

# Evaluatie beschikbare technieken voor debietsmeting van kleine waterlopen

**Kenny Liebert**

Promotor: Els Berckmoes

Co-promotoren: Nico Lambert

Masterproef ingediend tot het behalen van  
de graad van master of Science in de  
industriële wetenschappen: Master in de  
Industriële Ingenieurswetenschappen, Chemie

Academiejaar 2013-2014

---



© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen tot of informatie i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, wend u tot KU Leuven Campus De Nayer, Jan De Nayerlaan 5, B-2860 Sint-Katelijne-Waver, +32 15 31 69 44 of via e-mail [iiw.thomasmore.denayer@kuleuven.be](mailto:iiw.thomasmore.denayer@kuleuven.be).

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden

van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.



## **Voorwoord**

Tijdens het academiejaar 2013-2014 heb ik onderzoek gedaan naar de meest geschikte methode voor het meten van debieten in kleine waterlopen. Aangezien dit de oplossing kan bieden tot een betere opvolging van de kwaliteit van oppervlaktewater in Vlaanderen is dit een zeer interessant topic.

Graag wil ik iedereen op het Proefstation voor de Groenteteelt bedanken voor de fijne tijd die ik gehad heb tijdens deze stageperiode. In het specifiek wil ik graag mijn promotor Els Berckmoes bedanken die mijn thesis heeft begeleid en meerdere keren heeft nagelezen. Verder wil ik ook mijn co-promotor Nico Lambert bedanken voor de hulp en begeleiding tijdens deze stageperiode.

Ook wil ik mijn familie en vriendin Tinne Geens bedanken voor de steun die ik heb ontvangen tijdens het schrijven van deze thesis.



# Evaluatie beschikbare technieken voor debietsmeting van kleine waterlopen

**Kenny Liebert**

Promotor: Els Berckmoes

Co-promotoren: Nico Lambert

Masterproef ingediend tot het behalen van  
de graad van master of Science in de  
industriële wetenschappen: Master in de  
Industriële Ingenieurswetenschappen, Chemie

Academiejaar 2013-2014

---





## Samenvatting

Om de waterkwaliteit te garanderen in het oppervlaktewater, werden tot voor kort enkel nitraatconcentraties gemeten van kleine waterlopen. Om deze verontreinigingen beter in kaart te brengen werd er beslist om debietmetingen te gaan koppelen aan deze gemeten concentraties. Op deze manier kan de impact van een gemeten concentratie beter worden ingeschat door een nitraatvrucht op te stellen.

In de praktijk zijn er tal van technieken en methoden beschikbaar voor het meten van debieten in grote waterlopen. Echter treden er complicaties op in beken met lage stroomsnelheden en lage niveaus. Daarom werd op zoek gegaan naar een methode die gehanteerd kan worden voor het meten van debieten in deze kleine waterlopen. Verschillende meetprincipes werden aangehaald waaronder: dopplerverschuiving, elektromagnetische inductie, hoogteverval, enz... Al deze methoden werden onder andere geëvalueerd op: correctheid, tijdsduur van de meting, complexiteit en kostprijs. De methoden die geschikt leken werden vervolgens uitvoering getest.

De eerste toestellen die uitvoerig zijn getest zijn de Flowtracker en Valeport 801. Deze toestellen vereisen beiden dat er op verschillende plaatsen in de stroming een snelheid wordt gemeten. Hoewel met behulp van deze toestellen goede resultaten werden gerealiseerd, moest geconcludeerd worden dat ze te tijdrovend zijn voor de gegeven situatie. Ook bleek begroeiing voor de Flowtracker een knelpunt te zijn.

Vervolgens werd de ISCO 2150 sensor met datalogger geëvalueerd. Het voordeel van dit toestel is, dat het slechts op 1 meetlocatie moet worden geplaatst om een meting te voltooien (of 2 punten gelijktijdig met 2 sensoren bij ondiepe profielen). Daarom werd dit toestel binnen het kader van deze masterproef ook aanzien als de beste beschikbare oplossing voor het meten van debieten in kleine waterlopen en werd dit toestel onderworpen aan een uitgebreide set van kalibratie- en validatie-experimenten. De interne kalibratie van de sensor werd nagegaan in de UGent en vervolgens werd deze kalibratie geverifieerd in een kleine goot op het proefstation. Hier werd geconcludeerd dat de interne kalibratie van het toestel correct is voor kleine waterlopen (onder 5 l/s). Ook werd het effect van verstoringen in de waterstroom nagegaan. Hier werd duidelijk dat turbulentie het grootste probleem vormt voor deze sensor. Verder bleek op enkele locaties de signaalsterkte van het toestel een probleem te vormen. Dit werd opgelost door deeltjes in het water te brengen door slib op de bodem om te woelen. Op deze manier kan een signaalsterkte boven de 10% behaald worden. De ideale meettijd en log-interval werd alsook onderzocht. Er werd gevonden dat een minimale meettijd van 10 minuten moet worden gehanteerd en dat de sensor het best wordt ingesteld op een log-interval van 15 seconden. Tot slot werd er aan de hand van dit toestel een nitraatvrucht bepaald in de Zoeteweibeek. Hier werd besloten dat de debieten, mits een beperkte foutenmarge, binnen de verwachtingen vielen. Ook de gemeten nitraatconcentraties vielen binnen de verwachtingen. Echter, wanneer de nitraatvrucht werd berekend, moest besloten worden dat hier nog verdere experimenten nodig zijn om een correct besluit te kunnen vormen.

## Summary

To ensure the quality of surface water, nitrate concentrations are measured in small watercourses. To improve the visualization of this water pollution, the decision has been made to measure the flow rates and link these to the measured concentrations. By doing this, the impact of a measured concentration can be estimated more accurately by calculating a nitrate-load.

In practice, there are numerous techniques and methods available for measuring flow rates in large rivers. However, when streams with low flow and low levels are considered, complications occur. Therefore, one of the tasks was to search for a suitable method for these small water streams. Different measuring principles were cited including: Doppler shift, electromagnetic induction, altitude decay, etc... . All of these methods were evaluated, among other things: accuracy, duration, complexity of the measurement and cost. The methods which appeared suitable were then thoroughly tested.

The first devices that have been extensively tested were the "FlowTracker" and "Valeport 801". These devices both require that a rate is measured at various places in the flow. Although these methods give good results, it must be concluded that they are too time consuming for the given situation.

Next, the ISCO 2150 sensor with data logger was examined. This device has the advantage that it can measure the flow rate of an entire stream from one measuring-location (or 2 locations simultaneous with a second sensor in low water-levels). Therefore, this unit is considered as the best available solution for measuring flow in small streams. This unit was subjected to an extensive set of calibration and validation experiments. The internal calibration of the sensor was examined at the UGent and was then verified in a smaller flume at the research center. The conclusion was made that the internal calibration is correct for small watercourses (lower than 5 l/s). Also, the effect of disturbances in the water was examined, it became clear that turbulence was the main issue here. In a next stage, the signal strength of the sensor seemed a problem at some locations. This problem was solved by bringing soil particles in the stream by burrowing the sludge on the bottom of the stream. By doing this, a signal strength of at least 10% or higher can be achieved. The ideal measurement-time and log-interval was investigated as well. It was found that a minimum measuring time of 10 minutes should be used, and the sensor is best set to a log-interval of 15 seconds. Finally, by using this unit, the nitrate-load in the "Zoeteweibeek" was determined. The flow rates were measured within a limited margin of error. Also, the values of the nitrate-concentration were within the expectations. However, when calculating the nitrate-load, the conclusion had to be made that further experiments are needed to make a correct conclusion on this matter.

# Inhoudsopgave

<b>Hoofdstuk I: Inleiding .....</b>	<b>1</b>
1 Achtergrond Proefstation .....	1
2 De Europese Nitraatrichtlijn en CVBB.....	2
3 Doelstelling masterproef .....	5
<b>Hoofdstuk II: Literatuurstudie .....</b>	<b>7</b>
1 Bemesting en milieuproblemen .....	7
1.1 Nitraatrichtlijn .....	8
1.2 Reductie meststoffenverbruik .....	9
2 Debietmetingen .....	10
2.1 Akoestische debietmeting.....	11
2.1.1 Werking .....	11
2.1.2 Voordelen.....	12
2.1.3 Beperkingen .....	12
2.2 Elektromagnetische debietmeting.....	13
2.2.1 Voordelen.....	13
2.2.2 Nadelen .....	14
2.3 Debietmeting op basis van hoogteverval .....	14
2.3.1 Meetstuwen .....	14
2.3.2 Meetgoten .....	15
2.3.3 Ultrasoon hoogte meting .....	16
<b>Hoofdstuk III: Materiaal en methoden .....</b>	<b>17</b>
1 SonTek FlowTracker .....	17
1.1 Werking .....	18
1.2 Smart QC.....	19
1.3 Meetprincipe.....	22

2 Valeport 801 .....	23
2.1 Werking .....	23
2.2 Meetprincipe.....	25
3 RBC-meetgoot.....	27
4 EchoTREK level transmitter.....	29
5 ISCO 2150-logger.....	30
5.1 Werking.....	30
5.1.1 Snelheidsmeting.....	31
5.1.2 Niveaumeting .....	31
5.1.3 Debiet.....	32
5.1.4 Signaalsterkte.....	32
5.1.5 Signaalspectrum .....	32
5.2 Meetprincipe.....	32
<b>Hoofdstuk IV: Resultaten en bespreking.....</b>	<b>34</b>
1 Keuze van de toestellen.....	34
1.1 SonTek FlowTracker .....	34
1.2 Valeport 801 .....	34
1.3 RBC-meetgoot.....	34
1.4 EchoTREK level transmitter .....	35
1.5 ISCO 2150-logger.....	35
2 Vergelijking Valeport 801 en FlowTracker.....	35
2.1 Meetlocaties .....	36
2.2 Resultaten.....	39
2.2.1 Berekening Valeport gegevens .....	39
2.2.2 Berekening FlowTracker gegevens .....	39
2.2.3 Berekening drijftest .....	39
2.2.4 Verzameling van de gegevens.....	40

2.3 Bespreking .....	40
3 ISCO 2150-logger .....	43
3.1 Kalibratie .....	43
3.1.1 Kalibratie hoogtemeting .....	43
3.1.2 Kalibratie snelheidsmeting .....	44
3.1.3 Verificatie kalibratie lage debieten .....	46
3.2 Obstructies.....	49
3.2.1 Rooster .....	49
3.2.2 Turbulentie .....	50
3.2.3 Stroming loodrecht op de sensor .....	51
3.3 Sensorplaatsing .....	52
3.3.1 Probleemstelling.....	52
3.3.2 Oplossing .....	56
3.4 Plaatsing sensor gesloten buis .....	57
3.5 Signaalsterkte en spectrum .....	57
3.5.1 Probleemstelling.....	57
3.5.2 Omwoeling slib.....	58
3.5.3 Invloed signaalsterkte op snelheidsmeting.....	61
3.6 Debietschommelingen .....	63
3.7 Effect van het niveau op het debiet .....	65
3.8 Meetinterval .....	68
3.9 Ideale totale meettijd per locatie.....	70
3.10 Opstellen profiel in open waterlopen .....	72
3.11 Meten met 2 sensoren .....	74
4 Bepalen van de nitraatvrucht op basis van een debietsmeting .....	77
<b>Hoofdstuk V: Conclusies .....</b>	<b>79</b>
1 Keuze van de toestellen .....	79

2 Vergelijking Valeport 801 en FlowTracker.....	79
3 ISCO 2150 .....	81
4 Algemene conclusie.....	83
<b>Hoofdstuk VI: Aanbevelingen .....</b>	<b>84</b>
<b>Hoofdstuk VII: Glossarium.....</b>	<b>85</b>
<b>Hoofdstuk VIII: Bijlagen .....</b>	<b>86</b>
1 Summary report FlowTracker .....	86
2 Verzameling gegevens kalibratie UGent .....	88
3 Locatieschetsen .....	89
3.1 Locatie 1: T-splitsing Bemortelloop proefstation.....	89
3.2 Locatie 2: Bemortelloop proefstation .....	90
<b>Hoofdstuk IX: Literatuurlijst.....</b>	<b>91</b>

# Hoofdstuk I: Inleiding

## 1 Achtergrond Proefstation

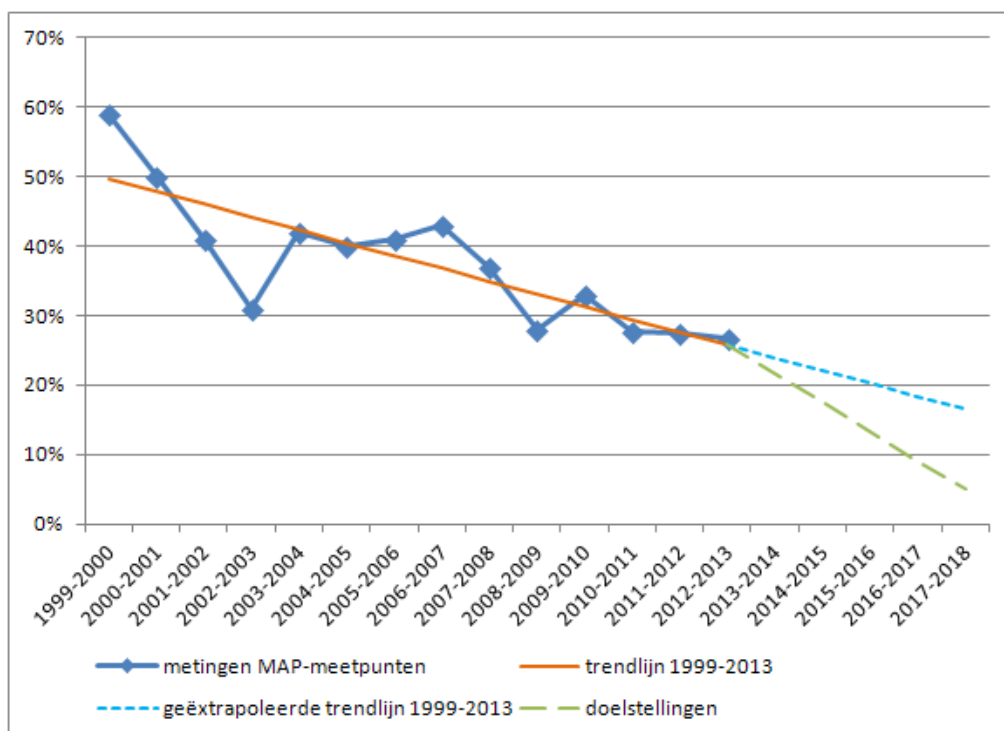
Al sinds 1963 bevindt zich in het grootste productiecentrum voor groenten van Vlaanderen, het Proefstation voor de Groenteteelt. Hier wordt via praktijkonderzoek naar antwoorden gezocht op praktische en teelt gerelateerde vragen van de groentetelers. In samenwerking met andere onderzoeksinstellingen wordt via projectmatig onderzoek een oplossing gezocht voor meer fundamentele problemen. Het proefstation voert onderzoek uit naar groenteteelten onder glas zoals tomaat, sla, paprika en komkommer. Verder wordt er ook onderzoek gedaan naar teelten in vollegrond zoals prei, koolgewassen, bladgewassen en asperges.

Dit onderzoek legt zich vast rond 8 thema's: rassen, gewasbescherming, watergebruik, bemesting, energie & klimaatsturing, teelttechnieken, nieuwe teeltsystemen en afvalbeheer. Naast deze thema's wordt er ook aandacht besteed aan de voedselveiligheid van groenten en fruit. Het proefstation biedt ook advies aan de telers voor de teelten van bladgewassen, prei en courgette.

Door de jaren heen heeft het proefstation ook een aanzienlijke expertise opgebouwd rond bemestingsadvies. Hiervoor beschikt het proefstation over een sneldienst voor stikstofanalyses. Door zijn expertise maakt het Proefstation voor de Groenteteelt ook deel uit van het Coördinatiecentrum Voorlichting en Begeleiding duurzame Bemesting, kortweg CVBB. Het onderzoek uitgevoerd rond de debietsmetingen kadert binnen de activiteiten van het proefstation als onderdeel van het CVBB. [1, 2]

## 2 De Europese Nitraatrichtlijn en CVBB

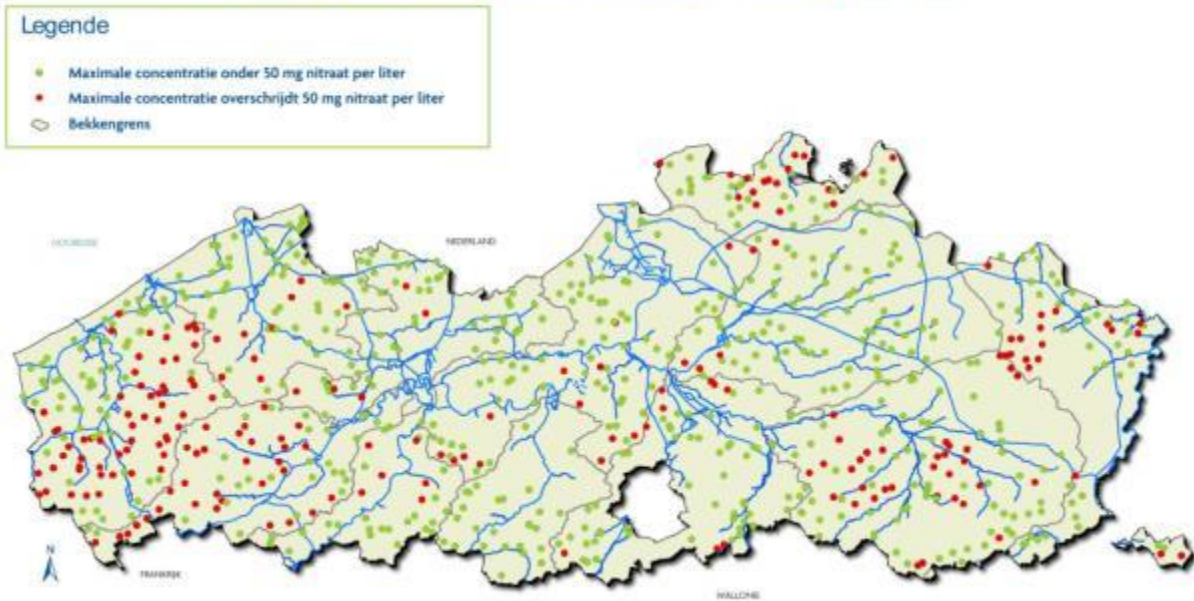
Een goede waterkwaliteit is van groot belang en aangezien water niet stopt bij de landsgrenzen, zijn er internationale afspraken vereist. Daarom werd door de Europese Unie de 'Kaderrichtlijn water' goedgekeurd (2000), deze richtlijn moet door de afzonderlijke lidstaten worden omgezet tot een eigen wetgeving en worden toegepast. Deze richtlijn overkoepeld de resultaten van onder andere: richtlijn gevaarlijke stoffen, nitraatrichtlijn, enz... . Reeds sinds 1991 werd de Nitraatrichtlijn uitgevaardigd en legt Europa zijn lidstaten op om de waterverontreiniging met nitraten stelselmatig te verminderen. Specifiek voor land- en tuinbouw wordt in Vlaanderen de toestand van het oppervlaktewater opgevolgd via een netwerk van 778 MAP-meetpunten. In deze punten controleert de Vlaamse Milieumaatschappij maandelijks het nitraatgehalte. Europa legt op dat tegen 2018, 95 % van deze meetpunten groen moet zijn (Figuur 1). Dat wil zeggen dat slechts één meetpunt op de 20 een overschrijding van de nitraatnorm van 50 mg NO<sub>3</sub>/l mag hebben gedurende het gehele meetjaar. In het meetjaar 2012-2013 waren nog 26,6 % van de MAP-meetpunten rood (Figuur 2). In essentie legt deze wetgeving op dat er geen nutriëntrijk restwater (>50mg NO<sub>3</sub>/l) mag terechtkomen in grond- of oppervlaktewater. [3, 4]



Figuur 1: Evolutie van het aandeel rode MAP-meetpunten in vergelijking met de doelstelling [5]



## MAP-meetnet getoetst aan de drempelwaarde van 50 mg nitraat per liter uit de Nitraatrichtlijn en het Mestdecreet in het winterjaar 2012 - 2013



Figuur 2: Groene en rode MAP-meetpunten in Vlaanderen [6]

In 2011 verscheen het huidige mestactieplan, MAP4. Dit actieplan is opgemaakt door Vlaanderen en heeft tot doel de richtlijnen opgelegd door Europa te behalen. Om de opgelegde maatregelen uit MAP4 uit te voeren, beloofde de Vlaamse overheid een flankerend beleid dat de land- en tuinbouwers moet helpen deze nieuwe regels te implementeren. Eén van die flankerende maatregelen is de oprichting van het CVBB. Dit coördinatiecentrum heeft 3 belangrijke taken:

