediment. Dit betekent dat kennis over het slibtransport de basis vormt voor de kennis over stofstromen, over waterkwaliteitsaspecten en vervuiling.

Monitoring en modellering van het sediment in rivieren kan dus gebruikt worden:

- ter evaluatie van de erosiereducerende maatregelen
- ter bepaling van de morfologische effecten van verdiepingen van waterwegen door uitbaggeren
- ter inschatting van de te baggeren hoeveelheden sediment
- ter ondersteuning van het monitoring programma van De Europese Kaderrichtlijn Water
- ter vergroting van de kennis over watersystemen
- als basisinformatie voor de behandeling en berging van baggerspecie

1.2 Doelstellingen en plan van aanpak van het eindwerk

Dit eindwerk beoogt een bijdrage te leveren aan de opmaak van een model ter kwantificering van de sedimentaanvoer naar het getijdengebied van de Schelde toe. Om tot een dergelijk model te kunnen komen moeten metingen beschikbaar zijn, moeten tijdsreeksen van die metingen bestaan waarbij metingen onder verschillende omstandigheden (van waterafvoer, seizoen, neerslag), moeten verbanden worden gezocht en begrepen met kenmerken van de rivier (debiet, meteorologische omstandigheden, ...).

Het WLH beschikt over een hydrologisch meetnet en een sedimentmeetnet. De metingen op het sedimentmeetnet zijn veel beperkter in tijd (maximum 3 jaar) dan op het hydrologisch meetnet. Uit de eerste jaarverslagen van het meetnet bleek dat de relatie tussen de verschillende beïnvloedende factoren veel complexer lijkt dan oorspronkelijk verwacht en dat de gelijktijdige benadering volgens verschillende methodes tot verrassend afwijkende resultaten aanleiding geeft. Dit eindwerk dient een bijdrage te leveren tot het begrijpen van deze mechanismen.

De grondige analyse van de resultaten van het sedimentmeetnet en de kritische benadering van de methodologie die hier wordt toegepast moet aanleiding geven tot optimalisatie van het meetnet zowel op het vlak van lokalisatiekeuze als op het vlak van meetmethodes, kalibratiemethodes, analysemethodes, als op het vlak van de interpretatie van de resultaten.

Als dit dan nog een kostenreductie van de te leveren inspanningen met zich zou brengen dan zou dit een bijkomende toegevoegde waarde voor deze verhandeling betekenen.

Om deze doelstellingen te bereiken worden volgende acties gepland:

1) Een overzicht maken van de gestandaardiseerde methodologie voor kwantitatieve bepaling van sediment in suspensie in waterlopen aan de hand van een literatuuranalyse

Al heel gauw bleek dat er geen gestandaardiseerde methode voor het uitvoeren van metingen van transport van sediment bestaat. Er diende dan ook een overzicht gemaakt te worden van een aantal methodes van kwantitatieve sedimentmetingen die wereldwijd gebruikt worden. Hierbij wordt de nadruk gelegd op sedimenttransport in suspensie eerder dan op het bodemtransport. Het literatuuronderzoek wordt beperkt voor methodes op rivieren met vergelijkbare kenmerken als deze in Vlaanderen.

Dit betekent:

- vergelijkbare dimensies en hydrodynamische kenmerken
- sterk beïnvloed door menselijke invloeden
- vergelijkbare sedimentologische omstandigheden

2) Een samenvatting maken van de methode toegepast in Vlaanderen door het Waterbouwkundig Laboratorium

3) Het formuleren van kritische beschouwingen bij de methode van het Waterbouwkundig Laboratorium

De methode wordt geconfronteerd met methodes teruggevonden in de literatuur. De beoordeling van de methode gaat uiteraard hand in hand met de eruit voortvloeiende gegevens en resultaten.

Punten die hierbij aan bod moeten komen zijn:

- keuze van de meetpunten (hoeveelheid, lokalisatie,...)
- methode van ijking en kalibratie van toestellen
- methode van ijking en kalibratie van de meetresultaten

4) Analyse van de beschikbare resultaten

De resultaten die beschikbaar gesteld zijn door het WLH moeten geanalyseerd worden. Enerzijds moet dit gebeuren in functie van de toegepaste methode anderzijds in functie van de karakteristieken van het bekken, van de rivier, van de lokale omstandigheden. Er moet gezocht worden naar de verbanden tussen de hoeveelheid sediment die jaarlijks getransporteerd wordt en:

- **Debiet:** Debieten worden continu gemeten of afgeleid uit de waterstanden. Het verband tussen waterstand en debiet is voor de meeste meetstations gekend. Op de meeste meetstations zijn meetreeksen van meerdere tientallen jaren beschikbaar. Als er een goede correlatie zou zijn tussen debiet en sedimentaanvoer dan zou op termijn het meten van de waterstanden volstaan om de sedimentbudgetten te kunnen afleiden.
- **hoeveelheid neerslag:** Op diverse plaatsen in de buurt van de meetpunten zijn neerslagmetingen beschikbaar. Als er een aantoonbaar verband is tussen neerslaghoeveelheden en gemeten sedimenthoeveelheden dan zou dit eveneens het voorspellen en terugrekenen van sedimenttransport mogelijk maken.
- **hydrologische invloeden:** Deze houden de lengte van de wasperiode, hevigheid van de buien en de plaats ervan in. Het betreft een meer kwalitatieve benadering van de hydrologische meetgegevens (waterdebieten en waterstanden) gelinkt aan meteorologische omstandigheden.
- **samenstelling van het sediment:** Sediment in suspensie bevat niet alleen klastische kwartsdeeltjes maar ook variabele hoeveelheden organisch materiaal. Laboratoriumanalyses leveren enkel een totaalgewicht, een som van aan aantal deeltjes met variabel gewicht. Variaties in de tijd van de samenstelling moeten achterhaald worden en de omstandigheden die de samenstelling beïnvloeden moeten begrepen worden. Ook dient aandacht te worden besteed aan de variaties in korrelverdeling onder de verschillende hydrodynamische omstandigheden.
- **Seizoenale invloeden:** De sedimentaanvoer zal ongetwijfeld beïnvloed worden door seizoenale meteorologische invloeden maar waarschijnlijk ook door het seizoenale verschil in vegetatie in de rivierbedding die het sedimenttransport beïnvloed. Men kan correlaties opmaken tussen sedimentafvoer en waterdebiet bijvoorbeeld en pogen de verschillen te verklaren.
- **Menselijke invloeden:** Alle waterlopen in Vlaanderen zijn in hoge mate beïnvloed door menselijke ingrepen; bijvoorbeeld occasionele werken langs de rivieren kunnen tot verhoging van het sedimenttransport aanleiding geven, het afwateringssysteem van rioleren, het in werking treden van overstorten kan een grote impact hebben op de concentratie suspensiemateriaal. Er kan worden nagegaan of deze occasionele gebeurtenissen kwantificeerbaar zijn en een herkenbaar signaal geven op de tijdsreeksen.

Indien deze verbanden inderdaad gevonden worden moeten de gegevens gefilterd worden en de gegevens die onbetrouwbaar gebleken zijn geëlimineerd worden. Hierna kunnen nieuwe correlaties berekend worden.

- 5) De jaarlijkse sedimentbalansen moeten aan de hand van de bevindingen uit punten 3) en 4) gecorrigeerd of aangepast worden en hieruit dienen conclusies te worden getrokken.
- 6) De uiteindelijke doelstellingen van dit onderzoek zijn:
 - Het meetnet dat door het WLH uitgebouwd is optimaliseren, zowel qua lokalisatie van de meetpunten, als qua meetmethode.
 - Ook analysemethoden moeten onder de loep genomen worden en mogelijkheden tot kostenreductie moeten zeker onderzocht worden.

2 Verklarende woordenlijst

The more specialized your question is,
the larger are the words you must invent to state it.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

2.1 Definities

a) De definities die hieronder geciteerd worden, zijn overgenomen uit de internationale ISO normen (International Organization for Standardization, 1977).

* Sedimentconcentratie: Verhouding van de massa of het volume van droge sedimenten in een mengsel van water en sedimenten, met betrekking tot de totale massa of het totale volume van de suspensie.

* Suspensielading: Gedeelte van de totale sedimentaire lading getransporteerd per tijdseenheid, die in suspensie in de vloeistof gehouden wordt door de turbulentie gedurende aanzienlijke periodes, zonder in aanraking te komen met de bodem van de waterlopen. Ze verplaatsen zich met praktisch dezelfde snelheid als het water en worden algemeen uitgedrukt in gewicht of volume per tijdseenheid.

* Vast transport: Beweging van vaste stoffen die op welke manier ook getransporteerd worden door een afvloeiing van vloeistof. Vanuit het oogpunt van het transport gezien omvat het het totaal van het transport van materialen in suspensie en het transport van materialen in saltatie. Vanuit het oogpunt van de oorsprong is het het totaal van de vervoerde materialen en van de “wash load”.

b) De hieronder vermelde definities zijn afkomstig uit het National Handbook of Recommended Methods for Water-data Acquisition (Office of Water Data Coordination, 1977)

* Composiet monster: Een monster gevormd door het samenvoegen van twee of meer individuele monsters, of representatieve gedeelten daarvan.

* Dwarssectie: Een monsternamegebied, een dwarsdoorsnede of lijn gekozen als de basis voor de studie van één of meer karakteristieken van een bepaalde assemblage.

* Isokinetische monstername: Op zo'n manier bemonsteren dat het water-sediment mengsel zonder versnelling beweegt als het de stroom verlaat en sampleringang in stroomt.

* Nephelometer: Een instrument dat de hoeveelheid licht dat verstrooid wordt in een suspensie meet.

c) Algemene definities en verklaringen

* Correctie factor: Een wiskundige relatie die gebruikt wordt om concentraties verkregen uit een niet-representatief monster of meting om te zetten zodat ze dezelfde waarde weergeven als deze verkregen uit een representatief monster of meting.

* Doos-vergelijking: vertaling van de Engelse term: ‘*box-equation*’. Deze wordt gebruikt om een ‘*rating curve*’ op te stellen. Een doos-vergelijking is een regressievergelijking.

* Debiet-gewogen en snelheid-gewogen monsters: vertaling van de Engelse termen: ‘*discharge-weighted sample*’ en ‘*velocity-weighted sample*’. De aanwezige concentratie in het monster wordt

ofwel door de sampler, ofwel naderhand op wiskundige manier, een zeker gewicht toegekend, dat in overeenstemming is met het debiet of de snelheid die op dat moment heerst.

* Niet representatief monster (of meting): Dit wordt ook wel als ‘Suspended Sediment Concentration Surrogates’ vermeld in het Engels. Dit zijn monsters of metingen die gecorrigeerd dienen te worden aan de hand van een correctiefactor of doos-vergelijking om zo de waarde te bekomen die verkregen zou zijn als men gebruikt gemaakt had van een diepte- en breedte-integrerende sampler.

* Representatief monster: Een monster dat verkregen wordt door bemonstering met een isokinetische diepte- en breedte integrerende sampler

2.2 Sediment discharge

Eén van de moeilijk te vertalen termen is ‘*sediment discharge*’ en de afgeleide term ‘*suspended sediment discharge*’. Verschillende auteurs gerbuiken verschillende vertalingen. Volgens het National Handbook of Recommended Methods for Water-data Acquisition (International Organization for Standardization, 1977) betekent ‘*sediment discharge*’: De massa of het volume van sediment (meestal massa) dat doorheen een doorsnede stroomt in een tijdseenheid.

Dit geeft wel een verklaring voor de termen, maar geen vertaling.

‘Geological Nomenclature’ (Visser, 1980) vertaalt de term ‘*sediment discharge*’ als:

Sedimentafvoersnelheid: de hoeveelheid van sedimentair materiaal vervoerd door een stroom doorheen een gegeven doorsnede per tijdseenheid.

De Franse vertaling is: *taux de transport*.

Elsevier’s ‘Dictionary of water and Hydraulic Engineering’ (Van der Tuin, 1987) vertaalt de term ‘*sediment discharge*’ als volgt:

- Nederlands: sedimentafvoer
- Frans: *débit de sédiment*

Verscheidene rapporten (Van Poucke et al, 1999) vermelden de term suspensietransport voor de term ‘*suspended sediment discharge*’ en R. Verhoeven gebruikt de term sedimenttransport, als vertaling voor ‘*sediment discharge*’, onder andere in zijn syllabus voor het vak ‘Hydrografie & hydrometrie’ (Verhoeven, 2000).

Omdat er geen éénduidige vertaling is voor beide termen heb ik in dit eindwerk gekozen voor:

Suspensie transport = *suspended sediment discharge*

Sedimenttransport = *sediment discharge*

2.3 Randopmerkingen over het taalgebruik

Ik heb geopteerd om sommige Engelse termen niet te vertalen. Soms omdat er geen Nederlandse vertaling beschikbaar was, maar af en toe als er wel een Nederlandse vertaling beschikbaar was. Meestal omdat deze vertaling veel omslachtiger is dan de Engelse term, maar soms ook omdat deze Engelse term in de internationale wetenschappelijke literatuur ingeburgerd is, waardoor het nutteloos zou zijn om de Nederlandse vertaling aan te houden.

* Drift – drifting: De afwijking of verschuiving van een sensoraflezing ten opzichte van de waarde van een gekalibreerde sensor (zie punt 7.3.1.3.2.).

* Equal-Discharge-Increment-Methode of EDI: Methode om een dwarsdoorsnede te bemonsteren aan de hand van verschillende verticalen (zie punt 7.4.3.3.1.). Bij deze methode plaatst men de verticalen in het centrum van incrementen waardoor een gelijk debiet stroomt.

* Equal-Width-Increment-Method of EWI: Methode om een dwarsdoorsnede te bemonsteren aan de hand van verschillende verticalen (zie punt 7.4.3.3.2.). Bij deze methode plaatst men de verticalen in het centrum van incrementen van gelijke breedte.

* Flush: = piek

Wordt meestal gebruikt in de context van de eerste sedimentpiek die voorbijkomt ter hoogte van een meetpost als gevolg van een event.

* Fouling: De afwijking van een sensoraflezing ten gevolge van vuil op de sensor (zie punt 7.3.1.3.1.).

* Sampler = staalnameapparaat

2.4 Afkortingen

* EDI: Equal-Discharge-Increment-Method

* EWI: Equal-Width-Increment-Method

* FTU: Formazin Turbidity Units

* NTU: Nephelometric Turbidity Units

* WLH: Waterboukundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek

3 Suspensietransport in rivieren

A rock has no detectable opinion about gravity.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

3.1 Inleiding

In het eerste deel van dit hoofdstuk wordt de fysische achtergrond besproken waardoor sedimentdeeltjes in suspensie kunnen blijven.

In het tweede deel wordt een kort overzicht geschetst van een aantal methodes waarmee men de concentratie aan sediment in suspensie kan bepalen. De verscheidenheid aan verschillende technieken en methodes maakt het onmogelijk om hier uitgebreid op in te gaan. Op één van deze methodes, namelijk het automatisch verzamelen van puntmonsters, wordt dieper ingegaan.

3.2 Fysische achtergrond

Het National Handbook of Recommended Methods for Water-data Acquisition (Office of Water Data Coordination, 1977) beschrijft de fysische achtergrond van sediment in suspensie. Alle deeltjes in suspensie die een grotere dichtheid bezitten dan water hebben de neiging om te bezinken. Aangezien de concentratie op een bepaalde diepte op een verticale doorsnede in een stroom ongeveer constant is, moet het bezinken van deeltjes op elk niveau worden tegengewerkt door een opwaartse flux van deeltjes. Deze opwaartse flux ontstaat als het resultaat van de natuurlijke vorming van een verticale concentratiegradiënt. De steilheid van de gradiënt op elk punt is zodanig dat de concentraties van gedeeltes van water-sediment mengsels die opwaarts bewegen (door turbulentie) doorheen een horizontaal vlak net voldoende hoger zijn dan de concentraties van gedeeltes die (door turbulentie) naar beneden bewegen. Hierdoor ontstaat er een netto-opwaartse flux die de neerwaartse flux, veroorzaakt door bezinking, in evenwicht houdt. Hoe grover de deeltjes hoe steiler de gradiënt zal zijn. Deeltjes die fijner zijn dan 0,062 mm zullen zo goed als uniform zijn doorheen de gehele diepte in de meeste stromen.

Ten gevolge van plaatselijke variaties in de concentraties van grove en fijne sedimenten in suspensie en in stroomsnelheden, moet het suspensietransport op elk moment te bepalen zijn uit

$$Q_s = \int_A CU dA \quad (1)$$

- waarbij:
- Q_s = het onmiddellijke suspensietransport doorheen een oppervlak A
 - U = snelheid van sedimentdeeltjes doorheen een elementair oppervlak dA
 - C = concentratie van sediment in suspensie in het elementaire ² plaatselijke volume

In de praktische toepassing van vergelijking (1) wordt U als gelijk aan de stroomsnelheid en beschouwd.

Wanneer de bovenstaande vergelijking over de tijd geïntegreerd wordt, levert dat de hoeveelheid suspensietransport op gedurende een bepaalde tijd T .

$$S = \int_T Q_s dT = \int_T \int_A CU dAdT \quad (2)$$

- waarbij:
- S = de hoeveelheid van suspensietransport doorheen oppervlak A is, gedurende een tijd T
 - Q_s = het onmiddellijke suspensietransport doorheen een oppervlak A
 - U = snelheid van sedimentdeeltjes doorheen een elementair oppervlak dA
 - C = concentratie van sediment in suspensie in het elementaire plaatselijke volume

3.3 Methodes om concentratie aan sediment in suspensie te meten

Er zijn talloze methodes om de sedimentconcentratie aan sediment in suspensie te meten. Enerzijds kan dit door onrechtstreekse geofysische technieken op het terrein of op zorgvuldig verzamelde waterstalen. Anderzijds is het bepalen van het sedimentgewicht uit stalen mogelijk.

3.3.1 Methode gebruikt in het WLH

WLH meet de troebelheid van het water met een troebelheidsmeter met een sonde en datalogger (die één waarde om de 2 minuten meet in NTU omgezet tot mg/l door een formule eigen aan het toestel) en meet de hoeveelheid sediment van monsters (één monster elke zeven uur voor elk station) door labo analyses. Men bepaalt de hoeveelheid materiaal in mg/l en de troebelheid per staal (met twee verschillende types van troebelheidsmeter) (zie Figuur 3.1).

3.3.2 Verschillende andere methodes om sedimenten in suspensie te meten

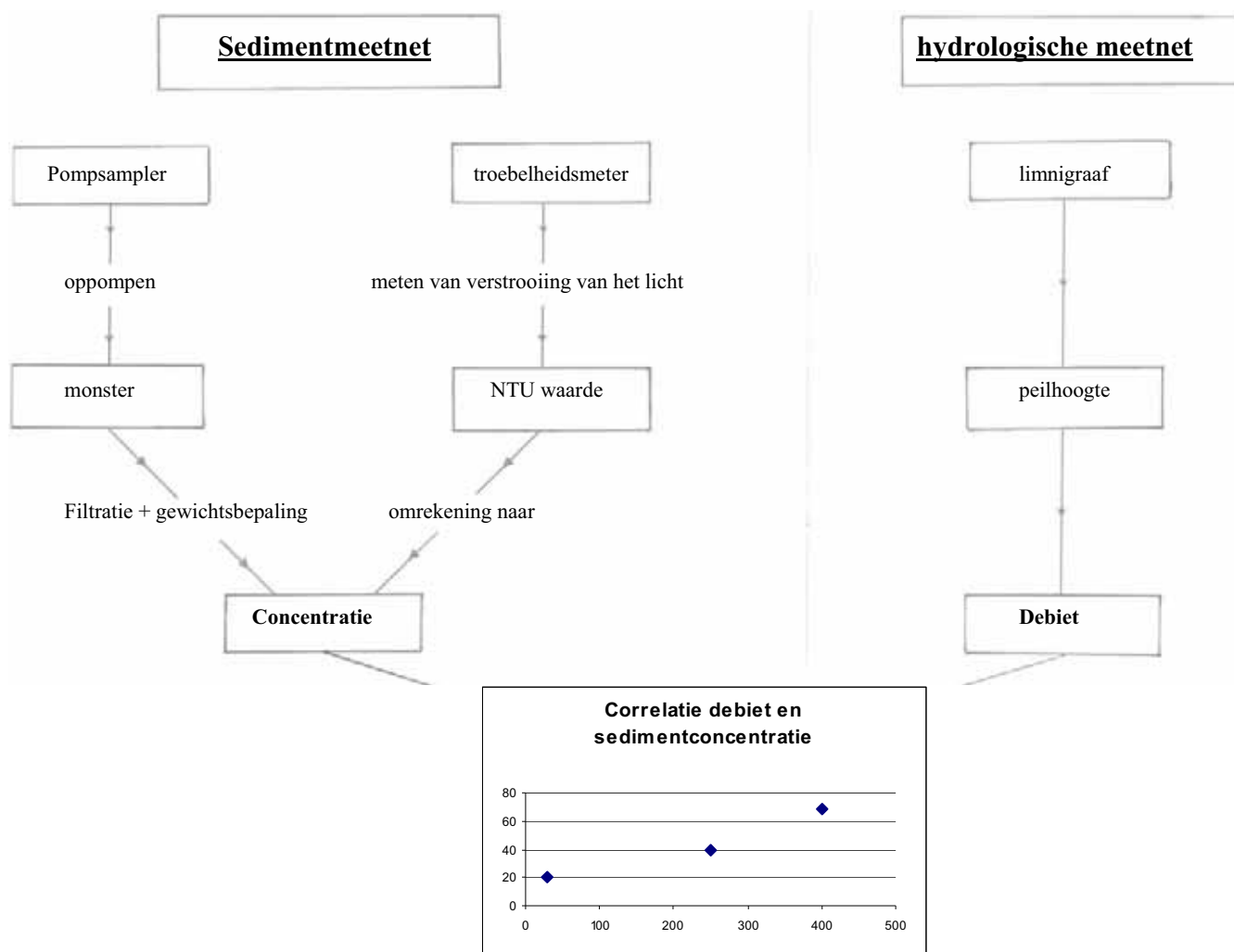
3.3.2.1 Bepalen van suspensietransport

* Meten van suspensietransport op directe manier, door wegen van sedimenten (Miyamoto et al. 1992)

Methode: Men plaatst een toestel waarin water, beladen met sedimenten, instroomt, waarna deze gescheiden worden door een separator. De sedimenten worden gewogen en samen met het water weer afgevoerd. Een kleine hoeveelheid sediment wordt wel bemonsterd om een korrelgrootte analyse op uit te voeren.

Nadeel: Het gaat over een volledig ander toestel, zonder connectiemogelijkheid met de opstellingen van het WLH.

Figuur 3.1: Flowchart van de methode gebruikt in het WLH



* Meten van suspensietransport op indirecte manier, door middel van een akoestische sensor (Taniguchi et. al. 1992)

Methode: Men plaatst een metalen holle buis met daarin een microfoon op de rivierbodem. Sedimentdeeltjes die door het water worden getransporteerd, kunnen tegen de buis botsen en aldus een geluid voortbrengen. De luchtoscellaties in de buis zijn evenredig met het aantal deeltjes dat tegen de buis botst en als de snelheid van het deeltje gekend is kan zelfs de massa van het deeltje bepaald worden.

Nauwkeurigheid: 30 % foutmarge

Voordelen: geluid is het beste medium om suspensietransport op een indirecte manier te bepalen omdat de media (magnetische golven, druk en elektriciteit) beïnvloed worden door absorptie en verstrooiing door het water en de deeltjes.

Nadelen: Het is een compleet andere technologie zonder enig technologisch of inhoudelijk verband met de huidige WLH.

3.3.2.2 Bepalen van concentratie aan gesuspendeerd sediment

Vergelijking van turbiditeit bepaald d.m.v. turbiditeitsmeters in een hydro-krachtcentrale met turbiditeit verkregen met een turbiditeitsmeter die in de rivier geplaatst is. Wegens de localisatie in een hydro-krachtcentrale werden de turbiditeitsmetingen uitgevoerd in complete duisternis, wat beïnvloeding door daglicht onmogelijk maakte en de nauwkeurigheid van de methode te goede kwam.

Daarbij werd ook gebruik gemaakt van opgepompte monsters (Gurnell et al. 1992).

Methode: Continue monitoring van turbiditeit

Voordeel: De continue monitoring van de concentratie van sediment in suspensie, met beperkte noodzaak aan filtratie van kallibratiemonsters en reiniging van de turbiditeitsprobe.

Nadeel: Hoge onderhoudskosten

3.3.2.3 Bepalen van hoeveelheid massatransport of jaarlijkse fluxen van sedimenten in suspensie

Automatisch verzamelde puntmonsters (Horowitz et al. 1992)

Methode: Uit twee bijna-gelijktijdig genomen puntmonsters (op verschillende hoogtes boven de rivierbodem) en diepte- en breedtegeïntegreerde monsters, bekomen over een wijde verspreiding in afvoer ($\geq 90\%$ van de debietverspreiding) en een wijde spreiding in concentratie van sedimenten in suspensie kunnen lineaire regressies afgeleid worden. Hieruit kan het jaarlijkse transport van sedimenten in suspensie afgeleid worden.

Nauwkeurigheid: +/- 20%

Voordeel: Het is een methode die toepasbaar is in Vlaanderen zonder excessieve extra investeringen.

- **Probleemstelling:** Een serie monsters verticaal boven elkaar genomen of een puntmonster in een rivier genomen, geeft meestal geen betrouwbare indicatie voor de suspensieconcentratie voor de hele dwarsdoorsnede. Dit wordt meestal opgelost door een doosvergelijking (een regressie vergelijking) of door de berekening van een coëfficiënt waarmee de concentratie van het puntmonster wordt vermenigvuldigd..

- **Benodigheden:** Gedetailleerde bemonstering van gesuspendeerd sediment gedurende een groot gedeelte van de jaarlijkse debietverdeling. Daarnaast zouden er langs een rivier meerdere locaties nodig zijn.

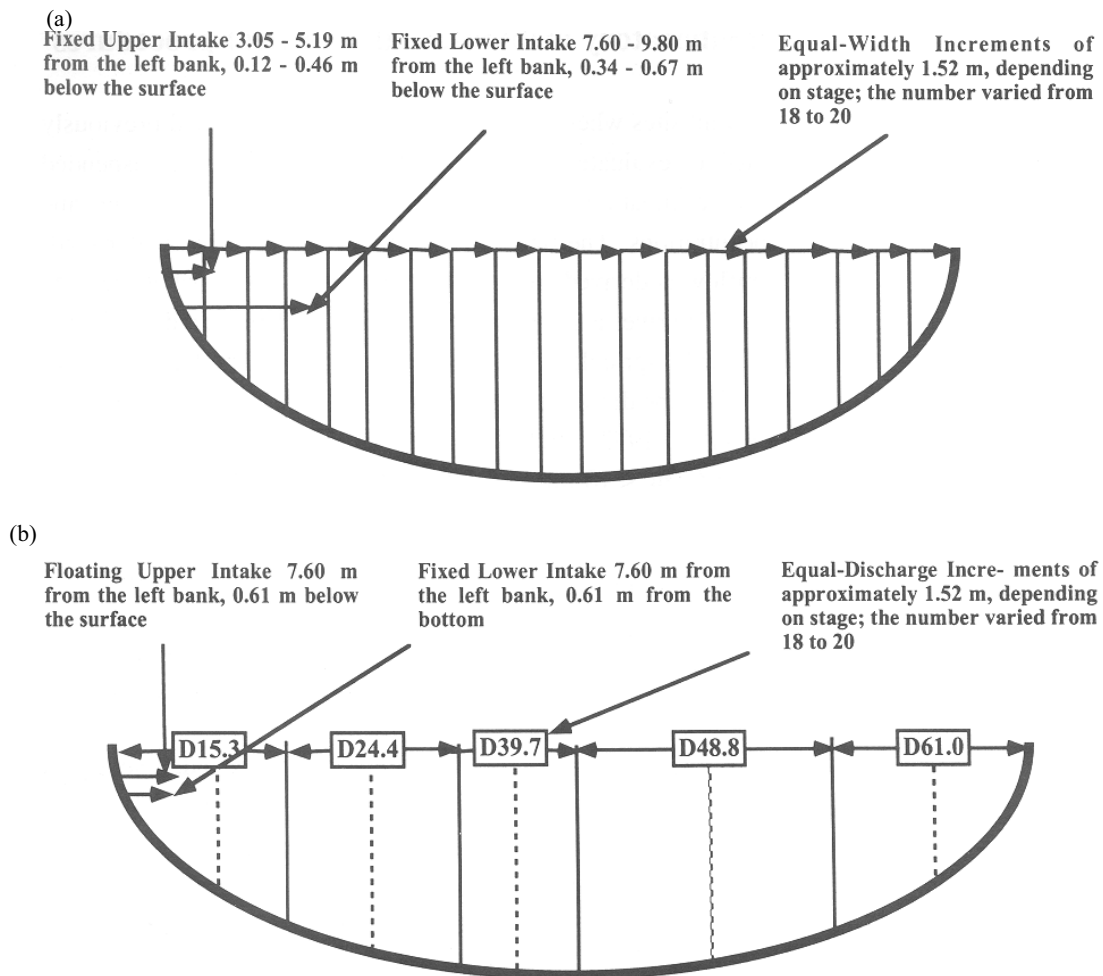
- **Meetposten:** Deze methode werd uitgetest op:

- Arkansas River te Portland Colorado
- Chattahoochee River te Fairburn Georgia

- **Monstername:**

- diepte- en breedte-geïntegreerde monsters worden genomen ofwel met de EWI-methode (Arkansas river, 18 tot 20 vertikalen) ofwel met de EDI-methode (Chattahoochee River, 5 vertikalen) (zie ook punt 7.4.3.3) (zie Figuur 3.2).
- In de meeste gevallen werd elke verticale meerdere malen, opeenvolgend, bemonsterd, om de nodige hoeveelheid sediment te bekomen. Gelijktijdig, of bijna gelijktijdig werden ook puntmonsters genomen, gebruikmakend van een verscheidenheid aan pompen, op 2 verschillende dieptes in het water.
- De punt en diepte-en-breedte geïntegreerde monstervolumes gingen van 40 tot 70 liter.
- Tijdens de monstername werd de peilhoogte vastgelegd door automatische peilmeters en werd aldus omgezet tot debiet.

Figuur 3.2: Het bemonsteringsschema dat gebruikt werd op de Arkansas rivier te Portland, Colorado (a) en de Chattahoochee Rivier te fairburn, Georgia (b), om de automatische sampler te evalueren.



- Statistische procedures:

- Opeenvolging van lineaire regressie vergelijkingen werden berekend voor elk afzonderlijke set van monsters van de 2 rivieren nadat de data gelogaritmeerd waren.
- Wanneer uiteindelijk een doos-vergelijking opgesteld was, werd er nagegaan hoe dicht de modellen de gemeten concentratie aan sediment in suspensie benaderen.

- Ontwikkeling van het model:

- Er werd een empirische vuistregel gehanteerd: de monsters die gebruikt worden om tot vergelijkingen te komen moeten op zijn minst 90% van de range van de jaarlijkse debietspreiding bedragen.

De Arkansas rivier werd initieel met één puntsampler bemonsterd van mei tot augustus 1989. Die periode was echter niet representatief voor de site. De vergelijkingen misten zowel de hoge als de lage pieken van het debiet van dat jaar. Met toevoeging van resultaten van hoge en lage concentraties kwam men tot een robuuster set van vergelijkingen. Deze bevestigden dat de site niet karakteriseerbaar was door een enkele punt-sampler.

Dit betekent dat er lange-termijn debietgegevens van een site moeten zijn, voor er regressievergelijkingen opgesteld worden

- Vor de Chattahoochee River werd eerst de afvoertijdsreekd van de laatste tien jaar bekeken om dan 30 monsterparen te nemen om vergelijkingen mee op te stellen. Deze werden genomen in een periode van zeven maand.
- De regressievergelijkingen voor beide rivieren waren niet omruilbaar. Misschien is dit wel mogelijk voor meerdere punten in 1 rivier maar nomaliter zijn de curves specifiek per site.

- Gebruik maken van automatische samplers ter inschatting van het sedimenttransport:

- Ten eerste moeten er acceptabele regressievergelijkingen zijn opgesteld die het puntmonster relateren aan de diepte-en-breedte geïntegreerde concentratie aan gesuspendeerd sediment
- De vraag is natuurlijk hoe vaak er moet gesampeld worden en hoe de monstername moet worden getriggerd? De meest pragmatische oplossing is monstername bij een vastgesteld interval. De frequentie van bemonstering is dan hoog en dit stelt een financieel probleem vanwege de frequente verplaatsingen voor ophalen van de stalen en vanwege de laboratoriumkosten.
- De oplossing kan gerealiseerd worden door composietmonsters te verzamelen.
 - De mogelijkheden om composietmonsters automatisch te kunnen verzamelen worden bepaald door 1) de flexibiliteit van de automatische samplers die gebruikt worden (de individuele monsterhoeveelheid, het totale maximale monstervolume, ...) en 2) de tijdsperiode gedurende dewelke de composietmonsters bewaard kunnen blijven alvorens ze opgehaald moeten worden om geanalyseerd te worden.
 - Er wordt een monsternameschema opgemaakt:
De sampler wordt geprogrammeerd zodat hij om het uur 100 ml bemonstert. Wanneer de sampler volledig gevuld is, betekent dit een composiet monster van 24 l, dat 10 dagen van het jaarlijkse hydrogram vertegenwoordigd. Zodoende moet men dus 36 maal per jaar de monsters gaan halen. Elk van deze monsters wordt afzonderlijk geanalyseerd. De punt-data worden omgezet tot dwarsdoorsnede data door het toepassen van de juiste regressie vergelijkingen. Op het einde van het jaar wordt elk composietmonster gelieerd aan de afvoer in de staalnamaperiode.
Uiteindelijk, wanneer men de bijdragen van elk composiet optelt, kan men een schatting maken van het jaarlijks transport van het sediment in suspensie.

3.4 Besluit

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke methodes meest gangbaar zijn voor de meting op het terrein van de suspensielading. Op deze technieken wordt in dit werk uitvoerig ingegaan. De methode met de automatisch verzamelde puntmonsters heeft potentieel om de huidige metingen voor het sedimentmeetnet van WLH aan te vullen of drastisch te verbeteren.

Uit alle bestudeerde literatuur blijkt dat de studie van suspensietransport complex is, moeilijk te kalibreren is en best gebeurt door combinatie van een aantal methodes. Die combinatie geeft meestal drastische verschillen aan die niet allemaal fysisch begrepen worden en dikwijls van zeer lokale factoren afhankelijk zijn.

Uit de literatuur kan men ook begrijpen dat het opzetten van een sedimentmeetnet niet kan terugvallen op procedures die overal haalbaar zijn. Elk meetnet moet afhankelijk van de lokale

omstandigheden worden opgebouwd. Er moet rekening worden gehouden met grote fouten op de ingeschatte jaardebieten van getransporteerd sediment.

Er moet ook rekening worden gehouden met een grote kostprijs door het noodzakelijke onderhoud van de terreininfrastructuur, door de regelmatige staalnames, de langdurige kalibratiemethode.

Eén methode werd gedetailleerd uitgewerkt. Deze was gebaseerd op het bepalen van de jaarlijkse sedimentfluxen met behulp van automatisch opgepompte puntmonsters.

4 Doelstelling en ontstaansgeschiedenis van het sedimentmeetnet

To a scientist, a thought experiment is an argument
that you can run through in your head,
after which you understand what's going on so well
that there's no need to do a real experiment,
which is of course a great saving in time and money
and prevents you from getting embarrassingly inconvenient results.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

De afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek (WLH) werd, als gevolg van een nota van 7-4-1998 van de minister van openbare Werken, Vervoer en Ruimtelijke Ordening, de opdracht gegeven een sedimentmeetnet uit te bouwen op de overgangen van de onbevaarbare naar de bevaarbare waterlopen.

Deze afdeling van de administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ) behoort bij het departement Leefmilieu en Infrastructuur (LIN) van het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Sinds 1 januari 2001 behoort exploitatie van het sedimentmeetnet bij het Hydrologisch Informatiecentrum (HIC) van deze afdeling. Daarnaast bestudeert deze afdeling erosie, sedimenttransport en sedimentatie in de Schelde en op zee ter ondersteuning van effectieve en efficiënte baggerwerkzaamheden in de vaargeulen en de havens, en ter ondersteuning van de uitbouw van allerlei infrastructuur zoals havens, dokken, kustverdediging, enzovoort. De kennis van de morfologische veranderingen te wijten aan natuurlijke en door de mens geïnduceerde processen heeft aldus ook economisch en ecologisch belang.

De doelstelling van het sedimentmeetnet is het bepalen van het transport van vaste stoffen in suspensie met andere woorden het bepalen van de hoeveelheid sediment die jaarlijks wordt binnengesluisd in het bevaarbare gedeelte van de waterlopen, in de praktijk van het bevaarbare gedeelte van het Scheldebekken dat grotendeels aan het getij onderhevig is.

Als dusdanig kadert het project eveneens in het beleidsplan 'Sanering Waterbodembeneden-Zeeschelde'. De verstrekte gegevens moeten dienen voor het opstellen van de slibbalansen voor het bekken van de Beneden-Zeeschelde.

Tevens zijn zij een hulpmiddel voor het opstellen van de Bekkenbeheersplannen en de Lange Termijnvisie (LTV) voor de Schelde. Fijn suspensiemateriaal draagt mogelijk verontreiniging. De kennis van het sedimenttransport is dus ook nuttig voor het management van de waterkwaliteit en de kennis zal in het kader van de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water van belang zijn.

Als dusdanig leveren deze metingen nuttige informatie aan de administratie Waterwegen en Zeewezen (afdeling Maritieme Schelde) en de administratie Milieu, Natuur-, Land- en Waterbeheer AMINAL (afdeling Water).

5 Lokalisering

Students arrive from school confident that they know very nearly everything, and
they leave years later certain that they know practically nothing.

Where did the knowledge go in the mean time?
Into the university of course, where it is carefully dried and stored.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt eerst een korte beschrijving gegeven hoe een sedimentmeetpost er uit hoort te zien en aan welke gebruikers- en installatiecriteria voldaan moeten zijn.

Vervolgens wordt overgegaan tot een uitvoerige beschrijving van elke meetpost. Hiervoor wordt besproken welke toestellen aanwezig zijn en wanneer deze in gebruik genomen zijn.

Daarnaast wordt voor elke meetpost ook kort het karakter van elk bekken besproken.

5.2 Korte beschrijving van een meetpost en de installatiecriteria

De criteria die werden gehanteerd voor de installatie van de meetposten waren:

- Er werd een representatieve rivier gezocht zodat met zo weinig mogelijk meetposten de sedimentflux in het getijdengebied van de Schelde kan gemeten worden.
- De meetpost moest gemakkelijk toegankelijk zijn voor onderhoud en bijkomende debietmetingen, dus dikwijls ter hoogte van een brug.
- De locatie moest de mogelijkheid bieden om, zonder excessieve kosten, aansluitingen op het laagspanningsnet, de telefoon of het glasvezelnet te realiseren.
- De meetpost moet in de onmiddellijke omgeving liggen van een limnigraaf of andere infrastructuur ter meting van waterpeil en/of debiet.
- De meetpost moest langs een rechtlijnig verlopend deel van de rivier gesitueerd worden.

Een meetstation bestaat in essentie uit een automatische pompsampler, een turbiditeitsmeter, en datacaptatiemateriaal wat in essentie neerkomt op een datalogger en een computer om deze data uit te lezen.

Daarnaast werd de locatie van alle sedimentmeetposten uitgekozen in de buurt van een limnigraafmeetpost, zodat er ook altijd een limnigraaf op de sedimentmeetpost te vinden is.

Er zijn ook twee geleidingsrails geplaatst waarlangs de sonde van de turbiditeitsmeter en het opzuigstuk van de sampler in het water gelaten kunnen worden en terug opgehaald worden voor onderhoud.

De sedimentsampler wordt in de meeste gevallen in een houten voetpadkast geplaatst. Hierdoor is de sampler beschermd tegen eventueel vandalisme en tegen het weer.

De turbiditeitsmeter en de datalogger worden in een speciale meetkast geplaatst.

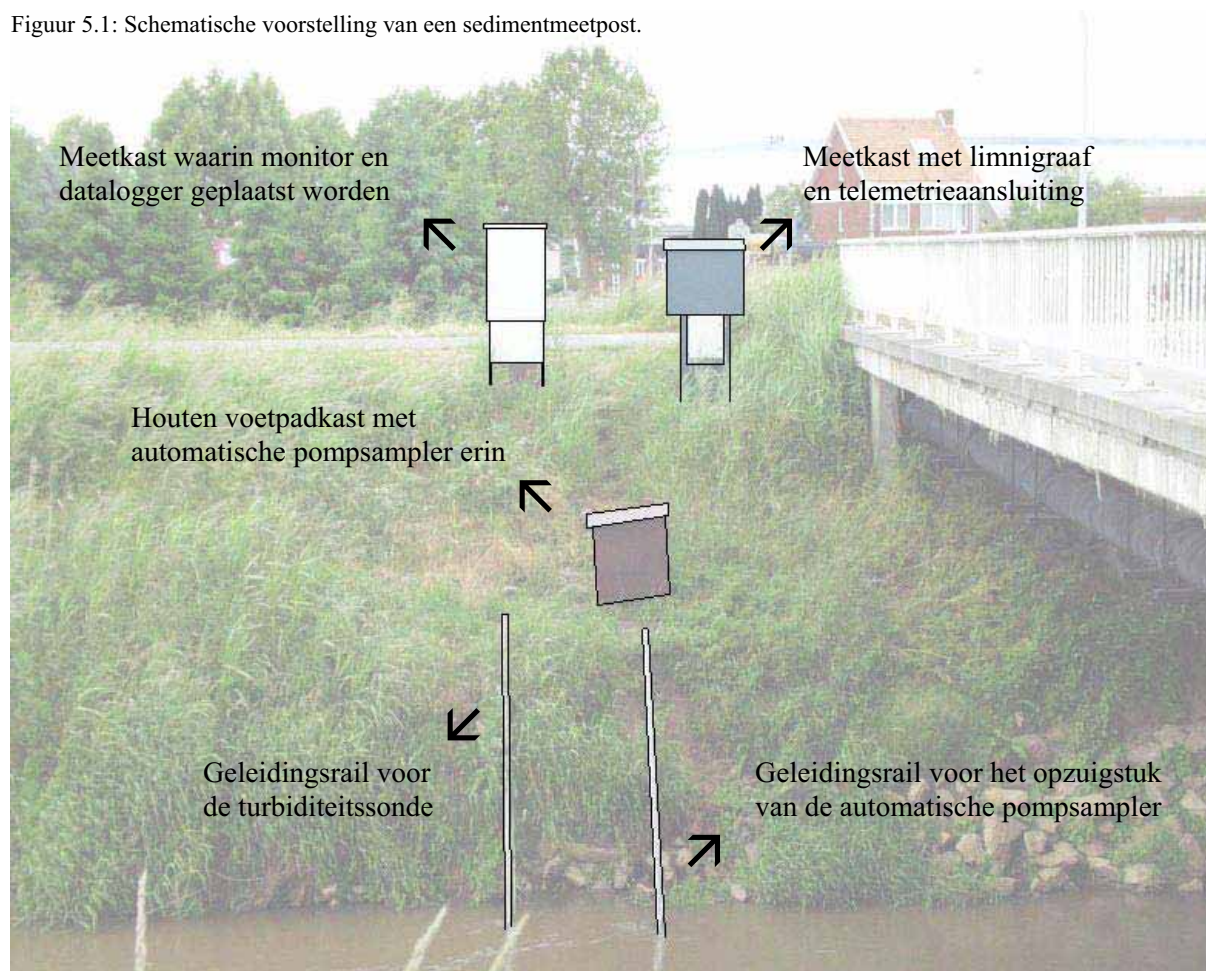
Een schematische voorstelling van een sedimentmeetpost wordt gegeven in Figuur 5.1.

Hoewel dit op dit moment nog niet gebruikt wordt bij de sedimentmeetposten, bestaat ook de mogelijkheid om de turbiditeitsmeter via telemetrie af te lezen, waardoor de datalogger en de computer overbodig worden.

5.3 Locaties

Figuur 5.2 toont de inplanting van 7 van de 8 bestaande meetposten in het hydrologisch bekken van de Westerschelde. De achtste meetpost, te Geel-Zammel, is hier nog niet op aangebracht omdat deze slechts recentelijk geplaatst is.

Figuur 5.1: Schematische voorstelling van een sedimentmeetpost.



5.3.1 *Kleine Nete te Grobbendonk*

Identificatienummer: 052 101 36

Op 3 februari 1999 werd de eerste sedimentmeetpost ingericht aan de Troonstraatbrug over de Kleine Nete te Grobbendonk. De exacte lokalisatie is bijgevoegd in [Bijlage 1](#). Een meetkast (zie Figuur 5.3) werd geplaatst op de linkeroever, vijf meter afwaarts van de brug. Hierin werd een monitor en een datalogger en ondergebracht. Sinds maart 2000 werden de batterijen vervangen na aansluiting op het laagspanningsnet en werd ook de monitor hieraan aangepast.

Twintig meter stroomafwaarts werd een geleidingsrail geplaatst waarlangs de meetsonde in het water gelaten wordt.

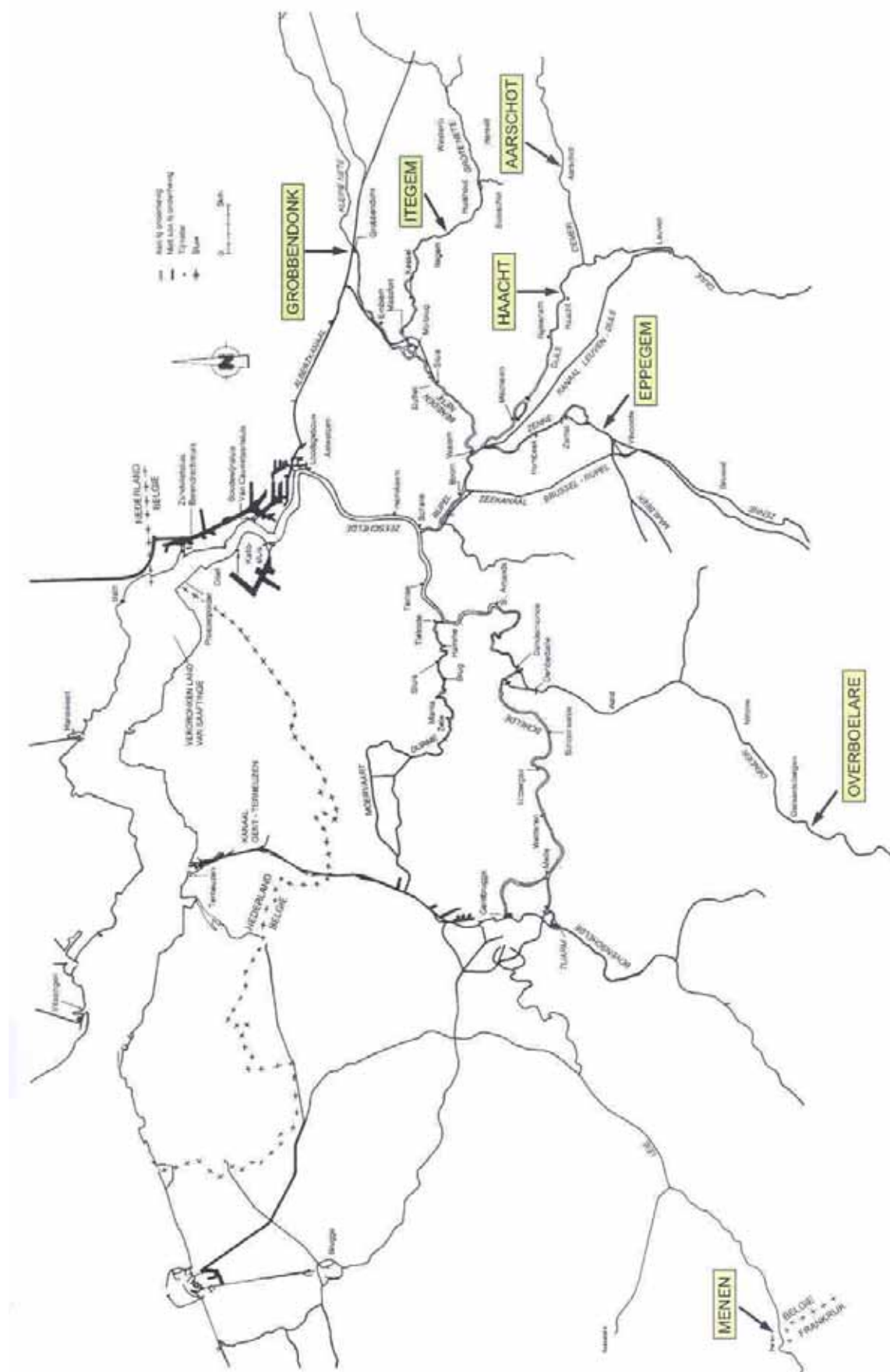
Twee meter stroomafwaarts werd eenzelfde geleidingsrail geplaatst voor het opzuigstuk van de pompsampler. Dit apparaat werd ter plaatse in de houten voetpadkast ondergebracht.

De automatische pompsampler functioneerde één jaar en werd weggehaald op 10 maart 2000. Hij werd echter teruggeplaatst op 29 juli 2002 en is tot op heden actief.

De Kleine Nete draineert stroomopwaarts van de meetpost een bekken van 590km² en voert tussen 1 en 50 m³/s water af wat gepaard gaat met waterpeilvariaties tot 2 meter. Piekdebieten komen vooral voor in de winter en occasioneel bij hevige zomeronweders.

De meetpost situeert zich buiten de invloed van de getijden en het bekken van de Kleine Nete wordt relatief weinig beïnvloed door grote stedelijke agglomeraties.

Figuur 5.2: Inplanting van 7 van de 8 bestaande meetposten in het hydrologisch bekken van de Westerschelde. De achtste meetpost, te Geel-Zammel, is hier nog niet op aangebracht.



Het Netebekken draineert in essentie een zandig gebied, maar het heeft bronnen in het noordelijke deel van de Antwerpse Kempen waar de kleiige formatie van de Kempen voorkomt. Deze vormt een bron voor slib. Daarnaast vervoert de Nete ook grote hoeveelheden aan ijzerhydroxiden, die na oxidatie omgezet worden tot ijzervlokken die in suspensie meegevoerd worden. Overigens mag invloed van de landbouw worden verwacht.

Figuur 5.3: Meetkast te Grobbendonk, rechts van de limnigraafkast (a) waarin in het bovenste deel van de kast de monitor met digitale datalogger bevestigd en in het onderste deel de elektriciteitsmeter met hoofdzekering (b).



5.3.2 Zenne te Eppegem

Identificatienummer: 171 101 36

Op 25 februari 1999 werd de tweede meetpost ingericht aan de brug van de Brusselse Steenweg over de Zenne te Eppegem. De exacte lokalisatie is bijgevoegd in [Bijlage 2](#).

Hier werd de meetkast met monitor en datalogger geplaatst op de rechteroever, ongeveer acht meter stroomafwaarts van de brug. Ook hier werd de installatie op batterijen vervangen in december 2000 door aansluiting op het laagspanningsnet. De monitor werd dan eveneens vervangen.

Op dezelfde plaats werd een geleidingsrail voor de meetsonde geplaatst. Aan de stroomopwaartse zijde van de meetsonde werd een gebogen plaat bevestigd in een poging om de grove vervuiling af te leiden (zie Figuur 5.4).

Figuur 5.4: Rond de sonde is een speciale beschermkap geconstrueerd om de sonde zoveel mogelijk te beschermen tegen voorbijrijvend vuil, om zo de meting zo min mogelijk te verstoren.



Twee meter stroomopwaarts van dit punt werd een geleidingsrail geplaatst voor het opzuigstuk van de sampler. Dit werd eveneens ondergebracht in een houten kast.

De automatische sampler werd daar weggehaald op 20 maart 2000. Hij werd tot heden niet teruggeplaatst.

De Zenne draineert stroomopwaarts van de meetpost een bekken van 1083,6 km² en voert tussen 5 en 50 m³/s af en ter hoogte van de meetpost vertaalt zich dit in peilverschillen van de orde van 3 meter. Piekdebieten komen vooral voor in de winter en occasioneel bij hevige zomeronweders. De meetpost situeert zich buiten de invloed van de getijden.

Het Zenne bekken draineert in essentie een zandig gebied (Zenne Groep, met de Formatie van Lede en de Formatie van Brussel) en de Zenne voert dus het gehele jaar door grote hoeveelheden suspensiemateriaal af.

De 'sedimentlading' wordt echter in grote mate beïnvloed door de afvoer van slib uit de omgeving van Brussel. De Zenne stroomafwaarts van Brussel is op dit moment, gezien de geringe waterzuivering in Brussel, erg vervuild. De metingen van het sediment worden in belangrijke mate gehinderd door "zwerfvuil".

5.3.3 *Dijle te Haacht*

Identificatienummer: 091 101 36

Op 8 april 1999 werd de derde meetpost ingericht ter hoogte van de getijmeetpost van de afdeling 'Maritieme Schelde', gelegen 100 meter stroomopwaarts van de Haachtbrug te Haacht. Deze meetpost bevindt zich op de linkeroever. De lokalisatie exacte van deze meetpost is bijgevoegd in [Bijlage 3](#). In de cabine van de afdeling 'Maritieme Schelde' wordt een monitor geschikt voor 24 V DC, een datalogger en een set batterijen ondergebracht (zie Figuur 5.5).

Ter hoogte daarvan werd op de oever een geleidingsrail aangebracht voor de meetsonde en ongeveer 1 meter stroomafwaarts werd een tweede geleidingsrail, voor het opzuigstuk van de sampler, aangebracht (zie Figuur 5.6).

Deze sampler werd ondergebracht in een houten kast aan de voet van de cabine op de oever. De sampler werd weggehaald op 10 juli 2000 en werd nog niet teruggeplaatst.

Deze meetpost is niet helemaal onafhankelijk van de getijdeninvloed. De getij-amplitude is zeer beperkt en stroomopwaartse aanvoer van sediment zal niet zo belangrijk zijn.

De Dijle te Haacht kent zijn oorsprong in het leemgebied (wat betreft het Dijle Bekken) enerzijds en in het opwaartse, dominant zandige gebied van de Demer. Waterpeilschommelingen van de orde van 2,5 meter komen voor en zorgen ervoor dat de Dijle te Haacht van 15 tot 100 m³/s water kan afvoeren.

Figuur 5.5: Op de meetpost te Haacht werd er gebruik gemaakt van de bestaande infrastructuur (van de 'Maritieme Schelde') om de turbiditeitsmeter te plaatsen. In de cabine (a) werd naast de getijdemeter de monitor (b) bevestigd. Daar er geen elektriciteit aanwezig is, werd er gebruik gemaakt van een toestel werkend op 24 V. Als stroomvoorziening gebruiken we 4 in serie geschakelde batterijen van 6V elk (c). Deze werden in de rechterhoek van de cabine geplaatst. Om de 3 weken worden deze omgeruild met een opgeladen stel batterijen.

(a)



(b)



(c)



Figuur 5.6: De geleidingsrails voor de sonde en de sampler werden met roestvrije buizen aan de schuine kant van de oever vastgemaakt.



5.3.4 Leie te Menen

Identificatienummer: 386 801 36

Op 22 september 1999 werd de vierde meetpost ingericht ter hoogte van de akoestische debietmeter (ADM) van het HIC te Menen. De exacte lokalisatie van de meetpost is bijgevoegd in Bijlage 4. De monitor werd, samen met een datalogger, ondergebracht in de cabine waar zich de uitleesapparatuur van de debietmeter zich bevindt (zie Figuur 5.7). Deze cabine bevindt zich op de rechteroever, ongeveer 220 meter stroomafwaarts van de brug van de Rijselstraat over de Leie, aan de Oostkaai.

Figuur 5.7: De troebelheidsmeter werd in de cabine van het HIC ondergebracht, waar zich ook de uitleesapparatuur van de akoestische debietmeter bevindt (a). De monitor, samen met datalogger, werd op houten staander bevestigd en naast de PC van de debietmeter op de tafel gezet (b).

(a)



Figuur 5.7 (b)



De beide geleidingsrails werden verticaal aan de kaaimuur, in een trapopening, 30 meter stroomopwaarts van de cabine aangebracht. De sampler werd ter plaatse ondergebracht in een houten kast (zie Figuur 5.8).

Figuur 5.8: De sampler werd ondergebracht in een houten kast, ter bescherming tegen de weersinvloeden en vandalisme.



De sampler werd weggehaald op 5 september 2001 en werd niet teruggeplaatst.

De Leie te Menen kan tot 170 m³/s water afvoeren wat inhoudt dat de variaties in peilstanden kunnen oplopen tot 1,5 meter. Piekdebieten komen vooral voor in de winter en ook occasioneel in geval van hevige zomeronweders. De afvoer kan echter in belangrijke mate door de mens beïnvloed worden in Frankrijk, door middel van sluizen. Daarbij voert de Leie water en sediment af naar de Schelde en naar

de Aa. Het is daarbij onmogelijk te bepalen wat de exacte hoeveelheden zijn die naar elke rivier worden afgevoerd. Ook stroomafwaarts komt infrastructuur voor die in belangrijke mate de afvoersnelheid kan beïnvloeden.

De Leie snijdt allerhande sedimentaire gebieden aan, gaande van leem, over klei (Ieperse klei) tot zandige Quartaire en Tertiaire afzettingen.

5.3.5 Grote Nete te Itegem

Identificatienummer: 071 101 36

Op 9 maart 2000 werd de vijfde meetpost ingericht ter hoogte van de getijmeetpost van de afdeling 'Maritieme Schelde', gelegen 20 meter stroomopwaarts van de Baanbrug te Itegem. Deze meetpost bevindt zich op de rechteroever. De exacte lokalisatie van de meetpost is bijgevoegd in [Bijlage 5](#). Een monitor en een datalogger werden in de cabine van de afdeling 'Maritieme Schelde' ondergebracht (zie Figuur 5.9).

Figuur 5.9: De toestellen van het sedimentmeetnet, zowel de monitor als het staalname-apparaat, werden in de cabine van de Maritieme Schelde geplaatst.



Ter hoogte daarvan werd op de oever een geleidingsrail aangebracht voor de meetsonde en ongeveer 2 meter stroomafwaarts werd een geleidingsrail voor het opzuigstuk van de sampler aangebracht. Deze werd eveneens ondergebracht in de cabine (zie Figuur 5.10).

De sampler werd weggehaald op 1 januari 2002 en is teruggeplaatst op 22 juli 2002. Hij is tot op heden actief.

Het Bekken van de Grote Nete draineert stroomopwaarts van de meetpost 550,2 km². Het brongebied is in essentie zandig. De Grote Nete voert tussen de 3 en 25 m³/s af wat overeenkomt wat waterpeilvariaties tot 2 meter. Piekdebieten komen vooral voor in de winter en occasioneel bij hevige zomeronweders.

Het brongebied van de Grote Nete is in essentie zandig. Daarbij is de Grote Nete ook zeer sterk onderhevig aan zeer sterk ijzerhoudende kwel. Dit ijzerhoudend water is afkomstig van het grondwater dat door het glauconiethoudend zand van Diest stroomt. Door deze ijzerhoudende kwel worden er veel ijzerhydroxiden in de Grote Nete gebracht die daar oxideren en ijzervlokken vormen die gemakkelijk

stoffen adsorberen. Deze vlokken worden meegevoerd als sediment in suspensie tot ze uiteindelijk bezinken wanneer de stroomsnelheid te sterk daalt.

Figuur 5.10: De rails (a) voor de sonde (b) en het aanzuigstuk (c) van de sampler werden ook hier met roesvrij staal in de oever vastgemaakt.

(a)



(b)



(c)



5.3.6 *Dender te Overboelaere*

Identificatienummer: 268 801 36

Op 29 maart 2000 waren werken voor de installatie van de akoestische debietmeter te Overboelaere zo ver gevorderd dat een sampler kon worden geïnstalleerd. Dit apparaat werd ondergebracht in een houten kast op ongeveer 70 meter van de Majoor Van Lierdenbrug, aan de linkeroever (zie Figuur 5.11). De exacte lokalisatie van de meetpost is bijgevoegd in Bijlage 6. Deze ligt stroomopwaarts van Geraardsbergen, maar stroomafwaarts van de samenvloeiing van de Dender met de Mark en met de Sille.

Figuur 5.11: Het staalname-apparaat werd in een houten kast geplaatst op de oever juist naast de loopbrug.



Een geleidingsrail voor het opzuigstuk werd verticaal aangebracht aan het staketsel voorzien voor het plaatsen van de transducers van de debietmeter. Tegelijkertijd werd reeds de geleidingsrail voor de meetsonde geplaatst. Deze bevinden zich op 5 meter van de kaaimuur.

Daar er op dat ogenblik nog geen spanning voorhanden was in de cabine van de debietmeter, werd er besloten te wachten met het plaatsen van een monitor tot deze werken zouden zijn uitgevoerd.

Het plaatsen van de monitor (220 V AC) en datalogger werd uitgevoerd op 6 maart 2001.

De sampler werd weggehaald op 3 juli 2002 en werd tot op heden niet teruggeplaatst.

De Dender draineert stroomopwaarts van de meetpost een gebied van 552,2 km² en voert tussen 4 en 70 m³/s water af wat gepaard gaat met waterpeilvariaties tot 3 meter. Piekdebieten komen vooral voor in de winter en occasioneel bij hevige zomeronweders.

Stroomopwaarts kan men invloed van landbouw verwachten in de sedimentafvoer, maar ook invloed van de mens op stedelijk en industrieel gebied. De sedimentlading zal voornamelijk leemig en zandig zijn.

5.3.7 *Demer te Aarschot*

Identificatienummer: 122 101 36

Op 10 juli 2000 werd de zevende meetpost ingericht ter hoogte van de limnigraaf van het HIC aan de brug van de Industrielaan over de Demer in Aarschot. Hier werd een meetcabine geplaatst stroomafwaarts op vijf meter van de brug, op de rechteroever. Hierin werden een monitor geschikt voor 24 V DC, een datalogger en een set batterijen ondergebracht. De exacte lokalisatie van de meetpost is bijgevoegd in [Bijlage 7](#).

Op deze hoogte werd op de oever ook een geleidingsrail geplaatst, waarlangs de meetsonde in het water kan gelaten worden (zie Figuur 5.12).

Eén meter stroomopwaarts werd een tweede rail geïnstalleerd voor het opzuigstuk van de sampler. Deze werd ondergebracht in een houten kast (zie Figuur 5.13).

De sampler werd weggehaald op 1 januari 2002. Hij werd tot op heden niet teruggeplaatst.

Figuur 5.12: Van op de brug ziet men duidelijk de twee rails in de schuine kant van de oever staan, onderaan de foto ziet men de rail met het aanzuigstuk van het staalname-apparaat, er boven de geleidingsrail voor de sonde.



Figuur 5.13: Het staalname-apparaat is ondergebracht in een houten kast. Men ziet hier het reservoir, met de 24 flessen, en daar boven het gedeelte met de elektronische stuureenheid.



De Demer draineert stroomopwaarts van de meetpost een gebied van 2163,3km² en voert tussen 9 en 60 m³/s water af wat gepaard gaat met waterpeilvariaties tot 3 meter. Piekdebieten komen vooral voor in de winter en occasioneel bij hevige zomeronweders. De meetpost situeert zich buiten de invloed van de getijden. Hij bevindt zich echter wel stroomafwaarts van Aarschot, wat inhoudt dat deze stad enige beïnvloeding kan geven op het sedimenttransport.

Stroomopwaarts wordt de Demer vooral gekenmerkt door lemige en zandige bodems. Hierbij moet men rekening houden met het feit dat de meetpost dan wel stroomopwaarts van de samenvloeiing van de Demer met de Dijle gesitueerd is maar niet stroomopwaarts van de samenvloeiing van de Demer met een heleboel kleine rivieren zoals de Zwartebeek, de Stiemerbeek, de Herk en de Gete. De sedimentlading is dus afkomstig uit een groot en uitgewaaierd gebied, waar onder andere aan landbouw gedaan wordt.

De Demer draineert een gebied dat gekenmerkt is door een grote erosiepotentiaal. Dit is voornamelijk te wijten aan de lemige opbouw van de bodem.

5.3.8 Grote Nete te Geel-Zammel

Identificatienummer: 076 101 36

Op 9 augustus 2002 werd de tweede meetpost ingericht aan de Veerlese Weg ter hoogte van de Zammelse brug over de Grote Nete te Geel-Zammel. Hier werd een voetpadkast geplaatst ongeveer acht meter stroomafwaarts van de brug. Daarin werd een sampler geplaatst. Op de brug werd gebruik gemaakt van de reeds aanwezige infrastructuur van het limnigrafenmeetnet om de monitor te plaatsen in de kast.

Op de oever werd ook een geleidingsrail geplaatst, waarlangs de meetsonde in het water kan gelaten worden.

Eén meter stroomopwaarts werd een tweede rail geïnstalleerd voor het opzuigstuk van de sampler. De sampler is tot op heden actief.

Het Bekken van de Grote Nete werd reeds eerder beschreven in punt 5.3.5.

5.4 Besluit

Voor de meeste meetstations zijn continue turbiditeitsmetingen beschikbaar en sedimentmetingen gedurende één jaar. Daarnaast zijn er op de meeste plaatsen ook gemiddelde uurwaterstanden beschikbaar, en op sommige posten zelfs continue debietmetingen. De Q/H verbanden zijn gekend voor elke meetpost.

De meetposten liggen allen buiten de getij-invloed, met de uitzondering van de meetpost te Haacht.

Het sedimentmeetnet vat de belangrijkste bijrivieren voor de Schelde. Wat ontbreekt is een meetpost op de Schelde zelf (bijvoorbeeld stroomopwaarts van Oudenaarde of stroomafwaarts van Zingem waar men de Zwalm en de Marke, twee belangrijke beken uit de Vlaamse Ardennen, met een grote aanvoer van leem, mee in rekening kan brengen).

De meetpost op de Leie geeft eigenlijk aan hoeveel sediment er uit Frankrijk België binnenkomt. De aanvoer van de Mandel is er niet bij inbegrepen.

De eigenlijke hoeveelheid die gezien de situatie in Gent en gezien het afleidingskanaal echt in de Schelde terechtkomt is hierdoor niet te begroten. De lokalisatie van de meetpost op de Leie is dus ongelukkig gekozen in het kader van het sedimentmeetnet. Een meetpost te Gentbrugge, of eventueel Merelbeke, zou hiervoor een betere keuze zijn en moet overwogen worden.

De aanwezigheid van meerdere stations op de Nete zal toestaan om in te schatten hoe het sediment zich verplaatst. Tevens kan ook het sedimenttransport vanuit de Demer en de Dijle ingeschat worden, hun brongebieden zijn immers variabel.

6 Methodes en instrumenten

Cahn's Axiom:

When all else fails, read the instructions.

Murphy's Law

6.1 Inleiding

De hoeveelheid sediment die de dwarsdoorsnede van de rivier passeert, wordt op elke meetplaats op twee verschillende manieren gemeten.

- Ten eerste heeft men sedimentsamplers ter plaatse die monsters oppompen waarvan naderhand in het laboratorium de concentratie aan sediment in suspensie bepaald wordt.
- Ten tweede maakt men gebruik van turbiditeitsmeters die rechtstreeks in het water, om de 2 minuten, de troebelheid 'inlezen'.

Er werd geopteerd om de twee methodes in dit hoofdstuk erg grondig te bespreken. Ook de instrumentaria worden tot in de details belicht. De reden hiervoor is dat dit eindwerk ook als naslagwerk moet dienen voor het WLH.

6.2 De samplermethode en instrumenten

6.2.1 De methode

Een automatische sampler wordt geprogrammeerd om elke zeven uur een monster van ongeveer 900 ml op te pompen. Na één week worden de (24) stalen opgehaald en geanalyseerd in het laboratorium. Deze analyses omvatten een filtratie om de concentratie aan zwevende deeltjes in het water te bepalen en troebelheidsmetingen met twee verschillende types toestellen (turbiditeitsmeters).

6.2.2 De sampler

Het SIGMA 900 staalname-apparaat is een automatische sampler die geprogrammeerd kan worden om een monster te nemen op vooropgestelde tijdstippen of op tijdstippen getriggerd door het bereiken van een bepaalde peilhoogte. Het WLH heeft geopteerd voor een tijdgestuurde staalname althans in de periode van de kalibratie.

Het bovenste deel van het staalname-apparaat bestaat uit de programmeermodule, de pomp en de oplaadbare batterij. Het wordt afgesloten door een beschermkap.

Het onderste gedeelte van het staalnameapparaat bestaat uit het reservoir met 24 flessen van elk één liter. Binnenin de sampler zit een verdeelarm, die ervoor zorgt dat het opgepompte staal in de juiste fles gepompt wordt (zie Figuur 6.1).

Figuur 6.1: Linksboven de beschermkap van de programmeermodule, rechts de sampler met programmeermodule, onderaan het reservoir met 24 flessen van elk 1 liter.



Het rivierwater wordt opgepompt met behulp van een darm die van de sampler naar het opzuigstuk loopt. Dit opzuigstuk wordt langs een geleidingsrail (zie ook Figuren 5.6 en 5.10) naar beneden gelaten.

6.2.3 De laboratoriumtesten en –instrumenten

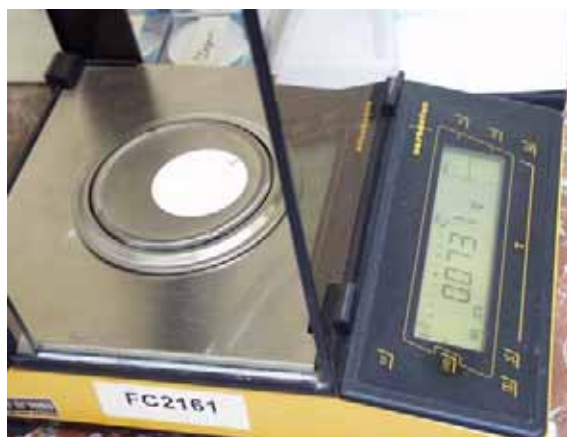
6.2.3.1 Filtratie

Per staal wordt 100 ml gefiltreerd met behulp van een filter van het type HAWP 04700 (Millipore) met een poriëndiameter van 0,45 μm .

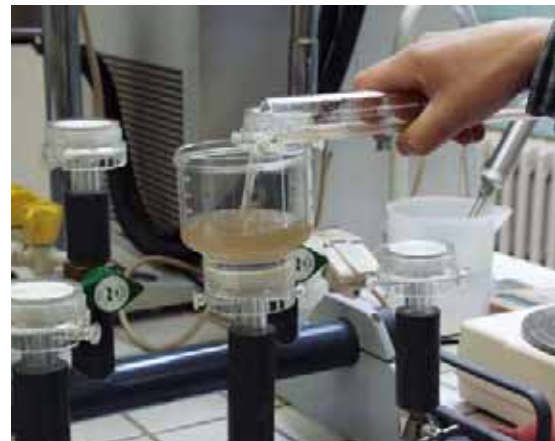
De filter wordt vóór de filtratie gewogen. Vervolgens wordt 100 ml van het staal op de filter gegoten en aan de onderzijde met behulp van een vacuümpomp weggezogen. De aanwezige sedimentdeeltjes blijven hierdoor achter op de filter. Deze wordt na droging opnieuw gewogen, en het verschil tussen de lege en de met sediment beladen filter geeft ons het gewicht aan sediment per 100 ml. De concentratie aan sediment in het staal in mg per liter wordt hieruit afgeleid (zie Figuur 6.2).

Figuur 6.2: De meegebrachte stalen worden op het labo verder geanalyseerd. Eerst worden ze gefiltreerd om de hoeveelheid zwevende deeltjes te bepalen. Hiervoor wegen we eerst een lege filter (met een porie grootte van 0,45 μm) (a). Hierna wordt er een afgemeten hoeveelheid, van 100ml, water op de filter gegoten en met een vacuümpomp aan de onderzijde weggezogen. Hierdoor blijven de aanwezige deeltjes op de filter achter (b). Na droging wordt de filter terug afgewogen, het verschil tussen de lege en de vervuilde filter geeft ons de hoeveelheid materiaal, in mg/l, aanwezig in het water (c)

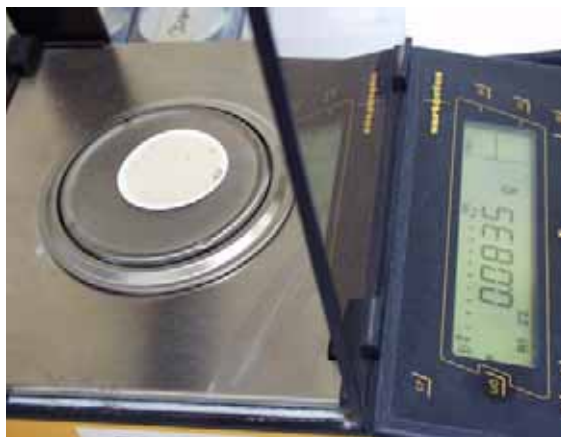
(a)



(b)



(c)



6.2.3.2 De troebelheidsmetingen

Vervolgens wordt de rest van het staal gebruikt om de troebelheid te bepalen met behulp van twee verschillende turbiditeitsmeters.

Ten eerste bepaalt men de troebelheid aan de hand van het draagbare toestel van Analite (type 152). Vervolgens gebruikt men ook het laboratoriumtoestel type 2100AN van het merk Hach (zie Figuur 6.3).

Beide toestellen meten de troebelheid in NTU (Nephelometric Turbidity Units).

Figuur 6.3: De troebelheid per staal wordt gemeten met het draagbare toestel van Analite type 152 (a) en met het labo toestel van het merk Hach type 2100AN (b).

(a)



(b)



6.2.4 Verwerking

De uiteindelijk verkregen concentraties worden gecorrigeerd aan de hand van een te bepalen dwarsdoorsnede correctiefactor (zie punt 7.4) zodat de concentraties niet deze ter hoogte van het aanzuigpunt voorstellen, maar de gemiddelde concentratie die in de rivier voorbij stroomt op dat moment.

Om uiteindelijk het sedimenttransport, en dan nog meer bepaald het suspensie transport te berekenen, moet de verkregen concentratie nog vermenigvuldigd worden met het gemiddelde waterdebiet dat op dat moment door de rivier stroomde.

In de praktijk worden van de gemeten (gecorrigeerde) concentraties daggemiddelden gemaakt, die dan vermenigvuldigd worden met de daggemiddelde waarden van het debiet, dat op de dichtstbijzijnde limnigraaf-meetpost werd vastgelegd.

6.3 Het meten van de troebelheid met de terreinmonitor

6.3.1 Fysische achtergrond

De fysische achtergrond van turbiditeitsmeters wordt besproken in het eindwerk van Lief Vanspringel (Vanspringel, 1998).

De optische methoden die gebruikt worden bij het meten van suspensietransport zijn gebaseerd op de verandering van een lichtsignaal dat uitgestuurd wordt in een bepaald medium. Er ontstaat dus een interactie tussen de deeltjes in suspensie en het invallende licht.

Deze interactie zal afhankelijk zijn van vele randvoorwaarden, maar vooral van de golflengte van het signaal, de grootte van de deeltjes, de hoeveelheid deeltjes en het materiaal waaruit de deeltjes bestaan. Dit fenomeen wordt onder andere omschreven met termen als verstrooiing, refractie en absorptie.

Men kan deze fenomenen niet afzonderlijk bestuderen, zodat er een algemeen verband gezocht zal worden tussen het verstrooide lichtsignaal en de concentratie aan deeltjes. Dit verband zal echter blijven afhangen van de verschillende randvoorwaarden, zodat de turbiditeitsmeter in iedere nieuwe situatie opnieuw geijkt moet worden. De problematiek van de ijking wordt verder besproken in punten 7.3.1.3 en 7.3.1.4.

De door het WLH gebruikte turbiditeitsmeters, zijn turbiditeitsmeters die werken op het principe van backscattering of verstrooiing. Refractie en absorptie worden hier dus niet behandeld.

Onderstel dat een bol van elastisch materiaal is opgehangen in lucht en dat in de buurt een golf opgewekt wordt. In het geval van de infrarode turbiditeitsmeters die worden gebruikt, is dit dus een optische golf in het infrarode spectrum. Als de golf om de bol heenloopt, vindt allereerst een buiging plaats. Bovendien wordt het boloppervlak in trilling gebracht door de drukfluctuaties die met de golf gepaard gaan. De trillingen van het oppervlak van de bol wekken op hun beurt weer nieuwe storingen op en deze worden gesuperponeerd op de oorspronkelijke golf. De totale invloed van een bol op een lichtsignaal hangt af van de grootte van de bol ten opzichte van de golflengte van het uitgestuurde licht.

Er zijn drie verschillende mogelijkheden van verstrooiing (CCRS, 2003).

- ◆ Rayleigh verstrooiing
Deze verstrooiing vindt plaats als de deeltjes zeer klein zijn in vergelijking met de golflengte van de straling. Rayleigh verstrooiing zorgt ervoor dat kortere golflengten meer verstrooid worden dan langere golflengten.
- ◆ Mie verstrooiing
Deze verstrooiing vindt plaats wanneer de deeltjes ongeveer dezelfde grootte hebben als de golflengte van de straling. Mie verstrooiing beïnvloedt langere golflengten dan deze die beïnvloedt worden door Rayleigh verstrooiing.
- ◆ Niet-selectieve verstrooiing (of Fraunhofer verstrooiing)
Deze verstrooiing vindt plaats wanneer de deeltjes veel groter zijn dan de golflengte van de straling. De naam niet-selectieve verstrooiing komt van het feit dat alle golflengten ongeveer gelijk verstrooid worden.

Volgens Vanspringel (Vanspringel, 1998) kan in het geval van Rayleigh-verstrooiing overgegaan worden tot enkele vereenvoudigingen.

In haar eindwerk schrijft ze:

“

1. Het licht symmetrisch verstrooid voor en achter het deeltje (zie Figuur 6.6).
2. De intensiteit van het verstrooide licht is afhankelijk van de hoeveelheid deeltjes per volume-eenheid
3. De verstrooiing hangt sterk af van de golflengte van het gebruikte licht.
4. Men kan ervan uitgaan dat de refractie-index van de deeltjes irrelevant wordt, zodat de samenstelling van de deeltjes, de interne structuur en homogeniteit geen invloed meer hebben op de verstrooiing van het invallende licht. Op deze manier bekomt men, volgens enkele literaire bronnen, een algemene methode tot het bekomen van de afmetingen van de deeltjes, onafhankelijk van het feit dat het over zand, microben of chocolade gaat. Dit is de belangrijkste aanleiding geweest tot het succes van de optische turbiditeitsmeters. Indien deze eerder vermelde voorwaarden niet vervuld zijn, dan verandert de symmetrische verstrooiing in een eerder voorwaarts gerichte verstrooiing.

” (Vanspringel, 1998)

Aangezien door het WLH gebruikte turbiditeitsmeter gebruik maakt van infrarood licht met een golflengte van 800 nanometer (nm) (zie punt 6.3.3) en zelfs het kleinste kleideeltje groter is dan 800 nm (namelijk van de orde van 1 μm), kan hier geen sprake zijn van Rayleigh-verstrooiing.

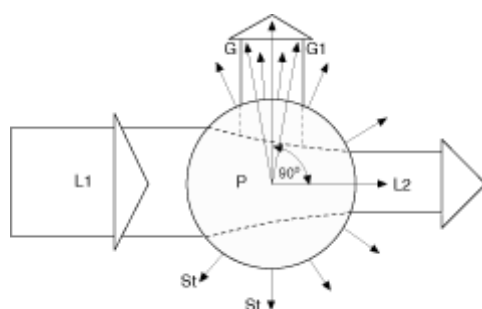
P. Van der Meeren toonde evenwel aan dat de aard (dichtheid, samenstelling, ...) van het deeltje weinig impact zal hebben, maar de grootte van het deeltje wel (Van der Meeren, pers.com., 2003). Het is mogelijk om vanuit de specifieke turbiditeit $\left(= \frac{\text{turbiditeit}}{\text{concentratie}} \right)$ de diameter van de deeltjes te bepalen.

Turbiditeit wordt door Omega Engineering (Omega Engineering, 2003) gedefinieerd als “een uitdrukking van de optische eigenschap die ervoor zorgt dat licht eerder wordt verstrooid en geabsorbeerd dan dat het in een rechte lijn doorheen het monster gaat.” Eenvoudigweg gezegd, turbiditeit is een maat voor de relatieve helderheid van het monster.

Figuur 6.4 toont de interactie van een lichtstraal met onopgeloste, fijnverdeelde suspenderende deeltjes. Wanneer de lichtstraal doorheen het monsterwater gaat, verstrooien de gesuspenderde deeltjes het licht in alle richtingen (360° in het rond).

Figuur 6.4: Verstrooiing door gesuspenderd deeltje (figuur Omega Engineering, 2003)

Meetprincipe: L1: lichtstraal raakt monster
L2: lichtstraal gaat doorheen het monster
P: monster
St: Verstrooid licht
G/G1: perifere stralen van de verstrooide lichtstraal gebruikt voor de turbiditeitsmeting

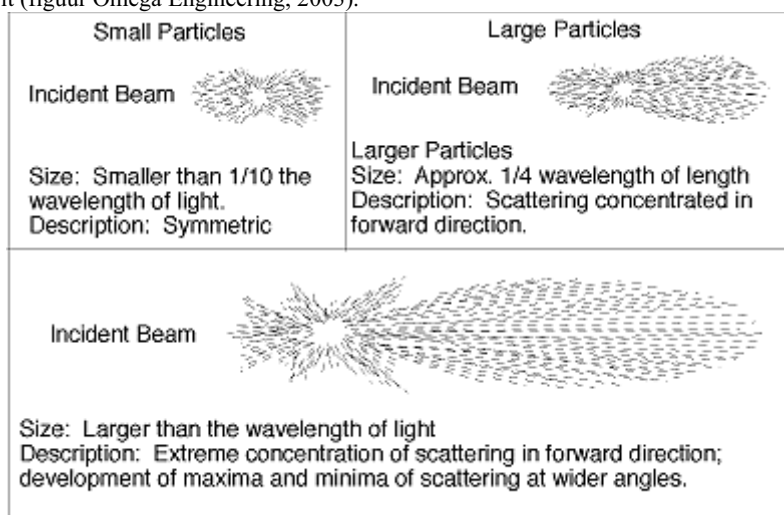


Turbiditeitsmetingen leveren gegevens over de hoeveelheid aan verstrooid licht maar kunnen niet rechtstreeks aan een gravimetrische equivalent gelinkt worden, tenzij men een curve opstelt die monsterspecifiek is (zie ook punt 8.3.1.3.3.2). De intensiteit van het verstrooide licht is door vele variabelen beïnvloed zoals golflengte, deeltjesgrootte, kleur en vorm (zie ook punt 7.3.1.4).

Er is geen absoluut verschil tussen opgeloste en onopgeloste stoffen, wanneer het op verstrooiing aankomt. Stoffen worden als opgelost beschouwd wanneer alle deeltjes kleiner zijn dan 0,45 μm in diameter, maar deze deeltjes kunnen wel nog steeds licht verstrooien.

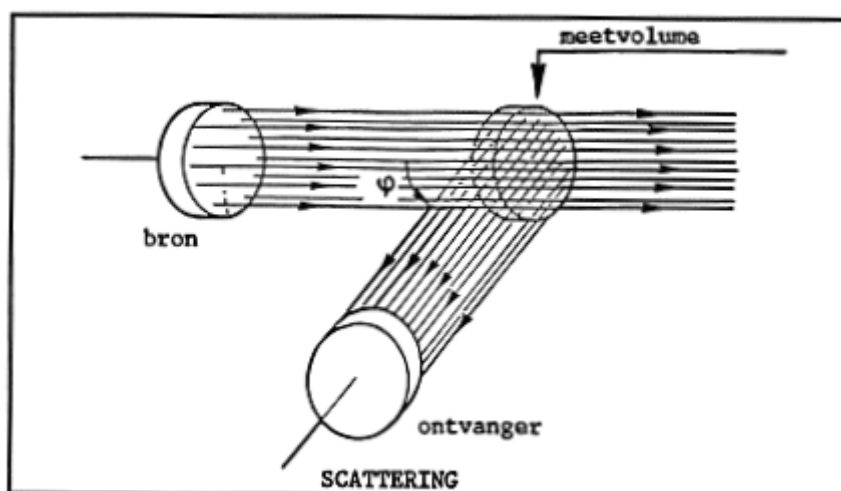
De hoeveelheid van het verstrooide licht is niet dezelfde in alle richtingen en de ruimtelijke verdeling varieert met de deeltjesgrootte. Figuur 6.5 toont dat wanneer deeltjes groter of gelijk zijn aan de golflengte van de invallende lichtstraal, er een grotere hoeveelheid van het licht voorwaarts wordt verstrooid. Naarmate de deeltjes kleiner worden, krijgt het patroon de vorm van een pindanoot. Wanneer de deeltjes echter zeer klein worden (we bevinden ons dan in het gebied van Rayleigh-verstrooiing) verstrooien ze het licht in alle richtingen. Andere factoren die de verstrooiing beïnvloeden zijn onder andere de kleur en vorm van het deeltje en het verschil in de refractie-indexen van het deeltje en de vloeistof (zie ook punt 7.3.1.4).

Figuur 6.5: Grote en kleine deeltjes verstrooien het licht op een andere manier, wat zichtbaar is door verschillende lijnen van gelijke licht-intensiteit (figuur Omega Engineering, 2003).



Wanneer een turbiditeitsmeter op het principe van verstrooiing werkt, zoals bij het door het WLH gebruikte type het geval is, dan staan bron en ontvanger onder een hoek φ ten opzichte van elkaar (zie Figuur 6.6).

Figuur 6.6 Principe van verstrooiing bij een optische sensor (Verhoeven, 2000)



De ontvanger meet nu het door de voorbijstromende deeltjes verstrooide signaal:

$$I_s = k_1 c e^{-k_2 c}$$

waarin: I_s = de ontvangstintensiteit

k_1 = de ijkingsconstante, afhankelijk van de karakteristieken van het toestel, deeltjes- en vloeistofeigenschappen, golflengte en meetafstand tussen bron en ontvanger.

k_2 = de ijkingsconstante, afhankelijk van de vorm en de afmetingen van de deeltjes, de golflengte van het signaal en de meetafstand tussen bron en ontvanger.

c = de concentratie aan vaste deeltjes in het meetvolume

Dit betekent dat hoe hoger de intensiteit is van het verstrooide licht, hoe hoger de turbiditeit is, en dus ook de concentratie aan voorbij stromende deeltjes in suspensie.

De sterke niet-lineariteit tussen meetsignaal en concentratie is een zeer belangrijk nadeel bij deze meettechniek.

6.3.2 *De methode*

Langs een tweede geleidingsrail (zie ook Figuur 5.10 (c)) wordt een sonde in het water gelaten. Deze heeft een vaste plaats boven de bodem en wordt enkel voor onderhoud langs de rail naar boven gebracht. De sonde zendt infrarood licht uit en meet tevens hoeveel van dit licht door de voorbij stromende deeltjes verstoord wordt (de sonde is een backscatter-sonde wat inhoudt dat de sonde meet hoeveel infrarood licht gereflecteerd wordt door de deeltjes die voorbij de lens stromen). Dit is een maat voor de troebelheid van het water en dus ook voor de concentratie aan sedimenten in suspensie.

De gegevens worden ingelezen door een datalogger en kunnen met de juiste software uitgelezen worden met een computer.

6.3.3 *De turbiditeitsmeter of monitor*

De troebelheidsmeter is een monitor van het type 7100 MTF van het merk STAIGER MOHILO (zie Figuur 6.7).

Er wordt een multi-beam pulserend licht gebruikt als meetprincipe, waarbij het uitgezonden licht infrarood licht is met een golflengte van 800 nm.

De monitor kan geleverd worden voor voedingsspanningen, namelijk een voedingsspanning van 220 V AC en voor 24 V gelijkspanning.

Deze monitor is geschikt voor verschillende types van sondes.

Figuur 6.7 Op de foto rechts het oude model, links het nieuwe. De troebelheidsmeter (of monitor) van het merk STAIGER MOHILO Type 7100 MTF werd geleverd voor voedingsspanningen van 220V AC en voor 24V gelijkspanning.



6.3.4 De sonde

De sonde meet het verstrooide licht.

Voor de sonde werd er geopteerd voor het type 7530 SSN (zie Figuur 6.8). De sonde is geschikt om te meten in ofwel NTU (nephelometric turbidity unit, voor verdere uitleg zie punt 7.3.1.1) met een bereik van 0 tot 400 NTU, ofwel in mg/l, met een bereik tussen 1 en 2000 mg/l.

Figuur 6.8 Sonde van het type 7530 SSN. Deze sonde meet hoeveel het uitgezonden infrarood licht verstoord wordt door de passerende deeltjes in het water. Dit is maat voor de troebelheid van het water.



6.3.5 De datalogger

De gebruikte datalogger is een μ Log VL 100 Voltage logger (zie Figuur 6.9). Dit is een miniatuurrecorder met 8 analoge meetingangen met gemeenschappelijk punt.

Via de RS232 uitgang en de bijgeleverde software kunnen de gegevens uitgelezen worden met een computer.

Figuur 6.9 De μ Log VL 100 Voltage logger, een 8-bit datalogger.



De dataloggers zijn geprogrammeerd om één waarde van de monitor om de twee minuten op te nemen. Bij de gegevens van de datalogger vinden we alle opgeslagen waarden die door de datalogger zijn ingelezen. Bij het uitlezen met de draagbare computer worden zij weergegeven onder de vorm van een grafiek. Hierop zijn aangegeven:

- de afgekorte naam en identificatienummer van de meetpost
- de ingestelde schaal voor de troebelheid in mg/l of NTU
- de tijdschaal met vermelding van dag en maand
- het starttijdstip van de registratie
- het serienummer van de datalogger

6.3.6 Inlezen en opslaan van de data

De sonde leest elke 0,5 seconden een waarde in. In de monitor wordt een 'response time' of 'damping' geprogrammeerd die het tijdsinterval bepaalt waarin een gemiddelde wordt gemaakt van de sonde waarden.