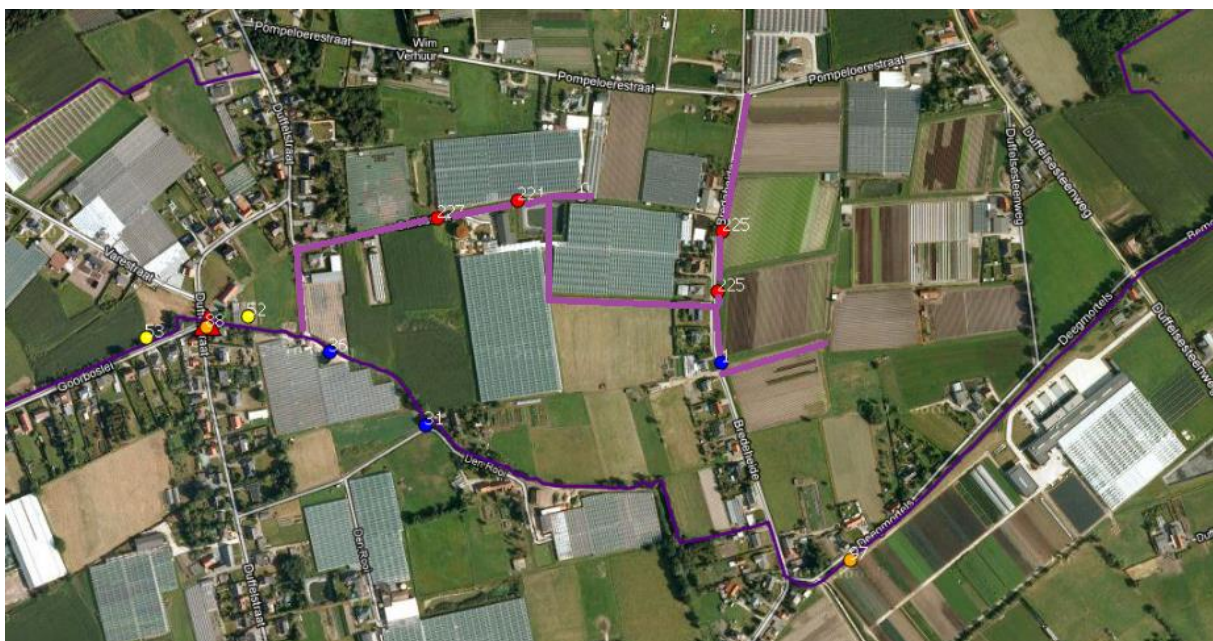
1. Oprichten van Waterkwaliteitsgroepen (WKG): Deze WKG's hebben tot doel de land- en tuinbouwers die grenzen aan een waterloop met een rood MAP-meetpunt samen te brengen en als groep de oorzaken voor de overschrijdingen te achterhalen en oplossingen te voorzien. Het CVBB voert hiervoor maandelijks meetcampagnes uit waarbij op strategische plaatsen stroomopwaarts van de MAP-meetpunten watermonsters worden genomen voor nitraatanalyse. Mogelijke oorzaken voor het overschrijden van de nitraatnorm worden zo achterhaald.
2. Individuele bedrijfsbegeleiding: Mestwetgeving is niet enkel van kracht voor telers grenzend aan rode MAP-meetpunten maar geldt voor alle land- en tuinbouwers. Hierdoor heeft het CVBB als taak alle telers die dit wensen bij te staan met advies rond bemesting, recirculatie van voedingswater, ....

3. Aanleg van referentiepercelen: Tot slot heeft het CVBB de taak na te gaan in hoeverre het opgelegde maximale nitraatresidu van 90 eenheden stikstof in de bodem realistisch is. Hiervoor volgt het CVBB een 500-tal referentiepercelen op waar jaarrond stalen worden genomen om te kijken hoe het N-gehalte in de bodem evolueert.

Het onderzoek rond de debietsmetingen kadert binnen de activiteiten van de waterkwaliteitsgroepen. Tijdens de meetcampagnes wordt de beek stroomopwaarts van het MAP-meetpunt bemonsterd. Vaak vertakt deze beek in verschillende zijtakken. Het nitraatgehalte in de verschillende takken kan aanzienlijk variëren. Om de impact van de nitraatvrucht van deze zijtakken op het MAP-meetpunt te kunnen beoordelen, is het essentieel de debieten van de betrokken zijtakken in kaart te brengen. [7, 8]

### 3 Doelstelling masterproef

Figuur 3 geeft een overzicht van een gedeelte van het afstroomgebied van de Bemortelloop in Sint-Katelijne-Waver. De rode driehoek duidt op de positie van een MAP-meetpunt. De gekleurde punten zijn de posities waar maandelijks een waterstaal wordt geanalyseerd op nitraatinhoud. De paarse lijnen geven de verschillende zijtakken weer die uitmonden in de Bemortelloop en waarvan het water langs het MAP-meetpunt passeert. Een blauw punt wijst op een concentratie van onder 40mg NO<sub>3</sub>/l, groen tussen 40 en 45mg NO<sub>3</sub>/l en oranje tussen 50 en 75mg NO<sub>3</sub>/l.



Figuur 3: Overzicht meetlocaties rond MAP-meetpunt

Het doel is het in kaart brengen van de impact van de verschillende zijtakken en lozingspunten op de rode MAP-meetpunten.

Het huidige uitgangspunt is de nitraatconcentratie koppelen aan de debieten om zo de vuilvrachten te bepalen. Voor debietmetingen in grote waterlopen zijn talrijke technieken en methoden beschikbaar. Echter, wanneer men spreekt over beken met lage stroomsnelheid/niveaus, treden er complicaties op. Deze toestellen zijn vaak niet voorzien op stromingen met veel vegetatie, slibafzetting of vervuiling (bv. bladen van de bomen). In het kader van deze masterproef wordt er op zoek gegaan naar een methode om debietmetingen uit te voeren op deze kleinere waterlopen.

Tijdens het evalueren van de verschillende mogelijkheden, dienen onder andere volgende factoren in rekening gebracht te worden:

- correctheid van de meting;
- tijdsduur van de meting;
- complexiteit van de meting;
- keuze voor vaste of mobiele meting;
- bij vaste meting: onderhoud;
- kostprijs per meetpunt;
- ...

Op basis van bovenstaande criteria wordt er getracht een geschikte methode uit te zoeken en deze te evalueren voor de verschillende locaties.

## Hoofdstuk II: Literatuurstudie

### 1 Bemesting en milieuproblemen

Om de groei van planten te bevorderen, zijn verschillende voedingstoffen nodig. De belangrijkste zijn nitraten en fosfaten. Het zijn voornamelijk de fosfaten die de limiterende factor zijn voor de plantengroei. De oorzaak ligt bij de verminderde mobiliteit van fosfaten in de bodem doordat deze zich binden met bodemdeeltjes. Vroeger werd als meststof voornamelijk dierlijke mest gebruikt, maar tegenwoordig is kunstmest interessanter om te gebruiken. Kunstmest is, zoals de naam het doet blijken, een kunstmatig mengsel van meststoffen met hoofdzakelijk nitraten en fosfaten. De komst van kunstmest heeft voor grote veranderingen gezorgd in de landbouw. De korrels zijn gemakkelijk in gebruik en leveren betere prestaties en opbrengsten door hun vaste en gekende samenstelling. Zo weten telers steeds dat de planten alle benodigde voedingstoffen in de correcte concentraties toegediend krijgen. Als gevolg van het stijgende gebruik van kunstmest, is er een overschot aan dierlijke mest ontstaan die men nog steeds kwijt wil. Op veel akkers wordt daarom te veel mest uitgereden, wat zorgt voor een overschot aan meststoffen in de bodem. Bij het toedienen van te veel meststoffen aan landbouwgronden, kan dit doorsijpelen naar het grondwater en nadien in het oppervlaktewater terechtkomen. Dit is voornamelijk het geval bij uitspoeling van gevoelige gronden zoals zandgronden.

Uit het grondwater en oppervlaktewater wordt drinkwater geproduceerd. Waterzuiveringsinstallaties moeten kostbare maatregelen treffen om meststoffen uit het water te verwijderen voor de bereiding van drinkwater. Het nitraatgehalte in drinkwater gewonnen uit dieper grondwater is in de afgelopen jaren sterk toegenomen. De problemen met nitraat in grondwater zijn beduidend groter dan deze van fosfaten door hun lagere mobiliteit in de bodem. Fosfaten worden hierdoor minder snel uitgespoeld naar het grondwater. Echter, eens de bodem verzadigd geraakt met fosfaten is uitspoeling nog steeds mogelijk.

Een toename van fosfaten en nitraten in het oppervlaktewater zorgen voor de verbeterde groei van fosfaat- en nitraatafhankelijke waterorganismen zoals algen. De overmatige groei van deze organismen zorgen ervoor dat zonlicht geen kans meer heeft om in het water door te dringen waardoor de groei van andere

waterplanten belemmerd wordt. Dit zorgt voor een daling in de zuurstofproductie van deze waterplanten en bijgevolg daalt ook het zuurstofgehalte in het water. Deze reeds lage zuurstofconcentratie wordt dan op zijn beurt opgebruikt door de algen. Dit fenomeen staat bekend als "Eutrofiering". Dit verschijnsel zorgt voor een daling in biodiversiteit en een stijging in vissterfte.

Verder zijn er ook gevolgen voor de menselijke gezondheid. De planten bevatten door deze overbemesting een verhoogde concentratie nitraten en fosfaten. Het menselijk lichaam heeft deze stoffen nodig om te kunnen functioneren. Stikstof is een bouwsteen van proteïnen in ons lichaam en speelt tevens een belangrijke rol in de energievoorziening. Fosfaten zorgen voor de stofwisseling en energievoorziening van het menselijk lichaam. Echter door een forse stijging van deze concentraties kunnen gezondheidsproblemen veroorzaakt worden. Bij een verhoogde inname van nitraten wordt de schadelijkheid vooral veroorzaakt door de omzetting in het lichaam naar nitriet. Deze nitrieten binden zich aan hemoglobine in het bloed wat het zuurstoftransport doorheen het lichaam bemoeilijkt. Verder kunnen er ook Nitrosaminen gevormd worden uit nitraat, deze zijn kankerverwekkend en zijn reeds risicovol in lage concentraties. Dit probleem wordt echter opgevangen door vooroogst controles van de veilingen door strikte nitraatnormen voor groeten (sla, ...).

Schadelijke fosfaatconcentraties worden veel minder vaak overschreden in het menselijk lichaam omdat hoge fosfaatconcentraties minder frequent in drinkwater voorkomen. Een te hoge opname kan weliswaar wel op latere leeftijd botontkalking (osteoporose) veroorzaken. [9, 10]

## **1.1 Nitraatrichtlijn**

Het is duidelijk dat zuiver en schoon water van vitaal belang is voor de gezondheid en welzijn van de mens en ook voor de natuurlijke ecosystemen. Omdat waterbronnen zich niet tot landsgrenzen beperken, is een Europese aanpak cruciaal om problemen van vervuiling aan te pakken. Hieruit is in 1991 de Europese nitraatrichtlijn ontstaan. Deze richtlijn is erop gericht de waterkwaliteit in heel Europa te beschermen door te voorkomen dat nitraten de grond- en oppervlaktewateren verontreinigen als gevolg van het stimuleren van land- en tuinbouw. In Vlaanderen worden de nitraatconcentraties opgevolgd aan de hand van een netwerk van 778 MAP-meetpunten. Hier wordt door de VMM (Vlaamse

Milieumaatschappij) maandelijks het nitraatgehalte gemeten. Een overschrijding van 50 mg/l nitraat resulteert in een rood MAP-meetpunt. Europa legt op dat in 2014, 84% van de meetpunten groen moet kleuren, dit lijkt voorlopig echter onhaalbaar. In een volgende fase moet tegen 2018 minstens 95% van deze meetpunten groen kleuren. [3, 11]

## **1.2 Reductie meststoffenverbruik**

Om tot een reductie te komen van het meststoffenverbruik en de uitspoeling ervan, zijn er verschillende technieken voorhanden afhankelijk van de toepassing die door het land- of tuinbouwbedrijf wordt uitgevoerd.

### Grondteelten

De verbetering van grondteelten wordt op een andere manier bereikt dan bij de substraatteelten. Om de problematiek van het uitspoelen van meststoffen bij grondteelten aan te pakken, worden door verschillende proefcentra onderzoek gedaan naar de invloed van nieuwe soorten meststoffen en nieuwe toepassingstechnieken. De proeven baseren zich zowel op vloeibare als vaste meststoffen. Het gebruik van organische mesten, compost en groenbedekkers zorgen voor een goede bodemstructuur, maar ook voor de aanvoer van stikstof. Een groenbedekker is een gewas dat geteeld wordt voor het in stand houden van de fysische, chemische en biologische bodemvruchtbaarheid en is bovendien in staat om de bodem te beschermen tegen ongunstige invloeden van regen en wind.

Het is initieel de bedoeling om aan de hand van de diverse proeven die reeds uitgevoerd werden, meer inzicht te verwerven in de vrijstelling van stikstof naar het milieu en de efficiëntie van het gebruik van meststoffen te verbeteren. Hiervoor heeft het proefstation een "MAP-meetveld" aangelegd om de uitspoeling van meststoffen te kunnen simuleren. Onder elk teelt-bed ligt een ingegraven rubberfolie, opvangbuizen en een systeem van pompen om het drainagewater volledig op te vangen en geleid af te voeren. Zo wordt er een gesloten cyclus gecreëerd waardoor de migratie van stikstof in detail kan opgevolgd worden. Met dit model kunnen vervolgens verschillende adviesmodellen uitgewerkt worden en kan een verdere reductie van de input van stikstof voor elke teelt onderzocht worden zonder verlies van opbrengst en kwaliteit. [12]

## Substraatteelten

Bij de substraatteelt staat voorkomen en/of bepalen van spuiwaterproductie centraal (Spuiwater is nutriëntrijk water dat niet meer in de teelt kan toegepast worden. Vb. drainwater of spoelwater afkomstig van filters van voedingswater). Dit wordt bekomen door het hergebruik van het drainwater, zuivering van afvalwater en het aanwenden van spuiwater als bemesting. [12]

## **2 Debietmetingen**

Initieel werd door het proefstation de kwaliteit van het water op de MAP-meetpunten alleen beoordeeld op basis van de nitraatconcentratie. Echter wanneer deze concentraties kunnen gekoppeld worden aan het debiet van de “vervuilende” stroom, wordt er een beter beeld gevormd van de hoeveelheid nutriënten die in het milieu terechtkomen. Op deze manier kan op een eenvoudige manier het massadebiet (uitgedrukt in kg NO<sub>3</sub>-N/dag) aan nitraten naar het milieu toe berekend worden. Daarom wordt er in deze masterproef op zoek gegaan naar verschillende meetprincipes om het debiet in kleine waterlopen te registreren. Het is in de eerste plaats de bedoeling om binnen het tijdsbestek van deze masterproef tot de meest geschikte methode te komen om debieten te meten in kleine waterlopen en grachten. Hierbij moet er rekening gehouden worden met het feit dat het proefstation ongeveer 200 à 300 meetpunten moet opvolgen in de tijd, om zo de impact op een 15-tal MAP-meetpunten in kaart te brengen. Daarenboven worden de meetpunten vaak gekenmerkt door een sterke begroeiing en is de meetplaats vaak niet eenvoudig bereikbaar met de wagen. Ook is er ter plaatse geen elektrische stroom beschikbaar.

In het nu volgende hoofdstuk worden de verschillende meetmethoden aangehaald die tijdens deze masterproef zijn beoordeeld als mogelijke oplossing voor debietmetingen in kleine waterlopen en grachten. De weerhouden meetmethoden zijn gebaseerd op volgende meetprincipes: akoestische signalen, elektromagnetische (EM) signalen en hoogteverval (meetgoten). De eerste twee methoden combineren een snelheidsmeting en het doorstroomd oppervlak om hieruit een debiet te bepalen. Echter bij meetgoten is dit niet het geval. Van al deze methoden wordt telkens een commercieel beschikbaar toestel besproken.



## 2.1 Akoestische debietmeting

### 2.1.1 Werking

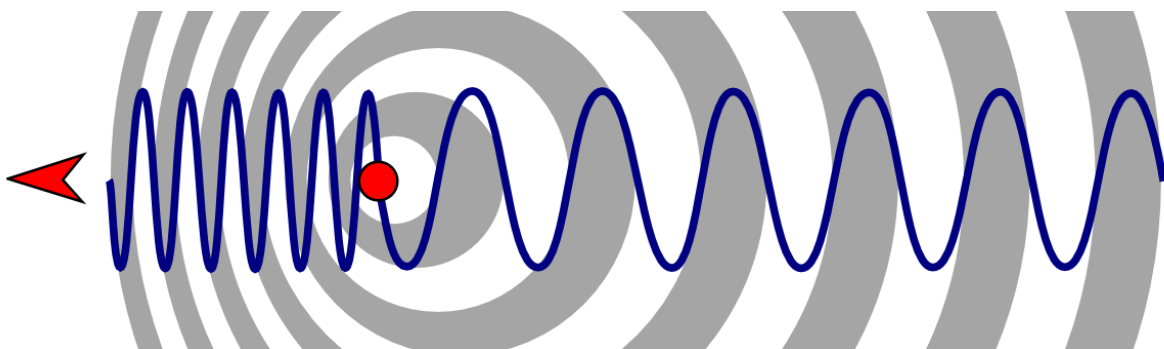
Bij akoestische metingen wordt het debiet bepaald aan de hand van de stroomsnelheid. Deze wordt gemeten aan de hand van geluidsgolven die worden uitgezonden. Deze geluidsgolven worden opgevangen door zwevende deeltjes in het water en teruggestuurd naar de sensor. Het uitgezonden signaal is een puls met een vaste frequentie. In het gereflecteerde signaal ontstaat een frequentieverandering of dopplerverschuiving. Deze verandering is een maat voor de snelheid van de zwevende deeltjes en dus de stromingsnelheid. Dit kan worden aangetoond aan de hand van onderstaande formule:

$$F_{doppler} = -F_{bron} \cdot \frac{V}{c}$$

Met:  $F_{doppler}$  = Verandering van ontvangen frequentie (dopplerverschuiving)  
 $F_{bron}$  = Frequentie van de uitgezonden geluidsgolf  
 $V$  = Snelheid van de bron (zwevend deeltje)  
 $c$  = Geluidssnelheid

De snelheid ( $V$ ) is de relatieve snelheid tussen de bron en ontvanger, de bron staat in dit geval stil. Beweging loodrecht op de lijn die ontvanger en zender verbindt brengt geen dopplerverschuiving teweeg. [13]

In Figuur 4 is een vereenvoudigde weergave van een dopplerverschuiving weergegeven. Hier wordt een deeltje afgebeeld dat een geluidsgolf uitzendt. Wanneer dit deeltje in beweging is zal deze een dopplerverschuiving teweeg brengen. In dit geval beweegt het deeltje naar links wat zorgt voor een stijging in frequentie voor golven links van het deeltje en een daling van de frequentie voor golven rechts van het deeltje.



Figuur 4: Dopplerverschuiving

### 2.1.2 Voordelen

Een groot voordeel van toestellen die werken op basis van dopplerverschuivingen is dat ze geen kalibratie vereisen zolang de apparatuur niet beschadigd geraakt (de geijkte afstand tussen de sensoren dienen bewaard te blijven). Ook hebben ze een snelle responstijd en worden ze gekenmerkt door een goede werking bij zowel hoge als lage stromingssnelheden.

### 2.1.3 Beperkingen

#### Partikels en begroeiing

Voor alle systemen die gebruik maken van dopplerverschuivingen om snelheid te meten geldt dezelfde beperking. Het water moet zwevende deeltjes en/of luchtbellens bevatten. In zeer zuiver/helder water functioneren deze sensoren vaak niet of minder goed. Echter, bij zeer veel luchtbellens (bv. achter een stuw) kan de werking ook benadeeld worden. Andere hinderingen zijn bijvoorbeeld plantengroei. [13]

#### Temperatuur en zoutgehalte

Geluidssnelheid in water is afhankelijk van de temperatuur en het zoutgehalte (grotere bulkmodulus dan in zoet water = hogere geluidssnelheid). De uitgevoerde metingen dienen dus gecorrigeerd te worden rekening houdend met deze parameters. Onderstaande empirische formule van Medwin geeft dit verband weer:

$$c = 1449,2 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,00029T^3 + (1,34 - 0,010T)(S - 35) + 0,016D$$

Met:  $c$  = Geluidssnelheid (m/s)

$T$  = Temperatuur (C°)

$S$  = Zoutgehalte (ppt)

$D$  = Waterdiepte (m)

Verder zijn er ook nog andere formules zoals deze van "Chen & Milero", "Wilson", "Del Grosso", "Kinsler & Frey", "Horton" en "Lovett" [13, 14]

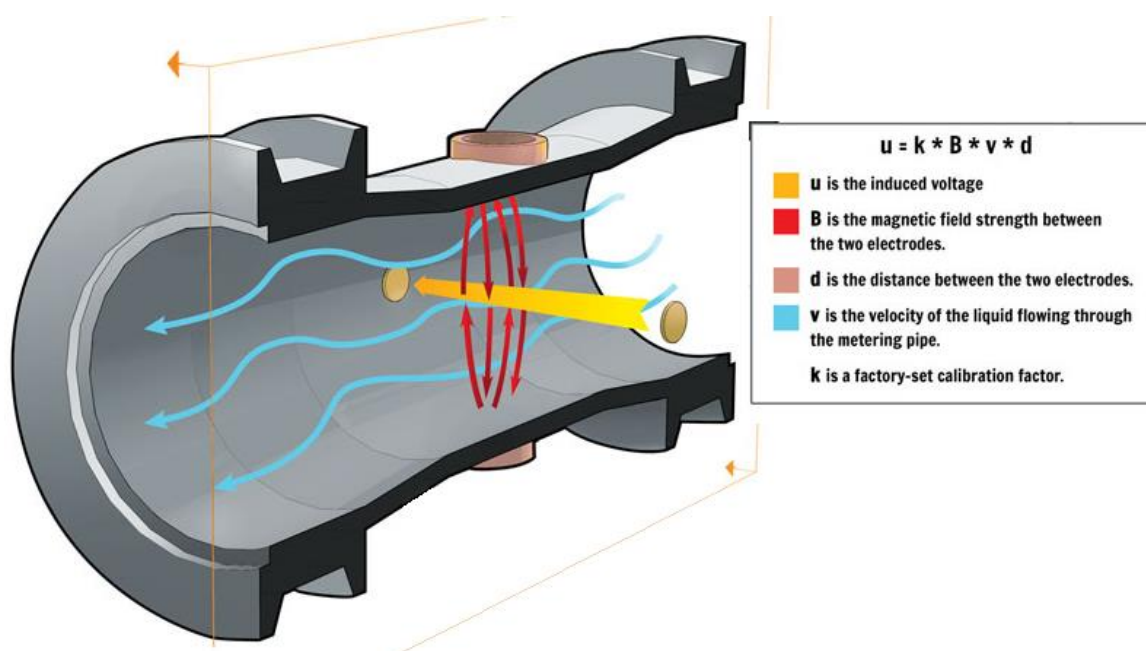
#### Turbulentie

Zoals bij de meeste methoden wordt ook bij akoestische metingen hinder ondervonden in turbulente stroming. Daarom wordt er vaak gewerkt met een

gemiddelde stromingssnelheid. Bijvoorbeeld 15 seconden lang meten om hiervan een gemiddelde te berekenen (vaak uitgevoerd door het toestel zelf). [15]

## 2.2 Elektromagnetische debietmeting

Het meetprincipe is gebaseerd op een magnetisch veld dat wordt geïnduceerd rond de magnetische flowsensor. Volgens de wet van Faraday wekt een geleider die zich in een magnetisch veld bevindt een elektrische spanning op evenredig met zijn snelheid (de geleider is in dit geval het water). Het fysische meetprincipe is Faradays wet van elektromagnetische inductie. Hoe sneller de vloeistof stroomt, hoe meer voltage er wordt gegenereerd. In Figuur 5 wordt dit principe vereenvoudigd weergegeven.



Figuur 5: Principe magnetische inductie [16]

De elektronische transmitter in het toestel zet dit signaal vervolgens om tot een signaal dat kan worden afgelezen als een stromingssnelheid. Vanzelfsprekend kan deze methode enkel toegepast worden op geleidende vloeistoffen zoals water.

### 2.2.1 Voordelen

Dit meetprincipe zorgt ervoor dat de sensor weinig nadelen ondervindt van vervuiling of begroeiing in het water. Alsook hebben sensoren die gebruik maken van deze techniek weinig plaats nodig om de stroom te analyseren. Vaak is enkele centimeters genoeg. Dit type sensor wordt vaak toegepast in vuile waterstromen zoals terug te vinden in waterzuiveringstoepassingen. [17]

### 2.2.2 Nadelen

Elektromagnetische sensoren vereisen in tegenstelling tot akoestische sensoren wel kalibratie. Net als bij akoestische sensoren kan turbulentie zorgen voor meetfouten. Dit wordt alsook opgelost door te werken met een gemiddelde meettijd. [18]

## 2.3 Debietmeting op basis van hoogteverval

Een debiet bepalen aan de hand van een gemeten hoogteverval wordt over het algemeen toegepast met twee systemen, namelijk meetstuwen of meetgoten.

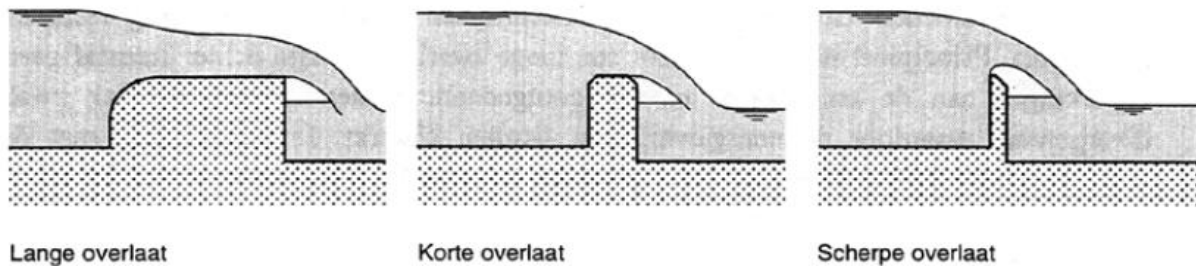
### 2.3.1 Meetstuwen

Bij een meetstuw wordt het dwarsprofiel van de waterloop plaatselijk versmald en kan er een specifieke waterhoogte gemeten worden voor de bepaling van het debiet. De relatie tussen debiet en waterhoogte wordt bepaald door de dimensies van de stuw. Het gebruik van meetstuwen is in de afgelopen jaren sterk gedaald gezien deze vispassage onmogelijk maken en dit is wel gewenst naar de huidige ecologische inzichten en beleid. Anderzijds neemt de vraag naar debietmetingen sterk toe voor het uitvoeren van vrachtonderzoeken of stoffenbalansen. Hierdoor wordt de voorkeur gegeven aan alternatieve meetprincipes. [13]



Figuur 6: Voorbeeld van een meetstuw in de Lollebeek (Nederland) [19]

In principe zijn er drie typen meetstuwen: meetstuw met lange overlaat, korte overlaat en scherpe overlaat. Deze drie typen zijn weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7: De drie typen meetstuwen [13]

### 2.3.2 Meetgoten

Een meetgoot werkt met hetzelfde principe als een meetstuw, namelijk een vernauwing in het stroomprofiel zorgt voor opstuwing van het waterpeil. In principe is een meetgoot een lange overlaat met een aanloop- en uitloopsectie. Een meetgoot is zo ontworpen dat er bij voldoende kruinlengte de stroomlijnen nagenoeg recht en evenwijdig blijven. Meestal zijn er geen beperkingen aan de kruinhoogte en het gedeelte erachter is vaak slechts zwak divergerend waardoor er beperkte energieverliezen optreden. Hierdoor zijn ze beter geschikt dan meetstuwen in gebieden met weinig verval en als er sediment moet worden afgevoerd. In tegenstelling tot een meetstuw, vormt een meetgoot geen hinder in vispaseerbaarheid. Ook bij meetgoten zijn er verschillende types zoals trapeziumvormige meetgoten, Venturi meetdoorlaat en de Khafagi-venturi. Maar de belangrijkste meetgoot voor kleine waterlopen is de RBC-meetgoot zoals weergegeven in onderstaande figuur. [13]



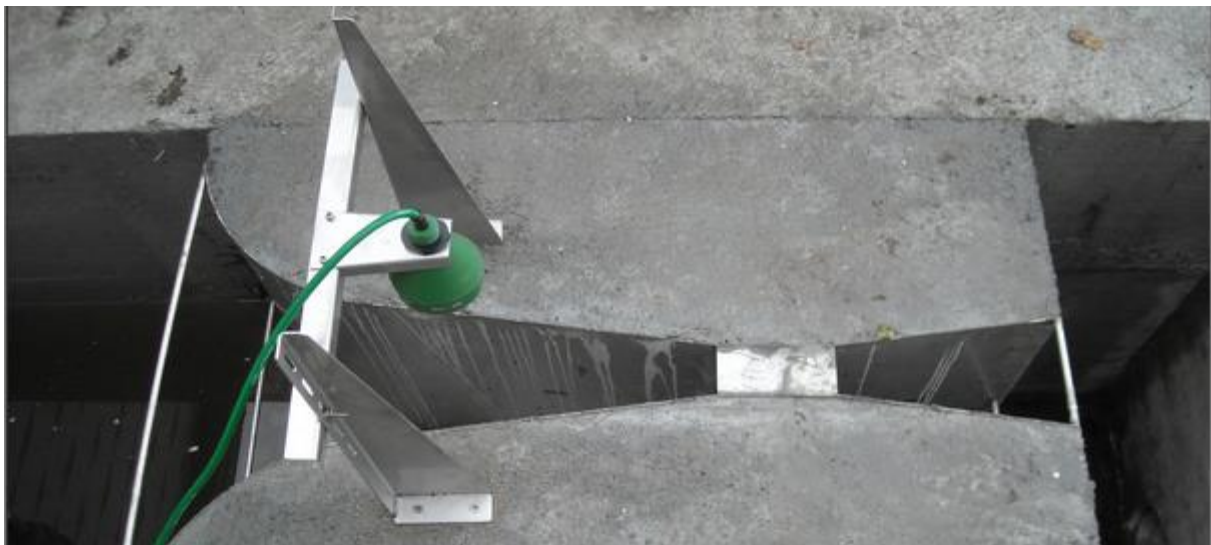
Figuur 8: RBC-meetgoot voor kleine waterlopen [20]

In deze goot kan aan de hand van het niveau, het debiet bepaald worden. Dit niveau kan aan de hand van druksensoren omgezet worden tot een niveau en bijgevolg tot een debiet. Dit maakt continue loggen mogelijk.

Omdat dit meetprincipe op basis van hoogteverval een redelijke kans maakt om geselecteerd te worden voor de specifieke toepassing van debietsmetingen in kleine waterlopen en grachten, wordt de werking van de RBC-meetgoot meer in detail besproken in "Hoofdstuk III: 3 RBC-meetgoot".

### **2.3.3 Ultrasoon hoogte meting**

Berustende op het principe van een meetgoot, kan het niveau ook worden gemeten met een ultrasone hoogte sensor. Opnieuw wordt hier gebruik gemaakt van een versmalling in de stroming, wat zorgt voor een niveauverschil. Het voordeel hiervan is dat er kan gewerkt worden met een vereenvoudigde versie van de RBC-flume. Dit kan een betonnen alternatief zijn, welke in prijs goedkoper is. Een voorbeeld van een mogelijke opstelling is te zien in Figuur 9.



Figuur 9: Ultrasone hoogte meting [21]

Het niveau wordt bepaald door het sturen van ultrasone geluidsgolven naar het wateroppervlak. De tijdsvertraging waarmee het signaal de sensor opnieuw bereikt is een maat voor het waterniveau, waaruit dan het debiet berekend kan worden. [22]

## Hoofdstuk III: Materiaal en methoden

In dit hoofdstuk worden verschillende meettoestellen voorgesteld en in detail besproken die ofwel gebruikt zijn tijdens het experimenteel onderzoek ofwel overwogen werden om debietsmetingen uit te voeren voor de specifieke toepassing in kleine waterlopen en grachten. De werking van ieder toestel of techniek wordt hier zorgvuldig besproken om zo een beeld te vormen van de toepasbaarheid van de verschillende commercieel beschikbare opties. Daarenboven wordt ook specifiek aandacht gegeven aan de voor- en nadelen die verbonden zijn aan de toestellen om uiteindelijk een gefundeerde beslissing te kunnen nemen in de keuze van het meest geschikte meettoestel of meetprincipe voor de registratie van debieten in kleine waterstromen.

### 1 SonTek FlowTracker

De "SonTek FlowTracker" is een mobiel akoestisch meettoestel om debieten te bepalen in open waterlopen. Het toestel bestaat uit een hoofdunit, sensor en statief. Op onderstaande figuur is de unit te zien met meetsonde:



Figuur 10: SonTek FlowTracker [23]

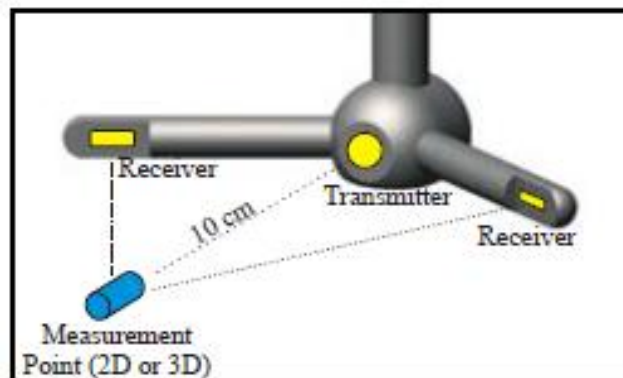
Dit is een toestel dat kan bediend worden door slechts één persoon om een sectie op te meten. Dit laatste heeft tot gevolg dat de personeelskost, die gekoppeld is aan het bedienen van dit analysetoestel, eerder beperkt is. Uiteindelijk kan dit voordeel doorwegen in de finale bepaling van de beste beschikbare oplossing voor het meten van debieten in kleine grachten en beken. Op onderstaande foto kan het toestel in gebruik waargenomen worden.



Figuur 11: FlowTracker in gebruik

## 1.1 Werking

Dit toestel meet de stromingsnelheid aan de hand van dopplerverschuivingen. Het toestel zendt centraal een signaal uit op zwevende deeltjes op een afstand van 10cm van de transmitter verwijderd. Vervolgens wordt dit signaal opgevangen door 2 ontvangers aan weerskanten van de transmitter. Dit is te zien op onderstaande figuur.



Figuur 12: Sensor SonTek FlowTracker [24]

Dit toestel maakt gebruik van een zeer uitgebreide software in de mobiele unit die alle berekeningen zelf uitvoert. Na het meten van een sectie geeft het toestel meteen het debiet weer. Achteraf kan met het softwarepakket op een computer de hele sectie uitgebreid uitgelezen worden op een *summary report*. Een voorbeeld van een rapport is terug te vinden in bijlage 1 "Summary report FlowTracker". Op deze rapporten is steeds het volgende terug te vinden:



- locatie-informatie (ingevulde plaats, tijd, temperatuur,...);
- sectie-parameters;
- gekozen meetmethode;
- resultaten (doorstroomd oppervlak, debiet, deelsnelheden,...);
- gemeten dieptes en aantal "stations";
- onzekerheid (%);
- waarschuwingen van afwijkende meetpunten;
- resultaat van de *quality control test*.

## 1.2 Smart QC

In de software van de FlowTracker zitten veel controlefuncties die de nauwkeurigheid van de uitgevoerde metingen beoordelen. Dit wordt "*Smart QC*" of "*smart quality control*" genoemd. Deze wordt bij elke afzonderlijke meting uitgevoerd. Alle parameters worden vervolgens beoordeeld. Deze parameters zijn:

- ***SNR threshold***

SNR of *Signal to Noise Ratio* is de maat voor de sterkte van de gereflecteerde akoestische signalen ten opzichte van het storende omgevingsgeluid. SNR is de belangrijkste kwaliteitscontrole van de FlowTracker. Deze waarde wordt uitgelezen in logaritmische eenheden (dB). In ideale omstandigheden dient deze waarde boven 10 dB te blijven. Het toestel meet echter tot een minima van 4 dB. Een waarde lager dan 4 dB resulteert in een waarschuwing op de display.

Lage SNR waarden komen voor wanneer er te weinig zwevende deeltjes in het water voorkomen waarop de signalen kunnen weerkaatsen. Elke ontvanger, in dit geval 2, heeft een eigen SNR waarde. Wanneer een grote afwijking wordt gedetecteerd tussen beide ontvangers duidt dit op een obstakel voor één van de ontvangers. In dit geval wordt ook een waarschuwing gegeven door de unit. Een laatste kwaliteitscontrole die kan uitgevoerd worden door controle van de SNR waarden is een afwijking van SNR tussen verschillende meetpunten in de sectie. Wanneer er een afwijking wordt gedetecteerd ten opzichte van de gemiddelde SNR, resulteert dit opnieuw in een waarschuwing op het display. [15]

- ***$\sigma V$  threshold***

" *$\sigma V$  threshold*" of "*standard error of velocity*" is een directe meting van de nauwkeurigheid van de snelheidsmeting.  $\sigma V$  wordt berekend door de

standaarddeviatie van metingen van 1 seconde te delen door het aantal metingen. Deze waarde wordt beïnvloed door de variatie van snelheden in de stroming. Er wordt een error weergegeven als deze afwijking 0,01 m/s overschrijdt. Vaak wordt deze overschrijding gelinkt aan interferentie van een obstakel, turbulente zones of hoog beluchte waterstromen. [15]

- **Boundary QC**

Zoals reeds aangehaald is de FlowTracker gevoelig voor interferentie van objecten die zich onder water bevinden. Reflecties kunnen ontstaan op de bodem, wateroppervlak of ondergedompelde objecten (stenen, planten, ...). In de zone 10cm naast de sensor moet zo weinig mogelijk interferentie optreden door deze factoren. De FlowTracker detecteert interferenties en probeert deze te filteren. Voor sommige locaties kunnen gegevens gefilterd worden en nog steeds correcte metingen geven, echter is het mogelijk dat de interferentie te groot is en de gegeven waarde lager is dan de werkelijke waarden. Wanneer filtering is toegepast om de waarden te bepalen wordt dit weergegeven op de display als een "boundary QC". Deze waarde kan een getal geven van 0 tot 3:

- 0 (beste condities): Geen of zeer weinig aanpassingen nodig, minimale impact op de prestatie van het systeem.
- 1 (goede condities): Weinig aanpassingen doorgevoerd, matige impact op de prestatie van het systeem.
- 2 (tamelijke condities): Grotere aanpassingen doorgevoerd, merkbare impact op de prestatie van het systeem
- 3 (slechte condities): Zeer grote aanpassingen doorgevoerd, significante impact op de prestatie van het systeem. Het toestel kan nog steeds goede metingen geven in zeer lage stromingen.

In het geval van slechte of gemiddelde condities zal het toestel voor het meten meteen een melding geven omdat dit vaak het gevolg is van duidelijke obstakels in het water. Nu kan er overwogen worden om de sensor te verplaatsen alvorens de meting te starten. [15]

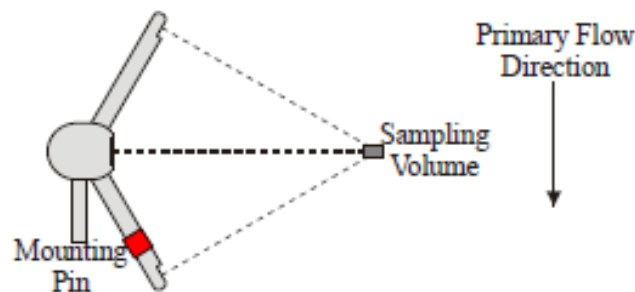
- **Spike threshold**

Pieken in snelheidsdata doen zich voor in alle akoestische doppler snelheidssensoren. Deze kunnen verschillende oorzaken hebben zoals: luchtballen

of grote partikels. Van elk meetpunt wordt een histogram opgesteld en wordt het onderste kwartiel (Q1), het bovenste kwartiel (Q3) en het interkwartiel ( $IQR = Q3 - Q1$ ) berekent. Elke waarde kleiner dan  $(Q1 - 2 * IQR)$  en elke waarde groter dan  $(Q3 + 2 * IQR)$  wordt aanzien als een piek en wordt uit de reeks verwijderd. Het systeem brengt de gebruiker op de hoogte aan de hand van een melding op het display van zodra er meer dan 10% (standaardwaarde) van de meetpunten verwijderd wordt. [15]

- **Max velocity angle**

Voor ideale resultaten dient de sensor evenwijdig gehouden te worden ten opzichte van de stroming zoals weergegeven in onderstaande figuur.