De WLH monitor is dusdanig geprogrammeerd dat hij om de 2 seconden de waarden van de sonde uitmiddelt. Hierdoor verdwijnen een aantal fluctuaties die ontstaan door toevallige fouten.

Deze waarden verschijnen om de 2 seconden op de monitor.

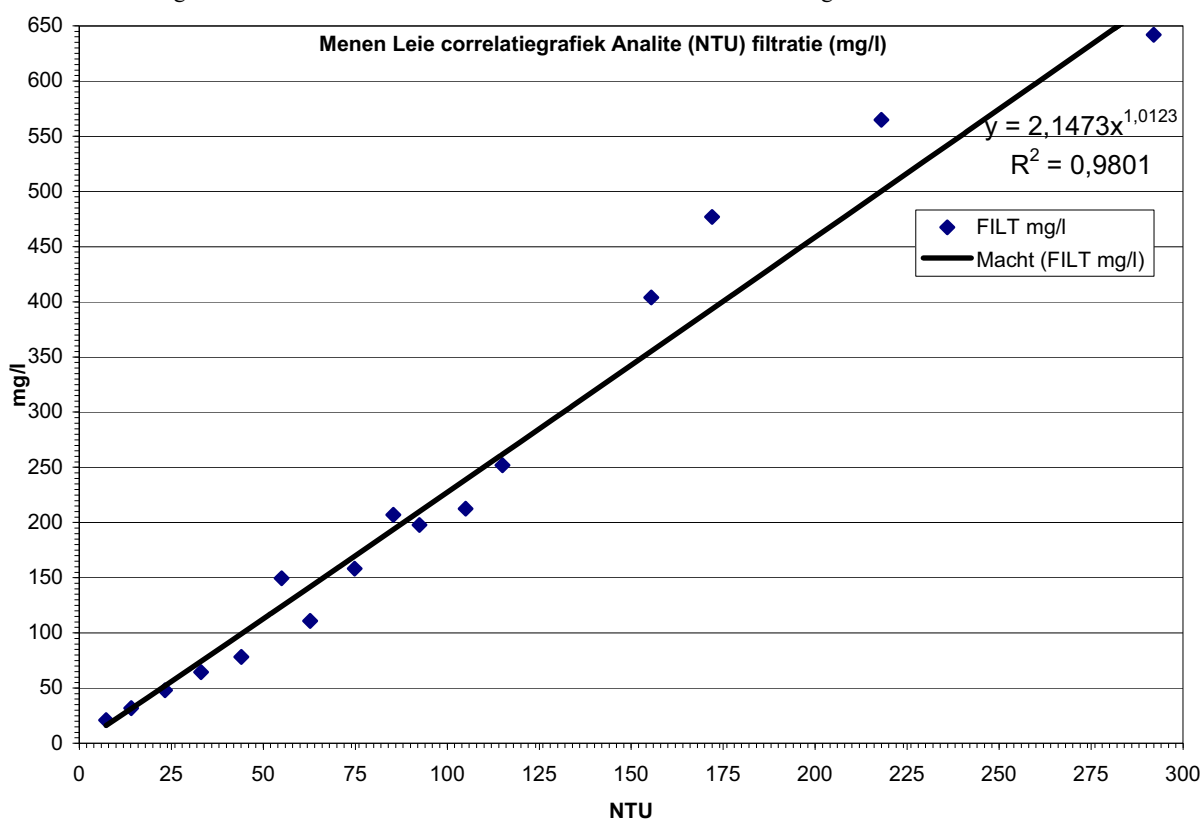
Het opslaan van de gegevens gebeurt via de datalogger. Deze heeft een ingang van 0 tot 20 mA.

6.3.7 IJking van de turbiditeitsmeter in mg/l

Voor elke meetpost werden, na iets meer dan één jaar staalname, de resultaten van de concentratie, zoals die uit de filtratie naar voor kwamen, uitgezet in functie van de NTU (zie Figuur 6.10 voor een voorbeeld). De NTU-waarden die hiervoor gebruikt werden waren de NTU waarden verkregen door de metingen met de Analite op de opgepompte stalen.

Omdat er nog steeds te veel spreiding op deze resultaten aanwezig was en de extreme waarden het resultaat beïnvloedden, werden de waarden uitgemiddeld in incrementen van 10 NTU. De best passende kromme hierbij blijkt een machts-trendlijn te zijn. Figuur 6.10 toont een voorbeeld van de correlatie-grafiek van de meetpost te Menen.

Figuur 6.10 Correlatiegrafiek om de waarden van de monitor in NTU om te zetten naar mg/l.



De volgende stap was de monitor te ijken in NTU en de concentratie, via de bekomen formule, te berekenen. Vervolgens werden de automatische staalnames stopgezet waardoor de automatische pompsamplers vrij kwamen om op andere meetposten te installeren.

Wel wordt er nog steeds wekelijks een schepmonster bij de meetposten waar niet langer een pompsampler staat. Dit ter controle van de ijking van de troebelheidsmeter.

6.4 Besluit

De hoeveelheid sediment die de dwarsdoorsnede van de rivier passeert, wordt op elke meetplaats op twee verschillende manieren gemeten:

- Ten eerste maakt men gebruik van automatische pompsamplers die elke zeven uur een puntmonster oppompen.
Dit monster wordt in het laboratorium gefiltreerd waaruit een concentratie in mg/l kan worden afgeleid.
Daarnaast wordt ook de turbiditeit van het monster bepaald met behulp van twee turbiditeitsmeters, de Hach en de Analite.
- Ten tweede meet men de troebelheid van het voorbijstromende water, door rechtstreeks in de rivier een infrarode turbiditeitsmeter te hangen. Deze monitor zorgt voor een continue meting, met waarden om de twee minuten.

De fysische achtergrond van troebelheidsmetingen steunt op de verstrooiing van het uitgestuurde licht. De intensiteit van het verstrooide licht wordt gemeten in mA, maar wordt omgezet in NTU (Nephelometric Turbidity Units).

De ijking van de monitor in mg/l ten opzichte van NTU gebeurde in het WLH onrechtstreeks met behulp van de NTU waarden van de Analite.

De Analite en de Hach metingen zijn ook onderling goed correleerbaar. Zoals later zal blijken (zie punt 8.3.1.4) zijn de laboratorium- en terreinmetingen dikwijls moeilijk te correleren en dat is een groot probleem.

7 Problematiek

Science is not about building a body of known 'facts'.
It is a method for awkward questions and subjecting them to a reality-
check, thus avoiding the human tendency to believe whatever makes us
feel good.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt dieper ingegaan op de problemen die gepaard gaan met bemonstering met behulp van een **pompsampler**, het continue meten van sedimentconcentraties met een **turbiditeitsmeter** en het probleem van de plaatsing van deze toestellen in een **dwarsdoorsnede**.

1) De problematiek aangaande de **pompsampler** wordt opgedeeld in:

- Een deel waarin de verschillende criteria waaraan een sampler moet voldoen uitgebreid besproken worden.
Hierbij worden ook diepte- en punt-integrerende samplers besproken. Dit zijn toestellen die op isokinetische manier een monster kunnen nemen dat geïntegreerd is over de volledige diepte, of een gedeelte van dit traject.
- Een deel waarin de automatische pompsamplers onder de loep genomen worden. Hoe en waar moeten deze toestellen geplaatst worden? Hoe kan men de verkregen waarden van een opgepompt puntmonster omzetten tot waarden die voor de gehele dwarsdoorsnede gelden?
- Een deel waarin de selectie van de locatie wordt aangestipt.

2) De problematiek aangaande de **turbiditeitsmeter** wordt opgedeeld in:

- Een deel dat de monitor in al zijn facetten belicht.
- Een deel dat over de datalogger gaat
- Een deel dat de ijkingsproblematiek aankaart.

Wat de monitor aangaat worden de verschillende types turbiditeitsmeters beschreven en wordt er tot in detail ingegaan op de nodige onderhoudsprocedures.

Hoewel de datalogger geen technisch onderhoud vergt, moet hier wel rekening gehouden worden met de capaciteit van het toestel.

3) De problematiek van de **dwarsdoorsnede** is geldig voor beide voorgenoemde methodes. Zowel de pompsampler als de turbiditeitsmeter meten hun waarden op één bepaalde plaats in de dwarsdoorsnede. Deze waarden moeten gecorrigeerd worden zodat ze de gemiddelde waarde voor de gehele dwarsdoorsnede weergeven. Hierbij worden de toegepaste methodes kritisch vergeleken met gestandaardiseerde methodes zoals toegepast door de USGS.

Dit hoofdstuk gaat diep in op de technische vereisten en beoogt ook een handleiding te zijn voor allen die een sedimentmeetnet of sedimentmetingen moeten op punt stellen in de context van de rivieren en beken in Vlaanderen.

7.2 Pompsampler

Het WLH maakt gebruik van een automatische pompsampler. Er zijn een aantal criteria waaraan een dergelijke sampler moet voldoen. Deze worden door de USGS (Edwards & Glysson, 1999) duidelijk opgesomd. Aangezien niet aan alle criteria tegelijkertijd voldaan kan zijn moeten er sommige correcties uitgevoerd worden. Het toestel dat door het WLH gebruikt wordt (de SIGMA 900) voldoet aan de meeste van de criteria van de USGS (zoals verder uitgewerkt wordt in punt 7.2.2.1), maar met een aantal van de correcties werd geen rekening gehouden.

Daarom volgt hier een overzicht van de vereisten voor samplers, en in een tweede gedeelte meer bepaald voor automatische samplers, gemaakt voor het bemonsteren van sediment in suspensie

7.2.1 Samplers voor het bemonsteren van sediment in suspensie

De doelstelling van een 'sediment-in-suspensie sampler' (vanaf hier gewoon sampler genoemd) is het bekomen van een representatief monster van het water-sedimentmengsel dat stroomt in de rivier in de omgeving van de sampler.

Er werden een aantal criteria voor de constructie van samplers vastgelegd in Amerika in het Federal Inter-Agency Sedimentation Project (F.I.S.P.).

- 1) Het water moet isokinetisch de neus (of opzuigstuk) kunnen binnenstromen. (In isokinetische monsternamen ondergaat het water dat het opzuigstuk benadert geen verandering in snelheid of richting als het de opening binnenstroomt.)
- 2) Het opzuigstuk van de sampler moet zo dicht als fysisch mogelijk de bodem kunnen benaderen. Dit varieert van 3 tot 7 inch (of 7,62 cm tot 17,78 cm), afhankelijk van de sampler. De problematiek hiervan wordt voornamelijk duidelijk bij het bemonsteren van verticale secties (zie punten 7.4.3.2, 7.4.3.3 en 7.4.3.4).
- 3) De verstoring in het stroompatroon van de rivier moet minimaal zijn, vooral aan het opzuigstuk.
- 4) De sampler moet aanpasbaar zijn om toestellen te ondersteunen die reeds in gebruik zijn om de stroomsnelheid te meten.
- 5) De sampler moet zo eenvoudig en onderhoudsvrij zijn als mogelijk
- 6) De sampler moet de inhoud van standaard flessen (1 liter, 2 liter, ...) kunnen bemonsteren.

7.2.1.1 Punt- en diepte-integrerende samplers

Een *diepte-integrerende sampler* is ontworpen om isokinetisch en op continue wijze een representatief monster te accumuleren. Men bekomt dit monster door de sampler langs een verticale naar omhoog te halen op een uniform tempo.

De enkelvoudige diepte-integrerende sampler verzamelt en accumuleert een snelheid- of debiet-gewogen monster terwijl het naar beneden naar de bodem van de rivier gelaten wordt en terug naar omhoog gehaald wordt.

De *punt-integrerende sampler* aan de andere kant, gebruikt een elektronisch geactiveerde klep, die de operator toestaat om op isokinetische manier monsterpunten of gedeelten van een verticale te bemonsteren.

De diepte-integrerende of punt-integrerende samplers worden onder andere gebruikt bij het meten van dwarsdoorsnedes (zie punt 7.4).

Een aantal voorbeelden van verschillende toestellen zijn te zien in Figuren 7.1, 7.2 en 7.3.

Figuur 7.1: US-D96 sampler, een diepte-integrerende sampler, opgehangen in lucht (Davis, 2001)

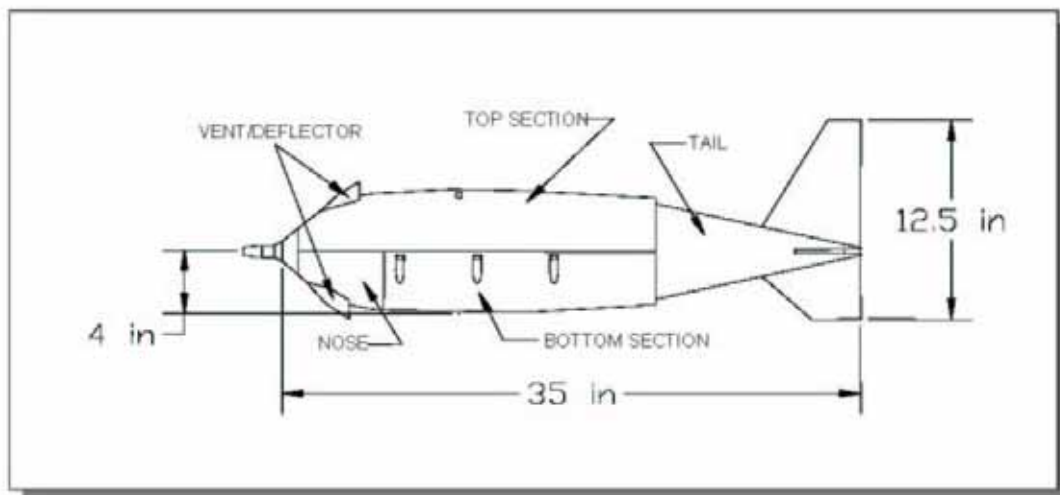


Breedte = 8 inches (20,3 cm)

Lengte = 35 inches (88,9 cm)

Gewicht = 132 lbs, (60 kg)

Figuur 7.2: Schematische voorstelling van de US-D96, (Davis, 2001)



Figuur 7.3: US P-61-A1 sampler, een punt-integrerende sediment in suspensie sampler, (FISP, 2003)



Breedte = 28 inches (71.1 cm)
 Lengte = 7.34 inches (18.6 cm)
 Gewicht = 105 lbs. (48.5 kg)

7.2.1.2 Sampler accessoires

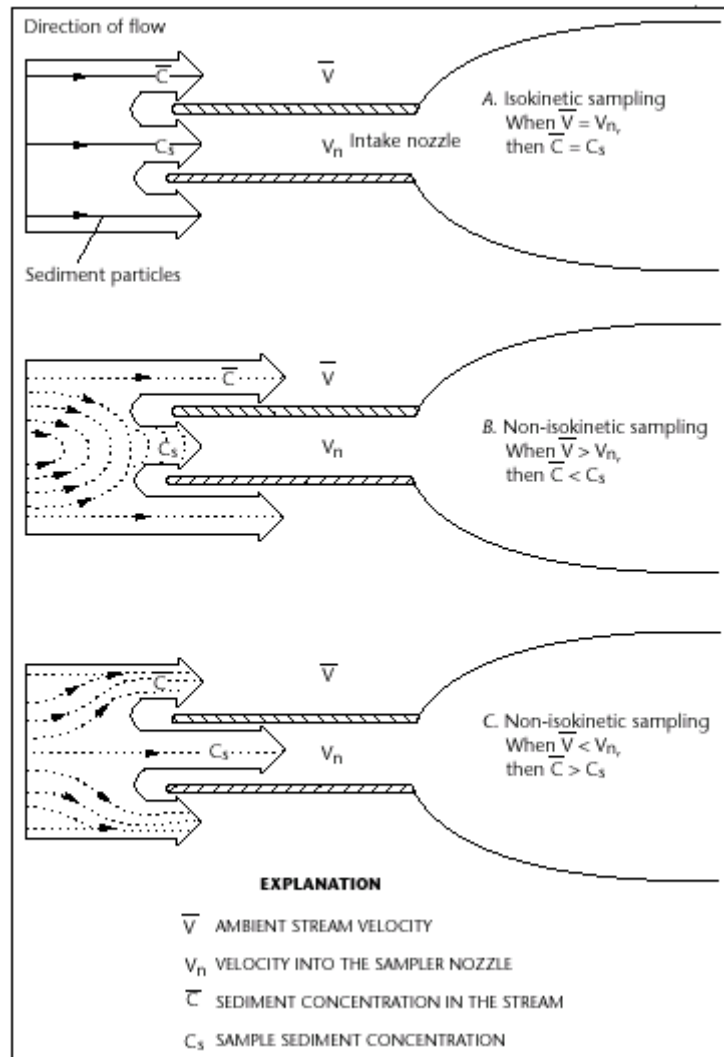
7.2.1.2.1 Inlaats ($\equiv$ opzuigstuk)

Elke sediment-in-suspensie sampler is uitgerust met een set van opzuigstukken die speciaal gemaakt zijn voor deze sampler. Deze opzuigstukken zijn in- en uitwendig zodanig gevormd dat de snelheid van water na het binnenstromen in het opzuigstuk maximaal 8% van de stroomsnelheid afwijkt, wanneer de stroomsnelheid groter is dan 1 ft/s ($= 0,3048$ m/s).

Men heeft kunnen aantonen dat een afwijking van de instroomsnelheid ten opzichte van de stroomsnelheid ter hoogte van het bemonsteringspunt een fout veroorzaakt in de sedimentconcentratie van het staal, voornamelijk in de deeltjes van zandgrootte.

Bijvoorbeeld, een plus-10-percent fout in sediment concentratie is aannemelijk voor deeltjes met een diameter van 0,45 mm, wanneer de instroomsnelheid 75% van de stroomsnelheid is. De relatie tussen instroomsnelheid en fouten in de concentratie veroorzaakt door het bemonsteren van een staal aangerijkt of verarmd aan zanddeeltjes (groter dan 0,062 mm) wordt geïllustreerd door Figuur 7.4).

Figuur 7.4: De relatie tussen de opzuigsnelheid en de sedimentconcentratie voor isokinetische en niet-isokinetische monsterneming van waterstalen die korrels bevatten die groter zijn dan 0,062 millimeter.
figuur overgenomen van Webb, Radtke & Iwatsu (USGS, 1997)



Wanneer zanddeeltjes meegesleurd worden door de stroom, moet de instroomsnelheid in het opzuigstuk van de sampler gelijk zijn aan de omgevende stroomsnelheid (isokinetisch zijn), om een monster te nemen dat representatief is voor de gemiddelde debiet-gewogen sediment concentratie. De gevonden sedimentconcentratie zal gelijk zijn aan de gemiddelde debiet-gewogen sedimentconcentratie van de toestromende rivier.

Wanneer de snelheid in het opzuigstuk kleiner is dan de stroomsnelheid (niet-isokinetisch), zal een hoeveelheid water die normaal gezien in het opzuigstuk zou moeten vloeien nu met een boog langs de zijden wegstromen. Inertie weerstaat de vervorming van de stroming en verplicht de aankomende deeltjes groter dan 0,062 mm doorsnede om paden, recht in het opzuigstuk te volgen. De combinatie van deze ombuiging en rechte bewegingen doet de concentratie aan grove deeltjes in het monster stijgen.

Als resultaat krijgt men dan dat de concentratie aan sediment in suspensie groter is dan de concentratie die aanwezig was in de toestromende rivier.

Op eenzelfde manier kan bewezen worden dat wanneer de snelheid in het opzuigstuk groter is dan de stroomsnelheid in de rivier (isokinetische situatie), een hoeveelheid water die normaal gezien aan het opzuigstuk voorbij zou moeten stromen toch opgepompt wordt door ombuiging naar het opzuigstuk toe.

Opnieuw zorgt de inertie voor weerstand tegen deze ombuiging en dwingt het de deeltjes groter dan 0,062 mm om rechtlijnige paden te volgen en langsheen het opzuigstuk te stromen.

Als resultaat van deze combinatie van afgebogen en rechtlijnige beweging, verkrijgt men een relatieve afname aan sediment concentratie in vergelijk met de concentratie in de toestromende rivier.

7.2.2 Automatische pompsamplers

7.2.2.1 Ontwerp van de sampler

De USGS (Edwards & Glysson, 1999) omschrijft samplers van het automatische pomptype als volgt:

- 1) een pomp om sediment in suspensie op te pompen vanuit de rivier, en in sommige gevallen om een spoeling uit te voeren naderhand, zodat de leidingen gekuist zijn voor een nieuwe pompcyclus.
- 2) een monsteropslag-eenheid waarin de monsterflessen bewaard worden in monsternampositie
- 3) een monsterverdelingssysteem om het opgepompte monster in de juiste fles te krijgen
- 4) een activatiesysteem dat de bemonsteringscyclus start en stopt, ofwel op regelmatige tijdsintervallen ofwel in een stijging of daling van het waterpeil.
- 5) Een opzuigsysteem waarlangs monsters opgezogen worden langs een punt in de dwarssectie.

De door het WLH gebruikte automatische sampler al deze componenten.

Idealiter moet de combinatie van deze componenten ontworpen worden zodat ze de 17 optimale criteria zoals ze voorgesteld zijn door USGS benaderen.

De 17 optimale criteria zijn:

- 1) Stroomsnelheid en instroomsnelheid (in het opzuigstuk van de sampler) zouden gelijk moeten zijn wanneer het opzuigstuk opgelijnd ligt met het toestromend water om isokinetische monsternam toe te laten.
- 2) Een monster met sediment in suspensie zou moeten worden overgebracht van rivier naar monstercontainer zonder een verandering in sedimentconcentratie en korrelverdeling.
- 3) Men moet een kruisbesmetting tussen monsters, veroorzaakt door overdracht in het systeem in de periode tussen monsternames in, voorkomen.
- 4) De sampler zou in staat moeten zijn om stalen te nemen waarbij de sedimentconcentratie 50000 mg/l bedraagt en de deeltjesdiameter tot 0,250 mm gaat.
- 5) De inhoud van de monsterflessen moet ten minste 350 ml bedragen.
- 6) De opening van het inlaat moet 3/8 of 3/4 inch (= 0,9525 of 1,905 cm) zijn, afhankelijk van de grootte van de sampler.
- 7) De gemiddelde snelheid in de sampler zou groter moeten zijn dan de valsnelheid van het grootste deeltje dat bemonsterd wordt.
- 8) De sampler moet in staat zijn om materiaal 35 voet (= 10,668 m) naar omhoog te pompen (van het opzuigstuk naar het monsterreservoir).
- 9) De sampler moet een redelijke hoeveelheid monsters kunnen nemen, afhankelijk van het doel van de staalname en de stroomcondities.
- 10) Er moet bescherming zijn tegen bevriezen, evaporatie en besmetting met stofdeeltjes.
- 11) Het reservoir moet zodanig gemaakt zijn dat het losmaken en transport ervan, als één geheel, vergemakkelijkt.
- 12) De monsternamecyclus moet gestart worden door een tijdmetr of een peilverandering.

- 13) Er moet een mogelijkheid aanwezig zijn om de exacte datum en tijd van monsternamen te registreren.
- 14) Het moet mogelijk zijn te werken met DC batterijen of 110V AC laagspanning
- 15) Het gewicht van de gehele sampler of eender welk van zijn principale componenten mag niet meer dan 100 lb (= 45,35 kg) wegen.
- 16) De maximale dimensies van de gehele sampler of één van zijn componenten mag niet groter zijn dan 35 inch (= 88,9 cm) in breedte en 79 inch (= 200,66 cm) in hoogte.
- 17) Het basisoppervlak van de, volledig in elkaar gezette, sampler mag niet meer zijn dan 9 ft² (8,361 m²).

De SIGMA 900 voldoet aan een aantal van deze vereisten.

- Zo heeft het toestel een spoelfunctie die de buizen spoelt na elke bemonstering zodat er geen sediment in de buizen kan achtergebleven zijn die een volgende bemonstering zou kunnen contamineren (puntje 3).
- De inhoud van de monsterflessen is 1 liter (dus groter dan 350 ml) (puntje 5)
- De opening van het inlaat is exact 3/8 inch (= 9,525 cm) (puntje 6)
- De sampler is in staat om een redelijke hoeveelheid monsters te nemen in functie van het doel van de staalname (puntje 9).
- De sampler beschermt de monsters voor evaporatie en besmetting met stofdeeltjes door de beschermkap die eropstaat, en de bescherming tegen bevriezen gebeurt door het plaatsen van de sampler in een beschutte kast (puntje 10).
- Het reservoir kan makkelijk losgemaakt en getransporteerd worden (puntje 11)
- De monsternamencyclus kan tijdsgestuurd en aan de hand van peilveranderingen geactiveerd worden (puntje 12).
- De exacte datum en tijd van monsternamen is registreerbaar (puntje 13).
- We gebruiken 12V DC batterijen (puntje 14).
- De sampler weegt 15 kg (zonder gevulde flessen) en weegt dus minder dan 45 kg. Zelfs als de flessen gevuld zijn, is het gewicht van de sampler minder dan 45 kg (puntje 15).
- De sampler is 50,48 cm breed en 69,37 cm hoog en voldoet dus aan de afmetingen vereist in puntje 16.

Aan een aantal andere eisen is evenwel niet voldaan.

- Zo bemonstert de SIGMA 900 niet op een isokinetische manier (puntje 1)
- De sampler is slechts in staat om de monsters 27 ft of 8,23 m naar omhoog te pompen, maar dat is (gezien de plaatsing van de samplers) geen echt probleem (puntje 8)

Van sommige andere punten zijn de gegevens niet beschikbaar.

- Zo staat er in de technische handleiding van het toestel niet vermeld of de sedimentconcentratie en korrelverdeling constant blijven van de rivier naar de monsterfles. De waarschijnlijkheid daarvan is redelijk hoog, maar zekerheid is er niet (puntje 2).
- Er staat ook niet vermeld wat de maximale concentratie is die opgepompt kan worden, maar aangezien de meeste concentraties waarmee wij te maken extreem laag zijn in vergelijking met de gegeven 50000 mg/l, lijkt er ook hier zich geen bron van problemen voor te doen (puntje 4).

Het belangrijkste probleem is dus het niet isokinetisch bemonsteren.

7.2.2.2 Installatie- en gebruikerscriteria

Werken met staalnameapparaten kan even arbeidsintensief en even duur zijn als de manuele sediment-data verzameling, die ze horen aan te vullen.

Voor de installatie van een automatische pompsampler moet men afrekenen met een aantal problemen in verband met het installeren van peilmeters.

Daarnaast moet men aan veel data geraken in verband met de karakteristieken van sedimenttransport op de voorgestelde bemonsteringssite en moet men deze data evalueren voordat men kan overgaan tot de plaatsing van de sampler en het opzuigstuk.

Logistiek gezien moet de site geëvalueerd worden om te zien of ze voldoende toegankelijk is, of er elektriciteit aanwezig is, of er een brug in de onmiddellijke nabijheid is, om te zien of de veranderingen van de omgevingstemperatuur, inherent aan het lokale weer, binnen de normale range vallen, enz...

Van de sedimenttransportkarakteristieken moeten onder andere de concentratieverdeling en de korrelgrootteverdeling doorheen de bemonsterde doorsnede gemeten worden, voor een hele range van debieten.

Bij de installatie van het sedimentmeetnet van het WLH is de meetlocatie vooral gekozen in de buurt van meetposten van het limnigraafmeetnet. Hierdoor zijn deze plaatsen vaak wel goed te bereiken, maar voldoen ze niet altijd aan alle optimale criteria voor een meetpunt voor suspensietransportmetingen. De plaatsen zijn ook meetplaatsen ter bepaling van de waterdebieten zodat de dwarsdoorsnedes goed topografisch beschreven en opgemeten zijn. Er zijn dus continue waterpeilgegevens beschikbaar en occasionele debietgegevens. Uit het verband van het debiet met het waterpeil (QH-verband) kan men continu uit de waterpeilen de debieten afleiden.

Daarnaast is er nagenoeg geen voorstudie gedaan in verband met concentratieverdelingen en korrelgrootteverdelingen.

7.2.2.3 Plaatsing van het opzuigstuk

De plaatsing van het opzuigstuk van de pompsampler in de rivier voor meting van een bepaalde dwarsdoorsnede is cruciaal omdat dat slechts één punt in de stroom wordt bemonsterd dat een indicatie moet geven voor het transport doorheen de volledige doorsnede.

Daarom moet men, om betrouwbare en representatieve data te krijgen, het opzuigstuk zo plaatsen dat de concentratie van het bemonsterde punt, de gemiddelde concentratie van de doorsnede voor een hele range aan debieten bepaalt.

Dit ideale concept is echter moeilijk realiseerbaar vermits de gemiddelde concentratie op de doorsnede bijna nooit op dezelfde plaats voorkomt bij verschillende stromingscondities.

De plaatsing van het opzuigstuk zal dus van meetpost tot meetpost, en van rivier tot rivier verschillen.

Er zijn algemene richtlijnen opgesteld door het USGS (Edwards & Glysson, 1999).

- 1) Kies een stabiele dwarsdoorsnede uit met een redelijk uniforme diepte en breedte zodat de beste relatie tussen sedimentconcentratie op een punt en de gemiddelde sedimentconcentratie in de doorsnede bekomen wordt.
Deze richtlijn is van primordiaal belang in de beslissing om al dan niet een pompsampler te gebruiken in een bepaalde situatie. Als een relatief stabiele relatie tussen de concentratie in het bemonsterde punt en de gemiddelde concentratie van de dwarsdoorsnede niet kan bereikt worden door volgende stappen, moet de sampler niet geïnstalleerd worden en kan men beter een andere locatie zoeken.
- 2) Beschouw enkel dat deel van de verticale dat ook bemonsterd kan worden door een standaard diepte- of puntintegrerende suspended-sedimentsampler, waarbij men dus de onbemonsterde zone uitsluit, aangezien de data van de diepte- of puntintegrerende sampler zullen gebruikt worden om de pompsampler te ijken (zie Figuur 7.16).
- 3) Bepaal, indien mogelijk, de diepte van het punt van de gemiddelde sedimentconcentratie in elke verticale voor elke klasse van deeltjes fijner dan 0,250 mm, uit een reeks van zorgvuldig verzamelde punt-geïntegreerde monsters.
- 4) Bepaal, indien mogelijk, de gemiddelde diepte van het voorkomen van de gemiddelde sedimentconcentratie in elke verticale voor alle deeltjes fijner dan 0,250 mm.
- 5) Gebruik de gemiddelde diepte van voorkomen van de gemiddelde sedimentconcentratie in de dwarsdoorsnede als een referentiediepte voor de plaatsing van het opzuigstuk.

- 6) Pas de diepte van het opzuigstuk aan om hindering door ribbelmigratie of contaminatie door bodemmateriaal te vermijden.
- 7) Pas de diepte van het opzuigstuk aan om ervoor te zorgen dat het opzuigstuk ten allen tijden onderwater zit.
- 8) Plaats het opzuigstuk lateraal in de stroom op een afstand ver genoeg van de oever om enige invloeden van de oevers te elimineren.
- 9) Plaats het opzuigstuk in een zone van hoge snelheid en turbulentie om de verdeling van sediment door menging te verbeteren, om de mogelijke afzet op of in de buurt van het opzuigstuk te verminderen en om te zorgen voor een snelle verwijdering van mogelijk verstoorde deeltjes tijdens de spoelcyclus.

De plaatsing van het opzuigstuk is voor het WLH meetnet zeer secuur gebeurd. Zo is er bij de meest vervuilde rivier (de Zenne) een constructie gebouwd om het opzuigstuk (en de iets verder gelegen sonde van de turbiditeitsmeter) te vrijwaren van grote stukken vuilnis (zie Figuur 5.4).

Voor het meetnet van WLH zijn ook punt-geïntegreerde monsters genomen langs diverse verticalen echter niet met een isokinetisch opzuigmechanisme en ook onvoldoende keer in verschillende omstandigheden (hoge en lage waterstanden, winter en zomer, ...)

7.2.2.4 De oriëntatie van het opzuigstuk

Het opzuigstuk van een pompsampler kan een drastisch effect hebben op de efficiëntie van de monstername.

De vijf verschillende manieren waarop een opzuigstuk kunnen gepositioneerd worden zijn te zien op Figuur 7.5. Daarvan moeten 1, 3 en 4 vermeden worden omdat ze hoge monstername-fouten voortbrengen en ook problemen geven met vuilnis.

Oriëntatie 2 (dit is de oriëntatie die bij onze opzuigstukken is toegepast) is het meest gebruikte alternatief.

Het grote probleem met deze oriëntatie is dat deeltjes van zandgrootte misschien niet adequaat genoeg bemonsterd worden.

Oriëntatie 5, stroomafwaarts gericht, lijkt een voordeel te hebben in vergelijking met oriëntatie 2.

Wanneer het opzuigstuk stroomafwaarts georiënteerd is, vormt zich een kleine draaikolk die de zanddeeltjes omgeeft en dus de sampler toestaat om een meer representatief monster van de grove fractie te nemen.

7.2.2.5 Representatieve en niet representatieve monstername en hun correctiefactoren

7.2.2.5.1 Isokinetische monstername

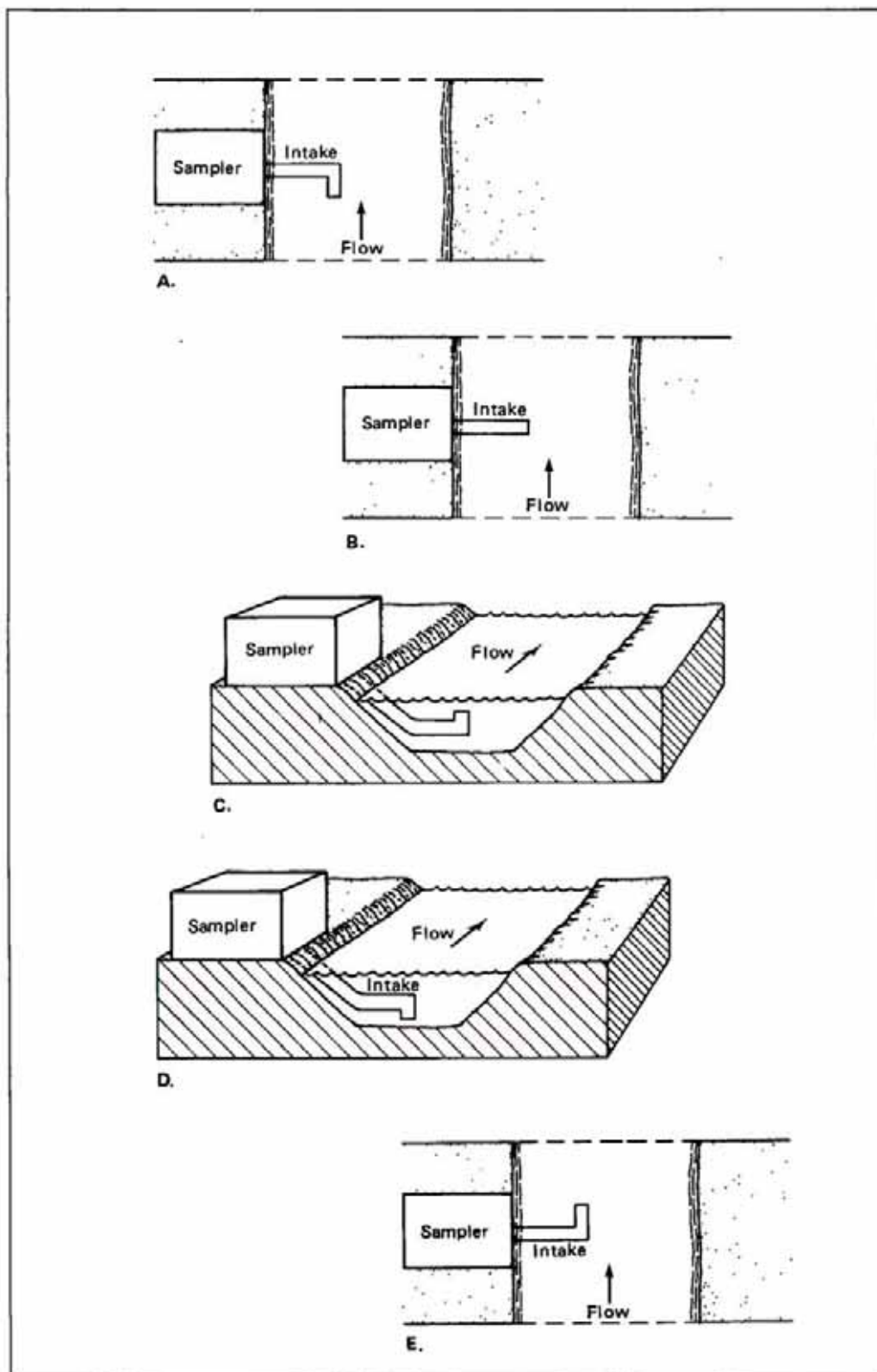
Een belangrijke bezorgdheid bij de evaluatie van sedimentdata verzameld door automatische pompsamplers is de relatie tussen de data en de ware gemiddelde concentratie aan sediment in suspensie dat door de rivier getransporteerd wordt op het ogenblik van de staalname. Om deze relatie te kunnen vaststellen, moet men de concentraties verkregen door de pompsampler vergelijken met de concentraties bekomen door een volledige diepte-geïntegreerde doorsnede monster genomen voor een hele range van debieten. Deze relatie wordt dan gebruikt om de pompsampler data om te rekenen tot sedimentdebieten voor de volledige rivier op de meetplaats.

Monsters die door een pompsampler verzameld worden op één punt in de stroom, zijn dus niet representatieve puntmonsters. Voor het meetnet van het WLH zijn veel te weinig diepte-geïntegreerde doorsnedes genomen zodat de omrekening van de puntwaarde naar de sedimentdebieten zeer in vraag moet worden gesteld.

Echter als een stabiele relatie tussen de concentratie in het monsternamepunt en de gemiddelde concentratie in de dwarsdoorsnede bestaat, kan het monster als zo representatief mogelijk beschouwd worden

Figuur 7.5: Voorbeelden van oriëntaties van het opzuigstuk van de pompsampler.

- A: Normaal en rechtstreeks stroomopwaarts wijzend
 - B: Normaal en horizontaal met de stroming
 - C: Normaal en verticaal met de opening naar boven
 - D: Normaal en verticaal, met de opening naar beneden
 - E: Normaal en rechtstreeks stroomafwaarts wijzend
- (Figuur van Edwards & Glysson, 1999)



Daarnaast nemen automatische pompsamplers ook geen isokinetische monsters wegens het pomptempo en de oriëntatie van het opzuigstuk. Hierdoor worden concentratiefouten geïntroduceert, voornamelijk bij deeltjes groter dan 0,062 mm.

Pompsamplers hebben een pompsnelheid die dermate is dat de snelheid in het opzuigstuk groter is dan de bezinkingssnelheid van deeltjes in suspensie. Deze hogere snelheid is noodzakelijk om het monster in het monsterreservoir (fles) te krijgen zonder een vermindering aan concentratie van de grovere partikels door afzetting in het buizensysteem teweeg te brengen.

Door deze pumping zullen de stroomlijnen van de sedimentgeladen stroom afbuigen wanneer het staal naar het opzuigstuk toegezogen wordt. Deze kracht werkt in op alle deeltjes die de opening passeren maar met variabel resultaat, afhankelijk van de deeltjesgrootte en –snelheid.

Dat wil zeggen, de pompkracht tracht de deeltjes lateraal uit hun stroomlijnen te trekken en ze te versnellen in de richting van het opzuigstuk. Bij een lage stroomsnelheid, waarbij alleen klei en fijne silt deeltjes getransporteerd worden, vormt dit geen probleem. Als echter de stroomsnelheid verhoogt en de deeltjes groter dan 0,062mm in suspensie komen, moet de pompkracht het krachtmoment van deze grotere deeltjes, als gevolg van hun massa en versnelling in stroomafwaartse zin, overwinnen om nog tot een representatief monster te komen.

Een vermindering in staalname-efficiëntie kan resulteren in een bevooroordeeld monster aangezien minder en minder grote deeltjes naar het opzuigstuk gezogen worden naarmate de afstand van het opzuigstuk groter wordt (zie Figuur 7.6).

Deze figuur toont dat enkel de sedimentdeeltjes die recht voor het opzuigstuk voorbijkomen, op een kleine afstand ervan erg beïnvloedt worden en opgezogen kunnen worden.

Ook moet er rekening mee gehouden worden dat de beïnvloedingszone (of beïnvloedingskegel) een geïdealiseerd concept is en de pompinvloed veel groter is op sedimenten die naar het opzuigstuk toekomen van stroomopwaartse zin dan op sedimenten die al naar stroomafwaartse zin gevloeid zijn. Dit kan een beetje verholpen worden door het opzuigstuk in stroomafwaartse zin te oriënteren.

7.2.2.5.2 Opzuigefficiëntie

Om een correcte interpretatie van data verzameld door automatische pompsamplers te vergemakkelijken, moeten er vergelijkingen gemaakt worden tussen de sedimentconcentratie van het opgepompte staal (C_p) en de gemiddelde concentratie van de stroom (C_s). De vergelijking slaat op de opzuigefficiëntie, die de ratio is van concentratie aan sediment in het staal tot de gemiddelde concentratie in de stroom ter hoogte van het opzuigstuk.

$$\frac{C_p}{C_s} 100 = \text{opzuigefficiëntie}$$

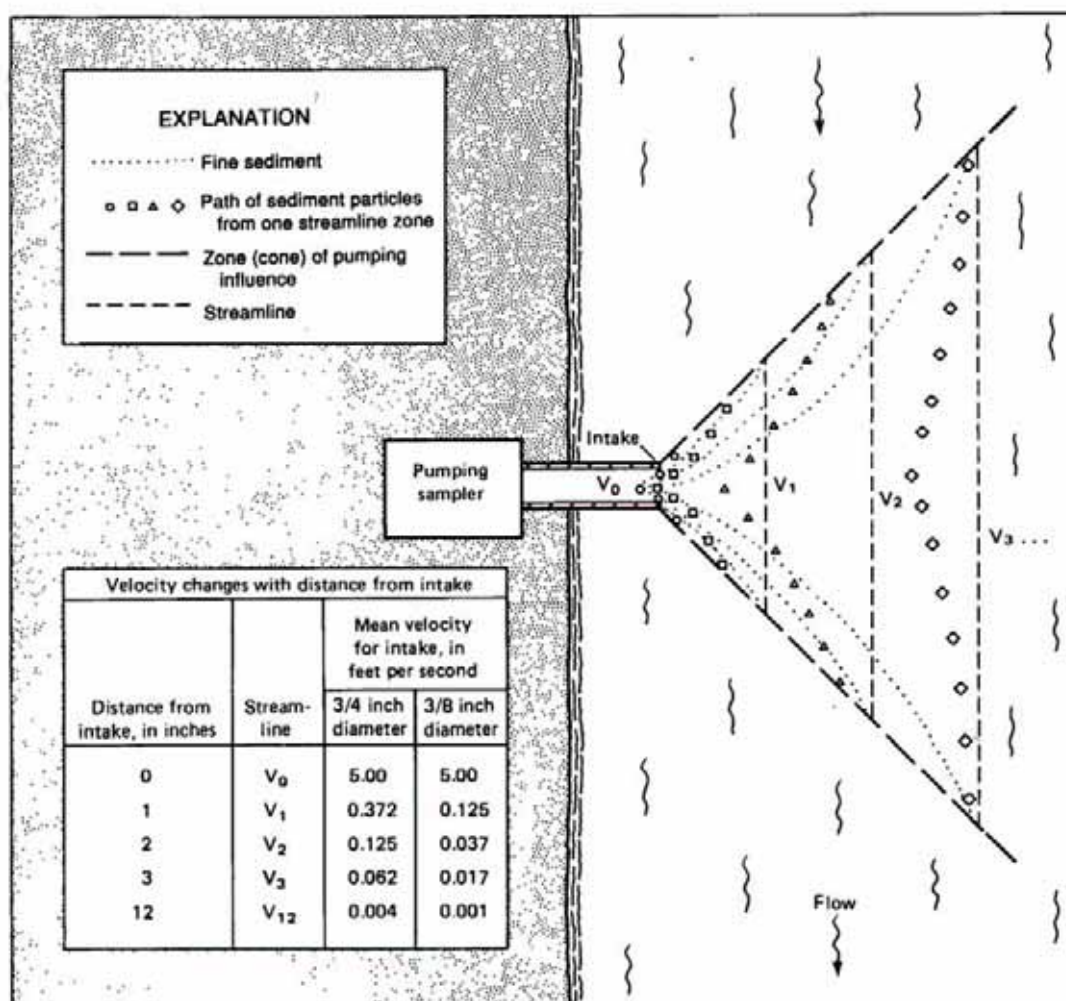
In realiteit is deze relatie gebaseerd op de vergelijking van de concentratie van het staal tot de concentratie van een puntmonster dat zo dicht mogelijk bij het opzuigstuk genomen is als enigszins mogelijk is. Men maakt daarvoor gebruik van een US diepte- of puntintegrerende sampler (zie punt 7.2.1.1).

Opzuigefficiëntie zou voor de pompsamplers zo snel mogelijk moeten worden bepaald. Dat wil zeggen nadat de sedimentverstoring tengevolge van de installatie zijn gestabiliseerd.

Bijkomende efficiëntiewaardes zouden moeten worden bepaald voor een grote range van stromingscondities om de werkelijke effecten van variatie in korrelgrootte op een bepaalde site te bepalen. Deze data kunnen dan gebruikt worden om de sedimentconcentratie van de opgepompte monsters te evalueren en hun geloofwaardigheid te testen.

Voor de verschillende samplers van het type SIGMA 900 is er **geen** opzuigefficiëntie bepaald. Dit euvel dient voor het meetnet van WLH nog verholpen te worden.

Figuur 7.6: Effect van pompen op sedimentstroomlijnen binnen de beïnvloedingszone (of beïnvloedingskegel) en de snelheidsveranderingen met hun afstand van het opzuigstuk, dat normaal en horizontaal ten opzichte van de stroom georiënteerd staat. Daarnaast worden de gegevens vermeld voor opzuigstukken met een diameter van 3/4 inch en 3/8 inch en met een pompsnelheid van 5 voet/seconde. (figuur van Edwards & Glysson, 1999)



7.2.2.5.3 Dwarsdoorsnede coëfficiënt

De suspensiesediment gegevens moeten gerelateerd worden aan de gemiddelde suspensiesediment concentratie van de dwarsdoorsnede. Er moet dus een coëfficiënt bepaald worden waarmee de gegevens van pompsamplers moeten worden vermenigvuldigd om het transport van de volledige dwarsdoorsnede te kunnen benaderen. Deze coëfficiënt wordt voorlopig als constant beschouwd maar zou wel eens afhankelijk kunnen zijn van het debiet. Dit moet blijken uit de nog te maken (talrijke) diepte-geïntegreerde staalnames over de dwarssecties bij diverse omstandigheden.

De problematiek het vinden van de juiste dwarsdoorsnede-correctiefactor wordt verder besproken in punt 7.4.3.

7.2.3 Site-selectie

De best mogelijke site wordt gedefinieerd als een dwarsdoorsnede die relatief stabiele hydrologische karakteristieken vertoont en uniform van diepte is voor een wijde range van waterdebieten.

De aanwezigheid van een continue peilmeter is een pluspunt

De perfecte site komt niet tot nauwelijks voor zodat het nodig is om de beperkingen van de gekozen site te noteren en een programma op te stellen dat de nadelen minimaliseert en de voordelen maximaliseert.

Als de sedimentmeetplaats verder dan 100 m verwijderd is van de peilmeter of gelegen is op een plaats waar men niet aan peilhoogtemetingen doet kan het interessant zijn om een niet-opnemende peilindicator op de site te plaatsen zodat men een correlatie kan uitvoeren tussen de stroomcondities van de sedimentbemonsteringsplaats en de peilmeetplaats.

De meeste locaties zijn gekozen op basis van de reeds aanwezige limnigrafen.

Er zijn een aantal stuwen aanwezig in de buurt van het meetstation 392 801 36 te Overboelare, wat nadelig is. Ter hoogte van Grobbendonk is er 15 m stroomopwaarts een monding van een beek, langs dezelfde oever van de meetpost. Deze beek is afgesloten door een terugslagklep zodat bij hoge waterstanden geen lozing kan plaats vinden in de Nete en bij lagere waterstanden er behoorlijk wat extra sediment in de Nete wordt aangebracht. Dit is geen ideale omstandigheid

7.3 Turbiditeitsmeter

7.3.1 Monitor

Net zoals bij de automatische pompsamplers, doen er zich bij de turbiditeitsmeter (en dan vooral bij de terreinopstelling) een aantal problemen voor die niet in rekening zijn gebracht bij het tot stand komen van het WLH meetnet. De opvatting dat een turbiditeitsmeter een goed apparaat is om continue metingen te doen, is op zich misschien niet verkeerd, maar er moet wel degelijk rekening gehouden worden met het feit dat dit toestel een bijzonder hoog onderhoudsregime vereist. De sonde wordt geconfronteerd met algengroei of andere verontreiniging en met 'drifting'. Voor beide problemen bestaan oplossingen maar deze zijn erg arbeidsintensief. Het vergt bovendien ook een intensieve kalibratiecampagne.

In dit deel ga ik iets dieper in op de verschillende problemen en oplossingen die door de USGS zijn aangestipt (USGS, 1997; Wagner et.al., 2000).

7.3.1.1 Inleiding

Om de problematiek van turbiditeitsmetingen te begrijpen is het nodig te begrijpen hoe turbiditeitsmeters eigenlijk meten. Back-scattering turbiditeitsmeters meten de verstrooide straling. De turbiditeit kan in verschillende eenheden gemeten worden. De meest gebruikte zijn NTU en FTU. NTU staat voor *Nephelometric turbidity units*. Hiervoor worden nefelometrische methodes gebruikt, waarbij licht met een bepaalde golflengte doorheen een bepaald monster gestuurd wordt. FTU staat voor *Formazin turbidity units*. De waarde is vergelijkbaar met NTU maar de methode is anders. Hier worden absorptometrische en spectrofotometrische methodes gebruikt.

In dit eindwerk worden zowel NTU als FTU door elkaar gebruikt. Dit komt doordat de door het WLH gebruikte toestel, door de fabrikant in FTU geijkt werd, terwijl het de principes van NTU gebruikt.

Turbiditeitsmetingen worden beïnvloed door de grootte van de sedimentpartikels in suspensie, door ingesloten luchtbellens, door meedrijvend afval en andere partikels in het water die op of in de buurt van de optische sensor voorbijrijden tijdens de metingen.

7.3.1.2 Verschillende types van metingen en bijbehorende types van turbiditeitsmeters

De methodes voor turbiditeitsmeting van watermonsters methodes vallen in drie categorieën naargelang de mogelijkheden van het gebruikte type van instrument:

- 1) Bepaling van de turbiditeit van een manueel bemonsterd (discreet) monster.
Hierbij gebruikt men een turbiditeitsmeter die een cuvette bezit. Het monster wordt dan in de cuvette gedecanteerd.
- 2) Bepaling van de turbiditeit van een opgepompt monster.
Hierbij wordt het monster doorheen een doorstromingscel gepompt. Dit is een cuvette die een turbiditeits-sensor bevat. De cuvette is een intern onderdeel van het instrument.
- 3) Onmiddellijke bepaling van de turbiditeit van het rivierwater.
Hier plaatst men een turbiditeitsprobe ofwel in situ, ofwel in een doorstromingskamer, die het monster ontvangt.

De turbiditeitsmeter die het WLH gebruikt voor de continue monitoring (de STAIGER MOHILO) is een monitor van het derde type. Dat geldt ook voor het ANALITE toestel, dat gebruikt wordt om de turbiditeit te bepalen van de door de automatische pompsampler opgepompte monsters.

Het andere toestel waarmee men de turbiditeit van deze opgepompte monsters bepaald, de HACH 2100AN, is een toestel van het eerste type.

7.3.1.3 Algemeen onderhoud

De frequentie van het onderhoud wordt bepaald door de snelheid van ‘fouling’ van de sensoren. ‘Fouling’ is de afwijking van een sensoraflezing ten gevolge van vuil op de sensor Deze snelheid verschilt per sensortype, hydraulische omstandigheden en seizoen. Het gebruik van een wisser (cfr. ruitenwisser) of een sluitingsmechanisme die de lenzen tegen vervuiling beschermt kan de fouling sterk verminderen.

Voor stations die dagelijkse waarden met hoge nauwkeurigheid willen registreren, is een onderhoudsbeurt om de week noodzakelijk, soms zelfs sneller. Meetposten met nutriënt-aangerijkte waters en gemiddeld hoge temperaturen kunnen onderhoudsbeurten om de drie dagen vergen. Het is ook nodig onderhoudsbeurten in te lassen wanneer er een technisch falen plaatsvindt. Daarom is het zeer interessant om de turbiditeitsmeters op de telemetrie aan te sluiten, waardoor onmiddellijk gecontroleerd kan worden of er technische problemen zijn.

Het algemeen onderhoud houdt in:

- Dagelijks nakijken van sensorfuncties voor sites die telemetrie bezitten
- Inspectie van de site om technische storingen op te sporen
- Inspectie van sensor om ‘fouling’, corrosie of schade op te sporen.
- Inspectie van batterij of stroomtoevoer
- Controle van het tijdsmechanisme
- Routine sensor schoonmaak
- Indien nodig: kalibratie
- Downloaden van de data

De bedoeling van het nakijken van de sensor is de meetcyclus van metingen sinds de laatste onderhoudsbeurt afronden met een eindpunt, en de nieuwe cyclus van metingen aanvangen met een beginpunt. Daarnaast wordt er ook gecontroleerd of de monitor wel op een juiste manier functioneert.

Dit wordt gedaan door een aantal initiële sensorwaarden uit te lezen, dan de sensors een onderhoudsbeurt te geven en vervolgens de waarden van de schoongemaakte sensor uit te lezen.

Daarnaast zal men ook een kalibratiecontrole uitvoeren, waarbij men gebruik maakt van de juiste standaarden.

Hier worden echter al twee van de grote problemen waarmee turbiditeitsmeters te kampen krijgen aangehaald, namelijk 'fouling' en 'drifting'.

Het andere grote probleem waarmee turbiditeitsmetingen te kampen hebben is de plaatsing van de monitor in de dwarssectie. Hier geldt dezelfde problematiek als bij de pompsampler, aangezien ook hier weer puntmetingen uitgevoerd worden.

7.3.1.3.1 Fouling

Fouling kent verschillende oorsprongen, maar het kan ook event-gerelateerd zijn. Men moet in de eerste plaats wel trachten om vermindering van sensorgevoeligheid en kalibratiedrift (zie punt 7.3.1.3.2) van fouling te onderscheiden.

Fouling is de fout die door de turbiditeitsmeter gemeten wordt veroorzaakt door partikels (biologisch, chemisch of andere) die zich vastzetten op de lens. Hierdoor wordt er geen juiste waarde meer geregistreerd voor de verstrooiing van het uitgestuurde infrarode licht.

De graad van fouling wordt bepaald door het verschil tussen sensormetingen voor en na het schoonmaken van de sensors.

Continue metingen met turbiditeitssensoren zijn de moeilijkste metingen om binnen aanvaardbare grenzen van nauwkeurigheid en precisie te houden. Daarom moet de tijd tussen twee onderhoudsperiodes ook erg klein gehouden worden.

Op elke monitor die in een rivier geplaatst wordt gedurende een bepaalde tijd, treedt er sensor fouling op. Alhoewel fouling meestal begint van op het moment dat de monitor in de rivier geplaatst wordt, zal een peilhoogtestijging normaal gezien sterk bijdragen tot de fouling.

Als de turbiditeitssonde uitgerust is met afveeg- of afsluitingstechnologie, kan de nood aan een foulingcorrectie geminimaliseerd worden.

Als de sonde geen afveeg- of afsluitingsmechanismen bezit zal de nauwkeurigheid van de turbiditeitsdata sterk afnemen.

De door het WLH gebruikte sondes bezitten geen afveeg- of afsluitingsmechanismen. Correcties voor fouling zijn dus zeker noodzakelijk.

Een verschuiving om fouling te corrigeren is meestal een datum correctie die wordt uitgevoerd vanaf de dag van de laatste schoonmaakbeurt van de sensor, ofwel vanaf de dag van de laatste verhoging in peilhoogte, of van een ander belangrijk event.

Correcties voor fouling zijn, wat betreft de turbiditeitsmetingen uitgevoerd in het sedimentmeetnet van het WLH, nooit uitgevoerd. Dit is zeker een punt dat nog aandacht verdient.

7.3.1.3.2 'Drifting' = Verschuiving

Drifting is de afwijking of verschuiving van een sensoraflezing ten opzichte van de waarde van een gekalibreerde sensor.

Een kalibratie drift is dus een elektronische drift in het toestel sinds de laatste keer dat dit toestel gekalibreerd was. Deze drift wordt vastgesteld door metingen uit te voeren in buffers of standaardoplossingen met een schoongemaakte sensor en deze zelfde metingen uit te voeren met een gekalibreerde sensor. Als, na controle, de afwijking van de kalibratiewaarden binnen de kalibratiecriteria van de sensor valt, is er geen drift aanwezig.

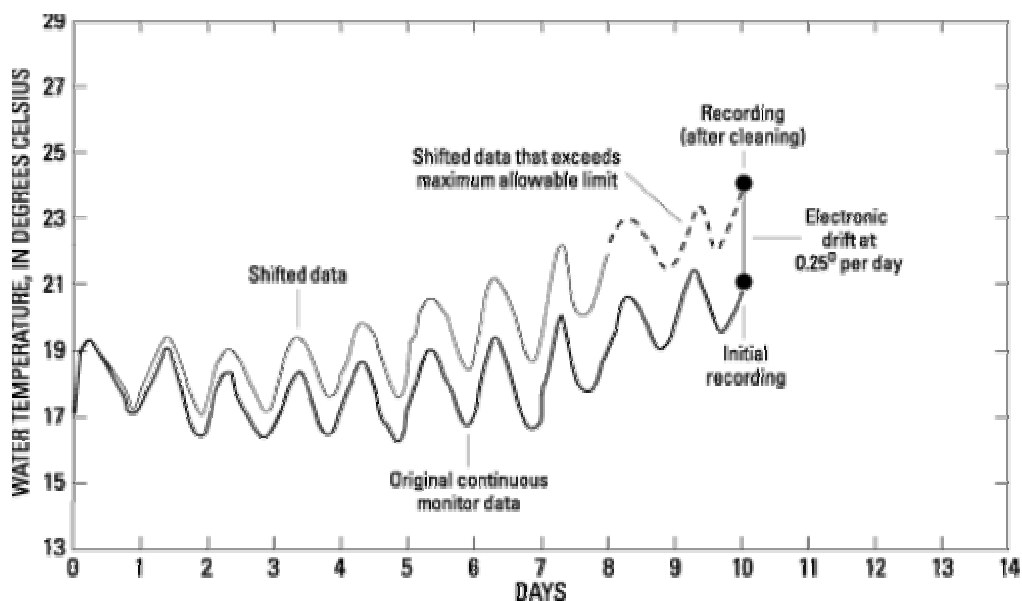
De kalibratiecriteria van een turbiditeitssonde zijn:

- een afwijking groter dan ± 2 NTU
- een afwijking van $\pm 5\%$ van de gemeten waarde

Men neemt aan dat wanneer er drift heeft plaatsgevonden, deze op lineaire manier is gebeurd, sinds de laatste onderhoudsbeurt. Daarom moet men, wanneer de sensor uitlezingen meer verschoven zijn dan de toegelaten kalibratiewaarden, een correctie toepassen die een lineaire interpolatie is over de tijd tussen de kalibratiecontroles.

Dit wordt geïllustreerd door Figuur 7.7. De illustratie is echter een correctie voor drifting van de temperatuur, maar eenzelfde principe wordt toegepast voor temperatuurssondes als voor turbiditeitssondes.

Figuur 7.7: Generaliseerde tekening van de correcties toegepast op een continue temperatuuropname (uit Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors (Wagner et al. 2000).



De USGS werkt met een systeem dat automatisch de data verwerkt. Dit systeem heet ADAPS (Automated Data-Processing System). Dit systeem kan niet het percentage aan shift registreren bij de opgenomen waarde. Er kunnen echter wel 3 standaarden ingegeven worden als waarde-aanpassingen voor bepaalde gemeten parameter, in dit geval turbiditeit.

Correcties kunnen op die manier toegepast worden als een 3-punts variabele verschuiving in ADAPS. Deze waarde-afhankelijke aanpassing wordt een variabele verschuiving genoemd en wordt toegepast wanneer standaarden op het begin en einde van het onderhoudsinterval verschillende hoeveelheden aan afwijking (variabele verschuivingen) vertonen. Een grafische voorstelling van een variabele verschuiving wordt gegeven in Figuur 7.8. Deze figuur geeft echter de specifieke geleidbaarheid weer. Continue opnames van deze parameter worden echter op dezelfde manier gecorrigeerd als de continue opnames van turbiditeit.

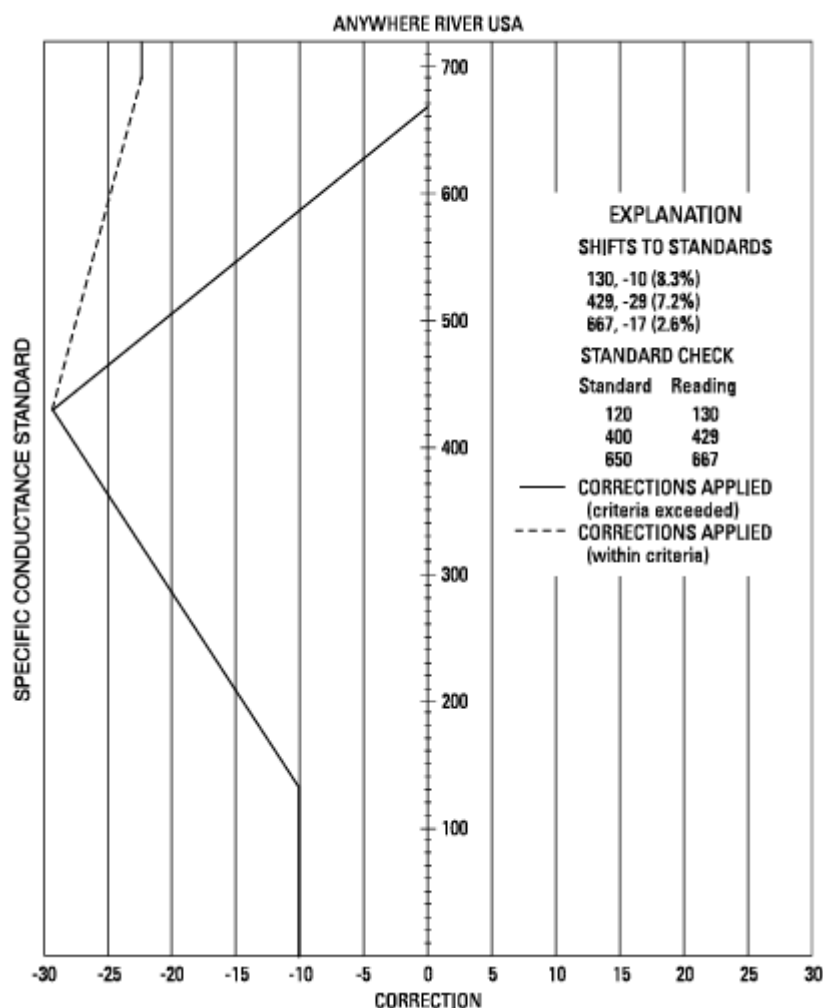
Variabele verschuivingen kunnen bij elke parameter toegepast worden, en dit is dan ook de aangewezen manier voor correcties gerelateerd aan instrumentendrift.

Aangezien er normaal gezien drie standaarden gebruikt worden bij de kalibratie van de monitor (zie punt 8.3.1.4.2), is variabele verschuiving de te verkiezen manier van correctie voor drift.

De turbiditeitsmeters die in het sedimentmeetnet gebruikt werden, werden niet op regelmatige tijden gekalibreerd. Enkel wanneer uit de NTU waarden grote fouten bleken geregistreerd te worden, werden de monitors opnieuw geijkt. Deze ijking gebeurde steeds met sedimentstalen en nooit met formazinestalen. Hierdoor werd de eigenlijke drift van het toestel even wel niet gecorrigeerd, maar bleef de 'schade' aan de resultaten beperkt.

Door de kalibratie echter niet op regelmatige intervallen uit te voeren, kunnen wij er wel van uitgaan dat er in de tussenperioden redelijk grote drift fouten zullen opgetreden zijn.

Figuur 7.8: Variabele verschuiving uitgevoerd op continue metingen van specifieke geleidbaarheid van een theoretische rivier ergens in Amerika (uit Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors (Wagner et. al. 2000)).



7.3.1.3.3 Schoonmaken en kalibreren van een turbiditeitsmeter

De USGS heeft vastgelegd hoe men op een correcte manier een turbiditeitssensor moet schoonmaken en kalibreren (USGS, 1997; Wagner et al, 2000). Daarom werd er in de eerste plaats een draaiboek opgesteld (zie [Bijlage 8](#)) dat volledig gebaseerd was op de procedures zoals die aangegeven werden door de USGS. Enkel de details die niet interessant waren voor de sites in het Scheldebekken en voor het type turbiditeitsmeters dat hier gebruikt wordt, werden weggelaten.

Kort samengevat komt het op het volgende neer:

- 1) Er moeten metingen uitgevoerd worden met een extra, reeds geijkte veldmeter. We vergelijken deze waarden met de waarden die bekomen worden met de continu metende monitor vóór, tijdens en na het onderhoud. Hierdoor kunnen we veranderingen in de omgeving tijdens het interval gedocumenteerd worden.
- 2) Wanneer de monitor uit het water gehaald wordt, moet deze geïnspecteerd worden op tekenen van chemische precipitaties, vlekken of algengroei. De sonde wordt dan schoongemaakt en teruggeplaatst in de rivier. De waarden bekomen door de schoongemaakte sonde worden vergeleken met de waarden van de veldmeter.

Het beschouwde verschil tussen de initiële sensor meting en de waarde verkregen na de schoonmaak, is ten gevolge van fouling.

Een andere methode die toegepast kan worden om de fouling te bepalen, is de waarden voor en na de schoonmaak, te meten in een standaardoplossing met gekende concentratie, of eventueel een watermonster van de rivier genomen (monster met een vaste concentratie).

De enige doelstelling bij het bepalen van fouling is het verschil te kunnen bepalen tussen waarden gemeten met de turbiditeitsmeter voor en na de schoonmaak van de sensor, en niet het meten van het verschil in concentratie aan sediment dat op verschillende momenten voorbij stroomt in de rivier. Dit kan dus vermeden worden door een geijkte veldmeter tijdens deze schoonmaak in de rivier te plaatsen, of door het probleem helemaal uit te sluiten door voor een monster met vaste concentratie te kiezen.

- 3) Nadat de monitor schoongemaakt is, wordt nagegaan of de monitor nog steeds goed gekalibreerd is, en geen elektronische drift ondergaan heeft. Daarvoor wordt kalibratiecontrole uitgevoerd met behulp van gekende formazine standaarden.

Als de monitor een waarde aangeeft ± 2 NTU of ± 5 % van de gemeten waarde, heeft de monitor geen meetbare drift ondergaan en kan de monitor terug in de rivier geplaatst worden. Wijkt de gemeten waarde wel meer af, moet de monitor opnieuw geijkt worden.

7.3.1.4 Ijkingsproblematiek bij infrarode turbiditeitsmeters

7.3.1.4.1 Inleiding

Zoals reeds aangehaald in punt 6.3.1 is de turbiditeitsmeting gesteund op het principe van verstrooiing van licht. L. Vanspringel (Vanspringel, 1998) heeft een aantal invloeden op ijkingscurves van verschillende infrarode turbiditeitsmeters onderzocht. De door het WLH gebruikte toestel, de Staiger Mohilo 7100 MTF, behoorde ook tot de door Vanspringel onderzochte toestellen. Hieronder worden een aantal invloeden in het kort besproken.

7.3.1.4.2 Invloed van de korreldiameter op de ijkingscurve

Om de invloed van de korreldiameter van sedimenten op de ijkingscurve te onderzoeken werden de ijkingscurven opgesteld voor verschillende types sedimenten: Sibelco zand, kaolinetklei en mengsels van dit zand met klei. De zeefcurves voor deze materialen is bijgevoegd in Bijlage 9.

Een ijkingscurve is niet volledig lineair (hoewel die van de Staiger Mohilo wel bijna volledig lineair is). De ligging van het lineaire gedeelte van de curve is afhankelijk van de korreldiameter

Figuur 7.9 toont de verschillende curves voor drie verschillende sedimenten, namelijk Kaolinet klei, zuiver Sibelco zand en een mengsel van Sibelcozand met 10% klei. De densiteit schommelt rond de 2650 kg/m^3 .

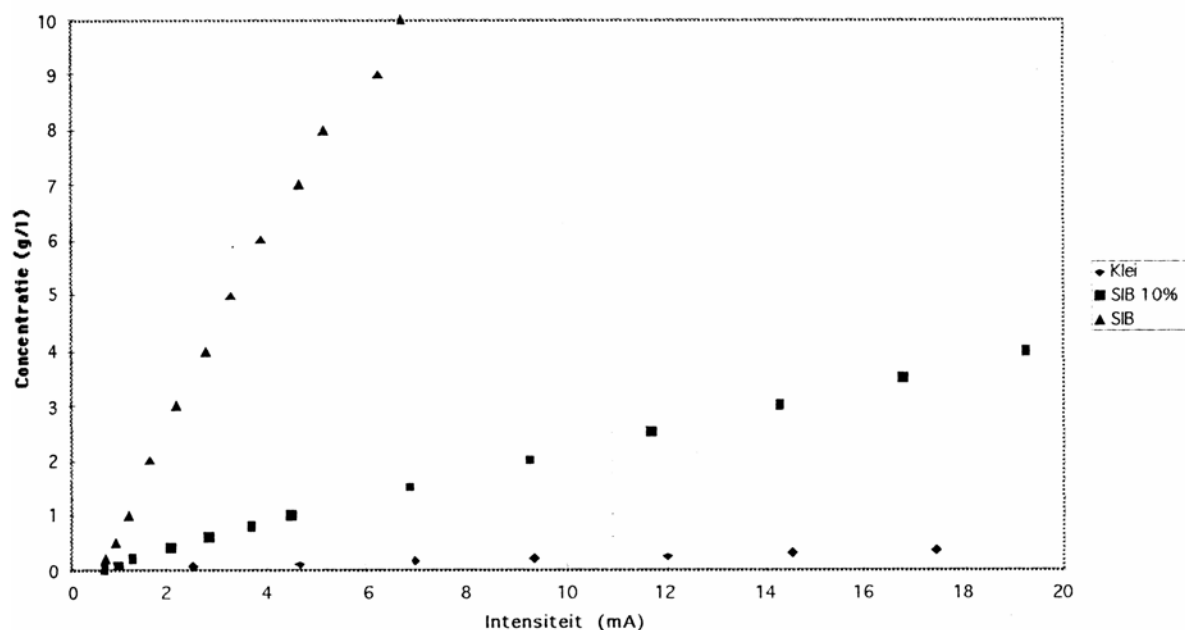
Ook de helling van de curve wordt beïnvloed door de korrelgrootte van de deeltjes. De helling neemt af naarmate men meer klei aan de mengsels toevoegt.

Hieruit volgt duidelijk dat in een rivier, waarin sedimenten van verschillende korrelgroottes worden getransporteerd, de ijkingscurve niet zo gemakkelijk te bepalen valt.

Daarnaast moet natuurlijk wel vermeld worden dat de korrels een grotere diameter hebben dan de gebruikte golflengte. Dit houdt in dat er een sterke voorwaartse verstrooiing zal plaatsvinden.

Aangezien de Staiger Mohilo een backscatter turbiditeitsmeter is, kunnen zich eventueel problemen voordoen door te lage intensiteit van de verstrooide stralen en ook invloed van rechtstreekse bronnen zoals daglicht, wanneer men niet in laboratoriumomstandigheden werkt.

Figuur 7.9: Ijkingscurves voor Kaolinetkei, Sibelcozand en Sibelcozand met 10% kleibijmenging (Vanspringel, 1998).



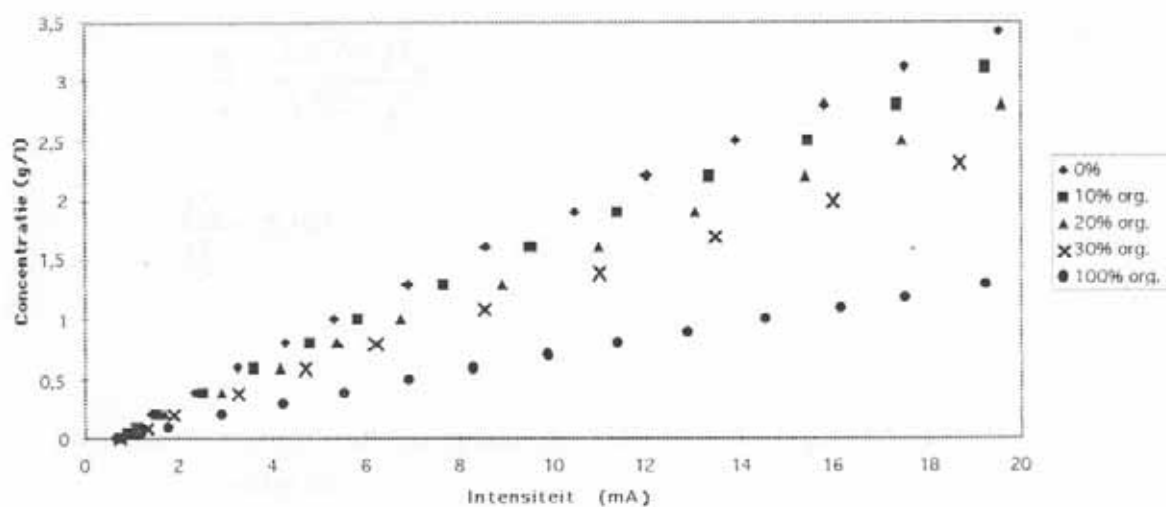
7.3.1.4.3 Invloed van de aanwezigheid van organisch materiaal op de ijkingscurve

Tussen zwevend materiaal in rivieren bevindt er zich steeds organisch materiaal. Dit materiaal heeft duidelijk een lagere densiteit dan de hiervoor gebruikte mengsels. Om de invloed van deze factor te onderzoeken werd gebruikt gemaakt van gemalen olijfpitten, om bepaalde praktische problemen met o.a. turf te vermijden.

Er werden mengsels gemaakt met Van de Velde zand en 10%, 20% en 30 % van deze gemalen olijfpitten (zeefcurves zijn bijgevoegd in [Bijlage 9](#)).

De geplote ijkingscurves van deze sedimenten zijn te zien in Figuur 7.10.

Figuur 7.10: Ijkingscurves die de invloed van organisch materiaal aantonen (Vanspringel, 1998).



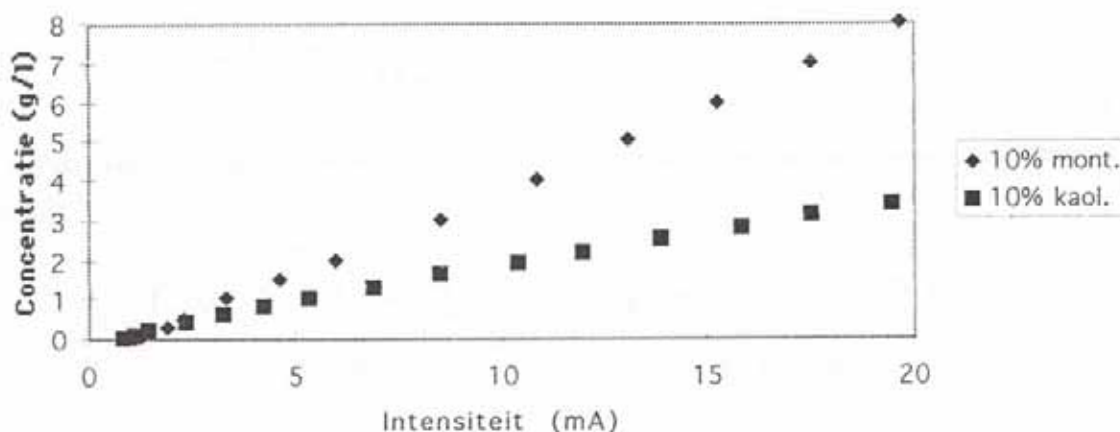
7.3.1.4.4 Invloed van de kleur op de ijkingscurven

Om de invloed van de kleur op de meetwaarden te onderzoeken, werden er proeven verricht met Montmorilloniet. Van dit materiaal is de densiteit ongeveer dezelfde als deze van Kaoliniteklei, namelijk 2650 kg/m^3 (de zeefcurve is bijgevoegd in Bijlage 9). De kleur is echter veel donkerder dan deze van Kaolinite en het water kleurde tijdens de proeven dan ook duidelijk veel meer dan bij de proeven met de zand-kaolinite mengsels.

Ook voor deze proef werden er mengsels gebruikt, namelijk Van de Velde zand met bijmenging van enerzijds Montmorilloniet en anderzijds kaolinite, telkens in de verhouding 90/10.

Omdat de korrel donkerder is, vindt er minder reflectie plaats op de korrel dan het geval is op een witte korrel. Een donkere korrel absorbeert veel meer licht dan een korrel met een lichtere kleur. In Figuur 7.11 ziet men duidelijk het verschil tussen het mengsels bestaande uit 10% kaolinite en 90% Van de Velde zand, en het mengsel bestaande uit 10% montmorilloniet en 90% Van de Velde zand.

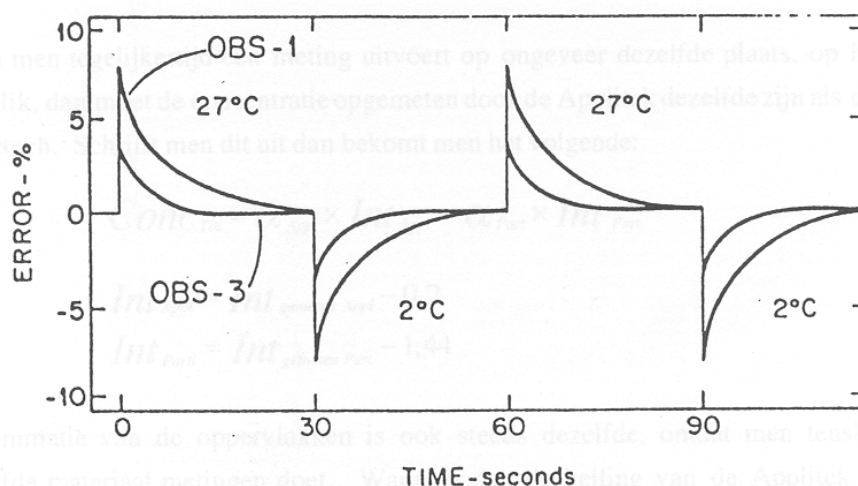
Figuur 7.11: Ijkingscurves die de invloed van de kleur van het sediment aantonen (Vanspringel, 1998).



7.3.1.4.5 Invloed van de temperatuur van het water

De temperatuur van water kan tot enkele graden per uur variëren in rivieren. Dit zou eventueel tot fouten kunnen leiden bij het aflezen van de turbiditeitsmeter. Men moet er ook steeds op toezien dat de turbiditeitsmeter tijd nodig heeft om zich te acclimatiseren in het water. Een verschil van 25°C tussen het water en de turbiditeitsmeter kan al een zeer grote fout opleveren. Dit wordt ook nog eens verduidelijkt in Figuur 7.12.

Figuur 7.12: Invloed van de temperatuur op de ijking (Vanspringel, 1998)



Bij metingen op het terrein zal men dus de turbiditeitsmeter voldoende lange tijd op voorhand op de plaats moeten hangen waar men de metingen wil verrichten, voordat men met de aflezing start.

7.3.1.4.6 Invloed van de vorm van de sedimentkorrels

De vorm van de korrel bepaalt in hoeverre er een constante ruimtelijke verdeling in de verstrooide stralen ontstaat. Een glad, sferisch deeltje zal voorspelbare resultaten voortbrengen, terwijl een onregelmatig gevormd deeltje voor erg variërende resultaten kan zorgen, naargelang de zijde waarop de lichtstraal invalt.

7.3.1.4.7 Invloed van het verschil van de refractie-indexen van het sediment en het water

Het verschil tussen de refractie-index van het sediment en de refractie-index van het water is de fysische oorzaak van verstrooiing. De intensiteit van het verstrooide licht neemt toe met de toename van het verschil tussen de refractie-indexen.

7.3.1.4.8 Conclusie

Deze verschillende invloeden bevestigen dat de ijking van de turbiditeitsmeter met sedimentmateriaal uit de te bemonsteren rivier moet gebeuren.

Aangezien gedurende het hele jaar verschillende bronnen van sediment aangesproken kunnen worden, moet er op verschillende tijdstippen sediment bemonsterd worden om na te gaan hoe sterk de ijkingscurven verschillen naargelang het meegevoerde materiaal verandert.

Daarom zou het ook interessant zijn om de oorsprongsgebieden van het sediment nauwkeuriger te bepalen.

7.3.2 Datalogger

Voor de datalogger moet men rekening houden met volgende mogelijke problemen:

- 1) Zoals reeds vermeld in punt 6.3.5 heeft de datalogger een input van 0 tot 20 mA. Op zich vormt dat geen probleem als de uitgang van de monitor een uitgang heeft van 0 tot 20 mA. De door het WLH gebruikte monitors stonden echter ingesteld zodat ze een uitgang van 4 tot 20 mA gebruikten. Hierdoor treden conversieproblemen op.
- 2) Het tweede probleem is de resolutie die verkregen wordt met een datalogger. De monitor stuurt analoge gegevens uit. De datalogger zal deze digitaal opslaan. In de datalogger wordt daarvoor eerst een minimale en maximale waarde in NTU geprogrammeerd. De datalogger verdeelt zijn meetbare range dan in lineaire intervallen, (= stappen of incrementen). De datalogger registreert de verandering in gegevens pas als er 'een stap verschil is' in de gegevens die de monitor uitstuurt, of praktisch gezien, als er een bepaalde verandering in NTU overschreden wordt.
Aangezien er gebruik gemaakt wordt van een 8-bit datalogger vallen deze stappen nogal groot uit.
De grootte van één stap bij een 8-bit datalogger verschilt naargelang de ingestelde maximale NTU-waarden. De waarde van één stap is namelijk de ingestelde maximale NTU-waarde gedeeld door 160.
Door te werken met een 8 bit datalogger gaan er dus heel wat van de kleinere variaties verloren.

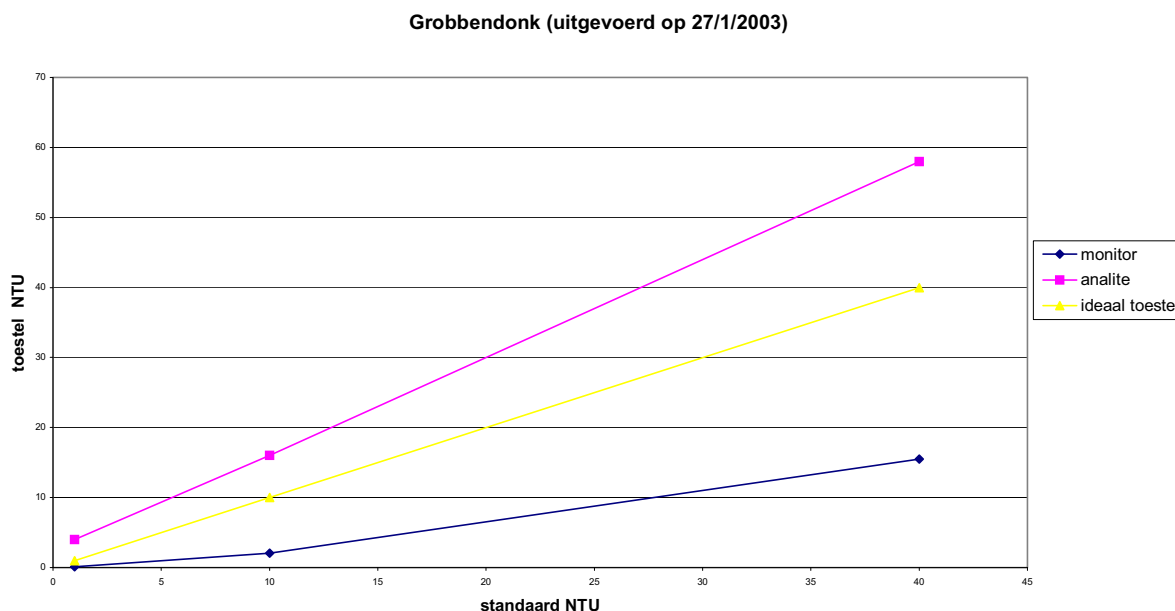
7.3.3 Ijking van de turbiditeitsmeters in mg/l

Zoals aangehaald in 6.3.7 wordt na één jaar bemonstering een ijkingcurve opgesteld zodat de monitor waarden in NTU kunnen omgezet worden naar mg/l.

Bij dit proces doen zich echter een paar problemen voor:

- De ijkingcurve mg/l in functie van NTU wordt opgesteld aan de hand van de metingen van het Analite turbiditeitstoestel, en niet aan de hand van de NTU waarden van de monitor zelf. Zoals ook aangetoond wordt in punt 8.3.1.4., geven noch de Analite, de Hach of de monitors dezelfde NTU waarden voor eenzelfde concentratie (zie Figuur 7.13). Hierdoor treedt een fout op in de omzetting van de NTU-waarden van de monitor naar mg/l.
- Men heeft de ijkingcurve opgesteld nadat men de waarden in incrementen van 10 NTU heeft uitgemiddeld. Hierdoor kunnen statistische fouten opgetreden zijn die moeilijk te achterhalen zijn.
- De monsters die wekelijks nog genomen worden om de ijking van de monitor te verifiëren volstaan allerminst. De problematiek van de ijking van de turbiditeitsmeter werd reeds eerder aangehaald in punten 7.3.1.3 en 7.3.1.4.

Figuur 7.13: Kalibratie van Hach, Analite en monitor (in dit geval van van de meetpost te Grobbendonk). De testen werden uitgevoerd met aangekochte Formazinestandaarden, waarvan de waarden 1, 10 en 40 NTU bedroegen.



7.4 Dwarsdoorsnede

7.4.1 Inleiding

Aangezien er zowel met de turbiditeitsmetingen als met de pompsampler metingen uitgevoerd worden op één bepaald punt (puntmetingen), moet er getracht worden om de waarden van sedimentconcentratie te corrigeren met een correctiefactor zodanig dat zij de gemiddelde sedimentconcentratie langsheen de dwarsdoorsnede doorheen de rivier weergeven.

Deze gemiddelde sedimentconcentratie is niet dezelfde waarde als deze die in een puntmeting naar voor komt omdat de sedimentconcentratie op elk punt van de doorsnede verschilt. Dit komt doordat de stroomsnelheid verschilt op elk punt in de doorsnede, en daarmee ook de potentiële kracht om sediment in suspensie te houden.

Aangezien er geen theoretische relatie bestaat tussen deze parameters, moet er een empirische vergelijking opgesteld worden tussen de concentraties verkregen uit de opgepompte stalen (de niet representatieve puntmonsters) en de concentraties van de representatieve monsters genomen op hetzelfde moment. Deze laatste zijn de monsters die verkregen zijn door met diepte- en breedte-integrerende samplers monsters van de dwarsdoorsnede te nemen.

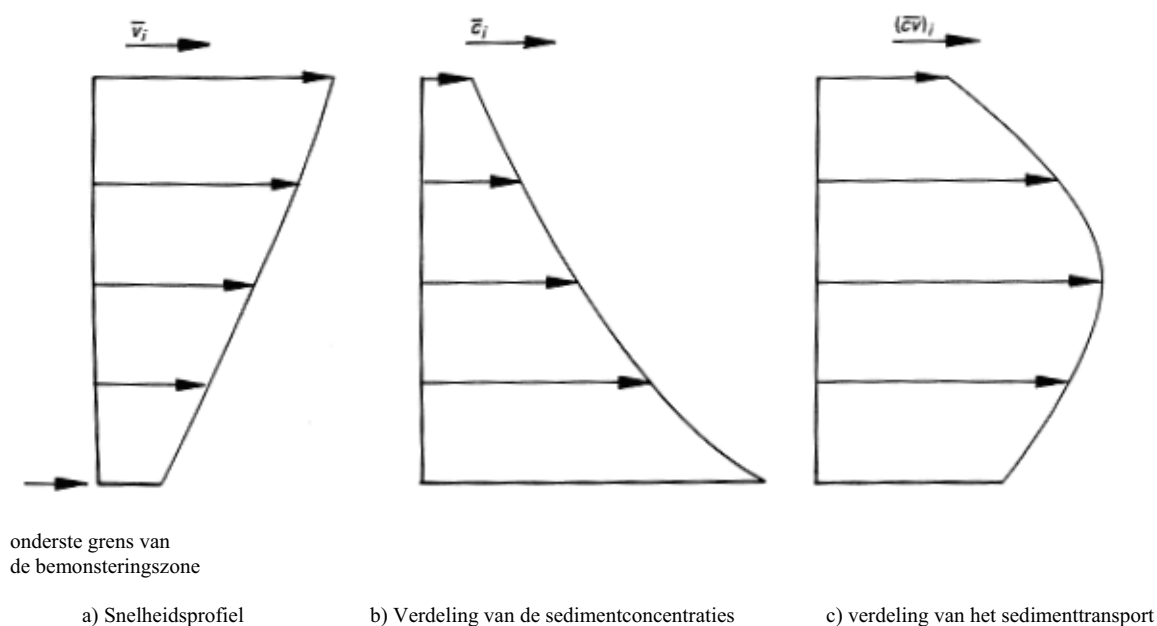
Het spreekt vanzelf dat het onmogelijk is om een gehele dwarsdoorsnede te bemonsteren in dezelfde tijd als men nodig heeft om een pompmonster te nemen. Daarom is het aangeraden een pompmonster te nemen onmiddellijk voor en na de monsternamen van de dwarsdoorsnede.