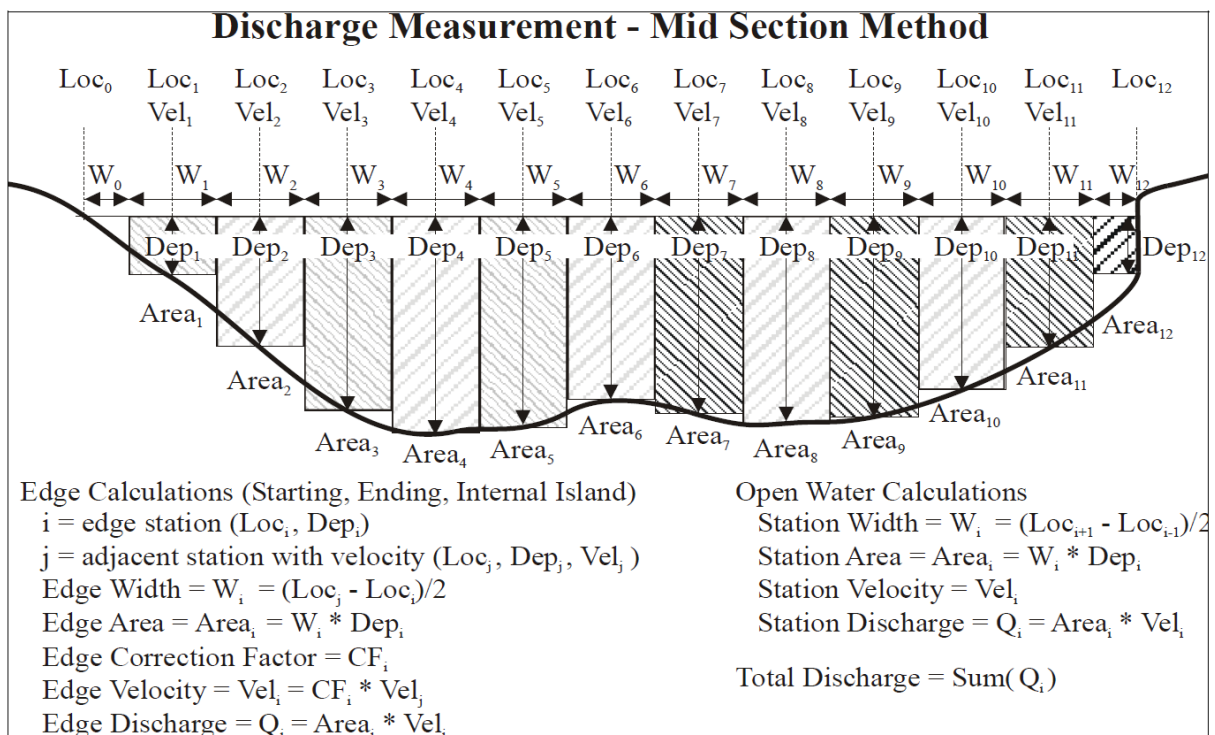


Figuur 13: plaatsing sensor FlowTracker [15]

De ideale hoek van de sensor ten opzichte van de stroming is  $0^\circ$ . Tijdens een meting zullen er variaties optreden door het niet perfect lineair zijn van de stroming. Goede metingen zijn deze met een hoek kleiner dan  $20^\circ$ . [15]

### 1.3 Meetprincipe

Zoals eerder aangehaald, berekent dit toestel het debiet automatisch na het voltooiën van de meetprocedure op een welbepaalde meetlocatie. Dit toestel maakt gebruik van alle gemeten deelstromen (voorgesteld door de verschillende doorstroomde oppervlakken in Figuur 14) die op de meetlocatie zijn gemeten om de berekening van het debiet op te baseren. In het toestel zijn verschillende meetmethoden voorhanden. De toegepaste berekeningsmethode wordt schematisch weergegeven in Figuur 14. De gebruikte meetmethode die aangewend wordt bij de bespreking van de meetresultaten (Hoofdstuk IV:2 Vergelijking Valeport 801 en FlowTracker) is het "mid-section"-model. Een alternatief is het "mean-section"-model dat gebruik maakt van dezelfde data, maar een andere berekening volgt om tot een debiet te komen. [15]



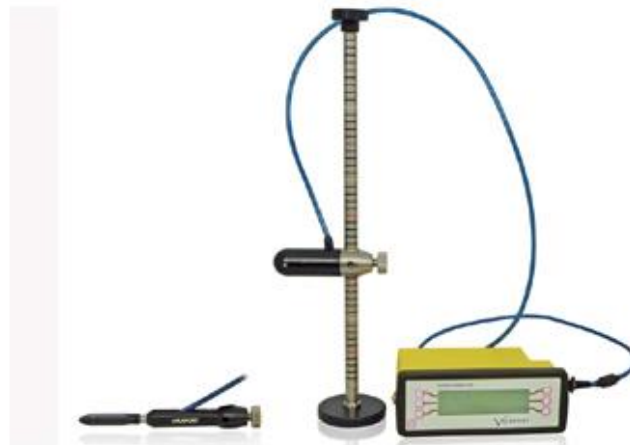
**Figuur 14: Mid-section berekening FlowTracker [15]**

De locaties (Loc) en dieptes (Dep) worden tijdens het meten handmatig ingevoerd bij elke sectie. Het oppervlak (Area) en de snelheden (Vel) worden door het toestel berekend en opgeteld om zo tot het totale debiet en doorstroomd oppervlak te komen. De dieptes die gehanteerd worden hangen af van de ingestelde modus. Aangezien er steeds gewerkt wordt met ondiepe stromingen wordt de meetmethode gehanteerd waar de sensor steeds op 60% van de totale diepte

wordt geplaatst (gemeten van het wateroppervlak). Wanneer de diepte van de sectie wordt ingevoerd, geeft het toestel automatisch weer op welke diepte de sensor dient geplaatst te worden. Als meettijd wordt 15 seconden gekozen bij weinig turbulente stroming, dit bleek op alle locaties een geschikte instelling voor dit toestel. [15]

## 2 Valeport 801

Het toestel van Valeport is in vergelijking met de FlowTracker een eenvoudiger toestel. Dit mobiel toestel werkt met het elektromagnetisch principe om de stroomsnelheid te bepalen. Het toestel met toebehoren is te zien op onderstaande figuur:



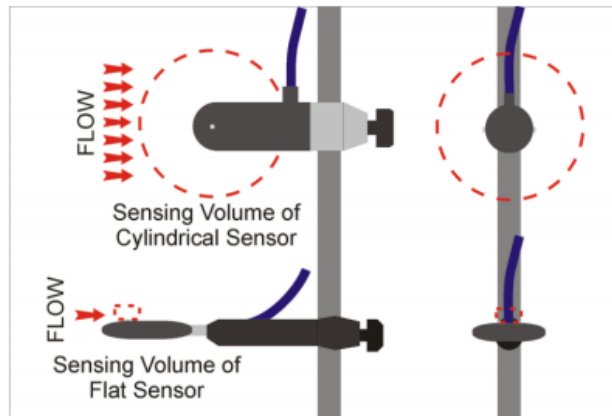
Figuur 15: Valeport 801, flat & cylindrical [25]

### 2.1 Werking

Er zijn 2 soorten sensoren beschikbaar, een platte sensor en een ronde (grotere) sensor, dit is te zien in Figuur 15. De afgebeelde sensoren hebben elk een ander toepassingsbereik. De platte sensor wordt voornamelijk gebruikt in ondiep water, de cilindrische sensor wordt voornamelijk gebruikt in turbulente, grotere stromingen. Beide sensoren zijn geschikt om metingen uit te voeren in vervuilde waterlopen. De cilindrische sensor meet volledig rondom de stroming waar de platte sensor de stroming meet in een klein cilindrisch volume bovenop de sensor. Dit is weergegeven op Figuur 16.

Het klein meetvolume van de platte sensor zorgt voor een verhoogde gevoeligheid voor turbulentie. Daarom is deze sensor voornamelijk geschikt voor ondiepe, tragere stromingen. Voor de kleine waterlopen die tijdens deze thesis onderzocht

worden, wordt dan ook de platte sensor gebruikt. Gezien de gevoeligheid van deze sensor wordt er voor gekozen om een meettijd te gebruiken van 30 seconden. [18, 26]



Figuur 16: Valeport 801 plat vs. cilindrisch

De platte sensor kan gebruikt worden vanaf een diepte van 5cm. De cilindrische sensor vereist een diepte van minstens 15cm. De sensoren worden door Valeport geijkt wanneer deze worden geleverd, maar het is aangewezen de sensoren tijdig opnieuw te kalibreren. [26]

De uitleesunit beschikt over een eenvoudige software waarmee de meting kan gestart worden en na afloop kan de stromingsnelheid worden uitgelezen. Gegevens kunnen ook opgeslagen worden in het geheugen van de uitleesunit. Echter is dit niet aan te raden door de minder overzichtelijke manier van uitlezen wanneer de data wordt geëxporteerd naar een computer. Daarom wordt de data steeds opgeschreven op duidelijke invulformulieren zoals hieronder weergegeven:

Nr	X (cm)	Y (cm)	Nr	D (cm)	N (cm)	T (sec)	φ	Nr	X (cm)	Y (cm)	Nr	D (cm)	N (cm)	T (sec)	φ	DEBIETMETING	
																RIVIER:	
																PLAATS:	
																AANTAL <input type="checkbox"/> :	
																OPM:	
																B: _____ (cm)	
																DR: _____ (cm)	
																DL: _____ (cm)	
																HOEK: _____ (°)	
																AANVANG	
																TIJD: _____ h _____ m	
																PEIL: _____	
																EINDE	
																TIJD: _____ h _____ m	
																PEIL: _____	
																ONS NA:	
																DATUM:	
																BLAD NR:	
																AANTAL:	

Figuur 17: Invulformulier voor debietbepaling Valeport

Deze manier van data-loggen zorgt er voor dat bij een meetronde steeds twee personen nodig zijn om efficiënt tewerk te kunnen gaan. Dit geeft natuurlijk aanleiding tot verhoogde personeelskosten voor het gebruiken van dit type toestel. Op Figuur 18 is het toestel in gebruik te zien. De uitleesunit ligt steeds op de oever waar deze bediend en uitgelezen wordt door een tweede persoon.



Figuur 18: Valeport 801 in gebruik

## 2.2 Meetprincipe

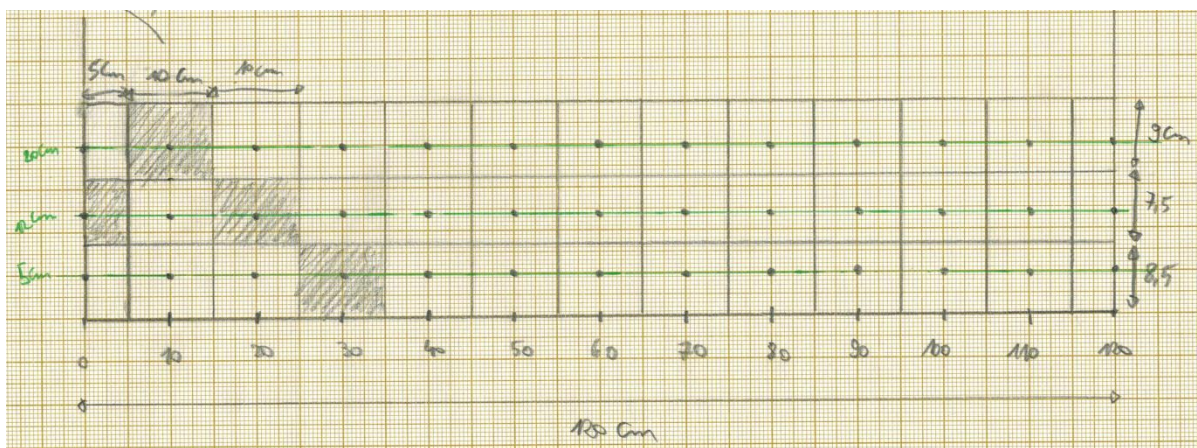
Net zoals bij de FlowTracker, worden er verschillende secties opgemeten op een meetlocatie. De dieptes waarop gemeten wordt met de Valeport-sensor is afhankelijk van de diepte die afgelezen wordt op het statief. Deze opdeling is vervolgens af te lezen uit Tabel 1.

Tabel 1: Meetdieptes Valeport

TABEL 1 :															
LABOMOLEN Ø 5 cm – DIEPTE VAN DE MEETPUNTEN															
Cm *	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 <sup>ste</sup> meetpunt **	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	5.1	5.4	5.7	6	6.3	6.6	6.9
2 <sup>de</sup> meetpunt									12.9	13.6	14.3	15	15.7	16.4	17.1
* = diepte verticale      ** = diepte meetpunt															
Cm *	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1 <sup>ste</sup> meetpunt **	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2 <sup>de</sup> meetpunt	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	12.7	13	13.3	13.7	14	14.3	14.7
3 <sup>de</sup> meetpunt	20	21	22	23	24	25	26	27	20.3	21	21.7	22.3	23	23.7	24.3
4 <sup>de</sup> meetpunt									28	29	30	31	32	33	34

Het aantal sectieopdelingen in de breedte wordt bij waterlopen tot 120cm breed meestal zo gekozen dat om de 10cm een snelheidsmeting wordt uitgevoerd. Dit kan echter wel variëren als gevolg van de specifieke situatie (uniformiteit van de stroming, begroeiing, ...).

In tegenstelling tot de FlowTracker, heeft de Valeport geen software die automatisch het debiet kan berekenen. Daarom worden aan de hand van de stromingssnelheden in verschillende secties van de meetlocatie handmatig de deeldebieten berekend. Ter illustratie kan in Figuur 19 een sectieopdeling teruggevonden worden. Dit dient niet bij elke meetlocatie steeds opnieuw te worden opgesteld, maar de berekeningen verlopen steeds volgens onderstaand schema.



Figuur 19: Sectie opdeling Valeport

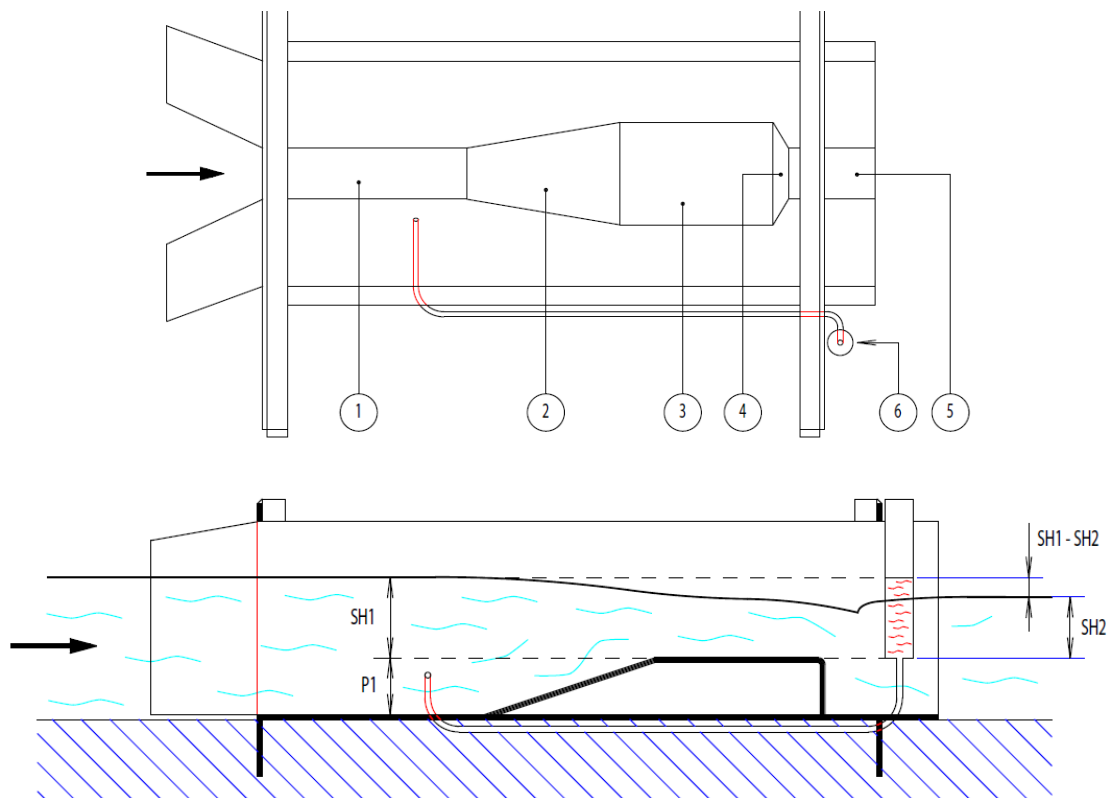
Van elke sectie wordt een deeldebiet en oppervlak berekend. Tot slot worden deze deeldebieten samengeteld om zo tot het doorstroomd oppervlak en het totaaldebiet te komen.



### 3 RBC-meetgoot

De meest geschikte meetgoot voor kleine waterlopen, zoals reeds eerder vermeld in deze masterproef, is de RBC-meetgoot (Replogle, Bos, Clemmens) van Eijkelkamp. Deze goten worden in verschillende typen en afmetingen ontworpen afhankelijk van het debietbereik. De goten kunnen voorzien worden van een datalogger en een druksensor wat zorgt voor geautomatiseerde metingen, opslag en uitlezing.

In Figuur 20 wordt de RBC-meetgoot schematisch weergegeven in bovenaanzicht en zijaanzicht. Het water nadert het aanvoergedeelte van de stroomgoot (1) zoals weergegeven door de pijl. Hierna bereikt het water het convergentiegedeelte (2), wat zorgt voor een toename van de stromingsnelheid. In het halsgedeelte (3) stijgt de stromingsnelheid verder. Vervolgens wordt het divergentiegebied (4) bereikt. Deze heeft een lengte van 0cm, waardoor het water meteen naar de oorspronkelijke hoogte daalt. Toename van de stromingsnelheid zorgt voor een daling van het waterpeil (SH1-SH2) in het benedenwatergedeelte (5).



Figuur 20: Boven-aanzicht en zijaanzicht van de RBC meetgoot [27]

De constructie van de stroomgoot zorgt voor de theoretische randvoorwaarden waarmee het debiet kan worden bepaald door het waterpeil (SH1) in de stroomgoot te meten. Het waterpeil wordt gemeten met behulp van een meetbuis (*stilling well*), de inlaat van deze meetbuis bevindt zich stroomopwaarts in de stroomgoot. Het waterpeil (SH1) is de afstand van het drempelpeil (P1) tot het wateroppervlak. Dit waterpeil kan vervolgens worden omgezet tot een debiet met behulp van onderstaande empirische formule. [27]

$$Q = 7.10^{-7} \cdot (SH1)^3 + 0,000626 \cdot (SH1)^2 + 0,01569 \cdot (SH1) - 0.0665$$

Met: Q = Debiet (l/s)

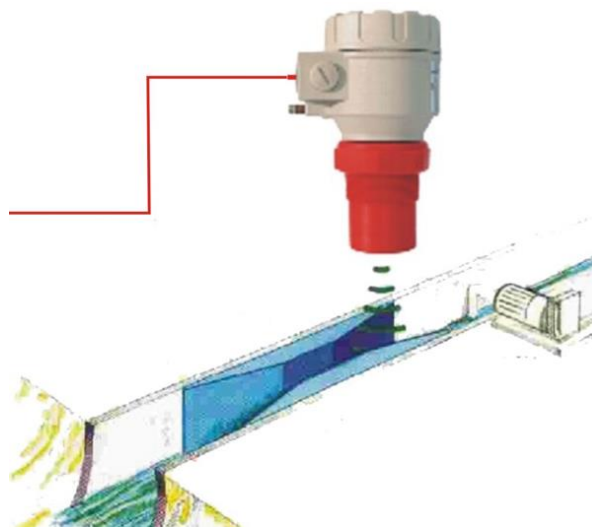
SH1 = Waterpeil op basis van drempelpeil (mm)

In de RBC-meetgoot kan na verloop van tijd vervuiling ophopen in de vorm van slibafzetting, afval, algen of wier. Daarom moet de meetgoot tijdig op vervuiling gecontroleerd worden. Wanneer er in de meetopening een verstopping optreedt, worden de metingen niet langer correct weergegeven. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een druksensor om continue te loggen, dient deze sensor verwijderd te worden bij vriestemperaturen om schade te voorkomen.

## 4 EchoTREK level transmitter

De ultrasone niveaumeter van Nivelco is in staat om in combinatie met een gedimensioneerde meetgoot een debiet te bepalen in een open waterloop. Hiervoor dient een meetgoot aangelegd te worden, maar gezien het meetprincipe kan dit een eenvoudig betonnen alternatief zijn van de RBC-meetgoot.

De methode kan vergeleken worden met de RBC flume, alleen wordt hier gebruik gemaakt van een verticale opstuwing in tegenstelling tot een horizontale opstuwing bij de RBC-flume. In Figuur 21 wordt deze opstelling schematisch weergegeven.

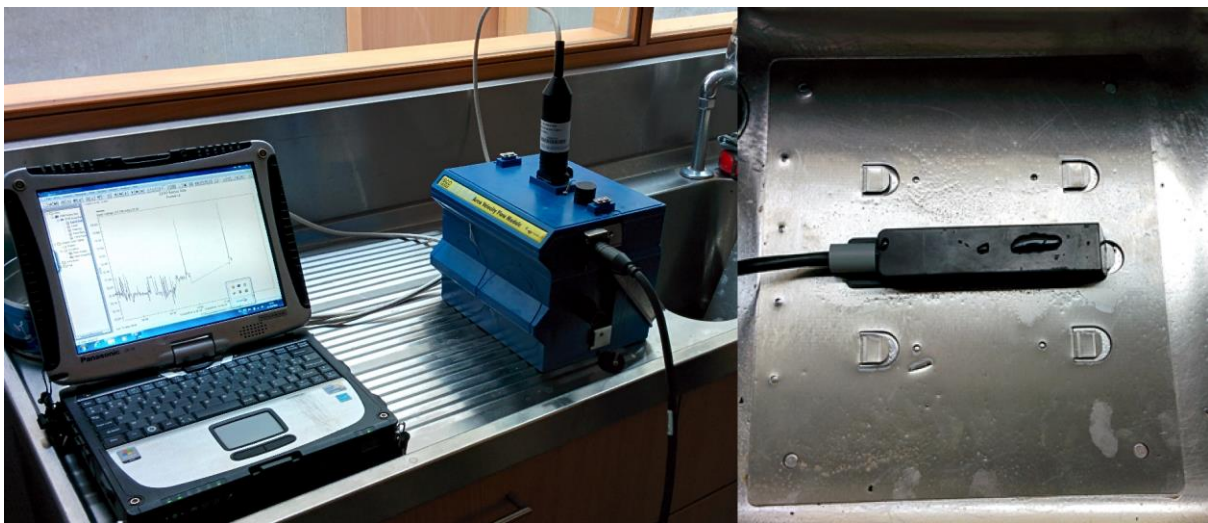


Figuur 21: Meetgoot in combinatie met level transmitter [28]

Het waterniveau wordt opgestuwd en de level transmitter meet de totale waterdiepte. Aan de hand van de dimensies van de goot kan op deze manier opnieuw een debiet worden bepaald.

## 5 ISCO 2150-logger

De ISCO 2150 debietsmeter maakt gebruik van het principe van dopplerverschuiving om stromingsnelheden te meten. In tegenstelling tot voorgaande toestellen vereist deze sensor in theorie slechts één meetpunt per locatie. Het toestel meet een gemiddelde stromingsnelheid over het gehele profiel. Dit toestel wordt hoofdzakelijk gebruikt op locaties met vaste stromingsprofielen zoals bijvoorbeeld een rioleringsbuis. Resultaten kunnen steeds afgelezen worden via een laptop. Op onderstaande figuur wordt de unit, sensor en laptop weergegeven.



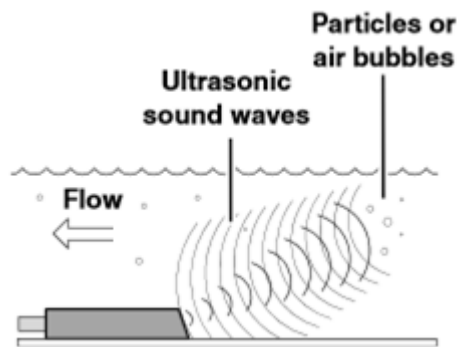
Figuur 22: Unit, laptop (links) en sensor (rechts)

### 5.1 Werking

In tegenstelling tot de Flowtracker, maakt dit toestel gebruik van een bundel geluidsgolven. Hierdoor is het toestel in staat om in een brede hoek verschillende snelheden te meten in een stroming. Het toestel wordt centraal in de stroming geplaatst en meet de gemiddelde stromingsnelheid op basis van dopplerverschuiving en de diepte aan de hand van een druksensor.

### 5.1.1 Snelheidsmeting

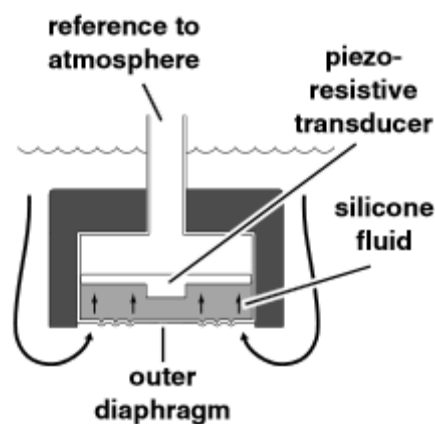
De bundel van ultrasonische geluidsgolven wordt onder een hoek ( $20^\circ$ ) door de transmitter uitgezonden. Deze golven worden weerkaatst door zwevende deeltjes of luchtbelletjes in het water. Deze teruggekaatste signalen komen vervolgens aan op de ontvanger. Aan de hand van de frequentieverschuiving of dopplerverschuiving kan de stromingssnelheid door het toestel worden bepaald. Op onderstaande figuur wordt de werking schematisch weergegeven. [29]



Figuur 23: schematische voorstelling snelheidsmeting [29]

### 5.1.2 Niveaumeting

Het waterniveau wordt gemeten aan de hand van het drukverschil tussen de atmosferedruk en de druk op de bodem. Onderaan de sensor bevindt zich een diafragma dat wordt ingedrukt bij stijgende druk. Deze druk wordt doorgegeven door een silicone-vloeistof naar een 2<sup>de</sup> diafragma. Het buitenste diafragma en de silicone-vloeistof zorgen voor de bescherming tegen binnenkomend water. Het binnenste diafragma staat in contact met de atmosfeer door een intern buisje dat door de kabel naar de uitleesunit loopt. In de unit wordt deze druk omgezet tot een waterniveau. Dit wordt schematisch weergegeven in onderstaande figuur. [29]



Figuur 24: Werking hoogtemeting [29]

### **5.1.3 Debiet**

Aan de hand van de voorgaande gegevens (snelheid en niveau) kan het debiet berekend worden. Hiervoor is een profiel nodig (bijvoorbeeld: ronde buis met diameter 80cm). Het debiet kan nu worden bepaald door het toestel of met Excel. Het voordeel aan debietsberekeningen met Excel, is dat er op deze manier kan gewerkt worden met een database van verschillende profielen voor verschillende locaties. Zo kan velddata snel gekoppeld worden aan de correcte profielen en hoeft er in het veld geen tijd gependend te worden aan het ingeven van profieldata in de uitleesunit. [29]

### **5.1.4 Signaalsterkte**

In stromingen met weinig zwevende deeltjes of luchtbelletjes kan het gebeuren dat doppler-gebaseerde sensoren moeite hebben om het uitgezonden signaal terug te ontvangen. Vandaar is de signaalsterkte een zeer belangrijke parameter. Wanneer alle uitgezonden golven opnieuw worden ontvangen is de signaalsterkte 100%. Dit komt echter bijna nooit voor, in open grachten variëren de signaalsterktes tussen 30 en 70%. Metingen met signaalsterktes onder de 10% zijn mogelijk niet te vertrouwen. [29]

### **5.1.5 Signaalspectrum**

Het signaalspectrum (uitgedrukt in procent) is een indicatie voor de hoeveelheid storing. Lage percentages (<25%) duiden op sterk verstoord ontvangen signalen. Een typische range is tussen 40 en 100%. Het is belangrijk dat in een meting een signaalsterkte nooit meer dan 25% fluctueert tussen verschillende metingen. Een laag signaalspectrum kan te wijten zijn aan turbulentie of andere verstoringen in de stroming. [29]

## **5.2 Meetprincipe**

De ISCO 2150 is een log-unit, er kan dus gekozen worden voor verschillende meetintervallen waarbij de meetfrequentie kan ingesteld worden van 15 seconden tot 24 uur. Aangezien de meter voor onze toepassing slechts kortstondig wordt gebruikt op elke locatie, wordt er voor gekozen om te loggen om de 15 seconden. Wanneer er bijvoorbeeld 5 minuten gemeten wordt, zal er over deze 5 minuten een gemiddelde genomen worden van de 20 snelheidsmetingen die uitgevoerd worden in dit tijdsbestek (4 per minuut).

Om een debiet te kunnen bepalen is het steeds nodig om op elke locatie een gekend profiel te hebben. Bij voorkeur is dit bijvoorbeeld een betonnen buis met gekende diameter of een vierkant betonnen profiel. Echter zijn er op vele locaties geen vaste profielen beschikbaar en moeten deze nauwkeurig worden opgemeten. Het opstellen van deze profielen wordt in "Hoofdstuk IV: Resultaten en bespreking", pagina 72 uitgebreider aangehaald.

## **Hoofdstuk IV: Resultaten en bespreking**

### **1 Keuze van de toestellen**

Van de besproken toestellen en technieken dient de haalbaarheid en toepasbaarheid bekeken te worden en dit kan best gebeuren door de meetinstrumenten te testen in de praktijk. In dit onderdeel worden de verschillende methoden beoordeeld op betrouwbaarheid, toepasbaarheid, onderhoud, kostprijs enz... . Uiteindelijk willen we een toestel bekomen dat zo efficiënt mogelijk van locatie naar locatie kan worden verhuisd en een minimale meettijd garandeert.

#### **1.1 SonTek FlowTracker**

De SonTek FlowTracker is een toestel dat zich goed leent tot het uitvoeren van puntmetingen (geen continue logging). Met dit mobiel toestel kunnen verschillende meetlocaties opgemeten worden, wat ervoor zorgt dat met een eenmalige kost alle meetlocaties gedekt zijn. Daarom werd er gekozen om dit toestel uitgebreid te testen op verschillende meetlocaties.

#### **1.2 Valeport 801**

Net zoals de FlowTracker, kunnen met dit toestel alle meetlocaties gemeten worden. Dit toestel maakt gebruik van een ander meetprincipe als de FlowTracker, wat het interessant maakt om mee te nemen in onze vergelijkende studie. Dit toestel werd dus ook uitvoerig getest op dezelfde meetlocaties.

#### **1.3 RBC-meetgoot**

De RBC-meetgoot werkt volgens een nauwkeurig meetprincipe voor het bepalen van een debiet in een kleine waterloop. Echter brengt deze methode heel wat problemen met zich mee. Het Proefstation heeft ongeveer 200-300 meetlocaties, wat wil zeggen dat voor elke locatie een RBC-meetgoot nodig zou zijn. Dit is echter onbetaalbaar gezien de eenheidsprijs van deze meetgoot ( $\pm$  € 700 zonder druksensor en logger). Verder vereist een meetgoot veel onderhoud gezien er in deze waterlopen veel slib en begroeiing aanwezig is. Ook is het mogelijk dat na een hevige regenbui de grond omwoelt rondom een meetgoot, wat zorgt voor stroming langs de goot, dit zorgt op zijn beurt voor foutieve metingen. Deze redenen zorgen ervoor dat deze techniek niet kan gebruikt worden voor het



specifieke project van het proefstation. Deze methode wordt dus niet weerhouden in het experimenteel gedeelte.

#### **1.4 EchoTREK level transmitter**

De *EchoTREK level transmitter* heeft het grote voordeel dat dit meetprincipe geen dure meetgoot vereist. Er kan een eenvoudiger, goedkoper alternatief aangewend worden. Echter worden deze sensoren enkel toegepast voor continue loggen. Dit zorgt ervoor dat op elke locatie een sensor voorhanden moet zijn met bijbehorende log-unit. Dit is opnieuw financieel onhaalbaar gezien de hoeveelheid meetpunten. Deze techniek wordt dus ook niet verder in detail bekeken en experimenteel onderzocht.

#### **1.5 ISCO 2150-logger**

Dit toestel werd pas in een latere fase van deze masterproef onderzocht dan de hiervoor besproken debietsmeters. Met dit toestel kunnen analyseresultaten gelogd worden in functie van de tijd en dit met variabele meetfrequentie. Het berekende debiet is dus niet gebaseerd op een éénmalige meting, maar is het gemiddelde resultaat van een meetsequentie. Om die reden wordt dit toestel apart van de rest behandeld. Dit toestel kan aan de hand van een vooropgesteld profiel gemakkelijk en snel een debiet bepalen. Het toestel wordt in het midden van de stroom gelegd en meet de hoogte en de gemiddelde snelheid. Wanneer deze gegevens worden gekoppeld aan het profiel van de stroming kan het debiet worden berekend. Omwille van deze eenvoudige werking is dit toestel ook uitvoerig getest in een afzonderlijke meetcampagne voor de toepassing in kleine waterlopen.

## **2 Vergelijking Valeport 801 en FlowTracker**

De eerste twee besproken toestellen worden in dit onderdeel met elkaar vergeleken. De eerste meter is het akoestische toestel (FlowTracker) dat gebruik maakt van dopplerverschuivingen voor het meten van stromingssnelheden. Deze wordt vergeleken met een elektromagnetische sensor (Valeport 801 flat) dat het principe van Faraday toepast om tot een snelheidsmeting te komen. Met de bekomen resultaten en ervaringen wordt er getracht om de meest geschikte meetmethode voor de toepassing van debietsmetingen in kleine beken en grachten te achterhalen. Ter vergelijking wordt er ook eenmalig een klassieke drijfpest uitgevoerd.

## 2.1 Meetlocaties

Voor beide toestellen werden er 6 meetlocaties uitgekozen. Deze locaties worden hieronder kort beschreven.

### **Meetlocatie 1**

Op deze locatie is er sprake van een brede stroom met uniforme diepte van ongeveer 25cm en breedte van 120cm. Op deze locatie stroomt het water onder een brug waarvan de ondergrond gebetonneerd is. Dit is een ideale meetlocatie gezien hier geen begroeiing op de bodem kan plaatsvinden. Alsook is er zeer weinig slibafzetting waar te nemen. De meting wordt echter wel bemoeilijkt doordat het water naar de brug toe stroomt en niet van onder de brug uit stroomt (andere kant van de brug was te moeilijk te bereiken). Dit zorgt ervoor dat de persoon die het toestel bedient in de stroming moet gaan staan (voor het toestel) en hierdoor mogelijk de meting beïnvloed. Echter gezien de breedte van de stroming en de mogelijkheid om uit het water te gaan staan is het echter mogelijk om een goede debietmeting uit te voeren.



Figuur 25: Meetlocatie 1

## **Meetlocatie 2**

Op deze locatie is de slibafzetting groter, alsook is er veel begroeiing op de bodem. Deze stroom heeft een variërende diepte met het diepste punt op 32cm. Breedte van de stroom bedraagt 130cm.



Figuur 26: Meetlocatie 2

## **Meetlocatie 3**

Deze stroom is een smalle, ondiepe stroom met vergelijkbare omstandigheden als meetpunt 2. Ze heeft een breedte van 80 cm met het diepste punt op 24cm. Echter doordat deze stroom veel smaller is, worden de problemen betreffende de begroeiing meer uitgesproken.

## **Meetlocatie 4**

Hier is er sprake van een rechte, uniforme stroming. Zeer weinig begroeiing maar zeer veel slibafzetting. Het is een smalle stroom met breedte 60cm en het diepste punt op 18cm.

### **Meetlocatie 5**

Op deze locatie bevindt zich opnieuw een brede stroom (120cm) met het diepste punt op 30cm. Op deze plaats is er zeer veel begroeiing waar te nemen over de gehele breedte. Deze begroeiing is goed waar te nemen op onderstaande afbeelding:



Figuur 27: Meetlocatie 5

Hier wordt in tegenstelling tot alle andere locaties gewerkt met een interval van 20cm i.p.v. 10cm in de breedte.

### **Meetlocatie 6**

Smalle stroom (65cm) met diepste punt op 17cm. Op deze plaats is geen stroming waarneembaar met het blote oog.

## 2.2 Resultaten

### 2.2.1 Berekening Valeport gegevens

Bij het toestel van Valeport worden er verschillende secties uitgerekend om hier dan het totaaldebiet van te bepalen. Figuur 28 (pagina 41) toont de sectieopdeling van meetlocatie 1. Dit wordt niet voor alle meetlocaties uitgetekend, deze tekening is niet essentieel voor het berekenen van het totale debiet.

### 2.2.2 Berekening FlowTracker gegevens

De berekening van de FlowTracker gegevens gebeuren volledig automatisch zoals beschreven in 2.2. Deze zijn in het veld meteen af te lezen of later uit te lezen via de PC.

### 2.2.3 Berekening drijftest

Op meetlocatie 4 werd er aan de hand van een klassieke "drijf-test" een controletest uitgevoerd, hierdoor is dus een extra debiet berekend. De drijftest is de meest eenvoudige methode om een debiet te bepalen. Bij deze test wordt er een blad op het wateroppervlak gelegd en wordt de tijd opgenomen die het blad nodig heeft om een afstand van 2 meter af te leggen. Wanneer dit gekoppeld wordt aan een benadering van het doorstroomd oppervlak, kan er een debiet berekend worden. Deze test werd uitgevoerd in 3-voud. De berekening werd als volgt uitgevoerd:

Tabel 2: Drijftest resultaten

Test	Tijd (s/2m)
1	49,28
2	51,96
3	41,70
<b>Gem.</b>	<b>47,65</b>

Omgerekend naar de snelheid in meter per seconden geeft dit: **0,0419 m/s**

Gecombineerd met het doorstroomd oppervlak wordt dit:

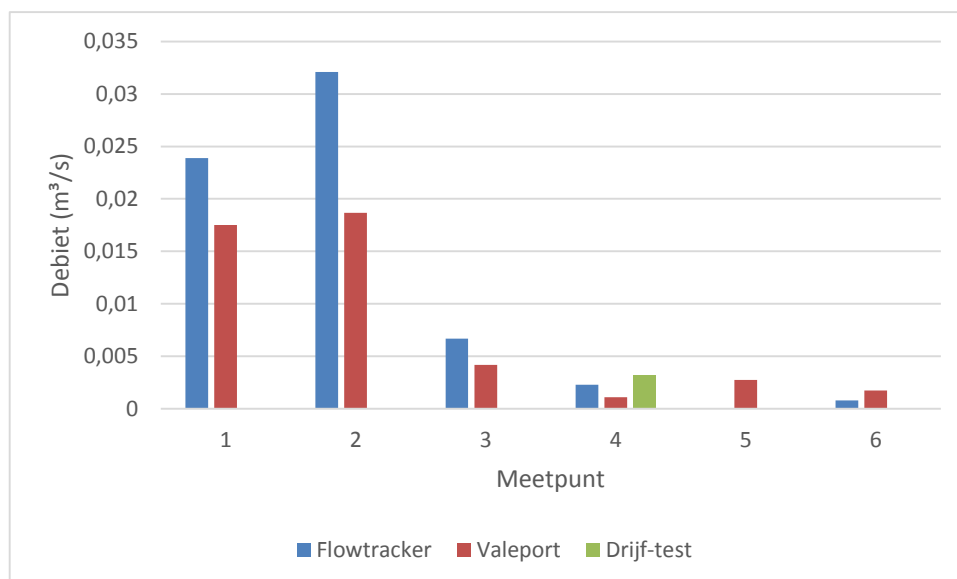
$$0,0419 \text{ m/s} \cdot 0,076 \text{ m}^2 = \mathbf{0,00319 \text{ m}^3/\text{s}}$$

## 2.2.4 Verzameling van de gegevens

De resultaten van beide toestellen worden weergegeven in Tabel 3. Deze gegevens zijn ook grafisch uitgezet in Grafiek 1.

Tabel 3: Verzameling gegevens

Meetpunt	Flowtracker		Valeport 801		Drijftest	
	opp. (m <sup>2</sup> )	Debiet (m <sup>3</sup> /s)	opp. (m <sup>2</sup> )	Debiet (m <sup>3</sup> /s)	opp. (m <sup>2</sup> )	Debiet (m <sup>3</sup> /s)
1	0,225	0,0239	0,3	0,0175	/	/
2	0,332	0,0321	0,378	0,0187	/	/
3	0,19	0,0067	0,1465	0,00420	/	/
4	0,128	0,0023	0,076	0,00110	0,076	0,00319
5	/	/	0,251	0,00276	/	/
6	0,126	0,0008	0,082	0,00176	/	/



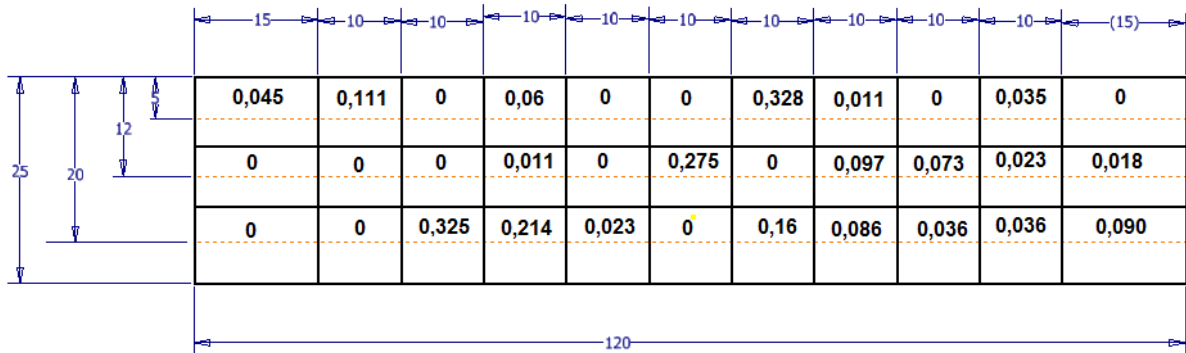
Grafiek 1: Flowtracker vs. Valeport gegevens

## 2.3 Bespreking

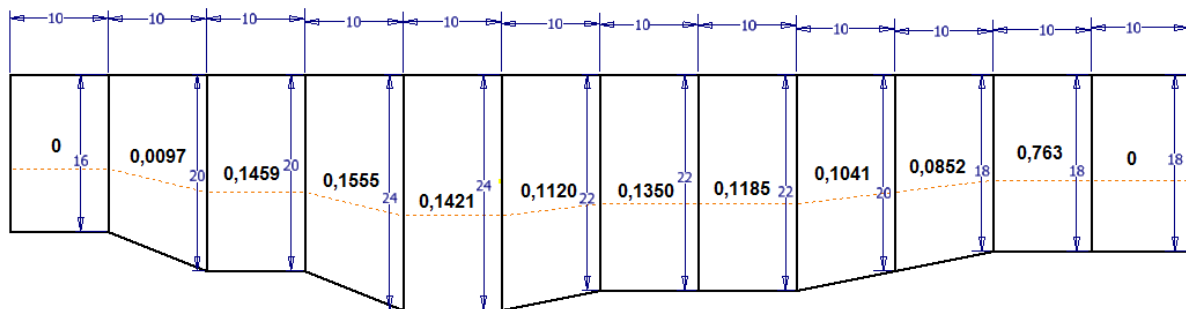
Het is duidelijk dat de Flowtracker steeds een hoger debiet geeft dan de Valeport sensor. Ook de doorstroomde oppervlakten komen niet overeen bij beide toestellen. De afwijkingen kunnen verklaard worden aan de hand van de hoeveelheid meetpunten. Bij de Valeport-sensor werd er steeds op 3 dieptes gemeten, bij de Flowtracker enkel op 60 procent diepte (gekozen norm). Dit zorgt ervoor dat de stroming op de bodem en oppervlak worden berekend met dezelfde snelheid als op 60% diepte. Dit kan een reden zijn voor de afwijking. Om dit

probleem duidelijker te maken worden de gemeten profielen voor meetlocatie 1 weergegeven voor beide toestellen op Figuur 28 en Figuur 29. De afmetingen worden weergegeven in cm en de snelheden in m/s. De stippellijn stelt de diepte voor waar de sensor werd geplaatst.