Dit helpt de verandering in concentratie die zou kunnen voorvallen in de tijd nodig om de monsters te nemen op te vangen.

Als men verwacht dat de concentratie snel verandert tijdens deze periode tracht dan één of meerder monsters te nemen met de pompsampler terwijl men bezig is met het bemonsteren van de dwarsdoorsnede. Deze data zullen helpen bij het berekenen van de dwarsdoorsnede coëfficiënt. Het verzamelen en vergelijken van deze testmonsters zou moeten herhaald worden elke keer men de meetpost bezoekt, en ook bij hoge en lage waterpeilen en bij piekstromen tijdens alle seizoenale periodes (gesmolten sneeuw run-off, onweren, enz...).

De ISO (ISO, 1977) beschrijft die problematiek ook. Zij nemen een snelheidsprofiel op langs een aantal verticalen. Per verticale wordt dan ook een sedimentconcentratieprofiel en een profiel van de verdeling van sedimentlading bepaald (zie Figuur 7.14).

Figuur 7.14: Berekening van de sedimentlading (uit ISO, 1977)



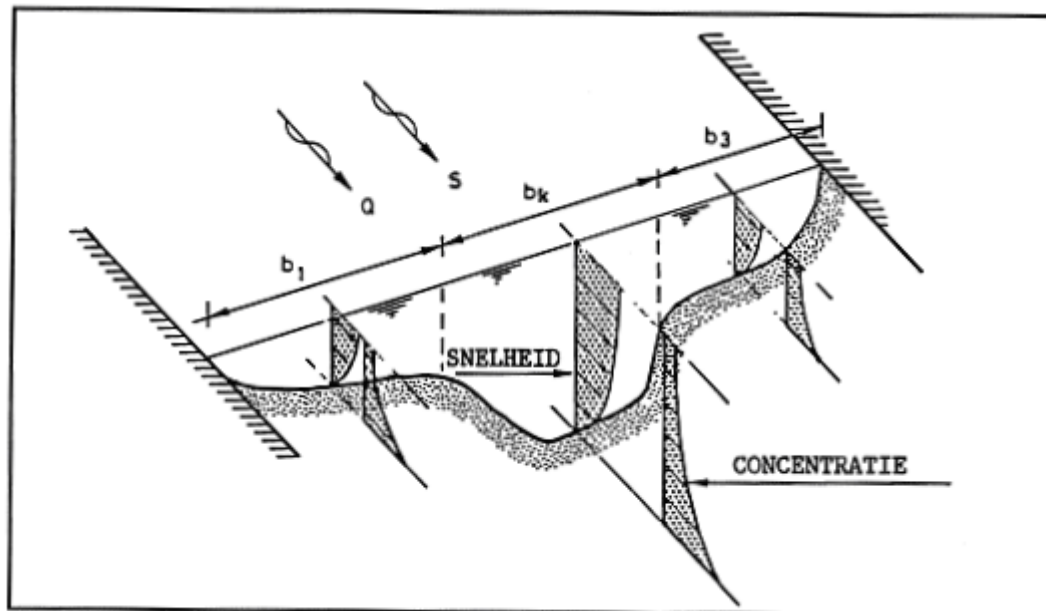
De stroomsnelheid $\bar{v}_i$ in de rivier neemt af met de diepte onder het wateroppervlak (zie Figuur 7.14 a).

De concentratie aan sedimenten in suspensie $\bar{c}_i$ neemt echter toe naar de bodem toe, waar men uiteindelijk ook bodemtransport in rekening dient te brengen (zie Figuur 7.14 b). De vermenigvuldiging van beide geeft dan de verdeling van de sedimentlading (zie Figuur 7.14 c). Deze figuren zijn echter geldig voor één verticale. De stroomsnelheid in een rivier is echter niet constant langs de volledige breedte, zelfs niet bij een gekanaliseerde rivier, dus is het ook nodig om meerdere verticalen te bemonsteren.

Dit wordt visueel verduidelijkt op Figuur 7.15, waar de verschillende stroomsnelheden en sedimentconcentraties langs een verscheidene verticalen schematisch worden voorgesteld.

Figuur 7.15: Schematische voorstelling van variaties in stroomsnelheid en sedimentconcentratie langs verschillende verticalen op een dwarsdoorsnede (figuur overgenomen uit Verhoeven, 2000)

Waarbij: Q = debiet
 S = totale sedimenttransport per eenheidsbreedte
 b_1 = breedte van sectie 1
 b_k = breedte van sectie k
 b_3 = breedte van sectie 3



7.4.2 Procedure door het WLH toegepast

Aangezien de automatische pompsampler monsters opzuigt vanuit één welbepaald punt, was het noodzakelijk om een correctiefactor voor de gehele dwarsdoorsnede te bepalen. Daarom heeft het WLH, met behulp van een dompelpomp, op verscheidene verticalen in de rivier monsters genomen. Men heeft deze dwarsdoorsnede voor elke meetpost één maal bemonsterd, en daaruit de dwarsdoorsnede-correctiefactor bepaald.

De metingen verliepen als volgt:

- 1) Op de eerste plaats werd het waterdebiet opgemeten. Dit gebeurde door een snelheidsmeter naar beneden te laten op een aantal vastgelegde raaien (de afstanden staan meestal aangeduid op de brug). Om het debiet te meten, mat men eerst de diepte van de rivier ter hoogte van de te bemonsteren raai. Vervolgens mat men de stroomsnelheid op verschillende dieptes, naargelang de totale diepte.
- 2) Vervolgens werd de dompelpomp bevestigd aan de automatische katrol (die ook al de snelheidsmeter naar beneden gelaten had). Op elk punt waar eerder de snelheid gemeten werd, werd nu ook een waterstaal genomen.
- 3) De waarde voor de sedimentconcentratie die bekomen wordt op de theoretische verticale waarop het opzuigstuk van de pompsampler zich bevindt, wordt vergeleken met de gemiddelde sedimentconcentratie verkregen over alle verticalen. Tussen deze twee waarden wordt een correctiefactor opgesteld, zodat de waarden verkregen uit de pompsampler gecorrigeerd kunnen worden, zodat ze de gemiddelde waarde van de gehele doorsnede weergeven.

Bij elk van deze punten stellen zich echter problemen:

- Zo is de gebruikte pomp geen isokinetisch bemonsterend toestel, waardoor de verkregen concentraties nog gecorrigeerd dienen te worden (met een opzuigefficiëntie-coëfficiënt (zie punt 7.2.2.5.2.)).
- Daarnaast wordt er gebruikt gemaakt van puntmonsters, wanneer men een pomp gebruikt, waardoor men een extra integratie moet uitvoeren over de gehele diepte. Dit in tegenstelling tot diepte-integrerende samplers, waarbij deze integratie al tijdens de bemonstering gebeurt.
- Tot slot moet een dwarsdoorsnede correctiefactor meer dan eens bepaald worden, bij verschillende debietregimes.

7.4.3 Methodes door de USGS voorgeschreven

De U.S. Geological Survey heeft met veel meer variabelen rekening gehouden, dan het WLH. Daarom wordt in het volgende stuk de verschillende stappen overlopen om te komen tot een correcte bemonstering van een dwarsdoorsnede, en om daaruit dan een juiste correctiefactor te bepalen. Meerdere naslagwerken van de USGS bevatten deze informatie zoals: Techniques of Water-Resources Investigations Reports (Edwards & Glysson, 1999) en de National Field Manual for the Collection of water-Quality Data (USGS, 1997).

De verschillende stappen en een aantal vragen zijn:

- Sedimenttransport metingen
 - Wat is de doelstelling? Hoe kan men die bereiken?
 - Wat is de theoretisch ideale methode, en wat kan men praktisch doen?
- Enkelvoudige verticale
 - Wat is de doelstelling?
 - Wat zijn de verschillende condities waar men mee moet rekening houden?
 - Wat kan exact bemonstert worden?
- Multi-verticale
 - Hoe plaatst men meerdere verticalen?
 - o De 'Equal-Discharge-Increment Method' (EDI)
 - o De 'Equal-Width-Increment Method' (EWI)
 - o Voor- en nadelen van EDI en EWI methodes
- Het aantal verticalen
 - Hoe wordt dit bepaald?
- Transit rate (doorhaalsnelheid)

7.4.3.1 Sedimenttransport metingen

De normale doelstelling van sedimentbemonstering is het vaststellen van de onmiddellijke gemiddelde debiet-gewogen concentratie van sediment in suspensie doorheen een dwarsdoorsnede.

Deze concentraties worden gecombineerd met debieten om zo het gemeten suspensietransport te berekenen.

Hiervoor is een gemiddelde debiet-gewogen concentratie voor sediment in suspensie voor de gehele dwarsdoorsnede nodig. Deze is trouwens ook nodig voor het vinden van de coëfficiënten om de data van de waarnemer en van de automatische pompsampler aan te passen.

Idealiter is de beste procedure om het sedimenttransport van een rivier te bepalen, de gehele stroom van de gehele rivier gedurende een bepaalde periode te verzamelen, het water daarvan te scheiden en het sediment te wegen.

Het spreekt vanzelf dat deze methode fysisch niet haalbaar is in de meeste gevallen.

In de plaats daarvan bepaalt men de concentratie aan sediment van de stroom door:

- (1) het verzamelen van diepte-geïntegreerde monsters van sediment in suspensie langs een verticale die de gemiddelde debiet-gewogen concentratie van de bemonsterde verticale definiëren
- (2) het verzamelen van voldoende verticalen om de gemiddelde debiet-gewogen concentratie in de dwarsdoorsnede te bepalen.

7.4.3.2 Enkelvoudige verticale

Het doel van het bemonsteren van een enkelvoudige verticale is een monster te bekomen dat de gemiddelde debiet-gewogen concentratie aan sediment in suspensie weergeeft van de verticale die bemonsterd werd op het moment dat het monster genomen werd.

De methode die hiervoor gebruikt wordt hangt af van de stromingsomstandigheden en de grootte van de deeltjes in suspensie die worden vervoerd. Deze omstandigheden kunnen ingedeeld worden in 4 types van situaties:

1. lage snelheid ($v < 2,0 \text{ ft/s}$ of $v < 0,6096 \text{ m/s}$), wanneer nauwelijks of geen zand in suspensie getransporteerd wordt
2. hoge snelheid ($2,0 \text{ vt/s} < v < 12,0 \text{ vt/s}$ of $0,6096 \text{ m/s} < v < 3,6576 \text{ m/s}$), wanneer dieptes kleiner zijn dan 15 voet of 4,572 m.
3. hoge snelheid ($2,0 < v < 12,0 \text{ vt/s}$ of $0,6096 \text{ m/s} < v < 3,6576 \text{ m/s}$), wanneer dieptes groter zijn dan 15 voet of 4,572 m.
4. Zeer hoge snelheden ($v > 12,0 \text{ ft/s}$ of $v > 0,6096 \text{ m/s}$).

In het geval van bijvoorbeeld Grobbendonk bevinden wij ons in situatie 2. Hiervoor schrijft de USGS het volgende voor:

Men kan gebruik maken van standaard diepte-integrerende samplers (zie punt 7.2.1.1).

De methode van monsternamen is nagenoeg dezelfde voor elk van deze samplers, of ze nu gebruikt worden bij waden door de rivier of van op een brug. Steek een nieuwe fles in de sampler en controleer of er geen versperringen zijn in de inlaat of luchtuitgang. Laat dan de sampler zakken tot aan het wateroppervlak zodat de inlaat boven het water uitsteekt en het lagere gedeelte (met vin) in het water zit zodat de sampler zich in stroomop-stroomafwaartse zin kan oriënteren.

Na oriëntatie van de sampler kan men overgaan tot een diepte-integratie, wat inhoudt dat de volledige diepte doorlopen wordt en de sampler terug naar boven getrokken wordt, dit alles op een constant tempo. Wanneer de bodem van de sampler de rivierbodem raakt moet de samplerrichting onmiddellijk omgedraaid worden en moet men opnieuw met een constante snelheid de sampler de verticale laten beschrijven.

De doorhaalsnelheid bij het neerlaten en ophalen van de sampler hoeft niet dezelfde te zijn, maar het is wel noodzakelijk een constante snelheid aan te houden bij het neerlaten en ook bij het ophalen, zodat er twee maal een snelheids- of debiet-gewogen monster genomen wordt.

De snelheden moeten zodanig gekozen worden zodat de flessen tot bijna het maximale niveau gevuld zijn.

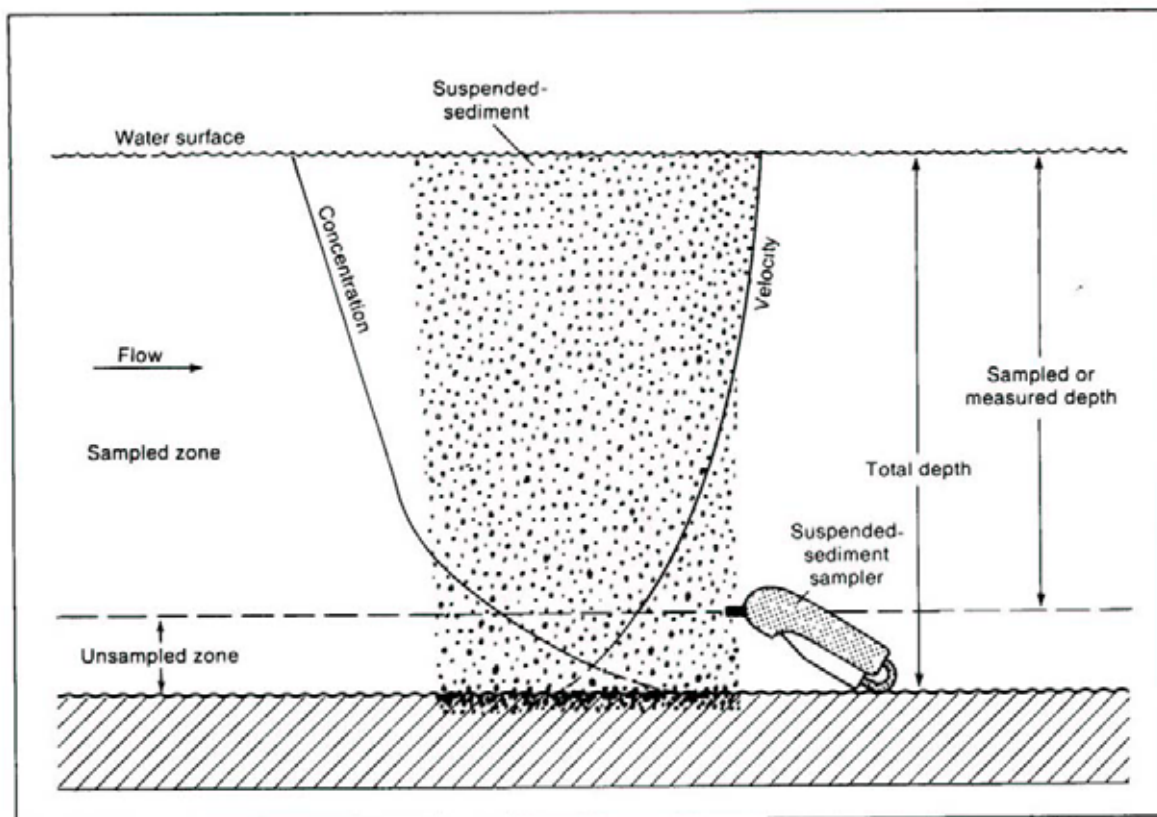
Daarnaast moet men zich ook afvragen welk gedeelte van de verticale nu exact bemonsterd wordt.

Zoals reeds eerder vermeld (zie punt 7.2.1) is één van de criteria voor de constructie van samplers dat het opzuigstuk van de sampler zo dicht als fysisch mogelijk de bodem moet kunnen benaderen. Aan de hand van het al dan niet kunnen bemonsteren wordt de verticale in twee zones ingedeeld, zoals geïllustreerd in Figuur 7.16. Deze indeling wordt veroorzaakt door het ontwerp van de sampler die de effectieve bemonsterde diepte vermindert.

De gehele diepte bemonsteren is onmogelijk aangezien de fysieke plaats van de inlaat van de sampler relatief ten opzichte van de bodem van de sampler voorkomt dat de inlaat in contact komt met de bodem. Dat gedeelte van de diepte wordt de onbemonsterde zone genoemd. Deze heeft normaal gezien een hogere concentratie aan sediment en daarnaast zijn er ook meer grovere deeltjes aanwezig in deze zone.

Het gedeelte van de verticale dat wel bemonsterd kan worden, heet logischerwijs de bemonsterde zone.

Figuur 7.16: Bemonsterde en onbemonsterde zones in een bemonsteringsverticale in een rivier. Daarnaast wordt ook het snelheids profiel en het profiel van sedimentconcentratie weergegeven (figuur uit Edwards & Glysson 1999).



Hoe groot de onbemonsterde zone is, is afhankelijk van het type sampler dat gebruikt wordt. Zo heeft een sampler waarbij het opzuigstuk een hoek vormt met de rest van het lichaam van de sampler (zoals deze in Figuur 7.16) een grotere afstand tussen inlaat en bodem van de sampler dan een sampler waarbij er geen hoek gemaakt wordt tussen opzuigstuk en de rest van het lichaam.

Aan de andere kant moet men rekening houden dat de hoek tussen het opzuigstuk en het lichaam gemaakt is om de isokinese van het toestel te verbeteren.

Men zal dus een keuze moeten maken wat het belangrijkste is: een dieper gedeelte van de verticale bemonsteren, of isokinetisch bemonsteren.

7.4.3.3 Multi-verticale

Een diepte-geïntegreerd monster dat verzameld is volgens eerder aangehaalde procedures zal de debiet-gewogen concentratie van sediment in suspensie nauwkeurig weergeven langs de verticale op de tijd van de bemonstering.

Zoals eerder vermeld in punten 7.2.2.5.1 en 7.4.1 is de bedoeling van het bemonsteren het vinden van de onmiddellijke sedimentconcentratie doorheen een dwarsdoorsnede.

De vraag wordt nu: hoe plaatsen we de verticalen in de dwarsdoorsnede zodat het eindresultaat een monster is dat representatief is voor de gemiddelde debiet-gewogen sediment concentratie?

De USGS gebruikt twee basismethoden om de locatie of de spatiëring van de verticalen te definiëren, namelijk de Equal-Discharge-Increment Method, of EDI en de Equal-Width-Increment Method of EWI. Beiden worden hierna uitgebreider besproken.

7.4.3.3.1 De 'Equal-Discharge-Increment Method' (EDI)

Bij de EDI worden monsters genomen van de centra van equal-discharge incrementen, dit wil zeggen dat men de rivier indeelt in verschillende incrementen waarbij door elk increment een gelijk debiet stroomt (zie Figuur 7.17). Deze methode vereist de kennis van de verdeling van de stroom in de dwarsdoorsnede, gebaseerd op een lange periode van debietmetingen of op een debietmeting gemaakt onmiddellijk voor het kiezen van de bemonsteringsverticalen.

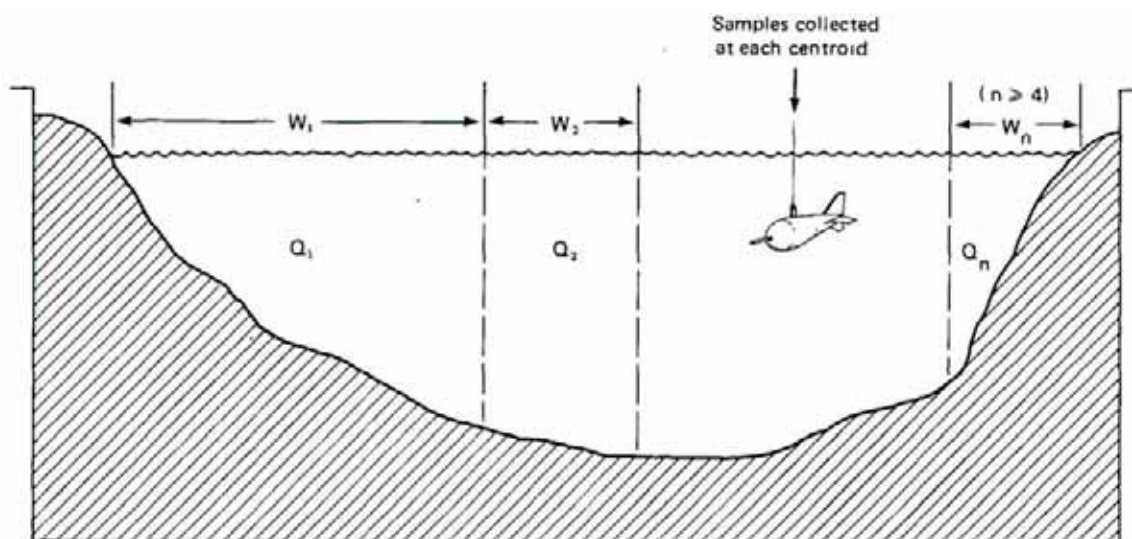
Als deze kennis kan bekomen worden, kan de EDI ervoor zorgen dat er veel tijd en werk bespaard wordt (in vergelijking met de equal-width-increment-methode), vooral bij grotere rivieren, aangezien er minder verticalen nodig zijn.

Als men de EDI methode wil gebruiken zonder enige voorkennis van de stromingsverdeling in de bemonsteringsdwarssectie, kan men eerst het debiet van de rivier en de verdeling van de stroom langs het kanaal doorheen de dwarsdoorsnede bepalen alvorens met de bemonstering te beginnen.

Van de debietmetingen die het bemonsteren voorafgaan, of uit vroegere debietmetingen kan men gelijk-debiet incrementen bepalen (zie Figuur 7.17) en de centra daarvan, waar de monsters genomen zullen worden.

Figuur 7.17: Voorbeeld van een equal-discharge-increment (EDI) bemonsteringstechniek. Bemonstering gebeurt op de hoogte van de centroïde van elk increment (figuur uit Edwards & Glysson 1999).

Verklaring: W = Breedte tussen verticalen (niet gelijk)
 Q = Debiet in elk increment (gelijk, EDI)



Men moet minimaal 4 en maximaal 9 verticalen gebruiken wanneer men de EDI-methode toepast. De methode gaat ervan uit dat het genomen monster in het centrum de gemiddelde concentraties voor die subsectie voorstelt.

De moeilijkheid bij het gebruik van het EDI systeem is de berekening van de localisatie van de centra waar de bemonsteringsverticalen genomen zullen worden.

De dwarsdoorsnede wordt in drie stappen ingedeeld in incrementen van gelijk debiet:

- 1) Controleer visueel de rivier van oever tot oever terwijl je let op snelheid, breedte, diepteverdeling en zichtbare verdeling van sediment langsheen de doorsnede. Noteer de plaatsing van stagnerend water, draaikolken, terugvloeiingen, plaatsen waar het water sneller stroomt dan elders enz...

- 2) Als de rivier en de peilwaarden ervan stabiel zijn kan men de historische data gebruiken om de meetlocaties te bepalen. Wanneer de rivier echter niet stabiel is, of er geen historische data is, moet men eerst een debietmeting uitvoeren langs een gekozen dwars-sectie.

Van de aanwezige debietdata kan men:

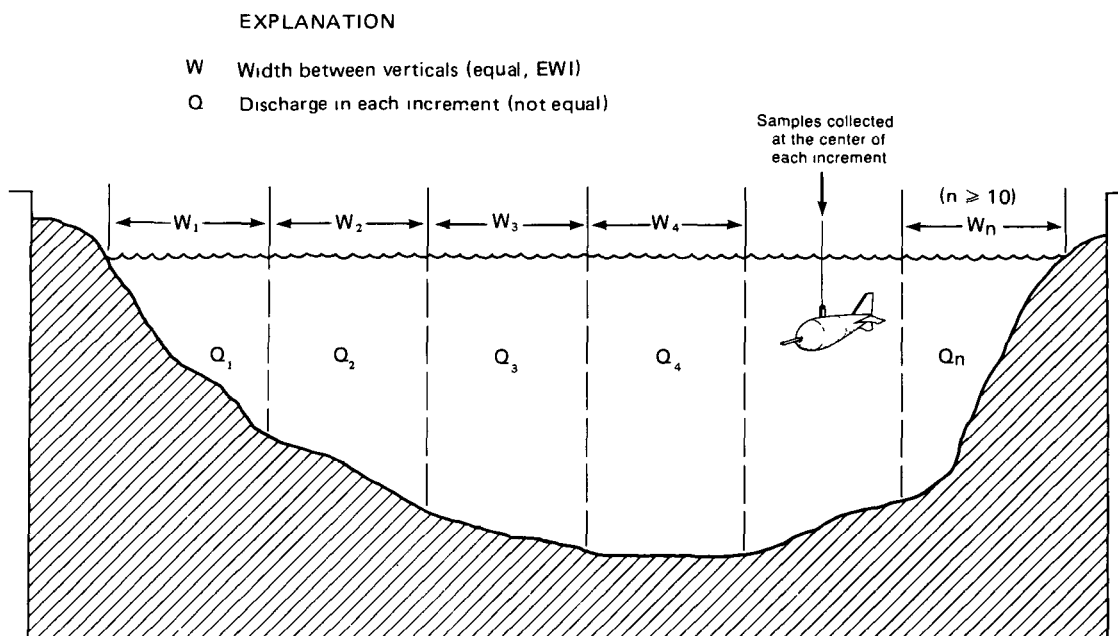
- Ofwel een grafiek maken die gebruik maakt van cumulatieve debieten of cumulatieve percentages van het totaal debiet geplot in functie van de breedte van de dwarsdoorsnede
 - Ofwel EDI secties bepalen rechtstreeks van de genoteerde reeks van debietwaarden van de debietmeting.
- 3) Van de grafiek of van de debietwaarden kan men het aantal en de locaties van de EDI's en de centra's van deze incrementen bepalen.

7.4.3.3.2 De 'Equal-Width-Increment Method' (EWI)

Een monster van sediment in suspensie van een dwarsdoorsnede, bekomen m.b.v. de EWI methode vereist een monstervolume proportioneel met de hoeveelheid stroom op elk van de meerdere op gelijke afstand geplaatste verticalen in de dwarsdoorsnede. Deze gelijke afstand tussen de verticalen (EWI) over de rivier en de bemonstering op een gelijke doorhaalsnelheid voor alle verticalen geeft een totaal monster volume dat de proportioneel is met de totale stroom. Het is vanzelfsprekend dat men dezelfde grootte van inlaat gebruikt in de sampler voor een bepaalde meting. Deze methode wordt het meest gebruikt in ondiepe, doorwaadbare rivieren en/of zandbodem rivieren waar de verdeling van debiet doorheen de dwarsdoorsnede niet stabiel is. Het is ook nuttig in rivieren waar de zijrivier nog niet volledig gemengd is met de stroom van de hoofdriever.

De breedte van de incrementen die bemonsterd moeten worden, of de afstand tussen de verticalen, wordt bepaald door het delen van de breedte van de rivier door het aantal verticalen die nodig zijn om een representatief monster van de sedimentconcentratie van de rivier te bemonsteren (zie Figuur 7.18).

Figuur 7.18: EWI bemonsteringsmethode (figuur uit Edwards & Glysson 1999)



Het aantal verticalen dat voor een EWI sedimenttransport meting nodig is hangt zowel af van de verdeling van de concentratie en de stroom in de dwarsdoorsnede op het tijdstip van monsternamen, als van de verlangde nauwkeurigheid. Op vele rivieren zijn zowel statistische aanpak als ervaring nodig

om het juiste aantal verticalen te bepalen. Tot deze ervaring is opgedaan hoort men meer verticalen te bemonsteren dan nodig zijn.

In elk geval, een minimum van 10 verticalen moet gebruikt worden voor rivieren die breder zijn dan 5 voet. Voor rivieren minder dan 5 voet breed, moeten zo veel mogelijk verticalen gebruikt worden, zolang ze op zijn minst 3 inch van elkaar verwijderd zijn, om eventuele overlap tussen verticalen te vermijden.

Door algemene ervaring met gelijkaardige rivieren kan de veldploeg het minimum aantal van verticalen inschatten om een voldoende nauwkeurigheid op te leveren.

7.4.3.3 Voor- en nadelen van EDI en EWI methodes

Sommige voor- en nadelen van zowel de EDI en EWI methodes zijn al eerder vermeld. Men moet echter onthouden dat beide methodes, indien juist gebruikt, dezelfde resultaten opleveren.

De voordelen van de EDI-methode zijn:

1. Er moeten minder verticalen bemonsterd worden, waardoor de bemonsteringstijd vermindert.
2. Bemonstering tijdens snel veranderende peilhoogtes wordt vergemakkelijkt door de kortere bemonsteringstijd.
3. Flessen die een set van monsters bevatten kunnen samengevoegd worden (composietmonster vormen) voor laboratorium analyse wanneer gelijke hoeveelheden volumes van stalen genomen zijn van elke verticale.
4. De variatie in concentratie in de dwarsdoorsnede kan bepaald worden als staalflesjes apart worden onderzocht.
5. Duplicaten van monsters van de dwarsdoorsnede kunnen gelijktijdig verzameld worden.
6. Men kan een variabele 'transit rate' gebruiken bij de verticalen.

De voordelen bij de EWI-methode zijn:

- 1) Voorkennis van de stroomverdeling is niet vereist.
- 2) Variaties in de verdeling van de concentratie in de dwarsdoorsnede kunnen beter gedefinieerd worden, wegens groter aantal verticalen die bemonsterd zijn.
- 3) De analysetijd is verminderd doordat de monsterflessen worden samengevoegd tot composietmonsters voor laboratoriumanalyse.
- 4) Deze methode is eenvoudig aanleerbaar aan en bruikbaar voor veldwaarnemers aangezien de afstand tussen de bemonsterde verticalen gebaseerd is op de makkelijk waarneembare breedte van de rivier in plaats van op het debiet.
- 5) In het algemeen is er minder totale tijd nodig ter plaatse, als geen debietmeting noodzakelijk lijkt en de dwarsdoorsnede stabiel is.

Het is duidelijk dat een aantal voordelen van de ene methode in vele gevallen de nadelen van de andere zijn.

Eén groot nadeel van de EWI-methode is de onmogelijkheid om op een voldoende wijze de slechte monsters in het monster set te onderscheiden.

7.4.3.4 Het aantal verticalen

Het aantal verticalen nodig om een verdeling van sedimentconcentratie of korrelgrootte in een dwarsdoorsnede hangt af van de verlangde nauwkeurigheid en van de systematische variatie in sedimentconcentratie op de verschillende verticalen doorheen de rivier.

Zowel de EDI als de EWI methode van sedimenttransport metingen leveren een debiet-gewogen monster voor elke verticale. De volumetrische som van alle verticalen levert een monster volume dat zich verhoudt t.o.v. het debiet van de rivier.

Men moet zich echter herinneren dat alle of bijna alle variaties in concentraties in verschillende verticalen doorheen een rivier te wijten zijn aan een niet-uniforme verdeling van materiaal van zand grootte en dat de fijnere sedimenten meestal op een uniformere wijze verspreid zijn doorheen de doorsnede.

Als de doorsnede in de buurt van een bijrivier wordt gekozen, kunnen de stromen van beide rivieren nog niet volledig gemengd zijn. Daarom is het aangeraden de bemonsteringsdoorsnedes niet in de buurt van de monding van zijrivieren te kiezen.

Het transport van zand staat ongeveer in verhouding tot de derde macht van de snelheid, bij constante temperatuur en met een gegeven korrelgrootte verdeling voor een range van snelheden van +/- 2 tot 5 ft/s (= 0,6096 m/s tot 1,524 m/s) en met maar een beperkte range aan dieptes.

Daaruit volgt dat:

$$Q_s = k_1 v^3$$

waarin: Q_s = het transport van zand per eenheid van breedte

k_1 = een constante voor een gegeven diepte, korrelgrootte en temperatuur

v = de gemiddelde snelheid.

Het transport aan zand kan geschreven worden als:

$$Q_s = k_2 c v d$$

waarin: k_2 = een constante

c = gemiddelde debiet-gewogen concentratie in de bemonsterde verticale

d = totale bemonsterde diepte

Als men deze vergelijkingen schrijft naar c , krijgt men:

$$c = \frac{k_1}{k_2} \frac{v^2}{d}$$

Daaruit volgt dat de variabiliteit van de concentraties van verschillende bemonsterde verticalen, nauw verband zouden moeten houden met de variabiliteit van v^2/d .

Om een v^2/d index te verkrijgen die bruikbaar is voor vergelijking voor alle stromen, suggereert men de verhouding:

$$\frac{\frac{v^2}{d_{\max}}}{\frac{v^2}{d}}$$

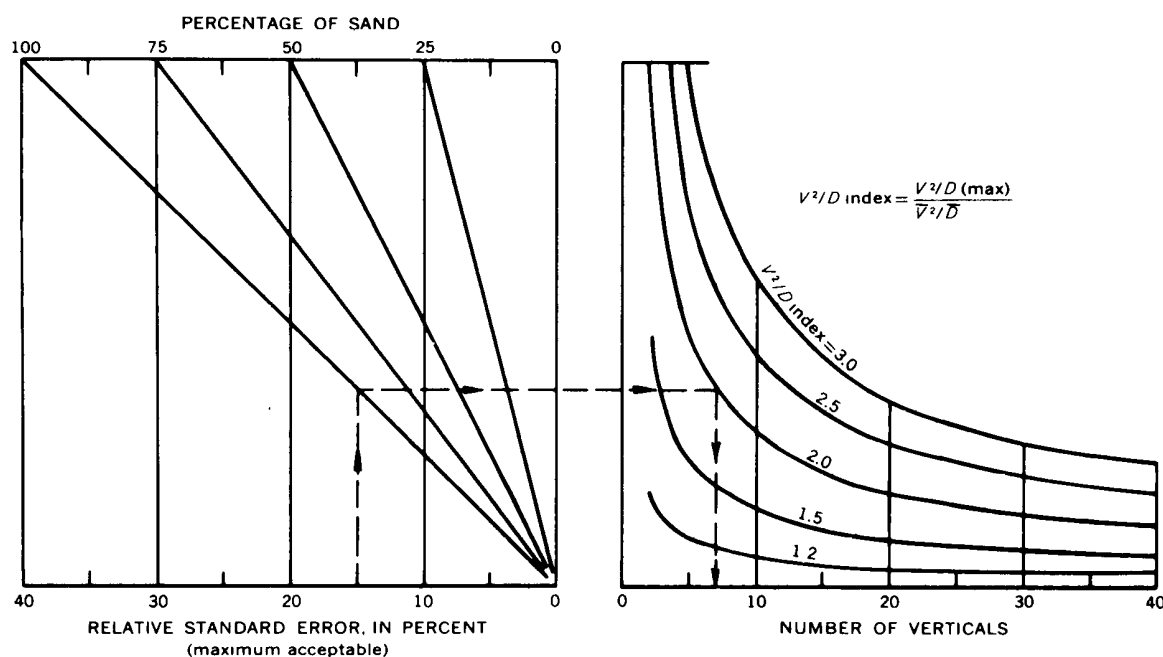
waarin: $\frac{v^2}{d_{\max}}$ = de verhouding van de verticale met de grootste v^2/d

$\frac{v^2}{d}$ = de verhouding van het kwadraat van de gemiddelde snelheid op de gemiddelde diepte van de gehele dwarsdoorsnede van de rivier.

De gemiddelde snelheid en de gemiddelde diepte worden berekend aan de hand van de debietmetingen.

Op de concepten van variabiliteit van de v^2/d index werd een nomogram opgesteld (zie Figuur 7.19). Dit nomogram toont aan hoeveel verticalen bemonsterd moeten worden om een aanvaardbare relatieve standaard fout (bemonsteringsfout) te verkrijgen, gebaseerd op het percentage zand en op de v^2/d index.

Figuur 7.19: Nomogram dat het aantal verticalen bepaalt dat bemonstert moet worden om resultaten te verkrijgen die een aanvaardbare relatieve standaard fout hebben (figuur uit Edwards & Glysson 1999).



7.4.3.5 Transit rate (doorhaalsnelheid)

Het monster dat bekomen wordt door de sampler langsheen de volledige diepte van de rivier te laten passeren, is kwalitatief gewogen ten opzichte van de snelheid waarmee de sampler bewogen wordt. Als de bemonsterde verticale een bepaalde breedte van de rivier voorstelt, wordt een monster als debiet-gewogen beschouwd. Dit is zo omdat, met een uniforme doorhaalsnelheid, aan het sediment in suspensie dat meegevoerd wordt door het debiet evenveel tijd gegeven wordt om in de sampler binnen te vloeien langsheen de volledige verticale.

De maximale doorhaalsnelheid die gebruikt mag worden bij gelijk welke diepte-integrerende sampler moet bepaald worden opdat er representatieve monsters genomen kunnen worden. Als de doorhaalsnelheid te snel is, is het tempo van lucht-volume vermindering in de bemonsteringsfles kleiner dan het tempo van de toename van hydrostatische druk rondom de sampler. Hierdoor kan water in het opzuigstuk of in de luchtuitlaat geperst worden. Hierdoor gaat het isokinetisch karakter van de bemonstering verloren (de deeltjes groter dan 62 μm worden hierdoor beïnvloedt). Wanneer een te snelle doorhaalsnelheid gebruikt wordt, zorgt dat ervoor dat de grove fractie niet genoeg bemonsterd wordt.

Daarnaast kan een te snelle doorhaalsnelheid resulteren in opzuignelheden die minder groot zijn dan de stroomsnelheden in de rivier rond het opzuigstuk. Dit kan veroorzaakt worden door de grote ingangshoek tussen het opzuigstuk en de stroomlijnen, veroorzaakt door de verticale beweging van de sampler in de rivier.

Om deze problemen te voorkomen mag men nooit een doorhaalsnelheid gebruiken die groter is dan 0,4 maal de gemiddelde stroomsnelheid in de verticale.

Aan de andere kant moet men ook opletten dat men niet een te trage doorhaalsnelheid gebruikt. Anders bestaat de mogelijkheid dat de fles overvuld raakt en dus een gedeelte van de verticale niet bemonsterd is.

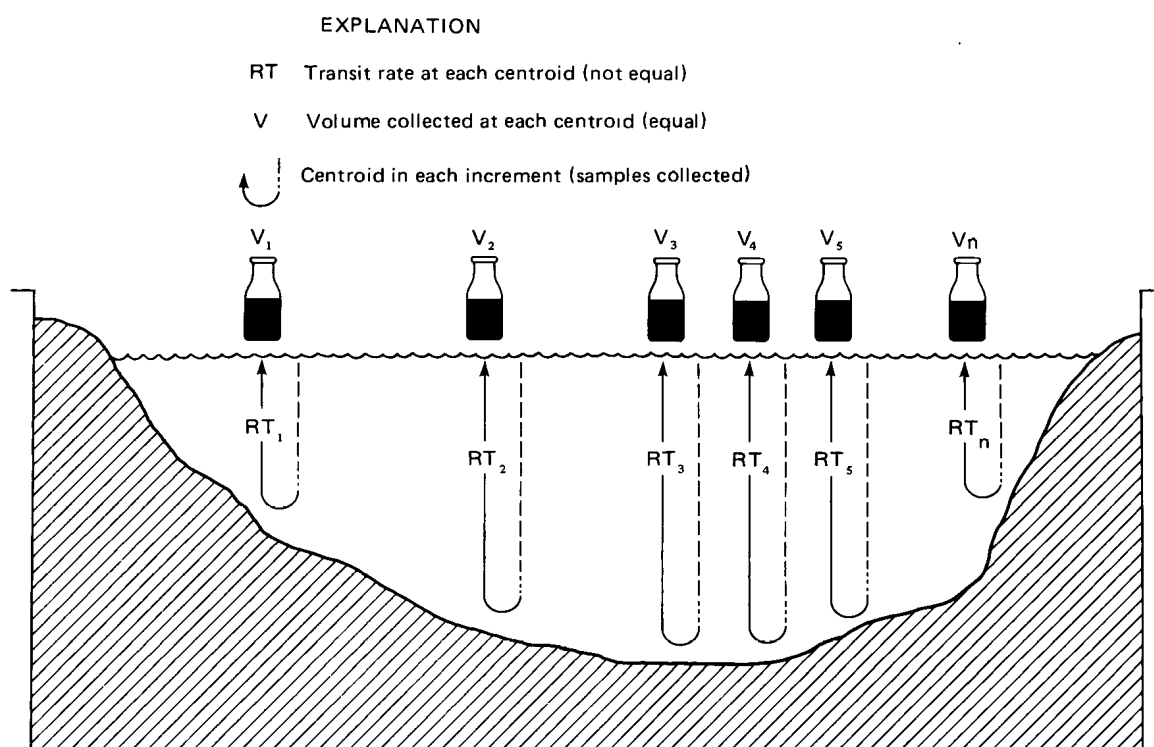
De doorhaalsnelheid bij het neerlaten en ophalen van de sampler hoeft niet dezelfde te zijn, maar het is wel noodzakelijk een constante snelheid aan te houden bij het neerlaten en ook bij het ophalen, zodat er twee maal een snelheids- of debiet-gewogen monster genomen wordt.

De monsters die op deze manier verzameld zijn worden als composietmonsters bij elkaar gevoegd voor elke verticale. Voor elke verticale wordt zo een gemiddelde enkele concentratie berekend.

De snelheden moeten zodanig gekozen worden zodat de flessen tot bijna het maximale niveau gevuld zijn.

De doorhaalsnelheid is ook van belang bij EDI en EWI methodes. Bij de EDI methode wordt de doorhaalsnelheid aangepast per centroïde, zodat elk monster ongeveer eenzelfde volume bevat (zie figuur 7.20).

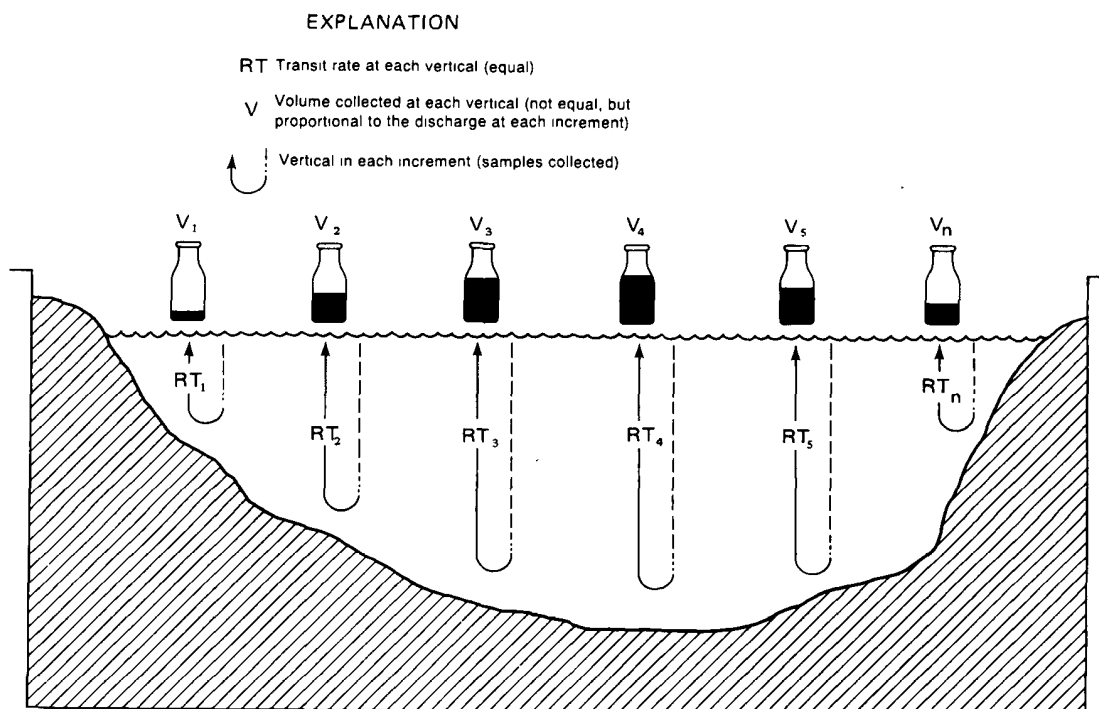
Figuur 7.20: Verticale doorhaalsnelheid relatief gezien ten opzichte van het bemonsterde monstervolume op elke EDI-centroïde (figuur uit Edwards & Glysson 1999).



De EWI bemonsteringsmethode bepaalt dat alle verticalen met eenzelfde doorhaalsnelheid bemonsterd moeten worden. Deze doorhaalsnelheid wordt bepaald ter hoogte van de diepste en snelste verticale van de dwarsdoorsnede.

De dalende en stijgende doorhaalsnelheden moeten gelijk zijn in één verticale, en ze moeten gelijk zijn bij elke verticale. Door de gelijke-doorhaalsnelheid techniek te gebruiken met een standaard diepte- of puntintegrerende sampler verkrijgt men per verticale monsters met een watervolume dat evenredig is met de stroming in de verticale (zie Figuur 7.21).

Figuur 7.21: EWI verticale doorhaalsnelheid relatief gezien ten opzichte van het bemonsterde monstervolume, dat evenredig is met het debiet (figuur uit Edwards & Glysson 1999).



7.5 Besluit

Pompsampler

Sedimentsamplers moeten trachten een representatief monster van het water-sedimentmengsel te bekomen. Hiervoor is het nodig dat een sampler op isokinetische manier kan bemonsteren. Dit betekent dat de instroomsnelheid van het water-sedimentmengsel in de sampler dezelfde moet zijn als de stroomsnelheid van de rivier.

Een speciaal type van isokinetische sampler is de diepte-integrerende sampler. Deze sampler kan een verticaal profiel in de rivier op een isokinetische manier bemonsteren waarbij uiteindelijk één debiet-gewogen staal bemonsterd wordt.

Pompsamplers moeten echter gebruik maken van een zekere pompkracht waardoor deze zelden isokinetisch bemonsteren. Bij niet-isokinetische monsternamen wordt echter een te kleine fractie van de deeltjes groter dan $62\ \mu\text{m}$ opgezogen.

Daardoor moeten de gegevens verkregen door een pompsampler gecorrigeerd worden.

Turbiditeitsmeter

Er bestaan verschillende soorten turbiditeitsmeters.

- Er bestaan turbiditeitsmeters die een cuvette bezitten. Het monster wordt dan in de cuvette gedecanteerd.
- Daarnaast bestaan er turbiditeitsmeters waarbij het monster doorheen een doorstromingscel wordt gepompt. De cuvette is dan een intern onderdeel van het instrument.
- Men heeft ook turbiditeitsprobes (zoals de door het WLH gebruikte monitor) die ofwel in situ, ofwel in een doorstromingskamer, het monster ontvangt.

Dit laatste type, en dan vooral wanneer dit in situ geplaatst wordt, is enorm onderhevig aan fouling en drifting. Fouling is de afwijking van een sensoraflezing ten gevolge van vuil op de sensor, terwijl drifting de afwijking of verschuiving is van een sensoraflezing ten opzichte van de waarde van een gekalibreerde sensor.

Om de nauwkeurigheid van de turbiditeitsmetingen hoog te houden moeten de sondes regelmatig en erg secuur onderhouden worden, en moeten op regelmatige basis ijkingen gebeuren aan de hand van Formazinstandaarden.

Het opstellen van een ijkingcurve voor de turbiditeitsmeter is niet eenvoudig omdat deze beïnvloed wordt door een heel aantal factoren zoals korreldiameter, organisch materiaal, kleur van het sediment, temperatuur van het water, vorm van de sedimentkorrels en het verschil in refractie-index tussen sedimentpartikel en het water.

Aangezien gedurende het hele jaar verschillende bronnen van sediment aangesproken kunnen worden, moet er op verschillende tijdstippen sediment bemonsterd worden om na te gaan hoe sterk de ijkingcurven verschillen naargelang het meegevoerde materiaal verandert.

Eveneens zou het interessant zijn om de oorsprongsgebieden van het sediment nauwkeuriger te bepalen.

Daarbij wordt de ijkingcurve mg/l in functie van NTU opgesteld aan de hand van de metingen van het Analite turbiditeitstoestel, en niet aan de hand van de NTU waarden van de monitor zelf. Hierdoor treedt een omzettingfout op.

De problematiek in verband met de datalogger is tweërlei:

- Er is een conversieprobleem met de monitor
- De grootte van de stappen (in NTU) die moeten overschreden worden opdat de datalogger een verandering registreert is te groot, waardoor de nauwkeurigheid van de methode sterk vermindert.

Dwarsdoorsnede

Om een juiste dwarsdoorsnede-correctiefactor te bepalen moet men op verschillende tijdstippen, bij verschillende debietcondities, een dwarsdoorsnede bemonsteren.

Deze bemonstering is door het WLB slechts éénmaal per meetpost uitgevoerd. Daarbij werd niet gebruik gemaakt van een diepte-integrerende sampler waardoor de eerder besproken problematiek van isokinetisch bemonsteren zich bleef voordoen.

Er zijn twee uitgelezen methodes van dwarsdoorsnede-bemonstering: de EWI-methode en de EDI-methode.

Bij de EWI-methode wordt de dwarsdoorsnede ingedeeld in incrementen van gelijke breedte. In de centroïde van elk increment wordt dan een debiet-gewogen monster genomen met behulp van een diepte-integrerende sampler.

Bij de EDI-methode zijn de incrementen gebaseerd op een gelijk debiet dat doorheen het oppervlak stroomt. Ook hier wordt met behulp van een diepte-integrerende sampler een debiet-gewogen monster genomen in de centroïde van de incrementen.

8 Mogelijke oplossingen voor het sedimentmeetnet
van het WLH

For every problem, there is a neat, simple solution, and it is always wrong.

H. L. Mencken

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk volgt een bespreking van de mogelijke verbeteracties voor het meetnet. De aanbevelingen die uit dit werk kunnen worden afgeleid worden in cursief weergegeven.

Wat de **automatische pompsampler** betreft kon nog niet veel praktisch gedaan worden, wel wordt er vermelding gemaakt van de mogelijke correcties: bepalen van de opzuigefficiëntie, plaatsing van het opzuigstuk en dwarsdoorsnede-correctie.

De **turbiditeitsmeter** heeft wel al een aantal praktische veranderingen en ijkingen ondergaan. In dit hoofdstuk worden de resultaten van de terreintesten voor de bepaling van fouling en drifting gedetailleerd uitgewerkt. Ook zo de ijking van de monitor aan de hand van sedimentmonsters met gekende concentratie.

Verder wordt ook de oplossing van het conversieprobleem tussen datalogger en monitor zeer gedetailleerd uitgewerkt.

Deze technische info kadert binnen het karakter van dit eindwerk als naslagwerk voor het WLH.

Wat de **dwarsdoorsnede**-problematiek betreft wordt in dit hoofdstuk verslag gemaakt van een dwarsdoorsnede-bemonstering op 7-3-2003.

8.2 Automatische sampler

Er zijn een aantal mogelijkheden beschikbaar om de resultaten van de automatische pompsampler te verbeteren.

Daarvoor moet eerst nog specifiek materiaal aangeschaft worden.

Wat hier volgt zijn wel allemaal stappen die in de loop van de komende jaren uitgevoerd zullen worden.

8.2.1 Bepaling opzuigefficiëntie

Om de opzuigefficiëntie te bepalen is een **isokinetische sampler** nodig. Deze wordt dan naast het opzuigstuk van de pompsampler gehouden, en tegelijkertijd bemonsteren deze twee samplers de rivier. Het verschil aan korrelverdeling wordt dan vergeleken.

Aangezien dat het WLH op dit moment geen isokinetische sampler beschikbaar heeft, zal het deze in de nabije toekomst aankopen.

8.2.2 Site-selectie en plaatsing en oriëntatie van het opzuigstuk

Het is erg onwaarschijnlijk dat de selectie van de sites en zelfs de plaatsing van de opzuigstukken nu nog zouden wijzigen. Dit zou betekenen dat de gegevens vanaf februari 1999, niet meer te corrigeren zouden zijn.

Toch moet nogmaals nagegaan worden, of er eventueel geen grote problemen veroorzaakt worden door draaikolken, of kunstmatige invloeden waardoor bepaalde sites niet meer interessant zouden zijn.

Ter illustratie van het belang hiervan een voorbeeld van een opwaartse stuw in de Kleine Nete.

Wanneer deze omhoog staat, kan slib vergaren tot één meter hoogte en dit voor honderden meter stroomopwaarts van deze stuw. Dit slibpakket kan na één grote onweder, en het neerlaten van de stuw stroomafwaarts gevoerd worden.

Een verandering van de plaatsing van het opzuigstuk zou even drastische gevolgen hebben voor de retroactieve correlatie als het verwisselen van site, dus ook dit is erg onwaarschijnlijk. Zeker omdat de USGS de door de WLH gebruikte positie niet ontoelaatbaar vindt. Het enige nadeel aan deze

opstelling is een minder representatief monster wat betreft de grove fractie. Dit is oplosbaar door de opzuigefficiëntie te bepalen.

Mijn aanbeveling is om zowel de lokalisatie van de meetpunten, als de positie van het opzuigstuk te behouden, met eventueel een optie tot plaatsing van een tweede sampler op de meest interessante meetposten, zonder dat dit ten koste gaat van de huidige bemonsteringsschema's.

8.2.3 Dwarsdoorsnedecorrectie

Dit is één van de belangrijkste correcties die nog dienen uitgevoerd te worden.

8.3 Turbiditeitsmeter

8.3.1 Monitor

8.3.1.1 Inleiding

Wat snel duidelijk werd na het lezen van de literatuur van de USGS en de persoonlijke communicatie met A.J. Horowitz, is dat het hoogst noodzakelijk was om de turbiditeitsmeters opnieuw te kalibreren en zeker een correctie op fouling trachten uit te voeren aangezien deze nog nooit uitgevoerd was.

Hiervoor werd een theoretisch draaiboek opgesteld, dat volledig gebaseerd was op de methodes gebruikt door de USGS, dat vervolgens vereenvoudigd werd (zie Bijlage 10). Dit draaiboek werd dan verder bijgewerkt om beter afgestemd te zijn op de mogelijkheden en noden van de meetpost in Grobbendonk (zie Bijlage 11).

Tijdens de praktische uitwerking echter werden onmiddellijk een aantal problemen vastgesteld. Deze worden verder uitgewerkt, samen met de bekomen resultaten.

8.3.1.2 Laboratoriumvoorbereiding voor terreintesten van 7-03-2003

Voor de kalibratie van de turbiditeitsmeters en de correctie voor de fouling te bepalen, zijn er een aantal standaarden nodig.

Ten eerste zijn er Formazine standaarden nodig van verschillende concentraties. Formazine standaarden zijn op 2 manieren te verkrijgen. Ofwel koopt men een standaard van bijvoorbeeld 4000 FTU en verdunt men deze tot de gewenste concentraties, ofwel maakt men de standaarden zelf. Het recept voor het maken van deze Formazine oplossingen en de benodigdheden zijn beschreven in Bijlage 12.

8.3.1.2.1 Turbiditeitsvrij water

In het labo is getracht gedestilleerd water te filtreren en dit bleek een zo oneindig lang proces te zijn, dat dit niet uitvoerbaar was. In plaats van turbiditeitsvrij water is dus geopteerd voor gedestilleerd water.

Voor een volgende keer wordt wel aangeraden turbiditeitsvrij water aan te schaffen bij de producent.

8.3.1.2.2 Formazine oplossingen

Zoals vermeld staat in deze bijlage zijn Formazine standaarden zeer onstabiel. De voorraad turbiditeitssuspensie mag maandelijks bereid worden, maar de standaard oplossingen moeten op de dag van de kalibratie van het instrument gemaakt worden omdat deze maar vier tot zes uur stabiel blijven.

Door een kleine praktische fout is, op de dag van de kalibratie, een fout geslopen in de verdunning van de Formazine standaarden. Daardoor moest nogal creatief naar een oplossing gezocht worden. Hierdoor was er geen volledige zekerheid over de exacte NTU waarde die de verschillende verdunningen van deze éne oplossing.

Om een zekere indicatie te krijgen werden de oplossingen gemeten door de Hach 2100 AN turbiditeitsmeter in het labo.

De verkregen waarden staan in Tabel 8.1.

Tabel 8.1: Overzicht van de NTU-waarden van de Formazine-oplossingen

Standaard	Theoretisch bereide oplossing	Gemeten waarde door Hach
Standaard 1	Gedestilleerd water = 0 NTU	0,027 NTU
Standaard 2	Niet nader bepaald	18,5 NTU
Standaard 3	40 NTU	31,1 NTU
Standaard 4	400 NTU	354 NTU

Doordat we niet in staat zijn te zeggen hoe correct de Hach 2100 AN geijkt was op dat moment, kunnen we ook niet zeker zijn of de waarden in de rechter kolom van Tabel 8.1 correct zijn. We gaan evenwel van deze schatting uit.

Deze Formazine oplossingen werden op het veld ook nogmaals gemeten met de Analite. Tabel 8.2 toont de waarden verkregen met de Hach en de Analite.

Tabel 8.2: Vergelijking tussen de NTU waardes uitgelezen met de Hach in het laboratorium en de Analite op het veld voor de Formazine oplossingen.

Standaard	Gemeten NTU-waarde door Hach	Gemeten NTU-waarde door Analite
Standaard 1	0,027 NTU	2 tot 3 NTU
Standaard 2	18,5 NTU	17 tot 18,4 NTU
Standaard 3	31,1 NTU	34 NTU
Standaard 4	354 NTU	442 NTU

Door de verschillen in metingen met de Hach en de Analite, zou het zeker interessant zijn om deze proeven eens opnieuw te doen, eventueel met allemaal aangekochte Formazine oplossingen, waardoor getest kan worden hoe juist de Analite en de Hach gekalibreerd zijn ten opzichte van Formazine.

In het kader van de kalibratie moeten we dus rekening houden met het feit dat de kalibratiegrens van 2 NTU of 5% niet langer hanteerbaar zal zijn, wegens de niet exact gekende waarde van de oplossing.

8.3.1.3 Terreintesten uitgevoerd op 7-03-2003

8.3.1.3.1 Bepaling van fouling

* Met een zwarte emmer werd een monster uit de rivier geschept. Vervolgens werd de sonde uit het water gehaald en zonder schoonmaken in dit schepmonster gebracht. De zwarte emmer met het schepmonster werd op een magnetische roerplaat gezet.

Na het inbrengen van een grote magnetische roerder werden er waarden gemeten met de sonde, die op dat moment in de emmer gestoken werd zonder enige andere afscherming van het daglicht (zie Figuur 8.1).

De verkregen waarden worden weergegeven in Tabel 8.3.

Figuur 8.1: Opstelling voor het meten van turbiditeit in een zwarte emmer zonder enige andere verduisteringsconstructie.



Tabel 8.3: Foulingtest met vervuilde sensor:

- in emmer zonder verduisteringsconstructie
- geroerd door grote roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerking
	48,5	Roeren met grote roerder
	25,3	Roeren werd gestopt
Analite	62	

* Aangezien roeren duidelijk een sterke invloed heeft op de meting, werd deze meting nog eens opnieuw gedaan met een kleinere magnetische roerder. De resultaten daarvan zijn weergegeven in Tabel 8.4.

Tabel 8.4: Foulingtest met vervuilde sensor:

- in emmer zonder verduisteringsconstructie
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	18,6	Roeren met kleine roerder
	19,5	Zonder roeren hogere waarden
Analite	47	Gemeten tijdens roeren

Conclusies getrokken uit deze twee metingen:

- Roeren heeft een sterke invloed op de meting. De vraag hoe de turbulentie in de stroom de metingen in situ beïnvloed dringt zich dan ook op.
- Bij roeren met kleine roerder stabiliseert de waarde zich veel sneller.
- Voor lage waarden in NTU geeft de Analite veel hogere waarden dan de sonde.

* Hierna werd de sonde uit het water gehaald en schoongemaakt waarna de waarden opnieuw gemeten werden. De waarden zijn weergegeven in Tabel 8.5.

De voorlopige conclusie die hieruit getrokken kon worden, is dat de fouling fout zo'n 7,5 NTU bedraagt.

Tabel 8.5: Foulingtest met schoongemaakte sensor:

- in emmer zonder verduisteringsconstructie
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	11,0	Wachten na roeren

8.3.1.3.2 Herprogrammatie van de maximumwaarden van de monitor

Hoewel dit niet rechtstreeks met de fouling-of kalibratieproblematiek te maken had, werd op dit moment de maximumwaarde van de monitor van 800 NTU naar maximumwaarde 400 NTU veranderd.

De vorige proef werd met deze waarden opnieuw gedaan. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.6.

Tabel 8.6: Test in verband met omschakeling van maximumwaarde monitor:

- in emmer zonder verduisteringsconstructie
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 400 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	24,9	Wachten na roeren

Conclusies: Erg opvallend is dat de tweede reeks een verdubbeling van de eerste reeks is. Hierdoor werd gedacht aan een mogelijke relatie tussen de ingestelde minimum en maximum NTU waarden in de monitor en de bekomen NTU waarden. Om deze theorie te testen werd de monitor nog een paar maal omgezet van 400 NTU als maximum naar 800 NTU als maximum en omgekeerd. De waarden bleven dan echter altijd rond de 23 NTU hangen (zie Tabel 8.7).

Tabel 8.7: Test in verband met omschakeling van maximumwaarde monitor:

- in emmer zonder verduisteringsconstructie
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 400 NTU

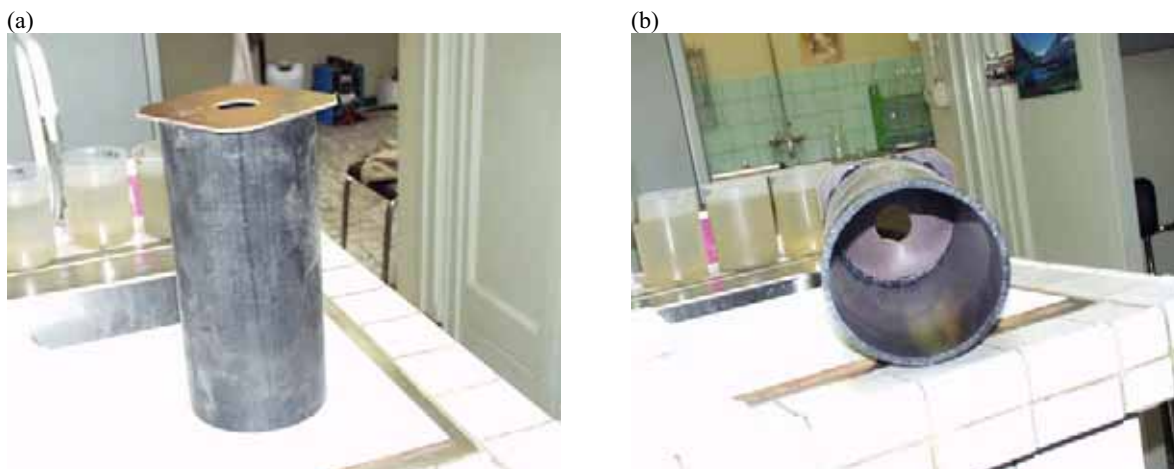
400 NTU als maximum ingesteld	800 NTU als maximum ingesteld
4,99 mA	4,48 mA
4904 Hz	4892 Hz
23 NTU	23,5 NTU

Conclusies: De halvering van de waarden konden niet herhaald worden bij een halvering van de maximaal ingestelde waarde in de monitor. Het is dus niet gekend waaraan dit fenomeen te wijten was. Eén mogelijkheid is de invloed van het roeren, maar dat deze invloed zo lang doorduurde dat de waarden rond de 10 NTU zo lang bleven verschijnen op de monitor is twijfelachtig.

Een tweede veldmeting, met gelijke condities om te zien of deze omzetting nogmaals te reconstrueren is, is aan te raden. Dit procédé moet herhaald worden tot alle onzekerheden zijn opgelost en tot op het ogenblik dat men gelijkaardige meetresultaten bekomt of men kan reconstrueren met de verschillende toestellen.

Ten slotte werden de waarden een laatste maal gemeten in de emmer (met een instelling van 800 NTU als maximum). Deze keer echter werd opnieuw gemeten in een zwarte emmer maar met een verduisteringsconstructie rond de sonde bestaande uit een PVC-koker waarop bovenaan een houten plaat bevestigd was (met een opening voor de sonde) (zie Figuur 8.2). De resultaten hiervan zijn terug te vinden in Tabel 8.8.

Figuur 8.2: Verduisteringsconstructie, in zijaanzicht (a) en onderaanzicht (b), bestaande uit een holle PVC-buis die bovenaan afgesloten wordt door een houten plankje waar een holte in uitgespaard is waarlangs de sonde in het water gelaten kan worden.



Tabel 8.8: Test in verband met omschakeling van maximumwaarde monitor:

- in emmer met verduisteringsconstructie
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	17,5	Roerder werd aangezet en dan terug afgezet
Analite	40	
		Roerder werd opnieuw aangezet
Monitor	17,5	
		Stoppen met roeren
	17,4	

Conclusie:

- Bij relatief lage waarden geeft de Analite hogere waarden dan de monitor. Dit gegeven blijft dus standhouden.
- De uitgelezen waarden met de monitor zijn gedaald van +/- 23 NTU naar 17,5 NTU. Dit valt eventueel te verklaren door de invloed van het zonlicht, die voor extra reflectie zorgde in de eerste meting, en dus voor hogere NTU waarden.

8.3.1.3.3 Bepalen van drift aan de hand van standaarden

8.3.1.3.3.1 Formazine-standaarden

Op voorhand werden in het labo 3 standaarden gemaakt. Door een probleem met de initiële preparatie konden de eigenlijke absolute NTU waarden van het bekomen mengsel niet bepaald worden. Daarom werden de Formazine-oplossingen gemeten met het turbiditeitstoestel in het laboratorium (de Hach). De verkregen de waarden werden al eerder vermeld in Tabel 8.1.

Deze standaarden werden op het veld getest in dezelfde cilindrische constructie (de verduisteringsconstructie) als hoger beschreven, waardoor de metingen konden uitgevoerd worden zonder verstoring door daglicht. Ter controle werd deze test zowel uitgevoerd met de monitor ingesteld met 400 NTU als maximumwaarde, als met 800 NTU als maximumwaarde ingesteld. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabellen 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.13, 8.14, 8.15, 8.16 en 8.17.

Tabel 8.9: Test met Formazinestandaard 1:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 400 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU
	2,16
Analite	2,5

Tabel 8.10: Test met Formazinestandaard 1:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU
	2,24
Analite	2,34

Tabel 8.11: Test met Formazinestandaard 2:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 400 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU
	18,4
Analite	17

Tabel 8.12: Test met Formazinestandaard 2:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	58 (maximum)	Meting met roeren
	47,4 (gemiddeld)	
	37 (minimum)	
Analite	52	Gemeten met roeren
		Stoppen met roeren
Monitor	20,4	
Analite	17,7	

Tabel 8.13: Test met Formazinestandaard 3:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 400 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	28,8	Na stoppen met roeren

Tabel 8.14: Test met Formazinestandaard 3:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	29,3	Niet roeren
Analite	34	

Tabel 8.15: Test met Formazinestandaard 4:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU
	593
Analite	442

Tabel 8.16: Test met Formazinestandaard 4:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor ingesteld van 0 tot 400 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU
	378

Tabel 8.17: Test met Formazinestandaard 4:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder
- met monitor opnieuw ingesteld van 0 tot 800 NTU

Monitor	Gemiddelde waarden in NTU	Opmerkingen
	378	Frequentie = 4017 Hz

Conclusies:

- De eerste standaard (Zero-standaard) geeft redelijk goede resultaten. Geen van de drie toestellen (Hach, Analite en monitor) is in staat om de ware 0 NTU weer te geven, maar zowel monitor als Analite (die het monster op hetzelfde moment bekeken) kwamen +/- 2 à 3 NTU uit.
- De tweede standaard (18,5 NTU volgens Hach) daarentegen gaf al heel wat mindere resultaten. Zeker wanneer men de metingen uitvoerde terwijl men roerde want dan werden veel hogere waarden gemeten (zowel voor monitor als voor Analite). Daarom werd volgende methode toegepast: de roermachine werd in gang gezet, waardoor de standaard goed gemengd werd. De troebelheidsmeter werd in de standaard gestoken en de roerder werd afgezet. De uitgelezen waarden in NTU vertonen een dalende trend. Deze stabiliseert zich rond een bepaalde waarde die dan genoteerd werd. Hierdoor werden voor de drie troebelheidsmeters waarden gevonden die dicht in elkaars buurt lagen.
- De derde standaard (31,1 NTU volgens Hach) volgde hetzelfde patroon als standaard 2. Indien een tijd gewacht werd en de monitor de tijd gegeven werd zich aan te passen, werden er juistere waarden gedetecteerd.
- Standaard 4 levert echter grotere problemen op. De eerste maal dat de gegevens uitgelezen werden (na het roeren) werden er extreem hoge waarden gevonden. Ook de Analite gaf hoge waarden weer. Bij omschakeling van 800 naar 400 NTU (als maximuminstelling) werd er echter weer een halvering vastgesteld die bij een tweede omkering op dezelfde waarde bleef (+/- 378 NTU). De enige verklaring hiervoor is dat de monitor niet altijd genoeg tijd gekregen heeft om een evenwicht in te stellen, waardoor er soms te hoge waarden genoteerd werden (geïnduceerd door het roeren).
- Wanneer men niet roert, ondervindt vooral de monitor een snelle terugval in NTU. Dit is te verklaren omdat de grove fractie in het monster gaat bezinken. Bij de Formazinestandaarden zou de bezinking niet zo snel mogen plaatsvinden als bij sedimentstandaarden. Dat is inderdaad zo bij de standaarden 1-3, maar de vierde standaard (354 NTU volgens Hach) vertoont wel dit probleem.

8.3.1.3.3.2 Sedimentstalen met gekende concentratie als standaarden

Zoals reeds eerder aangetoond in punt 7.3.1.4 zijn er heel wat factoren die de ijkingscurve van de turbiditeitsmeter beïnvloeden, zoals korrelgrootte, kleur, percentage organisch materiaal aanwezig, enz.... Daarom is er naast de ijking met Formazine om de drift te bepalen, ook een ijking met sedimenten uit de rivier zelf nodig. De noodzaak van het kalibreren van de turbiditeitsmeter aan de hand van sedimentstalen uit de rivier zelf werd benadrukt door zowel Horowitz als Cornelis (Horowitz, pers. com., 2003 & Cornelis, pers. com., 2003).

Voor deze kalibratie werden vier standaarden gemaakt, elk met een verschillende hoeveelheid sediment in suspensie, dat afkomstig was uit de Kleine Nete te Grobbendonk. De concentratie werd bepaald aan de hand van de filtratiemethode zoals die gebruikt wordt bij de concentratiebepaling voor de automatisch pompsampler (zie punt 6.2.3.1).

De vier standaarden worden weergegeven in Tabel 8.18.

Tabel 8.18: Troebelheid van de vier sedimentstandaarden zoals ze gemeten zijn door de Hach en Analite troebelheidsmeters in het labo.

Standaard	mg/L (volgens filtratie)	Gemeten NTU-waarde door Hach	Gemeten NTU-waarde door Analite in labo
Standaard 1	22 mg/L	26,3 NTU	14 NTU
Standaard 2	46 mg/L	41,4 NTU	30 NTU
Standaard 3	74 mg/L	67,2 NTU	61 NTU
Standaard 4	134 mg/L	132 NTU	120 NTU

Aan de hand van deze monsters, kan men de troebelheidsmeters ijken naar de concentratie aan sediment.

Alle sedimentstandaarden zijn getest met de monitor ingesteld met een maximumwaarde van 400 NTU. De resultaten zijn weergegeven in Tabellen 8.19, 8.20, 8.21 en 8.22.

Tabel 8.19: Test met Sedimentstandaard 1:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder

Monitor	Waarden in NTU	Opmerkingen
	24,4 (maximum)	
	23,8	
Analite (veld)	22,5 (minimum)	Rond deze waarden blijft de monitor wat hangen
	17 (gemiddeld)	

Tabel 8.20: Test met Sedimentstandaard 2:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder

Monitor	Waarden in NTU	Opmerkingen
	43,1 (maximum)	
	40,8 (gemiddeld)	
Analite (veld)	37,5 (minimum)	Dit klopt met de Analite meting in het labo
	30	

Tabel 8.21: Test met Sedimentstandaard 3:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder

Monitor	Waarden in NTU	Opmerkingen
	54 (maximum)	
	50,8 (gemiddeld)	
	48,3 (minimum)	
Analite (veld)	61 (gemiddeld)	Dit klopt met de Analite meting in het labo

Tabel 8.22: Test met Sedimentstandaard 4:

- in 1 liter fles met verduisteringsconstructie er rond
- geroerd door kleine roerder

Monitor	Waarden in NTU	Opmerkingen
	130 (maximum)	Na afzetten roeren
		Een tijdje laten bezinken
	81,2	Opnieuw roeren
	252 (maximum)	
	148,5 (gemiddeld)	
	128 (minimum)	
		Roeren opnieuw stopzetten
	150 (maximum)	Hier blijven de waarden een beetje hangen
	85,2	
	66 (minimum)	Blijft verder zakken
Analite (veld)	126	Iets hogere waarden dan gemeten in het labo

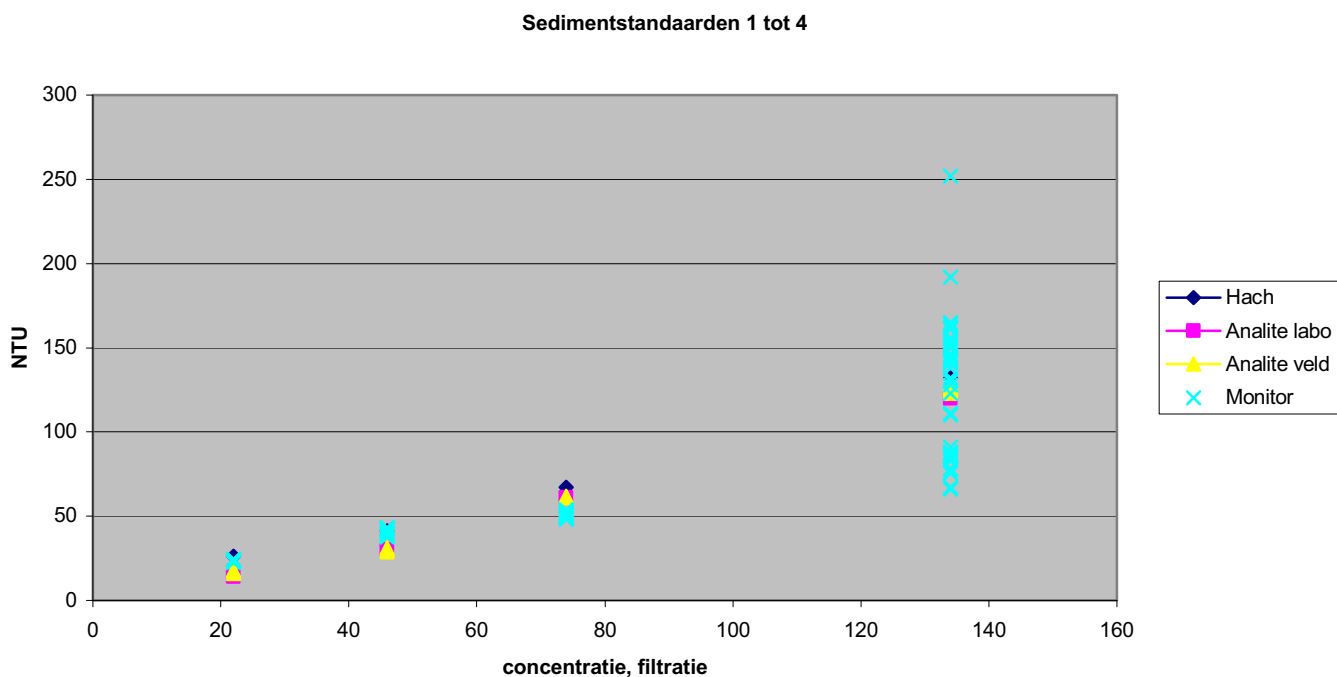
Deze gegevens zijn ook visueel voor te stellen (zie Figuur 8.3). Wegens de grote variatie aan NTU-waarden voor de laatste standaard, wordt in Figuur 8.4 een detailbeeld getoond van enkel de eerste drie sedimentstandaarden.

Conclusies:

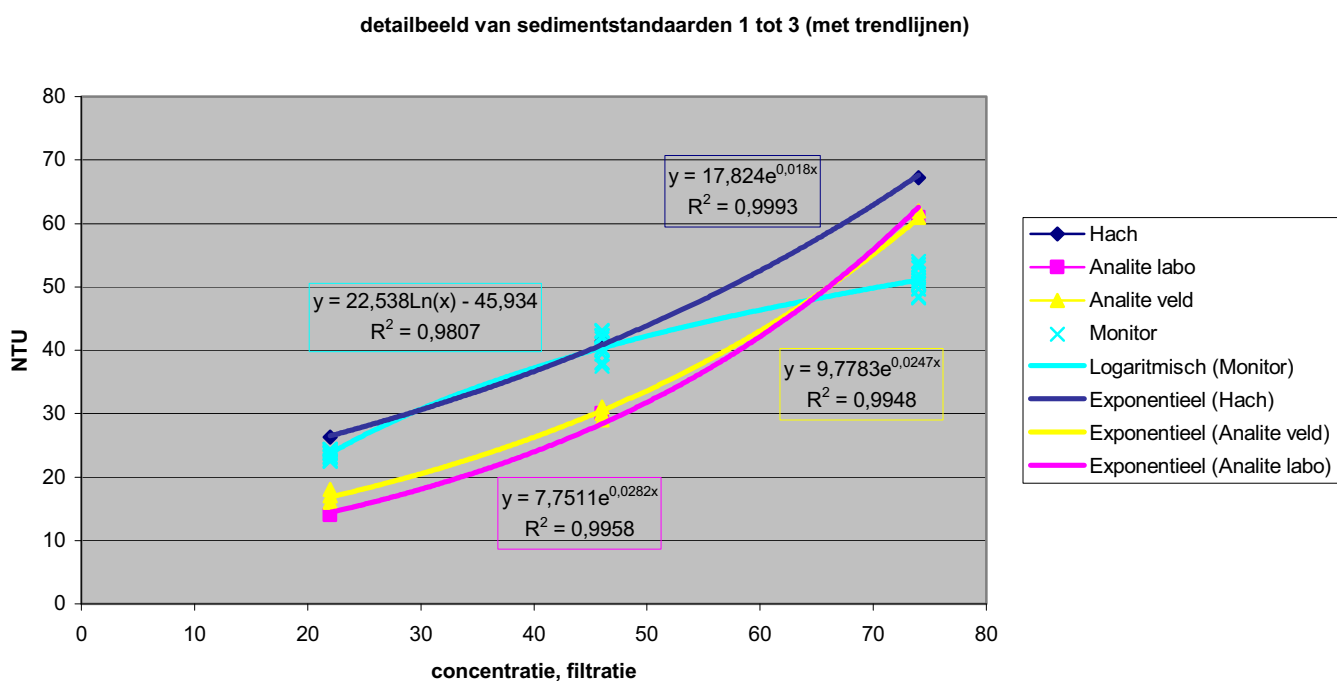
- Er treedt een variatie op in de NTU-waarden per standaard, die steeds sterker wordt naarmate de concentratie stijgt.
- Er is geen eenduidig verband (verschuiving, lineair, exponentieel,...) tussen de monitor en met de andere toestellen. Dit is te zien aan de kruising van de trendlijnen. Er is wel een translatie te zien voor de Hach en de Analite.
- Voor Sedimentstandaard 4 werd er geen stabilisatiepunt gevonden. De NTU waarden kenden na het roeren een erg hoge waarde, die afnam met de tijd. Er werd geen waarde, gedurende een bepaalde periode aangehouden, zoals wel het geval was voor de andere standaarden. Dit zou te verklaren kunnen zijn door de grotere concentratie aan sediment die aanwezig is. Het grof materiaal zakt snel en laat de turbiditeitsmeter geen tijd meer om een evenwicht in te stellen.

Helemaal op het einde van deze testsessie zijn ook de NTU grenzen van de datalogger aangepast, op dat moment nog steeds met negatieve NTU waarden als minimum, maar wel met een maximum van 400 NTU in plaats van 800 NTU.

Figuur 8.3: Resultaten van metingen van vier sedimentstandaarden met behulp van de Hach, de monitor en de Analite, waarbij deze laatste zowel in het labo als op het veld de concentraties gemeten heeft.



Figuur 8.4: Detailbeeld van de resultaten van de metingen van vier sedimentstandaarden met behulp van de Hach, de monitor en de Analite, waarbij deze laatste zowel in het labo als op het veld de concentraties gemeten heeft. Er zijn eveneens trendlijnen op aangeduid.



8.3.1.3.4 Besluit

- 1) *Ondanks deze poging tot fouling- en driftcorrectie zijn er geen concrete oplossingen gevonden. Een eerste conclusie is dat deze testen zeker nogmaals opnieuw gedaan moeten worden. Het is ook aan te raden de proef met de Formazine-standaarden te herhalen, nadat de standaarden uiterst precies gemaakt zijn, of met aangeschafte stalen. Hierdoor kan men met absolute waarden werken, in plaats van relatief ten opzichte van de waarden bekomen met de Hach en de Analite.*
- 2) *De invloed van het roeren, en eventueel de grootte van de recipiënt waarin gemeten wordt kunnen een invloed hebben gehad. De impact van deze moet nagegaan worden, en eventueel geminimaliseerd.*
- 3) *De vraag blijft zich stellen hoe groot de impact van de lichtcondities is bij verschillende waterstanden. Bij lage waterstanden en bij helder water met weinig sedimentlading zou dit kunnen leiden tot een overschatting door de monitor van lage waarden. Als deze invloed te groot is, moet bekeken worden welke oplossingen, eventueel te vinden zijn zoals omhulsels ter verduistering of een volledig nieuw systeem turbiditeitsmeters. Dit nieuw soort turbiditeitsmeter zou bestaan uit een doorpompsysteem, waarbij men water uit de rivier naar een cabine pompt (zoals bij de pompsampler) waarbij in de cabine een turbiditeitsmeter staat die het water daar analyseert terwijl het door een buis stroomt met bepaalde diameter. Hierdoor kunnen lichtcondities (= volledig duister) en turbulentie in de hand gehouden worden.*
- 4) *Tevens zou het interessant zijn om een standaard te maken die bestaat uit gefiltreerd rivierwater. De NTU-waarde van de verschillende toestellen zou dan de nulwaarde voor de sedimentconcentratie voorstellen.*
- 5) *Hoewel de turbiditeitsmeter nog niet juist geijkt is, geeft hij wel al een continue indicatie van de verandering van de turbiditeit. Hierdoor kunnen we wel het moment van eerste 'flush' bepalen. Dit is zeer interessant omdat deze een indicatie geven wanneer de automatische pompsampler zou moeten overgaan tot monsternamen als men deze instelt om de sediment-piekdebieten te meten die het meest bijdragen tot de totale sedimentbalans. Het is echter aangeraden de nauwkeurigheid van de turbiditeitsmeters verder op te trekken.*
- 6) *Aangezien gedurende het hele jaar verschillende bronnen van sediment aangesproken kunnen worden, moet er geijkt worden met sediment dat op verschillende tijdstippen bemonsterd werd, om na te gaan hoe sterk de ijkingscurven verschillen naargelang het meegevoerde materiaal verandert.*
- 7) *Het aanschakelen van turbiditeitsmeters op het telemetrienet verdient ook zeker aandacht. Hierdoor kan onmiddellijk gecontroleerd worden of er zich technische problemen voordoen met de sensor.*

8.3.1.4 Terreintesten uitgevoerd op 13, 15 en 27-01-2003

Een lage waarden check met standaarden in de range van 1 tot 5 NTU kunnen de gebruiker in staat stellen om de eigenlijke prestatie van het toestel nabij de detectielimiet te bepalen. De instrument-betrouwbaarheid neemt namelijk af bij 5 NTU en minder.

Daarom werden op 27-1-2003 kalibratietesten met Formazine-testen uitgevoerd op de monitors van de verschillende meetposten.

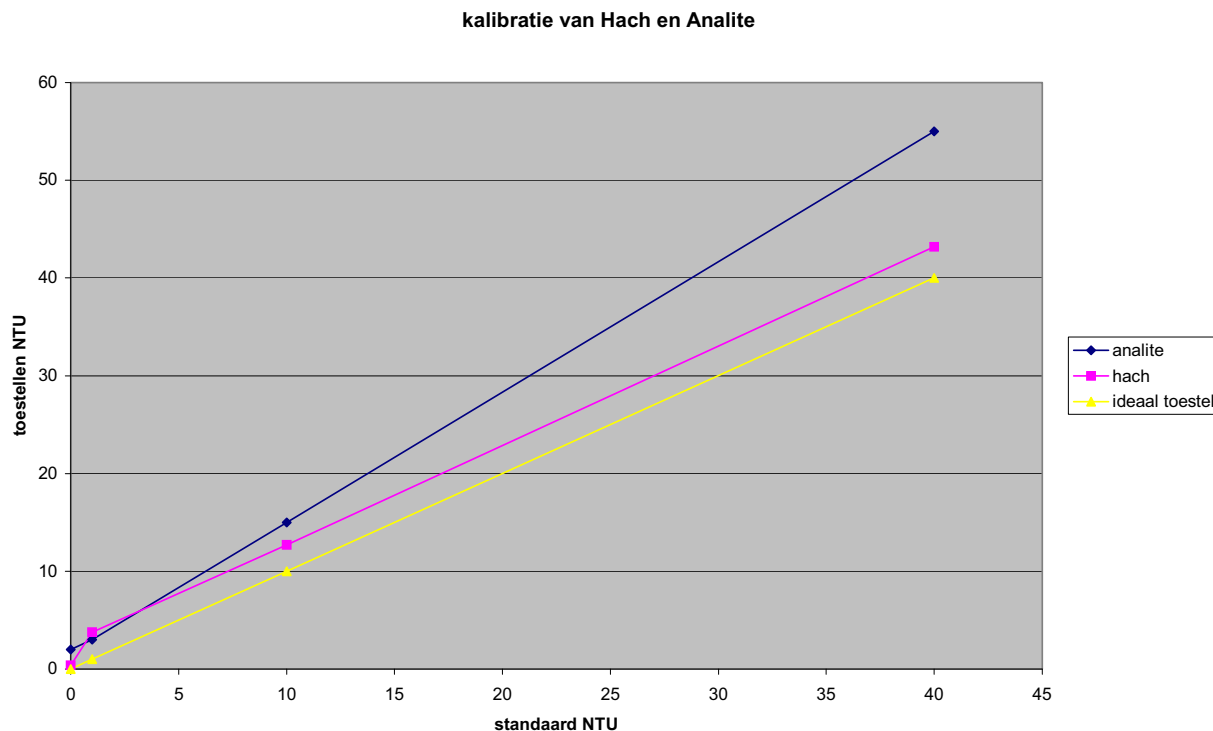
De Formazine-standaarden waar toen mee gewerkt werden waren:

- gedestilleerd water
- Formazine 1 NTU
- Formazine 10 NTU
- Formazine 40 NTU

8.3.1.4.1 Kalibratie van Hach en Analite ten opzichte van Formazine-standaarden

In de eerste plaats werden de nauwkeurigheid van de Hach en Analite toestellen nagegaan. Figuur 8.5 toont de resultaten uitgezet in een grafiek.

Figuur 8.5: Ijkingscurves in NTU van de Hach en Analite toestellen. Deze worden uitgezet ten opzichte van het ideale toestel, dat de exacte NTU waarden van de Formazine zou weergeven.