### **Meetlocatie 1**



Figuur 28: Snelheidsprofiel Valeport 801



Figuur 29: Snelheidsprofiel Flowtracker

Het verschil in doorstroomd oppervlak op deze locatie is te wijten aan het kiezen van een uniforme diepte bij het opstellen van het profiel voor de Valeport 801. De metingen met de Valeport 801 werden steeds uitgevoerd door een persoon van de UGent. Echter heeft het verschil in doorstroomd oppervlak weinig effect op het uiteindelijk berekende debiet. Wanneer deze werd herrekend met hetzelfde doorstroomd oppervlak bleef deze waarde steeds ongeveer gelijk. Ook werd verwacht om hier gelijkaardige debieten te verkrijgen omdat dit meetpunt zich in ideale omstandigheden bevond.

## **Meetlocatie 2**

Hier is opnieuw een afwijking waar te nemen. De afwijking is groter geworden dan bij de eerste meetlocatie, de reden hiervoor is gelijkaardig. Echter, hier kunnen er door de slibafzetting en begroeiing grotere fouten optreden met de Flowtracker dan met de Valeport-sensor.

## **Meetlocatie 3**

Een kleinere afwijking is waarneembaar dan bij meetlocatie 1 en 2. Hier is de stroming minder groot, wat zorgt voor een kleinere uitvergroting van eventuele meetfouten. Ook is het doorstroomd oppervlak hier veel kleiner.

## **Meetlocatie 4**

Ook op deze locatie geeft de Valeport-sensor een kleiner debiet dan de Flowtracker. De drijftest benadert het resultaat van de FlowTracker.

## **Meetlocatie 5**

Op dit meetpunt was de begroeiing te sterk waardoor de Flowtracker onmogelijk kon meten. Deze heeft namelijk een vrije ruimte van 10cm naast de sensor nodig, dit was op deze locatie, door de uitgesproken begroeiing, niet mogelijk.

## **Meetlocatie 6**

Op deze plaats was amper stroming waarneembaar, dit is ook te zien in de meetresultaten.



### 3 ISCO 2150-logger

De ISCO 2150 is een toestel dat voornamelijk wordt gebruikt om debieten te meten in rioleringen of andere locaties waar het stromingsprofiel vast ligt. In het geval van een riolering is dit een ronde buis met vaste diameter. Echter, wanneer dit toestel wordt toegepast in kleine, open waterlopen, ligt dit profiel niet vast. In dit hoofdstuk wordt de meter stap voor stap getest om na te gaan of deze meter kan gebruikt worden voor de toepassing in beken en grachten.

#### 3.1 Kalibratie

Zoals eerder aangehaald maakt dit toestel gebruik van dopplerverschuiving om snelheden te meten in een waterstroom. Het voordeel van deze toestellen is dat deze geen kalibratie vereisen. Echter blijkt in de praktijk dat afwijkingen steeds mogelijk zijn. Daarom werd er voor gekozen om deze meter alsnog te kalibreren in het labo hydraulica in de UGent, waar kleine en grote meetgoten beschikbaar zijn met nauwkeurig in te stellen debiet. Ook meet dit toestel de hoogte van het wateroppervlak. Dit is ook een parameter die best tijdig geijkt wordt.

##### 3.1.1 Kalibratie hoogtemeting

De kalibratie van de hoogte is zeer eenvoudig. De sensor wordt in een gevulde kuip geplaatst met gekende waterhoogte en deze wordt genoteerd. Nu kan er nagegaan worden of er een afwijking wordt waargenomen tussen de gemeten en werkelijke waarde. Indien een afwijking wordt waargenomen kan de werkelijke waarde worden ingeladen in de unit (Zie Figuur 30), nu is de unit gekalibreerd en neemt deze diepte aan als een nieuwe referentiewaarde. Tot slot wordt er nagegaan of de waarde is opgeslagen door het waterniveau manueel te controleren.

The screenshot shows the 'Level' tab of the ISCO 2150 web interface. The site is identified as '2100 Series Site'. The current time is 12:43 and the device is connected. The interface includes a navigation menu with options like 'Site Info', 'Devices', 'Measurements', 'Data', 'Level', 'Dialout Alarms', 'Wireless Power Control', 'ADFM', 'Modbus', and 'Modem'. The main content area is titled 'Set up the level measurement.' and displays the following information:

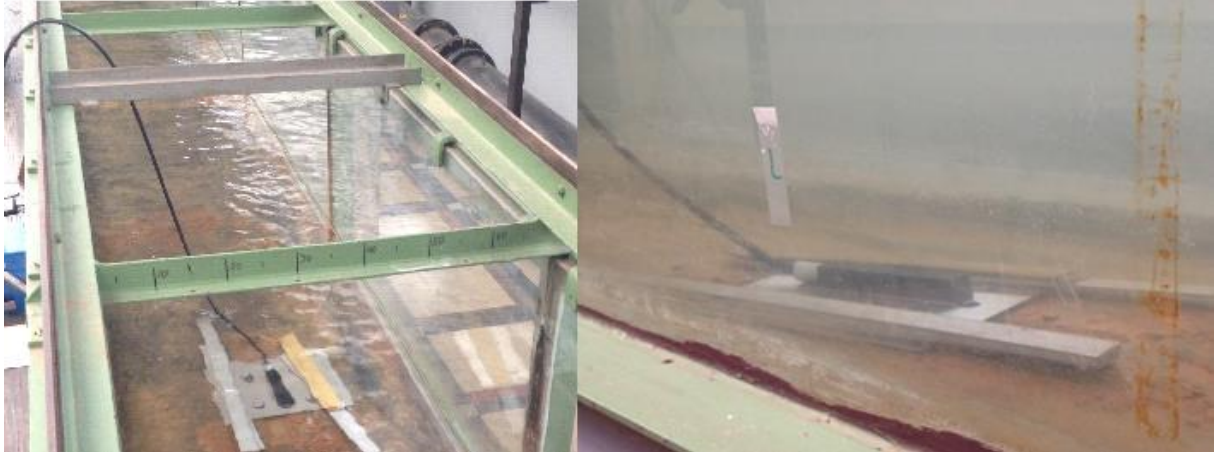
- Module name: 2150 Area Velocity
- Measurement name: Level
- Level measurement: 108,151 millimeters (mm) (labeled 'Gemeten')
- Level last adjusted: 12/05/2014 11:02:23
- Adjust level: 100 mm (labeled 'Werkelijk')
- Adjust ALL level values:

Buttons for 'Set Up Data Storage...' and 'Diagnostics...' are also visible. A checkbox for 'Hide in Measurements' is present but unchecked.

Figuur 30: Procedure kalibratie hoogtemeting

### 3.1.2 Kalibratie snelheidsmeting

De eerste kalibratiemetingen werden uitgevoerd in een breed profiel van 70cm. In deze opstelling kan het debiet zeer nauwkeurig worden ingesteld. Op onderstaande figuur wordt de sensor weergegeven in het brede stromingsprofiel:



Figuur 31: Opstelling brede goot

In deze goot werd een vast debiet ingesteld. Door het verkleinen van het uitstroomoppervlak kan de waterhoogte worden verhoogd en zo wordt de stromingssnelheid verkleind terwijl het debiet constant blijft.

Vervolgens werd de sensor in een kleinere goot geplaatst van 40cm breed en werden opnieuw verschillende stroomsnelheden en debieten opgelegd. Deze opstelling is te zien in onderstaande figuur.



Figuur 32: Opstelling smalle goot

Als vervolgens alle gemeten waarden worden uitgezet met de werkelijke waarden, kunnen de procentuele afwijkingen worden bepaald. Deze afwijking wordt slechts voor de helft van de gegevens bepaald zodat de andere helft van de data kan gebruikt worden ter validatie van de gegevens. Deze resultaten worden weergegeven in Tabel 18 te vinden in bijlage "Verzameling gegevens kalibratie UGent".

Via de "oplosser" functie in Excel wordt gevraagd om de som van deze procentuele afwijkingen te minimaliseren door twee getallen te gaan itereren, namelijk  $a = 1$  en  $b = 0$ . Deze waarden zijn te vinden in onderstaande tabel, er wordt getracht om deze waarden zodanig te kiezen dat het gekalibreerd debiet ( $Q_{\text{gekalibreerd}}$ ) gelijk wordt aan het gemeten debiet ( $Q_{\text{gemeten}}$ ).

$$Q_{\text{Gekalibreerd}} = a + (Q_{\text{gemeten}} \cdot b)$$

De waarden voor a en b bedragen dan na iteratie:

**Tabel 4: Kalibratiewaarden**

a	-0,01425
b	1,155789

Voorbeeldberekening voor gekalibreerd debiet:

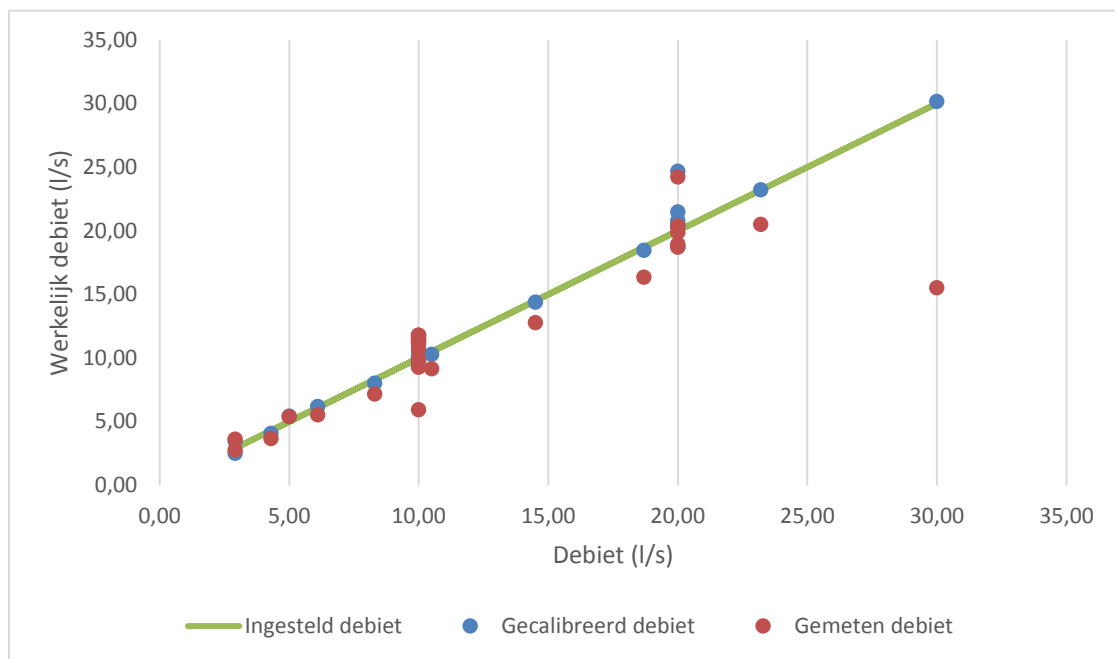
Ingesteld debiet = 20 l/s

Gemeten debiet (ISCO 2150) = 18,71 l/s

$$Q_{\text{Gekalibreerd}} = -0,01425 + (18,71 \frac{l}{s} \cdot 1,155789)$$

$$Q_{\text{Gekalibreerd}} = 20,53 \text{ l/s}$$

Wanneer tot slot alle resultaten in onderstaande grafiek worden weergegeven, is duidelijk te zien dat de gekalibreerde waarden de werkelijkheid beter benaderen.



Grafiek 2: Kalibratiecurve ISCO 2150

### 3.1.3 Verificatie kalibratie lage debieten

Wat meteen opvalt aan Grafiek 2 is dat ze niet doorloopt tot de oorsprong. Debieten kleiner dan 4,30 l/s werden via deze manier niet gecalibreerd. In de praktijk komen echter wel debieten voor van 4 l/s of kleiner. Daarom werd er op het proefstation een testopstelling opgesteld waar lagere debieten in gesimuleerd kunnen worden. Deze opstelling is te zien op onderstaande figuur.



Figuur 33: Simulatiegoot op het proefstation

Er werd gekozen voor een goot van 25cm breed en 8 meter lang om een zone zonder turbulentie te garanderen. De sensor werd halverwege de goot geplaatst

(tenzij anders vermeld). Met een pomp wordt het water uit het vat gepompt naar het begin van de goot. Deze pomp biedt een constant debiet van ongeveer 1,83 l/s. Om het waterniveau op te sturen werd aan het uiteinde van de goot een overstort geplaatst (zie Figuur 33). Het water werd in een vat met vrije uitstroom gepompt aan het begin van de goot. Op deze manier werd turbulentie vermeden. Deze uitstroom is te zien in onderstaande figuur.



Figuur 34: Opstelling om turbulente stroming te voorkomen in de meetgoot

Om na te gaan hoe de debietmeter presteert in de goot wordt eerst het exacte debiet op een zo correct mogelijke manier bepaald. Hiervoor werd een groot vat van 70 liter drie keer gevuld met behulp van de pomp. Deze tijden werden genoteerd en hieruit werd het debiet berekend:

Tabel 5: Testen van debiet met vat van 70l

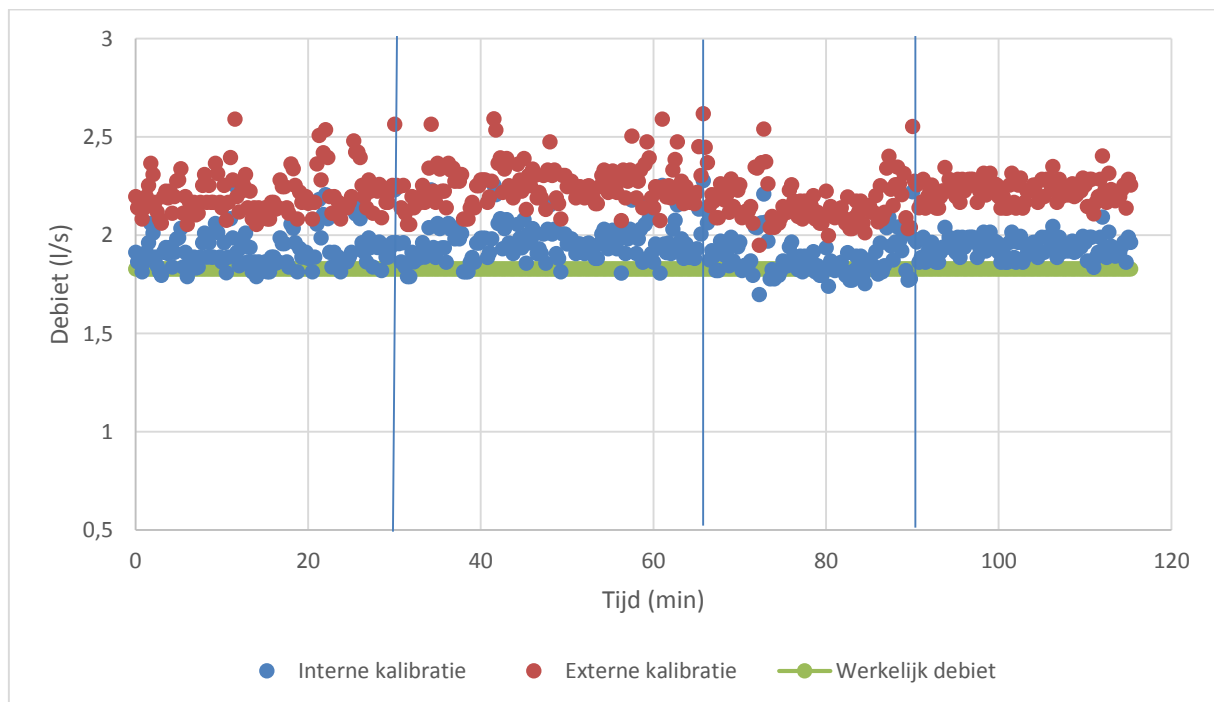
<b>Volume (l)</b>	<b>Tijd (s)</b>	<b>Debiet (l/s)</b>
70	38,83	1,803
70	37,4	1,872
70	38,68	1,810
	<b>Gemiddelde</b>	<b>1,828</b>

Vervolgens werd de sensor in de goot gelegd op 4 verschillende afstanden van het einde van de goot om te kijken of het gemeten debiet overal dezelfde is. De gemiddelde debieten van deze 4 meetpunten worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6: Resultaten meetgoot

afstand (cm)	Debiet gemeten (fabriekskalibratie ISCO 2150) (l/s)	Debiet gekalibreerd (UGent) (l/s)	Debiet effectief (l/s)
135	1,9241	2,2096	1,8283
189	1,9731	2,2663	1,8283
250	1,8847	2,1640	1,8283
300	1,9407	2,2288	1,8283
<b>gemiddelde</b>	<b>1,9306</b>	<b>2,2172</b>	<b>1,8283</b>

Hier valt op dat de gemeten debieten op basis van de interne kalibratie van de ISCO 2150 (fabriekskalibratie), dichter aanleunen bij de effectieve debieten dan bij de debietsmetingen gebaseerd op de kalibratie die uitgevoerd werd in de meetgoot van UGent. Dit wordt nog veel duidelijker wanneer deze resultaten worden geplot in Grafiek 3. Hier worden de gemeten debieten (interne kalibratie door fabrikant) weergegeven in het blauw en de extern gekalibreerde (UGent) in het rood. Het effectieve debiet wordt weergegeven door de volle groene lijn. De verschillende posities in de goot worden van elkaar gescheiden door de verticale lijnen.



Grafiek 3: Grafische weergave resultaten meetgoot

Uit deze resultaten kan duidelijk besloten worden dat de kalibratiewaarden die verkregen werden door de analyse in de meetgoot van UGent niet geschikt zijn

voor de lagere debieten (onder de 4 l/s). De afwijking tussen gemeten (interne kalibratie) en effectief debiet bedraagt slechts 5,60% voor de interne kalibratie, de extern gekalibreerde waarden (UGent) daarentegen zorgen voor een afwijking van 21,27%.

## **3.2 Obstructies**

Andere sensoren die gebruik maken van dopplerverschuiving zoals de Flowtracker die uitvoerig werd getest, blijken zeer gevoelig te zijn voor obstructies in het water. Daarom werd nagegaan met dit toestel hoe groot de effecten zijn van mogelijke obstructies.

### **3.2.1 Rooster**

Verstoring van de stroming werd gesimuleerd door middel van een rooster. Het rooster werd dwars op de stroming geplaatst zoals in te zien in onderstaande figuur.



**Figuur 35: Verstoring van de stroming met rooster**

De sensor werd op verschillende afstanden van het rooster geplaatst: 120, 25 en 12cm. Tot slot werd het rooster weggenomen. Deze debieten werden berekend op basis van de externe kalibratie-waarden die voordien werden bepaald in de meetgoot van UGent. Deze resultaten worden weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Resultaten proef met rooster

Ingesteld debiet (l/s)	Afstand (cm)	Gemeten debiet (l/s)	Afwijking (%)
30	120	31,11	3,73
30	25	31,73	5,77
30	12	34,74	15,78
30	geen rooster	32,13	7,09

Als er gekeken wordt naar bovenstaande resultaten is duidelijk te zien dat het rooster slechts weinig effect heeft op de meting. Zelfs wanneer de sensor vlak voor het rooster ligt (op 12cm), is de afwijking nog steeds slechts 15%. In gedachte houdend dat in de praktijk dergelijke situaties steeds worden vermeden, kan besloten worden dat deze resultaten gunstig zijn. De afwijking tussen "geen rooster" en 120/25cm kan verklaard worden door het feit dat het niet mogelijk was om het rooster te verplaatsen en de sensor verplaatst diende te worden. Gezien de omstandigheden van plaats tot plaats mogelijk lichtjes kunnen verschillen is het mogelijk dat er kleine afwijkingen worden waargenomen.

### 3.2.2 Turbulentie

Een ander vaak voorkomend probleem in de praktijk is turbulentie. Dit kan veroorzaakt worden door grote objecten in de stroom, of het wijzigen van de stromingsrichting. Tijdens deze test werd er turbulentie in de stroming gebracht door de sensor vlak voor een kleine waterval te plaatsen. Dit is te zien in onderstaande figuur.



Figuur 36: Turbulente stroming test



Ook hier werd de sensor op verschillende afstanden van de waterval geplaatst om na te gaan hoe sterk de resultaten werden beïnvloed. Deze resultaten (zie Tabel 8) werden berekend met de externe kalibratiewaarden van UGent.

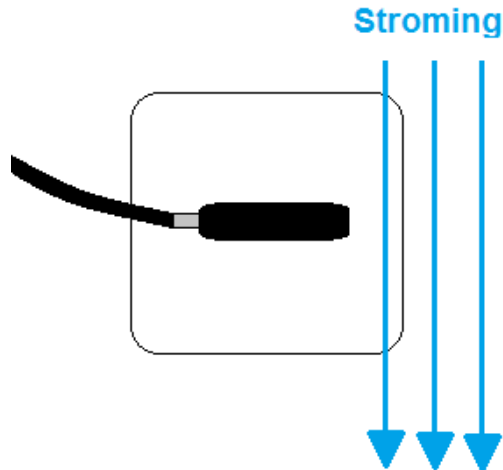
Tabel 8: Resultaten waterval proef

Ingesteld debiet (l/s)	Afstand (cm)	Gemeten debiet (l/s)	Afwijking (%)
30	55	63,01	110,03
30	95	42,12	40,41
30	117	35,79	19,31
30	192	33,12	10,40

De resultaten geven duidelijk aan dat turbulentie zeer grote gevolgen heeft op de correctheid van de meting. Daarom is het van groot belang om in de praktijk steeds genoeg afstand te houden van turbulentie gecreëerd door grote objecten in het water, watervallen, plotse versmallingen, etc.. Een goede vuistregel is ongeveer 10 waterdieptes verwijderd blijven van bronnen van turbulentie. Tijdens deze test bedroeg het waterniveau 13cm, dus dient hier een minimale afstand van 130cm gehanteerd te worden.

### 3.2.3 Stroming loodrecht op de sensor

In deze proefopstelling kan de stroming volledig uniform verondersteld worden, dit wil zeggen dat er geen stroming dwars op de sensor mag worden waargenomen. Om na te gaan of de sensor onterecht stroming meet in de dwarse richting, werd de sensor 90 graden gedraaid. Dit is weergegeven op onderstaande schets.



Figuur 37: Stroomrichting loodrecht op de sensor

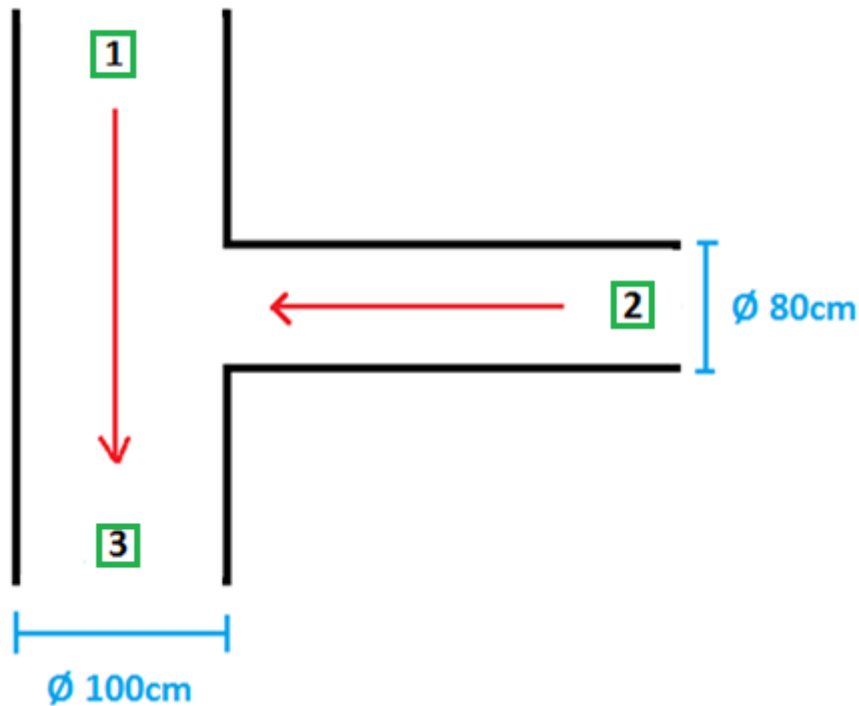
De sensor werd 5 minuten in deze positie gelegd. De gemeten stroomsnelheid bleef gedurende het hele experiment 0 m/s. Dit duidt op een juist gekalibreerde sensor wat betreft dwarse stroming.

### 3.3 Sensorplaatsing

Zoals te zien op Figuur 22 (pagina 30) is de sensor gemonteerd op een brede plaat. Deze plaat zorgt voor het nodige gewicht om ervoor te zorgen dat de sensor tijdens het meten niet verschuift. Verder zorgt het grote oppervlak van deze plaat ervoor dat wanneer er gemeten wordt op een zachte bodem (bijvoorbeeld: een sliblaag), de sensor niet volledig wegzakt. Echter blijkt deze montage niet ideaal in alle omstandigheden. Het is namelijk interessant om, indien mogelijk, te meten in betonnen buizen en dit omwille van het feit dat deze een gekend en vast profiel hebben. In volgend experiment wordt het probleem duidelijk.

#### 3.3.1 Probleemstelling

Op volgende meetlocatie komt een kleinere buis ( $\varnothing$  80cm) samen met een grotere buis ( $\varnothing$  100cm). In- en uitgaande stromen van deze buizen worden gemeten. De rode pijlen op onderstaande figuur geven de stromingsrichting aan. Naar de praktijk toe lijkt dit een zeer geschikte locatie omdat het gaat om een vast profiel.



Figuur 38: Schets van het bovenaanzicht van de meetlocatie

De gemeten debieten worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 9: Debieten van T-splitsing

Locatie	Debiet (l/s)
1	9,75
2	0,48
3	6,58

In deze situatie wordt er verwacht dat stroming 1 en 2 samen gelijk zijn aan stroming 3. Dus:

$$9,75 \frac{l}{s} + 0,48 \frac{l}{s} = 10,23 \frac{l}{s}$$

Echter wordt er een debiet gemeten van 6,58 l/s. Dit komt op een afwijking van 55,59%.

De afwijking van de theoretische waarde met de gemeten waarde kan eventueel als volgt verklaard worden.

Wat meteen opviel was het niveauverschil tussen locatie 1 en 3. Een blokkade halverwege de buis zorgt voor een opstuwning van het niveau op locatie 1, dit is te zien in Figuur 39.



Figuur 39: Schets zij aanzicht meetlocatie 1 en 3

Uit de algemeen gekende formule voor debietsberekeningen volgt:

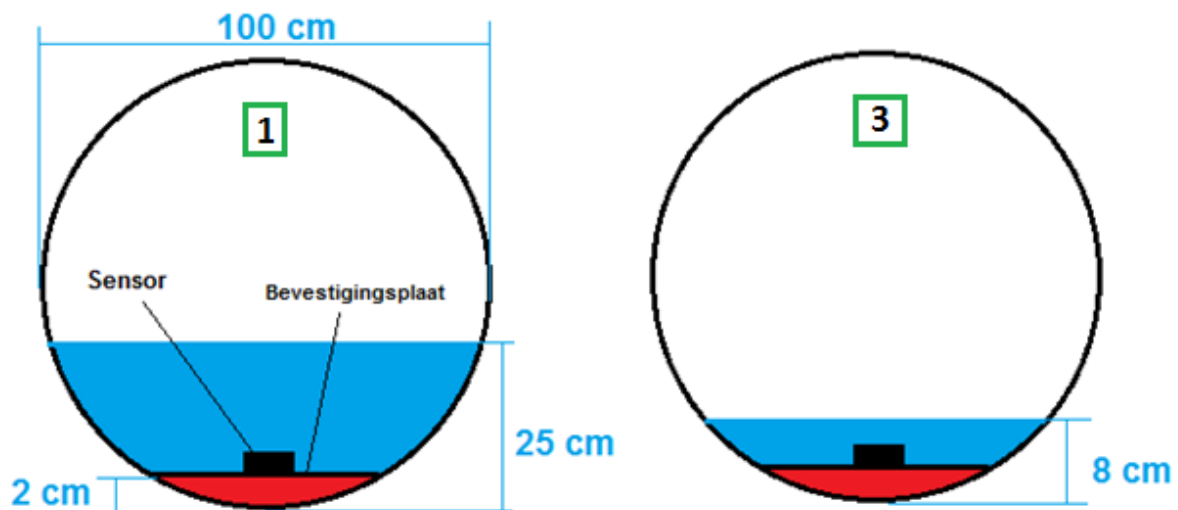
$$Q = A \cdot v$$

Dus:

$$A \text{ (m}^2\text{) locatie 1} > A \text{ (m}^2\text{) locatie 3}$$

$$v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \text{ locatie 1} < v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \text{ locatie 3}$$

Hierdoor is de stromingsnelheid op locatie 3 veel hoger dan op locatie 1. De bevestigingsplaat zorgt ervoor dat de sensor 2 cm van de bodem verwijderd blijft wanneer er gemeten wordt in een gesloten buis van 100 cm diameter (locatie 1 en 3). In de buis van 80 cm (locatie 2) is deze afstand ongeveer 3 cm. Dit wordt weergegeven voor locatie 1 en 3 op Figuur 40.



Figuur 40: Waterpeil locatie 1 en 3 vooraanzicht

Doordat het waterpeil bij locatie 3 slechts 8 cm is en de stromingsnelheid hoger ligt, zal de procentuele afwijking hierdoor mogelijk zeer groot worden. Daardoor is het mogelijk dat een veel kleiner debiet wordt verkregen dan initieel verwacht

werd. Wanneer er manueel 2cm wordt bijgerekend in de totale hoogte van locatie 1 en 3 en 3cm bij locatie 2, worden volgende waarden bekomen:

**Tabel 10: Manueel gecorrigeerde debieten**

<b>Locatie</b>	<b>Debiet (l/s)</b>
1	10,87
2	0,66
3	9,08

Theoretisch wordt nu een debiet verwacht van:

$$10,87 \frac{l}{s} + 0,66 \frac{l}{s} = \mathbf{11,53 \frac{l}{s}}$$

Praktisch wordt een debiet waargenomen van 9,08 l/s, wat overeenkomt met een afwijking van 26,98 %. Hier is duidelijk een verbetering van de resultaten waar te nemen. De resterende afwijking wordt in verdere experimenten diepgaander onderzocht.

### 3.3.2 Oplossing

Aangezien de resultaten manueel bijwerken niet de meest geschikte oplossing is, werd er gekeken naar een nieuw ontwerp om de sensor te bevestigen in ronde buizen. De bevestigingsplaat dient smaller te zijn, maar moet nog steeds zwaar genoeg zijn om te voorkomen dat deze door de stroming wordt verplaatst.

Een ander probleem dat zich voordeed wanneer er gemeten werd in gesloten buizen is dat de oriëntatie van de sensor niet altijd duidelijk was bij hoge waterniveaus. Daarom werd op de nieuwe bevestiging een metalen vlag geïnstalleerd voor betere zichtbaarheid en oriëntatie. Op Figuur 41 wordt de nieuwe bevestiging weergegeven.

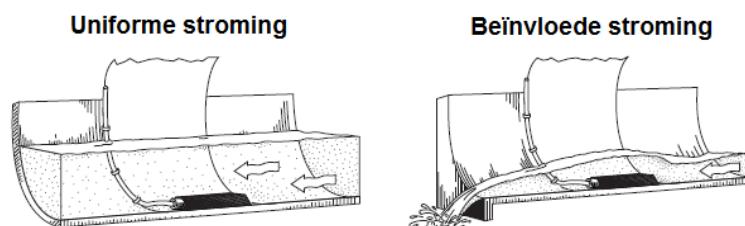


Figuur 41: Verbeterde bevestiging gesloten buizen

Onder de metalen vlag werd lood geplaatst om de plaat te voorzien van voldoende gewicht.

### 3.4 Plaatsing sensor gesloten buis

Aangezien gesloten buizen de ideale locaties zijn om te meten, werd hier gekeken naar de ideale plaats om te meten. Er zijn twee mogelijkheden: aan de instroom van de buis en aan de uitstroom van de buis. Uit ervaring blijkt dat meten aan de instroom van een buis op een voldoende afstand van de ingang, de beste resultaten met zich meebrengt. Dit komt omdat vaak bij het uitstromen van de buis een versnelling in de waterstroom kan optreden in geval van vrije uitstroom. Dit is duidelijk geïllustreerd op onderstaande figuur:



Figuur 42: Effect op stroming bij vrije uitstroom [29]

De afstand dat de sensor in de buis dient geplaatst worden hangt af van de omstandigheden. De sensor dient ver genoeg te liggen zodat deze buiten de turbulente zone ligt die vaak zichtbaar is aan de ingang. Ook wanneer het niveau aan de uitgang hoger staat dan het niveau in de buis, kan dit voor slechte omstandigheden zorgen. Dit zorgt namelijk voor een verhoging in turbulentie. Hierdoor lijkt het aangewezen om te meten bij de instroom van de buis. De sensor dient zo ver mogelijk in de buis geplaatst te worden om een zo lineair mogelijke stroming te meten. Namelijk hoe langer een vast, recht profiel wordt gevolgd, hoe uniformer de stroming zal zijn.

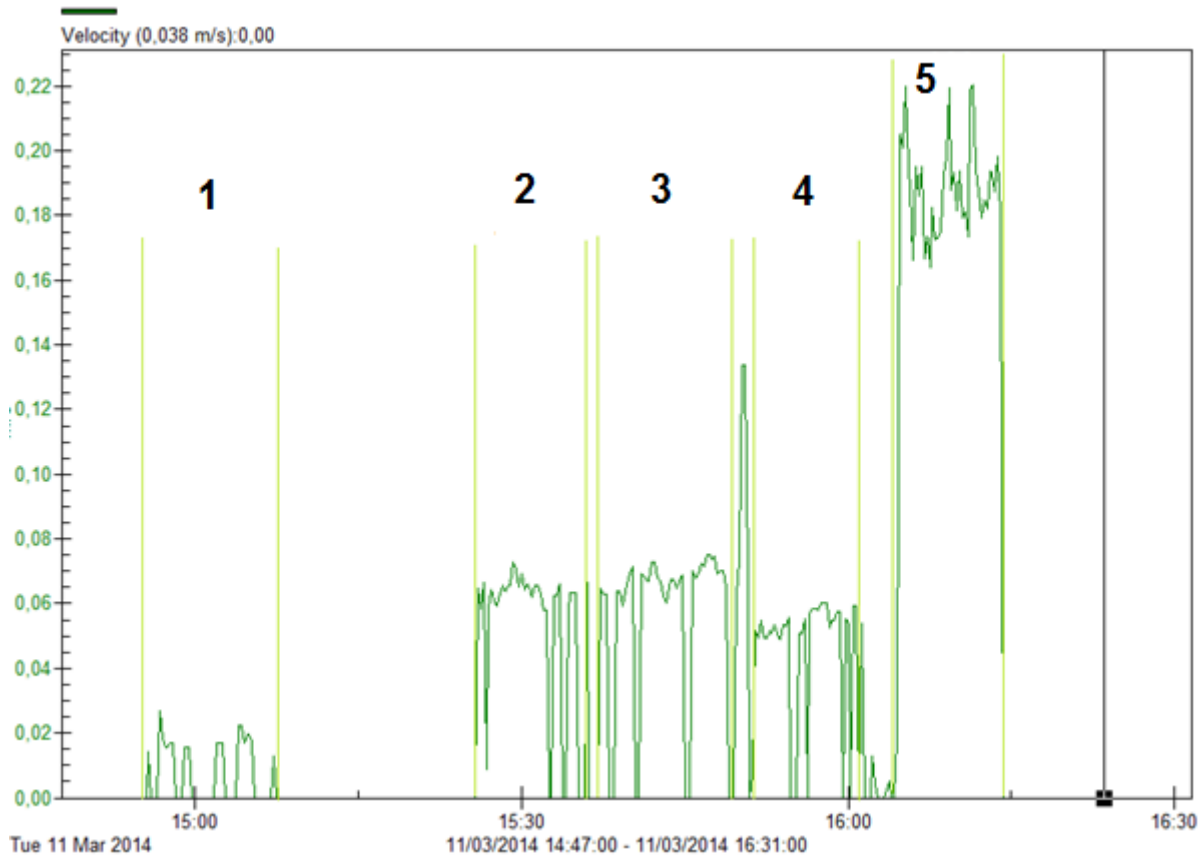
### 3.5 Signaalsterkte en spectrum

Bij het meten met toestellen die gebruik maken van het dopplereffect, zijn er twee zeer belangrijke parameters, namelijk signaalsterkte en spectrum. Lage signaalsterktes leiden mogelijk tot foutieve metingen en een laag spectrum duidt op een vervormd signaal. Bijgevolg vergroot ook de kans op foutieve metingen.

#### 3.5.1 Probleemstelling

Bij het meten werden zeer vaak nulmetingen geconstateerd. De debietsmeter gaf dan enkele minuten lang geen debiet weer. Op Figuur 43 is het verloop te zien van de snelheid in functie van de tijd op 5 verschillende meetpunten. Deze locatie

wordt in detail beschreven in bijlage "3.1 Locatie 1: T-splitsing Bemortelloop proefstation".



Figuur 43: Overzicht snelheidsmeting verschillende locaties

Op deze figuur is te zien dat de snelheidsmeting op verschillende ogenblikken volledig naar 0 m/s valt. Vooral op meetpunt 1 worden er zeer veel nulmetingen geconstateerd. Op meetpunt 5, waar een hoge stromingssnelheid wordt gemeten, worden geen nulmetingen waargenomen.

In trage en diepe stromingen heeft de sensor het moeilijker om de uitgezonden signalen opnieuw op te vangen. Hoe rustiger de stroming, hoe minder lucht en zwevende deeltjes er zich in het water bevinden.

### 3.5.2 Omwoeling slib

De oorsprong van dit probleem ligt duidelijk bij te lage signaalsterktes. Daarom werden er enkele proeven uitgevoerd om deze signaalsterktes op te voeren tijdens het meten.

Dit wordt bereikt door stroomopwaarts in het water te gaan staan en slib op de bodem op te woelen. Dit wordt meegevoerd door de stroming en passeert de



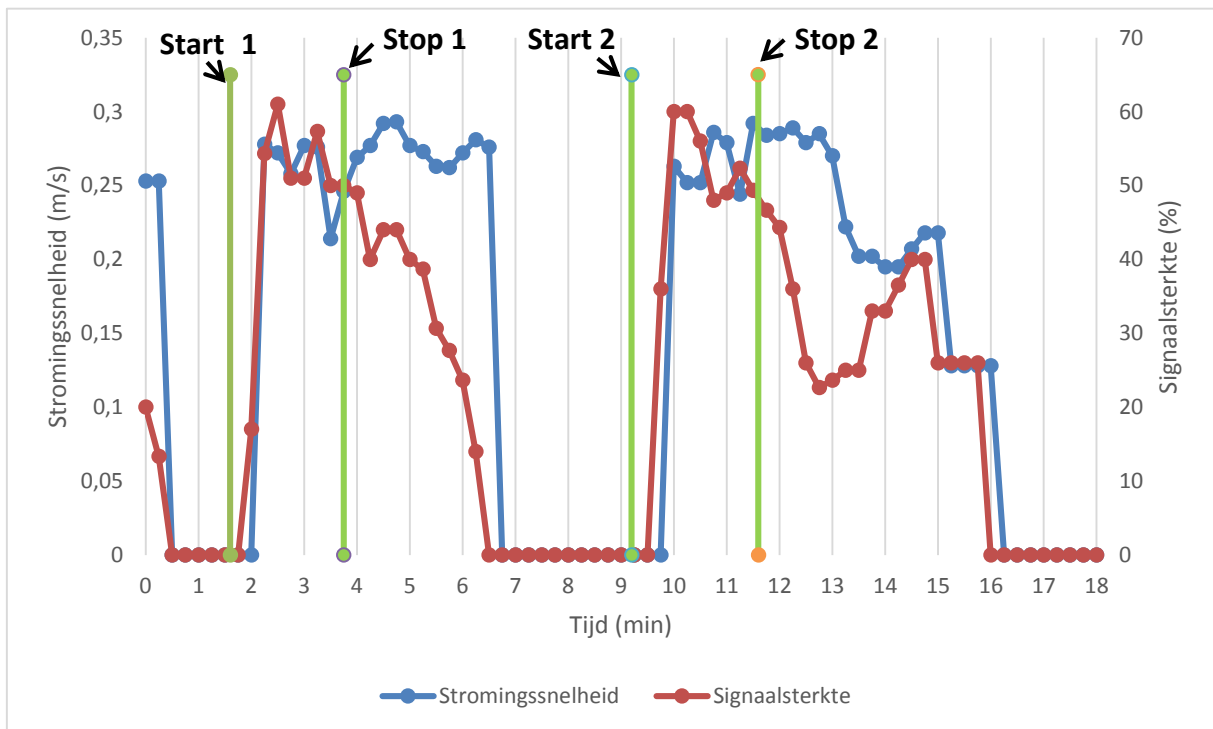
sensor. Het is van groot belang dat dit gebeurt op voldoende afstand van de sensor zodat de meting niet wordt beïnvloed. Een goede vuistregel lijkt om op een afstand van minstens 10 waterdieptes te gaan staan, om te voorkomen dat de meting wordt beïnvloed. Het effect is duidelijk waar te nemen op onderstaande figuur.