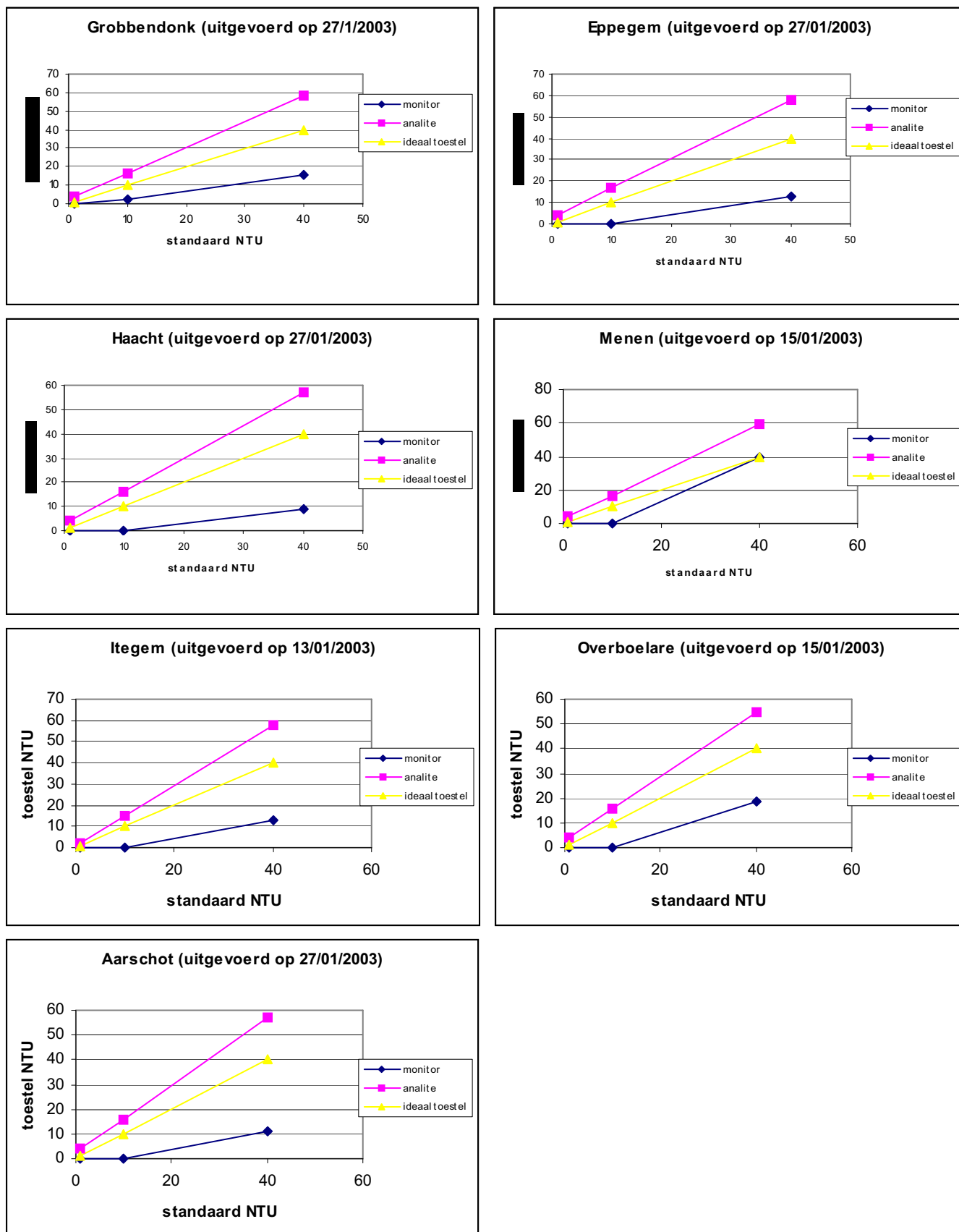


Hieruit kan men besluiten dat zowel de Hach als de Analite de effectieve NTU-waarden overschatten. De Hach doet dit minder dan de Analite, maar de Hach is minder nauwkeurig bij lagere NTU waarden.

8.3.1.4.2 Kalibratie van de verschillende monitoren

Op de verschillende meetposten zijn de monitoren na schoonmaken in de Formazine-standaarden gestoken. Deze bevonden zich in plastic flessen van 1 liter. Rondom deze flessen werd opnieuw de verduisteringsconstructie (zie Figuur 8.2) geplaatst, zodat het daglicht geen invloed kon uitoefenen. Daarnaast werden de standaarden ook met behulp van de Analite gemeten. De resultaten van deze metingen worden per meetpost weergegeven in Figuur 8.6.

Figuur 8.6: Monitor en Analite metingen in 3 Formazinstandaarden, namelijk 1, 10 en 40 NTU, op de verschillende meetposten.



Uit deze grafieken kunnen volgende conclusies getrokken worden:

Conclusies:

- De monitor maakt steeds een aanzienlijke onderschatting van de NTU waarden van de Formazine-standaarden, zowel ten opzichte van de Analite als ten opzichte van de echte NTU waarden van de Formazine-standaarden.
- De monitors zijn ongevoelig in de lage NTU waarden en beginnen pas vanaf 10 NTU waarden te registreren. De enige uitzondering hierop is de monitor in Grobbendonk, die er wel in slaagt om lagere NTU waarden te registreren.
- Voor alle monitors, met uitzondering van de monitor in Menen, geldt dat er een translatie te bepalen is tussen de monitors en de ware NTU waarden. Dit is echter onverantwoord, omdat er slechts twee punten (10 en 40 NTU) getest zijn, waardoor er een grote foutmarge zou kunnen optreden.
- De meetpost in Menen vertoont een lichte overschatting van de 40 NTU waarde door de monitor ten opzichte van de ware NTU waarde.

8.3.1.3.4 Besluit

Een verklaring voor de relatief lage gevoeligheid van de methode is de programmatie van de monitors. Deze stonden nog ingesteld met een maximumwaarde van 800 NTU, waardoor de gevoeligheid daalde.

Deze testen zouden, samen met de vorige testen, opnieuw uitgevoerd dienen te worden. Dit maal met de monitor ingesteld met 400 NTU als maximumwaarde. In combinatie met testen met Formazine-standaarden met hogere NTU waarden, moet het mogelijk zijn een goede kalibratiecurve op te stellen.

Dit lost echter nog niet het probleem op dat de monitor een te laag bereik heeft met een maximumwaarde tot 400 NTU. De concentraties in Grobbendonk, maar ook in alle andere meetposten kan dusdanig oplopen dat ze de maximum detectielimiet van de sonde (= 400 NTU) overschrijden.

Om dit probleem te voorkomen moeten nieuwe sondes aangeschaft worden, die hogere concentraties kunnen meten.

8.3.2 Ijking van de turbiditeitsmeter in mg/l

Zoals reeds hoger aangehaald is zijn de Hach, Analite en monitor alle drie niet correct geijkt ten opzichte van de Formazine standaarden. Dit is een eerste noodzakelijke stap om tot correcte ijkingscurves te komen.

Men zou eventueel nog steeds gebruik kunnen maken van de Analite, maar dit zou nog steeds een extra mogelijke fout inhouden. Daarom wordt de voorkeur gegeven aan het opstellen van een curve die rechtstreeks de waarde in NTU gemeten door de monitor omzet naar mg/l.

Deze ijking kan enkel correct gebeuren als de fouling en drift problematiek opgelost is.

Om er zeker van te zijn dat de nieuwe ijkingscurve de ware concentratie benadert is het noodzakelijk dat de automatische pompsampler opnieuw geplaatst wordt op de meetposten waar deze nu verwijderd is.

Daarnaast doet zich ook nog het probleem voor van de mogelijke invloed van daglicht. In combinatie met de sterke voorwaartse verstrooiing (waardoor dus minder backwards scattering gebeurt) geeft dit problemen met de ijking van de monitor.

De invloed van het zonlicht kan bepaald worden door het plaatsen van een lichtgevoelige cel bij de sonde. Als de sonde zich steeds op een voldoende diepte onder het wateroppervlak bevindt, zodat er geen storend daglicht de meting kan beïnvloeden, blijft enkel de eventueel te lage intensiteit van het gereflecteerde materiaal over als probleem.

Indien dit inderdaad een probleem vormt, moet overgegaan worden naar een ander type troebelheidsmeter, namelijk een transmissie-, of forward scattering turbiditeitsmeter.

8.3.3 Datalogger

8.3.3.3 Verlaging maximuminstelling

Zoals al eerder vermeld (zie punt 7.3.2) was er een fout geslopen in de initiële opstelling van de dataloggers. De dataloggers werden geprogrammeerd met een maximumwaarde van 800 NTU, terwijl de sonde maar gevoelig was voor troebelheden tot 400 NTU.

Dit had voornamelijk een weerslag op de grote van de stappen waarin de datalogger zijn meetbare range aan NTU's verdeelde.

Deze stappen worden namelijk bepaald door de maximaal ingestelde waarde te delen door een bepaald getal. Voor de door het type μ log VL 100 datalogger is dit getal 160. Wanneer de maximale instelling van 800 naar 400 NTU wordt verminderd zal dit dus de stap tot de helft reduceren.

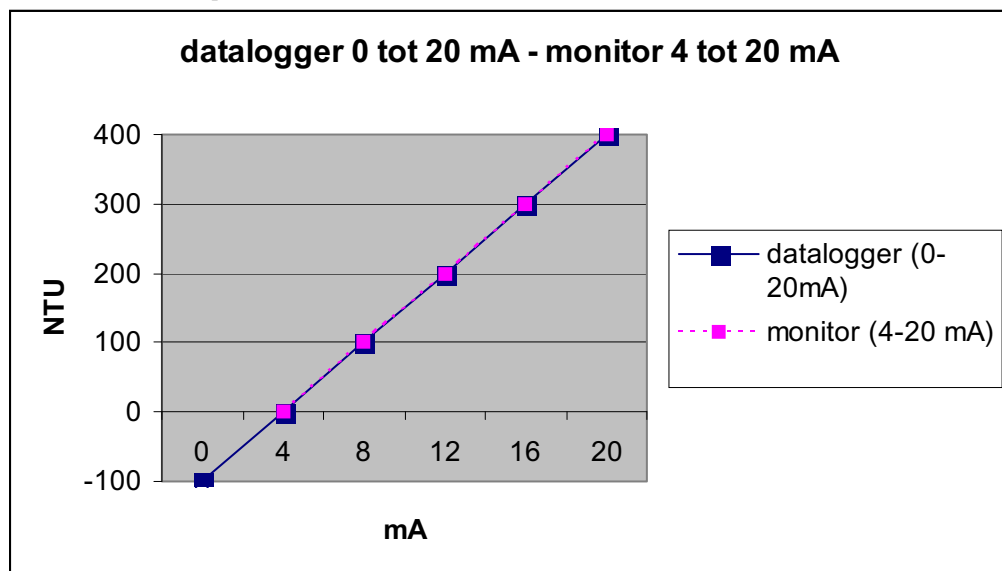
Concreet betekent dit dus dat de gevoeligheid van de datalogger verdubbeld is. De datalogger zal een waarde registreren als de monitor een NTU waarde heeft weergegeven die $400/160 \text{ NTU} = 2,5 \text{ NTU}$ hoger ligt dan de vorige waarde, en dit in het tijdsinterval van twee minuten, waarin de datalogger registreert.

8.3.3.4 Oplossing conversie- en resolutieprobleem

Er zijn ook conversieproblemen tussen de uitgang van de monitor (die geprogrammeerd werd om te werken met waarden tussen 4 en 20 mA) en de ingang van de monitor (die waarden weergeeft tussen 0 en 20 mA).

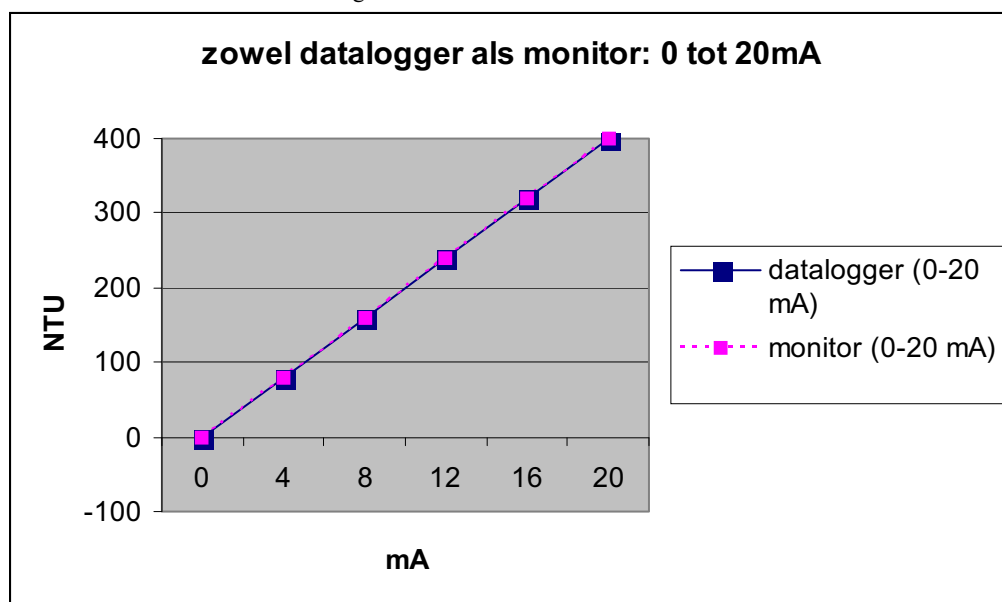
Dit probleem werd altijd al omzeild door een mathematische kunstgreep. De door het WLH gebruikte datalogger is een 8-bit datalogger die zijn meetgebied op een lineaire manier in intervallen verdeelt. Daardoor kunnen we de 4 mA die door de monitor niet gebruikt worden (de mA van 0 tot 4) als negatieve NTU's programmeren in de datalogger (zie Figuur 8.7).

Figuur 8.7: Grafische voorstelling van de door het WLH gebruikte oplossing (tot 21-4-2003) voor het datalogger-monitor conversieprobleem.



Men kan ook de monitor instellen met een outputsignaal van 0 tot 20 mA. Hierdoor zouden outputsignaal van de monitor en inputsignaal van de datalogger samenvallen, waardoor ook de waarden van de datalogger van 0 tot 400 NTU geprogrammeerd zouden kunnen worden, en er dus geen negatieve (fictieve) waarden ingevoerd dienen te worden. Grafisch kan dit als volgt voorgesteld worden (zie Figuur 8.8).

Figuur 8.8: Grafische voorstelling van de oplossing voor het datalogger-monitor conversieprobleem waarbij men beide toestellen werken met signalen van 0 tot 20 mA.



Mijn aanbeveling was om deze laatste methode te gebruiken. De omschakeling van de instelling is gebeurd op 22-4-2003. Het zou echter beter zijn om dataloggers met een hoger bit-gehalte kopen. Hierdoor wordt de resolutie van de meting verbeterd aangezien de incrementen die de monitor moet overschrijden zodanig dat de datalogger ze kan registreren, verkleinen.

Op het WLH zijn op dit moment verschillende modellen van dataloggers voorhanden. Er kan gebruik gemaakt worden van een model van Hemmis: merk VIGIL 2012, met een capaciteit 12 bit, ofwel van het model van Datataker, type DT50. Dit is een 16-bit datalogger.

Op basis van de nauwkeurigheid (een 16 bit datalogger creëert kleinere incrementen), en ook wegens enkele praktische bezwaren ten opzichte van de VIGIL (gebrek aan programmeringsprogramma), zou geopteerd worden voor de Datataker datalogger.

8.4 Dwarsdoorsnede

8.4.1 Inleiding

Het moet zeker de doelstelling zijn om een juiste correctiefactor te bepalen voor de dwarsdoorsnede. Hiervoor op verschillende tijdstippen van het jaar, en bij verschillende debietcondities bemonsterd worden. Het is onmogelijk om dit te doen binnen het kader van dit eindwerk.

Toch is er al een eerste poging ondernomen tot herbemonstering van de dwarsdoorsnede. De uitgekozen locatie was de meetpost te Grobbendonk. Deze is uitgekozen op toegankelijkheid, beschikbaarheid van een pompsampler ter plaatse en op de resultaten van de data tot nu toe (zie verder hoofdstuk 9).

Een probleem echter is dat niet gewerkt kon worden met een diepte- of puntintegrerende sampler. We hebben dus moeten opteren voor andere types van samplers, deze die gebruikt worden voor puntbemonsteringen. Hierdoor gaat het isokinetisch karakter van de bemonstering verloren, en dus ook eigenlijk de doelstelling van de bemonstering, namelijk de bepaling van de ware sedimentconcentratie, en gecombineerd met stroomsnelheid ook de bepaling van het sedimenttransport, doorheen de dwarsdoorsnede.

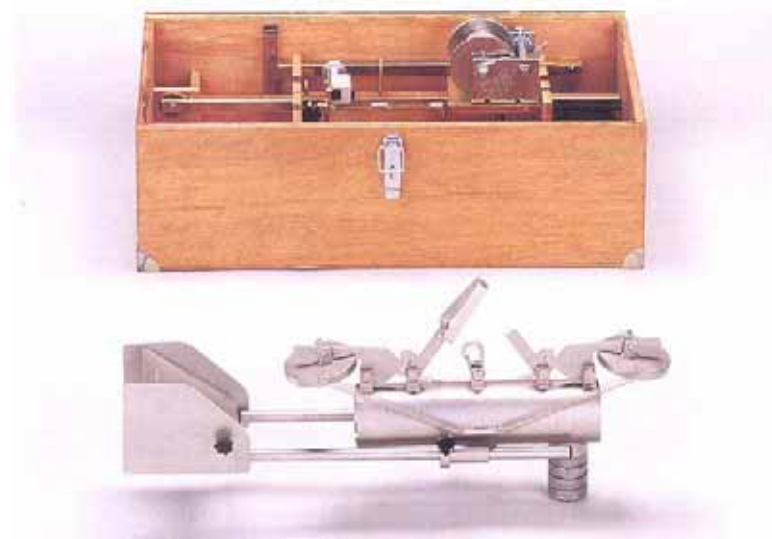
Aangezien er een ruime keuze aan diepte- en puntintegrerende samplers bestaat, die slechts onder bepaalde condities gebruikt kunnen worden, is het noodzakelijk de juiste sampler, die het beste bij het stroomregime van de door het WLH bemonsterde rivieren past, uit te kiezen.

Dit zou gebeuren in september 2003, in samenspraak met A. Horowitz uit Atlanta.

Vanaf de aankoop van het toestel kan begonnen worden met de opstelling van een schema om in 1 jaar 90% van de debietcondities te bemonsteren.

De vraag stelt zich dan ook waarom deze bemonstering dan nu al gedaan werd. Naast het feit dat het goed is om reeds geconfronteerd te worden met een aantal praktische problemen die later ook zullen moeten opgelost worden, is het ook interessant omdat de bemonstering deze keer uitgevoerd werd met twee verschillende toestellen, namelijk een pompel-opzuigpomp van het merk Tsurumi en een sedimenttrap van het type 'watertrap' van Eijkelkamp Agrisearch Equipment (zie Figuur 8.9). Hierdoor kan al een verschil in concentratie aangetoond worden, zuiver door het niet isokinetisch karakter van de twee bemonsteringstoestellen.

Figuur 8.9: De sedimenttrap die gebruikt werd voor de dwarsdoorsnede bemonstering van 7 maart 2003.



Het is echter in ieder geval interessant om de bekomen resultaten te vergelijken met de resultaten van de vorige dwarsdoorsnede bemonstering.

8.4.2 Dwarsdoorsnede bemonstering (uitgevoerd op 7-3-2003)

8.4.2.3 Toestellen

Aangezien er geen diepte- of puntintegrerende samplers beschikbaar zijn, werd er gebruik gemaakt van puntsamplers, in ons geval: een pompelomp en een sedimenttrap.

In zijn cursus 'Hydrografie & Hydrometrie' beschrijft R. Verhoeven (Verhoeven, 2000) toestellen van het 'val'-type, zoals de door ons gebruikte sedimenttrap. Deze bestaan uit een horizontale cilinder die aan beide zijden met behulp van kleppen kan worden afgesloten. Het toestel wordt met geopende kleppen tot in het meetpunt gebracht. De as van de cilinder is gericht volgens de stroomrichting. Door het loskoppelen van het blokkermechanisme van de kleppen, wordt het monster opgevangen in het toestel. Via de kleppen of via een tapkraantje wordt het water-sedimentmonster in een recipiënt gegoten. Bezinken van sedimentdeeltjes in de cilinder tijdens de periode tussen monsternamen en uitgieten kan aanleiding geven tot meetfouten.

Verhoeven heeft door middel van onderzoek de nauwkeurigheid van verschillende samplers (waaronder een sampler van het 'val'-type, een pompsampler en een fles) bepaald. Door de bezinkingsproblematiek bij de sampler van het 'val'-type kwam deze het slechtst uit de test.

De problematiek waarmee Verhoeven echter te maken had, is anders dan onze problematiek met de sediment-trap sampler. Het toestel van Verhoeven diende leeg te worden gemaakt via een kraantje, waardoor inderdaad bezinkingsverschijnselen optraden. Het door het WLH gebuikte toestel wordt geopend door een van beide kleppen volledig te openen. Hierdoor vindt er weinig bezinking plaats, maar bestaat wel de mogelijkheid dat een weinig water over de fles, of een ander reservoir' gegoten wordt, zelfs met het gebruik van een trechter, waardoor de nauwkeurigheid ook hier vermindert. Het is ook mogelijk dat men struikelt, de fles laat vallen, het staal verwisselt enz, wat de nauwkeurigheid ook nietten goede komt.

8.4.2.4 Theorie en berekeningen

Aangezien er met puntmonsters gewerkt wordt, moet het sedimenttransport berekend worden met behulp van de partiële methode.

Bij de partiële methode wordt het zwevend transport berekend door de lineaire interpolatie tussen de puntgewijze opgemeten snelheden en sedimentconcentraties tussen het hoogste en het laagste meetpunt:

$$S_s = \left[\frac{1}{2} v_1 c_1 z_1 + \sum_1^{n-1} \frac{1}{2} (v_i c_i + v_{i+1} c_{i+1}) (z_{i+1} - z_i) \right]$$

of

$$S_s = \left[\frac{1}{2} q_1 z_1 + \sum_1^{n-1} \frac{1}{2} (q_i + q_{i+1}) (z_{i+1} - z_i) \right]$$

- waarbij:
- S_s = suspensietransport per eenheidsbreedte (kg/s.m)
 - n = aantal meetpunten over de verticale
 - v_i = de stroomsnelheid (m/s)
 - c_i = de concentratie (kg/m³)
 - z_i = de hoogte boven de bodem (m)
 - q_i = het suspensietransport in het punt i (directe methode) (kg/s.m²)

De partiële methode staat tegenover de integraal methode. Deze tweede gebruikt een 'curve fitting' procedure tussen de bodem en het oppervlak. Hier wordt in het kader van dit eindwerk niet verder op ingegaan.

8.4.2.5 Aantal puntmonsters en verticalen

Als we de partiële methode gebruiken blijft de vraag hoeveel meetpunten genomen moeten worden op hoeveel verticalen?

De vraag in verband met het aantal verticalen is al uitgebreid behandeld in punt 7.4.3.4.

Deze methode is echter veel te gedetailleerd om hier toe te passen.

De USGS (Wagner et.al., 2000) beschrijft hoe men een oppervlakte-gewogen waarde kan bepalen door het bemonsteren van een centroide van gelijke-breedte incrementen met gekalibreerde veldinstrumenten.

Dit betekent eigenlijk dat men gebruik kan maken van de EWI methode.

Volgens de USGS moet het algemeen gezien volstaan een minimum van 10 en een maximum van 20 meetpunten te bemonsteren in een doorsnede van een grote rivier of stroom om een horizontale dwarsdoorsnede variabiliteit van een fysische eigenschap vast te leggen.

Berekeningen van gemiddelden van de waarden van deze fysische eigenschap voor een grote hoeveelheid cellen zal een dwarsdoorsnede correctie opleveren voor gelijk welke meetlocatie met goede stroming. Echter, als het aantal cellen groter wordt dan 40 zal de berekende precisie groter worden dan de meetprecisie.

Daarom werd er in de eerste plaats een draaiboek opgesteld (zie Bijlage 13) dat volledig gebaseerd was op de procedures zoals die aangegeven werden door de USGS (Webb et al., 1999). Enkel punten die niet interessant waren voor onze sites werden weggelaten.

Vervolgens werd een uiteindelijk draaiboek uitgeschreven dat meegenomen werd naar het veld. In dit tweede draaiboek werden een aantal details toegevoegd die specifiek waren voor onze sites, en de meetinstrumenten ter onzer beschikking (zie Bijlage 14 en 15).

8.4.2.6 Praktische uitwerking op het veld

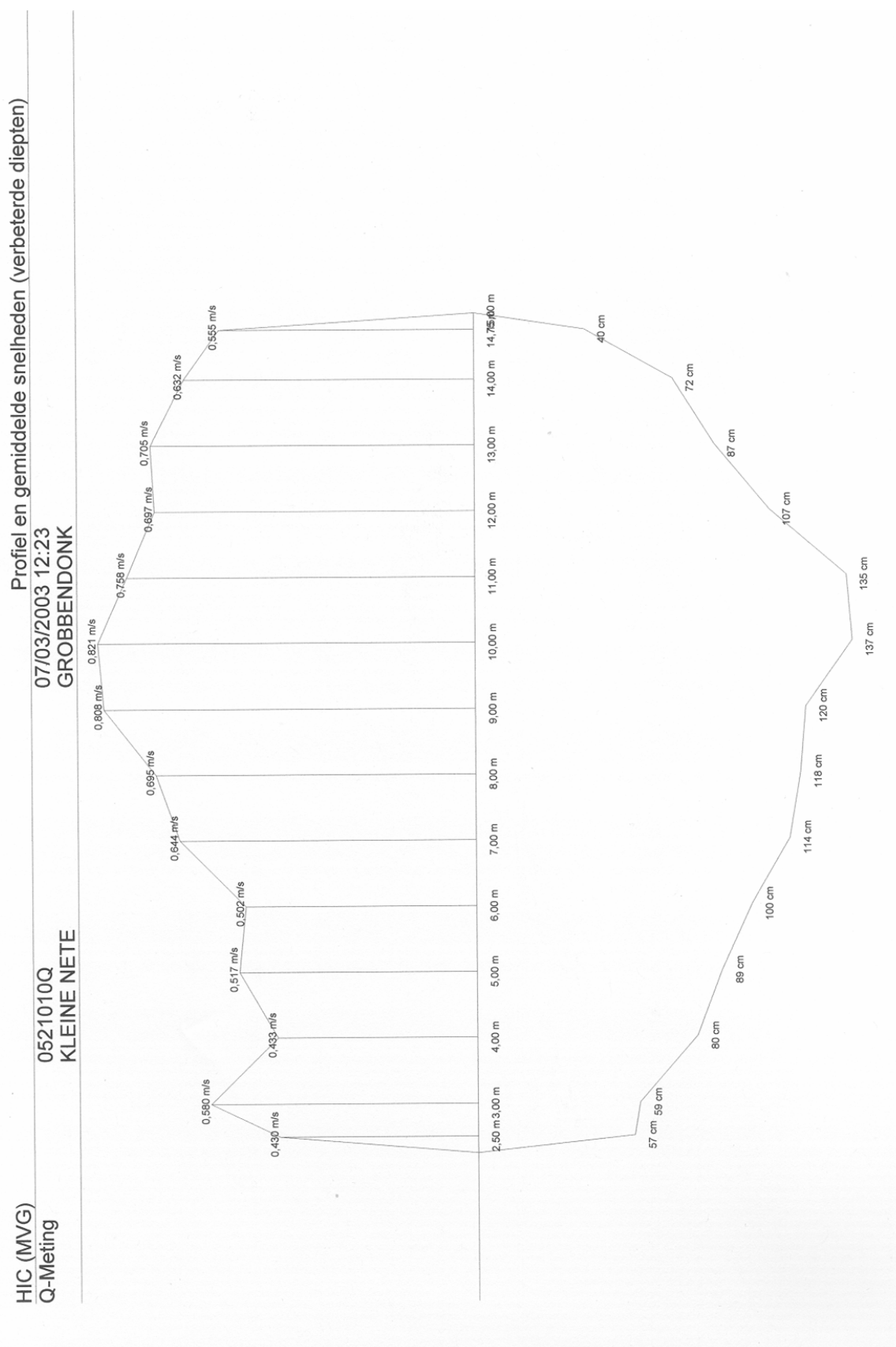
Op het veld is in grote mate het draaiboek (zie Bijlage 14 en 15) gevolgd. Een klein overzicht:

- 1) Op de eerste plaats is met behulp van een automatische katrol in een busje het debiet opgemeten. Dit gebeurt door een snelheidsmeter naar beneden te laten op een aantal vastgelegde raaien (de afstanden staan aangeduid op de brug). Om het debiet te meten, meet men eerst de diepte van de rivier ter hoogte van de te bemonsteren raai. Vervolgens meet men de stroomsnelheid op verschillende dieptes, naargelang de totale diepte. Het snelheidsprofiel werd onmiddellijk op de computer uitgelezen. Het snelheidsprofiel (van gemiddelde snelheden) en de diepten op de verschillende raaien van dwarsdoorsnede worden weergegeven in Figuur 8.10.
Het volledige verslag van de debietmetingen is toegevoegd als Bijlage 16.
- 2) Vervolgens werden de interessantste punten uitgekozen om met de sedimenttrap te bemonsteren. De sedimenttrap werd met behulp van een handmatige katrol naar beneden gelaten tot op een diepte waar eerder de snelheid bepaald werd. Uiteindelijk werden er op deze manier 17 monsters van elk 1 liter genomen. De monsters werden genummerd van 1 tot 17 en kregen de letter T, van 'trap' mee.
- 3) Vervolgens werd de pompomp bevestigd aan de automatische katrol (die ook al de snelheidsmeter naar beneden gelaten had). Op elk punt waar eerder de snelheid gemeten werd, werd nu ook een waterstaal genomen. Wegens de veel snellere bemonstering met de pompomp dan met de sedimenttrap werd er geopteerd om hier twee liter per punt te bemonsteren. Deze monsters kregen de letter P 1 en P 2 (van eerste pompmonster en tweede pompmonster) mee en werden genummerd van 1 tot 63.
We bekomen hiermee dus een te grote berekende precisie in vergelijking met de meetbare precisie. Dit is iets waarmee rekening gehouden dient te worden. Deze problematiek valt echter weg als we in de toekomst bemonstering uitvoeren met een diepte-integrerende sampler.

8.4.2.7 Laboratoriumproeven

Van elk van de genomen stalen, zowel van de pompomp als van de sedimenttrap, wordt 100 ml monster genomen om via de eerder uitgelegde filtratiemethode de concentratie in het monster te bepalen. In het geval van de pompomp werd de 100 ml genomen uit het eerste staal. Daarnaast wordt van elk van de stalen ook nog eens de turbiditeit bepaald met behulp van de Hach en de Analite.

Figuur 8.10: Diepteprofiel en profiel van de gemiddelde snelheden langsheen de dwarsdoorsnede zoals bepaald op 7-3-2003.



De resultaten worden weergegeven in Tabellen 8.23 en 8.24. In deze tabellen zijn tevens de snelheden opgenomen die gemeten zijn op de plaatsen waar de stalen genomen zijn. De concentratiewaarden werden omgezet tot snelheid-gewogen waarden door vermenigvuldiging van de concentraties met de overeenkomstige stroomsnelheden en deling door de gemiddelde stroomsnelheid. Van deze waarden werd dan een gemiddelde gemaakt dat dan vergeleken werd met de concentratie die bekomen werd uit de filtratie van een monster dat opgepompt werd met de automatische pompsampler op hetzelfde moment.

Tabel 8.23: Resultaten van de concentratie- en turbiditeitsbepalingen van de monsters genomen met de sedimenttrap.

Grobbendonk 07/03/2003 DWARSSEKTIE

meetraai	afstand m	diepte m	nr. fles	mg/l	analite NTU	hach NTU	snelheid v m/s	c . v	(c.v)/v _{gem}
4	2,5	0,17	T 1	43	37	38,9	0,51	21,9	21,93
		0,33	T 2	50	36	43,6	0,48	24,0	24
6	4	0,48	T 3	51	35	41,1	0,42	21,4	21,42
		0,63	T 4	43	37	43,0	0,25	10,8	10,75
8	6	0,2	T 5	43	36	38,2	0,68	29,2	29,24
		0,6	T 6	57	36	41,2	0,48	27,4	27,36
10	8	0,22	T 7	42	33	37,1	0,84	35,3	35,28
		0,66	T 8	36	32	43,2	0,74	26,6	26,64
		1,01	T 9	47	39	47,7	0,52	24,4	24,44
12	10	0,27	T 10	42	38	44,4	0,96	40,3	40,32
		0,81	T 11	43	38	42,2	0,86	37,0	36,98
		1,2	T 12	57	40	48,0	0,67	38,2	38,19
14	12	0,22	T 13	42	42	45,8	0,91	38,2	38,22
		0,66	T 14	42	41	45,4	0,66	27,7	27,72
16	14	0,14	T 15	48	41	45,8	0,74	35,5	35,52
		0,43	T 16	44	38	42,2	0,62	27,3	27,28
17	14,75	0,22	T 17	38	34	39,7	0,69	26,2	26,22
som van alle (c.v/v _{gem}) =									491,51

gemiddelde c = 28,91235

Correctiefactor = 0,507234

Tabel 8.24 : Resultaten van de concentratie- en turbiditeitsbepalingen van de monsters genomen met de dompelpomp

Grobbedonk 07/03/2003

DWARSSSEKTIE

meetraai	afstand m	diepte m	nr. fles	mg/l	analite NTU	hach NTU	snelheid v m/s	c x v	(c.v)/vgem
4	2,50	0,17	P 1/ 1	41	44	42,8	0,51	20,9	32,07055
		0,33	P 1/ 2	35	44	42,5	0,48	16,8	25,76687
5	3,00	0,18	P 1/ 3	42	48	48,1	0,66	27,7	42,51534
		0,41	P 1/ 4	32	41	41,0	0,61	19,5	29,93865
6	4,00	0,07	P 1/ 5	32	42	39,1	0,62	19,8	30,42945
		0,48	P 1/ 6	34	42	40,6	0,42	14,3	21,90184
		0,63	P 1/ 7	75	58	49,4	0,25	18,8	28,75767
7	5,00	0,07	P 1/ 8	34			0,75	25,5	39,11043
		0,32	P 1/ 9	36			0,69	24,8	38,09816
		0,64	P 1/ 10	35			0,4	14,0	21,47239
		0,72	P 1/ 11	36			0,24	8,6	13,25153
8	6,00	0,07	P 1/ 12	30	43	39,3	0,73	21,9	33,58896
		0,20	P 1/ 13	32	42	38,3	0,68	21,8	33,37423
		0,40	P 1/ 14	34	39	37,9	0,58	19,7	30,2454
		0,60	P 1/ 15	33	39	37,3	0,48	15,8	24,29448
		0,83	P 1/ 16	38	42	38,6	0,3	11,4	17,48466
9	7,00	0,07	P 1/ 17	31	38	36,5	0,78	24,2	37,08589
		0,21	P 1/ 18	33	42	10,7	0,76	25,1	38,46626
		0,42	P 1/ 19	33	37	35,3	0,67	22,1	33,91104
		0,63	P 1/ 20	26	29	37,3	0,65	16,9	25,92025
		0,84	P 1/ 21	31	39	41,3	0,74	22,9	35,18405
		0,97	P 1/ 22	29	40	38,3	0,48	13,9	21,34969
10	8,00	0,07	P 1/ 23	37	44	41,9	0,82	30,3	46,53374
		0,22	P 1/ 24	33	40	42,0	0,84	27,7	42,51534
		0,44	P 1/ 25	34	45	43,2	0,82	27,9	42,76074
		0,66	P 1/ 26	31	41	38,8	0,74	22,9	35,18405
		0,88	P 1/ 27	38	44	44,9	0,62	23,6	36,13497
		1,01	P 1/ 28	34	41	38,5	0,52	17,7	27,11656
11	9,00	0,07	P 1/ 29	38	41	39,2	0,87	33,1	50,70552
		0,23	P 1/ 30	45	47	44,7	0,91	41,0	62,80675
		0,46	P 1/ 31	22	36	36,6	0,91	20,0	30,70552
		0,69	P 1/ 32	15	34	32,2	0,89	13,4	20,47546
		0,92	P 1/ 33	35	33	36,6	0,75	26,3	40,26074
		1,03	P 1/ 34	37	40	47,1	0,7	25,9	39,72393
12	10,00	0,07	P 1/ 35	31	33	34,9	0,92	28,5	43,74233
		0,27	P 1/ 36	36	38	40,8	0,96	34,6	53,00613
		0,54	P 1/ 37	37	40	44,3	0,93	34,4	52,77607
		0,81	P 1/ 38	30	35	37,7	0,86	25,8	39,57055
		1,08	P 1/ 39	30	34	32,6	0,71	21,3	32,66871
		1,20	P 1/ 40	28	34	36,5	0,67	18,8	28,77301
13	11,00	0,07	P 1/ 41	28	33	33,7	0,93	26,0	39,93865

geen staal meer

		0,26	P 1/ 42	28	33	36,3	0,93	26,0	39,93865
		0,52	P 1/ 43	36	38	40,5	0,86	31,0	47,48466
		0,70	P 1/ 44	30	34	36,3	0,77	23,1	35,42945
		1,04	P 1/ 45	26	32	33,7	0,67	17,4	26,71779
		1,17	P 1/ 46	32	34	37,0	0,55	17,6	26,99387
14	12,00	0,07	P 1/ 47	32	38	39,7	0,9	28,8	44,17178
		0,21	P 1/ 48	28	34	36,9	0,91	25,5	39,07975
		0,42	P 1/ 49	31	39	38,5	0,8	24,8	38,03681
		0,64	P 1/ 50	26	34	34,5	0,66	17,2	26,31902
		0,90	P 1/ 51	26	33	35,4	0,45	11,7	17,94479
15	13,00	0,07	P 1/ 52	26	33	34,2	0,85	22,1	33,89571
		0,18	P 1/ 53	27	34	34,1	0,86	23,2	35,6135
		0,36	P 1/ 54	32	37	39,8	0,78	25,0	38,28221
		0,54	P 1/ 55	33	37	41,3	0,74	24,4	37,45399
		0,70	P 1/ 56	30	33	36,1	0,59	17,7	27,14724
16	14,00	0,07	P 1/ 57	27	33	33,5	0,72	19,4	29,81595
		0,14	P 1/ 58	27	34	36,2	0,74	20,0	30,64417
		0,29	P 1/ 59	29	34	36,2	0,71	20,6	31,57975
		0,43	P 1/ 60	26	34	36,2	0,62	16,1	24,72393
		0,55	P 1/ 61	30	32	36,2	0,64	19,2	29,44785
17	14,75	0,07	P 1/ 62	40	38	42,9	0,58	23,2	35,58282
		0,22	P 1/ 63	29	34	36,6	0,69	20,0	30,69018
som van alle (c.v/v _{gem})									2146,61

gemiddelde c = 34,07318

correctiefactor 0,597775

De correctiefactor verkregen uit de filtratiegegevens van de sedimenttrap is 0,507234. Dat wil zeggen dat de gemiddelde concentratie die door de dwarsdoorsnede stroomde op het moment dat wij de terreintesten uitvoerden door de pompsampler met 100% werden overschat.

De correctiefactor verkregen uit de filtratiegegevens van de pompelpomp is 0,597775. Dit houdt in dat de gemiddelde concentratie ook hier veel lager is dan degene die we met de pompsampler bepaald hebben. Doch de overschatting zou iets minder groot zijn.

Er moet natuurlijk nog altijd rekening gehouden worden met het feit dat noch de sedimenttrap, noch de pompelpomp isokinetische bemonstering toestaan, en dat de correctiefactor dus nog steeds niet correct berekend kon worden.

De correctiefactor was al eerder door middel van een dwarsdoorsnede bemonstering bepaald. Voor de meetpost te Grobbendonk is deze bemonstering uitgevoerd op 15-05-2000. De correctiefactor bedroeg toen 0,85.

De correctiefactor werd toen echter anders bepaald (zie ook al eerder uitgelegd in punt 7.4.2). Men vergeleek toen de gemiddelde concentratie, zoals bepaald uit de filtratie van de pompelpompstalen, met de gemiddelde concentratie van de meetraai waarop de sonde van de automatische pompsampler gelegen was.

De berekening van de correctiefactor voor de meting op 25-5-2000 is bijgevoegd in Bijlage 17. De gegevens van 7-3-2003 werden op dezelfde (oude) manier uitgerekend. Deze berekeningen zijn eveneens bijgevoegd in Bijlage 17.

De correctiefactor die dan verkregen wordt voor de berekeningen van 7-3-2003 bedraagt 0,961.

In Tabel 8.25 worden de verkregen correctiefactoren verzameld.

Tabel 8.25

datum	Oude Methode = Methode met theoretische plaatsbepaling van opzuigstuk	Nieuwe methode = Methode met vergelijking van gelijktijdig opgepompt monster	
		Sedimenttrap	dompelpomp
25-5-2000	0,854	Geen gegevens	Geen gegevens
7-3-2003	0,961	0,507234	0,597775

Hieruit kunnen volgende conclusies getrokken worden:

- De berekeningsmethode van de correctiefactor heeft een invloed op het uiteindelijke resultaat. Als men uitgaat van een effectief gemeten waarde van de pompsampler moet een veel grotere correctie uitgevoerd worden dan wanneer men van de theoretische locatie van het opzuigpunt uitgaat.
- Het tijdstip van bemonstering, en dus indirect ook het debietregime, heeft een invloed op de correctiefactor.

Men moet evenwel rekening houden met het niet isokinetisch karakter van de verschillende toestellen.

8.4.2.8 Opmerking

Wanneer in de nabije toekomst gebruik gemaakt zal worden van punt- of diepte-integrerende samplers, is de doorhaalsnelheid van zeer groot belang (zie punt 7.4.3.5). Deze zal waarschijnlijk niet dezelfde zijn voor de verschillende meetposten. Daarom moet er voor gezorgd worden dat er een katrol aanwezig is die de sampler met regelbare snelheid naar beneden kan laten. Eventueel moeten daarvoor nieuwe aankopen verricht worden.

8.5 Besluit

Pompsampler

Aangezien hier nog geen praktische oplossingen uitgevoerd zijn, kan enkel besloten worden dat de bepaling van de opzuig-efficiëntie zo snel mogelijk moet bepaald worden. Daarvoor is de aankoop van een isokinetische sampler nodig.

Daarnaast wordt het aanbevolen om zowel de lokalisatie van de meetpunten, als de positie van de opzuigstukken te behouden, met eventueel een optie tot plaatsing van een tweede sampler op de meest interessante meetposten, zonder dat dit ten koste gaat van de huidige bemonsteringsschema's.

Turbiditeitsmeter

Ondanks de poging tot fouling- en driftcorrectie zijn er geen concrete oplossingen gevonden. Een eerste conclusie is dat deze testen zeker nogmaals opnieuw gedaan moeten worden. Het is ook aan te raden de proef met de Formazine-standaarden te herhalen, nadat de standaarden uiterst precies gemaakt zijn, of met aangeschafte stalen. Hierdoor kan men met absolute waarden werken, in plaats van relatief ten opzichte van de waarden bekomen met de Hach en de Analite.

De invloed van het roeren, en eventueel de grootte van de recipiënt waarin gemeten wordt, kunnen een bijdrage geleverd hebben. De impact van deze moet nagegaan worden, en eventueel geminimaliseerd.

De vraag blijft zich stellen hoe groot de impact van de lichtcondities is bij verschillende waterstanden. Als deze invloed te groot is, moet bekeken worden welke oplossingen eventueel te vinden zijn zoals omhulsels ter verduistering of een volledig nieuw systeem turbiditeitsmeters.

Aangezien gedurende het hele jaar verschillende bronnen van sediment aangesproken kunnen worden, moet er geijkt worden met sediment dat op verschillende tijdstippen bemonsterd werd, om na te gaan hoe sterk de ijkingscurven verschillen naargelang het meegevoerde materiaal verandert.

De eigenschappen van het materiaal zouden hierbij nagegaan dienen te worden (zoals naast droge-stof bepalingen ook asbepalingen uitvoeren). Mogelijk seizoenale trends zouden hieruit gehaald kunnen worden.

Het aanschakelen van turbiditeitsmeters op het telemetrienet verdient ook zeker aandacht. Hierdoor kan onmiddellijk gecontroleerd worden of er zich technische problemen voordoen met de sensor.

Een verklaring voor de relatief lage gevoeligheid van de methode is de programmatie van de monitors. Deze stonden nog ingesteld met een maximumwaarde van 800 NTU, waardoor de gevoeligheid daalde.

Deze testen zouden, samen met de vorige testen, opnieuw uitgevoerd dienen te worden. Dit maal met de monitor ingesteld met 400 NTU als maximumwaarde, wat trouwens de maximale gevoeligheid van de door het WLH gebruikte sonde is. In combinatie met testen met Formazinestandaarden met hogere NTU waarden, moet het mogelijk zijn een goede kalibratiecurve op te stellen.

Dit lost echter nog niet het probleem op dat de monitor een te laag bereik heeft met een maximumwaarde tot 400 NTU.

De concentraties in Grobbendonk, maar ook in alle andere meetposten kan dusdanig oplopen dat ze de maximum detectielimiet van de sonde (= 400 NTU) overschrijden. Om dit probleem te voorkomen moeten nieuwe sondes aangeschaft worden, die hogere concentraties kunnen meten.

Wat de ijkingscurves van de turbiditeitsmeter betreft wordt de voorkeur gegeven aan het opstellen van een curve die rechtstreeks de waarde in NTU gemeten door de monitor omzet naar mg/l. Deze ijking kan enkel correct gebeuren als de fouling en drift problematiek opgelost is.

Het conversieprobleem van de datalogger is opgelost door het gelijk instellen van de monitor en de datalogger. Daarnaast zou het interessant zijn om dataloggers aan te schaffen met een hoger bitgehalte, wat de nauwkeurigheid ten goede komt. Het aansluiten van de monitor op de telemetrie zou de nauwkeurigheid natuurlijk nog verhogen.

Dwarsdoorsnede

De dwarsdoorsnede-coëfficiënt is met twee verschillende toestellen, die geen van beide isokinetisch bemonsteren voor een tweede maal bepaald op 7-3-2003. De nieuwe resultaten verschillen beiden van de eerder bekomen resultaten op 25-5-2000. Hieruit kon besloten worden:

- De berekeningsmethode van de correctiefactor heeft een invloed op het uiteindelijke resultaat. Als men uitgaat van een effectief gemeten waarde van de pompsampler moet een veel grotere correctie uitgevoerd worden dan wanneer men van de theoretische locatie van het opzuigpunt uitgaat.

Het tijdstip van bemonstering, en dus indirect ook het debietregime, heeft een invloed op de correctiefactor

9 Data-analyse

Het verzamelen van zekerheden belemmert de zoektocht naar de diepere zín.
Onzekerheid is de geschikte toestand die de mens aanzet
om zijn krachten te ontplooien.

Erich Fromm

9.1 Inleiding en probleemstelling

De analyse van de reeds verzamelde gegevens van het meetnet was één van de primaire doelstellingen van deze verhandeling. Spoedig bleek dat de resultaten niet beantwoordden aan een aantal verwachte patronen, waardoor de gebruikte methode diende bekeken te worden als eventuele oorzaak van de anomalieën. Uit voorgaande hoofdstukken blijkt dat er inderdaad een en ander bijgeschaafd dient te worden.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de relatie tussen debiet en getransporteerde sedimentconcentratie.

- In het eerste deel worden de debietwaarden lineair uitgezet ten opzichte van de concentratiewaarden verkregen uit de monitorwaarden.
- In het tweede deel wordt de debietwaarden opnieuw lineair uitgezet ten opzichte van de concentratiewaarden, dit maal verkregen uit de filtratiewaarden. Uit deze gegevens worden tevens op zeer gedetailleerde manier korrelaties gezocht met meteorologische events en worden de individuele sedimentconcentratie- en debietpieken onder de loep genomen. Tevens wordt het fenomeen hysteresislussen besproken.
- In het derde deel wordt het jaartransport berekend op basis van de monitorwaarden vergeleken met het jaartransport berekend op basis van de filtratiewaarden.
- In het vierde deel wordt de relatie tussen sedimentvracht en debiet of stroomsnelheid bekeken.
- Tot slot wordt overgegaan tot dubbel-logaritmering van de filtratiewaarden om het totaaltransport aan de hand van regressievergelijkingen te voorspellen.

Aangezien de problematiek van de ijkings en gebruik van juiste correctiefactoren nog niet opgelost is, werd ervoor geopteerd te werken met de niet gecorrigeerde waarden. De juiste correctiefactoren kunnen later ingevoerd worden. De gegevensanalyses die hier dus besproken worden zijn eerder indicatief dan kwantitatief.

9.2 De relatie debiet-jaartransport

Wanneer het debiet in een rivier verhoogt, verhoogt daardoor ook het vermogen tot sedimenttransport. Het water kent een grotere snelheid en turbulentie waardoor het gemakkelijker meer en grotere sedimentpartikels in suspensie kan houden.

Het is dus aannemelijk dat er een relatie bestaat tussen debiet en sedimenttransport. Het debiet is immers een snelheid vermenigvuldigd met het oppervlak van de dwarssectie van de waterkolom. Dat zo'n relatie bestaat wordt bevestigd door de USGS (Edwards & Glysson, 1999) en door Horowitz (pers. com. Horowitz, 2003). Dat er een aantoonbaar verband bestaat blijkt uit Figuur 9.1 die voor de meetperiode van 4-2-1999 tot 31-12-1999 voor het station Grobbendonk op dezelfde grafiek het debiet en het transport aangeeft. De transportgegevens waren hierbij berekend uit filtratiegegevens. Op het eerste gezicht valt een zekere korrelatie op maar onmiddellijk ook een belangrijk aantal anomalieën.

Figuur 9.2 toont eenzelfde grafiek, in dit geval voor de meetpost te Grobbendonk voor de periode van 1-1-2000 tot 31-12-2000. Hier werden echter de monitorgegevens gebruikt om het jaartransport te berekenen. Hoewel de trend hier iets minder duidelijk is, doet zich ook hier opnieuw een algemene trend voor waarbij debietpieken gepaard gaan met concentratiepieken. Er komen ook een aantal onverklaarbare concentratiepieken voor, en anderzijds zijn er debietpieken die niet door concentratiepieken vergezeld zijn. Dit valt te verklaren door de problematiek die eigen is aan de turbiditeitsmeter, zoals vervuiling in de rivier, fouling, drift enz.

9.3 Relatie debiet-concentratie (bepaald uit monitorgegevens)

Een meer gedetailleerde analysestap bestond er in om de concentratie aan sediment in suspensie uit te zetten in functie van het debiet.

Deze waarden waren voor de zeven meetposten al uitgezet in het jaarboeken 1999-2000 (WLH, 2000) (zie Figuur 9.3).

De meetpost in Geel-Zammel is nog geen jaar in werking, en werd daarom buiten beschouwing gelaten.

In eerste instantie werd de scope beperkt tot het eerste jaar van monitoring omdat hiervoor zowel waarden voor de turbiditeitsmeter als voor de automatische pompsampling beschikbaar waren.

Uit Figuur 9.3 kunnen een aantal interessante conclusies getrokken worden.

- Men ziet bij elke meetpost een puntenwolk opduiken. Een lineaire trend, of eender welke andere trend valt moeilijk te verantwoorden zoals ook uit de correlatiecoëfficiënten blijkt.
- Bij meetposten zoals Grobbendonk, Haacht, Menen, Overboelare en Aarschot valt op hoe belangrijk de invloed is van punten met extreme waarden. Deze kunnen een trend helemaal naar zich toe trekken.
- De meetposten Eppegem en Itegem vertonen een nagenoeg horizontale trend. Dit zou betekenen dat bij één debiet alle mogelijke concentraties aan sediment in suspensie vervoerd kunnen worden. Dit gaat rechtstreeks in tegen de veronderstelde notie dat er een relatie bestaat tussen debiet en concentratie.
- Ten laatste valt het op dat er meetposten zijn, zoals Grobbendonk, Haacht, Menen, Overboelare en Aarschot, waarbij de maximale concentraties aan sediment in suspensie nauwelijks boven 500 mg/L uitsteken. Posten zoals Eppegem en Itegem daarentegen kennen veel hogere concentratiewaarden.

Wegens de extreem slechte correlatie in Figuur 9.3 werd voor een andere aanpak geopteerd.

De waarden die in het jaarboek uitgezet zijn ten opzichte van het debiet, waren de concentraties aan sediment in suspensie gemeten door de troebelheidmeter.

Hierdoor doet zich het volgende probleem voor: de turbiditeitsmeter is, zoals blijkt uit het vorige hoofdstuk, niet goed afgesteld en er doen zich problemen met fouling, drift, ... voor die niet systematisch verholpen kunnen worden. Daarnaast zijn er nog de problemen met de ijking met concentraties aan sediment.

Daarom werd besloten om in eerste instantie met de resultaten van de pompsampler te werken. Hier blijven zich natuurlijk ook correctieproblemen voordoen. Zo is er geen correctie doorgevoerd voor het niet isokinetisch karakter van de sampler.

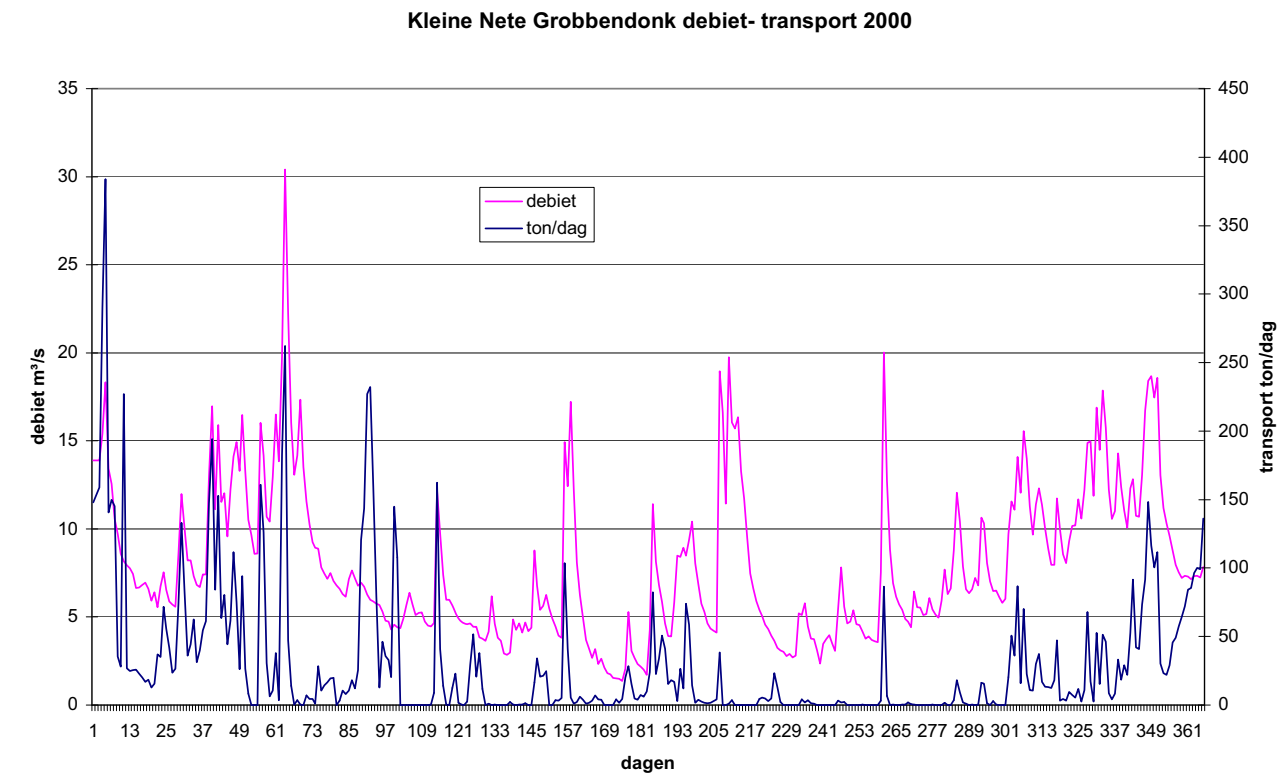
Bij de pompsampler is er echter geen sprake van fouling of drift wat een mogelijke foutenbron minder betekent.

Het probleem met de automatische pompsampler, is dat er een minder lange meetreeks van hoogstens één jaar beschikbaar is omdat men ervan uitging dat men met de meetresultaten van één jaar de turbiditeitsmeter kon ijken.

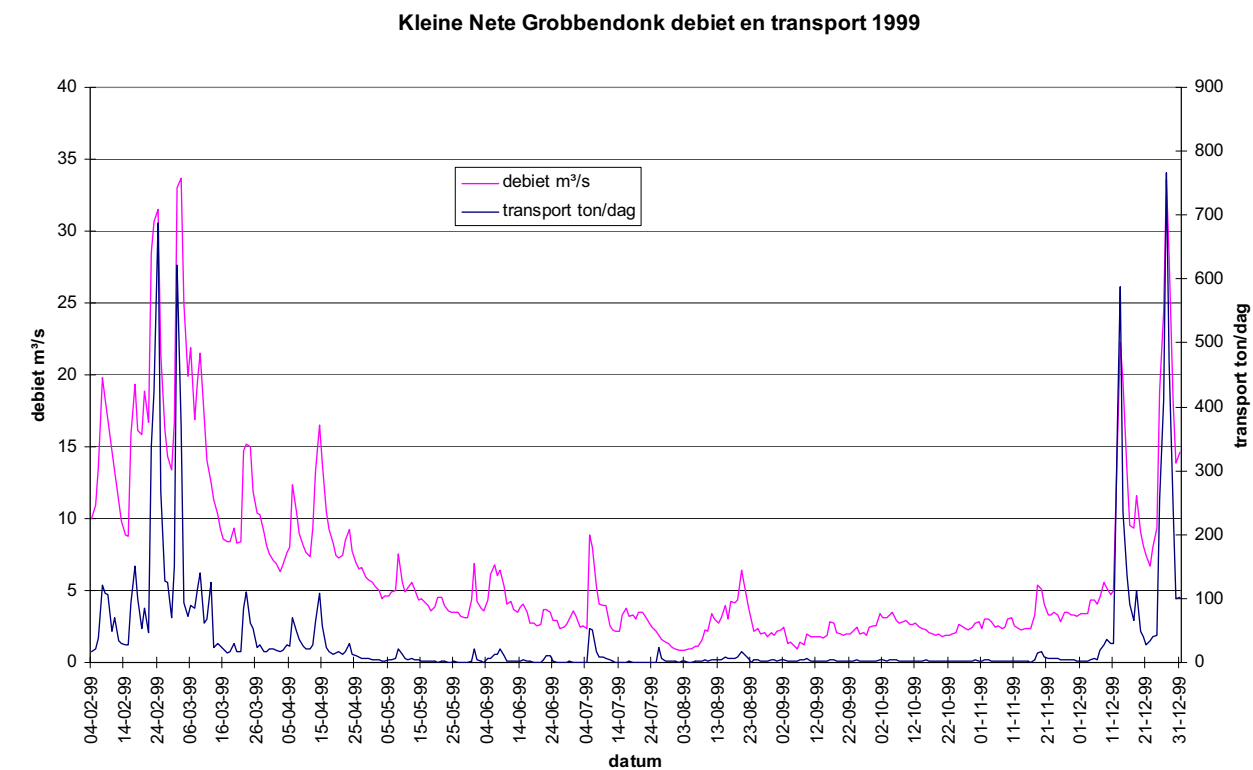
Figuur 9.3: zie pagina 118 tot 125

Korrelatie debiet-concentratie voor de verschillende meetposten voor het eerste jaar dat deze actief waren. Voor Menen zijn zowel jaar 1999 als jaar 2000 weergegeven. De concentraties aan sediment in suspensie werden afgeleid uit monitor waarden, behalve voor de meetpost in Overboelare. Daar werden de filtratiewaarden gebruikt wegens de latere installatie van een turbiditeitsmeter. Daarnaast werd ook een lineair verband gezocht tussen waterdebiet en sedimentconcentratie.

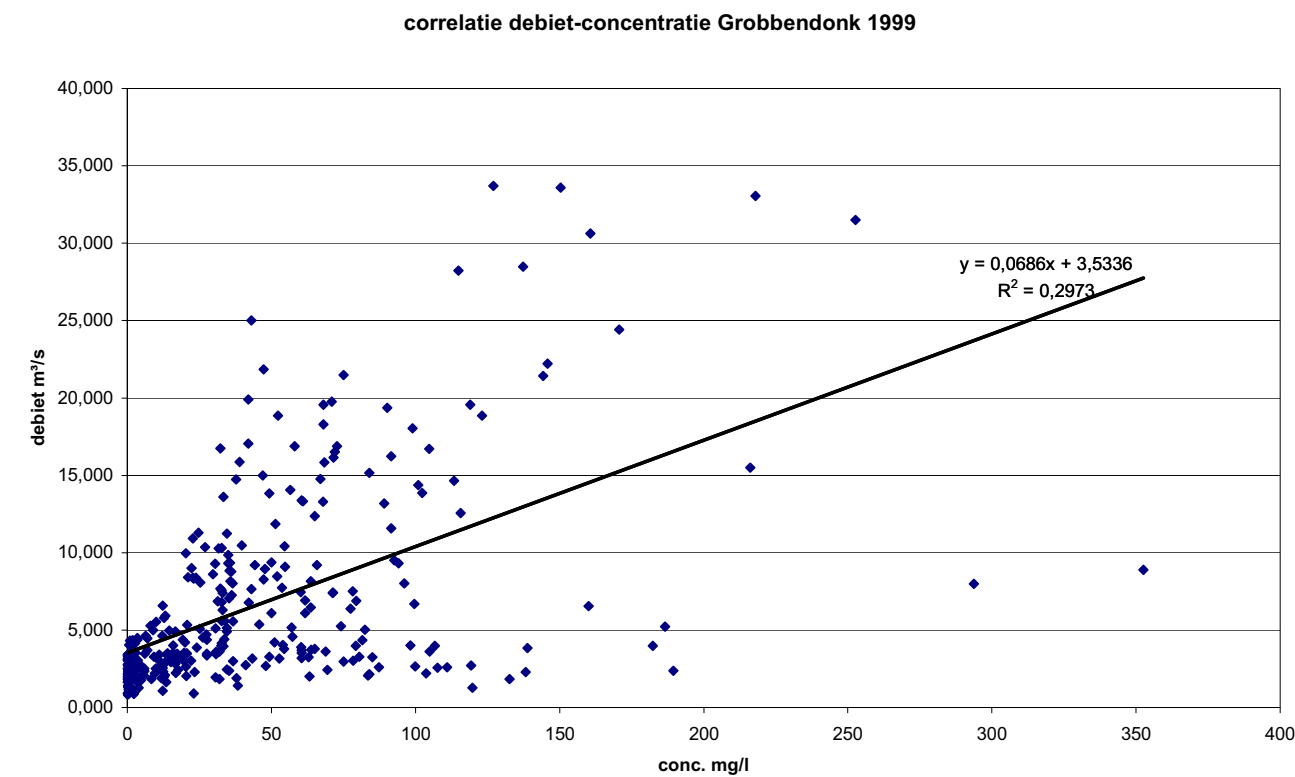
Figuur 9.1: Jaardebiet en jaartransport voor de meetpost te Grobbendonk voor de periode 4-2-1999 tot 31-12-1999. De transportgegevens zijn afkomstig uit filtratiegegevens.



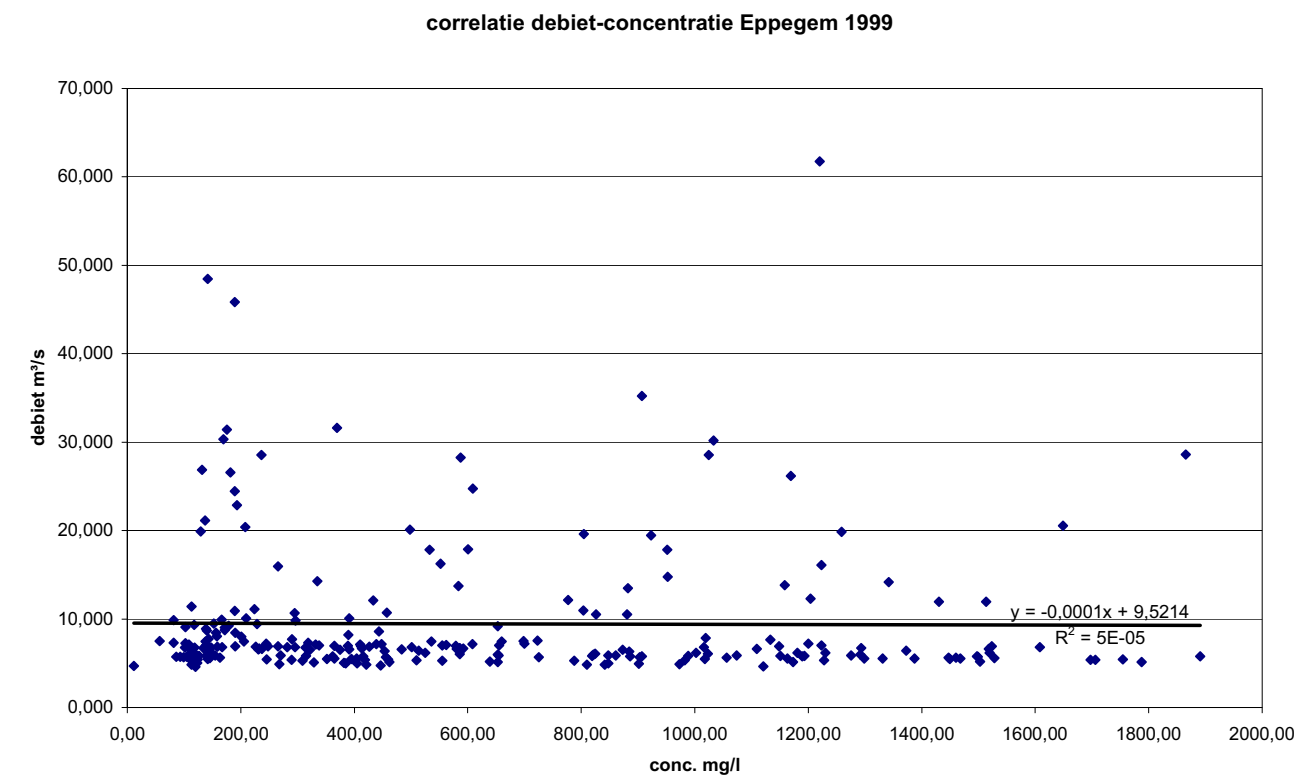
Figuur 9.2: Jaardebiet en jaartransport voor de meetpost te Grobbendonk voor de periode 4-2-1999 tot 31-12-1999. De transportgegevens zijn afkomstig uit filtratiegegevens



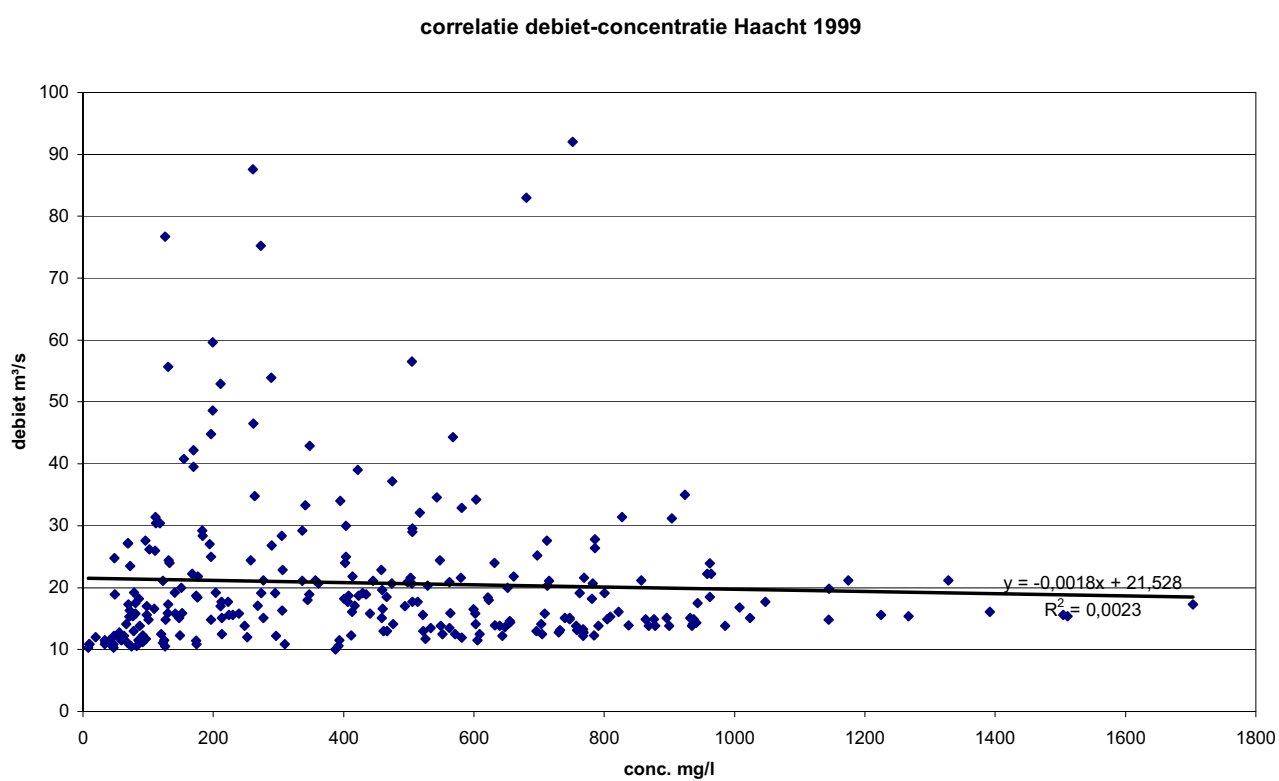
Figuur 9.3



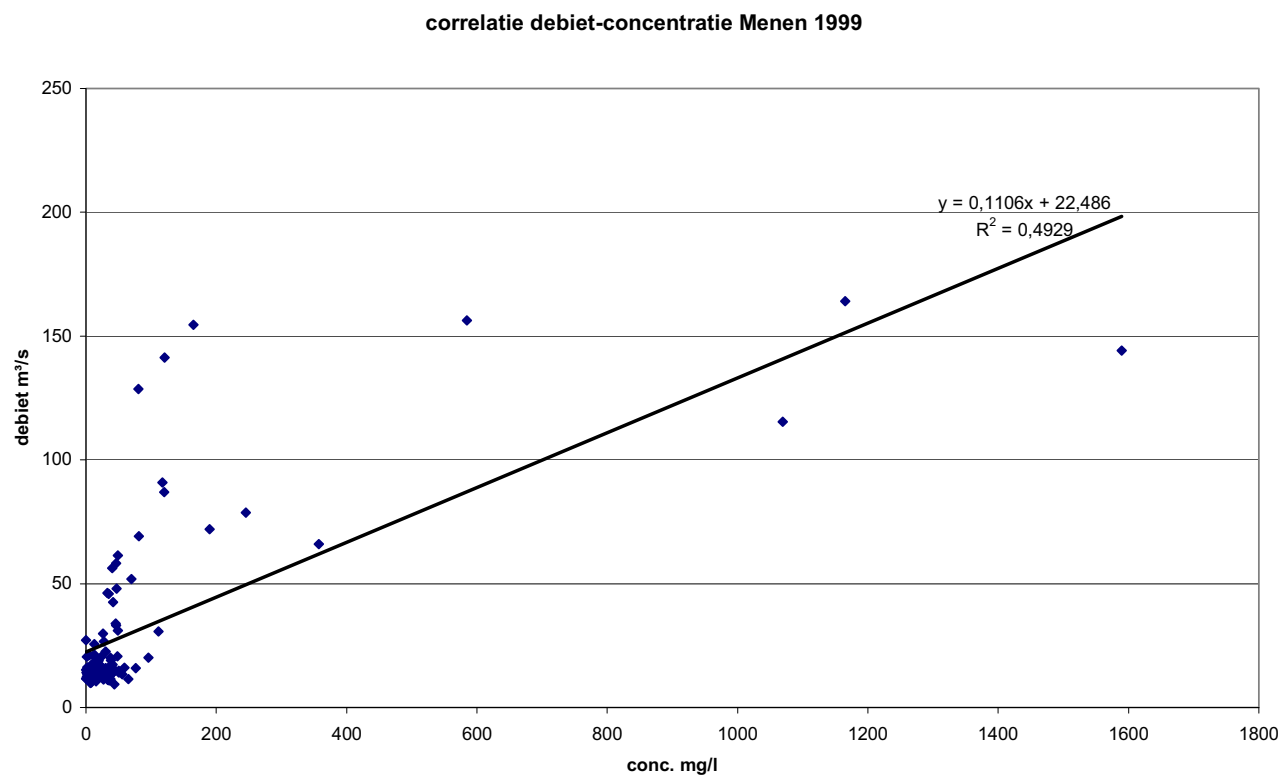
Figuur 9.3 (vervolg)



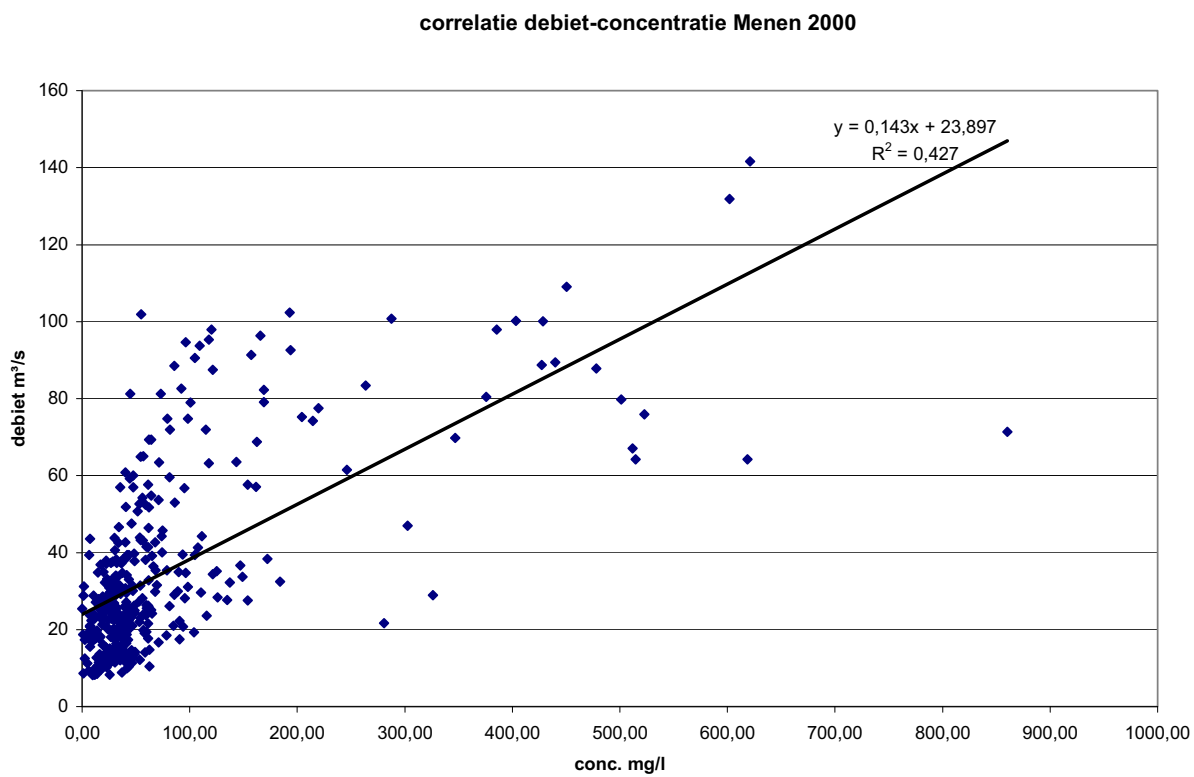
Figuur 9.3 (vervolg)



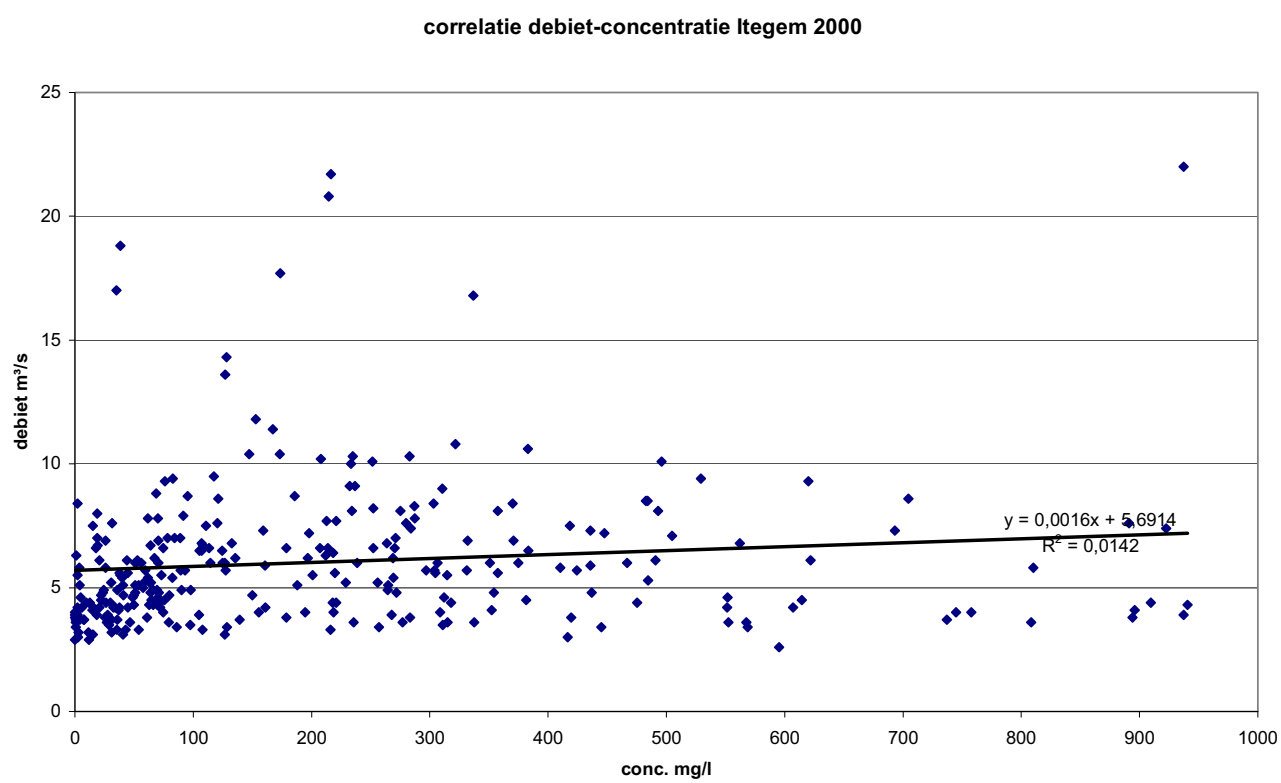
Figuur 9.3 (vervolg)



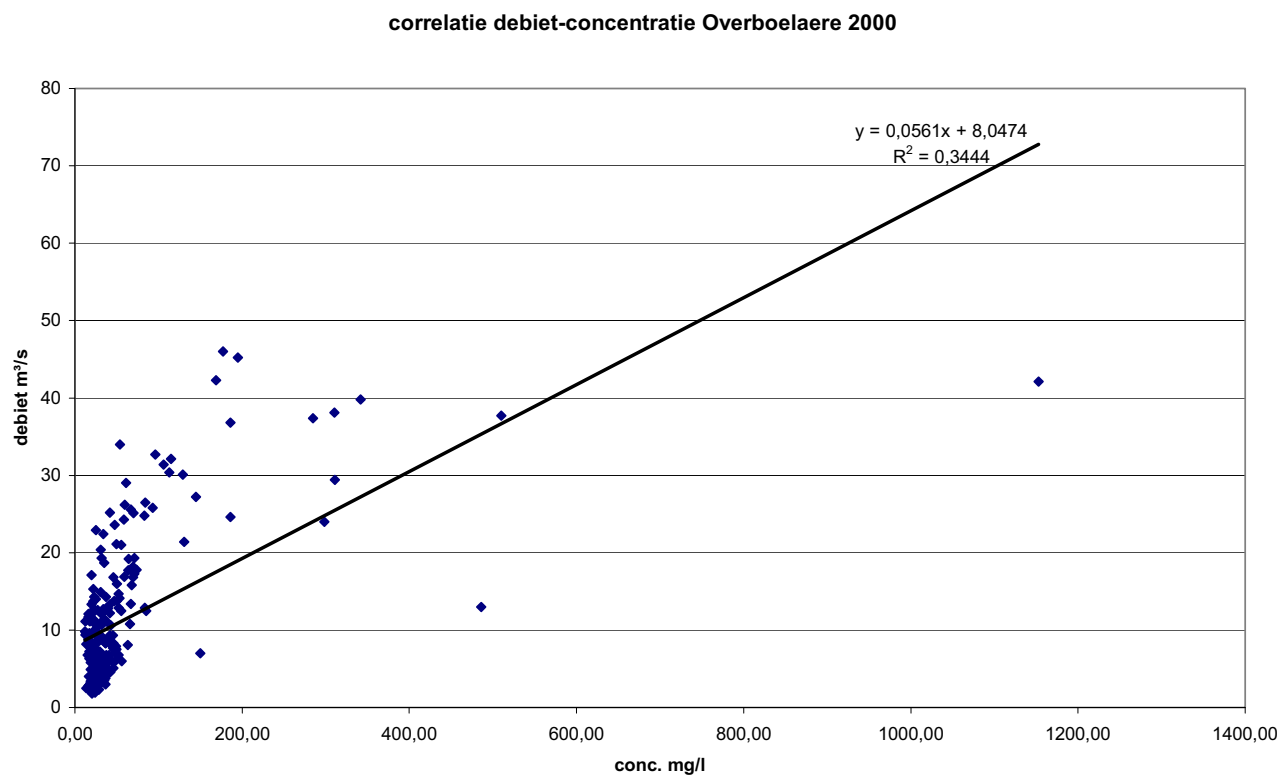
Figuur 9.3 (vervolg)



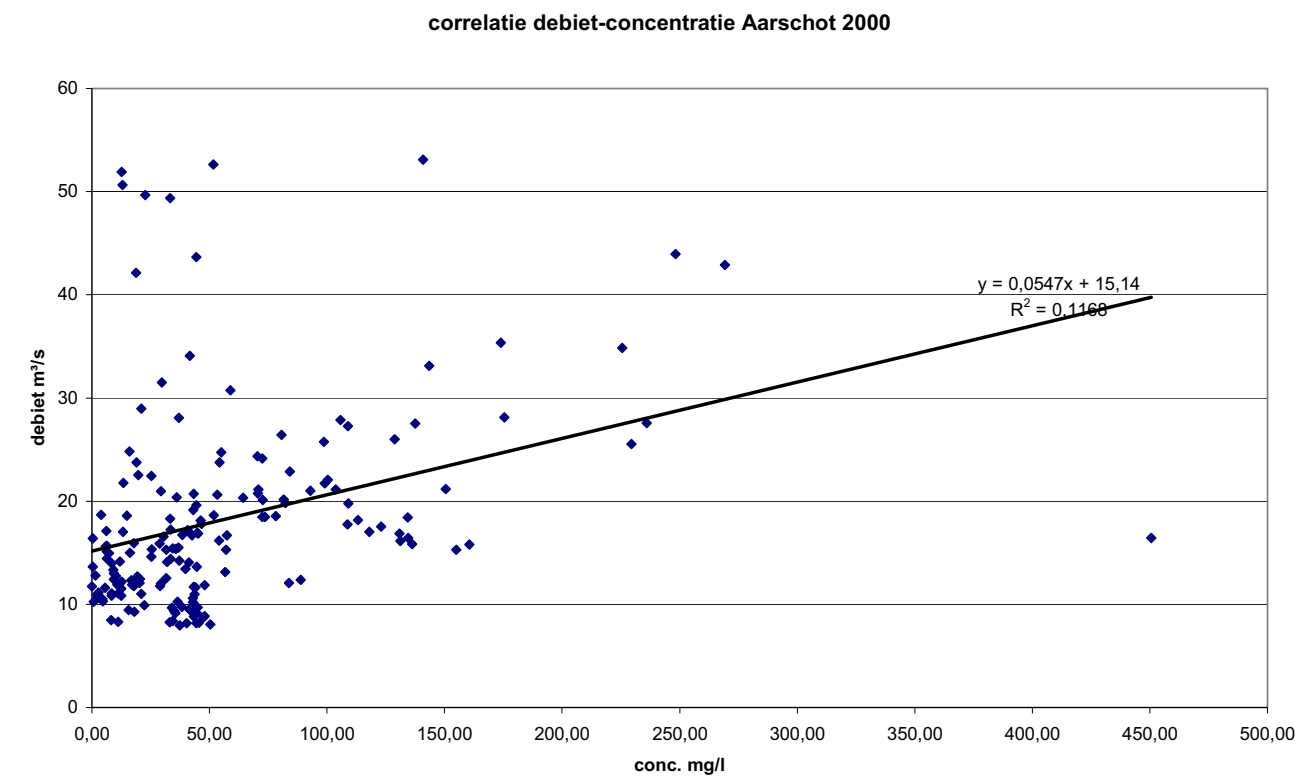
Figuur 9.3 (vervolg)



Figuur 9.3 (vervolg)



Figuur 9.3 (vervolg)



9.4 Relatie debiet-concentratie (bepaald uit filtratiegegevens)

9.4.1 Lineair uitzetten in grafieken van debiet in functie van concentratie

Een eerste werkhypothese voor de slechte korrelatie debiet-concentratie was dat de turbiditeitsmeter verkeerd was afgesteld en niet juist geijkt, waardoor de resultaten de werkelijkheid totaal niet benaderden.

Indien dit het geval zou zijn, zouden de concentraties verkregen uit de filtratie van de automatisch opgepompte monsters een veel betere korrelatie mogelijk moeten maken.

In Figuur 9.4 worden voor de verschillende meetstations de relatie debiet-concentratie uitgezet. De concentraties worden per maand weergegeven om seizoenale veranderingen beter in beeld te kunnen brengen.

Uit Figuur 9.4 kunnen een aantal interessante conclusies getrokken worden, zeker in combinatie met de resultaten van Figuur 9.3.

- Voor twee meetposten (Grobbendonk en Menen) zijn de concentraties verkregen door filtratie weinig verschillend van deze verkregen met behulp van de turbiditeitsmeter.
- Voor de andere meetstations (Epepegem, Haacht, Itegem en Aarschot) zijn de concentraties verkregen door filtratie wel erg verschillend. Zo zijn Epepegem en Itegem hun horizontale trend kwijtgeraakt en zijn er voor Haacht extreem hoge concentratiewaarden gemeten door filtratie.
- Voor Overboelare kan geen vergelijking worden gemaakt omdat er geen monitorwaarden aanwezig waren.
- Algemeen gezien kan men vaststellen dat er geen duidelijke verbetering optreedt wat betreft de mogelijkheid tot het vinden van trends. De puntwolken blijven aanwezig.
- De metingen van de meetposten te Grobbendonk en Aarschot blijken toch enige trend te vertonen, met respectievelijke R^2 waarden van 0,6249 en 0,6175). De trend uit Aarschot zou eventueel te verklaren kunnen zijn door de hoge erosiepotentiaal van het achterland, dat erg lemig is, waardoor hoge neerslaghoeveelheden, en dus indirect hoge debieten, sterke erosie en dus hoge sedimentconcentraties met zich meebrengen.
- Uit de grafiek van de meetpost te Haacht blijkt dat er drie afzonderlijke trends te traceren zijn (zie Figuur 9.5).

Eén van de andere mogelijke manieren om trends te zoeken in de meetreeksen, is het onderzoeken van het verband met hydrologische eigenschappen (Horowitz, 2003). Dit wil bijvoorbeeld zeggen dat het transport kan verschillen naar gelang het waterdebiet stijgt of daalt.

In functie daarvan werden de waarden van de meetpost Haacht opnieuw uitgezet, maar deze keer ingedeeld in 3 grote groepen:

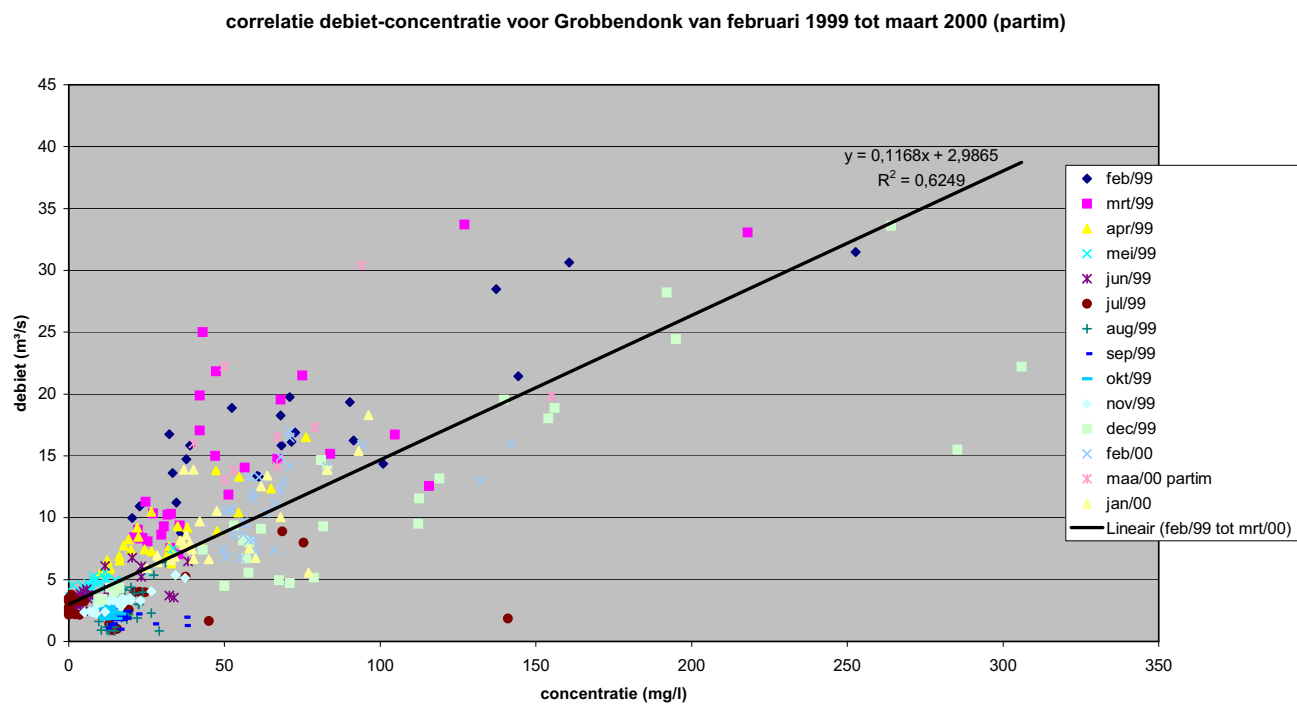
- concentraties gemeten bij toename van het debiet
- concentraties gemeten bij daling van het debiet
- concentraties gemeten terwijl het debiet gelijk bleef

Het resultaat is weergegeven in Figuur 9.6.

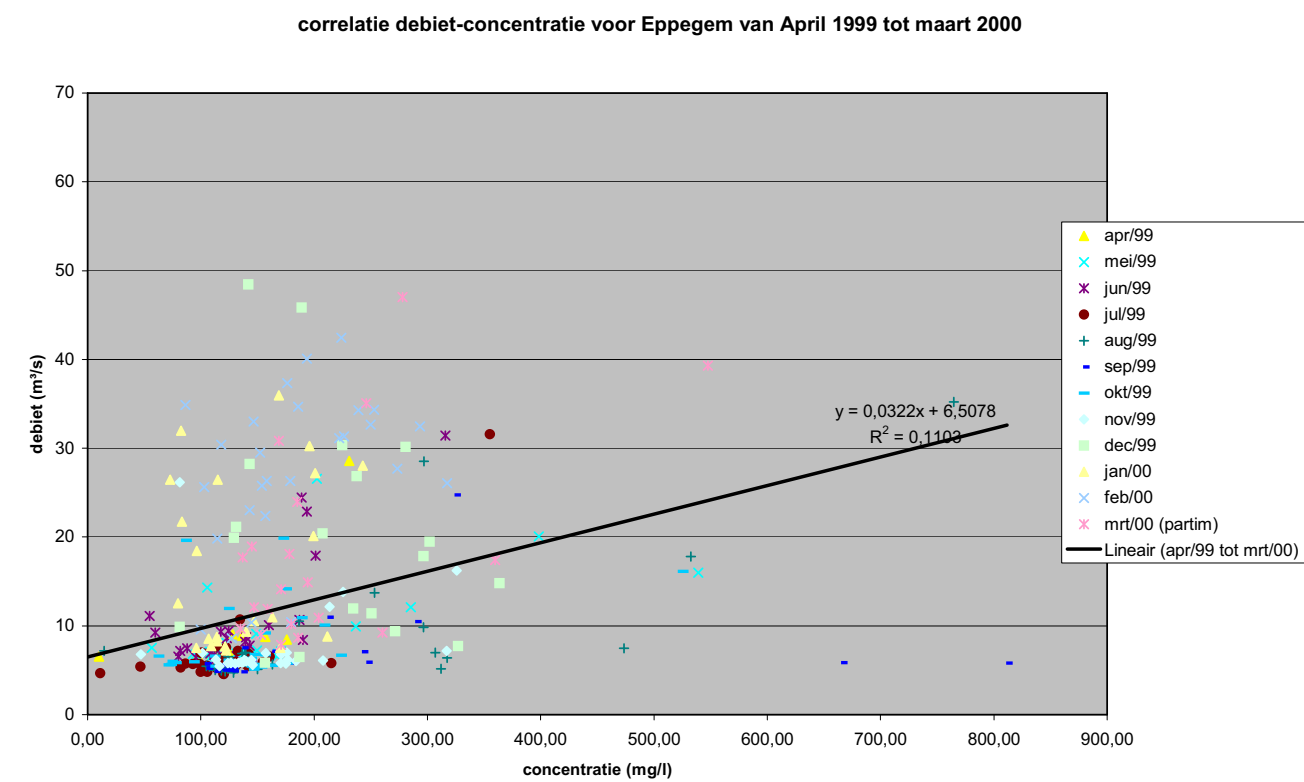
Figuur 9.4: zie pagina 127 tot 136

Korrelatie debiet-concentratie voor de verschillende meetposten gebaseerd op de concentraties verkregen door filtratie van de monsters die verkregen waren met de automatische pompsampler. Voor enkele meetposten worden er twee grafieken getoond: één met de volledige gegevens en één met de eliminatie van de extreme waarden, die geïnterpreteerd worden als anomalieën, zodat de eventueel aanwezige trends beter in de verf kunnen worden gezet. Daarnaast is er voor Overboelare nog een extra jaar (2001) weergegeven, zodat de eventuele seizoenale variatie kan afgeleid worden.

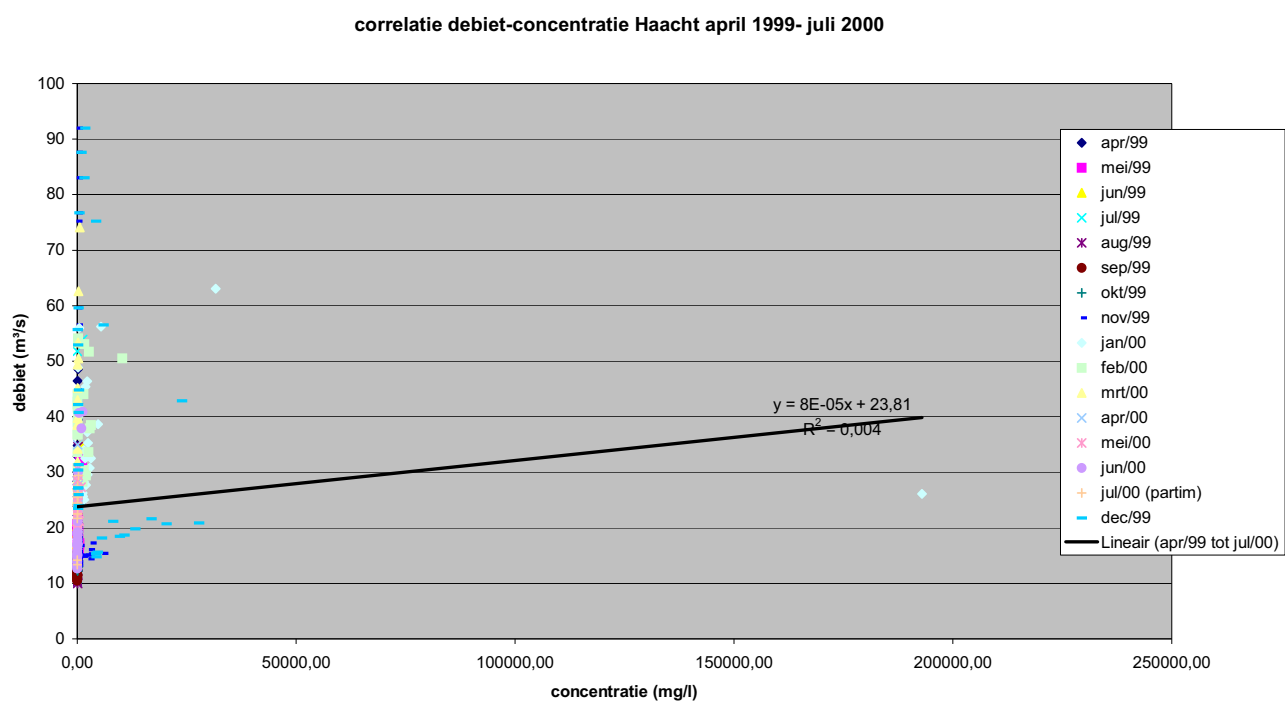
Figuur 9.4



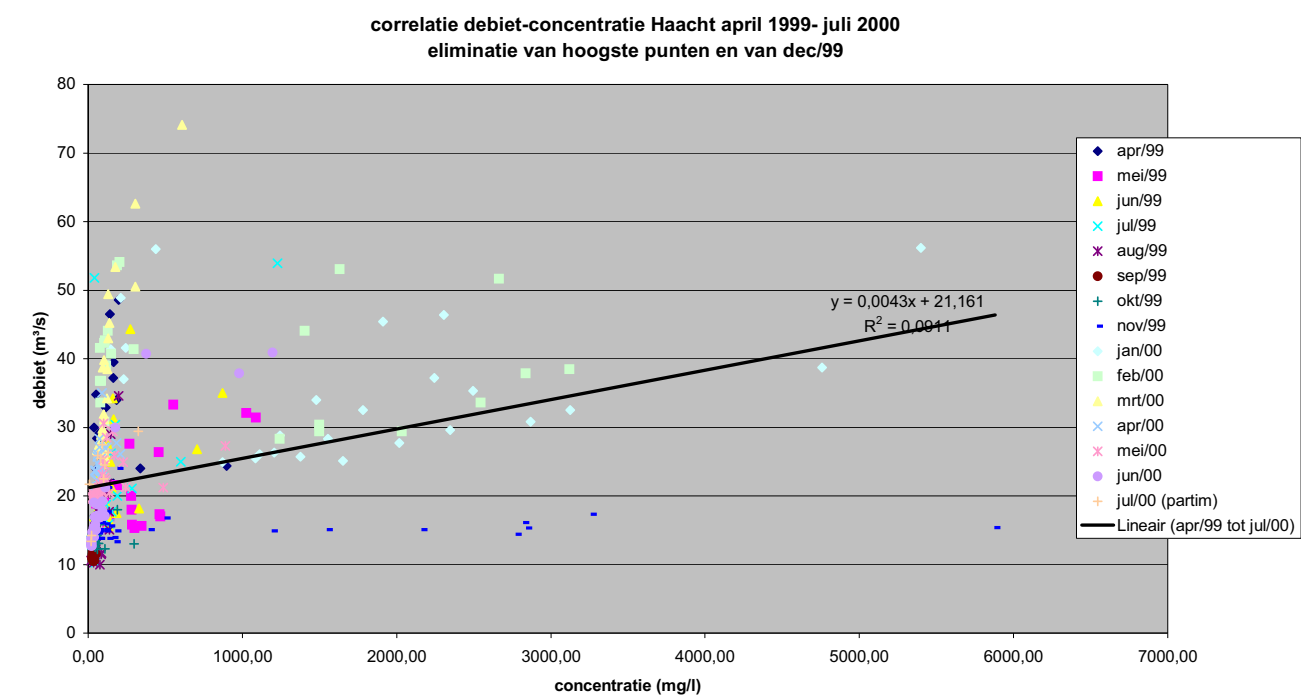
Figuur 9.4 (vervolg)



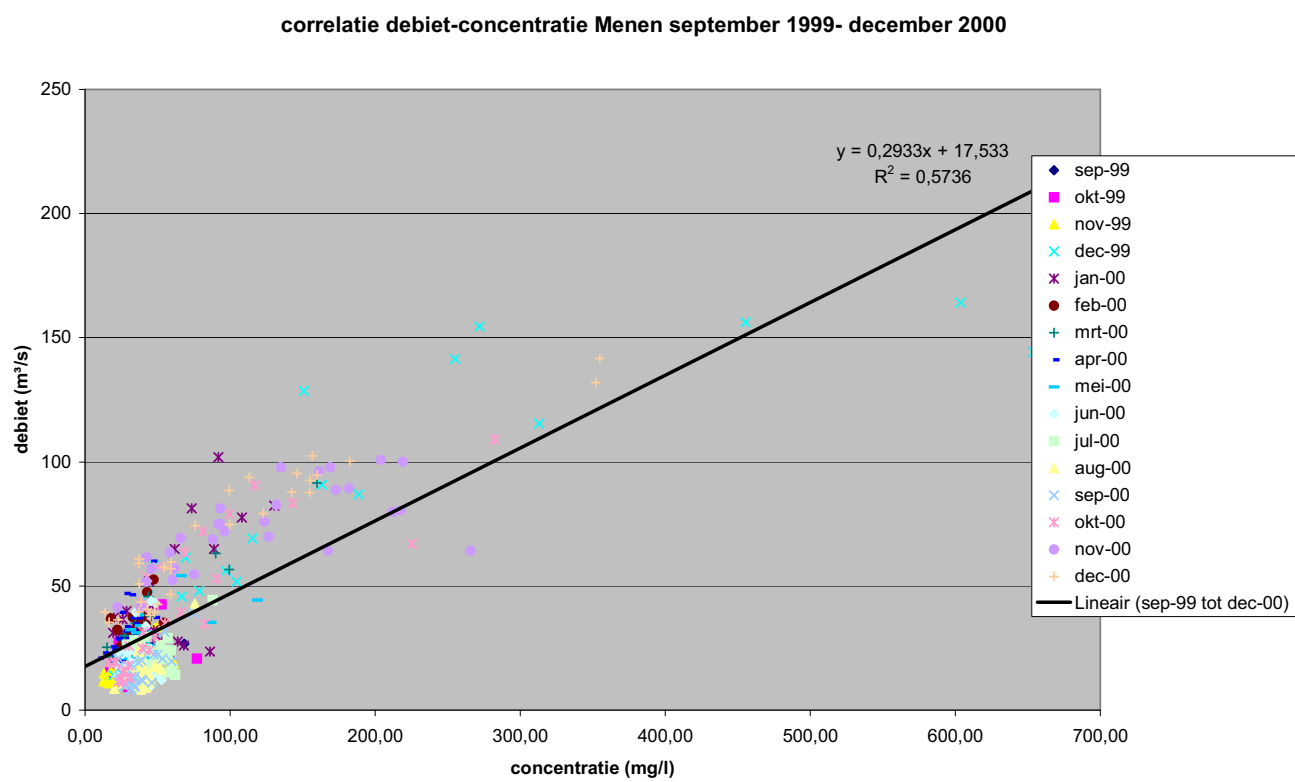
Figuur 9.4 (vervolg)



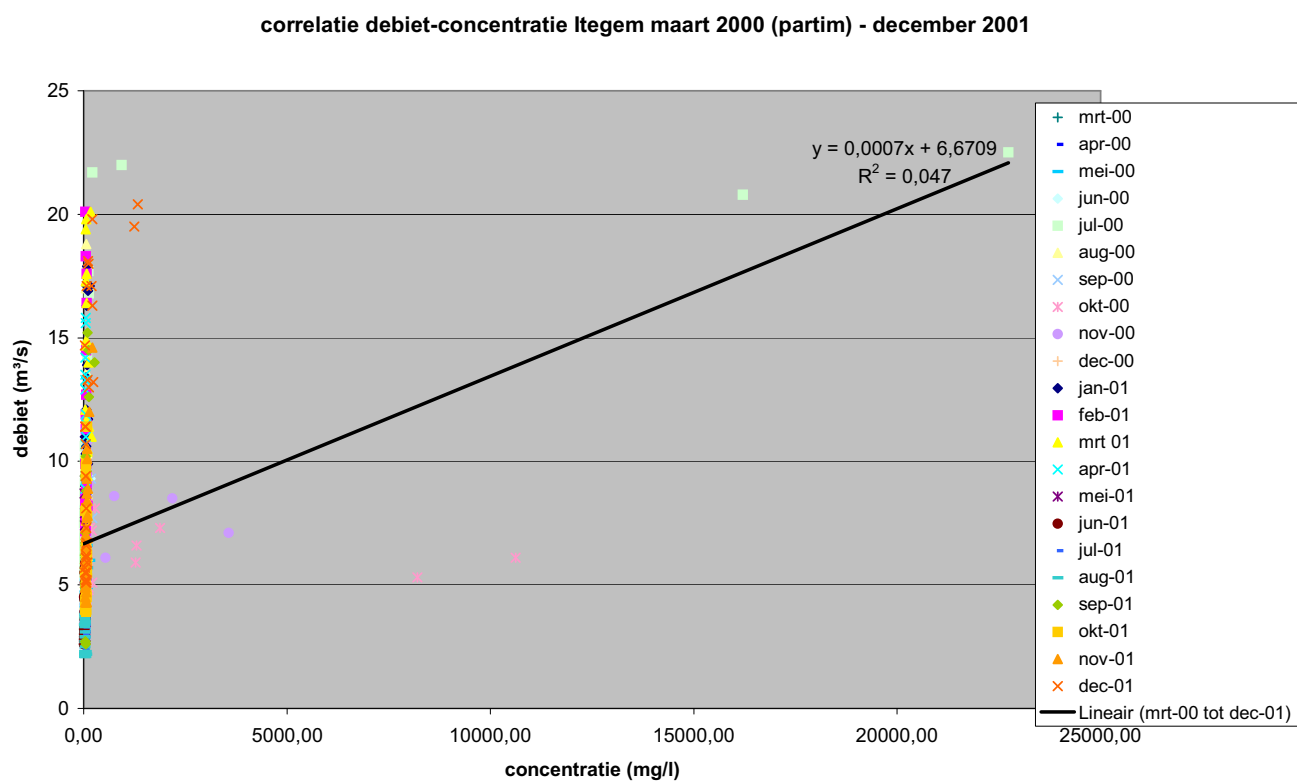
Figuur 9.4 (vervolg)



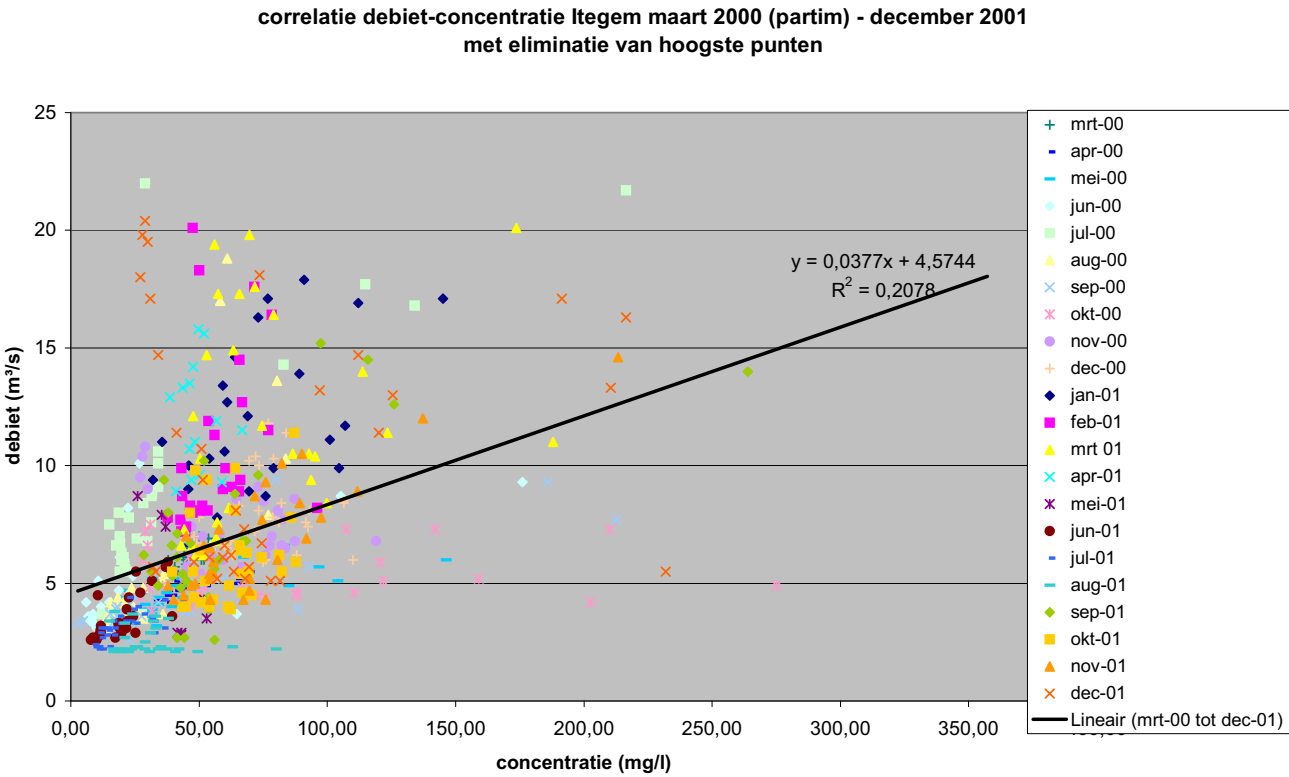
Figuur 9.4 (vervolg)



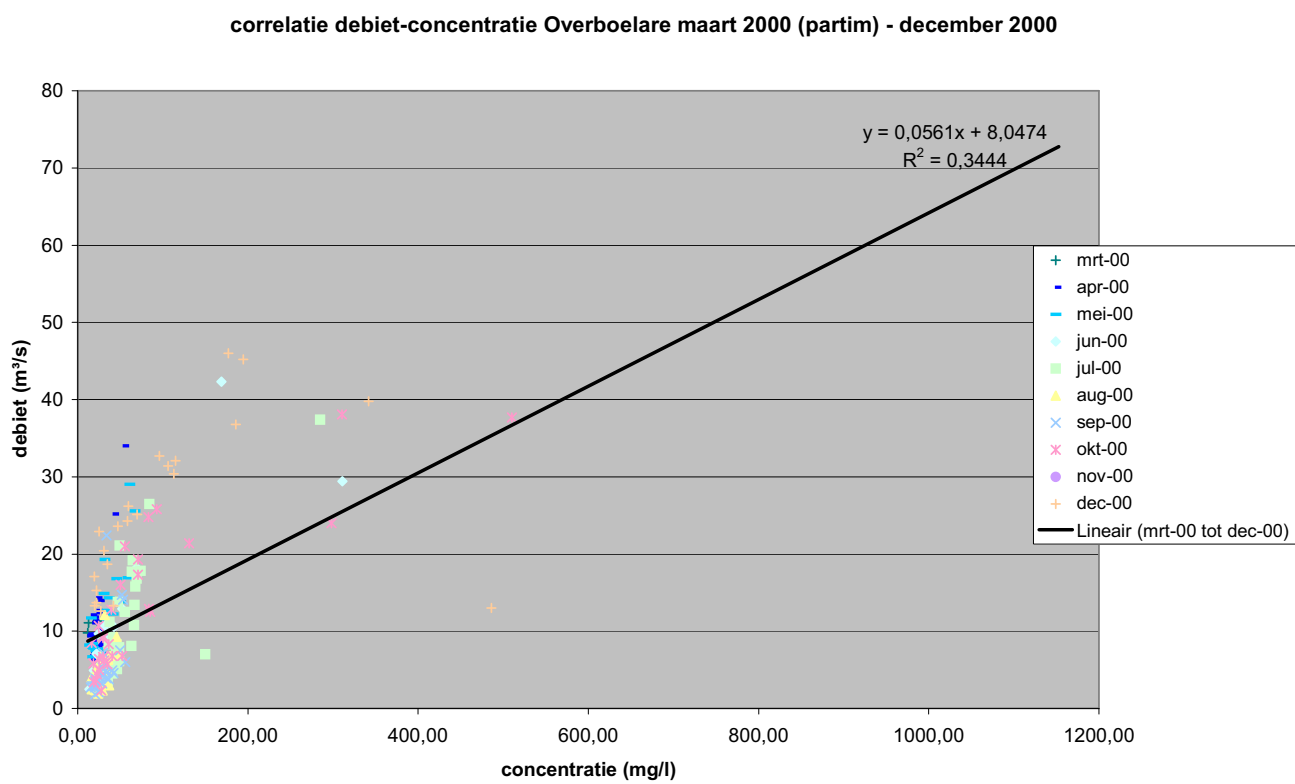
Figuur 9.4 (vervolg)



Figuur 9.4 (vervolg)

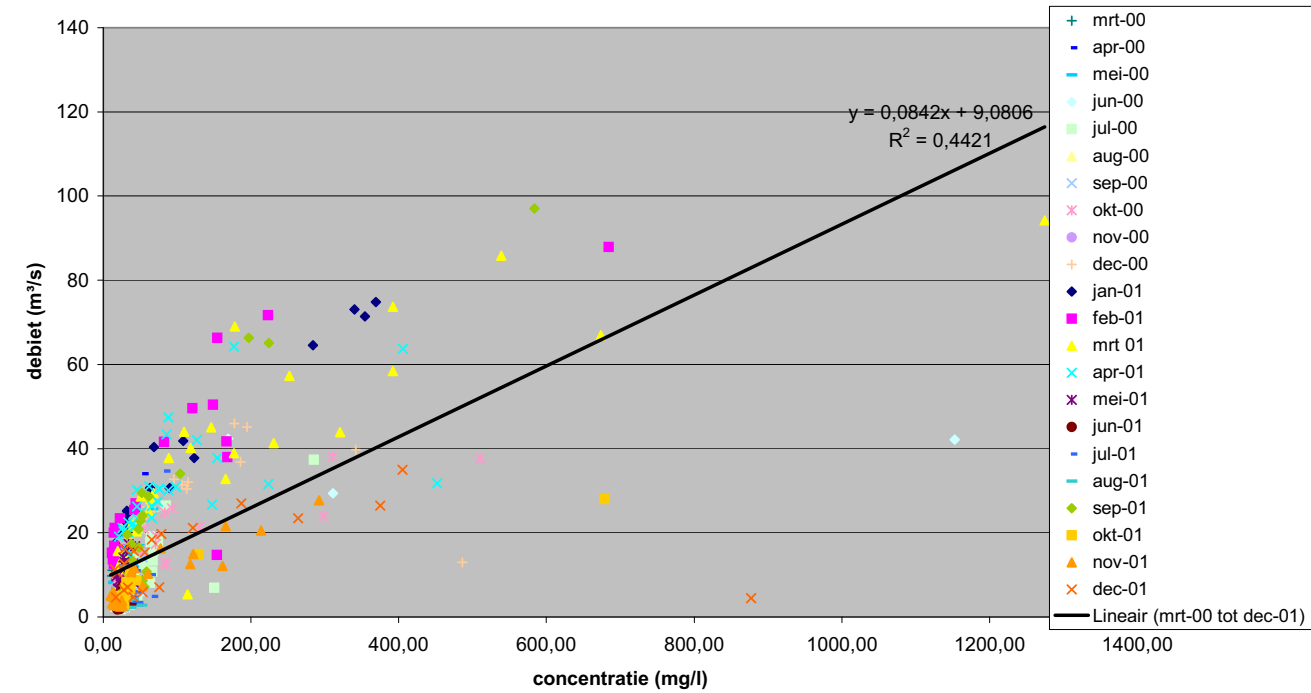


Figuur 9.4 (vervolg)

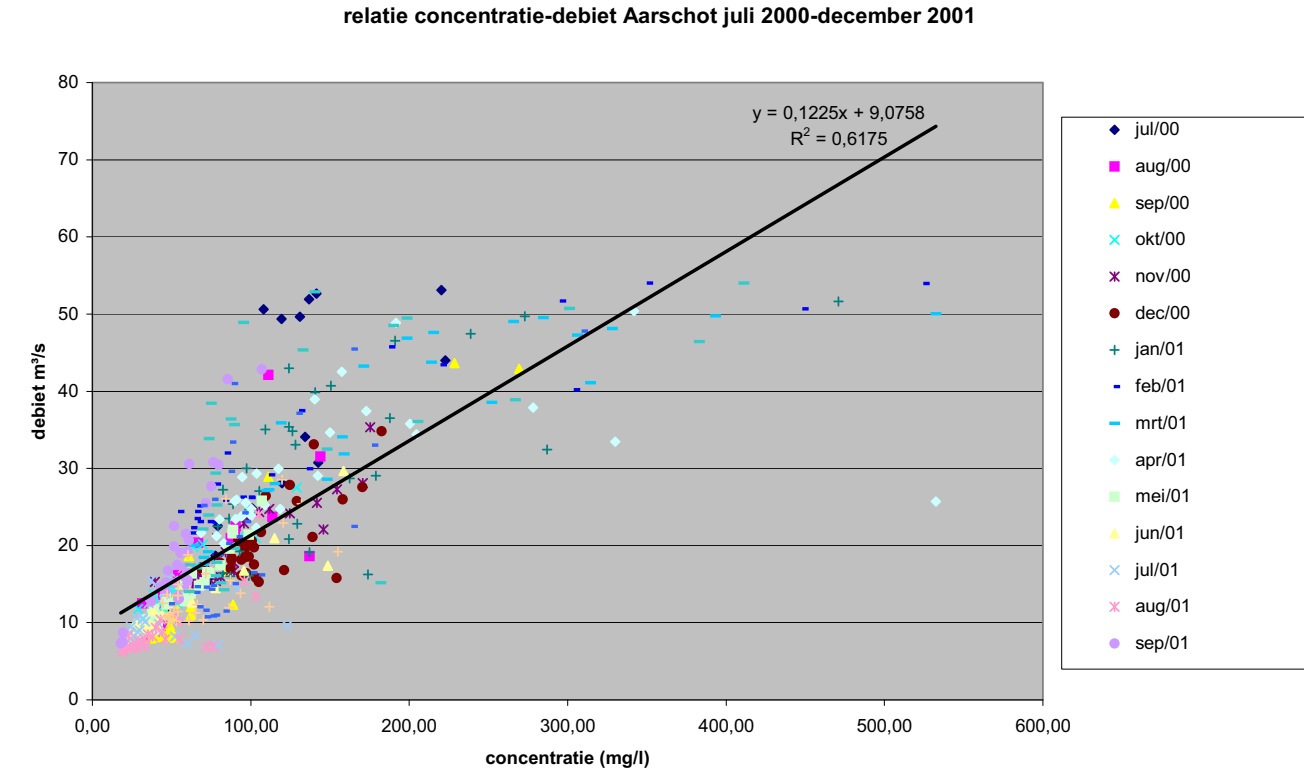


Figuur 9.4 (vervolg)

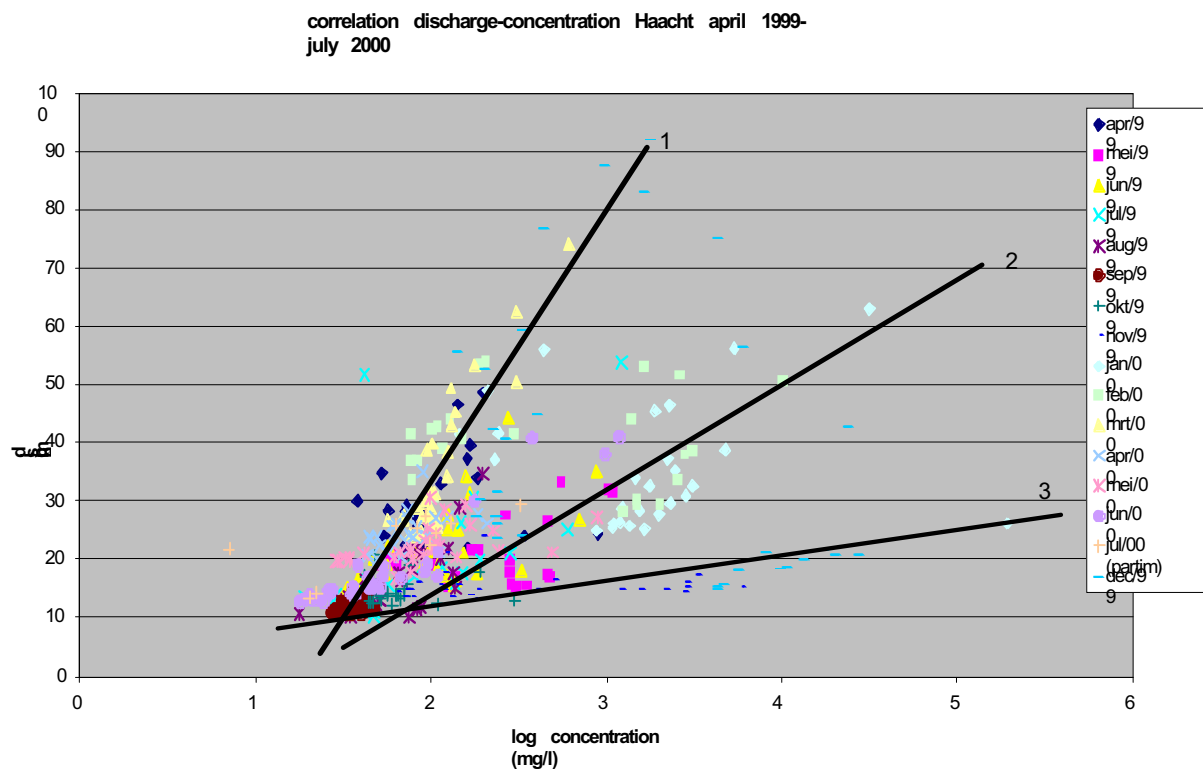
correlatie debiet-concentratie Overboelare maart 2000 (partim) - december 2001



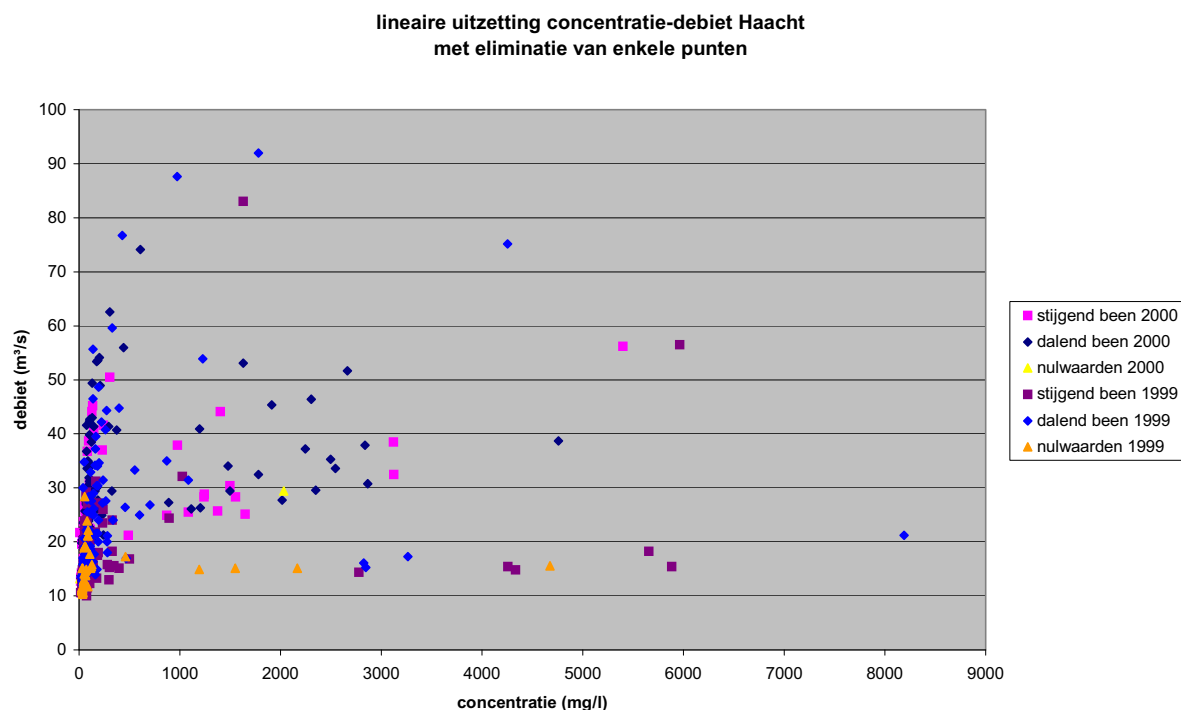
Figuur 9.4 (vervolg)



Figuur 9.5: Korrelatie debiet – log concentratie (filtratiegegevens) voor de meetpost te Haacht met duiding van drie visueel te onderscheiden trends. De concentraties aan sediment in suspensie werden bepaald door middel van filtratie van de monsters die verkregen waren met de automatische pompsampler. (Figuur van Horowitz, pers.com., 2003)



Figuur 9.6: Grafiek toont de invloed van de hydrologie op de trendvorming in de debiet-concentratie grafiek.



Uit Figuur 9.6 kan besloten worden dat de drie zichtbare trends in de Haachtse grafiek niet te wijten zijn aan hydrologische factoren. Er worden zowel hoge concentraties waargenomen bij stijgende debieten als bij dalende, als bij constante debieten. De oorzaken van deze trends zijn waarschijnlijk veel complexer.

9.4.2 Relatie sedimentconcentratie met meteorologische events

Seizoensgebonden effecten op het sedimenttransport kunnen bijvoorbeeld geassocieerd zijn aan langduriger droge of natte periodes, de aard en de hoeveelheid van de neerslag, de staat van de bodem (begroeid of niet begroeid, bevroren of niet bevroren), het voorkomen van dooiperiodes, enzovoort. Het is ook mogelijk dat er meerdere trends in de puntenwolk verborgen zitten als een combinatie van die processen. Hier wordt een poging gedaan om een korrelatie te vinden tussen meteorologische events, seizoenen en sediment-transportfenomenen gemeten in de stations.

Het huidige klimaat van België is gekenmerkt door een relatief natte winter en een drogere zomer met zomerstormen. Zoals elke welgeaarde Belg weet, zijn niet alle zomers droog, en kennen we ook zeer regenachtige zomers. De vraag of een zomer en winterseizoen herkenbaar zal zijn is dus de vraag.

Daarom werden voor het jaar 1999 in eerste instantie de meteorologische gegevens ingeschakeld (Malcorps, 1999). Hieronder wordt een korte meteorologische beschrijving gegeven, per maand, van de meteorologische gegevens verzameld te Ukkel. De meteorologische dienst maakt onderscheid tussen een meteorologische winter (van december tot februari), een meteorologische lente (van maart tot mei), een meteorologische zomer (van juni tot augustus) en een meteorologische herfst (van september tot november). Een eerste analyse van de beschikbare gegevens leert dat het is vrij onwaarschijnlijk is dat deze vier seizoenen te onderscheiden zullen zijn op de debiet-concentratiegrafieken. Daarom wordt het aantal seizoenen hier tot twee beperkt, namelijk een zomer- en een winterseizoen.

De meteorologische gegevens waar hier rekening gehouden wordt zijn voornamelijk de neerslag in vorm van sneeuw, wat duidt op koudere temperaturen, de aanwezigheid van hagelstormen, wat eventueel sedimenten kan mobiliseren en onweders, omdat deze in korte tijd sediment en eventueel ook debiet kunnen verhogen. Bij dit laatste speelt het seizoen een rol, aangezien tijdens een droge zomer een deel van de neerslag van de zomerstorm onmiddellijk kan opgenomen worden in de droge bodem, waardoor het debiet in de rivieren niet enorm toeneemt.

Voor de vier meetposten die in 1999 actief waren, namelijk Grobbendonk, Eppegem, Haacht en Menen, gebruikt men de gegevens uit Tabel 9.1 om eventuele seizoenale invloeden te detecteren.

9.4.2.1 Grobbendonk

Men kan voor een aantal maanden vaststellen dat zowel de debieten als concentraties hoger liggen dan in andere maanden. In het geval van Grobbendonk voor de periode van februari 1999 tot januari 2000 zijn dit de maanden februari, maart en december 1999 en maart 2000. Dit zijn voornamelijk winter (en lente) maanden.

Uit Tabel 9.1) dan zien we dat de maanden februari en maart 1999 niet gekenmerkt zijn door abnormaal hoge neerslagwaarden kan worden afgeleid dat de maanden februari en maart 1999 niet gekenmerkt zijn door abnormaal hoge neerslagwaarden. De maand december daarentegen wel, wat hoge concentraties bij belangrijke neerslag, en daardoor ook bij hoge debieten, kan verklaren.

In een poging om de hogere waarden uit de maand februari en maart toch te verklaren werd wat verder gezocht tot op de fenomenen per dag. Zo deden de hoogste concentratiewaarden voor de maand februari zich voor op 22, 23, 24 en 25 februari. Op 22 en 23 februari deden er zich onweersverschijnselen voor en viel er sneeuw en hagel. Ook was er een sneeuwbedekking aanwezig. De grondige analyse leerde dat er **geen** eenduidig verband is tussen dergelijke fenomenen en bepaalde debieten en concentraties. De analyse van de meteorologische condities geeft dus wel aanwijzingen voor oorzaken van bepaalde lokale fenomenen maar laat niet toe uit het signaal van de metingen te achterhalen welke factor nu een rol heeft gespeeld.

Uit een gedetailleerdere studie van de meteorologische waarden van de meetpost van Deurne (die dichterbij de meetpost van Grobbendonk gelegen is dan Ukkel, waaruit de voorgaande gegevens zijn afgeleid) werden er nog extra mogelijkheden gevonden. Zo daalde de temperatuur (op het gras gemeten) wel rond de periode van 22 tot 25 februari (van 4,1 °C op 21 februari, naar 0,4 °C op 22 februari, tot zelfs -6,0 °C op 25 februari).

Hieruit zou men kunnen afleiden dat de bodem door bevrozing gefixeerd was en dus niet beschikbaar voor transport wat in tegenstelling is tot de bevindingen. We moeten dus besluiten dat vorst ondergeschikt is bij het fixeren van de bodem als tegelijkertijd neerslag wordt geconstateerd. Daarnaast kwam vorst (en zelfs dieper voelbare vorst, tot 5 cm onder de grond) voor op andere dagen waarbij, zoals verwacht, geen toename in debiet of concentratie kon worden vastgesteld.

De hogere concentratiewaarden uit de maand maart 1999 vielen op 2, 3 en 12 maart. Voor de meest extreme waarde (op 2 maart) valt geen echte verklaring te vinden in de meteorologische gegevens. Vanaf 3 maart zijn er wel onweders, maar die hebben dan echter weer geen effect op de debiet-concentratiewaarden van de volgende dagen.

Voor 2 en 3 maart waren er evenmin in het oog springende neerslagwaarden in het meteorologisch meetpunt te Deurne. Wel is er een zeer hoge neerslaghoeveelheid op 1 maart 1999 genoteerd. Deze zou dus met een vertraagd effect de debieten en concentratie hebben kunnen doen stijgen op 2 en 3 maart.

Ook voor 12 maart valt geen rechtstreekse meteorologische indicator te vinden. Tenzij men eventueel in rekening brengt dat op 11 maart de sterkste vorst (-5,1 °C op gras, en zelfs geen vorst in de naakte bodem) werd vastgesteld in de meetpost te Deurne. Hierdoor zou de bodem even opgevroren kunnen zijn, waardoor de sedimenten beschikbaar werden. Dit verklaart dan weer niet waarom op andere vorstdagen, of de dag erna, niet zo'n piek aangetroffen werd.

De hoogste waarden van debiet en concentratie komen voor op 12 tot 16, 18 en 25 tot 29 december waarbij deze twee maal een stijgende en dalende trend in debiet en concentratie vertonen. De meteorologische gegevens geven aan dat de maand december een extreem natte maand was. Pas vanaf de 13^{de} december komen er onweersverschijnselen voor en was er sneeuw aanwezig waren. De meer gedetailleerde meteorologische gegevens te Deurne leren ons wel dat er een enorme hoeveelheid (33,2 l/m²) neerslag viel op 12 december. Dit zou de enorme piek op van 12 tot 16 december verklaren. Eenzelfde verhaal kan verteld worden voor de tweede grote piek die maand. Op 24 december nam de neerslag sterk toe, om te pieken op 26 december met een absoluut maximale waarde die maand van 36 l/m². Dit verklaart de piek van 25 tot 29 december.

De hoge concentratiewaarde van 18 december blijft echter onverklaarbaar.

De algemene conclusie die hier kan getrokken worden is dat de debiet- en concentratiepieken zeker beïnvloed worden door neerslagpieken voor of tegelijk met de maximale afvoer van sediment, door vorst en dooi of door onweer.

Een aantal concentratiepieken blijven onverklaard. Zo is er een enorme concentratiestijging op 6 juli en is deze op geen enkele manier aan een debietpiek te koppelen. Meteorologische verklaringen zouden eventueel onweer of hagel kunnen zijn. Maar op andere dagen met dezelfde condities kwam zo'n piek niet voor. De enige resterende verklaring is dat dit soort pieken voortgebracht worden door 'Goddelijke interventies' zoals instortende oevers of baggerwerken. Deze 'toevalligheden' kunnen niet voorspeld worden, en ook heel erg moeilijk achterhaald worden maar ze leveren een belangrijke bijdrage tot de hoeveelheid verplaatste sedimenten zodat bij latere modellering van het sedimenttransport toch minstens rekening zal moeten worden gehouden met de statistische kans van voorkomen van dergelijke fenomenen.

Over het algemeen kan men wel zeggen dat de meetpost Grobbendonk goede correlatie vertoont met debiet, neerslag of andere meteorologische verschijnselen en dat meeste uitschieters kunnen verklaard worden. Doch voorspelling van deze events en eventueel correctiefactoren opstellen voor wanneer deze voorvallen lijkt vooralsnog onmogelijk.

9.4.2.2 Eppegem

De Zenne in Eppegem kende geen maanden met uitgesproken hoge concentraties en debieten. Wel zijn er een aantal metingen in de maanden mei, augustus, september en oktober, waarbij alle metingen (met uitzondering van één meting op 15 augustus) vooral een toename in sedimentconcentratie en niet aan waterdebiet vertonen.

Een oorzaak hiervoor zou kunnen zijn dat de piekwaarden zich in de zomerperiode bevinden en dat door bepaalde events meer sediment met minder water zou zijn meegespoeld. Praktisch gezien zou dit bijvoorbeeld een hagelstorm of een onweder kunnen zijn.

Wat duidelijk opvalt is dat de zeer uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheid van de maand december hier geen invloed blijkt te hebben gehad.

De extreem hoge concentratiewaarde van 10 mei zou te verklaren kunnen zijn door onweersverschijnselen en hagel die op die dag plaatsvonden. De 31^{ste} mei echter vonden geen van beide fenomenen plaats. Wel op de dag ervoor. Op 10, 11 en 15 augustus werden hoge sedimentconcentraties genoteerd.

Van 3 tot 10 augustus zijn er onweders geregistreerd. Dit zou echter opnieuw op een vertraagde reactie van het sedimenttransport op deze fenomenen de grootste piek van de maand augustus, pas na deze tiendaagse onweerperiode plaatsvond.

De hoge waarde op 15 augustus zou eventueel, opnieuw met vertraging, te wijten kunnen zijn aan onweersverschijnselen en hagel.

De hoge waarden van de maand september vallen op 21 en 23 september. Op deze twee dagen waren er onweders en op 23 september was er daarnaast ook hagel aanwezig. Ditmaal traden de hoge concentraties zonder vertraging op.

De hoge waarde van de maand oktober valt op 22 oktober. Hiervoor kan geen enkele verklaring gevonden worden in de meteorologische gegevens.

Verschillende pieken in concentratie en debiet dus soms wel afzonderlijk te achterhalen zijn, maar niet voor alle meetposten gelden. Daarnaast stelt zich ook het probleem van vertraging die af en toe plaats grijpt zonder dat daar een duidelijke reden zich op de voorgrond voor plaatst.

9.4.2.3 Haacht

Voor november en december 1999 kan men vaststellen dat er extreem hoge sedimentconcentraties voorkwamen. Het opmerkelijke aan de maand december is dat de overige meetwaarden van deze maand net de omgekeerde trend vertonen, zeer hoge debieten, gekenmerkt door extreem lage waarden voor concentratie.

Dit zelfde fenomeen geldt in mindere mate ook nog voor de maanden januari en februari 2000.

Er worden extreem hoge sedimentconcentratie genoteerd in de eerste 14 dagen van de maand december 1999. Vanaf 4 december heeft het gesneeuwd, was er zelfs onweerneiging, zij het niet onophoudelijk. De enorme neerslaghoeveelheid die deze maand zo extreem teisterde viel (zoals ook reeds eerder vermeld voor Grobbendonk) vooral op 12, 24 en 26 december. Een oorzaak voor de enorme concentratietoename in de eerste helft van de maand december (dus voor de 12) kan dus niet onmiddellijk gevonden worden, maar wel de verklaring waarom in die periode het debiet niet mee steeg.

De relatief lage concentratiewaarden, bij hoge debieten kunnen verklaard worden doordat deze debietpieken net vallen na de enorme concentratiepieken. Het is dus mogelijk dat een enorme hoeveelheid sediment reeds gemobiliseerd was in de periode net ervoor, waardoor bij hoge debieten geen sediment meer overbleef om te mobiliseren. Dit is zeker het geval in de debietpiek die volgt op de extreme neerslag op de 12^{de} december, maar een gelijkaardig fenomeen vindt plaats na de enorme neerslag op 24 en 26 december, waarbij men zowel het debiet als concentratie ziet stijgen, waarna de concentratie veel sneller afneemt dan het debiet.

In november kijken is er een trend met extreem hoge concentratiewaarden bij een laag debiet. Deze trend valt niet met meteorologische fenomenen te verklaren.

Aangezien er voor deze verschijnselen geen verklaring te vinden is, en deze trend zich ook niet op andere meetposten voordoet, moet er misschien overwogen worden om op zoek te gaan naar invloeden die enkel gelden voor de meetpost te Haacht. Haacht is nog lichtelijk getijden beïnvloed. Dit zou hier eventueel een rol gespeeld kunnen hebben.

9.4.2.4 Menen

Net zoals in andere stations zijn er in de maand december 1999 een aantal dagen met hoge concentraties. Hierbij lopen de concentraties wel weer evenredig op met het debiet, in tegenstelling tot Haacht.

Er worden eveneens een paar hoge waarden genoteerd in de maanden oktober en december van het jaar 2000.

Tussen 25 en 30 december 1999 zijn er dagen met hoge debieten en concentraties. Dit komt overeen met het tweede neerslagmaximum van die maand. Het eerste maximum wordt niet geregistreerd in dit meetpunt omdat de gegevens voor de periode rond 12 december ontbreken.

9.4.2.5 Besluiten

Van echte seizoenale trends is eigenlijk geen sprake behalve dat de langdurige periodes met lage concentraties overeenkomen met de droge periodes en dat die meestal in de zomer voorkomen. Ook effecten van plots onweer zijn vooral in de zomer te noteren.

Anderzijds komen de extreem hoge concentratie en debietwaarden meestal in de winter of vroege lentemaanden voor.

De individuele pieken vallen meestal wel te verklaren aan de hand van neerslagmetingen of de aanwezigheid van vorst, hagel of sneeuw, maar deze gegevens kunnen niet als indicatoren gebruikt worden omdat ze niet altijd als trigger dienen voor het sedimenttransport, of zelfs voor de debiettoenames.

De onderliggende oorzaken hiervoor zijn waarschijnlijk zo complex dat ze (nog) niet ontrafeld zijn. Daarnaast moet men ook rekening houden met 'Goddelijke interventies', toevalligheden zoals afkalvende oevers en baggerwerkzaamheden en dergelijke, en deze zijn nagenoeg niet in kaart te brengen.

9.4.3 Hysteresislussen

Men kan de evolutie in de tijd van de meetkoppels (debiet, sedimentconcentratie) visualiseren door debiet tegenover sedimentconcentratie uit te zetten en de punten op de grafiek te verbinden in de chronologische volgorde van opmeten. Voor de duidelijkheid werden hier vloeiende lijnen gebruikt. In Figuur 9.7 wordt dit gedaan voor de gegevens van de meetposten Grobbendonk en Haacht.

De lussen die duidelijk zichtbaar zijn in beide grafieken worden hysteresislussen genoemd. Volgens Horowitz (pers. com. Horowitz, 2003) zijn deze veel voorkomend in bijna alle rivieren. Een hysteresis lus betekent dat de sedimentpiek zal voorafgaan aan of volgen op de debietpiek.

Marc Huygens (Huygens et al., 2000) bepaalde het sedimenttransport in de Zwalm, een bijrivier van de Schelde.

Huygens kan een klokgewijze hysteresis aantonen tussen concentratie (g/l) en debiet (l/s) (waarbij concentratie in functie van debiet is weergegeven) en dit wegens een scherp en snel antwoord van het

Tabel 9.1: Samenvatting van meteorologische gegevens te Ukkel uit de maandelijkse rapporten van de Meteorologische Dienst (ref)

	Jan/99	feb/99	mrt/99	apr/99	mei/99	jun/99
algemene beschrijving	De tweede maand van de meteorologische winter werd te Ukkel gekenmerkt door een uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheid, zéér abnormaal hoge temperaturen en normale waarden van de zonneschijnduur en de gemiddelde windsnelheid.	De laatste maand van de meteorologische winter werd te Ukkel gekenmerkt door normale waarden van temperaturen, de zonneschijnduur, het neerslagtotaal en de gemiddelde windsnelheden.	De eerste maand van de meteorologische lente werd gekenmerkt door abnormaal hoge temperaturen en normale waarden voor het neerslagtotaal, de zonneschijnduur en de gemiddelde windsnelheid.	De tweede maand van de meteorologische lente werd te Ukkel gekenmerkt door normale waarden van de temperaturen, de gemiddelde windsnelheid, de zonneschijnduur en het neerslagtotaal.	De laatste maand van de meteorologische lente werd te Ukkel gekenmerkt door zéér abnormaal hoge temperaturen en normale waarden van de gemiddelde windsnelheid, de zonneschijnduur en het neerslagtotaal.	De eerste maand van de meteorologische zomer werd te Ukkel gekenmerkt door normale waarden van de temperaturen, de gemiddelde windsnelheid, de zonneschijnduur en het neerslagtotaal.
dagen waarop onweersverschijnselen plaatsvonden	2, 26 en 28	5,6,7,8,10,17,21,22 en 23	3, 4, 6 en 21	2, 6, 12, 13, 15 tot 19, 21, 22 en 26	1, 6, 7, 10, 11, 14, 19, 20, 27, 29 en 30	2 tot 8, 12 tot 14, 20 tot 22, 26, 27 en 29
dagen waarop neerslag geheel of gedeeltelijk bestond uit sneeuw	3, 8 tot 15 en 26 tot 31	1, 5 tot 12, 14 tot 18 en 21 tot 24		13 to 19		
dagen met sneeuwbedekking	9 tot 16 en 27 tot 31	van jan tot 3feb en van 5 tot einde maand	van eind feb tot 9 mrt en 22 en 23			
dagen met hagel		5,7,10,17,21 en 22		2, 6, 12, 13, 18, 21 en 22	7, 10, 14, 29 en 30	3, 5, 7, 8, 13, 14, 25, 26 en 27
Wateroverlast of windblimsem of waterschade		19,21,22 en 23	2, 3, 5 en 9	12, 13, 26	7, 8, 10, 14, 17, 20, 29 en 30	2, 3, 5, 7, 13, 14, 21, 26, 27 en 30

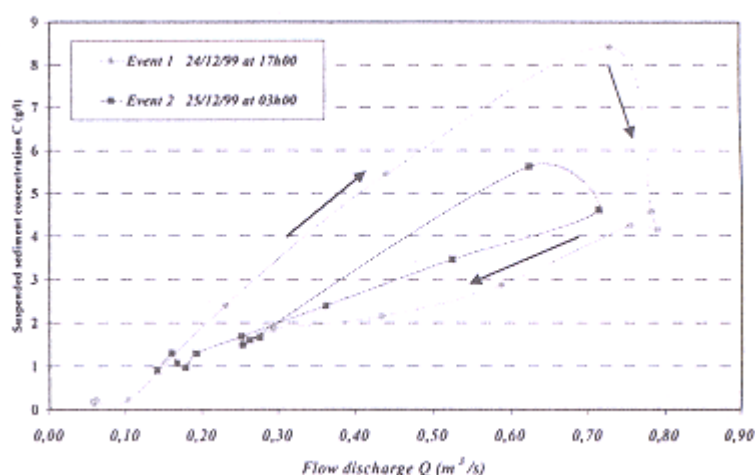
Vervolg Tabel 9.1

	jul/99	aug/99	sep/99	okt/99	nov/99	dec/99
algemene beschrijving	De tweede maand van de meteorologische zomer werd te Ukkel gekenmerkt door zéér abnormaal hoge waarden van de temperaturen en de zonneschijnduur , door een abnormaal laag neerslagtotaal en een normale gemiddelde windsnelheid.	De laatste maand van de meteorologische zomer werd te Ukkel gekenmerkt door abnormaal hoge waarden van temperaturen, een zéér abnormaal lage gemiddelde windsnelheid en normale waarden van het neerslagtotaal en de zonneschijnduur.	De eerste maand van de meteorologische herfst werd gekenmerkt door uitzonderlijk hoge temperaturen en normale waarden van het neerslagtotaal, de zonneschijnduur en de gemiddelde windsnelheid.	De tweede maand van de meteorologische herfst werd te Ukkel gekenmerkt door normale waarden van de zonneschijnduur, gemiddelde windsnelheid , neerslagtotaal en normale waarden voor de temperaturen.	De laatste maand van de meteorologische herfst werd te Ukkel gekenmerkt door abnormaal kleine neerslagwaarde en normale waarden van de gemiddelde windsnelheid, de temperaturen en de zonneschijnduur.	De eerste maand van de meteorologische winter werd te Ukkel gekenmerkt door een zéér uitzonderlijk hoge neerslaghoeveelheid en normale waarden van de temperaturen, de zonneschijnduur en de gemiddelde windsnelheid.
dagen waarop onweersverschijnselen plaatsvonden	3 tot 7, 12 tot 14, 18, 19, 23 en 31	3 tot 10, 14 tot 18, 20, 25 en 26	5, 6, 13, 14, 15, 21 tot 27 en 30	2, 3, 4, 24 en 30	16, 18 en 19	4, 7, 9, 13, 14, 15, 24, 25 en 28
dagen waarop neerslag geheel of gedeeltelijk bestond uit sneeuw					11 en 16 tot 23	4 tot 7, 10, 13 tot 21 en 25 tot 31
dagen met sneeuwbedekking					16 tot 23 (op Hoogvlakten)	
dagen met hagel	4, 6 en 19	8, 14, 18 en 26	6 en 23			2, 3, 12, 14, 25, 28 en 29
Wateroverlast of windblimsem of waterschade	4, 5, 6, 12 en 14	3, 8, 9, 10, 11, 14, 16 en 18	6, 22 en 24	2, 4		3, 24, 25

systeem op lokale precipitatie (zie Figuur 9.8). Deze onmiddellijke impact op de gesuspendeerde lading in de rivier kan verklaard worden door: (1) turbulentie (vooral veroorzaakt in het stijgende been van de vloedgolf), (2) lokaal hoge bodemhellingen en (3) een hoge gevoeligheid voor run-off. De intensieve run-off van de erg mobiele bodemoppervlakken in de stroomopwaartse regio is dominant, zodat het neerslagimpact zelf de sedimentaanvoer naar de rivier genereert.

De karakteristieken van het sedimenten in suspensie in de Zwalm tonen duidelijk aan dat deze het resultaat zijn van intensieve landerosie. De run-offproductie wordt slechts lichtjes beïnvloed door landcultivatie, seizoensale vegetatie of bebossing.

Figuur 9.8: Hysteresiseffect tijdens vloed gebeurtenissen in het bovenstroomse gedeelte van de Zwalm (figuur uit Huygens et al., 2003)



De klokgewijze hysteresis en het geassocieerde tijdsverschil tussen maximale sediment concentratie en het piekdebiet vermindert ten gevolge van vermindering van aanvoerbaar materiaal naarmate de debietpiek haar maximum bereikt of het voorkomen van een meer tegen erosiebestendige laag op het land die verdere run-off tegenhoudt.

Het stromingstempo (verandering van debiet in functie van de tijd) in het stijgende been beheerst het niveau van turbulentie die gegenereerd wordt tijdens deze overgangssituatie. Een scherp stijgend been (hoge $\Delta Q/\Delta t$) zorgt voor een veel hoger suspensietempo en een meer uitgesproken tijdsverschil tussen de maximale sedimentconcentratie en de debietpiek.

De concentratie aan sediment in suspensie aan sediment in suspensie snelt achter de waterstroming bij bepaalde vloed events. Deze uitzonderingsgevallen worden gedeeltelijk verklaard door de “kinematische golf voortplanting”: de debietgolf verplaatst zich sneller dan de watermassa en het geassocieerde sediment.

Het hoger vermelde hysteresiseffect is wel enkel geldig voor een enkelvoudig vloed event. Meer complexe events (zoals opeenvolgende debietpieken of een lange regenperiode) kan dit hysteresisbeeld verstoren.

Figuur 9.7: op pagina 145 en 146

Evolutie van de spreiding van de punten doorheen de tijd uitgezet in een grafiek die de spreiding weergeeft met gegevenspunten verbonden via vloeiende lijnen .

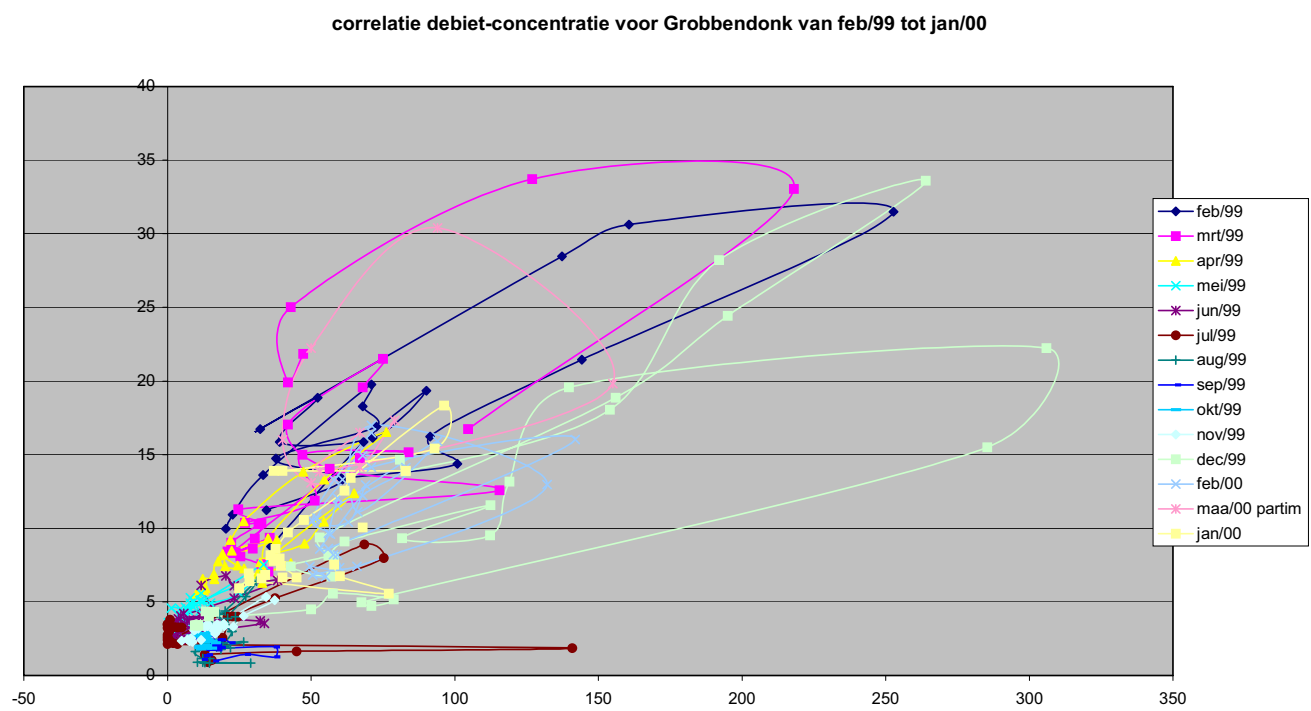
Figuur 9.7 a: Meetpost: Grobbendonk

Periode: februari 99 – januari 00

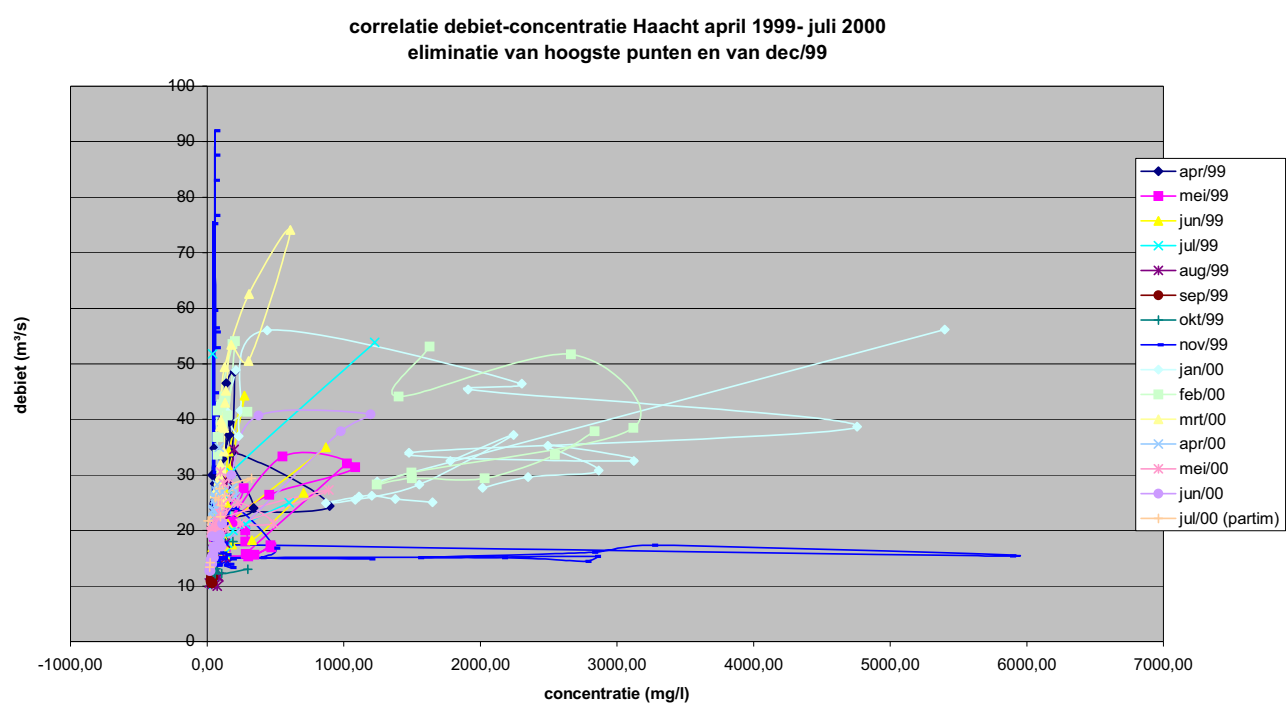
Figuur 9.7 b: Meetpost Haacht

Periode: april 99 – juli 00

Figuur 9.7 a



Figuur 9.7 b:



Dit is vergelijkbaar met wat er in het geval van Grobbendonk en Haacht geconstateerd wordt. Deze meetposten bevinden zich op grotere rivieren dan de Zwalm en zijn onderhevig geweest aan een veel complexere invloed van debietpieken en sedimentbevoorrading. Een eenvoudige indeling op basis van de lussen is moeilijk te maken.

Wel kan men een indeling maken naar het tijdsverschil tussen debiet- en concentratiepiek.

9.4.4 Debiet- en concentratiepieken

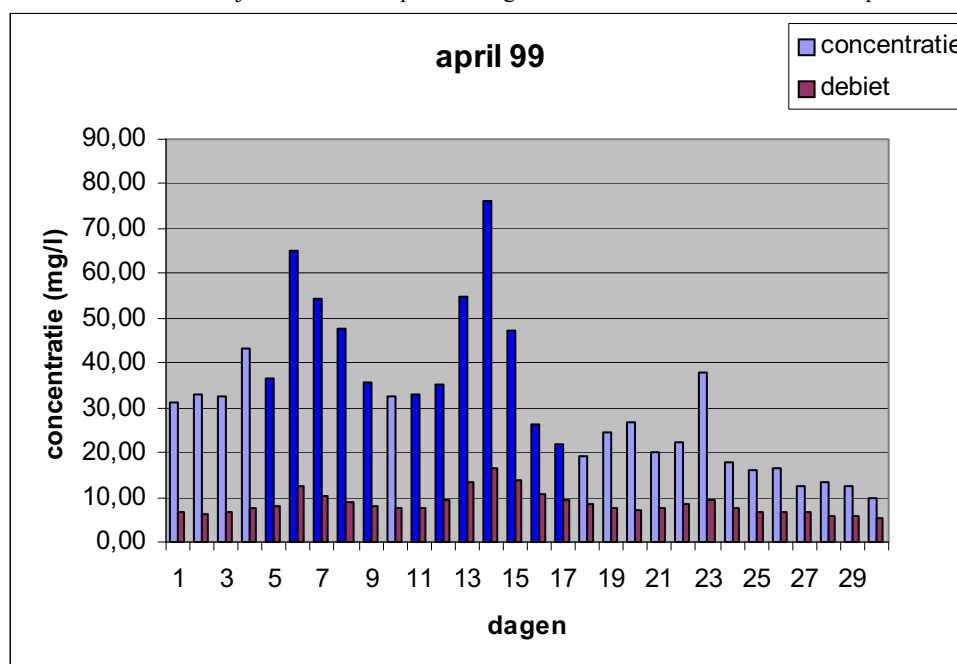
9.4.4.1 Sedimentpiek valt samen met de debietpiek

Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 9.9. Deze toont de maand april 1999 voor de meetpost te Grobbendonk.

Wat hierbij opvalt is dat zowel het stijgende been als het dalende been van de twee pieken volledig samenvallen.

In dit geval is de turbulentie die het stijgend en dalend been van de debietpiek meebrengt (meer turbulentie in het stijgende been, minder in het dalende) de voornaamste oorzaak van het suspenderen van sediment.

Figuur 9.9: Histogram van debieten en concentraties voor de maand april 1999 gemeten op de meetpost te Grobbendonk. In het blauw zijn twee sedimentpieken aangeduid die samenvallen met de debietpieken.



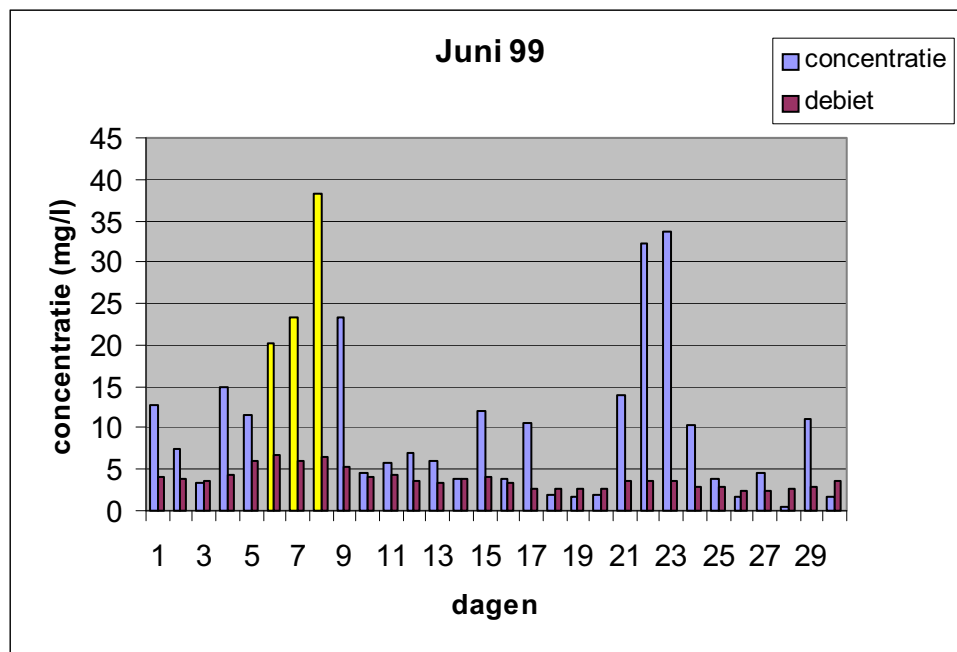
9.4.4.2 Sedimentpiek volgt de debietpiek

Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 9.10. Deze toont de maand juni 1999 voor de meetpost te Grobbendonk.

Wat hierbij opvalt is dat het stijgende been van de sedimentpiek veel langer duurt dan het stijgende been van de debietpiek. De voornaamste eigenschap blijft echter dat het piekmoment van de sedimentpiek zich in het dalende been van de debietpiek bevindt.

Dit kan, zoals eerder vermeld in punt 9.4.3, gedeeltelijk verklaard door de “kinematische golf voortplanting”. Hierbij gaat de debiet-golf zich sneller verplaatst en dan de watermassa en het geassocieerde sediment, waardoor deze piek later valt.

Figuur 9.10: Histogram van debieten en concentraties voor de maand juni 1999 gemeten op de meetpost te Grobbendonk. In het geel is een sedimentpiek aangeduid die volgt op een debietpiek.



9.4.4.3 Sedimentpiek gaat aan debietpiek vooraf

Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 9.11. Deze toont de maand februari 2000 voor de meetpost te Grobbendonk.

Wat hierbij opvalt is dat het stijgende been van de sedimentpiek relatief kort is. De voornaamste eigenschap blijft echter dat een gedeelte van het dalende been van de sedimentpiek zich in het stijgende been van de debietpiek bevindt.

Volgens Horowitz (Horowitz, pers. com., 2003) is dit het meest voorkomende geval van de drie. In grote rivieren, zoals de Mississippi, kan de sedimentpiek zelfs twee dagen voor de debietpiek arriveren op de meetpost.

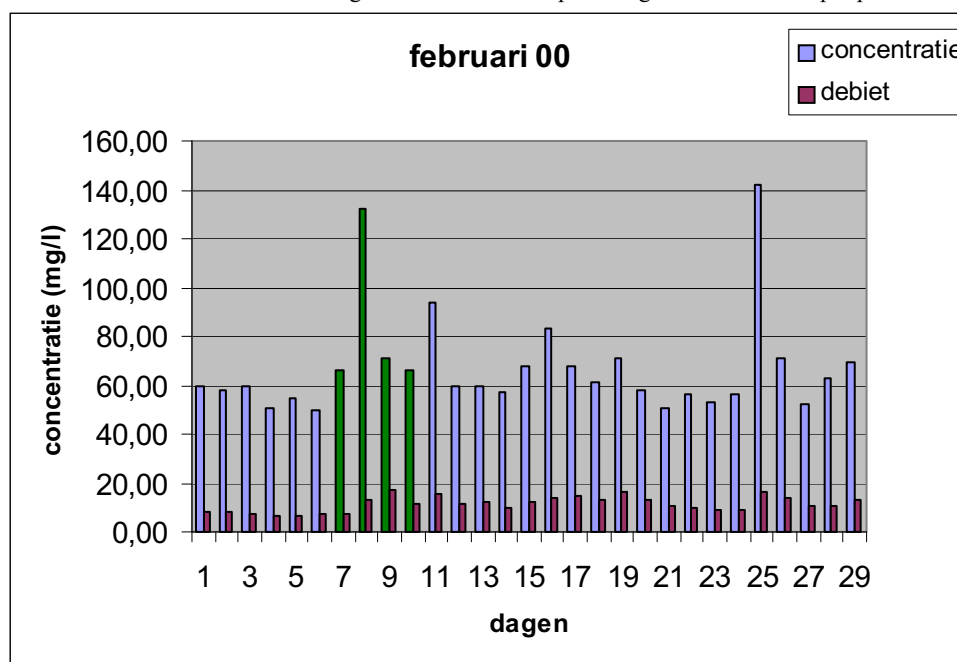
De reden hiervoor is dat er bij een debietpiek een drukgolf doorheen de waterkolom wordt gestuurd. De drukgolf volstaat om sommige sedimenten die op de rivierbodem liggen opnieuw in suspensie te brengen en deze komen dus voorbij het meetpunt voor de debietpiek.

Deze sedimenten bezinken niet nadat ze door de drukgolf opnieuw in suspensie gebracht zijn. De begrenzende factor in de controle van de concentratie aan sediment in suspensie is niet het debiet of de stroomsnelheid maar de aanvoer en de beschikbaarheid van het materiaal.

Normaliter vraagt het meer energie om een sediment opnieuw in suspensie te brengen dan om dit sediment te transporteren.

Praktisch wil dit zeggen dat de rivier misschien voldoende stroomsnelheid bezit om sediment te transporteren maar niet om sediment te hersuspenderen. Wanneer dan een drukgolf aankomt, zorgt deze voor voldoende energie om de schuifspanning te overwinnen zodat het bodemmateriaal opnieuw in suspensie gaat. De aanwezige stroomsnelheid blijft echter voldoende om dit nieuw gesuspendeerde sediment in suspensie te houden en te transporteren.

Figuur 9.11: Histogram van debieten en concentraties voor de maand februari 2000 gemeten op de meetpost te Grobbendonk. In het groen is een sedimentpiek aangeduid die voorloopt op een debietpiek.

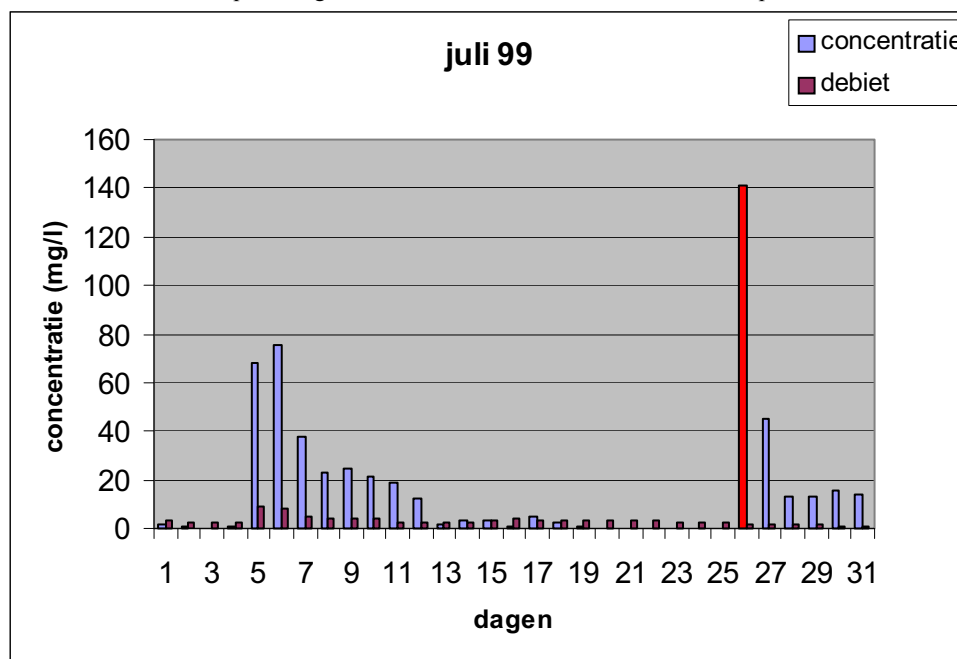


9.4.4.4 Niet-correleerbare sediment- en debietpieken

Een laatste soort korrelatie is het ontbreken van elke mogelijke korrelatie. Dit komt regelmatig voor en moet meestal toegeschreven worden aan een ‘Goddelijke interventie’, een toevallige, niet te achterhalen gebeurtenis, zoals een afkalvende oever of baggerwerkzaamheden, enz...

Een voorbeeld hiervan wordt getoond in Figuur 9.12, die de maand juli 1999 voor de meetpost te Grobbendonk.

Figuur 9.12: Histogram van debieten en concentraties voor de maand juli 1999 gemeten op de meetpost te Grobbendonk. In het rood is een sedimentpiek aangeduid die niet korreleerbaar is met een debietpiek.



9.4.5 Jaarhistogrammen

Voor twee meetposten, namelijk de meetpost te Grobbendonk en de meetpost te Haacht, werd er een histogrammenreeks opgesteld zoals die in Figuren 9.9, 9.10, 9.11 en 9.12, hier echter voor een periode van één jaar (zie Figuur 9.13 a en b). Deze histogrammen werden opgesteld door alle veranderingen in debietwaarden te vergelijken met de veranderingen in de concentratiewaarden.

Uit Figuren 9.13 a en b kunnen een aantal interessante besluiten getrokken worden:

- Zo blijkt de trend waarbij de sedimentpiek na de debietpiek valt (aangeduid in het geel) inderdaad de minst voorkomende trend te zijn.
- Daarnaast stelt men ook vast dat de reeds eerder aangehaalde punten met extreme waarden voor debiet of concentratie (zie punt 9.4.4.4) (bijvoorbeeld de maand december 1999 voor de grafiek van Haacht) hier dikwijls in het rood worden aangeduid: zij vallen niet te correleren.
- De concentratiepiek blijkt de debietpiek te volgen of zelfs iets voorop te lopen. Dit is dus zoals verwacht.

In een poging om op een visuele en mathematische manier de ‘rode pieken’ te berekenen, werd de verandering in debiet en de verandering in concentratie eerst elk afzonderlijk uitgezet (zie Bijlage 18). De verandering in debiet is wiskundig eenvoudig te vertalen als:

$$\text{debiet}_{\text{dag2}} - \text{debiet}_{\text{dag1}}$$

- $> 0 \rightarrow$ het debiet neemt toe van dag 1 naar dag 2
- $= 0 \rightarrow$ het debiet blijft dezelfde waarde aanhouden
- $< 0 \rightarrow$ het debiet daalt van dag 1 naar dag 2

Eenzelfde formule is uit te schrijven voor de verandering in sedimentconcentratie:

$$\text{concentratie}_{\text{dag2}} - \text{concentratie}_{\text{dag1}}$$

- $> 0 \rightarrow$ de concentratie neemt toe van dag 1 naar dag 2
- $= 0 \rightarrow$ de concentratie blijft dezelfde voor dag 1 als dag 2
- $< 0 \rightarrow$ de concentratie daalt van dag 1 naar dag 2

In een volgende stap werden deze afzonderlijke veranderingen met elkaar vermenigvuldigd. Dit heeft tot gevolg dat wanneer tweemaal dezelfde trend gevolgd wordt door het debiet en de concentratie, de uiteindelijke waarde positief is. Wanneer het debiet echter stijgt wanneer de concentratie daalt, wordt een negatieve waarde verkregen. Dit wordt visueel voorgesteld voor de meetpost te Grobbendonk in Figuur 9.14.

Bij nadere vergelijking van de met de hand geselecteerde niet-korreleerbare pieken en de computergegenereerde, werd vastgesteld dat een aantal extra punten als niet korreleerbaar werden voorgesteld. Door deze methode te gebruiken worden ook sedimentpieken die een dag voorlopen op de debietpiek als niet-korreleerbaar worden aangeduid.

Figuur 9.13 a: zie pagina 151

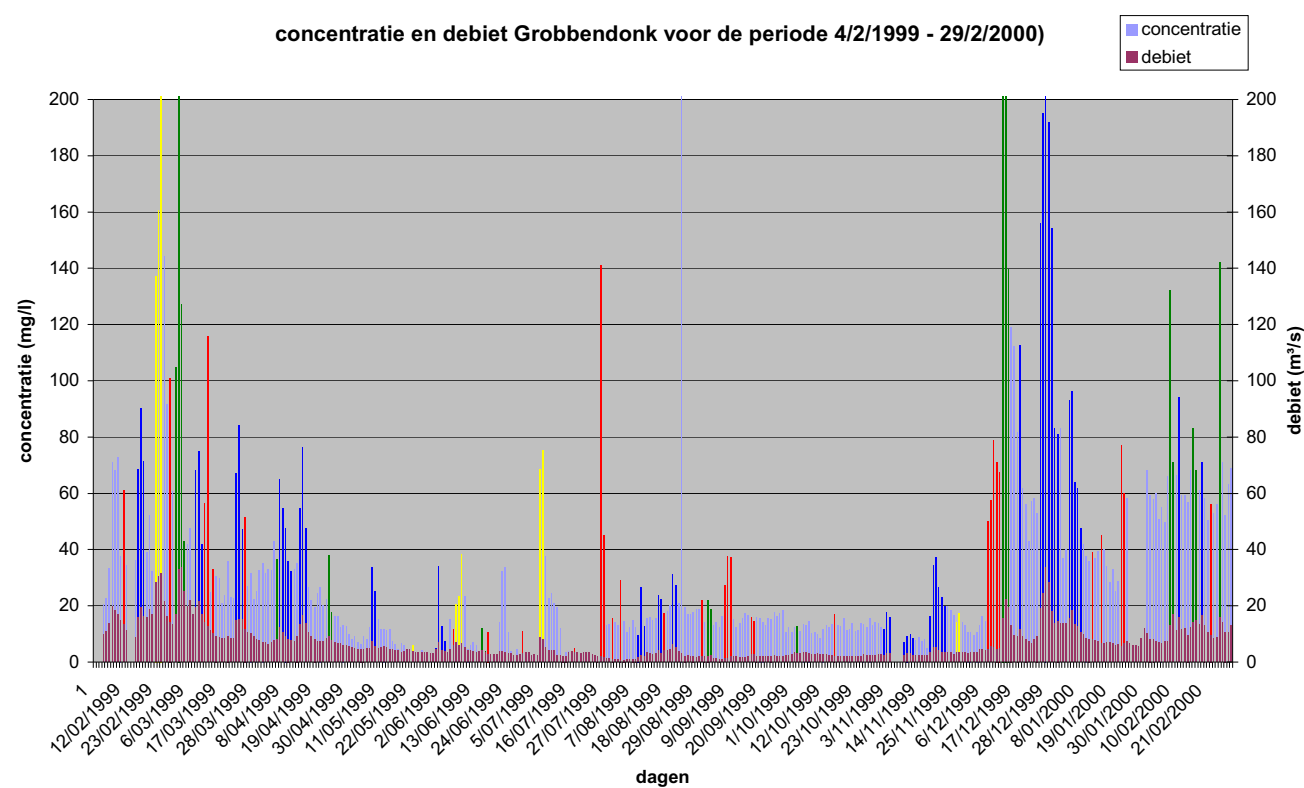
Histogram van debieten en concentraties voor één jaar: van februari 1999 tot januari 2000 gemeten op de meetpost te Grobbendonk.

Figuur 9.13 b: zie pagina 152

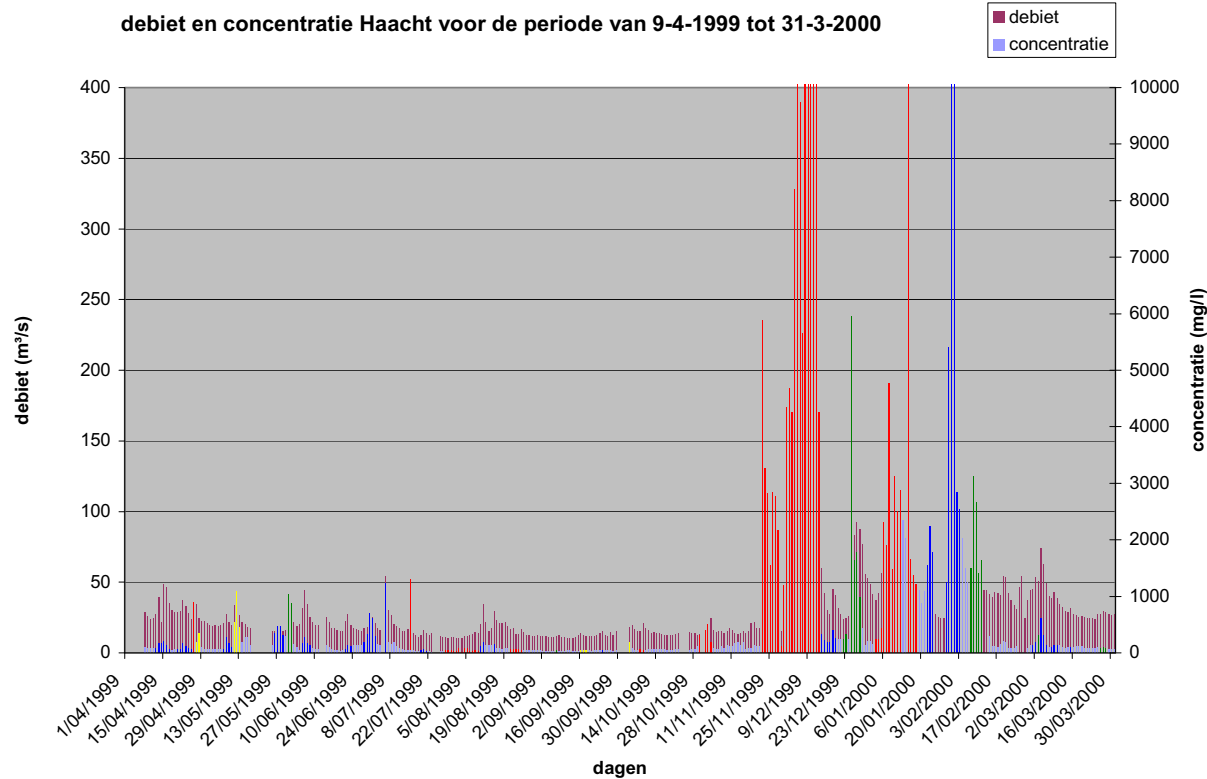
Histogram van debieten en concentraties voor één jaar: van februari 1999 tot januari 2000 gemeten op de meetpost te Haacht.

Legende: - **blauw**: sedimentpiek aangeduid valt samen met de debietpiek.
 - **groen**: sedimentpiek aangeduid loopt voor op de debietpiek.
 - **geel**: sedimentpiek aangeduid volgt op de debietpiek
 - **rood**: sedimentpiek aangeduid is niet korreleerbaar met de debietpiek

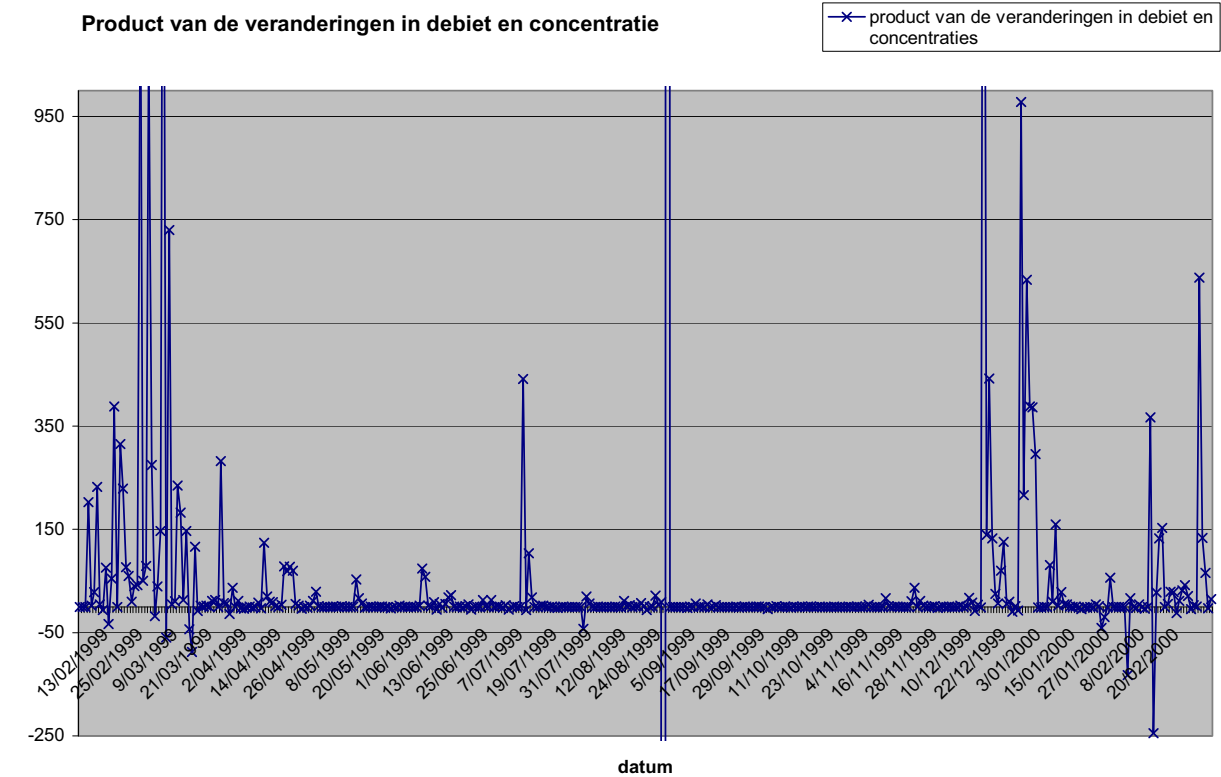
Figuur 9.13 a



Figuur 9.13 b



Figuur 9.14: Visuele voorstelling van de niet-correleerbare pieken van van deniet en concentratie voor de periode van 13-2-1999 tot 20-2-2000 gemeten op de meetpost te Grobbendonk



In Bijlage 19 is een lijst bijgevoegd waarin de niet-correleerbare dagen een kleurtje hebben gekregen: rood voor dagen die zowel met de hand als met de computer bekomen zijn en oranje voor de dagen die enkel door de computer als niet korreleerbaar worden aangezien.

Hier moet rekening gehouden worden met het feit dat gemiddelde dagdebieten en dagconcentraties aan sedimenten in suspensie gebruikt worden. Deze waarden worden slechts elke zeven uur opgenomen. Dit heeft tot gevolg dat op deze manier waarschijnlijk het moment van de eerste flush gemist wordt (zie ook punt 9.4.2.2). Daarom kunnen sommige voorstellingen van pieken hier wat misvormd zijn. De debietwaarden zijn immers berekend aan de hand van gemiddelde uurwaarden die dan herleid worden tot daggemiddelden. Aan de andere kant moet men wel nog sterk rekening houden met de slechte kalibratie van de turbiditeitsmeter, en zou deze oefening opnieuw moeten gebeuren wanneer dit probleem van de baan is.

Eén manier om het moment van eerste flush te detecteren is gebruik te maken van een (goed gekalibreerde) monitor. Deze geeft immers waarden om de 2 minuten en is veel beter geschikt om dit moment vast te leggen.

In een poging om de verschillen in gevoeligheid van de monitor en de pompmethode (met zijn verschillende bepalingsmethoden: filtratie en turbiditeitsbepaling met behulp van de Analite) werd een relatief korte periode uitgekozen, namelijk slechts 18 dagen: van 21 februari 2000 tot 8 maart 2000. Hiervoor werd zowel het debiet uitgezet alsook de NTU waarden bekomen met behulp van de Analite en met de monitor en daarnaast ook nog de concentratie zoals deze bepaald werd door middel van filtratie (zie Figuur 9.15).

Om deze grafiek te maken werden de monsters gebruikt die om de zeven uur werden opgepompt. Vertrekkende van dat tijdstip werd de overeenkomstige monitorwaarde gezocht. Deze waarden worden door de datalogger om de twee minuten opgeslagen, maar zitten in de databank enkel als daggemiddelden. Om dus de juiste NTU-waarde van de monitor te vinden moest deze waarde manueel opgezocht worden.

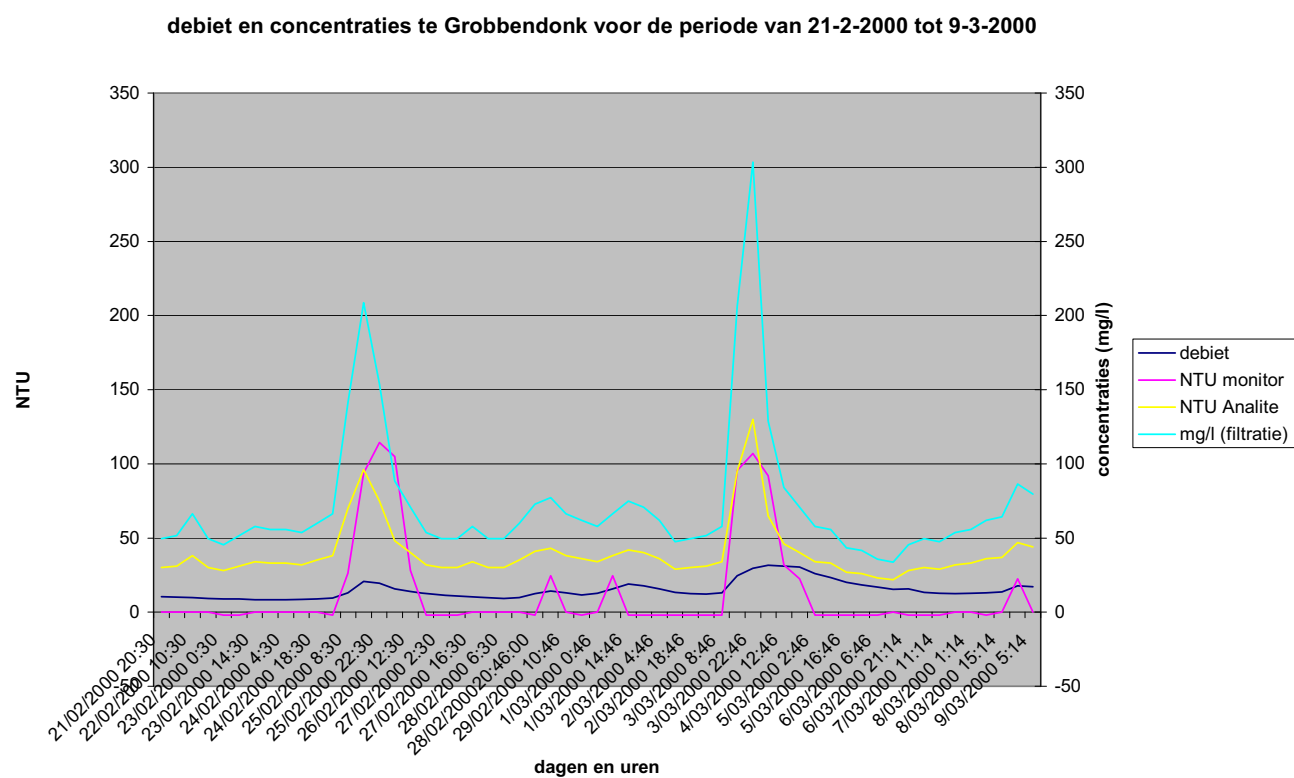
Daarnaast moest ook nog de debietwaarde uitgezocht worden die qua tijd, het dichtst bij het oppompen van het monster geregistreerd was. De debietwaarden zijn namelijk beschikbaar per uur.

Deze oefening is zeker interessant genoeg om opnieuw uit te voeren, over langere periodes. Daarnaast zou er een eenvoudig programma geschreven kunnen worden dat alle NTU- en concentratie waarden uitzet ten opzichte van het debiet. Dit programma is op dit moment reeds voorhanden in een preliminaire vorm, maar kan pas afgewerkt worden als de nodige aanpassingen aan de database zijn uitgevoerd.

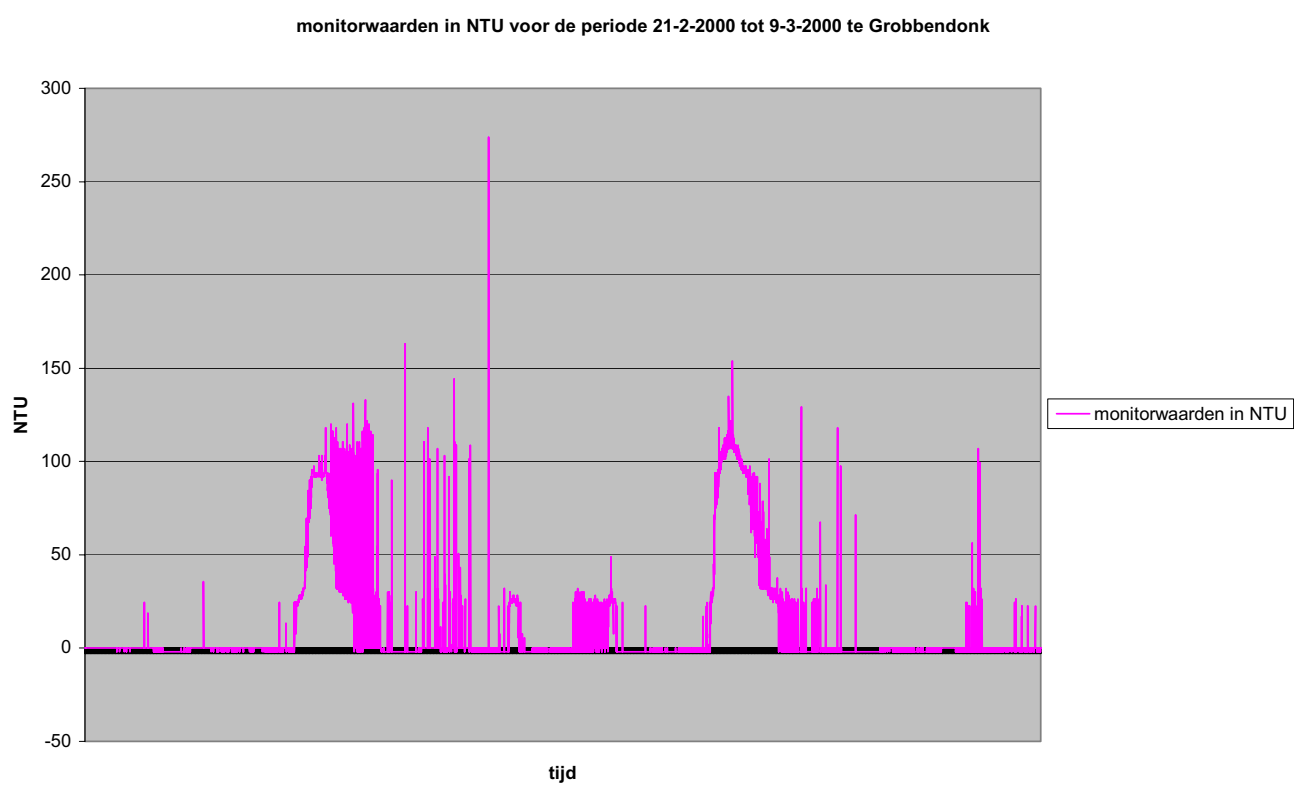
Uit Figuur 9.15 kunnen volgende conclusies getrokken worden:

- De NTU-waarden van de monitor zijn consequent lager dan de NTU-waarden bepaald met de Analite. Dit werd reeds eerder aangetoond bij de ijking met Formazinstandaarden (zie punt 8.3.1.4.2).
- De NTU monitor valt bij lage waarden vaak op nul terug. Dit is te wijten aan een lage gevoeligheid van de monitor bij lage concentraties aan sedimenten. Daarbij is ook de instelling van de monitor en datalogger van belang. De problematiek van de te grote incrementen zorgt ervoor dat kleine variaties in concentraties niet geregistreerd worden, waardoor de monitor lange perioden op nul blijft staan.
- Figuur 9.15b toont dat er zich veel meer individuele pieken voordoen dan getoond worden in Figuur 9.15a. Tussen deze pieken blijft de monitor gedurende langere of kortere periodes op nul staan.
- Een aantal van de pieken in Figuur 9.15 b stellen inderdaad pieken in het sedimenttransport voor die niet te meten waren in de filtratie omdat ze tussen de 7 uur bemonsteringscyclus in plaatsvonden. Vervuiling in het water brengt echter ook pieken voor, die geen verband vertonen met sedimenttransport.

Figuur 9.15 a: Weergave van concentratiepieken voor de verschillende methodes.



Figuur 9.15 b: Weergave van concentratiepieken gemeten door de monitor te Grobbendonk voor de periode van 21-2-2000 tot 9-3-2000. Om de twee minuten werd er een waarde ingelezen.



- De monitor meet op continue basis, maar kan op dit moment nog niet gebruikt worden om op nauwkeurige manier het sedimenttransport te berekenen, wel is het moment van eerste flush bij een aantal pieken duidelijk vast te stellen.

9.5 Jaartransport

Het jaartransport werd tot nu toe voor de meeste posten berekend op basis van de monitorgegevens (op uitzondering van het jaar 1999 voor de meetposten in Grobbendonk en Menen en het jaar 2000 voor de meetpost in Overboelare). Voor een overzicht van de gebruikte concentratiewaarden en het bijbehorende berekende totaaltransport, zie Tabel 9.2.

Tabel 9.2: Overzicht voor de jaren 1999 en 2000 van de concentratiewaarden die gebruikt werden om het totale sedimenttransport te berekenen en het totaaltransport.

Legende: - **M**: De concentratiewaarden die gebruikt worden om het totale transport te berekenen, zijn berekend uit de NTU waarden bekomen door de monitor.
 - **F**: De concentratiewaarden die gebruikt worden om het totale transport te berekenen, zijn afkomstig uit de filtratieproeven die uitgevoerd zijn op de automatisch opgepompte monsters
 - **M (vnl)**: De concentratiewaarden die gebruikt worden om het totale transport te berekenen, zijn voornamelijk berekend uit de NTU waarden bekomen door de monitor, maar werden ook aangevuld door filtratiewaarden wanneer deze aanwezig waren.
 - **F (vnl)**: De concentratiewaarden die gebruikt worden om het totale transport te berekenen, zijn voornamelijk uit de filtratiewaarden gehaald, maar bij ontbreken van stalen werden deze waarden aangevuld met waarden verkregen met de monitor.

jaar	Startdatum van metingen	Meetpost	concentratiewaarden	Totaaltransport (ton/jaar)
1999	04/02/1999	Grobbendonk	F (vnl)	11862,27
	19/04/1999	Eppegem	M (vnl)	123348,2
	12/04/1999	Haacht	M (vnl)	206772,4
	22/09/1999	Menen	F (vnl)	49602,39
2000	01/01/2000	Grobbendonk	M (vnl)	11081,9768
	01/01/2000	Eppegem	M (vnl)	230982
	01/01/2000	Haacht	M (vnl)	394882,02
	01/01/2000	Menen	M (vnl)	135473,1
	13/03/2000	Itegem	M (vnl)	32964,96
	29/03/2000	Overboelare	F	23015,33
	10/07/2000	Aarschot	M (vnl)	18120,26
2001	06/03/2001	Overboelare	M (vnl)	37358,941

Porterfield (Porterfield, 1977) beschrijft de omzettingsformule om van concentraties en debieten naar een totaal jaartransport te gaan. Horowitz (Horowitz, et.al. 2001, Horowitz, 2003 & Horowitz, pers. com., 2003) neemt deze formule over.

$$\text{Suspended sediment flux} \left(\frac{\text{ton}}{\text{dag}} \right) = \left[Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \right] \left[\text{SSC} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \right] [0,0864]$$

Waarin: suspended sediment flux = flux van sediment in suspensie

Q = debiet

SSC = suspended sediment concentration = concentratie aan sediment in suspensie

Sedimenttransport in ton per dag (Q_s) is bepaald door de vermenigvuldiging van het debiet (Q_w) in kubieke meter per seconde (m^3/s) met de concentratie sediment in suspensie in mg/L (C_s), en een constante of een coëfficiënt (k).

$$Q_s = Q_w \cdot C_s \cdot k$$

Waarin: Q_s = sedimenttransport in ton per dag (ton/dag)
 Q_w = debiet in kubieke voet per seconde (m³/s)
 C_s = concentratie aan sediment in suspensie in milligram per liter (mg/L)
 k = een coëfficiënt gebaseerd op eenheid van meting debiet en gaat uit van een
 dichtheid van 2,65 (de dichtheid van kwarts) voor het sediment.

Het gewicht van 1 kubieke meter water is 1 ton en het tijdinterval is 1 dag (24 uur), dus:

$$k = [(60)(60)(24) \text{ s/dag}][1 \text{ ton per kubieke meter}] = 0,0864 \cdot 1000000$$

Dus het sediment transport $Q_s = Q_w \cdot C_s \cdot 0,0864$ ton per dag.

In de praktijk wordt het jaartransport aan sediment in suspensie in het WLH berekend door vermenigvuldiging van de gemiddelde dagdebieten met de gemiddelde dag-concentratiewaarden aan sediment in suspensie, zij het bekomen met behulp van de monitorgegevens dan wel met de filtratiegegevens van de monsters uit de automatische pompsampler. Hierdoor bekomt men gemiddelde dag-transporten aan sedimenten in suspensie in g/s. Deze werden dan vermenigvuldigd

met de factor $\frac{24.60.60}{1000.1000}$ om de waarden om te zetten naar ton/dag.

Deze waarden worden dan voor het gehele jaar gesommeerd waardoor men het totaal aantal ton verkreeg dat in het beschouwde jaar voorbijstroomde ter hoogte van dat meetpunt. Een voorbeeld van zo een totaaltransport berekening is bijgevoegd in Bijlage 20. Het gaat hier over de berekening van het jaartransport voor het jaar 2000 voor de meetpost te Grobbendonk. De concentratiegegevens zijn hier voornamelijk afkomstig van de monitor, en aangevuld met gegevens die afkomstig zijn van de filtratie.

Het door elkaar gebruiken van monitorgegevens en filtratiegegevens is achteraf nadelig gebleken omdat er eigenlijk geen echt goede korrelatie is tussen beide meetmethodes. Daarnaast is zo'n aanvulling ook niet altijd mogelijk, waardoor op bepaalde dagen geen estimatie van het gemiddelde dagtransport kan gemaakt worden. Het totaal jaartransport zal dus altijd een onderschatting zijn.

Uit dit eindwerk blijkt dat de resultaten van de monitor vooralsnog onbetrouwbaar zijn zonder de nodige ijking. Het is dan ook niet aan te raden om deze waarden te gebruiken voor de bepaling van het totaal transport aan sediment in suspensie.

De maandtransporten werden berekend voor de verschillende stations op basis van enerzijds de monitorgegevens en anderzijds de filtratiegegevens. Deze resultaten werden onderling vergeleken.

9.5.1 Grobbendonk

Uit Tabel 9.3 kan afgeleid worden dat de waarde van de totale sedimentconcentratie in de meetpost te Grobbendonk lager is wanneer deze met de filtratiemethode bepaald wordt dan wanneer men gebruikt maakt van de monitor. De monitorwaarde is 113% van de filtratiewaarde.

Wanneer men de concentratiewaarden per maand bekijkt (zie Figuur 9.16) dan merkt men dat de monitorwaarden eigenlijk een overschatting geven voor het transport van april tot september 1999 en van januari 2000 terwijl de monitor een onderschatting maakt voor de maanden oktober tot december 1999 en februari en maart 2000. Vanaf oktober blijkt het sedimenttransport systematisch onderschat met de monitor (behalve in januari). Het zou kunnen wijzen op een verandering van de instellingen vanaf oktober.

Er moet worden gesteld dat de afwijkingen per maand voor de meeste stations onaanvaardbaar is en dat korrelatie tussen de waarden nagenoeg onmogelijk is (zie Figuur 9.17).

De 13% afwijking op het jaardebiet is dus verwonderlijk klein.

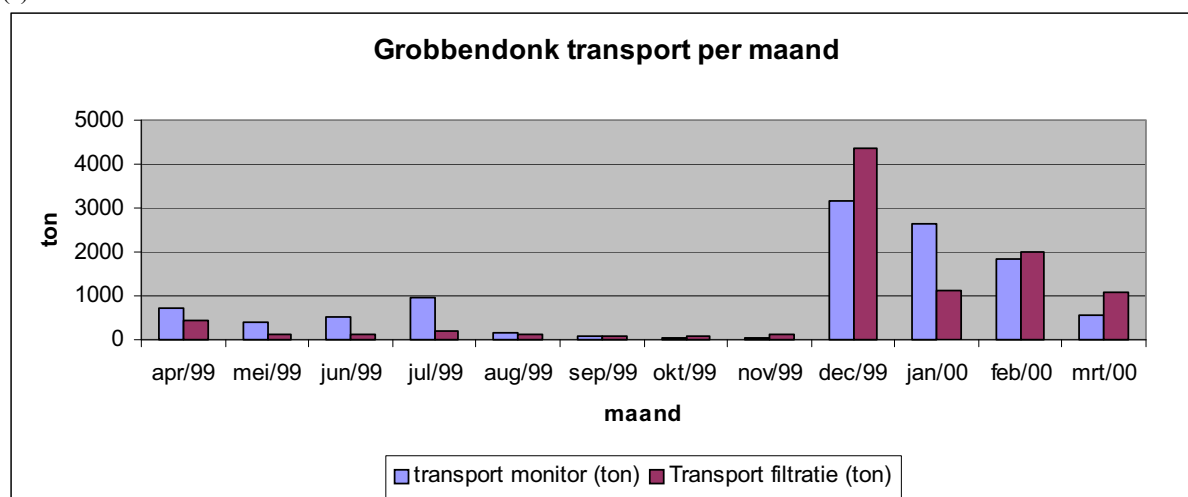
Tabel 9.3: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Grobbendonk bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in paars zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

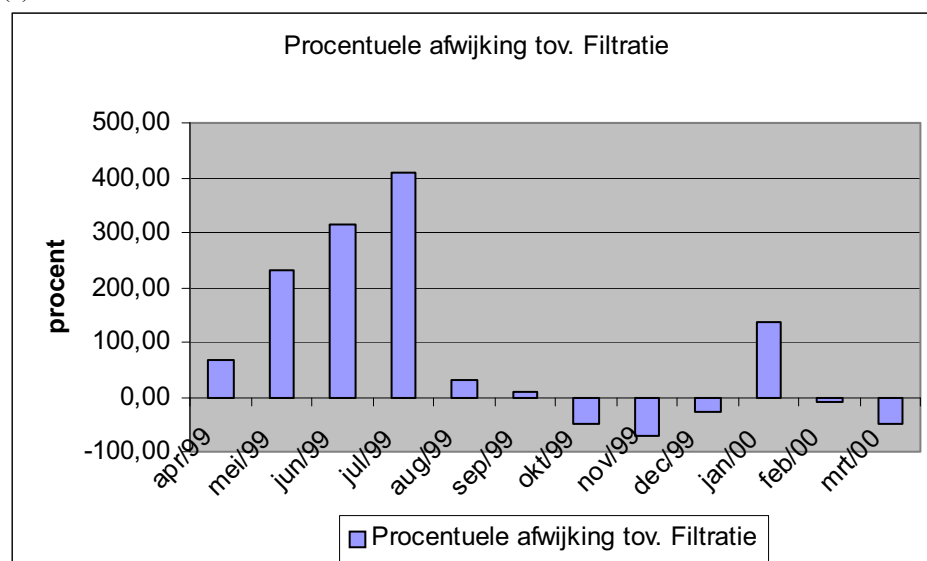
maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
apr/99	717,6833	430,8586
mei/99	414,8544	125,8669
jun/99	529,168	127,6023
jul/99	973,684	191,3709
aug/99	170,671	131,4317
sep/99	90,83506	84,46257
okt/99	42,36973	85,07787
nov/99	39,36254	128,0208
dec/99	3175,204	4350,852
jan/00	2651,989	1123,379
feb/00	1833,383	2006,451
mrt/00	552,243	1079,449
totaal gemeten transport van april 1999 tot maart 2000	11191,45	9864,823

Figuur 9.16: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Grobbendonk, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

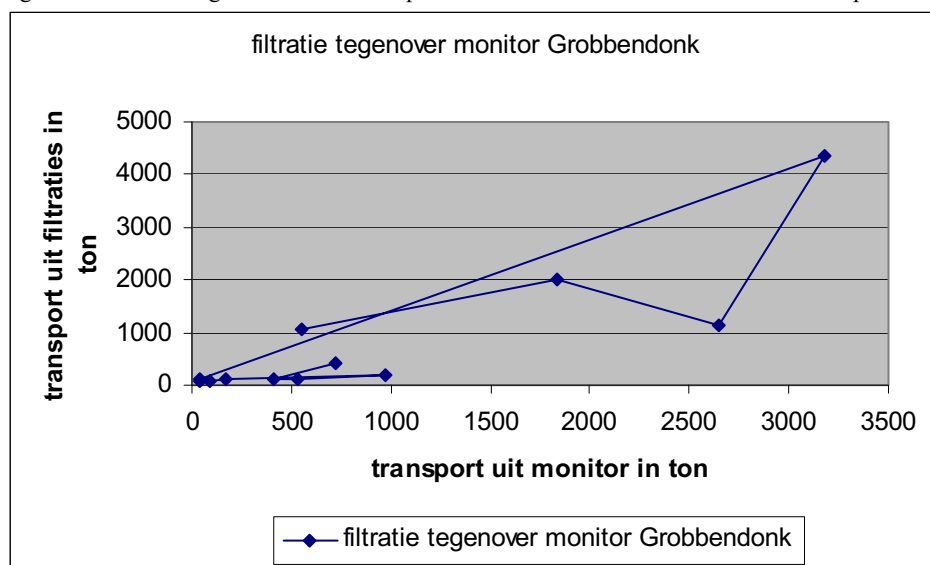
(a)



(b)



Figuur 9.17: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Grobbendonk via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



9.5.2 *Eppegem*

Tabel 9.4: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Eppegem bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in paars zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
apr/99	2255,866	1456,315
mei/99	6010,48	4448,314
jun/99	6375,465	3876,525
jul/99	9148,115	2809,207
aug/99	15054,29	6643,406
sep/99	12422,42	3559,229
okt/99	23006,15	3528,934
nov/99	17530,33	3146,139
dec/99	31545,05	7026,496
jan/00	9153,854	4721,918
feb/00	22212,8	12419,34
mrt/00	19395,12	7656,768
totaal gemeten transport van april 1999 tot maart 2000	174109,9	61292,59

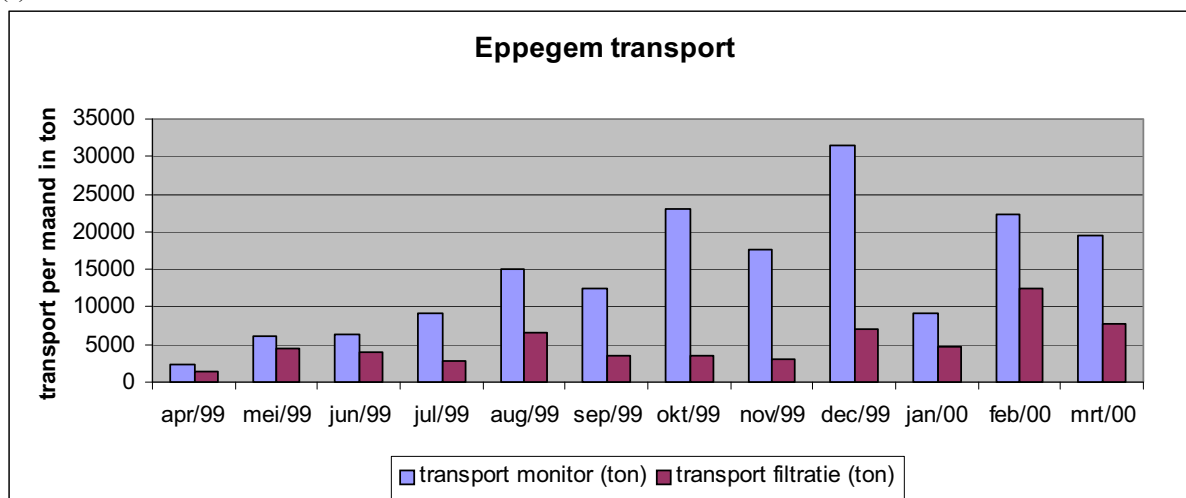
Uit Tabel 9.4 kan afgeleid worden dat als men de totale sedimentconcentratie bepaalt met behulp van de monitor, men een overschatting maakt van +/- 184 % ten opzichte van de waarden bekomen met behulp van de filtratiemethode.

Voor elke maand vallen de waarden van de monitor hoger dan de waarden verkregen door filtratie (zie Figuur 9.18). Er wordt van uit gegaan dat de filtratiemethode de beste benadering geeft.

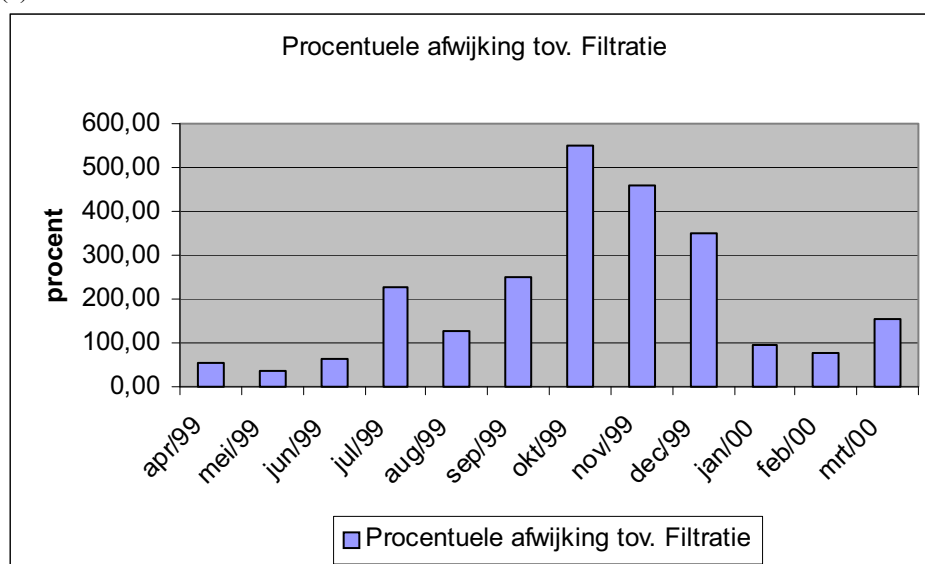
In Eppegem valt de extreem hoge waarde verkregen met de turbiditeitsmeter te verklaren door het voorkomen van een hoge hoeveelheid vuilnis (voorbijrijvende plastic zakken en dergelijke) waardoor de monitor tijdelijk extreem hoge waarden registreert.

Figuur 9.18: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Eppegem, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

(a)

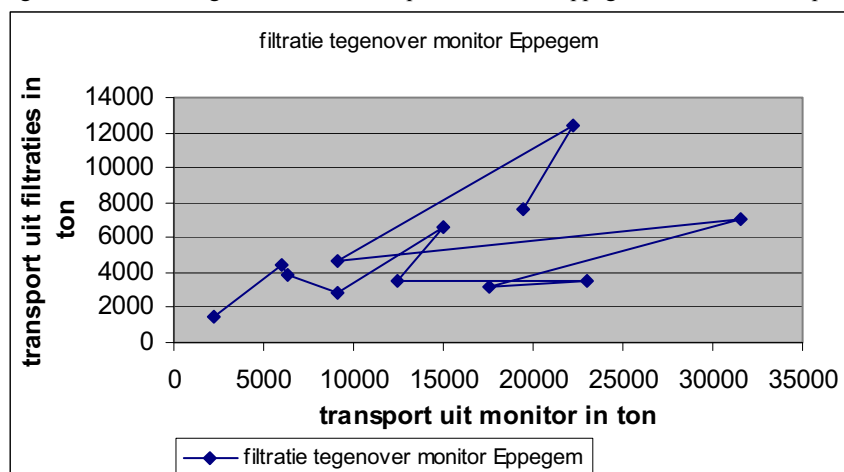


(b)



In elk geval is de afwijking onaanvaardbaar en laat de gegevensreeks vermoeden dat er geen correlatie is tussen de waarden (zie ook Figuur 9.19).

Figuur 9.19: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Eppegem via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



9.5.3 *Haacht*

Tabel 9.5: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Haacht bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in paars zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
apr/99	21498,96	7602,006
mei/99	22857	14495,61
jun/99	23524,59	10219,31
jul/99	14609,68	59790,31
aug/99	21328,21	3581,661
sep/99	3529,584	1091,943
okt/99	22935,62	2290,041
nov/99	34933,14	34745,5
dec/99	41555,57	407093,6
jan/00	23150,17	746025,8
feb/00	54121,45	119000,7
mrt/00	58541,55	14904,8
apr/00	22674,21	4617,438
mei/00	10845,87	8469,006
jun/00	13530,98	10898,71
jul/00	7586,631	2142,977
totaal gemeten transport van april 1999 tot juli 2000	397223,2	1446969

Uit Tabel 9.5 kan afgeleid worden dat de waarde van de totale sedimentconcentratie in de meetpost te Haacht hoger is wanneer deze met de filtratiemethode bepaald wordt dan wanneer men gebruikt maakt van de monitor. De monitor waarde is slechts 27% van de filtratiewaarde.

De transportwaarden per maand van de monitorwaarden blijken een overschatting voor alle maanden behalve juli 1999 en december, januari en februari 2000 (zie Figuur 9.20).

In de maand juli is slechts 1 waarde (op 7 juli 1999) zo spectaculair hoog, dat ze het volledige maandtransport vervijfvoudigt. Deze waarde zou afkomstig kunnen zijn van een foutieve bemonstering, en dus geen realistische waarde weergeven.

De hoge waarden in de maand december zijn wel effectieve waarden. Zoals reeds hoger vermeld (zie punt 9.4.2) was de maand december een extreem natte maand, waardoor extreem veel sedimenten getransporteerd zijn. De instelling van de monitor met een maximum tot 400 NTU heeft de registratie van deze hogere sedimentconcentraties bemoeilijkt.

De hogere waarden tijdens de maand januari 2000 zijn op gelijkaardige manier te verklaren. De maand januari was ook gekenmerkt door hoge neerslaghoeveelheden. Daarnaast is de monitor ook nog een tijdje buiten werken geweest, net tijdens een zeer sedimentrijke periode, waardoor er een onderschatting door de monitor ontstond.

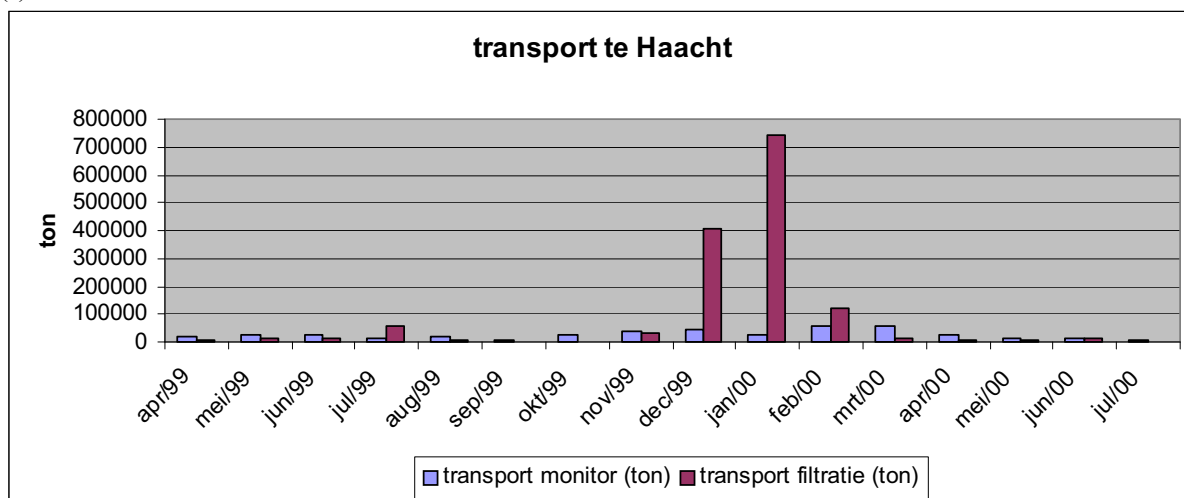
Ook tijdens de maand maart werden een aantal sedimentpieken niet geregistreerd door de monitor.

Als besluit zou men dus opnieuw kunnen trekken dat de monitor lage sedimentconcentraties overschat en hoge sedimentconcentraties onderschat. Aangezien er tijdens deze hoge sedimentconcentraties het meeste sediment vervoerd wordt, wordt de totale sedimentconcentratie onderschat wanneer deze bepaald wordt met behulp van de monitor.

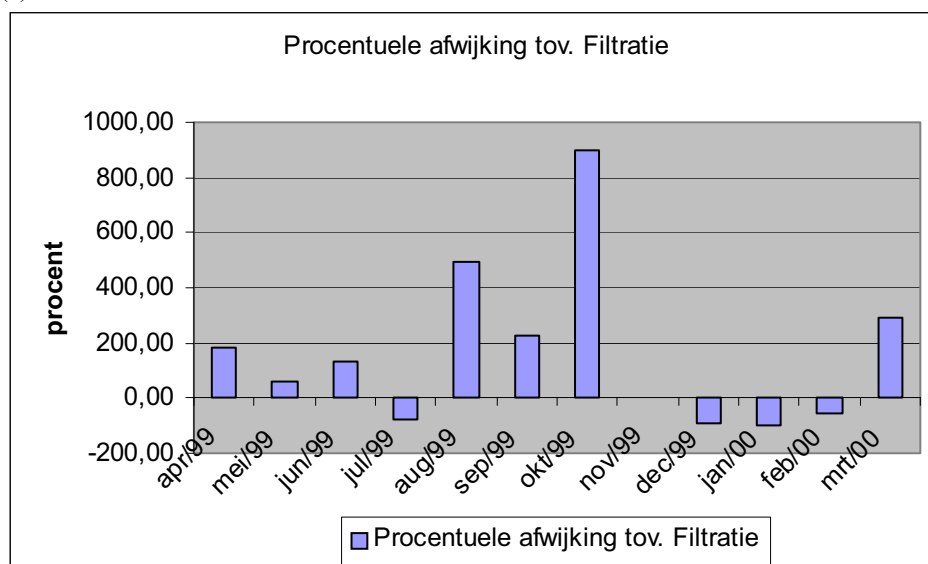
Meer algemeen zou men zelfs kunnen stellen dat er geen correlatie tussen monitor- en filtratiewaarden bestaat (zie Figuur 9.21).

Figuur 9.20: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Haacht, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

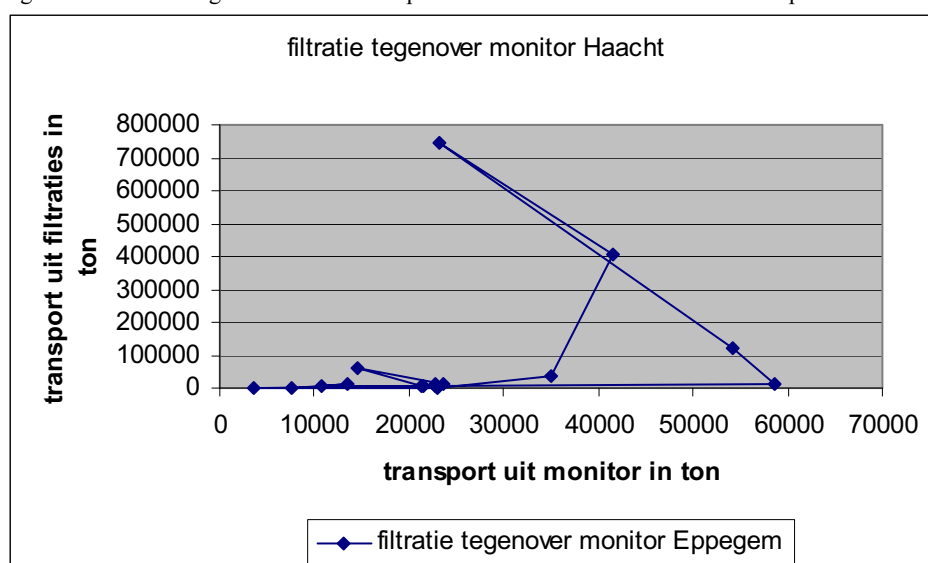
(a)



(b)



Figuur 9.21: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Haacht via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



9.5.4 Menen

Tabel 9.6: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Menen bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in **paars** zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
sep/99	180,1277	637,7958
okt/99	904,8839	1744,483
nov/99	1182,953	1255,464
dec/99	69081,89	45964,64
jan/00	9033,401	6616,782
feb/00	4419,519	2655,476
mrt/00	4603,435	4308,734
apr/00	3744,197	2153,116
mei/00	3720,647	3377,984
jun/00	1735,529	1846,134
jul/00	3031,06	2732,837
aug/00	1248,926	1651,38
sep/00	1311,764	1694,141
okt/00	21110,85	14155,23
nov/00	46281,6	24075,99
dec/00	35232,14	23714,15
totaal gemeten transport van september 1999 tot december 2000	206822,9	138584,3

Uit Tabel 9.6 kan afgeleid worden dat de waarde van de totale sedimentconcentratie in de meetpost te Menen lager is wanneer deze met de filtratiemethode bepaald wordt dan wanneer men gebruikt maakt van de monitor. De monitor waarde is 150% van de filtratiewaarde.

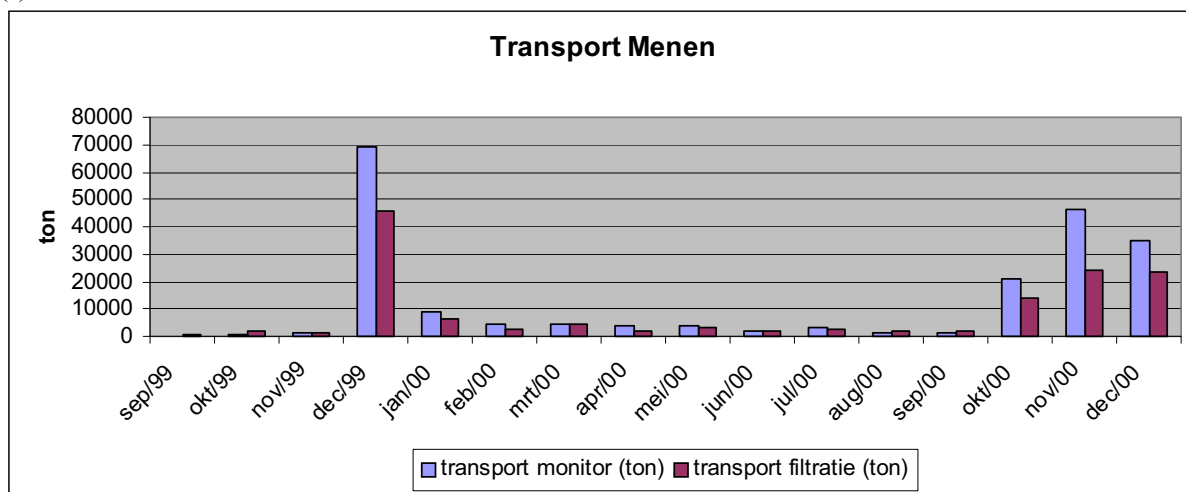
Op de meetpost te Menen gedraagt de turbiditeitsmeter zich ogenschijnlijk omgekeerd als op de andere meetposten. Bij lage concentraties onderschat deze monitor de waarden en bij hogere concentraties overschat hij de waarden. Dit klopt echter maar half, want bij een meer gedetailleerde studie van de overschattingen blijkt dat de turbiditeitsmeter voor pieken zorgt wanneer noch debiet, noch filtratie daar enige oorzaak voor aantonen.

De onderschatting bij de zomer en herfst maanden gebeurt echter continue en zonder een duidelijke oorzaak (zie Figuur 9.22).

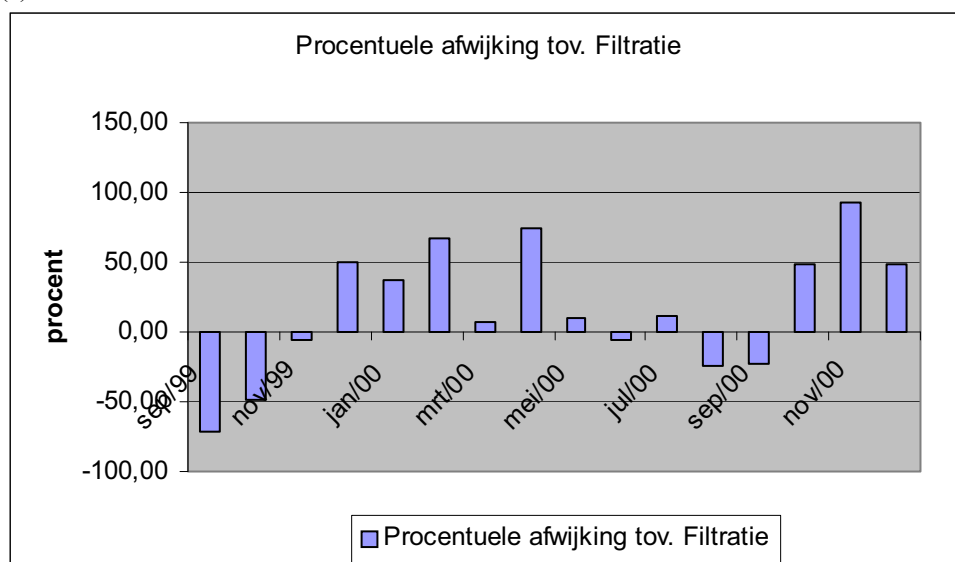
In verhouding zijn de afwijkingen tussen filtratie en monitoringgegevens te Menen in vergelijking met de andere stations nog behoorlijk mee te vallen. Er is een behoorlijke korrelatie mogelijk tussen de twee methodes voor dit station (zie Figuur 9.23).

Figuur 9.22: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Menen, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

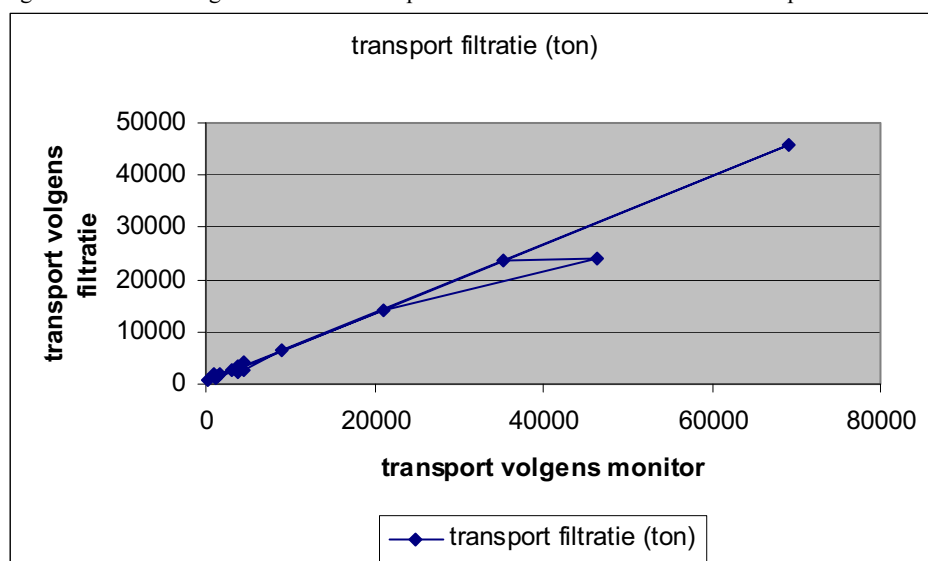
(a)



(b)



Figuur 9.23: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Menen via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



9.5.5 Itegem

Tabel 9.7: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Itegem bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in paars zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
mrt/00	2702,437	323,7505
apr/00	1262,852	450,2942
mei/00	1229,002	562,8282
jun/00	2120,183	393,5371
jul/00	5117,342	75754
aug/00	2035,797	653,9823
sep/00	3824,783	657,465
okt/00	4384,444	13137,75
nov/00	4518,265	5758,795
dec/00	5769,854	1516,887
totaal gemeten transport van maart 2000 tot december 2000	32964,96	99209,29

Uit Tabel 9.7 kan afgeleid worden dat de waarde van de totale sedimentconcentratie in de meetpost te Itegem hoger is wanneer deze met de filtratiemethode bepaald wordt dan wanneer men gebruikt maakt van de monitor. De monitor waarde is slechts 33% van de filtratiewaarde.

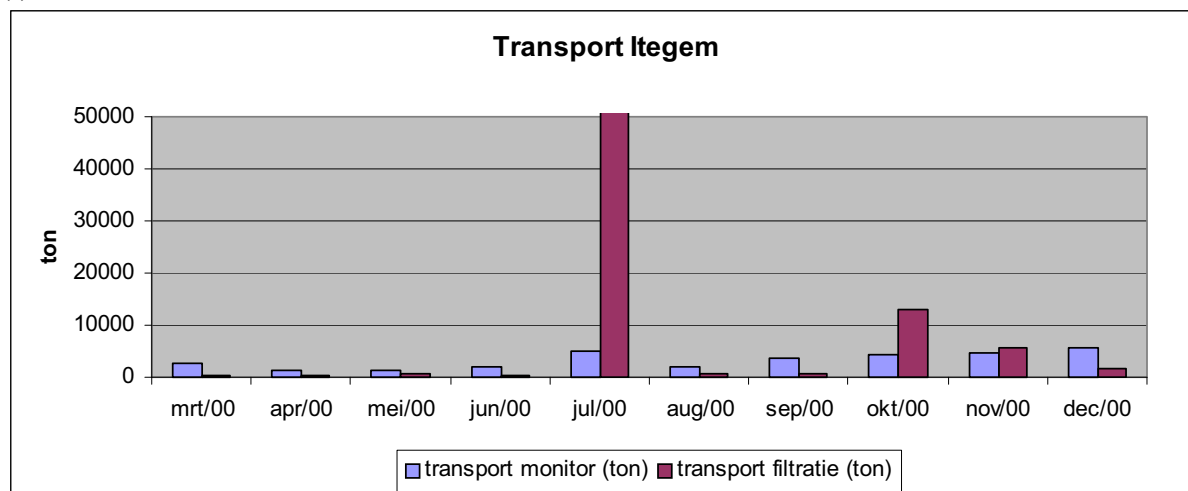
Nochtans wordt de concentratie de meeste maanden overschat door de monitor (zie Figuur 9.24). Enkel bij de maanden juli, oktober en november 2000 gebeurt er een onderschatting. In de maand juli wordt de sedimentconcentratie maar liefste 15 keer onderschat. De oorzaak daarvan is een enorme sedimentpiek die op de laatste dagen van de maand plaatsvond en niet door de monitor geregistreerd werd wegens een technisch defect. Eenzelfde probleem stelde zich in de maand oktober. Er kan echter aangenomen worden dat dergelijke hoge concentratie hoe dan ook door de monitor zou onderschat geweest zijn.

Dit wordt bevestigd door de resultaten in de maand november 2000, waarin er geen technische defecten waren, en er inderdaad een onderschatting werd opgemeten bij de grootste sedimentconcentraties.

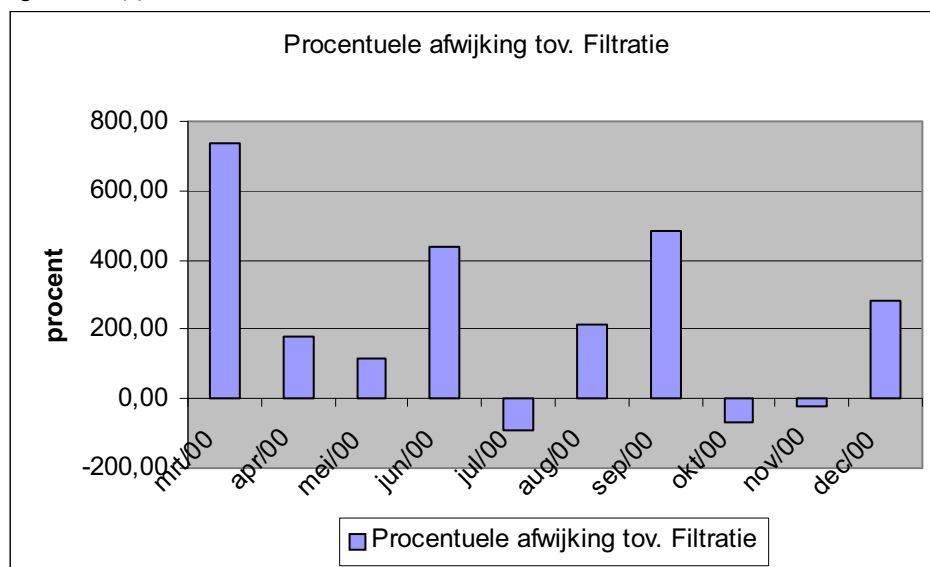
Van een goede korrelatie tussen de waarden is dus geen sprake (zie Figuur 9.25)

Figuur 9.24: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Itegem, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

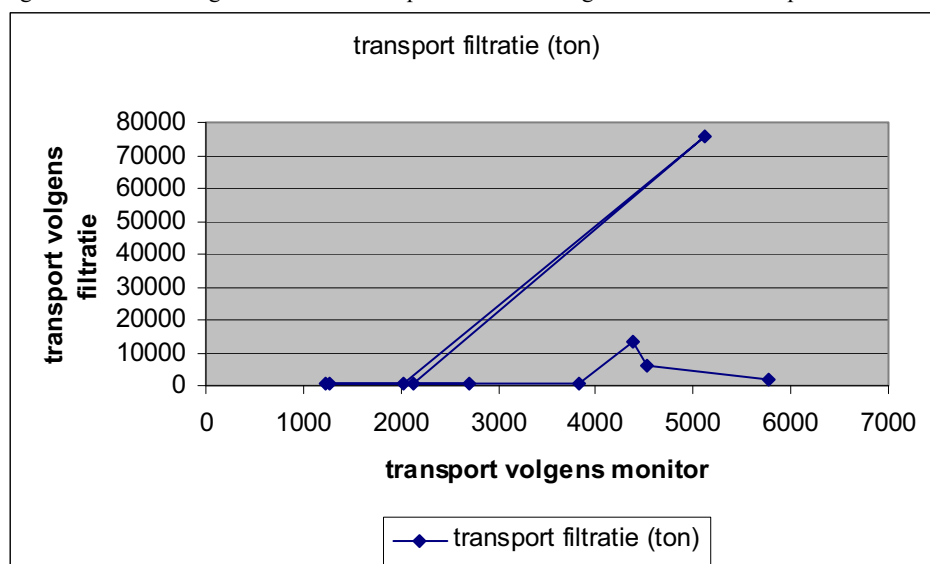
(a)



Figuur 9.24 (b)



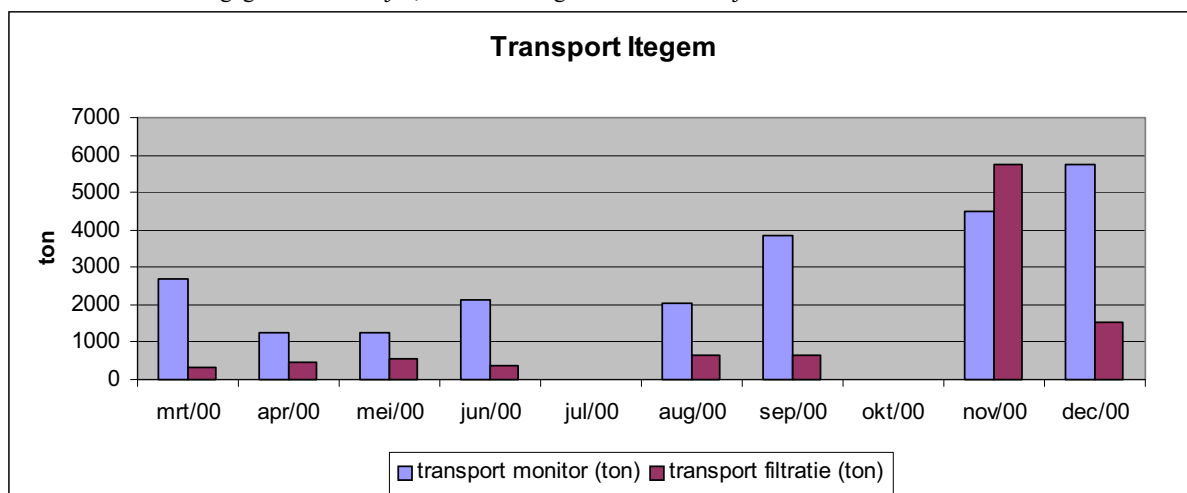
Figuur 9.25: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Itegem via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



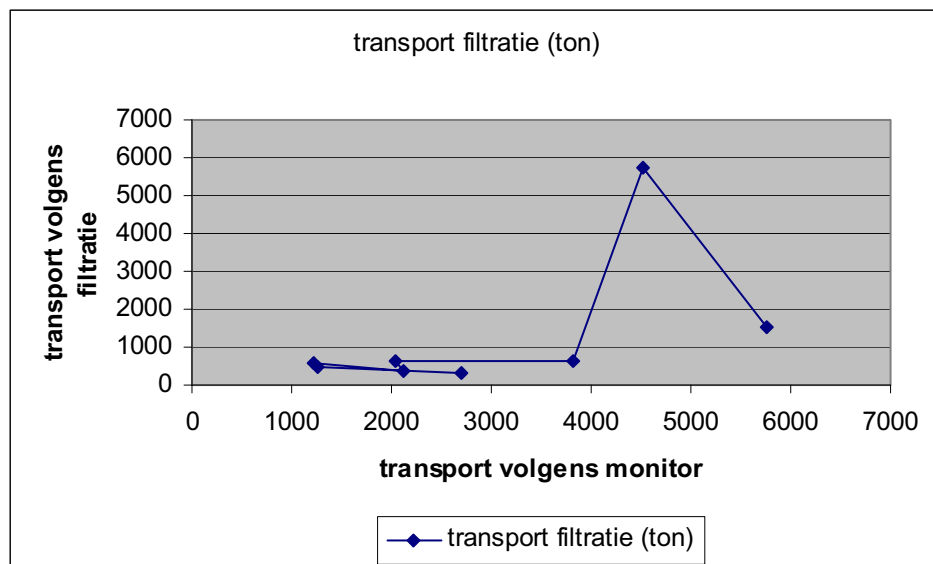
Wanneer de maanden juli en oktober 2000 uit de meetreeks gehaald worden, omdat ze wegens het technisch defect van de monitor geen juiste weergave tonen van de prestatie van de monitor, dan blijkt de monitor de filtratiewaarden zelfs te overschatten met zo'n 27% (zie Figuur 9.26). Deze overschatting is te wijten aan een continue overschatting gedurende alle maanden, met uitzondering van de maand november waar een concentratiepiek ernstig onderschat werd. De 27% afwijking op het jaardebiet is dus verwonderlijk klein.

De korrelatie tussen de monitor en filtratiewaarden blijft pover (zie Figuur 9.27).

Figuur 9.26: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Itegem, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds, met uitsluiting van de maanden juli en oktober 2000.



Figuur 9.27: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Itegem via filtratie ten opzichte van deze via de monitor met uitsluiting van de maanden juli en oktober 2000.



9.5.6 Overboelare

Uit Tabel 9.8 kan een algemene trend afgeleid worden dat de monitorwaarde in de meetpost te Overboelare een onderschatting van de voorbijstromende sedimentconcentratie maakt ten opzichte van de filtratiewaarde. Het sedimenttransport bepaald met de monitor is slechts 63% van de waarde bepaald aan de hand van filtratie.

De enige maand waarin een lichte overschatting plaatsvindt is de maand november 2001. Dit is echter ter wijten aan het ontbreken van de filtratiedata van de dagen 9 tot 12 november. Hierin kwam een lichte sedimentpiek voor en deze werd wel geregistreerd door de monitor (zie Figuur 9.28)

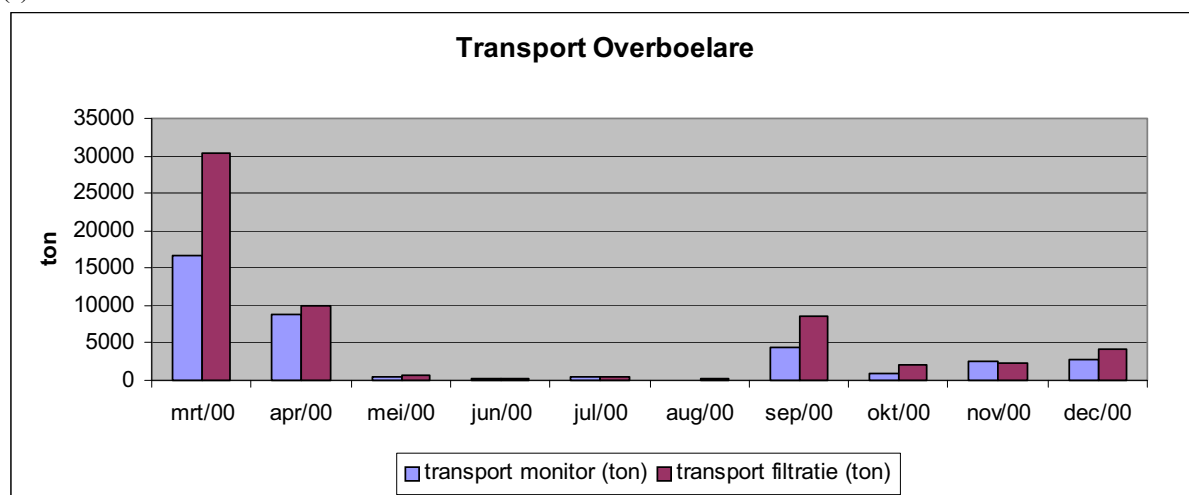
Tabel 9.8: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Overboelare bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in paars zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

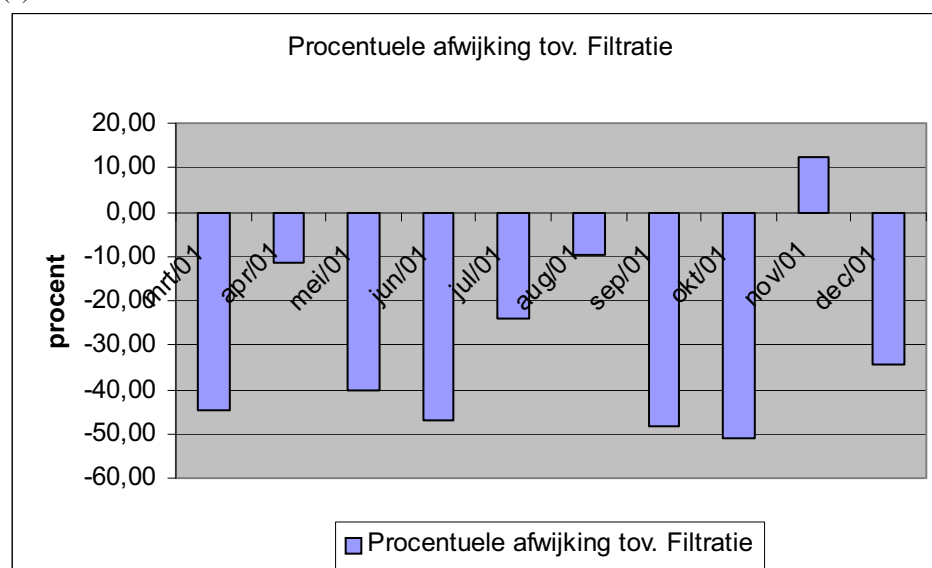
maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
mrt/01	16726,610	30353,208
apr/01	8787,513	9910,104
mei/01	393,721	658,881
jun/01	163,350	306,864
jul/01	412,944	542,315
aug/01	113,292	125,143
sep/01	4478,833	8655,518
okt/01	1021,844	2080,225
nov/01	2476,888	2202,316
dec/01	2783,946	4229,402
totaal gemeten transport van maart 2001 tot december 2001	37358,941	59063,977

Figuur 9.28: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Overboelare, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

(a)



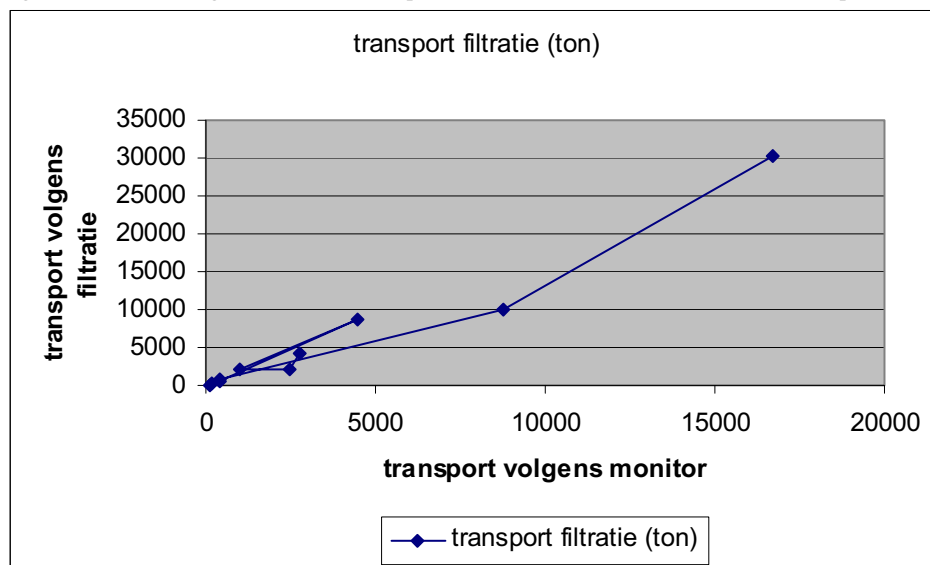
(b)



c

De trend is dus een onderschatting door de monitor en deze dient dus dringend geherkalibreerd te worden. Toch blijkt zich een relatief goede correlatie tussen de waarden voor te doen (zie Figuur 9.29).

Figuur 9.29: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Overboelare via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



9.5.7 Aarschot

Tabel 9.9: Verschil in maandtransport voor de meetpost te Aarschot bij gebruik van concentratiewaarden verkregen door filtratie en verkregen door monitoring.

Legende: waarden in paars zijn de waarden met de hoogste transportwaarden van die maand.

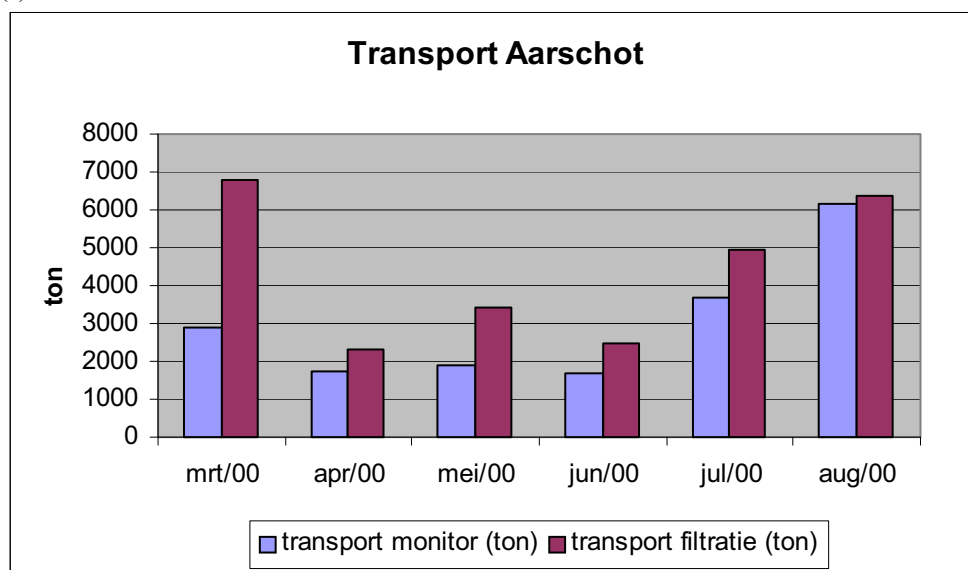
maand/jaar	transport monitor (ton)	transport filtratie (ton)
jul/00	2896,281	6771,555
aug/00	1755,67	2338,699
sep/00	1899,713	3434,275
okt/00	1699,554	2488,728
nov/00	3691,001	4946,202
dec/00	6149,781	6376,931
totaal gemeten transport in 2000 (partieel)	18092	26356,39

Tabel 9.9 toont de algemene trend die de monitor op de meetpost te Aarschot vertoont, namelijk een onderschatting van de voorbijstromende sedimentconcentratie tijdens alle maanden (zie Figuur 9.30). Het sedimenttransport bepaald met de monitor is slechts 69% van de waarde bepaald aan de hand van filtratie.

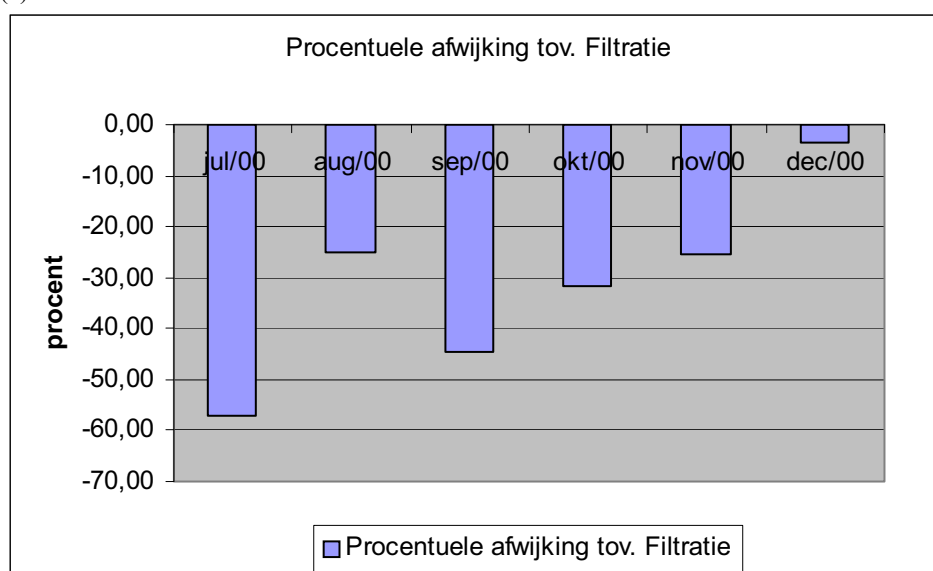
De trend kan dus eenvoudigweg worden samengevat als een onderschatting, en de monitor dient dus dringend geherkalibreerd te worden. Een correlatie tussen de waarden kan dus ook niet gedetecteerd worden (zie Figuur 9.31).

Figuur 9.30: Voorstelling van het maandtransport voor de meetpost te Aarschot, berekend uit filtratiegegevens enerzijds en monitorgegevens anderzijds (a) en voorstelling van de procentuele afwijking van de transportwaarden berekend met de monitor ten opzichte van deze berekend met filtratie (b).

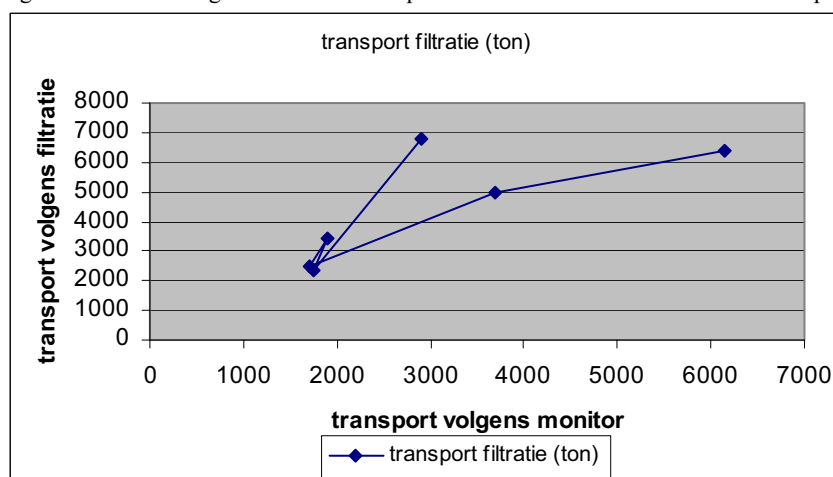
(a)



(b)



Figuur 9.31: Uitzetting van de maandtransportwaarden te Aarschot via filtratie ten opzichte van deze via de monitor.



9.5.8 Algemeen besluit

Voor de meeste turbiditeitsmeters (met de uitzondering van de turbiditeitsmeter op de meetpost in Menen) geldt het principe van onderschatting van hoge sedimentconcentraties en overschatting van lage concentraties bij de transporthoeveelheden afgeleid uit de turbiditeitsmeting.

Dit laatste zou eventueel te verklaren zijn door de invloed van het daglicht bij lage sedimentconcentraties (zie punt 8.3.1.3.4)

Dit leidt in de meeste gevallen tot een uiteindelijke onderschatting van het sedimenttransport.

Dit probleem is niet eenvoudigweg op te lossen, maar kan eventueel wel verminderd worden door een betere kalibratie. Zo werd eerder aangetoond (zie punten 7.3.2 en 8.3.3) dat het toestel door te grote datalogger-stappen ongevoelig werd voor lage concentraties en bij hoge concentraties moeilijk te ijken viel (zie punt 8.3.1.3.3.2). Een verbetering op dit vlak en eventueel verwijderen van fouling en drifting fouten (zie punten 8.3.1.3.1 en 8.3.1.3.3) zouden kunnen leiden tot een verbetering van de inschatting van de sedimentconcentraties met behulp van de monitor.

Deze kalibraties zijn meetpost-gebonden, waardoor individueel betere waarden zouden moeten gevonden worden.

9.6 Dubbel-logaritmische translaties

Een aantal auteurs (Horowitz, 1992; Horowitz, pers. com., 2003; Asselman, 2000) vermelden dat een logaritmische translatie van de gegevens nodig is om een goede trend te vinden.

Asselman vermeldt dat de meest gebruikte doos-vergelijking bij sedimentcurven een machtsvergelijking is:

$$C = aQ^b$$

waarin: C = concentratie aan sediment in suspensie (in mg/l)

a, b = regressiecoëfficiënten

Q = debiet (in m³/s)

In de meeste studies worden de regressiecoëfficiënten gevonden door een eenvoudige regressie of logaritmering van concentratie en debietdata.

$$\log C = \log a + b \log Q + \log \varepsilon$$

waarin: C = concentratie aan sediment in suspensie (in mg/l)

a, b = regressiecoëfficiënten

Q = debiet (in m³/s)

ε = logaritmisch normaalverdeelde fout

Daarom zijn we in de volgende stap overgegaan tot dubbel-logaritmeren van de gegevens: zowel de debiet als de concentratiedata worden gelogaritmeerd.

Deze gegevens worden getoond in Figuur 9.31.

Uit Figuur 9.32 kunnen een aantal interessante conclusies getrokken worden.

- Zo zien we dat de goede correlatie tussen debiet en concentratie voor de meetposten te Grobbendonk en Aarschot ook blijven bestaan wanneer men zowel het debiet als de concentratie logaritmeert. Er is wel een kleine groep punten in de grafiek voor de meetpost Grobbendonk die ietwat uit de algemene trend ligt.
- De correlatie is echter niet sterk verbeterd voor de meetposten Menen en Overboelare. De trends zijn wel aanwezig maar er is duidelijk nog een redelijk grote spreiding in de punten.

- Daarnaast is de korrelatie tussen log debiet en log concentratie voor de overige meetposten met de extra logaritmering wel iets verbeterd, maar niet spectaculair ten opzichte van de enkelvoudige logaritmering van de concentratie.
- De drievoudige trend is nauwelijks nog zichtbaar in de grafiek voor de meetpost te Haacht.
- Algemeen kan men zeggen dat logaritmering inderdaad helpt om trends beter te kunnen vaststellen en dus doos-vergelijkingen op te stellen.

Arthur Horowitz (Horowitz, 2003) beschrijft hoe men op verschillende manieren van regressie (lineaire regressie, tweede-orde polynomiale regressie, derde-orde polynomiale lineaire regressie en 'uitgesmeerde' lineaire regressie) tot een doos-vergelijking komt, die in mindere of meerdere mate in staat is om het ware sedimenttransport te berekenen.

De doelstelling van de opstelling van dergelijke doos-vergelijkingen is het kunnen inschatten van het sedimenttransport wanneer geen effectieve sedimentconcentraties gekend zijn, wegens het ontbreken van monsters.

Deze curven gaan meestal echter een over- of onderschatting maken van het totale sedimenttransport. Normaliter is de afwijking kleiner dan 20 %, maar deze kan door precieze keuze van de bemonsteringstijdstippen verder achteruit gedrongen worden.

Belangrijk is dat men bij de bemonstering 85 tot 90% van de jaarlijkse debieten bemonstert. Het is dus nodig om zowel bij zeer kleine als bij zeer grote debieten te bemonsteren.

Aangezien grote debieten meestal gepaard gaan met stormen, zijn deze bemonsteringsmomenten moeilijk op voorhand te plannen, wat bemonstering niet altijd even eenvoudig maakt.

Daarnaast is het ook belangrijk om de eerste 'flush' te bemonsteren. De flush is de eerste grote hoeveelheid sediment die door de rivier meegesleurd wordt wanneer er een grote debiettoename plaatsvond.

Rivieren die een sterk flush-karakter vertonen kennen koude winters en worden in de zomer door zomerstormen geteisterd, waardoor ze dan grote sedimentconcentraties gaan vervoeren. In België is dat niet meteen het geval, maar dat betekent niet dat ook hier niet een moment van eerste flush optreedt, en dat dit niet een belangrijk percentage van het totale sedimenttransport van die sedimentpiek vertegenwoordigt.

Dit moment van eerste flush kan makkelijk opgemerkt worden door de turbiditeitsmeters. Hoe dan ook blijft het niet makkelijk om op het juiste moment de bemonsteringen uit te voeren.

Horowitz gebruikt ook verschillende methodes van bemonstering.

Een eerste methode (Horowitz et.al., 1992) bestaat eruit dat men composietmonsters oppompt. Dit betekent dat men op regelmatige intervallen (bijvoorbeeld om het uur) een bepaalde hoeveelheid water oppompt in een reservoir. Na een bepaalde periode (bijvoorbeeld 10 dagen) komt men dit reservoir vervangen.

De concentratie die uit dit composietmonster wordt bepaald moet dan een juist gewicht toegekend krijgen die overeen komt met het percentage van het jaardebiet dat in die tien dagen doorheen de rivier gestroomd is.

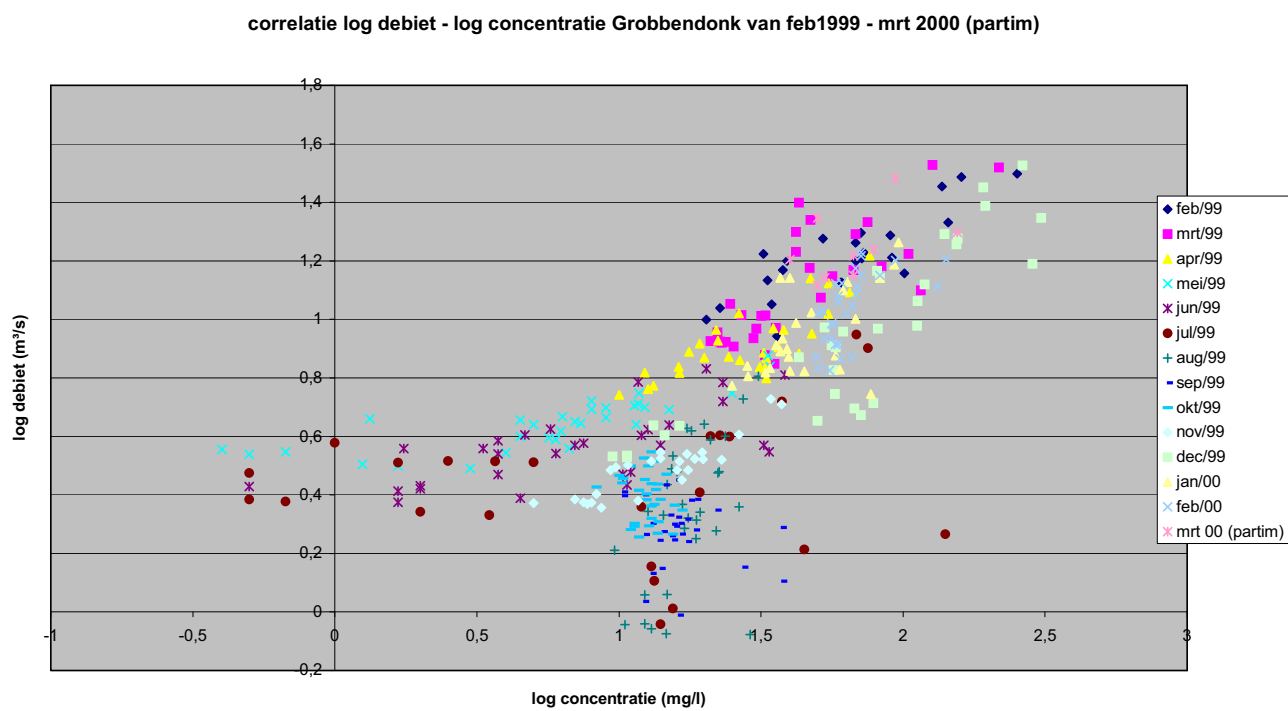
Bij een andere methode (Horowitz, 1995, Horowitz 2003) worden wekelijks of dagelijkse monsters genomen, tegelijk met een debietmeting. Deze puntmonsters worden wel liefst met diepte- of puntintegrerende samplers uitgevoerd. Er wordt dan een gehele verticale bemonsterd.

Er zijn evenwel ook dagelijkse metingen uitgevoerd een halve meter onder hater wateroppervlak. Ook deze puntmetingen worden vermenigvuldigd met de daarbij horende debietwaarden, waardoor met debiet-gewogen concentraties gewerkt kan worden.

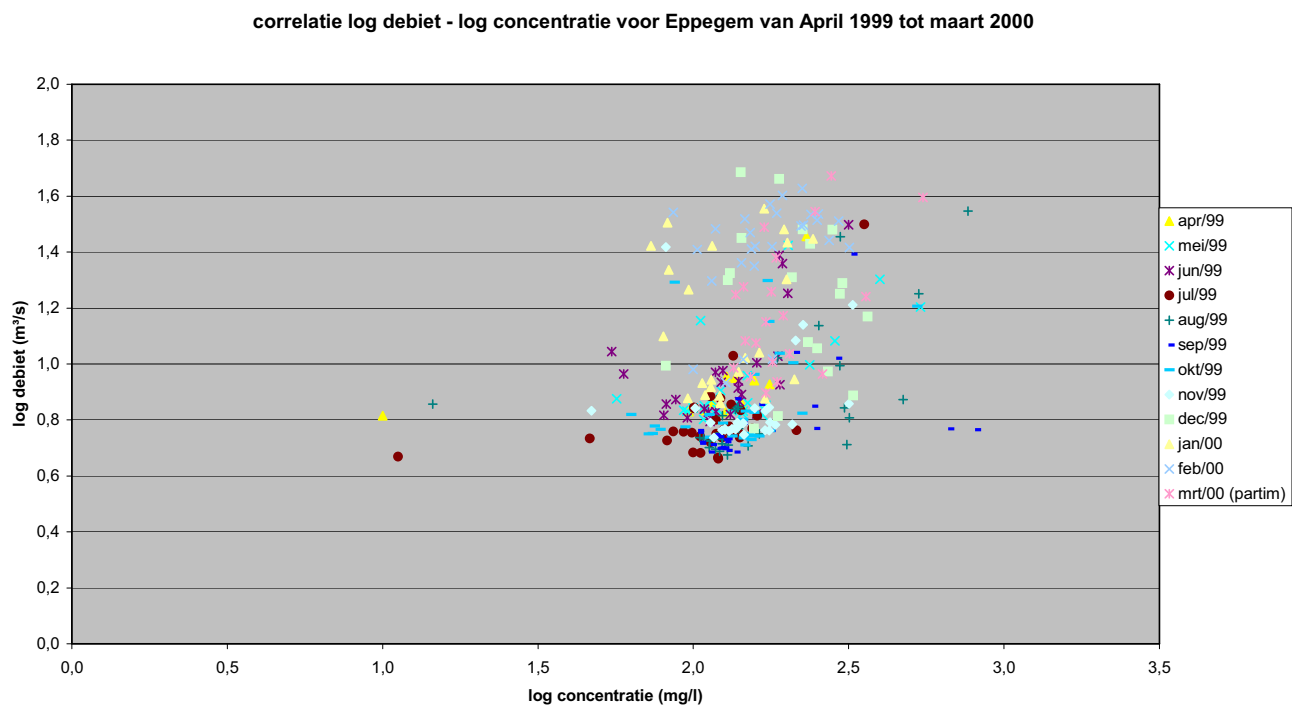
Figuur 9.32: zie pagina 174 tot 180

Dubbel-logaritmische korrelatie: korrelatie log debiet – log concentratie voor de verschillende meetposten. De concentraties aan sediment in suspensie werden bepaald door middel van filtratie van de monsters die verkregen waren met de automatische pompsampler.

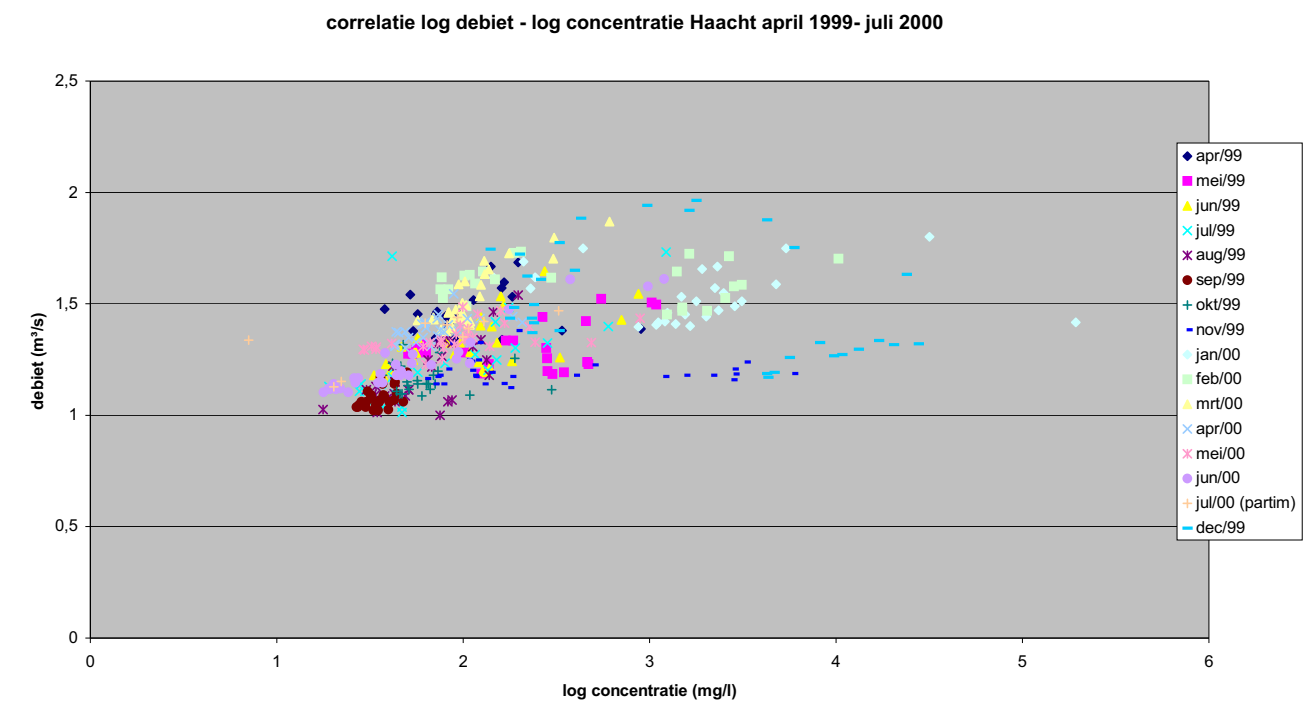
Figuur 9.32



Figuur 9.32 (vervolg)

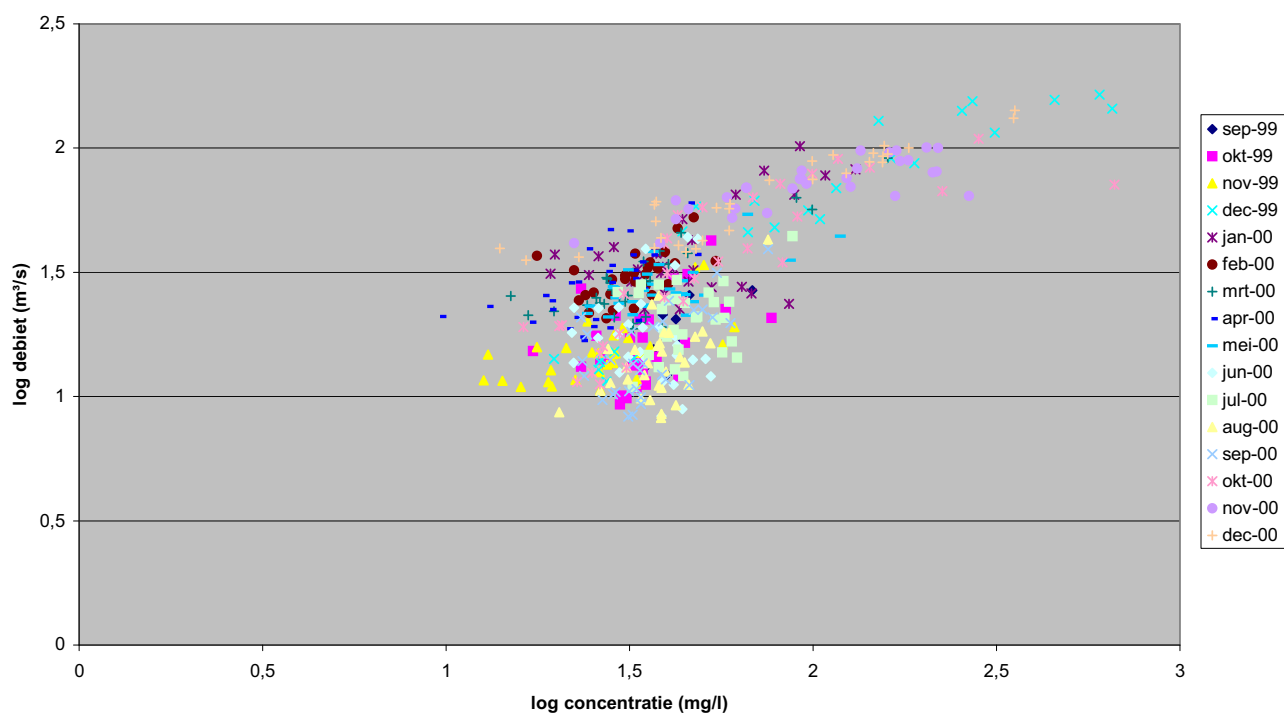


Figuur 9.32 (vervolg)



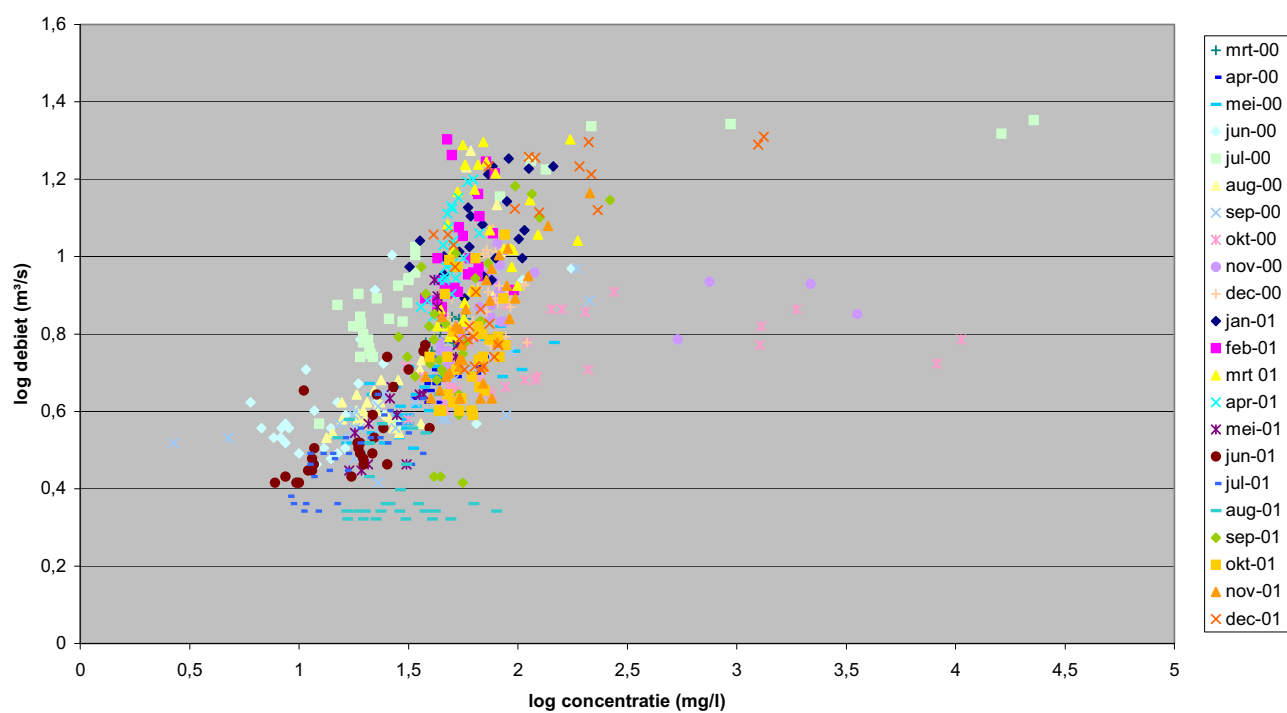
Figuur 9.32 (vervolg)

correlatie log debiet - log concentratie Menen september 1999- december 2000

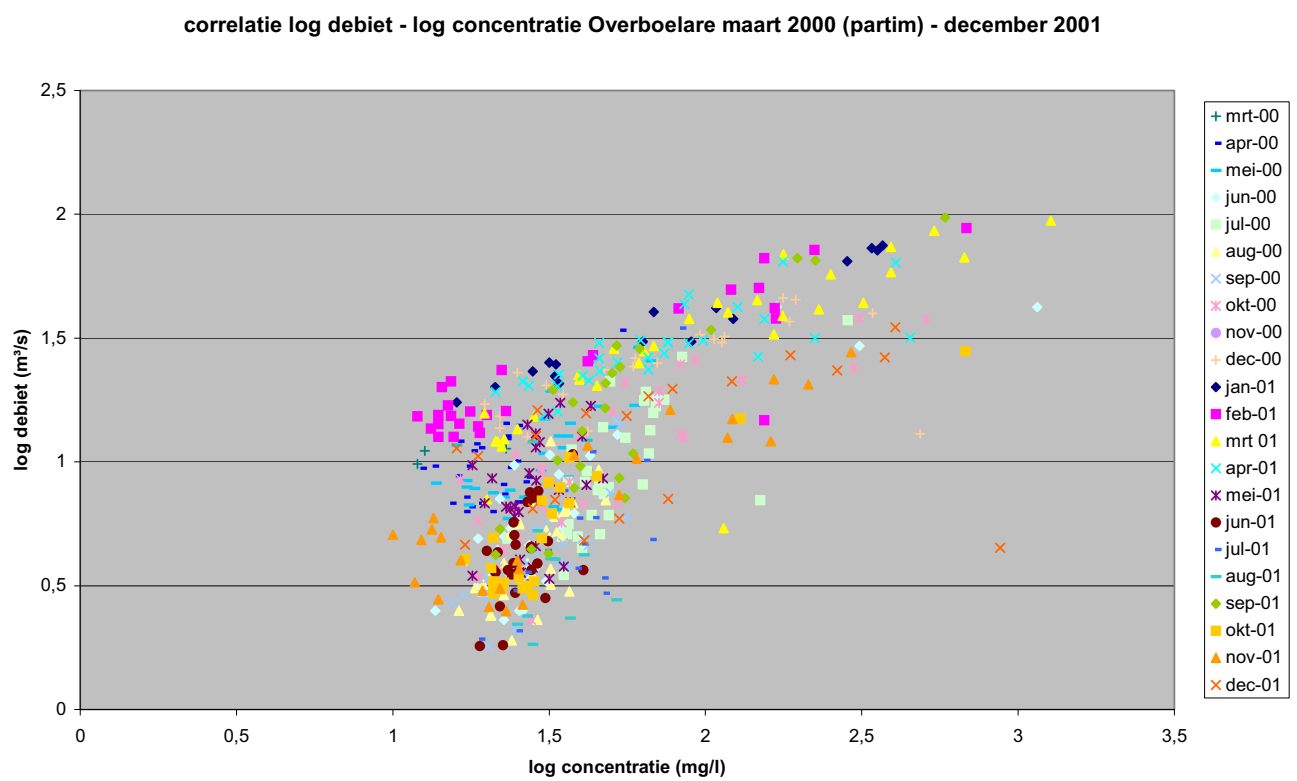


Figuur 9.32 (vervolg)

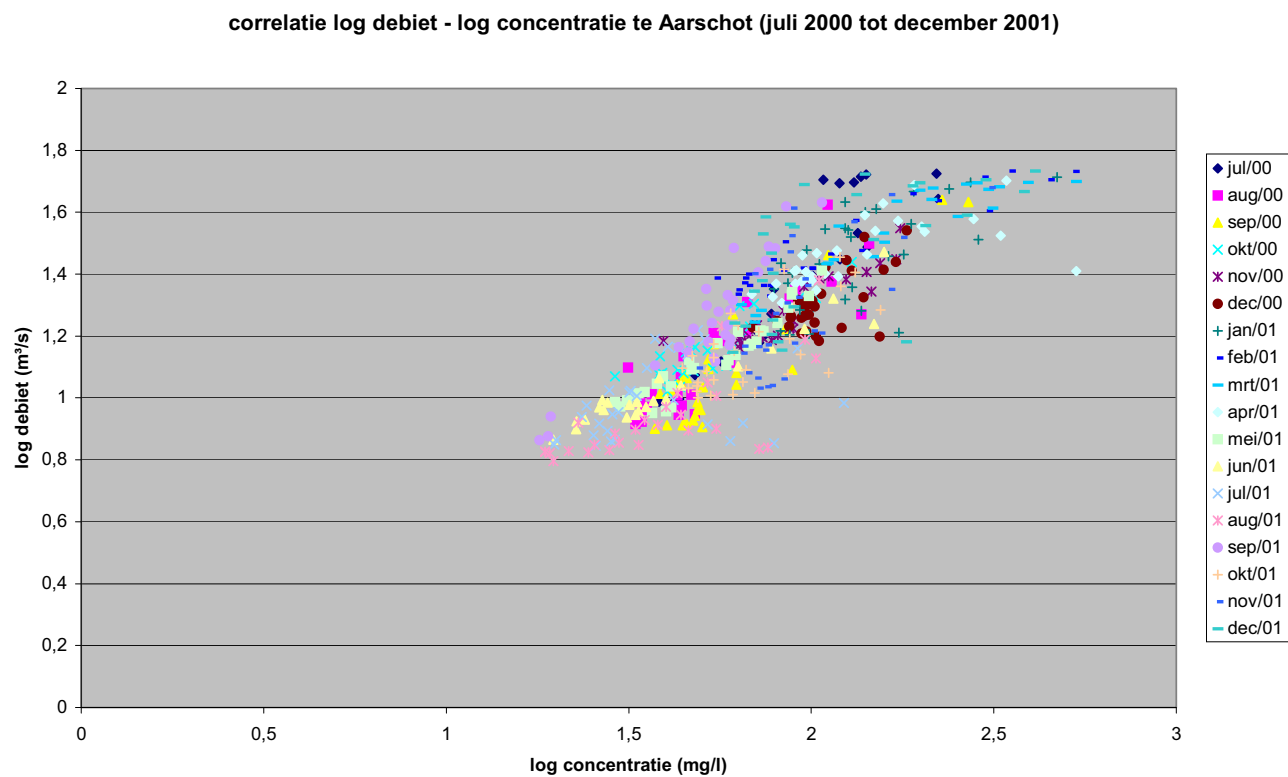
correlatie log debiet - log concentratie Itegem maart 2000 (partim) - december 2001



Figuur 9.32 (vervolg)



Figuur 9.32 (vervolg)



De combinatie van monstername en een goed opgestelde curve zijn dus zeer belangrijk om uiteindelijk een goede inschatting te kunnen maken van het totale sedimenttransport.

Gedurende de uitwerking van dit eindwerk werd op regelmatige basis contact gezocht met A. Horowitz. Er zijn reeds afspraken gemaakt tot verdere samenwerking. Eén van de punten die hierbij zeker behandeld zal worden is de opstelling van deze doos-vergelijkingen voor de verschillende meetposten.

Als voorbeeld heeft A. Horowitz de resultaten van twee meetposten al eens aan verschillende regressies onderworpen. De hiervoor uitgekozen meetposten waren Grobbendonk en Haacht. Grobbendonk omdat deze één van de betere trends vertoonde (zowel bij lineaire, logaritmische als dubbel-logaritmische grafieken) en Haacht omdat deze een moeilijker geval was. Dit kwam ook naar voor uit de resultaten die A. Horowitz kon voorleggen.

9.6.1 Grobbendonk

Horowitz ging hier als volgt te werk:

- In de eerste plaats zette hij gemiddelde dagdebieten en gemiddeld dagtransport uit voor een heel jaar (zie Figuur 9.33). Hieruit werd het totale jaartransport gehaald: in dit geval bedroeg dit 15,9 Mton. Dit werd trouwens eerder ook al uitgerekend (zie Tabel 9.2).
- Vervolgens trachtte hij dit getal zo dicht mogelijk te benaderen door voor deze gegevens een doos-vergelijking te vinden die het transport zo goed mogelijk voorspelt.

Horowitz heeft hiervoor vier verschillende regressiemethoden gebruikt namelijk :

- o Lineaire regressie → voorspelling: 11,9 Mton
- o Gecorrigeerde lineaire regressie → voorspelling: 15,4 Mton
- o Polynomiale regressie → voorspelling: 17,0 Mton
- o Gecorrigeerde polynomiale regressie → voorspelling: 21,3 Mton

Hoewel de 2^{de} orde polynomiale regressie er betere fit lijkt te vertonen (zie Figuur 9.34), overschat hij het transport voor dit jaar. De beste overeenkomst werd gevonden door een gecorrigeerde ‘uitgesmeerde’ lineaire regressie te gebruiken. Hierbij wordt slechts een onderschatting gemaakt van - 3% (zie Figuur 9.34).

Wanneer het voorspelde transport (met uitgesmeerde lineaire regressie) wordt uitgezet ten opzichte van het echte transport (zie Figuur 9.35) dan valt vooral op dat de pieken worden onderschat en de lage waarden overschat. Dit is een typisch probleem bij het opstellen van dergelijke curves. De resolutie in de tijd die wenst behaalt te worden is daarom zeer belangrijk. De dataset is in dit geval ruim voldoende om het jaartransport zeer nauwkeurig in te schatten, maar om het gemiddelde dagtransport in te schatten zou deze niet volstaan.

Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met het feit dat de berekeningen uitgevoerd zijn op gegevens die nog niet op een juiste manier gecorrigeerd zijn voor dwarsdoorsnede en opzuigefficiëntie (zie punt 7.2.2.5.2 en 7.2.2.5.3). Het ware transport en de gebruikte regressievergelijking zouden wel eens anders kunnen zijn nadat de dataset gecorrigeerd is.

9.6.2 Haacht

Aangezien we dataset van Haacht er niet zo ‘mooi’ uit ziet als die te Grobbendonk verwachten we een minder nauwkeurige inschatting van het totaaltransport.

Dit gebeurt ook effectief: het ware transport wordt 19% overschat. Bij nader onderzoek kwam aan het licht dat periode tussen 22/11/99 en 13/12/99 daar voor het grootste deel verantwoordelijk voor is. Het debiet is daar op bepaalde momenten erg laag, maar de concentraties zijn er erg hoog. Dit probleem werd al eerder aangekaart in punt 9.4.2.3.

Hoe dan ook mag hier besloten worden, dat opnieuw rekening houdend met de nog niet uitgevoerde correcties, men een nauwkeurigheid kan bekomen van meer dan 80 %. Dit is nog aanvaardbaar, zeker als men beseft dat de meteorologische gegevens aantoonde dat de maand december een uitzonderlijke maand was, waardoor deze eventueel op een aparte manier in rekening gebracht zou kunnen worden, in plaats van samen met de andere maanden in één regressievergelijking.

9.6.3 Besluit

Wanneer, met behulp van automatische pompsamplers, op een correcte manier en op correcte tijdstippen bemonsterd wordt, is het mogelijk om met behulp van doos-vergelijkingen een goede inschatting te maken van het jaartransport dat in suspensie voorbijstroomt.

De vraag die zich hierbij stelt is de gewenste nauwkeurigheid.

Hiervoor is het interessant om te beseffen dat 1 mg/l, de gebruikte eenheid voor concentratie gelijk staat aan 100 ton vervoerd over $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ afvoer.

Als men dan weet dat de Boven-Schelde $3200 \times 10^6 \text{ m}^3$ per jaar afvoert, stelt 1 mg/l dus eigenlijk 3200 ton voor. Dit is minder dan een lading van één baggerboot.

De gewenste nauwkeurigheid voor een doosvergelijking hangt dus af van de hoeveelheid sediment die jaarlijks door de rivier getransporteerd wordt. Hoe kleiner die hoeveelheid is, hoe minder zwaar de eisen kunnen zijn die aan de nauwkeurigheid gesteld worden.

De nauwkeurigheid is evenredig met het aantal bemonsteringen. Hoe vaker er monsters genomen worden, hoe nauwkeuriger het transport bepaald kan worden, maar tevens hoe hoger de kostprijs wordt. Wanneer de automatische pompsampling methode optimaal werkt, zal daarvan een inschatting gemaakt kunnen worden. Toch mag reeds een positieve houding aangenomen worden ten opzichte van dit systeem, aangezien nu al nauwkeurigheden van beter dan 80 % gehaald kunnen worden.

9.7 Relatie sedimentvracht – debiet en sedimentvracht – stroomsnelheid

Een andere manier om het sedimenttransport te visualiseren is deze uit te zetten als sedimentvracht (in g/s) ten opzichte van het debiet op lineaire manier (zie Figuur 9.36). Hierdoor wordt een veel betere trend verkregen dan het geval was voor de lineaire uitzetting van sedimentconcentratie ten opzichte van debiet (zie Figuur 9.3 en 9.4).

Dit valt te verklaren omdat hier eigenlijk aan auto-korrelatie wordt gedaan door sedimentvracht uit te zetten in plaats van sedimentconcentratie.

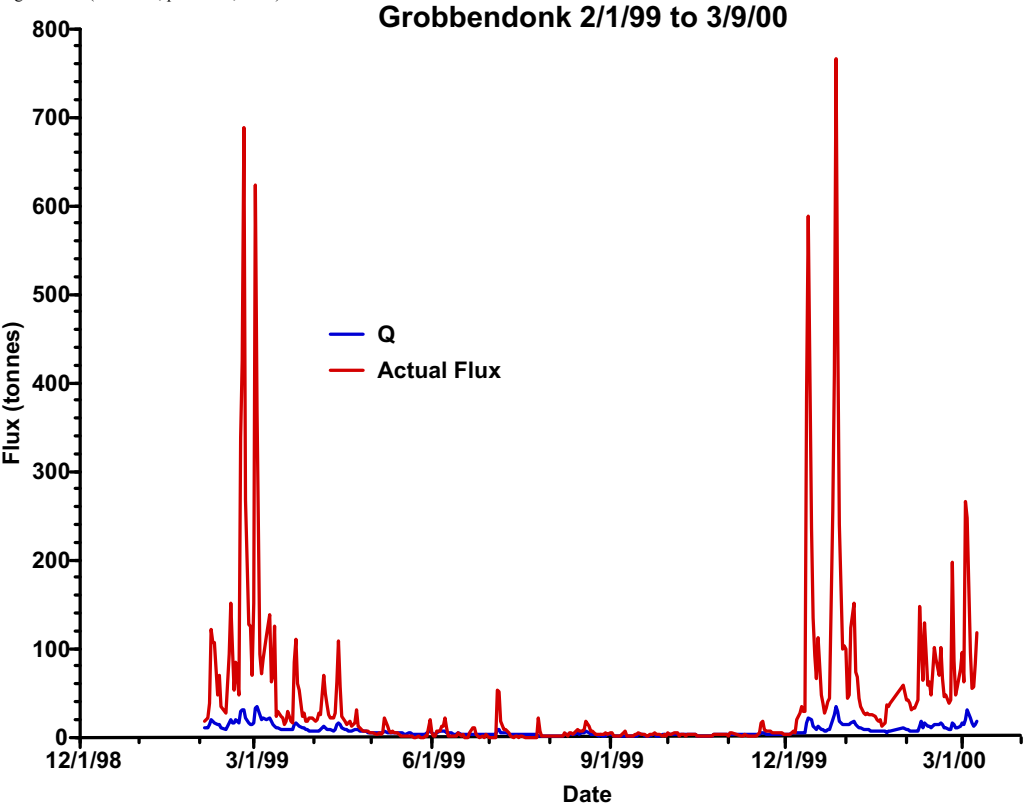
Deze zelfde opmerking geldt voor het uitzetten van sedimentconcentratie ten opzichte van stroomsnelheid (zie Figuur 9.37).

In beide grafieken (Figuren 9.36 en 9.37) valt op dat er een serieuze knik voorkomt in de trend. Dit betekent dat er tot een zekere stroomsnelheid en debiet (hier respectievelijk 0,7 m/s en $12 \text{ m}^3/\text{s}$) weinig sediment getransporteerd wordt en boven deze stroomsnelheid en debiet de grootste hoeveelheid sediment vervoerd wordt.

Deze waarneming wordt bevestigd door Huygens (Huygens et al., 2000). Hij bepaalde dat voor het Zwalmbekken 45% van het sedimenttransport gebeurde bij het top 1% van de debieten (zie Figuur 9.38).

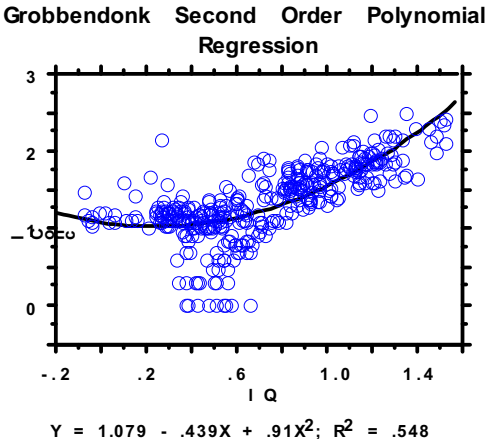
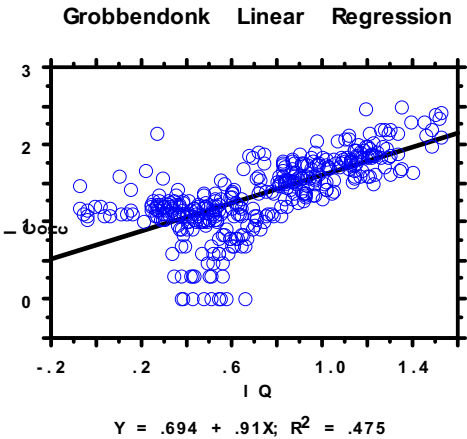
De knik in de stroomsnelheid – sedimentvracht grafiek stelt een kritische stroomsnelheid voor, namelijk de sleepsnelheid, waarbij het bodemmateriaal mee in transport gebracht wordt (zoals eerder vermeld in punt 9.4.4.3).

Figuur 9.33: (Horowitz, pers.com., 2003)

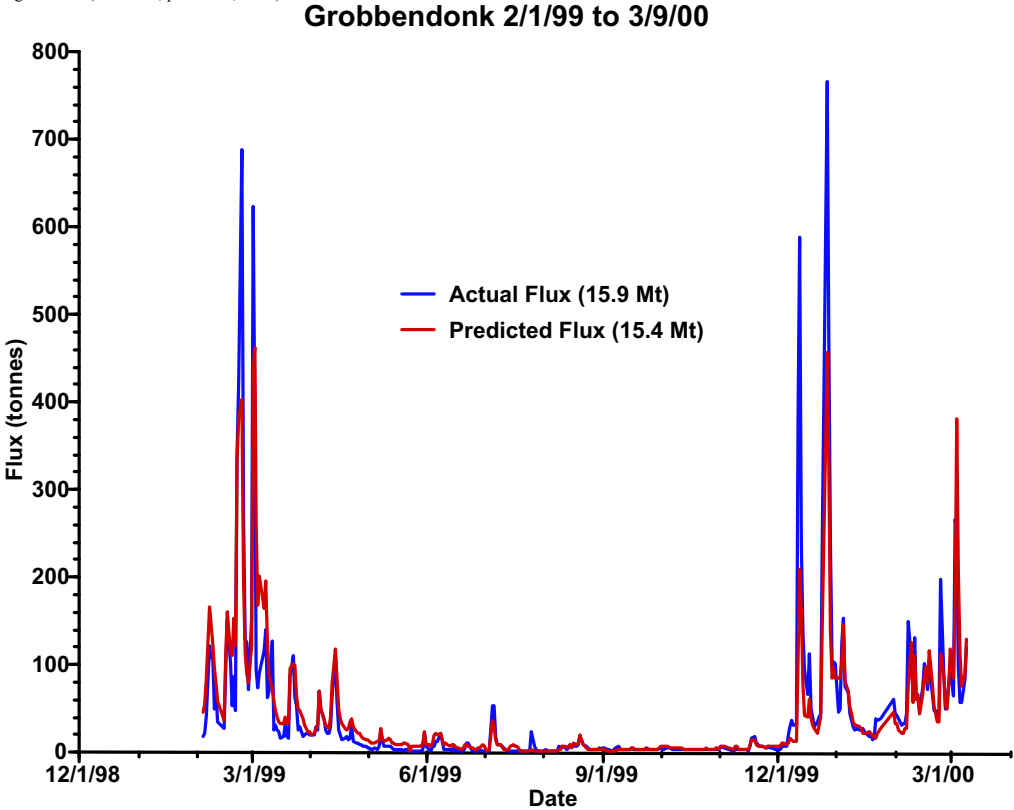


Figuur 9.34: (Horowitz, pers.com., 2003)

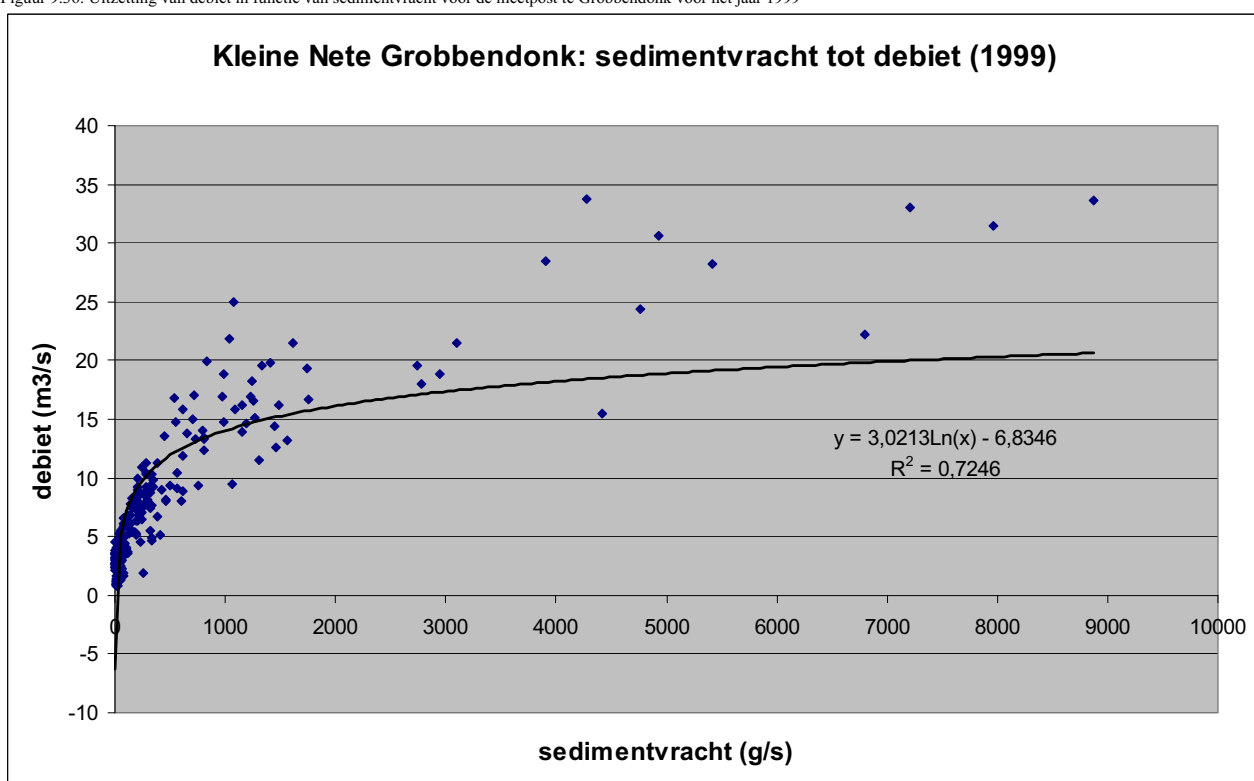
Grobbendonk 2/1/99 to 3/9/00
Regression Models



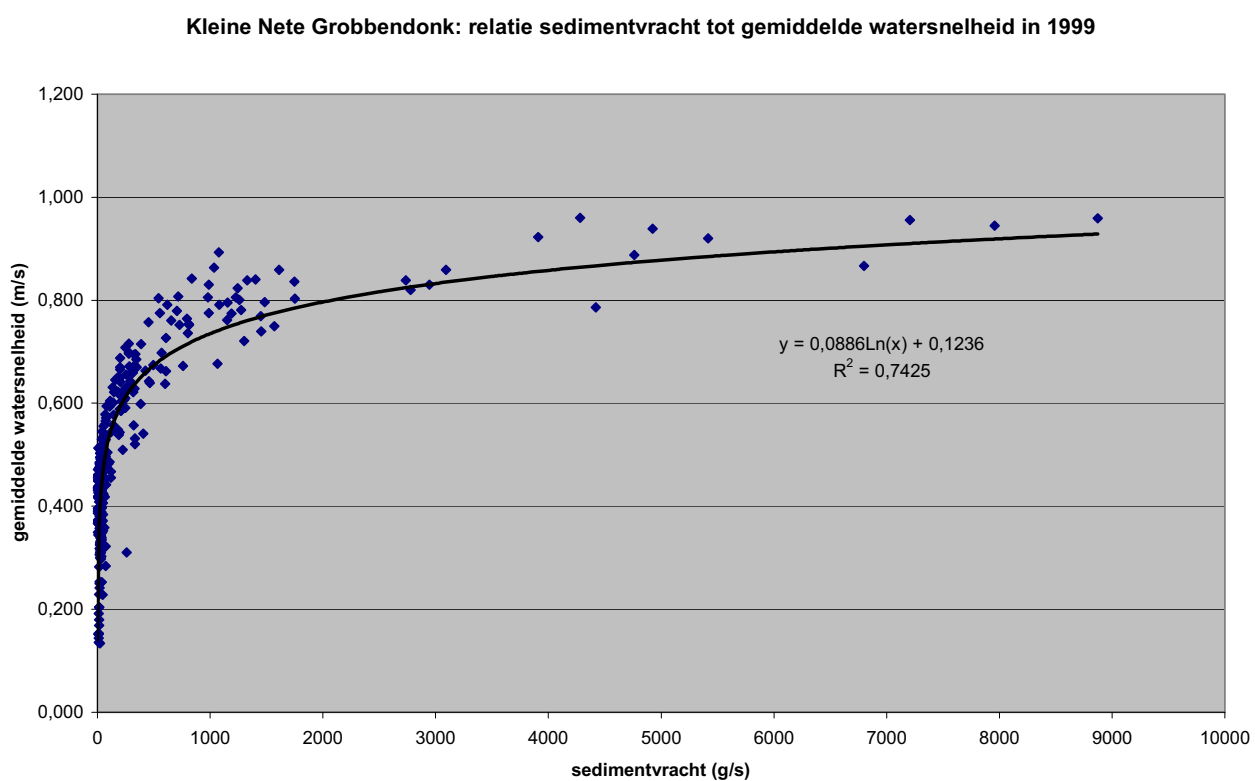
Figuur 9.35: (Horowitz, pers.com., 2003)



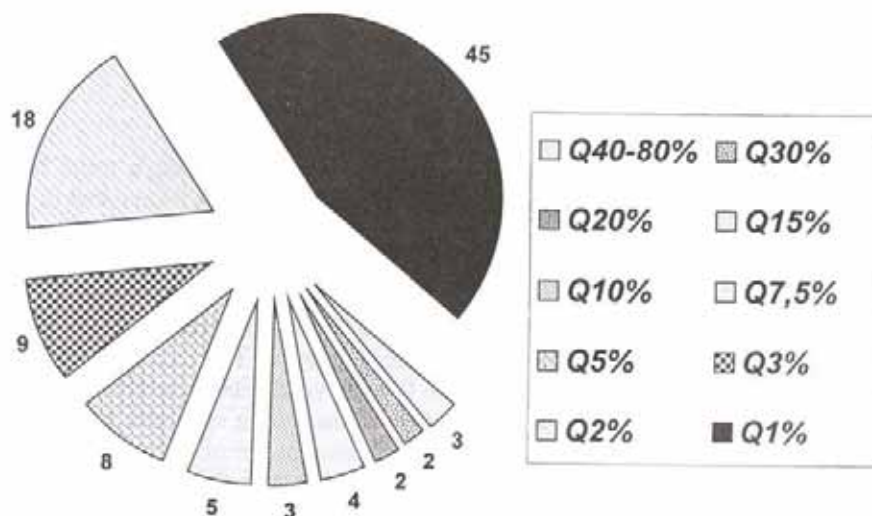
Figuur 9.36: Uitzetting van debiet in functie van sedimentvracht voor de meetpost te Grobbendonk voor het jaar 1999



Figuur 9.37: Uitzetting van stroomsnelheden in functie van sedimentvracht voor de meetpost te Grobbendonk voor het jaar 1999



Figuur 9.38: Sedimenttransport geassocieerd met debietpercentages (figuur uit Huygens et al., 2000)



In de meetposten te Overboelare en Menen is het mogelijk de stroomsnelheid af te leiden uit de aard van de debietmetingen die daar gebeuren. Op dit moment worden deze waarden nog uitgemiddeld tot uurwaarden, maar mits enkele aanpassingen is het mogelijk deze waarden elke twee minuten te registreren. In combinatie met een (goed gekalibreerde) monitor zou hierdoor de sleepsnelheid voor deze twee meetposten achterhaald kunnen worden. Dit is zeker een punt dat in de nabije toekomst onderzocht dient te worden.

9.8 Besluit

Dat er een **relatie** bestaat tussen **debiet** en **jaartransport** wordt in dit hoofdstuk duidelijk aangetoond. Deze relatie valt echter niet eenvoudigweg te kwantificeren.

Om deze relatie te vatten kon gebruik gemaakt worden van twee sets gegevens, namelijk deze afkomstig van de **monitor** en deze afkomstig van de **filtratie** van de opgepompte stalen. De monitorgegevens zijn echter minder nauwkeurig omdat deze aan meer fouten onderhevig waren dan de filtratiewaarden. Toch blijken voor beide gegevenssets een puntenwolk gegenereerd te worden wanneer debiet ten opzichte van concentratie op lineaire manier worden uitgezet.

De inbreng van **hydrologische factoren** zoals stijgend en dalende debietregimes brachten geen duidelijke verbeteringen in de trends teweeg, want leidt tot het besluit dat de oorzaken van de puntenwolk complexer zijn dan enkel te verklaren door de hydrologie.

Van echte **seizoenale trends** is eigenlijk geen sprake behalve dat de langdurige periodes met lage concentraties overeenkomen met de droge periodes en dat die meestal in de zomer voorkomen. Ook effecten van plots onweer is vooral in de zomer te noteren.

Anderzijds komen de extreem hoge concentratie en debietwaarden meestal in de winter of vroege lentemaanden voor.

Individuele pieken vallen meestal wel te verklaren aan de hand van **neerslagmetingen** of de aanwezigheid van vorst, hagel of sneeuw, maar deze gegevens kunnen niet als indicatoren gebruikt worden omdat ze niet altijd als trigger dienen voor het sedimenttransport, of zelfs voor de debiettoenames. De onderliggende oorzaken hiervoor waarschijnlijk te complex.

In een lineaire grafiek kan men de evolutie in de tijd van de meetkoppels (debiet, sedimentconcentratie) visualiseren door debiet tegenover sedimentconcentratie uit te zetten en de

punten op de grafiek te verbinden in de chronologische volgorde van opmeten. Hierdoor verkrijgt men lusvormige figuren die **hysteresislussen** genoemd worden. Door een complexe invloed van debietpieken en sedimentbevoorrading is een eenvoudige indeling op basis van de lussen moeilijk te maken.

Debietpieken en sedimentconcentratiepieken kunnen in de tijd op vier verschillende manieren voorkomen: ofwel vallen ze samen, ofwel loopt de sedimentpiek voor, ofwel loopt de sedimentpiek achter, ofwel vallen ze niet te correleren.

Niet korreleerbare pieken, in de meeste gevallen hoge sedimentconcentraties bij lage debieten, blijken door de monitor en door de filtratie niet op hetzelfde moment aangeduid te worden.

Hier moet rekening gehouden worden met het feit dat gemiddelde dagdebieten en dagconcentraties aan sedimenten in suspensie gebruikt worden. Dit heeft tot gevolg dat op deze manier waarschijnlijk het moment van de eerste flush gemist wordt. Daarom kunnen sommige voorstellingen van pieken hier wat misvormd zijn. Een juist gekalibreerde turbiditeitsmeter zou in staat moeten zijn om het moment van eerste flush (eerste aankomst van sedimentpiek) goed te detecteren.

Bij vergelijking van **jaartransportberekeningen** bleek dat voor de meeste turbiditeitsmeters het principe van onderschatting van hoge sedimentconcentraties en overschatting van lage concentraties bij de transporthoeveelheden afgeleid uit de turbiditeitsmeting geldt. Dit laatste zou eventueel te verklaren zijn door de invloed van het daglicht bij lage sedimentconcentraties.

Dit leidt in de meeste gevallen tot een uiteindelijke onderschatting van het sedimenttransport.

Dit probleem is niet eenvoudigweg op te lossen, maar kan eventueel wel verminderd worden door betere kalibraties. Deze zijn meetpost-gebonden, waardoor individueel betere waarden zouden moeten gevonden worden.

Daarna werd overgegaan tot **dubbel-logaritmische translaties**, waarbij met behulp van doos-vergelijkingen met wisselend succes het jaartransport berekend kon worden. Indien men de automatische pompsamplers opnieuw plaatst op alle meetposten, en men de nodige correcties uitvoert om de nauwkeurigheid van de verkregen sedimentconcentraties te verzekeren, zou men met behulp van deze regressie vergelijkingen kunnen bepalen hoe vaak bemonsterd moet worden om een redelijke nauwkeurigheid in voorspelling van jaartransport te verzekeren.

Tot slot werd aangetoond dat bij de hoogste stroomsnelheden en debieten het meeste sediment getransporteerd wordt, waarbij per meetpost een sleepsnelheid te bepalen is. Deze geeft een indicatie van wanneer het bodemmateriaal terug gesuspenderd wordt en mee vervoerd wordt.

Dit is zeer interessant voor toekomstige modelleringen van het sedimenttransport. Daarom moet er rekening gehouden worden met deze maximale debieten, zodat er op deze tijdstippen voldoende bemonstering gebeurt zodat de modellatie een voldoende hoge nauwkeurigheid kan bereiken.

In de meetposten te Overboelare en Menen is het mogelijk de stroomsnelheid af te leiden uit de aard van de debietmetingen die daar gebeuren. Op dit moment worden deze waarden nog uitgemiddeld tot uurwaarden, maar mits enkele aanpassingen is het mogelijk deze waarden elke twee minuten te registreren. In combinatie met een (goed gekalibreerde) monitor zou hierdoor de sleepsnelheid voor deze twee meetposten achterhaald kunnen worden. Dit is zeker een punt dat in de nabije toekomst onderzocht dient te worden.

10 Algemeen besluit

Peer's Law:

The solution to a problem changes the nature of the problem.

Murphy's Law

1) Overzicht van de gestandaardiseerde methodologie voor kwantitatieve bepaling van sediment in suspensie in waterlopen

Er bestaat geen gestandaardiseerde methode voor het uitvoeren van metingen van transport van sediment.

Uit alle bestudeerde literatuur blijkt dat de studie van suspensietransport complex en moeilijk te kalibreren is en best gebeurt door combinatie van een aantal methodes. Die combinatie geeft meestal drastische verschillen aan die niet allemaal fysisch begrepen worden en dikwijls van zeer lokale factoren afhankelijk zijn.

Uit de literatuur kan men ook begrijpen dat het opzetten van een sedimentmeetnet niet kan terugvallen op procedures die overal haalbaar zijn. Elk meetnet moet afhankelijk van de lokale omstandigheden worden opgebouwd. Er moet rekening worden gehouden met grote fouten op de ingeschatte jaardebieten van getransporteerd sediment.

Er moet ook rekening worden gehouden met een grote kostprijs door het noodzakelijke onderhoud van de terreininfrastructuur, door de regelmatige staalnames, de langdurige kalibratiemethode.

2) Samenvatting van de methode toegepast in Vlaanderen door het WLH

De hoeveelheid sediment die de dwarsdoorsnede van de rivier passeert, wordt op elke meetplaats op twee verschillende manieren gemeten:

- Met behulp van automatische pompsamplers die elke zeven uur een puntmonster oppompen. Dit monster wordt in het laboratorium gefiltreerd waaruit een concentratie in mg/l kan worden afgeleid.
Daarnaast wordt ook de turbiditeit van het monster bepaald met behulp van twee turbiditeitsmeters, de Hach en de Analite.
- Door rechtstreeks in de rivier een infrarode turbiditeitsmeter te hangen, waarmee men de troebelheid van het voorbijstromende water meet. Deze monitor zorgt voor een continue meting, met waarden om de twee minuten.

De fysische achtergrond van troebelheidsmetingen steunt op de verstrooiing van het uitgestuurde licht. De intensiteit van het verstrooide licht wordt gemeten in mA, maar wordt omgezet in NTU (Nephelometric Turbidity Units).

De ijking van de monitor in mg/l ten opzichte van NTU gebeurde in het WLH onrechtstreeks met behulp van de NTU waarden van de Analite.

De Analite en de Hach metingen zijn ook onderling goed korreleerbaar. De laboratorium- en terreinmetingen zijn echter dikwijls moeilijk te correleren en dat is een groot probleem.

Voor de meeste meetstations zijn continue turbiditeitsmetingen beschikbaar en sedimentmetingen gedurende één jaar. Daarnaast zijn er op de meeste plaatsen ook gemiddelde uurwaterstanden beschikbaar, en op sommige posten zelfs continue debietmetingen. De Q/H verbanden zijn gekend voor elke meetpost.

De meetposten liggen allen buiten de getij-invloed, met de uitzondering van de meetpost te Haacht.

3) Kritische beschouwingen bij de methode van het WLH

Het sedimentmeetnet vat de belangrijkste bijrivieren voor de Schelde. Wat ontbreekt is een meetpost op de Schelde zelf (bijvoorbeeld stroomopwaarts van Oudenaarde of stroomafwaarts van Zingem waar men de Zwalm en de Marke, twee belangrijke beken uit de Vlaamse Ardennen, met een grote aanvoer van leem, mee in rekening kan brengen).

De meetpost op de Leie geeft eigenlijk aan hoeveel sediment er uit Frankrijk België binnenkomt. De aanvoer van de Mandel is er niet bij inbegrepen.

De eigenlijke hoeveelheid die gezien de situatie in Gent en gezien het afleidingskanaal echt in de Schelde terechtkomt is hierdoor niet te begroten. De lokalisatie van de meetpost op de Leie is dus ongelukkig gekozen in het kader van het sedimentmeetnet. Een meetpost te Gentbrugge, of eventueel Merelbeke, zou hiervoor een betere keuze zijn en moet overwogen worden.

De aanwezigheid van meerdere stations op de Nete zal toestaan om in te schatten hoe het sediment zich verplaatst. Tevens kan ook het sedimenttransport vanuit de Demer en de Dijle ingeschat worden, hun brongebieden zijn immers variabel.

De problematiek in verband met de verschillende methodes is in drie delen op te delen: problematiek in verband met de automatische pompsampler, problematiek in verband met de turbiditeitsmeter en problematiek in verband met de correctie van de puntwaarnemingen uitgevoerd door deze toestellen naar waarnemingen die voor de gehele dwarsdoorsnede gelden.

Pompsampler

Sedimentsamplers moeten trachten een representatief monster van het water-sedimentmengsel te bekomen. Hiervoor is het nodig dat een sampler op isokinetische manier kan bemonsteren. Dit betekent dat de instroomsnelheid van het water-sedimentmengsel in de sampler dezelfde moet zijn als de stroomsnelheid van de rivier.

Een speciaal type van isokinetische sampler is de diepte-integrerende sampler. Deze sampler kan een verticaal profiel in de rivier op een isokinetische manier bemonsteren waarbij uiteindelijk één debiet-gewogen staal bemonsterd wordt.

Pompsamplers moeten echter gebruik maken van een zekere pompkracht waardoor deze zelden isokinetisch bemonsteren. Bij niet-isokinetische monsternamen wordt echter een te kleine fractie van de deeltjes groter dan 62 μm opgezogen.

Daardoor moeten de gegevens verkregen door een pompsampler gecorrigeerd worden.

Turbiditeitsmeter

Het type turbiditeitsmeter dat door het WLH gebruikt wordt, en dan vooral wanneer dit in situ geplaatst wordt, is enorm onderhevig aan fouling en drifting. Fouling is de afwijking van een sensoraflezing ten gevolge van vuil op de sensor, terwijl drifting de afwijking of verschuiving is van een sensoraflezing ten opzichte van de waarde van een gekalibreerde sensor.

Om de nauwkeurigheid van de turbiditeitsmetingen hoog te houden moeten de sondes regelmatig en erg secuur onderhouden worden, en moeten op regelmatige basis ijkingen gebeuren aan de hand van Formazinestandaarden.

Het opstellen van een ijkingcurve voor de turbiditeitsmeter is niet eenvoudig omdat deze beïnvloed wordt door een heel aantal factoren zoals korreldiameter, organisch materiaal, kleur van het sediment, temperatuur van het water, vorm van de sedimentkorrels en het verschil in refractie-index tussen sedimentpartikel en het water.

Aangezien gedurende het hele jaar verschillende bronnen van sediment aangesproken kunnen worden, moet er op verschillende tijdstippen sediment bemonsterd worden om na te gaan hoe sterk de ijkingcurven verschillen naargelang het meegevoerde materiaal verandert.

Eveneens zou het interessant zijn om de oorsprongsgebieden van het sediment nauwkeuriger te bepalen.

Daarbij wordt de ijkingcurve mg/l in functie van NTU opgesteld aan de hand van de metingen van het Analite turbiditeitstoestel, en niet aan de hand van de NTU waarden van de monitor zelf. Hierdoor treedt een omzettingfout op.

De datalogger kende een conversieprobleem met de monitor en kan te weinig details registreren.

Dwarsdoorsnede

Om een juiste dwarsdoorsnede-correctiefactor te bepalen moet men op verschillende tijdstippen, bij verschillende debietcondities, een dwarsdoorsnede bemonsteren.

Deze bemonstering is door het WLB slechts éénmaal per meetpost uitgevoerd. Daarbij werd niet gebruik gemaakt van een diepte-integrerende sampler waardoor de eerder besproken problematiek van isokinetisch bemonsteren zich bleef voordoen.

Er zijn twee uitgelezen methodes van dwarsdoorsnede-bemonstering: de EWI-methode en de EDI-methode.

Bij de EWI-methode wordt de dwarsdoorsnede ingedeeld in incrementen van gelijke breedte. In de centroïde van elk increment wordt dan een debiet-gewogen monster genomen met behulp van een diepte-integrerende sampler.

Bij de EDI-methode zijn de incrementen gebaseerd op een gelijk debiet dat doorheen het oppervlak stroomt. Ook hier wordt met behulp van een diepte-integrerende sampler een debiet-gewogen monster genomen in de centroïde van de incrementen.

4) Mogelijke oplossingen die voortvloeien uit de kritische beschouwingen bij de methode van het WLH

Pompsampler

Aangezien hier nog geen praktische oplossingen uitgevoerd zijn, kan enkel besloten worden dat de bepaling van de opzuig-efficiëntie zo snel mogelijk moet bepaald worden. Daarvoor is de aankoop van een isokinetische sampler nodig.

Daarnaast wordt het aanbevolen om zowel de lokalisatie van de meetpunten, als de positie van de opzuigstukken te behouden, met eventueel een optie tot plaatsing van een tweede sampler op de meest interessante meetposten, zonder dat dit ten koste gaat van de huidige bemonsteringsschema's.

Turbiditeitsmeter

Ondanks de poging tot fouling- en driftcorrectie zijn er geen concrete oplossingen gevonden. Een eerste conclusie is dat de gedane testen zeker nogmaals herhaald moeten worden.

De invloed van het roeren, en eventueel de grootte van de recipiënt waarin gemeten wordt, kunnen een bijdrage geleverd hebben. De impact van deze moet nagegaan worden, en eventueel geminimaliseerd. De vraag blijft zich stellen hoe groot de impact van de lichtcondities is bij verschillende waterstanden. Als deze invloed te groot is, moet bekeken worden welke oplossingen eventueel te vinden zijn zoals omhulsels ter verduistering of een volledig nieuw systeem turbiditeitsmeters.

Aangezien gedurende het hele jaar verschillende bronnen van sediment aangesproken kunnen worden, moet er geijkt worden met sediment dat op verschillende tijdstippen bemonsterd werd, om na te gaan hoe sterk de ijkingcurven verschillen naargelang het meegevoerde materiaal verandert.

De eigenschappen van het materiaal zouden hierbij nagegaan dienen te worden (zoals naast droge-stof bepalingen ook asbepalingen uitvoeren). Mogelijk seizoenale trends zouden hieruit gehaald kunnen worden.

Het aanschakelen van turbiditeitsmeters op het telemetrienet verdient ook zeker aandacht. Hierdoor kan onmiddellijk gecontroleerd worden of er zich technische problemen voordoen met de sensor.

De monitor die door het WLH gebruikt wordt heeft een te laag bereik. De concentraties in Grobbendonk, maar ook in alle andere meetposten kan dusdanig oplopen dat ze de maximum detectielimiet van de sonde (= 400 NTU) overschrijden. Om dit probleem te voorkomen moeten nieuwe sondes aangeschaft worden, die hogere concentraties kunnen meten.

Wat de ijkingscurves van de turbiditeitsmeter betreft, wordt de voorkeur gegeven aan het opstellen van een curve die rechtstreeks de waarde in NTU gemeten door de monitor omzet naar mg/l. Deze ijking kan enkel correct gebeuren als de fouling en drift problematiek opgelost is.

Het conversieprobleem van de datalogger is opgelost door het gelijk instellen van de monitor en de datalogger. Daarnaast zou het interessant zijn om dataloggers aan te schaffen met een hoger bitgehalte, wat de nauwkeurigheid ten goede komt. Het aansluiten van de monitor op de telemetrie zou de nauwkeurigheid natuurlijk nog verhogen.

Dwarsdoorsnede

De dwarsdoorsnede-coëfficiënt is met twee verschillende toestellen, die geen van beide isokinetisch bemonsteren voor een tweede maal bepaald op 7-3-2003. De nieuwe resultaten verschillen beiden van de eerder bekomen resultaten op 25-5-2000. Hieruit kon besloten worden:

- De berekeningsmethode van de correctiefactor heeft een invloed op het uiteindelijke resultaat. Als men uitgaat van een effectief gemeten waarde van de pompsampler moet een veel grotere correctie uitgevoerd worden dan wanneer men van de theoretische locatie van het opzuigpunt uitgaat.
- Het tijdstip van bemonstering, en dus indirect ook het debietregime, heeft een invloed op de correctiefactor

De dwarsdoorsnede coëfficiënt moet in de nabije toekomst opnieuw bepaald worden, ditmaal met een isokinetisch bemonsterend toestel, dat zo snel mogelijk aangeschaft dient te worden.

5) Analyse van de beschikbare resultaten

De relatie tussen debiet en jaartransport valt niet eenvoudigweg te kwantificeren.

Om deze relatie te vatten kon gebruik gemaakt worden van twee sets gegevens, namelijk deze afkomstig van de monitor en deze afkomstig van de filtratie van de opgepompte stalen. De monitorgegevens zijn echter minder nauwkeurig omdat deze aan meer fouten onderhevig waren dan de filtratiewaarden. Toch blijken voor beide gegevenssets een puntenwolk gegenereerd te worden wanneer debiet ten opzichte van concentratie op lineaire manier worden uitgezet.

De inbreng van hydrologische factoren zoals stijgend en dalende debietregimes brachten geen duidelijke verbeteringen in de trends te weeg, want leidt tot het besluit dat de oorzaken van de puntenwolk complexer zijn dan enkel te verklaren door de hydrologie.

Van echte seizoenale trends is eigenlijk geen sprake behalve dat de langdurige periodes met lage concentraties overeenkomen met de droge periodes en dat die meestal in de zomer voorkomen. Ook effecten van plots onweer is vooral in de zomer te noteren.

Anderzijds komen de extreem hoge concentratie en debietwaarden meestal in de winter of vroege lentemaanden voor.

Individuele pieken vallen meestal wel te verklaren aan de hand van neerslagmetingen of de aanwezigheid van vorst, hagel of sneeuw, maar deze gegevens kunnen niet als indicatoren gebruikt worden omdat ze niet altijd als trigger dienen voor het sedimenttransport, of zelfs voor de debiettoenames. De onderliggende oorzaken hiervoor waarschijnlijk te complex.

In een lineaire grafiek kan men de evolutie in de tijd van de meetkoppels (debiet, sedimentconcentratie) visualiseren door debiet tegenover sedimentconcentratie uit te zetten en de punten op de grafiek te verbinden in de chronologische volgorde van opmeten. Hierdoor verkrijgt men lusvormige figuren die hysteresislussen genoemd worden. Door een complexe invloed van debietpieken en sedimentbevoorrading is een eenvoudige indeling op basis van de lussen moeilijk te maken.

Debietpieken en sedimentconcentratiepieken kunnen in de tijd op vier verschillende manieren voorkomen: ofwel vallen ze samen, ofwel loopt de sedimentpiek voor, ofwel loopt de sedimentpiek achter, ofwel vallen ze niet te correleren.

Niet korreleerbare pieken, in de meeste gevallen hoge sedimentconcentraties bij lage debieten, blijken door de monitor en door de filtratie niet op hetzelfde moment aangeduid te worden.

Hier moet rekening gehouden worden met het feit dat gemiddelde dagdebieten en dagconcentraties aan sedimenten in suspensie gebruikt worden. Dit heeft tot gevolg dat op deze manier waarschijnlijk het moment van de eerste flush gemist wordt. Daarom kunnen sommige voorstellingen van pieken hier wat misvormd zijn. Een juist gekalibreerde trubiditeitsmeter zou in staat moeten zijn om het moment van eerste flush (eerste aankomst van sedimentpiek) goed te detecteren.

Bij vergelijking van jaartransportberekeningen bleek dat voor de meeste turbiditeitsmeters het principe van onderschatting van hoge sedimentconcentraties en overschatting van lage concentraties bij de transporthoeveelheden afgeleid uit de turbiditeitsmeting geldt. Dit laatste zou eventueel te verklaren zijn door de invloed van het daglicht bij lage sedimentconcentraties.

Dit leidt in de meeste gevallen tot een uiteindelijke onderschatting van het sedimenttransport.

Dit probleem is niet eenvoudigweg op te lossen, maar kan eventueel wel verminderd worden door betere kalibraties. Deze zijn meetpost-gebonden, waardoor individueel betere waarden zouden moeten gevonden worden.

Daarna werd overgegaan tot dubbel-logaritmische translaties, waarbij met behulp van doos-vergelijkingen met wisselend succes het jaartransport berekend kon worden. Indien men de automatische pompsamplers opnieuw plaatst op alle meetposten, en men de nodige correcties uitvoert om de nauwkeurigheid van de verkregen sedimentconcentraties te verzekeren, zou men met behulp van deze regressie vergelijkingen kunnen bepalen hoe vaak bemonsterd moet worden om een redelijke nauwkeurigheid in voorspelling van jaartransport te verzekeren.

Tot slot werd aangetoond dat bij de hoogste stroomsnelheden en debieten het meeste sediment getransporteerd wordt, waarbij per meetpost een sleepsnelheid te bepalen is. Deze geeft een indicatie van wanneer het bodemmateriaal terug gesuspendeerd wordt en mee vervoerd wordt.

Dit is zeer interessant voor toekomstige modelleringen van het sedimenttransport. Daarom moet er rekening gehouden worden met deze maximale debieten, zodat er op deze tijdstippen voldoende bemonstering gebeurt zodat de modellatie een voldoende hoge nauwkeurigheid kan bereiken.

In de meetposten te Overboelare en Menen is het mogelijk de stroomsnelheid af te leiden uit de aard van de debietmetingen die daar gebeuren. Op dit moment worden deze waarden nog uitgemiddeld tot uurwaarden, maar mits enkele aanpassingen is het mogelijk deze waarden elke twee minuten te registreren. In combinatie met een (goed gekalibreerde) monitor zou hierdoor de sleepsnelheid voor deze twee meetposten achterhaald kunnen worden. Dit is zeker een punt dat in de nabije toekomst onderzocht dient te worden.

11 Referenties

Felson's Law:

To steal ideas from one person is plagiarism;
to steal from many is research.

Murphy's Law

- ASSELMAN, N.E.M., 2000, Fitting and interpretation of rating curves, Journal of Hydrology 234, p 228-248
- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING, 2003, Remote sensing Tutorials, Fundamentals of Remote Sensing
Geraadpleegd op 17-02-2003 op:
http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter1/chapter1_4_e.html
- DAVIS B.E., 2001, Report PP, The US D-96: An isokinetic suspended-sediment/water-quality collapsible-bag sampler, Federal Interagency Sedimentation Project, April 2001
Geraadpleegd op 24-4-2003 op <http://fisp.wes.army.mil/011114%20Report%20PP,%20US%20D-96.pdf>
- EDWARDS, T., K. & GLYSSON, G., D., 1999, Techniques of water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Applications of Hydraulics, Chapter C2, Field Methods for Measurement of Fluvial sediment
Geraadpleegd op 24-4-2003 op: <http://water.usgs.gov/pubs/twri/>
- FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT, 2003, Operator's Manual for the US P-61-A1 Point-integrating suspended-sediment sampler,
Geraadpleegd op 24-4-2003 op <http://fisp.wes.army.mil/030115%20%20US%20P-61-A1%20Instructions.pdf>
- GURNELL, A.M., CLARCK, M.J., HILL, C.T. & GREENHALGH, J., 1992, Reliability and representativeness of a suspended sediment concentration monitoring programme for a remote alpine proglacial river. Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins, 191-200
- HOROWITZ, A.J. , ELRICK, K.A., VON GUERARD, P.B., YOUNG, N.O., BUELL, G.R. & MILLER, T.L., 1992, The use of automatically collected point samples to estimate suspended sediment and associated trace element concentrations for determining annual mass transport. Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins, 209-218
- HOROWITZ, A.J., 1995, The Use of suspended sediment and associated trace elements in water quality studies, IAHS Special Publication
- HOROWITZ, A.J., ELRICK, K.A. & SMITH, J.J., 2001, Estimating suspended and trace element fluxes in large river basins: methodological considerations as applied to the NASQAN programme, Hydrological Processes 15, p 11007-1132 (2001)
- HOROWITZ, A.J., 2003, An evolution of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations, niet gecorrigeerde versie van het artikel dat gaat verschijnen in Hydrological Processes, toegekomen op 25 November 2002 en aanvaard op 2 januari 2003.
- HUYGENS, M., VAN POUCKE, L., VERHOEVEN, R. & PARZONKA, W., 2000, Flood Sediment Transport Occurrence in a small Flemish river catchment, T&S 10th International Conference on Transport and Sedimentation of solid particles, 4-7 september 2000, Wroclaw, Polen
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1977, Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de mesurage des sédiments en suspension; Première édition – 1977-12-15, Ref. n° : ISO 4363-1977 (F)
- MALCORPS, H., (verantwoordelijke uitgever), 1999, Maandbericht Klimatologische waarnemingen, Deel I Januari, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
- MALCORPS, H., (verantwoordelijke uitgever), 1999, Maandbericht Klimatologische waarnemingen, Deel I Januari, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België

- MALCORPS, H., (verantwoordelijke uitgever), 1999, Maandbericht Klimatologische waarnemingen, Deel I November, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
- MALCORPS, H., (verantwoordelijke uitgever), 1999, Maandbericht Klimatologische waarnemingen, Deel II November, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
- MALCORPS, H., (verantwoordelijke uitgever), 1999, Maandbericht Klimatologische waarnemingen, Deel I December, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
- MALCORPS, H., (verantwoordelijke uitgever), 1999, Maandbericht Klimatologische waarnemingen, Deel II December, Koninklijk Meteorologisch Instituut van België
- MIYAMOTO, K., KURIHARA, J., SAWADA, T. & ITAKURA, Y., 1992, A study of field methods for measuring sediment discharge. Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins (Proceedings of the Oslo Symposium, August 1992), IAHS Publ, no. 210, 1992), 107-114
- OFFICE OF WATER DATA COORDINATION, 1977, National handbook of recommended methods for water-data acquisition, Geological Survey U.S., Department of the Interior, Reston, Va.
- OLIVE, L.J. & RIEGER, W.A., 1992, Stream suspended sediment transport monitoring – why, how and what is being measured? Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins, 245-254
- OMEGA ENGINEERING, 2003, Turbidity Measurement: Introduction
Geraadpleegd op 2-5-2003 op <http://www.omega.com/techref/ph-6.html#>
- PORTERFIELD, G., 1977, Computation of Fluvial-Sediment Discharge, Techniques of Water-Resources, Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 3, Chapter C3, U.S. Government printing Office, Washington, D.C., 45 - 47.
- TANIGUCHI, S. ITAKURA, Y., MIYAMOTO, K. & KURIHARA, J., 1992, A new acoustic sensor for sediment discharge measurement. Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins, 135-142
- TAZIOLI, G.S., 1981, Nuclear techniques for measuring sediment transport in natural streams – examples from instrumented basins. Erosion and Sediment Transport Measurement (Proceedings of the Florence Symposium, June 1981). IAHS Publ. N° 133, 63-81
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 1997 tot vandaag, National field manual for the collection of water-quality data: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, chaps. A1-A9 geraadpleegd op 25-2-2003 op <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>
- VAN DER TUIN, J. D., 1987, Elsevier's Dictionary of Water and Hydraulic Engineering in five languages English, French, Spanish, Dutch and German.
- VAN POUCKE, L., HUYGENS, M., DE SUTTER, R. & VERHOEVEN, R., 1999, Terreinmetingen – Suspensietransport en Bodemtransport, Deel 3 in “Beheersing van het slibtransport in Niet-bevaarbare waterlopen als deel van het integrale waterbeheer: project Zwalmbecken”.
- VANSRINGEL, L., 1998, Fundamenteel onderzoek naar turbiditeitsmeters als meettoestellen voor sedimentconcentratie, Afstudeerwerk ingediend tot het behalen van de academische graad van burgerlijk ingenieur bouwkunde
- VERHOEVEN, R., 2000, Hydrografie & Hydrometrie, syllabus, Editie 2000

- VISSER, W. A., (editor), 1980, Geological Nomenclature, Royal Geological and Mining Society of the Netherlands
- WAGNER, R. J., MATTRAW, H. C., RITZ, G. F. & SMITH, B.A., 2000, Guidelines and Standard Procedures for Continuous Water-Quality Monitors: Site Selection, Field Operation, calibration, Record Computation, and Reporting, Water-Resources Investigations Report 00-4252
Geraadpleegd op 24-02-2003 op: <http://water.usgs.gov/pubs/wri/wri004252/htdocs/wqmonitoring.html>
- WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM BORGERHOUT ANTWERPEN, 1978, Topografische kenmerken van het Scheldebekken
- WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK, 2000, Sedimentmeetnet Scheldebekken Jaarboek 1999 - 2000
- WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM EN HYDROLOGISCH ONDERZOEK, 2000, Uitbouw Sedimentmeetnet Scheldebekken
- WEBB, W.E., RADTKE, D.B. & IWATSUBO, R.T., 1999, Surface-water sampling: Collection Methods at Flowing-water and Still-water Sites, in National field manual for the collection of water-quality data: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, Chapter A4: Collection of Water samples
- WILDE, F. D. & GIBS, J., 1998, Turbidity, in: National field manual for the collection of water-quality data: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, Chapter. A6
Geraadpleegd op 17-2-2003 op <http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/Chapter6/Section6.7.pdf>
- ZHI, L., YUREN, L., LELING, S., XIANGLIN, X., YUJING, Y. & LINGQI, K., 1982, The development of nuclear sediment concentration gauges for use on the Yellow River. Erosion and Sediment Transport Measurement (Proceedings of the Florence Symposium, June 1981). IAHS Publ. N° 133, 83-90

Persoonlijke communicaties met:

- dr. Rita Cornelis, Faculteit Wetenschappen, Vakgroep: Analytische Chemie, Vakgebied: Trace elements and their species in and for men, Proeftuinstraat 86, B-9000 Gent, België
- Prof. dr. Eric Desoppere, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Vakgroep: Toegepaste Fysica, Jozef Plateastraat 22, B-9000 Gent, België
- dr. Arthur, J., Horowitz, U.S. Geological Survey, Peachtree Business Center, Amwiler Road, Atlanta, GA 30360 U.S.A.
- Prof. dr. Christine Iserentant, Faculteit Wetenschappen, Vakgroep: Subatomaire en stralingsfysica, Vakgebied: Nuclear Material Physics, Proeftuinstraat 86, B-9000 Gent, België
- Prof. dr. ir. Paul Van Der Meeren, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Vakgroep: Toegepaste Analytische en Fysische Chemie, Laboratorium Deeltjes- en Grensvlaktechnologie, Universiteit Gent, Coupure links 653, B-9000 Gent, België
- Prof. dr. Luc Moens, Decaan van de Faculteit Wetenschappen, Proeftuinstraat 86, B-9000 Gent, België
- Prof. dr. ir. Ronny Verhoeven, Faculteit Toegepaste wetenschappen, Vakgroep: Civiele Techniek, Laboratorium voor Hydraulica, Universiteit Gent, Sint-Pietersnieuwstraat 41, B-9000 Gent, België

12 Bijlagen

Every so often, you have to unlearn what you thought you already knew,
and replace it by something more subtle.

The Science of Discworld
Terry Pratchett, Ian Stewart & Jack Cohen

Bijlage 1: Lokalisatie van de meetpost te Grobbendonk

KLEINE NETE te Grobbendonk

Identificatienummer : **052 101 36**

Inplanting : Troon; naast de Troonbrug, op de linkeroever stroomafwaarts

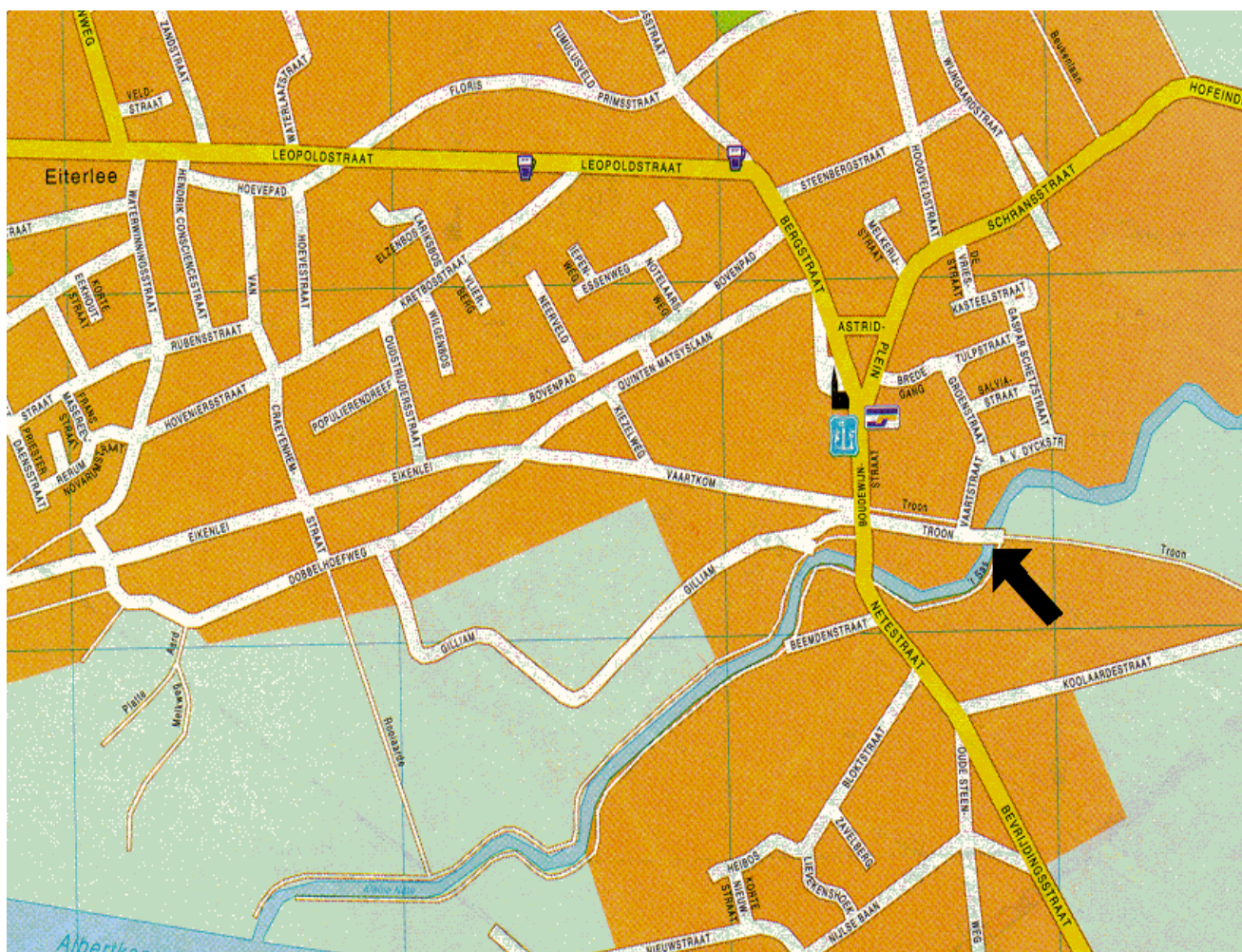
Geografische coördinaten : **OL 04°44'36" NB 51°11'23"**

Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **16/2**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 176.102 Y : 208.827**

Oppervlakte van het stroomgebied : **590km²**

Metingen zijn begonnen op : **3/02/1999**



Bijlage 2: Lokalisatie van de meetpost te Eppegem

ZENNE te Eppegem

Identificatienummer : **171 101 36**

Inplanting : Brusselsesteenweg (baan Mechelen-Vilvoorden) naast de brug
rechteroever stroomafwaarts

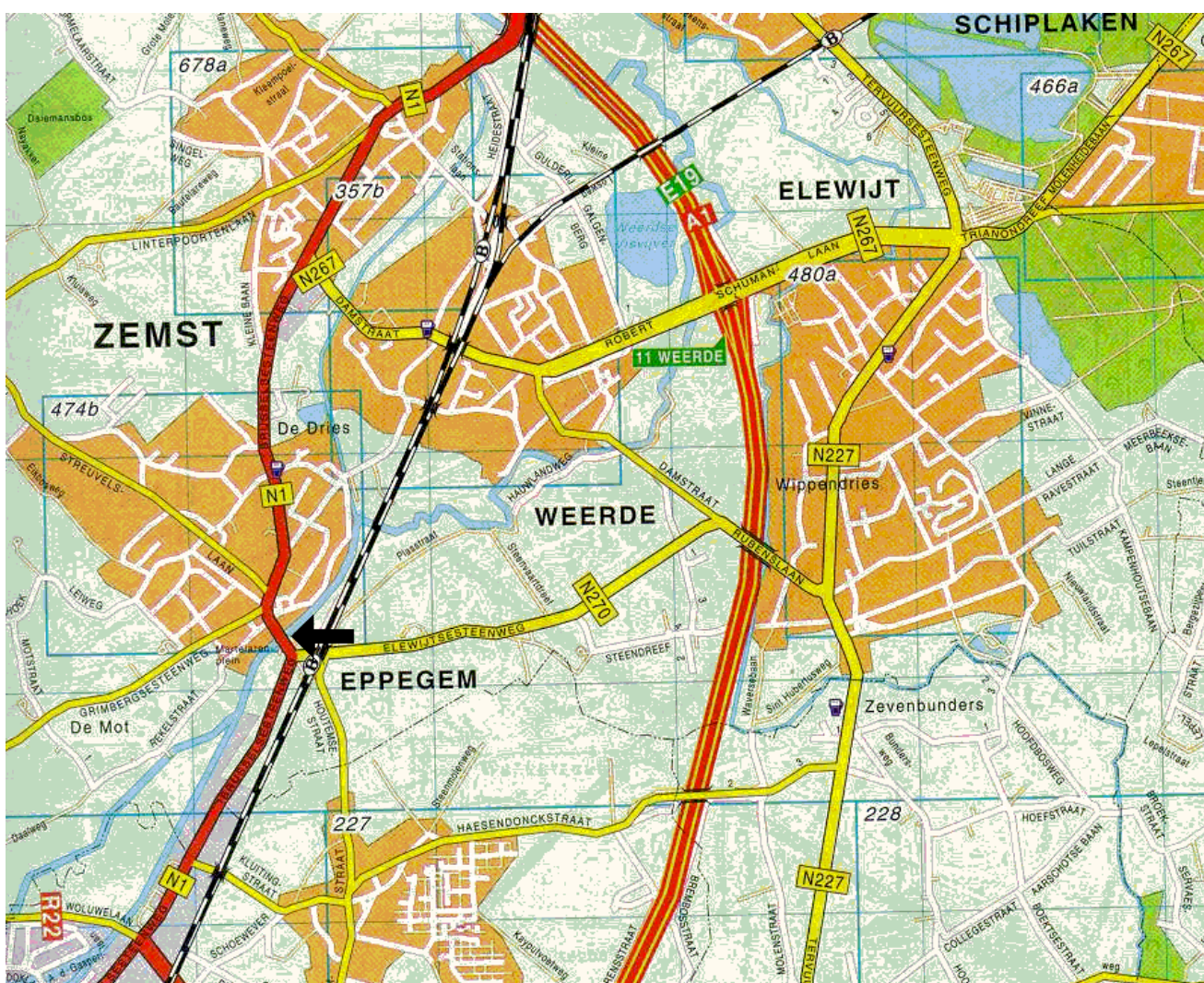
Geografische coördinaten : **OL 04°27'25" NB 50°57'41"**

Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **23/8**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 156.111 Y : 183.353**

Oppervlakte van het stroomgebied : **1083.6km²**

Metingen zijn begonnen op : **24/02/1999**



Bijlage 3: Lokalisatie van de meetpost te Haacht

Dijle te Haacht

Identificatienummer : **091 101 36**

Inplanting : 180m op het jaagpad naast de brug baan Haacht-Keerbergen linkeroever
stroomopwaarts

Geografische coördinaten : **OL 04°38'47" NB 50°59'10"**

Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **24/5**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 169.407 Y : 186.153**

Oppervlakte van het stroomgebied : **3160km²**

Metingen zijn begonnen op : **8/04/1999**



Bijlage 4: Lokalisatie van de meetpost te Menen

LEIE te Menen

Identificatienummer : **386 801 36**

Inplanting : 220m op de Oostkaai; stroomafwaarts van de Menenbrug (Rijselstraat)

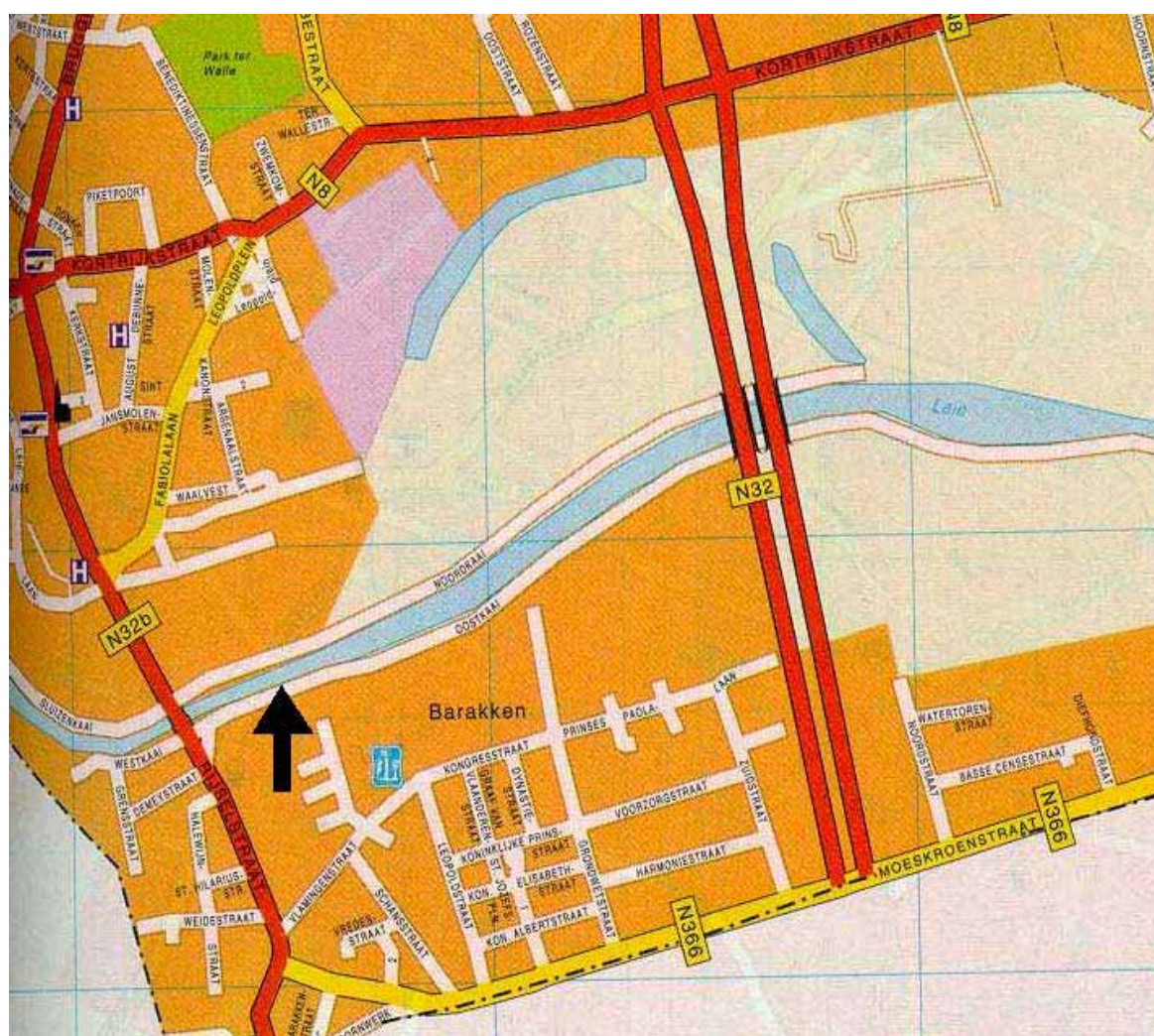
Geografische coördinaten : **OL 03°07'41" NB 50°47'31"**

Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **28/8**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 62.429 Y : 165.257**

Oppervlakte van het stroomgebied :

Metingen zijn begonnen op : **22/09/1999**



Bijlage 5: Lokalisatie van de meetpost te Itegem

GROTE NETE te Itegem

Identificatienummer : **071 101 36**

Inplanting : naast de brug Krombeekweg rechtoeroever stroomafwaarts

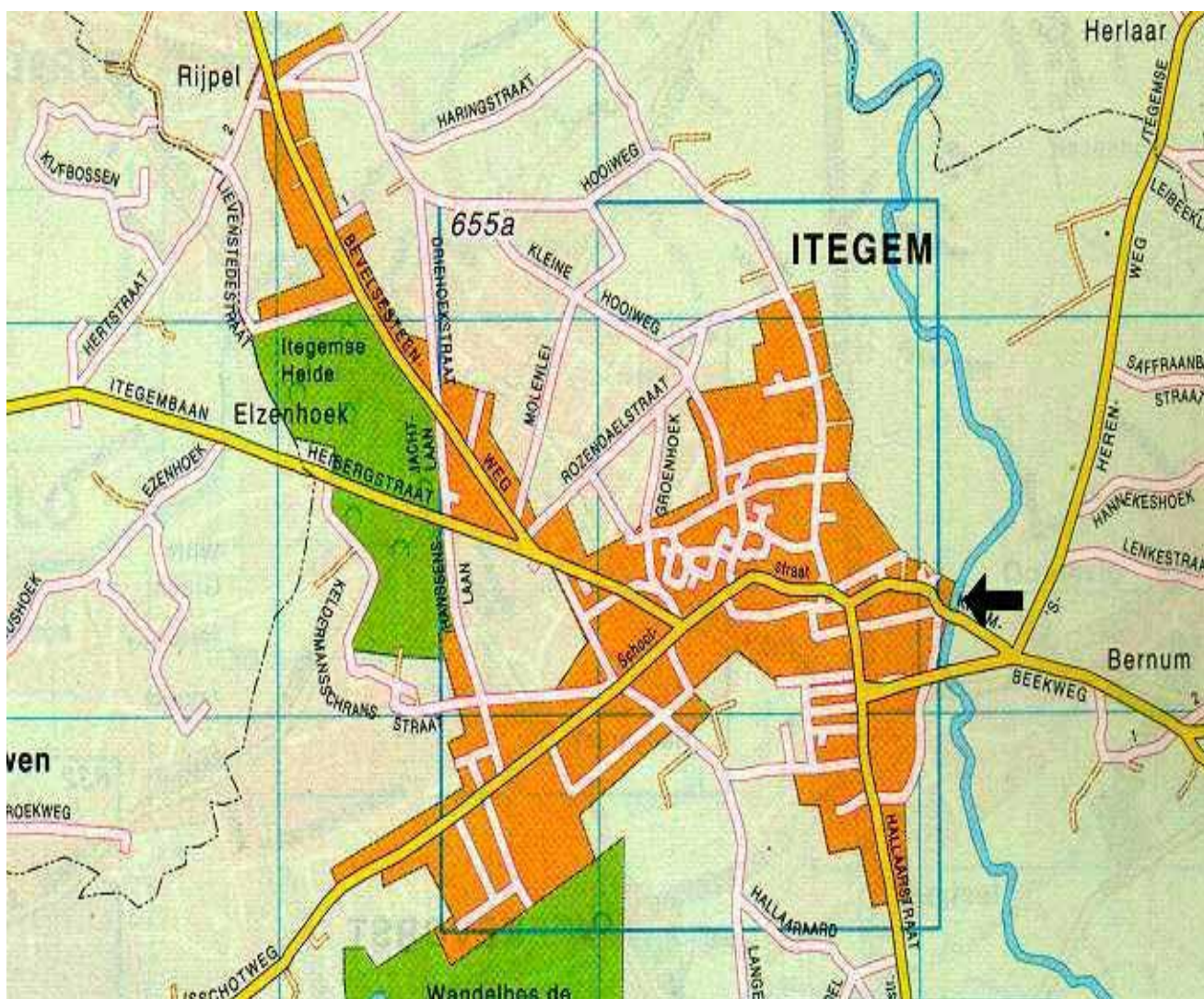
Geografische coördinaten : **OL 04°44'16" NB 51°06'13"**

Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **16/6**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 175.760 Y : 199.243**

Oppervlakte van het stroomgebied : **550.2km²**

Metingen zijn begonnen op : **9/03/2000**



Bijlage 6: Lokalisatie van de meetpost te Overboelare

DENDER te Overboelare

Identificatienummer : **329 801 36**

Inplanting : Overboelare, deelgemeente van Geraardsbergen ; Majoor van Lierdelaan,
stroomafwaarts van de Majoor van Lierdebrug linkeroever

Geografische coördinaten : **OL 03°52'07" NB 50°45'46"**

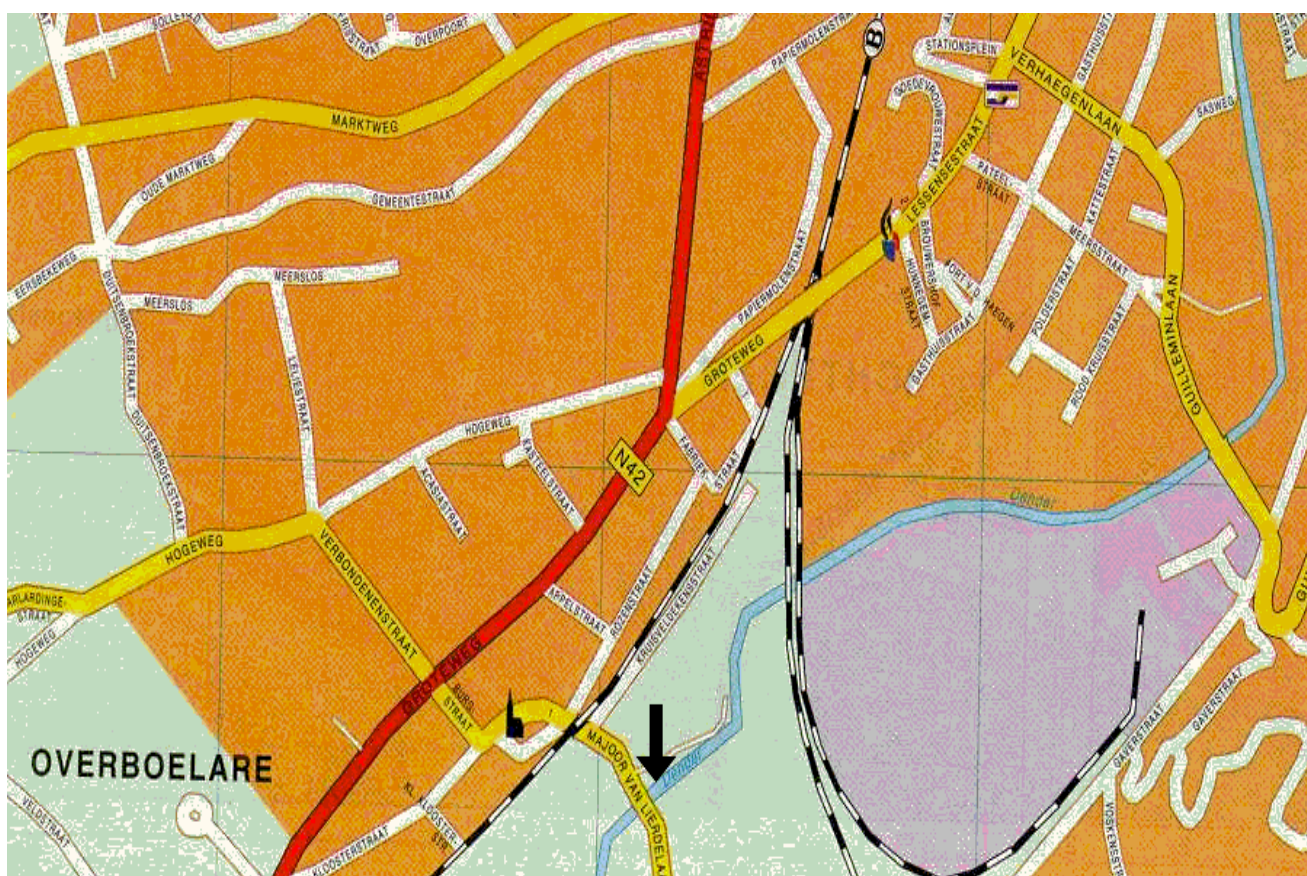
Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **30/7**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 114.624 Y : 161.398**

Oppervlakte van het stroomgebied :

Staalnames zijn begonnen op : **29/03/2000**

Metingen met troebelheidsmeter op : **6/03/2001**



Bijlage 7: Lokalisatie van de meetpost te Aarschot

DEMER te Aarschot

Identificatienummer : **122 101 36**

Inplanting : Nieuwlandlaan naast de brug , stroomafwaarts rechteroever

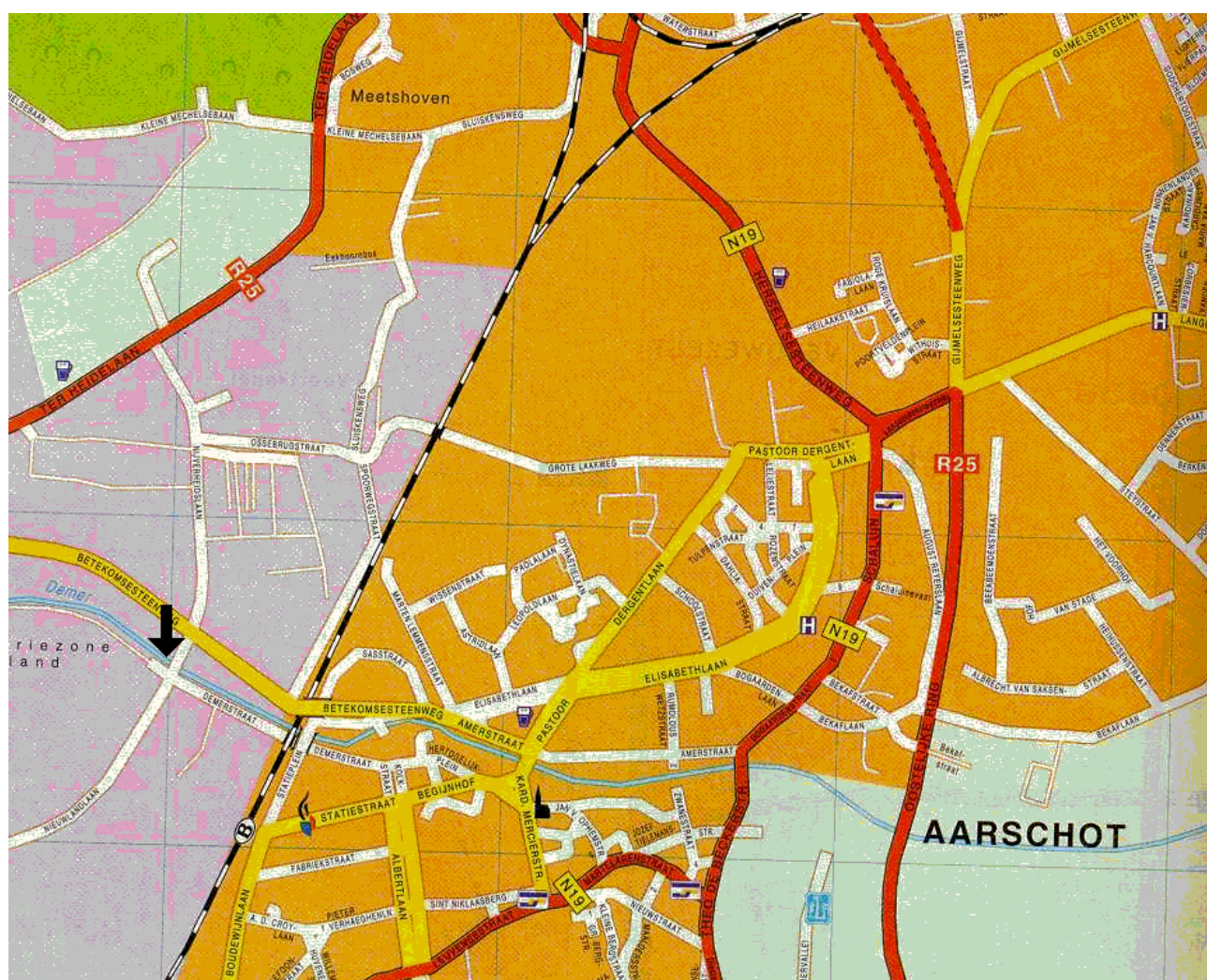
Geografische coördinaten : **OL 04°49'25" NB 50°59'18"**

Nr. topografische kaart NGI 1/10000 **24/7**

Rechthoekige coördinaten volgens Lambert projectie (in km) : **X : 181.852 Y : 186.462**

Oppervlakte van het stroomgebied : **2163.3km²**

Metingen zijn begonnen op : **10/07/2000**



Bijlage 8 a: Theoretisch draaiboek voor schoonmaken en kalibreren van turbiditeitsmeters (gebaseerd op de methodes gebruikt door de USGS)

Turbiditeitsmeter: Algemene uitleg

- Info: Turbiditeitseenheden:
- NTU (nephelometric turbidity units)
 - methodes die gebruik maken van het opvangen van specifiek licht van een bepaalde golflengte doorheen het monster
 - FTU (formazin turbidity units)
 - vergelijkbaar in waarde met NTU
 - eenheid van meting wanneer men gebruik maakt van absorptometrische methodes (spectrofotometrische methodes)

Volgens Wilde en Gibbs (Wilde & Gibbs, 1998) zijn volgende toestellen en benodigdheden voor meten van turbiditeit:

- turbidimeter (of onderwater sensor instrument)
- turbiditeit voorraad (stock) oplossingen en standaarden
 - o Formazine voorraad oplossingen, commercieel bekomen of bereid met hydrazine sulfaat en hexamethyleentetramine
 - o Secundaire standaarden geleverd door de fabrikant
- Cuvettes (hebben wij niet nodig → enkel voor Hach) en doorzichtig kleurloos glas (bekomen van de instrument fabrikant)
- 'debubbler' = ontgassingsapparaat → vooral gebruikt bij cuvettes → niet voor ons
- inert gas (vb stikstof)
- monsterfles
- siliconen olie → voor cuvettes
- papieren zakdoekjes; extra pluisvrij
- turbiditeitsvrij water
- fles om turbiditeitsvrij water in te bewaren → 3 x gekuist en gespoeld
- volumetrische fles, 100 mL of 500mL
- volumetrisch pipet, 5,0mL en pippet vuller
- filter fles, 500mL; filterhouder; filterpomp; aspirator (zuigsysteem)

Let op dat men bij onderwater turbiditeitsprobes de optische oppervlakken van de probe niet krast bij het schoonmaken, bij de werking of bij het opbergen. Gekraste of beschadigde probes moeten vervangen worden.

Hou de optische oppervlakken vrij van vreemd materiaal door het af te vegen met vochtig lensschoonmaakpapier, of een doek.

Wilde en Gibbs (Wilde & Gibbs, 1998) beschrijven verder dat de kalibratie van turbiditeitsinstrumenten gebeurt m.b.v. Formazine standaarden, of met andere goedgekeurde primaire standaarden in het labo. Instrumentcontrole gebeurt op het veld.

Gebruik standaarden die de range in turbiditeit die in de natuur voorkomt omvatten.

Voor instrumenten die gekalibreerd zijn door de fabrikant, controleert de kalibratieprocedure de nauwkeurigheid van de kalibratietrappen (scales) door de fabrikant geleverd.

Raadpleeg de fabrikant als de precisie van het apparaat meer dan 5% afwijkt van de specificaties van de fabrikant.

De USGS specificeert dat men de turbiditeitsmeter moet kalibreren met Formazine standaarden of een styreen divinylbenzine polymeer standaard, zoals Amco AEPA-1 PolymeerTM). Een vast (solid) verstrooiingsstandaard door de fabrikant geleverd om algemene gevoeligheid van het instrument voor alle ranges vast te leggen mag NIET gebruikt worden.

Temperatuurveranderingen beïnvloeden Formazin turbidity standaarden en het gedrag van de turbiditeitsmeter.

→ Turbiditeitsmeters bestaan nog niet met een automatische temperatuur-compenserende functie

→ Standaarden en instrumenten horen op dezelfde constante temperatuur gehouden te worden tijdens kalibratie om stabiele en nauwkeurige resultaten te bekomen.

Om de effecten van thermale fluctuaties op de kalibratie te vermijden, moet de Formazine kalibratie en de kalibratie van de secundaire standaard (bijvoorbeeld Gelex™) ten opzichte van een primaire standaard gebeuren in het labo op kamertemperatuur en niet op het veld.

Op het veld moet de kalibratie van het instrument gecontroleerd worden aan de hand van een secundaire standaard.

De meeste multiparameter instrumenten met turbiditeitsprobe mogelijkheid, hebben een micro-processor, met de kalibratieparameters opgeslaan in het geheugen van het instrument.

→ dit is zo bij de door ons gebruikte toestellen.

Turbiditeitswaarden van de standaarden kunnen door de gebruiker gekozen worden bij sommige toestellen, maar bij andere zijn deze waardes intern vastgelegd.

→ bij de door ons gebruikte toestellen kunnen de standaarden gekozen worden.

Lage waarden check standaarden in de range van 1 tot 5 NTU zullen de gebruiker in staat stellen om de eigenlijke prestatie van het toestel nabij de detectielimiet te bepalen; instrument-betrouwbaarheid neemt gemiddeld af bij 5 NTU en minder.

Let goed op de digitale output om te zien of de turbiditeitsmetingen stabiel zijn alvorens de kalibratie te bevestigen. Let erop dat als het instrument gemiddelden maakt van het signaal om de instrument output te verbeteren, er vertragingen kunnen optreden in de veranderingen in turbiditeitsmetingen.

→ De gegevens die de datalogger opslaat zijn gegevens om de twee minuten. De monitor geeft echter waarden om de 0,5 seconden. Het zijn deze waarden die gebruikt dienen te worden bij de kalibratie, waarbij men rekening dient blijven te houden met de eventuele vertraging die optreedt.

Kalibreer het instrument voor naar het veld te vertrekken. Op het veld kan de prestatie van het toestel periodiek gecontroleerd worden aan de hand van turbiditeitsstandaarden en turbiditeits-vrij water.

Het optische oppervlak van de sonde moet proper zijn vooraleer met de kalibratieprocedure te beginnen.

Bijlage 8 b: Draaiboek volgens USGS reglementeringen (vereenvoudigd)

1. Bereid een voldoende grote hoeveelheid aan Formazine standaard. Het nodige volume aan standaard kan 500 mL zijn voor sommige instrumenten.
2. Selecteer Procedure A of B. Dezelfde procedure, eens getest en geselecteerd moet in de toekomst ook gebruikt worden.

Procedure A:

Dompel de gehele sonde onder (dit geldt voor een bundel van sensoren waaronder turbiditeitsmeters)

→ niet voor ons van toepassing

Procedure B:

Dompel enkel de turbiditeitssonde onder. Afhankelijk van de sonde configuratie kan het moeilijk zijn enkel de turbiditeitssonde te isoleren (niet voor ons) en een bel vrij optisch oppervlak te bekomen.

→ volgens mij hebben we hier geen probleem.

Deze techniek minimaliseert het volume aan standaard nodig voor kalibratie.
3. Gebruik een zero NTU standaard (turbiditeitsvrij water)
 - a. Spoel de sonde af met gedeïoniseerd water, gevolgd door een portie turbiditeitsvrij water (3 x spoelen met turbiditeits vrij water).
 - b. Dompel het gehele oppervlak van de sonde in het turbiditeitsvrij water.
 - c. Agiteer (beweeg) de sonde herhaaldelijk om luchtbellens te verwijderen van het optische oppervlak (activeer de mechanische wisser, indien aanwezig → hebben wij niet).
 - d. Bekijk de turbiditeitsmetingen gedurende 1 à 2 minuten of langer om er zeker van te zijn dat de lezingen stabiel zijn.
 - e. Bevestig het zero-NTU kalibratiepunt aan de hand van de instructies van de fabrikant.
 - f. Verwijder de sonde and droog nauwgezet om dilutie of contaminatie van de volgende standaard te vermijden.
 - g. Gooi de eerste standaard weg.
4. Gebruik makend van een secundaire standaard (Formazine suspensie)
 - a. Spoel de sonde oppervlakken met een gedeelte van de standaard. Gooi het spoelwater weg.
 - b. Dompel het gehele oppervlak van de sonde in een vat met een standaard gevuld.
 - c. Agiteer (beweeg) de sonde herhaaldelijk om luchtbellens te verwijderen van het optische oppervlak.
 - d. Bekijk de turbiditeitsmetingen gedurende 1 à 2 minuten of langer om er zeker van te zijn dat de lezingen stabiel zijn.
 - e. Bevestig het NTU kalibratiepunt voor de gebruikte standaard, zoals aangegeven in de handleiding van de fabrikant.
 - f. Verwijder de sonde en spoel de oppervlakken grondig met gedeïoniseerd water gevolgd door turbiditeitsvrij water. Droog de sonde nauwgezet.
 - g. Gooi de gebruikte standaard weg.
5. Herhaal de stappen 4 (a-g) terwijl men gebruik maakt van verschillende Formazine suspensie standaarden, als verhoogde nauwkeurigheid vereist is en als de instrument software het gebruik van een derde kalibratiepunt toestaat.
6. Bereid een standaard met een turbiditeit die dicht bij het midden van de kalibratie punten licht en / of dicht bij de geschatte turbiditeit van het te meten water gelegen is, door verdunning van de bestaande standaarden.
 - a. Meet de turbiditeit van deze suspensie, waarbij men zeker is dat het binnen de nauwkeurigheid specificatie van het instrument valt.
 - b. Herhaal de kalibratie procedure als de meting niet binnen de specificatie valt.

Bijlage 9: Zeefcurves voor Van de Velde Zand, Sibelcozand en Kaolinietklei (a); zeefcurves voor Montmorilloniet klei (b) en voor gemalen olijpitten (c)

(a)

opening	VDVelde doorval	Sibelco doorval	Kaoliniet doorval
2000	100	100	
1400	100	100	
1000	100	100	
710	100	99,9	
500	99,6	95	
355	94,6	66,2	
250	69,3	15,3	
180	5,1	1,6	
125	0,8	0,1	
90	0,3	0	
63	0,2	0	
45	0,1	0	
78			100
55			100
39			99,2
25			99
14			98,4
10			93
7,5			88,1
2,8			60,07
1,6			50,14

(b)

opening	doorval
180	100
150	98
125	92
90	83
78	72
60	64
45	50
37	34
30	22
25	15
20	10
18	8
14	4
10	2
8	1
6,5	0,5
4	0

(c)

opening	doorval
78	100
55	92
39	86
25	75
14	60
10	54
7,5	42
2,8	31
1,6	20

Bijlage 10 a: Theoretisch draaiboek voor schoonmaken en kalibreren van turbiditeitsmeters (gebaseerd op de methodes gebruikt door de USGS)

Turbiditeitsmeter: Algemene uitleg

- Info: Turbiditeitseenheden:
- NTU (nephelometric turbidity units)
 - methodes die gebruik maken van het opvangen van specifiek licht van een bepaalde golflengte doorheen het monster
 - FTU (formazin turbidity units)
 - vergelijkbaar in waarde met NTU
 - eenheid van meting wanneer men gebruikt maakt van absorptometrische methodes (spectrofotometrische methodes)

Volgens Wilde en Gibbs (Wilde & Gibbs, 1998) zijn volgende toestellen en benodigdheden voor meten van turbiditeit:

- turbidimeter (of onderwater sensor instrument)
- turbiditeit voorraad (stock) oplossingen en standaarden
 - o Formazine voorraad oplossingen, commercieel bekomen of bereid met hydrazine sulfaat en hexamethyleentetramine
 - o Secundaire standaarden geleverd door de fabrikant
- Cuvettes (hebben wij niet nodig → enkel voor Hach) en doorzichtig kleurloos glas (bekomen van de instrument fabrikant)
- 'debubbler' = ontgassingsapparaat → vooral gebruikt bij cuvettes → niet voor ons
- inert gas (vb stikstof)
- monsterfles
- siliconen olie → voor cuvettes
- papieren zakdoekjes; extra pluisvrij
- turbiditeitsvrij water
- fles om turbiditeitsvrij water in te bewaren → 3 x gekuist en gespoeld
- volumetrische fles, 100 mL of 500mL
- volumetrisch pipet, 5,0mL en pippet vuller
- filter fles, 500mL; filterhouder; filterpomp; aspirator (zuigsysteem)

Let op dat men bij onderwater turbiditeitsprobes de optische oppervlakken van de probe niet krast bij het schoonmaken, bij de werking of bij het opbergen. Gekraste of beschadigde probes moeten vervangen worden.

Hou de optische oppervlakken vrij van vreemd materiaal door het af te vegen met vochtig lensschoonmaakpapier, of een doek.

Wilde en Gibbs (Wilde & Gibbs, 1998) beschrijven verder dat de kalibratie van turbiditeitsinstrumenten gebeurt m.b.v. Formazine standaarden, of met andere goedgekeurde primaire standaarden in het labo. Instrumentcontrole gebeurt op het veld.

Gebruik standaarden die de range in turbiditeit die in de natuur voorkomt omvatten.

Voor instrumenten die gekalibreerd zijn door de fabrikant, controleert de kalibratieprocedure de nauwkeurigheid van de kalibratietrappen (scales) door de fabrikant geleverd.

Raadpleeg de fabrikant als de precisie van het apparaat meer dan 5% afwijkt van de specificaties van de fabrikant.

De USGS specificeert dat men de turbiditeitsmeter moet kalibreren met Formazine standaarden of een styreen divinylbenzine polymeer standaard, zoals Amco AEPA-1 PolymeerTM). Een vast (solid) verstrooiingsstandaard door de fabrikant geleverd om algemene gevoeligheid van het instrument voor alle ranges vast te leggen mag NIET gebruikt worden.

Temperatuurveranderingen beïnvloeden Formazin turbidity standaarden en het gedrag van de turbiditeitsmeter.

→ Turbiditeitsmeters bestaan nog niet met een automatische temperatuur-compenserende functie

→ Standaarden en instrumenten horen op dezelfde constante temperatuur gehouden te worden tijdens kalibratie om stabiele en nauwkeurige resultaten te bekomen.

Om de effecten van thermale fluctuaties op de kalibratie te vermijden, moet de Formazine kalibratie en de kalibratie van de secundaire standaard (bijvoorbeeld Gelex™) ten opzichte van een primaire standaard gebeuren in het labo op kamertemperatuur en niet op het veld.

Op het veld moet de kalibratie van het instrument gecontroleerd worden aan de hand van een secundaire standaard.

De meeste multiparameter instrumenten met turbiditeitsprobe mogelijkheid, hebben een micro-processor, met de kalibratieparameters opgeslaan in het geheugen van het instrument.

→ dit is zo bij de door ons gebruikte toestellen.

Turbiditeitswaarden van de standaarden kunnen door de gebruiker gekozen worden bij sommige toestellen, maar bij andere zijn deze waardes intern vastgelegd.

→ bij de door ons gebruikte toestellen kunnen de standaarden gekozen worden.

Lage waarden check standaarden in de range van 1 tot 5 NTU zullen de gebruiker in staat stellen om de eigenlijke prestatie van het toestel nabij de detectielimiet te bepalen; instrument-betrouwbaarheid neemt gemiddeld af bij 5 NTU en minder.

Let goed op de digitale output om te zien of de turbiditeitsmetingen stabiel zijn alvorens de kalibratie te bevestigen. Let erop dat als het instrument gemiddelden maakt van het signaal om de instrument output te verbeteren, er vertragingen kunnen optreden in de veranderingen in turbiditeitsmetingen.

→ De gegevens die de datalogger opslaat zijn gegevens om de twee minuten. De monitor geeft echter waarden om de 0,5 seconden. Het zijn deze waarden die gebruikt dienen te worden bij de kalibratie, waarbij men rekening dient blijven te houden met de eventuele vertraging die optreedt.

Kalibreer het instrument voor naar het veld te vertrekken. Op het veld kan de prestatie van het toestel periodiek gecontroleerd worden aan de hand van turbiditeitsstandaarden en turbiditeits-vrij water.

Het optische oppervlak van de sonde moet proper zijn vooraleer met de kalibratieprocedure te beginnen.

Bijlage 10 b: Draaiboek volgens USGS reglementeringen (vereenvoudigd)

1. Bereid een voldoende grote hoeveelheid aan Formazine standaard. Het nodige volume aan standaard kan 500 mL zijn voor sommige instrumenten.
2. Selecteer Procedure A of B. Dezelfde procedure, eens getest en geselecteerd moet in de toekomst ook gebruikt worden.

Procedure A:

Dompel de gehele sonde onder (dit geldt voor een bundel van sensoren waaronder turbiditeitsmeters)

→ niet voor ons van toepassing

Procedure B:

Dompel enkel de turbiditeitssonde onder. Afhankelijk van de sonde configuratie kan het moeilijk zijn enkel de turbiditeitssonde te isoleren (niet voor ons) en een bel vrij optisch oppervlak te bekomen.

→ volgens mij hebben we hier geen probleem.

Deze techniek minimaliseert het volume aan standaard nodig voor kalibratie.
3. Gebruik een zero NTU standaard (turbiditeitsvrij water)
 - a. Spoel de sonde af met gedeïoniseerd water, gevolgd door een portie turbiditeitsvrij water (3 x spoelen met turbiditeits vrij water).
 - b. Dompel het gehele oppervlak van de sonde in het turbiditeitsvrij water.
 - c. Agiteer (beweeg) de sonde herhaaldelijk om luchtbellens te verwijderen van het optische oppervlak (activeer de mechanische wisser, indien aanwezig → hebben wij niet).
 - d. Bekijk de turbiditeitsmetingen gedurende 1 à 2 minuten of langer om er zeker van te zijn dat de lezingen stabiel zijn.
 - e. Bevestig het zero-NTU kalibratiepunt aan de hand van de instructies van de fabrikant.
 - f. Verwijder de sonde and droog nauwgezet om dilutie of contaminatie van de volgende standaard te vermijden.
 - g. Gooi de eerste standaard weg.
4. Gebruik makend van een secundaire standaard (Formazine suspensie)
 - a. Spoel de sonde oppervlakken met een gedeelte van de standaard. Gooi het spoelwater weg.
 - b. Dompel het gehele oppervlak van de sonde in een vat met een standaard gevuld.
 - c. Agiteer (beweeg) de sonde herhaaldelijk om luchtbellens te verwijderen van het optische oppervlak.
 - d. Bekijk de turbiditeitsmetingen gedurende 1 à 2 minuten of langer om er zeker van te zijn dat de lezingen stabiel zijn.
 - e. Bevestig het NTU kalibratiepunt voor de gebruikte standaard, zoals aangegeven in de handleiding van de fabrikant.
 - f. Verwijder de sonde en spoel de oppervlakken grondig met gedeïoniseerd water gevolgd door turbiditeitsvrij water. Droog de sonde nauwgezet.
 - g. Gooi de gebruikte standaard weg.
5. Herhaal de stappen 4 (a-g) terwijl men gebruik maakt van verschillende Formazine suspensie standaarden, als verhoogde nauwkeurigheid vereist is en als de instrument software het gebruik van een derde kalibratiepunt toestaat.
6. Bereid een standaard met een turbiditeit die dicht bij het midden van de kalibratie punten licht en / of dicht bij de geschatte turbiditeit van het te meten water gelegen is, door verdunning van de bestaande standaarden.
 - a. Meet de turbiditeit van deze suspensie, waarbij men zeker is dat het binnen de nauwkeurigheid specificatie van het instrument valt.
 - b. Herhaal de kalibratie procedure als de meting niet binnen de specificatie valt.

Bijlage 11: Draaiboek ijking turbiditeitsmeter aangepast aan de situatie in het meetpunt Grobbendonk

Op het veld

'Fouling' bepaling

- 1) Neem een standaardmonster of een schepmonster uit de rivier
- 2) Noteer de waarden die de sonde weergeeft alvorens de lens te kuisen.
- 3) Vergelijk deze waarden met een gekalibreerde veldmeter
→ aangezien wij deze niet hebben kunnen wij eventueel wel gebruik maken van de Analite, als referentiesysteem.
- 4) Kuis de lens
 - Kuis de lens af met een doek)
 - Reinig de lens met gedestilleerd water.
 - Controleer of de lens niet gekrast is, indien ja, dient de sonde vervangen te worden.
- 5) Meet de waarden die de sonde weergeeft na het kuisen van de lens en vergelijk deze met de waarden van de sonde voor het kuisen en met de waarden van de Analite (deze waarde zou nog steeds dezelfde moeten zijn)
Het verschil tussen de waarden voor en na het kuisen is de 'fouling'.

Kalibratie procedure

- 1) Gebruik een zero NTU standaard (door ons vervangen door gedistilleerd water)
 - a. Spoel de sonde af met gedeïoniseerd water (3 x spoelen).
 - b. De fabrikant vraagt hier om de sonde onder te dompelen in een zwart reservoir (een zwarte emmer) en de emmer te bedekken tijdens de kalibratie om contaminatie met neonlicht te voorkomen.
Aangezien we op het veld zijn zal neonlicht geen probleem zijn, maar ik neem aan dat dezelfde opmerking geldt voor daglicht.
Speciaal voor dit soort kalibratie is er een speciaal houten omhulselgebouwd, met een opening die net de doorsnede van de sensor heeft. Hierdoor wordt de oplossing volledig verduisterd.
 - c. Agiteer (beweeg) de sonde herhaaldelijk om luchtbellens te verwijderen van het optische oppervlak.
 - d. Bekijk de turbiditeitsmetingen gedurende 1 à 2 minuten of langer om er zeker van te zijn dat de lezingen stabiel zijn.
 - e. Bevestig het zero-NTU kalibratiepunt aan de hand van de instructies van de fabrikant.
 - f. Verwijder de sonde en droog nauwgezet om dilutie of contaminatie van de volgende standaard te vermijden.
 - g. Gooi de eerste standaard weg.
- 2) Gebruik makend van een secundaire standaard (Formazine suspensie)
 - a. Spoel de sonde oppervlakken met een gedeelte van de standaard. Gooi het spoelwater weg.
 - b. Dompel het gehele oppervlak van de sonde in een vat met een standaard gevuld.
 - c. Agiteer (beweeg) de sonde herhaaldelijk om luchtbellens te verwijderen van het optische oppervlak.
 - d. Bekijk de turbiditeitsmetingen gedurende 1 à 2 minuten of langer om er zeker van te zijn dat de lezingen stabiel zijn.
 - e. Bevestig het NTU kalibratiepunt voor de gebruikte standaard, zoals aangegeven in de handleiding van de fabrikant.
 - f. Verwijder de sonde en spoel de oppervlakken grondig met gedeïoniseerd water.
Droog de sonde nauwgezet.
 - g. Gooi de gebruikte standaard weg.

- 3) Herhaal de stappen 4 (a-g) terwijl men gebruik maakt van verschillende Formazine suspensie standaarden, als verhoogde nauwkeurigheid vereist is en als de instrument software het gebruik van een derde kalibratiepunt toestaat.
- 4) Bereid een standaard met een turbiditeit die dicht bij het midden van de kalibratie punten licht en/of dicht bij de geschatte turbiditeit van het te meten water gelegen is, door verdunning van de bestaande standaarden.
 - a. Meet de turbiditeit van deze suspensie, waarbij men zeker is dat het binnen de nauwkeurigheid specificatie van het instrument valt.
 - b. Herhaal de kalibratie procedure als de meting niet binnen de specificatie valt.

Benodigheden op het veld

- vod (papieren zakdoekje, lensschoonmaakpapier, of een doek)
- gedestilleerd water (relatief grote hoeveelheid → veel spoelen)
- gekalibreerde veldmeter = extra turbiditeitsmeter die al in het labo geijkt is
 - Hiervoor gebruiken wij dus de Analite
- zwarte emmer
 - deze gebruiken we voor de staalname van het schepmonster. De metingen worden evenwel ook nog steeds uitgevoerd in een speciaal voor de ijkingen gemaakte houten constructie.
- Formazine standaarden

Bijlage 12: Laboratoriumvoorbereidingen voor de turbiditeitsmetingen

Bereiden van turbiditeitsvrij water

Turbiditeitsvrij water wordt gemaakt door filtrering van monsterwater, of gedeïoniseerd water door een filter met poriëndiameter van 0,2 µm of kleiner.

Ik suggereer het filtreren van gedeïoniseerd water met een filter met poriëndiameter van 0,2 µm of kleiner.

Bereiden van Formazine standaarden

De voorraad turbiditeits suspensie mag maandelijks bereid worden, de standaard oplossingen moeten op de dag van de kalibratie van het instrument gemaakt worden omdat deze maar vier tot zes uur stabiel blijven.

Om een voorraad 400 NTU Formazine suspensie te maken en te verdunnen gaat men als volgt te werk:

1. Los 1,000 g hydrazine sulfaat $[(\text{NH}_2)_2.\text{H}_2\text{SO}_4]$ op in gefilterd water en leng aan tot 100 mL in een volumetrische fles (flask = maatbeker?).
2. Los 10,00 g hexamethyleentetramine $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ op in gefilterd water en leng aan tot 100 mL in een volumetrische fles.
3. Meng 5,0 mL van hydrazine sulfaat en 5,0 mL van hexamethyleentetramine oplossingen in een 100 mL volumetrische fles en laat het 24 uur staan op $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$; leng aan tot het merkteken en meng.
Om 500 mL van 400 NTU standaard te maken, meng 25 mL van het reagens oplossingen in een 500 mL fles. Leng aan tot het merkteken en meng.
4. Om een 40 NTU standaard te maken, leng 10,00 mL van de 400 NTU voorraad suspensie aan tot 100 mL met turbiditeitsvrij water.

Bereid een voldoende grote hoeveelheid aan Formazine standaard. Het nodige volume aan standaard kan 500 mL zijn voor sommige instrumenten.

Benodigdheden voor het labo

- hydrazine sulfaat
- hexamethyleentetramine
- een verwarmingsplaat of oven die een constante temperatuur van rond de 25°C kan creëren.
- filter met poriëndiameter van 0,2 µm of kleiner
- volumetrische pipet (5 mL) en pippet vuller
- filterhouder; filterpomp; aspirator (= zuigsysteem)

Bijlage 13: Theoretisch draaiboek voor bemonstering dwarsdoorsnede

Afgeleid van: Surface-water sampling: collection methods at flowing-water and still-water sites van Webb, Radtke en Iwatsubo (Webb et.al. 1999)

Wanneer men de EWI methode gebruikt, verdeelt men de dwarsdoorsnede in een aantal gelijke-breedte incrementen. Bemonstering gebeurt door het neerlaten en ophalen van een sampler doorheen de waterkolom in het centrum van elk increment (deze monsternameplaats wordt verticale genoemd). De combinatie van eenzelfde constante doorhaalsnelheid (transit rate) waarmee men elke verticale bemonstert en de isokinetische eigenschappen van de sampler zorgen voor een 'discharge-weighted' monster dat proportioneel is voor de gehele stroom. Isokinetisch bemonsteren is noodzakelijk voor de EWI methode.

→ Wij hebben hier het probleem dat we niet integrerend noch isokinetisch kunnen werken.

Richtlijnen voor de EWI-methode

Stap 1: Voorbereiding voor bemonsteren

Stap 2: Kies het aantal en de breedte van de gelijke-breedte incrementen

- a. Inspecteer de stroom visueel, van oever tot oever en longitudinaal, waarbij men snelheid, breedte, diepteverdeling en zichtbare distributie van sediment in de doorsnede observeert. Noteer de plaatsen waar er zich stilstaand water, waterkolken, tegengestelde stromen, stukken met hogere stroomsnelheid, ... bevinden.
- b. Bepaal de rivierbreedte van een 'tagline' (= ijklijn) of van een afstand gemeten vanop een brug, ...
- c. Meet en leg de variatie van veldmetingen langsheen de dwarsdoorsnede vast op sites met weinig sampling-geschiedenis. Bekijk de variaties in de grootte van de variaties.
- d. Bepaal de breedte van het increment. Om het aantal incrementen te bekomen, deel de stroombreedte door de increment breedte. Het aantal incrementen moet een geheel aantal zijn. Incrementbreedte is gebaseerd op de studie objectieven, op variaties in veldmetingen en op stroom- en kanaalkarakteristieken langsheen de dwarssectie.
 - Verzamel elk deelmonster in het centrum van elk gelijke-breedte increment (de verticale)
 - Als het deelmonster niet de gemiddelde waarde voor dat increment weergeeft, verklein dan de incrementbreedte tot de gemiddelde waarde voor het increment bekomen wordt. Hierdoor neemt het aantal bemonsterde incrementen toe.
- e. Plaats de eerste bemonsteringsverticale op een afstand gelijk aan de helft van de gekozen incrementbreedte. Plaats alle andere verticalen in het centrum van elk van de overgebleven gelijke-breedte incrementen langsheen de dwarsdoorsnede.
- f. Pas de bemonsteringsplaatsen lichtjes aan, indien nodig, om te voorkomen dat men bemonstert waar de stroom beïnvloed wordt door één of andere obstructie.

Gulden regels:

Om het aantal gelijke-breedte incrementen vast te leggen:

- Dwarsdoorsnede met een breedte > 5 voet ≈ 1.5 m, gebruik ten minste 10 gelijke-breedte incrementen
- Dwarsdoorsnede met een breedte < 5 voet ≈ 1.5 m, gebruik zo veel incrementen als praktisch zijn, maar de breedte moet minimaal 3 in = 7.62 cm zijn

Ook toestellen kunnen aantal incrementen bepalen

Stap 3: Bepaal doorhaalsnelheid

Stap 4: Bemonsteren

- a. Ga naar de eerste verticale en spoel het veldgereedschap
- b. Noteer de start tijd en de peilhoogte
- c. Laat de veldgespoelde sampler zakken ... Diepteintegrerende sampler → voor ons niet interessant

- d. Inspecteer elk deelmonster wanneer het genomen is, om te controleren of het niet teveel of te weinig gevuld is en of er geen onmogelijk grote hoeveelheden sediment inzitten, afkomstig door verstoring van de bodem.
Als één van deze zaken plaatsvonden, gooi het monster weg, ervoor zorgend dat er geen residuele korrels achterblijven en herbemonster de verticale.
- e. Verplaats de bemonsteringsapparatuur naar de volgende verticale
- f. Bemonster de EWI verticalen zo veel als nodig om een adequaat monstervolume te bekomen voor analyse, maar zorg ervoor dat je elke verticale even vaak bemonsterd.
- g. Noteer volgende informatie na beëindigen van bemonstering:
 - stoptijd van bemonstering
 - peilhoogte op einde van bemonstering
 - Alle veldobservaties en afwijkingen van standaard bemonsteringsprocedures

Stap 5: Verwerk monsters

Stap 6: Kuis het gereedschap

Bijlage 14: Draaiboek veldmetingen voor bemonstering van de dwarsdoorsnede aangepast aan de situatie in het meetpunt Grobbendonk

Op het veld

1. Meten van de breedte van de rivier

De breedte van de rivier is in Grobbendonk te bepalen van op de brug die net stroomopwaarts van het meetpunt gelegen is.

Op de brug zijn een aantal raaien vastgelegd, waarop de breedte van de rivier af te lezen valt.
2. Meten van de diepte van de rivier, meer bepaald langs de door ons gekozen verticalen.

De diepte wordt bepaald terwijl men de debietmetingen uitvoert.

De verticalen die hiervoor gekozen worden zijn alle raaien die aangeduid staan op de brug.
3. Aan de hand van de breedte en diepte van de rivier bepalen van het aantal en de localisatie van de bemonsteringspunten.
 - Dit kan opgeschreven worden op een formulier, dat op voorhand al is gemaakt. Voor een voorbeeld van zo'n formulier, zie Bijlage 15. In Bijlage 15 wordt tevens ook een ingevuld formulier toegevoegd.
 - Bepaling van de breedte van het increment.

In Grobbendonk wordt er geopteerd om een aantal raaien als verticalen te kiezen. De afstand tussen twee gekozen raaien (= een increment) bedraagt 1 meter behalve tussen de raaien en de oever.

Normaliter moet men de eerste bemonsteringsverticale op een afstand gelijk aan de helft van de gekozen incrementbreedte plaatsen. Plaats alle andere verticalen in het centrum van elk van de overgebleven gelijke-breedte incrementen langsheen de dwarsdoorsnede.
4. Nemen van de monsters
 - Ten eerste worden er monsters genomen met een toestel van het 'val'type. Let erop dat we na het dichtklappen van de val zo snel mogelijk de inhoud van het toestel in een (op voorhand schoongemaakt) reservoir eventueel met behulp van een trechter.
 - Ten tweede wordt deze monsternamen (op dezelfde plaatsen) herhaald met de pompmethode.

Aangezien de pompmethode veel sneller bemonstert, neem twee monsters met behulp van de pomp, dit om over een grotere monsterhoeveelheid voor analyse te beschikken.
 - Ga naar de eerste verticale en spoel het veldgereedschap
 - Noteer de start tijd en de peilhoogte
 - Inspecteer elk deelmonster wanneer het genomen is, om te controleren of het niet teveel of te weinig gevuld is en of er geen onmogelijk grote hoeveelheden sediment inzitten, afkomstig door verstoring van de bodem.

Als één van deze zaken plaatsvonden, gooi het monster weg, ervoor zorgend dat er geen residuele korrels achterblijven en herbemonster de verticale.
 - Noteer volgende informatie na beëindigen van bemonstering:
 - stoptijd van bemonstering
 - peilhoogte op einde van bemonstering
 - Alle veldobservaties en afwijkingen van standaard bemonsteringsprocedures
5. Kuis het gereedschap
6. Het meten van de concentraties en het verwerken van de gegevens (met wiskundige formules) gebeurt niet op het veld.

Benodigdheden

- materiaal voor debietmetingen, die uiteindelijk ook de dieptes onder het wateroppervlak en tot de rivierbodem zullen opmeten.
- veldboek met reeds op voorhand aangebrachte tabellen en schetsen
- toestel 'val' type
- pomp
- trechter
- reservoirs om de dwarsdoorsnede monsters in te bewaren
 - aantal = minstens 150 flessen

Laboratoriumvoorbereidingen voor de dwarsdoorsnede

- schoonmaken van reservoirs (met detergent en spoelen met gedestilleerd/gedeïoniseerd water)

Bijlage 15: Formulier voor het invullen van plaatsing van bemonsteringspunten, in dit geval voor de sedimenttrap

Dwarsdoorsnede Grobbendonk: 'val'toestel

[illegible][illegible]

Bijlage 15b: Ingevuuld formulier voor het invullen van de localisite van bemonsteringspunten, in dit geval voor de sedimenttrap
Dwarsdoorsnede Grobbendonk: 'val'toestel
7/03/2003

Nummer verticalen op de brug	nummer verticalen debietmetingen	diepte van de rivier ter hoogte van de verticale	afstand oever - verticale
4	2	0,54 m	2,50 m
6	4	0,80 m	4,00 m
8	6	1,00 m	6,00 m
10	8	1,18 m	8,00 m
12	10	1,37 m	10,00 m
14	12	1,07 m	12,00 m
16	14	0,72 m	14,00 m
17	15	0,40 m	14,75 m

Monsternummer	nummer verticale (brug)	diepte onder het oppervlak
T1	4	0,17 m
T2	4	0,33 m
T3	6	0,48 m
T4	6	0,63 m
T5	8	0,20 m
T6	8	0,60 m
T7	10	0,22 m
T8	10	0,66 m
T9	10	1,01 m
T10	12	0,27 m
T11	12	0,81 m
T12	12	1,20 m
T13	14	0,22 m
T14	14	0,66 m
T15	16	0,14 m
T16	16	0,43 m
T17	17	0,22 m

Let op voor de twee verschillende nummeringen van de verticalen, de ene is de nummering van de raaien op de brug, de andere is de nummering zoals aangegeven bij de debietmeting

Bijlage 16: Debietmeting uitgevoerd op 7-3-2003HIC (MVG) Samengevat rapport (verbeterde diepten)Q-Meting 0521010Q 07/03/2003 12:23
KLEINE NETE GROBBENDONK

		Begin		Einde	
		Uur	Kota	Uur	Kota
L i m n i 1	Peilschaal meetsectie	12:23	6,50	14:30	6,50
	Limnigraaf	12:30	6,50	14:30	6,50
	Peilschaal	00:00	-9999,00	00:00	-9999,00
L i m n i 2	Limnigraaf	00:00	-9999,00	00:00	-9999,00
	Peilschaal	00:00	-9999,00	00:00	-9999,00

Debiet (m³/s) : 8,196
 Natte sectie (m²) (A) : 12,356
 Natte omtrek (m) (P) : 13,537
 Hydraulische straal (m) (R=A/P) : 0,913
 Breedte (m) : 12,750
 Gem.Diepte (m) : 0,969
 Gem.Snelheid (m/s) : 0,663
 Opp. Gem.Snelheid (m/s) : 0,766
 Luchtverplaatsing (tirant?????) : 0,00

Aantal vertikalen : 16

Molen 1 : OTT C2000 Schroef : 1
 V = 0,001 * n + 0,000

Support : Stang

Commentaar: debietsmeting dwarssectie

HIC (MVG)
Q-Meting

0521010Q
KLEINE NETE

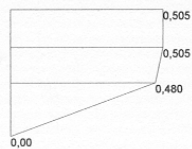
07/03/2003 12:23
GROBBENDONK

Verticalen (verbeterde diepten)

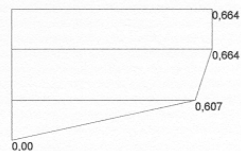
Verticaal nr. 1 Vm : 0,000m/s

0,000

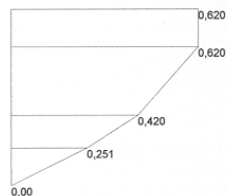
Verticaal nr. 2 Vm : 0,430m/s



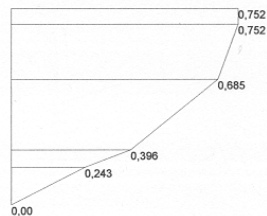
Verticaal nr. 3 Vm : 0,580m/s



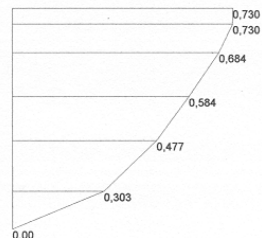
Verticaal nr. 4 Vm : 0,433m/s



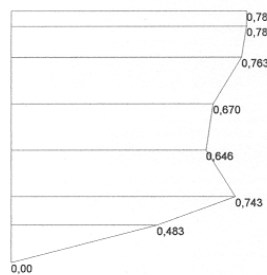
Verticaal nr. 5 Vm : 0,517m/s



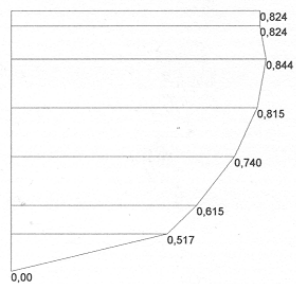
Verticaal nr. 6 Vm : 0,502m/s



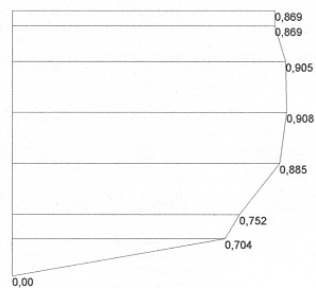
Verticaal nr. 7 Vm : 0,644m/s



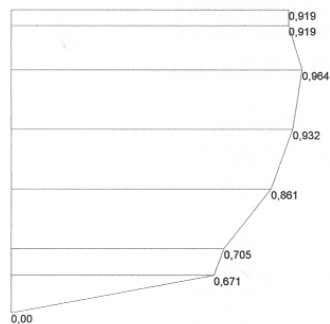
Verticaal nr. 8 Vm : 0,695m/s



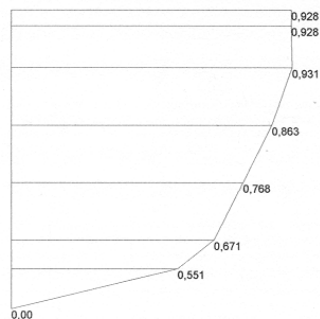
Verticaal nr. 9 Vm : 0,808m/s



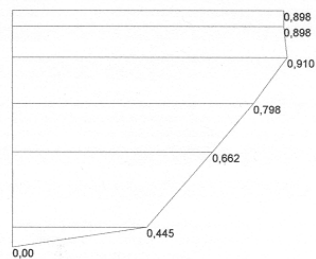
Verticaal nr. 10 Vm : 0,821m/s



Verticaal nr. 11 Vm : 0,758m/s



Verticaal nr. 12 Vm : 0,697m/s

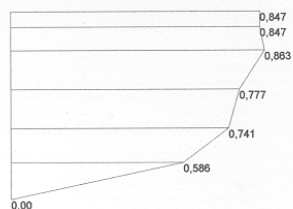


HIC (MVG)
Q-Meting

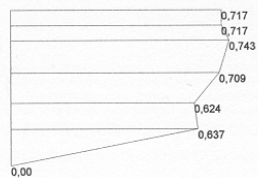
0521010Q
KLEINE NETE

Verticalen (verbeterde diepten)
07/03/2003 12:23
GROBBENDONK

Verticaal nr. 13 Vm : 0,705m/s



Verticaal nr. 14 Vm : 0,632m/s



Verticaal nr. 15 Vm : 0,555m/s



Verticaal nr. 16 Vm : 0,000m/s

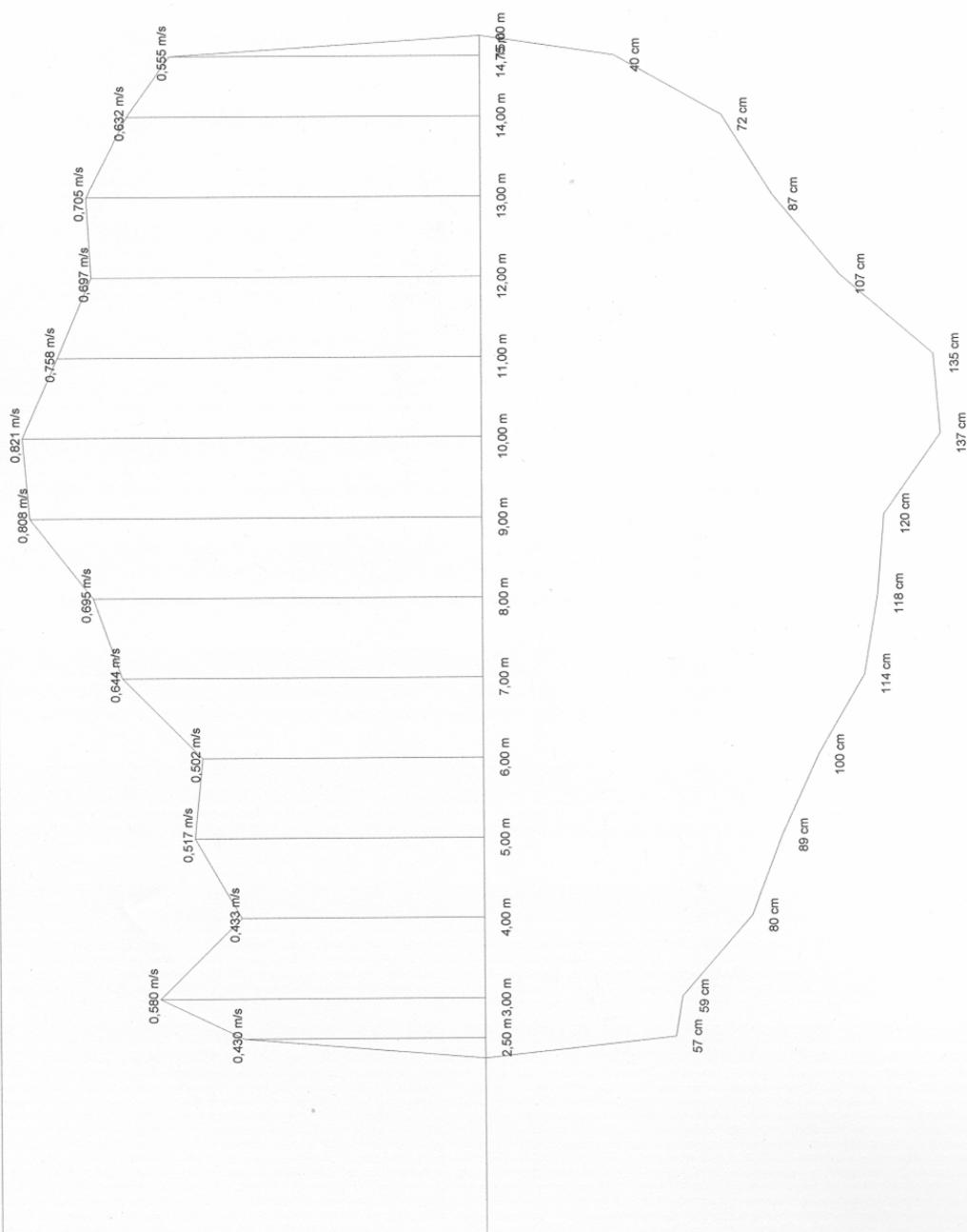
0,000

HIC (MVG)

Q-Meting

0521010Q
KLEINE NETE07/03/2003 12:23
GROBBENDONK

Profiel en gemiddelde snelheden (verbeterde diepten)

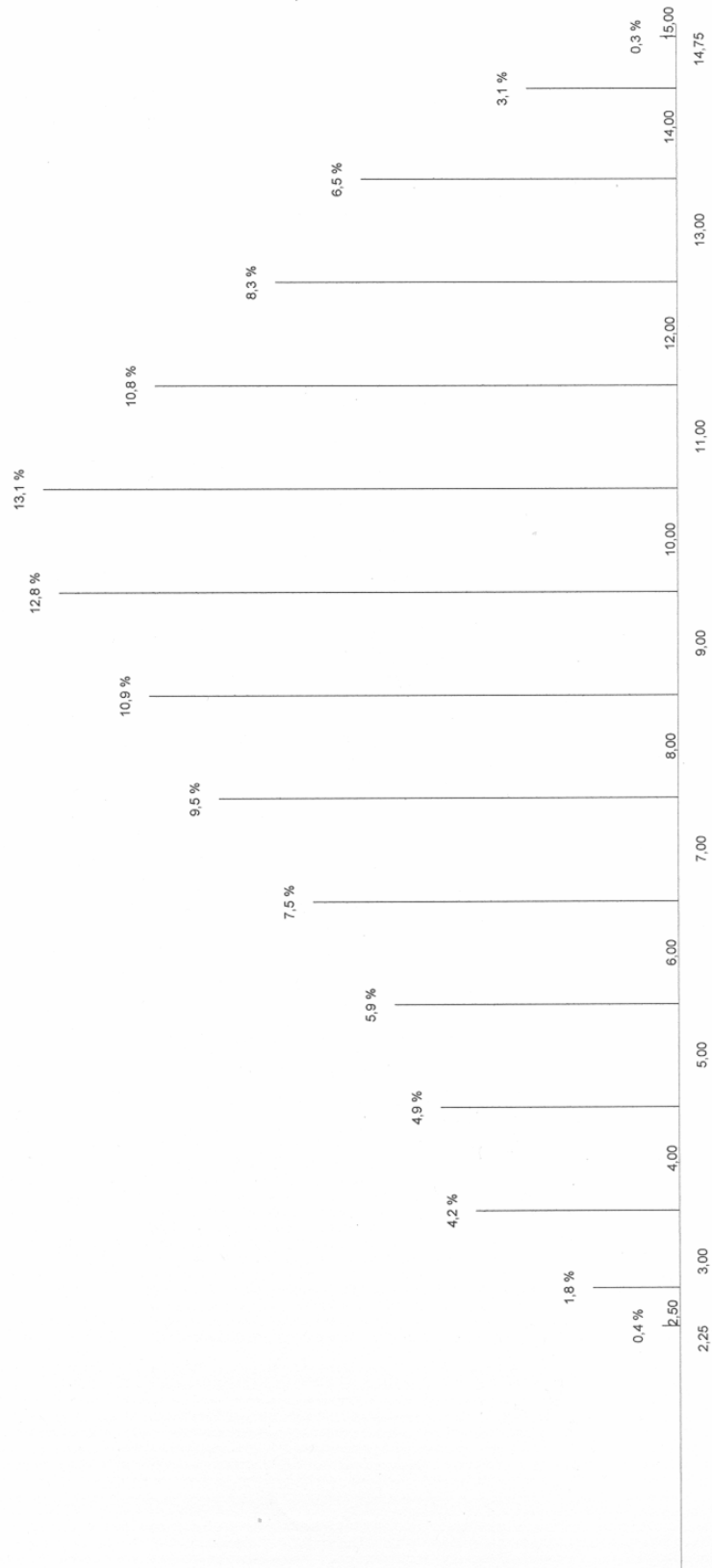


HIC (MVG)
Q-Meting

0521010Q
KLEINE NETE

Verdeling van de debieten (verbeterde diepten)

07/03/2003 12:23
GROBBENDONK



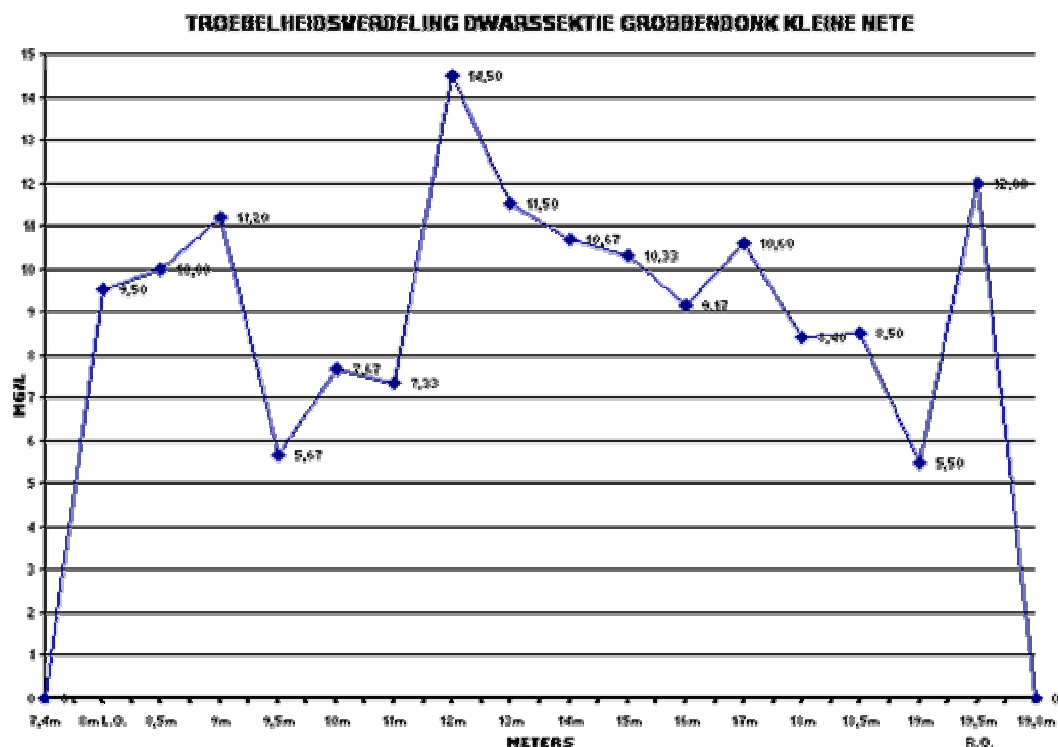
Bijlage 17: Uitrekening dwarsdoorsnede correctiefactor met methode met theoretische plaatsbepaling van het opzuigstuk

Dwarsdoorsnede sediment transport							
meetpost Kleine Nete - Grobbendonk				datum 15/05/2000			
links 0 op 7,4m				waterhoogte 6,15m		Q=3,635m³/s	
rechts 0 op 19,80m							
nr	vertikale(m)	diepte(cm)	mg/l	nr	vertikale(m)	diepte(cm)	mg/l
1	8	7	8	38	13	60	10
2		10	11	39		73	11
3	8,5	7	11	40	14	7	12
4		14	9	41		15	13
5	9	7	9	42		30	5
6		15	11	43		45	9
7		23	10	44		60	11
8		31	16	45		70	14
9		38	10	46	15	7	18
10	9,5	7	10	47		18	12
11		14	5	48		36	12
12		21	6	49		54	10
13		28	3	50		72	3
14		35	6	51		85	7
15		42	4	52	16	7	12
16	10	7	7	53		18	9
17		14	10	54		36	10
18		21	8	55		54	10
19		28	7	56		72	7
20		35	7	57		86	7
21		43	7	58	17	7	12
22	11	7	2	59		16	13
23		16	3	60		25	11
24		25	7	61		34	9
25		34	10	62		37	8
26		43	10	63	18	7	5
27		51	12	64		15	8
28	12	7	12	65		23	9
29		19	14	66		31	12
30		31	16	67		40	8
31		43	19	68	18,5	7	6
32		55	13	69		14	10
33		68	13	70		21	11
34	13	7	14	71		29	7
35		15	13	72	19	7	6
36		30	12	73		16	5
37		45	9	74	19,5	10	12

som . raai = 708
 : aantal meetpunten = 74 = 9,56
 : meetpunt sonde = 11,2 = **0,85**

afstand	aantal met.	som/ raai	gem. /raai
8m L.O.	2	19	9,50
8,5m	2	20	10,00
9m	5	56	11,20
9,5m	6	34	5,67
10m	6	46	7,67
11m	6	44	7,33
12m	6	87	14,50
13m	6	69	11,50
14m	6	64	10,67
15m	6	62	10,33
16m	6	55	9,17
17m	5	53	10,60
18m	5	42	8,40
18,5m	4	34	8,50
19m	2	11	5,50
19,5m R.O.	1	12	12,00
totaal som gemiddelde			152,54

som gem. raai = 152,54
 : aantal afstanden = 16 = 9,53
 : meetpunt sonde = 11,2 = **0,85**



Grobbendonk 07/03/2003 DWARSSEKTIE

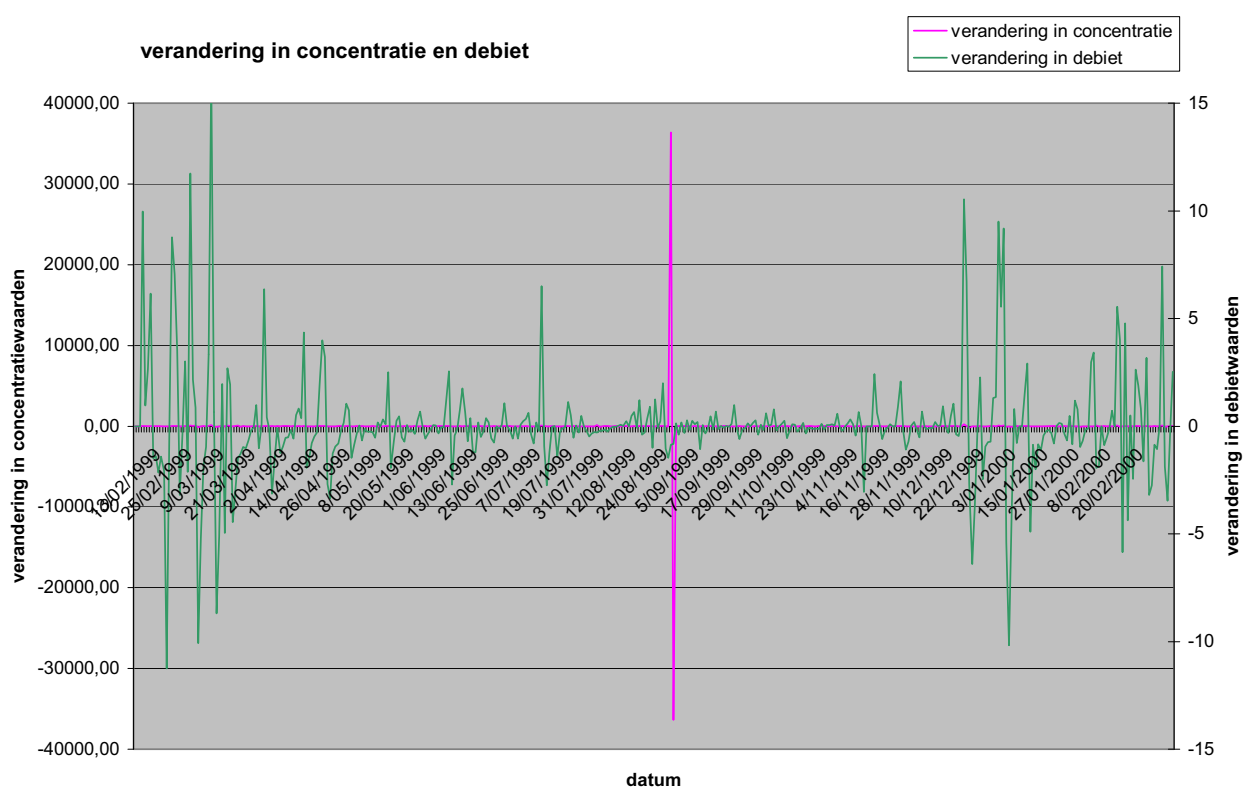
meetraai	afstand m	diepte m	nr. fles	mg/l	analite NTU	hach NTU
4	2,5	0,17	T 1	43	37	38,9
		0,33	T 2	50	36	43,6
6	4	0,48	T 3	51	35	41,1
		0,63	T 4	43	37	43,0
8	6	0,2	T 5	43	36	38,2
		0,6	T 6	57	36	41,2
10	8	0,22	T 7	42	33	37,1
		0,66	T 8	36	32	43,2
		1,01	T 9	47	39	47,7
12	10	0,27	T 10	42	38	44,4
		0,81	T 11	43	38	42,2
		1,2	T 12	57	40	48,0
14	12	0,22	T 13	42	42	45,8
		0,66	T 14	42	41	45,4
16	14	0,14	T 15	48	41	45,8
		0,43	T 16	44	38	42,2
17	14,75	0,22	T 17	38	34	39,7

		aantal punt	som raai	gem raai
2,5	43	2	93	46,5
	50			
4	51	2	94	47
	43			
6	43	2	100	50
	57			
8	42	3	125	41,67
	36			
	47			
10	42	3	142	47,33
	43			
	57			
12	42	2	84	42
	42			
14	48	2	92	46
	44			
14,75	38	1	38	38
		17	768	358,5

som raai	768
:aantal punt 17	45,17647
: meetp 47	0,961

som gem raai	358,5
: aantal raai 8	44,8125
: meetpunt 47	0,953

Bijlage 18: Grafiek die de verandering in debiet en de verandering in concentratie afzonderlijk uitzet voor de periode van februari 1999 tot februari 2000 (waarden afkomstig van de meetpost te Grobbendonk)



Bijlage 19: Lijst van sedimentpieken die niet correleerbaar zijn met debietpieken voor de periode februari 1999 tot februari 2000 (waarden afkomstig van meetpost te Grobbendonk).

Deze lijst is eigenlijk een kalender waarop de dagen waarop de niet-correleerbare dagen een kleurtje gekregen:

- rood voor dagen die zowel met de hand als met de computer bekomen zijn
- oranje voor de dagen die enkel door de computer als niet correleerbaar worden aangezien

De oranje waarden zijn te verklaren doordat door deze methode te gebruiken ook sedimentpieken die een dag voorlopen op de debietpiek als niet-correleerbaar worden aangeduid.

Wanneer deze als dusdanig herkend konden worden, is dit ingevuld in de kolom 'opmerkingen'

Het product van de veranderingen in debiet en concentratie is zowel uitgerekend aan de hand van de waarden bekomen door de monitor als de waarden bekomen door filtratie. Hierdoor doen zich verschillen voor, die eventueel uit te leggen zijn door een betere inschatting door de turbiditeitsmeter dankzij de continue monitoring in tegenstelling tot de discontinue metingen door de automatische pompsampler. Aan de andere kant moet men wel nog sterk rekening houden met de slechte kalibratie van de turbiditeitsmeter, en zou deze oefening opnieuw moeten gebeuren wanneer dit probleem van de baan is.

product van de veranderingen in debiet en concentratie (monitor)	product van de veranderingen in debiet en concentratie (filtratie)	Opmerkingen i.v.m. met de hand aangeduide pieken
4/02/1999	4/02/1999	
5/02/1999	5/02/1999	
6/02/1999	6/02/1999	
7/02/1999	7/02/1999	
8/02/1999	8/02/1999	
9/02/1999	9/02/1999	
10/02/1999	10/02/1999	
11/02/1999	11/02/1999	
12/02/1999	12/02/1999	
13/02/1999	13/02/1999	
14/02/1999	14/02/1999	
15/02/1999	15/02/1999	
16/02/1999	16/02/1999	
17/02/1999	17/02/1999	
18/02/1999	18/02/1999	
19/02/1999	19/02/1999	
20/02/1999	20/02/1999	
21/02/1999	21/02/1999	
22/02/1999	22/02/1999	
23/02/1999	23/02/1999	
24/02/1999	24/02/1999	
25/02/1999	25/02/1999	
26/02/1999	26/02/1999	
27/02/1999	27/02/1999	
28/02/1999	28/02/1999	
1/03/1999	1/03/1999	
2/03/1999	2/03/1999	
3/03/1999	3/03/1999	
4/03/1999	4/03/1999	

5/03/1999	5/03/1999
6/03/1999	6/03/1999
7/03/1999	7/03/1999
8/03/1999	8/03/1999
9/03/1999	9/03/1999
10/03/1999	10/03/1999
11/03/1999	11/03/1999
12/03/1999	12/03/1999
13/03/1999	13/03/1999
14/03/1999	14/03/1999
15/03/1999	15/03/1999
16/03/1999	16/03/1999
17/03/1999	17/03/1999
18/03/1999	18/03/1999
19/03/1999	19/03/1999
20/03/1999	20/03/1999
21/03/1999	21/03/1999
22/03/1999	22/03/1999
23/03/1999	23/03/1999
24/03/1999	24/03/1999
25/03/1999	25/03/1999
26/03/1999	26/03/1999
27/03/1999	27/03/1999
28/03/1999	28/03/1999
29/03/1999	29/03/1999
30/03/1999	30/03/1999
31/03/1999	31/03/1999
1/04/1999	1/04/1999
2/04/1999	2/04/1999
3/04/1999	3/04/1999
4/04/1999	4/04/1999
5/04/1999	5/04/1999
6/04/1999	6/04/1999
7/04/1999	7/04/1999
8/04/1999	8/04/1999
9/04/1999	9/04/1999
10/04/1999	10/04/1999
11/04/1999	11/04/1999
12/04/1999	12/04/1999
13/04/1999	13/04/1999
14/04/1999	14/04/1999
15/04/1999	15/04/1999
16/04/1999	16/04/1999
17/04/1999	17/04/1999
18/04/1999	18/04/1999
19/04/1999	19/04/1999

20/04/1999	20/04/1999
21/04/1999	21/04/1999
22/04/1999	22/04/1999
23/04/1999	23/04/1999
24/04/1999	24/04/1999
25/04/1999	25/04/1999
26/04/1999	26/04/1999
27/04/1999	27/04/1999
28/04/1999	28/04/1999
29/04/1999	29/04/1999
30/04/1999	30/04/1999
1/05/1999	1/05/1999
2/05/1999	2/05/1999
3/05/1999	3/05/1999
4/05/1999	4/05/1999
5/05/1999	5/05/1999
6/05/1999	6/05/1999
7/05/1999	7/05/1999
8/05/1999	8/05/1999
9/05/1999	9/05/1999
10/05/1999	10/05/1999
11/05/1999	11/05/1999
12/05/1999	12/05/1999
13/05/1999	13/05/1999
14/05/1999	14/05/1999
15/05/1999	15/05/1999
16/05/1999	16/05/1999
17/05/1999	17/05/1999
18/05/1999	18/05/1999
19/05/1999	19/05/1999
20/05/1999	20/05/1999 piek dag te laat
21/05/1999	21/05/1999
22/05/1999	22/05/1999
23/05/1999	23/05/1999
24/05/1999	24/05/1999
25/05/1999	25/05/1999
26/05/1999	26/05/1999
27/05/1999	27/05/1999
28/05/1999	28/05/1999
29/05/1999	29/05/1999
30/05/1999	30/05/1999
31/05/1999	31/05/1999
1/06/1999	1/06/1999
2/06/1999	2/06/1999
3/06/1999	3/06/1999
4/06/1999	4/06/1999

5/06/1999	5/06/1999
6/06/1999	6/06/1999
7/06/1999	7/06/1999 piek naar einde toe
8/06/1999	8/06/1999
9/06/1999	9/06/1999
10/06/1999	10/06/1999
11/06/1999	11/06/1999
12/06/1999	12/06/1999
13/06/1999	13/06/1999
14/06/1999	14/06/1999
15/06/1999	15/06/1999
16/06/1999	16/06/1999
17/06/1999	17/06/1999
18/06/1999	18/06/1999
19/06/1999	19/06/1999
20/06/1999	20/06/1999
21/06/1999	21/06/1999
22/06/1999	22/06/1999
23/06/1999	23/06/1999
24/06/1999	24/06/1999
25/06/1999	25/06/1999
26/06/1999	26/06/1999
27/06/1999	27/06/1999
28/06/1999	28/06/1999
29/06/1999	29/06/1999
30/06/1999	30/06/1999
1/07/1999	1/07/1999
2/07/1999	2/07/1999
3/07/1999	3/07/1999
4/07/1999	4/07/1999
5/07/1999	5/07/1999
6/07/1999	6/07/1999
7/07/1999	7/07/1999
8/07/1999	8/07/1999
9/07/1999	9/07/1999
10/07/1999	10/07/1999
11/07/1999	11/07/1999
12/07/1999	12/07/1999
13/07/1999	13/07/1999
14/07/1999	14/07/1999
15/07/1999	15/07/1999
16/07/1999	16/07/1999
17/07/1999	17/07/1999 twijfelgeval
18/07/1999	18/07/1999
19/07/1999	19/07/1999
20/07/1999	20/07/1999

21/07/1999	21/07/1999
22/07/1999	22/07/1999
23/07/1999	23/07/1999
24/07/1999	24/07/1999
25/07/1999	25/07/1999
26/07/1999	26/07/1999
27/07/1999	27/07/1999
28/07/1999	28/07/1999
29/07/1999	29/07/1999
30/07/1999	30/07/1999
31/07/1999	31/07/1999
1/08/1999	1/08/1999
2/08/1999	2/08/1999
3/08/1999	3/08/1999
4/08/1999	4/08/1999
5/08/1999	5/08/1999
6/08/1999	6/08/1999
7/08/1999	7/08/1999
8/08/1999	8/08/1999
9/08/1999	9/08/1999
10/08/1999	10/08/1999
11/08/1999	11/08/1999
12/08/1999	12/08/1999
13/08/1999	13/08/1999
14/08/1999	14/08/1999
15/08/1999	15/08/1999
16/08/1999	16/08/1999
17/08/1999	17/08/1999 deze naderhand ingebracht
18/08/1999	18/08/1999
19/08/1999	19/08/1999
20/08/1999	20/08/1999
21/08/1999	21/08/1999
22/08/1999	22/08/1999
23/08/1999	23/08/1999
24/08/1999	24/08/1999
25/08/1999	25/08/1999
26/08/1999	26/08/1999
27/08/1999	27/08/1999
28/08/1999	28/08/1999
29/08/1999	29/08/1999
30/08/1999	30/08/1999
31/08/1999	31/08/1999
1/09/1999	1/09/1999
2/09/1999	2/09/1999
3/09/1999	3/09/1999
4/09/1999	4/09/1999

5/09/1999	5/09/1999
6/09/1999	6/09/1999
7/09/1999	7/09/1999
8/09/1999	8/09/1999
9/09/1999	9/09/1999
10/09/1999	10/09/1999
11/09/1999	11/09/1999
12/09/1999	12/09/1999
13/09/1999	13/09/1999
14/09/1999	14/09/1999
15/09/1999	15/09/1999
16/09/1999	16/09/1999
17/09/1999	17/09/1999
18/09/1999	18/09/1999
19/09/1999	19/09/1999
20/09/1999	20/09/1999
21/09/1999	21/09/1999
22/09/1999	22/09/1999
23/09/1999	23/09/1999
24/09/1999	24/09/1999
25/09/1999	25/09/1999
26/09/1999	26/09/1999
27/09/1999	27/09/1999
28/09/1999	28/09/1999
29/09/1999	29/09/1999
30/09/1999	30/09/1999
1/10/1999	1/10/1999
2/10/1999	2/10/1999
3/10/1999	3/10/1999
4/10/1999	4/10/1999
5/10/1999	5/10/1999
6/10/1999	6/10/1999
7/10/1999	7/10/1999
8/10/1999	8/10/1999
9/10/1999	9/10/1999
10/10/1999	10/10/1999
11/10/1999	11/10/1999
12/10/1999	12/10/1999
13/10/1999	13/10/1999
14/10/1999	14/10/1999
15/10/1999	15/10/1999
16/10/1999	16/10/1999
17/10/1999	17/10/1999
18/10/1999	18/10/1999
19/10/1999	19/10/1999
20/10/1999	20/10/1999
21/10/1999	21/10/1999

22/10/1999	22/10/1999
23/10/1999	23/10/1999
24/10/1999	24/10/1999
25/10/1999	25/10/1999
26/10/1999	26/10/1999
27/10/1999	27/10/1999
28/10/1999	28/10/1999
29/10/1999	29/10/1999
30/10/1999	30/10/1999
31/10/1999	31/10/1999
1/11/1999	1/11/1999
2/11/1999	2/11/1999
3/11/1999	3/11/1999
4/11/1999	4/11/1999
5/11/1999	5/11/1999
6/11/1999	6/11/1999
7/11/1999	7/11/1999
8/11/1999	8/11/1999
9/11/1999	9/11/1999
10/11/1999	10/11/1999
11/11/1999	11/11/1999
12/11/1999	12/11/1999
13/11/1999	13/11/1999
14/11/1999	14/11/1999
15/11/1999	15/11/1999
16/11/1999	16/11/1999
17/11/1999	17/11/1999
18/11/1999	18/11/1999
19/11/1999	19/11/1999
20/11/1999	20/11/1999
21/11/1999	21/11/1999
22/11/1999	22/11/1999
23/11/1999	23/11/1999
24/11/1999	24/11/1999
25/11/1999	25/11/1999
26/11/1999	26/11/1999
27/11/1999	27/11/1999
28/11/1999	28/11/1999
29/11/1999	29/11/1999
30/11/1999	30/11/1999
1/12/1999	1/12/1999
2/12/1999	2/12/1999
3/12/1999	3/12/1999
4/12/1999	4/12/1999
5/12/1999	5/12/1999
6/12/1999	6/12/1999

7/12/1999	7/12/1999
8/12/1999	8/12/1999
9/12/1999	9/12/1999
10/12/1999	10/12/1999
11/12/1999	11/12/1999
12/12/1999	12/12/1999
13/12/1999	13/12/1999
14/12/1999	14/12/1999
15/12/1999	15/12/1999
16/12/1999	16/12/1999
17/12/1999	17/12/1999
18/12/1999	18/12/1999
19/12/1999	19/12/1999
20/12/1999	20/12/1999
21/12/1999	21/12/1999
22/12/1999	22/12/1999
23/12/1999	23/12/1999
24/12/1999	24/12/1999
25/12/1999	25/12/1999
26/12/1999	26/12/1999
27/12/1999	27/12/1999
28/12/1999	28/12/1999
29/12/1999	29/12/1999
30/12/1999	30/12/1999
31/12/1999	31/12/1999
1/01/2000	1/01/2000
2/01/2000	2/01/2000
3/01/2000	3/01/2000
4/01/2000	4/01/2000
5/01/2000	5/01/2000
6/01/2000	6/01/2000
7/01/2000	7/01/2000
8/01/2000	8/01/2000
9/01/2000	9/01/2000
10/01/2000	10/01/2000
11/01/2000	11/01/2000
12/01/2000	12/01/2000
13/01/2000	13/01/2000
14/01/2000	14/01/2000
15/01/2000	15/01/2000
16/01/2000	16/01/2000
17/01/2000	17/01/2000
18/01/2000	18/01/2000
19/01/2000	19/01/2000
20/01/2000	20/01/2000
21/01/2000	21/01/2000

22/01/2000	22/01/2000
23/01/2000	23/01/2000
24/01/2000	24/01/2000
25/01/2000	25/01/2000
26/01/2000	26/01/2000
27/01/2000	27/01/2000
28/01/2000	28/01/2000
29/01/2000	29/01/2000
30/01/2000	30/01/2000
31/01/2000	31/01/2000 fout door nulwaarde
1/02/2000	1/02/2000
2/02/2000	2/02/2000
3/02/2000	3/02/2000
4/02/2000	4/02/2000
5/02/2000	5/02/2000
6/02/2000	6/02/2000
7/02/2000	7/02/2000
8/02/2000	8/02/2000
9/02/2000	9/02/2000 piek dag te vroeg
10/02/2000	10/02/2000
11/02/2000	11/02/2000
12/02/2000	12/02/2000
13/02/2000	13/02/2000
14/02/2000	14/02/2000
15/02/2000	15/02/2000
16/02/2000	16/02/2000
17/02/2000	17/02/2000 piek een dag te vroeg
18/02/2000	18/02/2000
19/02/2000	19/02/2000
20/02/2000	20/02/2000
21/02/2000	21/02/2000
22/02/2000	22/02/2000 later toegevoegd
23/02/2000	23/02/2000
24/02/2000	24/02/2000
25/02/2000	25/02/2000
26/02/2000	26/02/2000
27/02/2000	27/02/2000
28/02/2000	28/02/2000
29/02/2000	29/02/2000

Bijlage 20: Voorbeeld van een totaaltransportberekening voor de meetpost te Grobbendonk voor het jaar 2000.

Voor de berekening van de concentratie werden de gegevens van de monitor gebruikt, tenzij voor de waarden die in een grijs kadertje staan, daar werden de gegevens aangevuld met filtratiewaarden.

052-101-36 Kl.-Nete Grobbendonk 2000				
dag	mon.mg/l	debietm³/s	g/s	ton/dag
1	123,32	13,882	1711,928	147,911
2	127,89	13,882	1775,369	153,392
3	132,49	13,881	1839,094	158,898
4	218,35	15,406	3363,900	290,641
5	242,7	18,319	4446,021	384,136
6	121,31	13,413	1627,131	140,584
7	138,3	12,554	1736,218	150,009
8	159	10,556	1678,404	145,014
9	42	9,714	407,988	35,25
10	37,67	8,593	323,698	27,967
11	321,99	8,162	2628,082	227,066
12	39	7,935	309,465	26,738
13	37	7,771	287,527	24,842
14	39,5	7,449	294,236	25,422
15	45	6,651	299,295	25,859
16	40	6,664	266,560	23,031
17	34	6,826	232,084	20,052
18	28,33	6,941	196,639	16,990
19	32,75	6,586	215,692	18,636
20	25	5,93	148,250	12,809
21	28,5	6,398	182,343	15,754
22	77	5,556	427,812	36,963
23	60	6,742	404,520	34,951
24	110,29	7,53	830,484	71,754
25	98,62	6,560	646,947	55,896
26	82,00	5,875	481,750	41,623
27	47,98	5,713	274,110	23,683
28	55,03	5,592	307,728	26,588
29	99,46	8,565	851,875	73,602
30	128,46	11,992	1540,492	133,099
31	95,42	10,047	958,685	82,830
1	50,86	8,199	417,001	36,029
2	62,44	8,199	511,946	44,232
3	98,81	7,325	723,783	62,535
4	52,97	6,810	360,726	31,167
5	68,88	6,696	461,220	39,849
6	85,21	7,414	631,747	54,583
7	95,39	7,414	707,221	61,104
8	131,65	12,963	1706,579	147,448
9	132,31	16,979	2246,491	194,097
10	87,57	11,121	973,866	84,142
11	111,15	15,904	1767,730	152,732
12	63,61	11,533	733,614	63,384
13	77,36	12,031	930,718	80,414
14	53,34	9,586	511,317	44,178

15	58,30	12,221	712,484	61,559
16	91,43	14,114	1290,443	111,494
17	58,18	14,935	868,918	75,075
18	22,75	13,296	302,484	26,135
19	66,16	16,468	1089,523	94,135
20	23,18	13,266	307,506	26,569
21***	9,29	10,525	97,777	8,448
22	0,04	9,654	0,386	0,033
23	0,06	8,580	0,515	0,044
24	0,00	8,619	0,000	0,000
25	116,07	16,031	1860,718	160,766
26	103,05	14,157	1458,879	126,047
27	33,00	10,692	352,836	30,485
28	6,99	10,410	72,766	6,287
29	9,31	12,945	120,518	10,413
1	26,70	16,502	440,603	38,068
2	3,06	13,845	42,366	3,660
3	106,88	19,829	2119,324	183,110
4	99,84	30,402	3035,336	262,253
5	24,51	22,234	544,955	47,084
6	10,20	16,012	163,322	14,111
7	0,33	13,073	4,314	0,373
8	2,76	14,152	39,060	3,375
9	0,14	17,328	2,426	0,210
10	0,00	13,528	0,000	0,000
11	7,13	11,569	82,487	7,127
12	5,00	10,280	51,400	4,441
13	5,75	9,241	53,136	4,591
14	1,08	8,942	9,657	0,834
15	37,03	8,886	329,049	28,430
16	15,78	7,810	123,242	10,648
17	22,40	7,471	167,350	14,459
18	26,62	7,180	191,132	16,514
19	29,93	7,484	223,996	19,353
20	32,25	7,054	227,492	19,655
21	0,15	6,793	1,019	0,088
22	5,63	6,600	37,158	3,210
23	19,17	6,296	120,694	10,428
24	15,21	6,150	93,542	8,082
25	16,89	7,149	120,747	10,433
26	27,59	7,636	210,677	18,203
27	19,70	7,203	141,899	12,260
28	43,68	6,768	295,626	25,542
29	201,00	6,949	1396,749	120,679
30	246,74	6,730	1660,560	143,472
31	419,23	6,268	2627,734	227,036
1	449,35	5,981	2687,562	232,205
2	313,57	5,872	1841,283	159,087
3	159,52	5,767	919,952	79,484
4	25,87	5,688	147,149	12,714
5	100,41	5,313	533,478	46,093
6	86,63	4,792	415,131	35,867

7	80,11	4,734	379,241	32,766
8	55,14	4,302	237,212	20,495
9	367,59	4,556	1674,740	144,698
10	283,32	4,403	1247,458	107,780
11	0,00	4,365	0,000	0,000
12	0,00	4,903	0,000	0,000
13	0,00	5,678	0,000	0,000
14	0,22	6,378	1,403	0,121
15	0,00	5,702	0,000	0,000
16	0,13	5,116	0,665	0,057
17	0,00	5,246	0,000	0,000
18	0,00	5,249	0,000	0,000
19	0,17	4,731	0,804	0,069
20	0,00	4,512	0,000	0,000
21	0,47	4,454	2,093	0,181
22	21,79	4,661	101,563	8,775
23	154,25	12,189	1880,153	162,445
24	48,69	9,737	474,095	40,962
25	22,25	7,382	164,250	14,191
26	0,84	5,983	5,026	0,434
27	0,05	5,984	0,299	0,026
28	25,63	5,656	144,963	12,525
29	50,89	5,250	267,173	23,084
30	4,04	4,923	19,889	1,718
1	0,46	4,749	2,185	0,189
2	0,05	4,648	0,232	0,020
3	6,39	4,579	29,260	2,528
4	73,05	4,635	338,587	29,254
5	134,33	4,448	597,500	51,624
6	53,83	4,451	239,597	20,701
7	114,09	3,849	439,132	37,941
8	36,16	3,758	135,889	11,741
9	0,26	3,648	0,948	0,082
10	2,29	4,167	9,542	0,824
11	0,28	6,185	1,732	0,150
12	0,82	4,620	3,788	0,327
13	0,42	3,810	1,600	0,138
14	0,02	3,656	0,073	0,006
15	0,00	2,923	0,000	0,000
16	0,00	2,857	0,000	0,000
17	9,13	2,968	27,098	2,341
18	0,62	4,858	3,012	0,260
19	0,08	4,272	0,342	0,030
20	1,14	4,638	5,287	0,457
21	1,05	4,111	4,317	0,373
22	3,47	4,685	16,257	1,405
23	0,02	4,184	0,084	0,007
24	0,00	4,388	0,000	0,000
25	21,77	8,777	191,075	16,509
26	58,34	6,769	394,903	34,120
27	44,12	5,407	238,557	20,611
28	43,65	5,637	246,055	21,259

29	45,41	6,242	283,449	24,490
30	0,00	5,476	0,000	0,000
31	0,00	4,918	0,000	0,000
1	8,84	4,454	39,373	3,402
2	9,05	3,940	35,657	3,081
3	15,07	3,816	57,507	4,969
4	80,32	14,937	1199,740	103,658
5	38,46	12,418	477,596	41,264
6	3,73	17,203	64,167	5,544
7	0,86	12,167	10,464	0,904
8	3,41	8,082	27,560	2,381
9	11,21	6,252	70,085	6,055
10	8,74	4,950	43,263	3,738
11	2,90	3,697	10,721	0,926
12	6,00	3,206	19,236	1,662
13	14,17	2,677	37,933	3,277
14	25,47	3,181	81,020	7,000
15	21,09	2,338	49,308	4,260
16	16,73	2,629	43,983	3,800
17	0,84	2,138	1,796	0,155
18	0,17	1,805	0,307	0,027
19	0,17	1,724	0,293	0,025
20	0,00	1,547	0,000	0,000
21	30,95	1,509	46,704	4,035
22	13,15	1,483	19,501	1,685
23	37,86	1,355	51,300	4,432
24	112,83	2,064	232,881	20,121
25	62,45	5,272	329,236	28,446
26	58,26	3,071	178,916	15,458
27	20,28	2,681	54,371	4,698
28	18,95	2,336	44,267	3,825
29	39,02	2,179	85,025	7,346
30	34,78	2,016	70,116	6,058
1	68,00	1,708	116,144	10,035
2	64,60	4,268	275,713	23,822
3	83,31	11,415	950,984	82,165
4	32,16	8,132	261,525	22,596
5	57,28	6,822	390,764	33,762
6	99,96	5,860	585,766	50,610
7	102,28	4,639	474,477	40,995
8	45,33	3,920	177,694	15,353
9	54,23	3,899	211,443	18,269
10	33,61	5,833	196,047	16,938
11	3,84	8,487	32,590	2,816
12	36,50	8,420	307,330	26,553
13	15,85	8,929	141,525	12,228
14	100,92	8,478	855,600	73,924
15	72,44	9,378	679,342	58,695
16	16,01	10,424	166,888	14,419
17	2,22	8,037	17,842	1,542
18	6,31	6,866	43,324	3,743
19	4,89	5,761	28,171	2,434

20	3,43	5,294	18,158	1,569
21	3,07	4,636	14,233	1,230
22	4,43	4,341	19,231	1,662
23	8,08	4,212	34,033	2,940
24	12,00	4,123	49,476	4,275
25	23,41	18,962	443,900	38,353
26	0,09	16,614	1,495	0,129
27	0,13	11,429	1,486	0,128
28	0,56	19,742	11,056	0,955
29	2,45	16,047	39,315	3,397
30	0,08	15,700	1,256	0,109
31	0,07	16,357	1,145	0,099
1	0,00	13,264	0,000	0,000
2	0,00	11,728	0,000	0,000
3	0,06	9,519	0,571	0,049
4	0,03	7,472	0,224	0,019
5	0,06	6,635	0,398	0,034
6	0,06	5,906	0,354	0,031
7	9,62	5,401	51,958	4,489
8	12,59	5,066	63,781	5,511
9	12,33	4,565	56,286	4,863
10	7,68	4,311	33,108	2,861
11	14,39	3,948	56,812	4,909
12	73,74	3,656	269,593	23,293
13	46,25	3,254	150,498	13,003
14	8,91	3,092	27,550	2,380
15	0,00	3,017	0,000	0,000
16	0,45	2,772	1,247	0,108
17	0,00	2,913	0,000	0,000
18	0,00	2,695	0,000	0,000
19	0,00	2,791	0,000	0,000
20	0,08	5,216	0,417	0,036
21	9,29	5,106	47,435	4,098
22	4,12	5,775	23,793	2,056
23	9,01	4,476	40,329	3,484
24	3,62	3,769	13,644	1,179
25	2,50	3,754	9,385	0,811
26	0,08	3,106	0,248	0,021
27	0,07	2,360	0,165	0,014
28	0,00	3,466	0,000	0,000
29	0,17	3,756	0,639	0,055
30	0,00	3,957	0,000	0,000
31	0,02	3,474	0,069	0,006
1	0,06	3,064	0,184	0,016
2	7,08	5,447	38,565	3,332
3	2,92	7,807	22,796	1,970
4	4,63	5,577	25,822	2,231
5	0,00	4,647	0,000	0,000
6	0,11	4,749	0,522	0,045
7	0,03	5,376	0,161	0,014
8	0,00	4,594	0,000	0,000
9	0,13	4,551	0,592	0,051

10	1,10	4,178	4,596	0,397
11	0,09	3,778	0,340	0,029
12	0,07	3,883	0,272	0,023
13	0,05	3,699	0,185	0,016
14	0,17	3,630	0,617	0,053
15	0,46	3,562	1,639	0,142
16	4,84	7,537	36,479	3,152
17	50,03	20,030	1002,101	86,582
18	6,20	12,728	78,914	6,818
19	0,09	8,830	0,795	0,069
20	0,66	6,916	4,565	0,394
21	0,00	6,158	0,000	0,000
22	0,13	5,702	0,741	0,064
23	0,55	5,402	2,971	0,257
24	0,95	4,895	4,650	0,402
25	5,04	4,750	23,940	2,068
26	1,93	4,410	8,511	0,735
27	0,81	6,451	5,225	0,451
28	0,06	5,562	0,334	0,029
29	0,18	5,531	0,996	0,086
30	0,10	5,101	0,510	0,044
1	0,20	5,171	1,034	0,089
2	0,01	6,089	0,061	0,005
3	0,61	5,440	3,318	0,287
4	0,10	5,128	0,513	0,044
5	0,11	4,959	0,545	0,047
6	0,02	5,918	0,118	0,010
7	2,34	7,697	18,011	1,556
8	0,05	6,305	0,315	0,027
9	0,11	6,618	0,728	0,063
10	4,46	8,790	39,203	3,387
11	17,59	12,059	212,118	18,327
12	10,35	10,420	107,847	9,318
13	3,00	7,864	23,592	2,038
14	1,94	6,565	12,736	1,100
15	0,25	6,341	1,585	0,137
16	0,44	6,562	2,887	0,249
17	0,00	7,230	0,000	0,000
18	0,56	6,800	3,808	0,329
19	17,84	10,641	189,835	16,402
20	17,40	10,321	179,585	15,516
21	1,67	8,052	13,447	1,162
22	0,07	7,030	0,492	0,043
23	5,03	6,479	32,589	2,816
24	0,35	6,498	2,274	0,196
25	0,13	6,132	0,797	0,069
26	0,04	5,807	0,232	0,020
27	0,01	6,036	0,060	0,005
28	24,44	9,690	236,824	20,462
29	50,66	11,550	585,123	50,555
30	37,73	11,082	418,124	36,126
31	71,31	14,085	1004,401	86,780

1	15,44	12,046	185,990	16,070
2	52,30	15,555	813,527	70,289
3	18,75	13,990	262,313	22,664
4	11,14	11,286	125,726	10,863
5	12,44	9,676	120,369	10,400
6	30,29	11,396	345,185	29,824
7	35,25	12,301	433,610	37,464
8	17,21	11,371	195,695	16,908
9	15,31	10,055	153,942	13,301
10	17,16	8,873	152,261	13,155
11	17,86	7,968	142,308	12,295
12	26,59	7,952	211,444	18,269
13	46,50	11,722	545,073	47,094
14	3,60	9,971	35,896	3,101
15	5,96	8,551	50,964	4,403
16	4,75	8,062	38,295	3,309
17	11,72	9,306	109,066	9,423
18	8,21	10,174	83,529	7,217
19	6,31	10,191	64,305	5,556
20	11,82	11,691	138,188	11,939
21	2,75	10,593	29,131	2,517
22	10,28	12,220	125,622	10,854
23	52,93	14,889	788,075	68,090
24	13,38	14,981	200,446	17,319
25	2,54	11,877	30,168	2,606
26	36,08	16,903	609,860	52,692
27	12,25	14,488	177,478	15,334
28	33,21	17,852	592,865	51,224
29	33,89	15,754	533,903	46,129
30	8,11	12,221	99,112	8,563
1	4,46	10,555	47,075	4,067
2	8,71	11,019	95,975	8,292
3	26,81	14,280	382,847	33,078
4	17,25	12,379	213,538	18,450
5	30,41	11,049	336,000	29,030
6	25,39	10,065	255,550	22,080
7	49,54	12,294	609,045	52,621
8	82,55	12,826	1058,786	91,479
9	45,35	10,750	487,513	42,121
10	44,27	10,687	473,113	40,877
11	65,02	13,076	850,202	73,457
12	63,34	16,712	1058,538	91,458
13	93,20	18,406	1715,439	148,214
14	72,17	18,684	1348,424	116,504
15	66,67	17,467	1164,525	100,615
16	69,62	18,573	1293,052	111,720
17	26,91	13,045	351,041	30,330
18	24,09	11,189	269,543	23,289
19	24,73	10,315	255,090	22,040
20	35,04	9,600	336,384	29,064
21	60,17	8,770	527,691	45,592
22	71,26	7,959	567,158	49,002

23	88,03	7,551	664,715	57,431
24	103,29	7,220	745,754	64,433
25	113,41	7,352	833,790	72,039
26	133,49	7,304	975,011	84,241
27	138,47	7,154	990,614	85,589
28	152,21	7,318	1113,873	96,239
29	157,73	7,354	1159,946	100,219
30	158,39	7,237	1146,268	99,038
31	201,07	7,846	1577,595	136,304
			totaal	11081,97683