**Figuur 44: Strooming zonder geforceerde omwoeling (links) en met geforceerde omwoeling (rechts)**

Het verschil is duidelijk waar te nemen, zonder omwoeling van het slib is de sensor duidelijk zichtbaar in het water. Na omwoeling van het slib wordt de stroom gevuld met zwevende deeltjes.

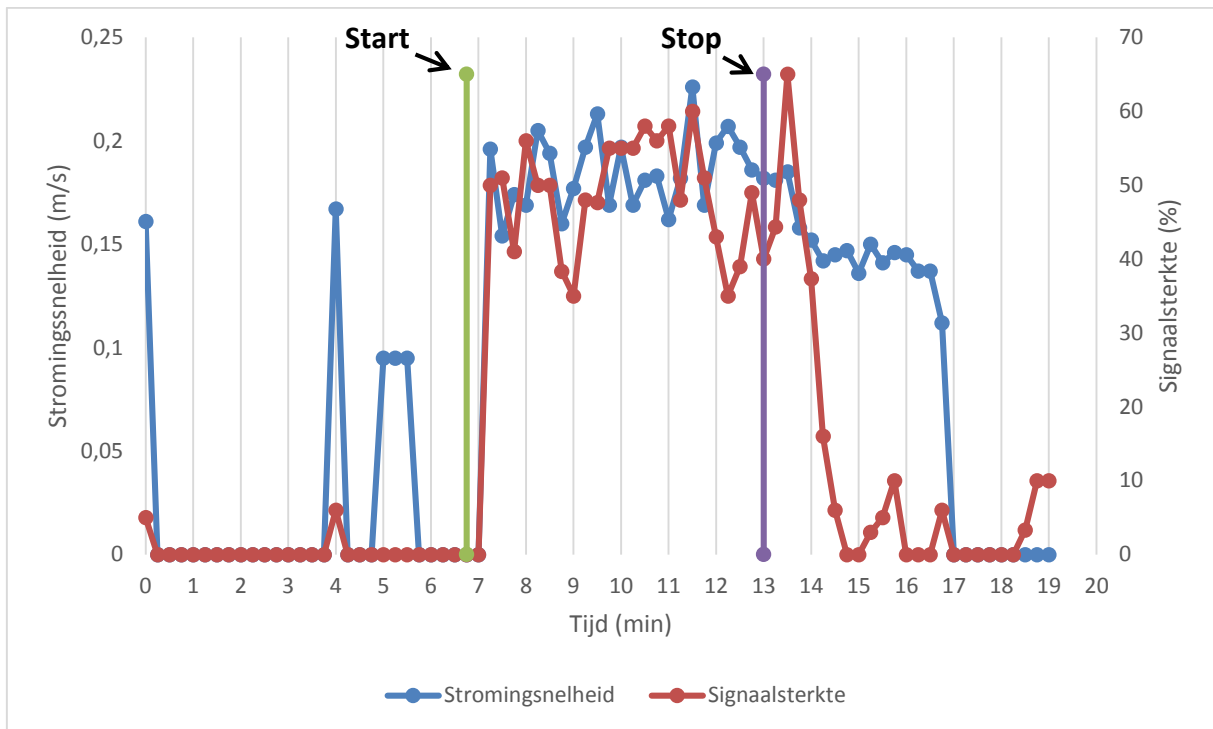
Wanneer in grafiek de signaalsterkte en stromingssnelheid wordt geplot in functie van de tijd wordt het effect meteen duidelijk. Op een bepaalde locatie werd tweemaal omwoeling veroorzaakt stroomopwaarts van de sensor. Deze tijdstippen staan weergegeven op Grafiek 4.



Grafiek 4: Resultaten experiment omwoelen van het slib

Wanneer de meting gestart werd op tijdstip 0, gaf de sensor geen signaalsterkte en bijgevolg ook geen stromingssnelheid aan. Van zodra er omwoeling in het water werd gebracht, werd meteen een stijging in signaalsterkte waargenomen en bijgevolg werd er nu ook een stromingssnelheid gelogd. Van zodra er gestopt werd met omwoelen, is er een afname in signaalsterkte waar te nemen. Wat ook opvalt, is dat nog enige tijd na het stoppen met omwoelen, er nog steeds een betrouwbare meting wordt gedaan. Dit is logisch aangezien het opwoelen van het slib nog enige tijd effect heeft alvorens het water helemaal opnieuw is opgeklaard. Bij herhalen van de test is hetzelfde gedrag waar te nemen. Echter wordt hier enkele minuten nadat het opwoelen gestopt is nog even een stijging in signaalsterkte waargenomen. Dit is te verklaren door het feit dat begroeiing in het water was losgekomen en nog enige omwoeling van slib teweeg bracht.

Deze test werd ter controle opnieuw uitgevoerd op een andere locatie. Ook hier is hetzelfde gedrag waar te nemen:

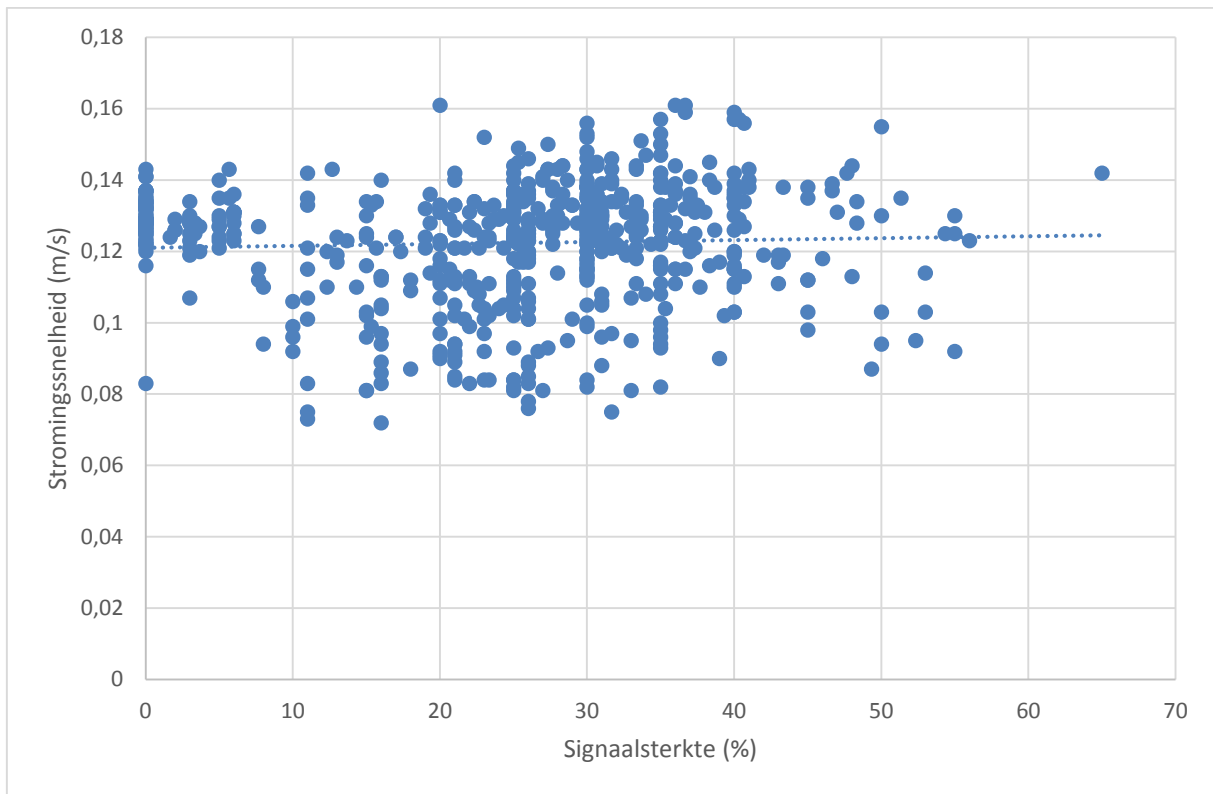


Grafiek 5: Resultaten experiment 2 omwoelen van het slib

Bij deze test kan ook een andere belangrijke conclusie worden getrokken. Vanaf het moment de omwoeling stopt, is het duidelijk dat de signaalsterkte snel naar 0 gaat. Hoewel de signaalsterkte ongeveer 3 minuten lang 0% is, wordt er nog steeds een stromingsnelheid gemeten. Deze stromingsnelheid is echter duidelijk lager dan voordien. Dit duidt op een foutieve uitlezing door een te lage signaalsterkte.

### 3.5.3 Invloed signaalsterkte op snelheidsmeting

Bij het voorgaande experiment werd geconstateerd dat er na wegvallen van het signaal vaak nog een snelheidsmeting werd waargenomen. Vaak lag deze snelheid dan lager dan wat verwacht wordt. Vervolgens werd er nagegaan of de signaalsterkte in rechtstreeks verband staat met de gemeten snelheid. Om hier een duidelijk beeld van te krijgen werd de data van verschillende metingen geplot als stromingsnelheid in functie van de signaalsterkte. Deze test werd gedaan over ongeveer 600 datapunten, dit is te zien in Grafiek 6. Deze data werd opgemeten in een betonnen buis van 100cm diameter, deze locatie wordt geschetst op Figuur 45 (pagina 63).

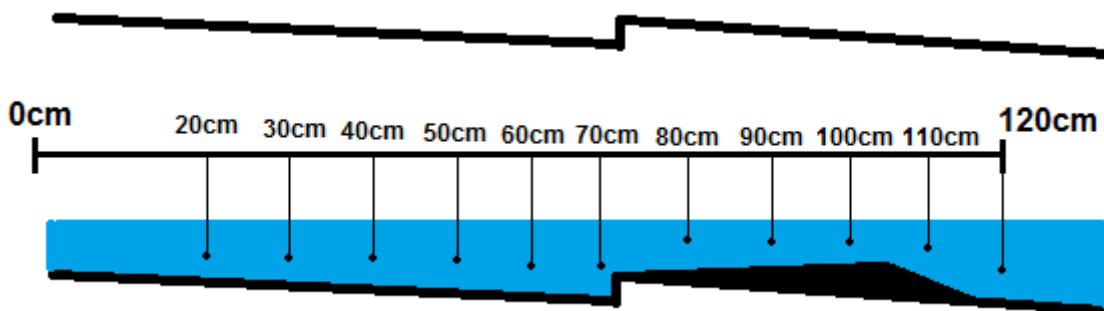


**Grafiek 6: Verband tussen signaalsterkte en gemeten snelheid**

In deze dataset varieerde de signaalsterkte ongeveer tussen 0 en 55%. Wanneer door deze punten een trendlijn werd getrokken, is het duidelijk dat er geen verband bestaat tussen de signaalsterkte en stromingsnelheid. Het toestel corrigeert de gemeten snelheden correct bij dalende en stijgende signaalsterktes. Wat wel opvalt, is een grote spreiding op de metingen. Deze dataplot is een verzameling over 3 uur meten op verschillende plaatsen in dezelfde stroom, het is natuurlijk mogelijk dat het debiet tijdens het meten varieerde in functie van de tijd.

### 3.6 Debietschommelingen

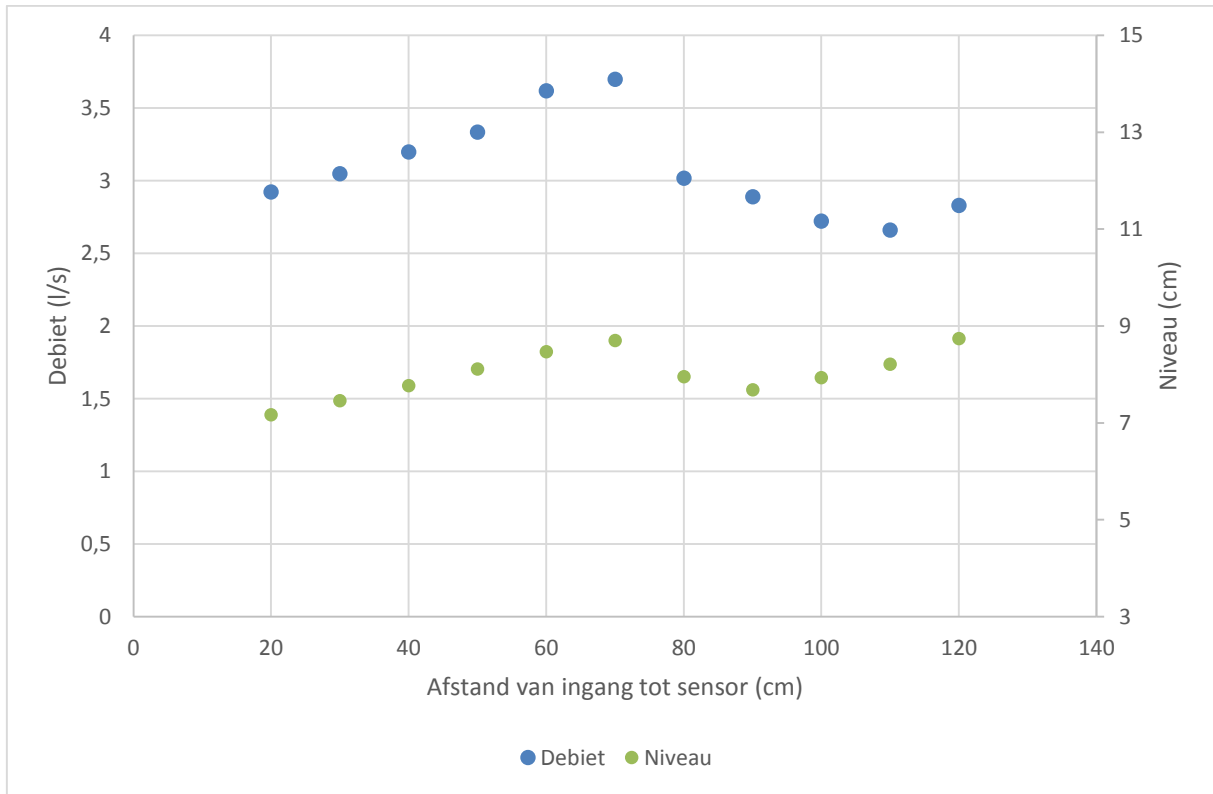
Tijdens het meten werden vaak op hetzelfde meetpunt grote debietschommelingen waargenomen wanneer de sensor werd verplaatst. Daarom werd het effect nagegaan van de plaatsing van de sensor in een gesloten buis. Hier werd initieel getracht om het effect op het debiet na te gaan wanneer er dichtbij/verder van de instroom wordt gemeten. Op deze nieuwe locatie (buis 100cm diameter in de Haagbeek) werd om de 10cm een meting uitgevoerd, te beginnen op 20cm van de ingang. Door een ongelijke bodem, die geschetst wordt op Figuur 45 wordt er op elke locatie een verschillend niveau gemeten.



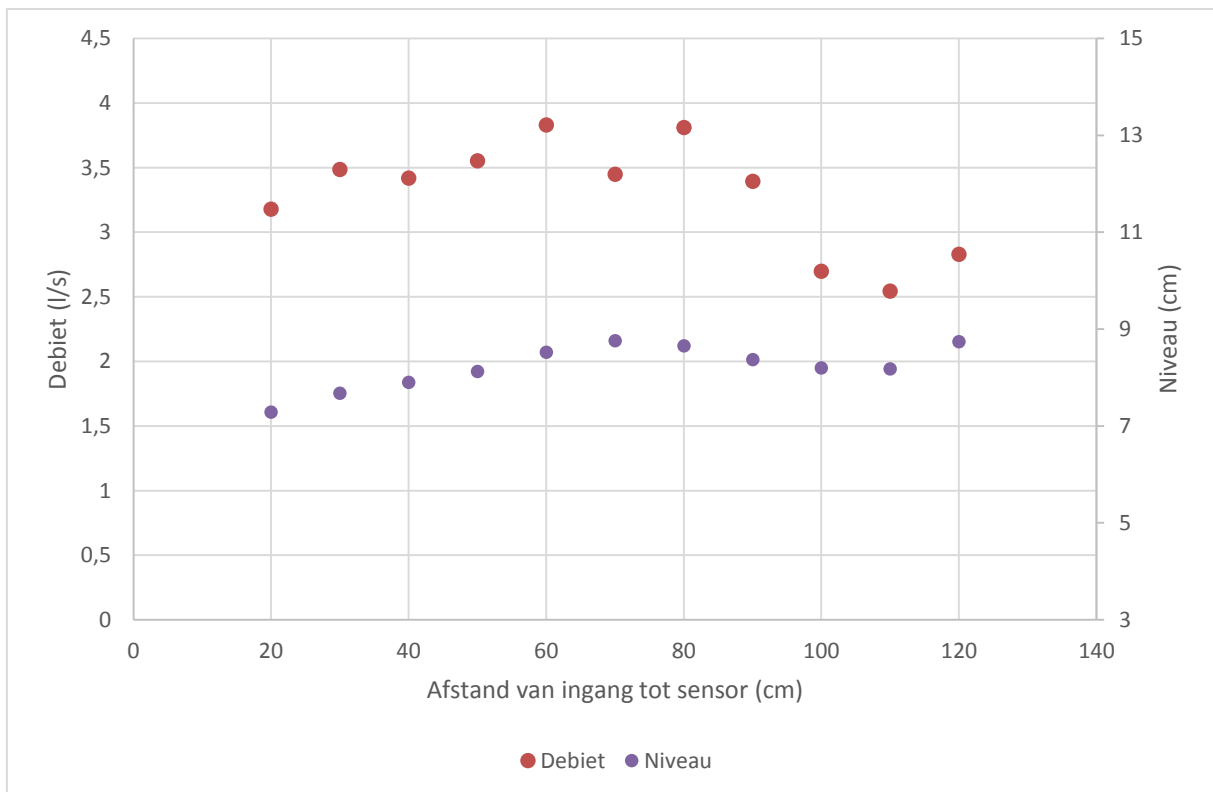
Figuur 45: Schets van ongelijke bodem experiment debietschommelingen

Er wordt dus verwacht dat bij een stijgend niveau, een lagere snelheid wordt gemeten zodat het debiet op de verschillende plaatsen constant blijft. Echter blijkt hier een grote spreiding te zitten op het gemeten debiet. Deze proef werd in tweevoud uitgevoerd en de resultaten worden weergegeven in Grafiek 7 en Grafiek 8.

Wat opvalt, is dat in beide herhalingen van het experiment het debiet samenhangt met het niveau. Als de sensor verplaatst wordt en het niveau stijgt/daalt, dan stijgt/daalt respectievelijk ook het debiet. Dit is te wijten aan het feit dat dezelfde snelheid wordt gemeten maar er een groter doorstroomd oppervlak wordt gemeten door het stijgende waterniveau. Aangezien hier duidelijk een verband wordt waargenomen tussen niveau en gemeten debiet, werd deze test onder gecontroleerde omstandigheden herhaald in "3.7 Effect van het niveau op het debiet".



**Grafiek 7: Gemiddelde van datapunten proef 1**



**Grafiek 8: Gemiddelde van datapunten proef 2**

### 3.7 Effect van het niveau op het debiet

Naar aanleiding van de bevindingen in voorgaand hoofdstuk werd er voor gekozen om deze test opnieuw uit te voeren, maar ditmaal in gecontroleerde omstandigheden. Hiervoor wordt opnieuw de meetgoot gebruikt die te zien is op Figuur 33 (pagina 46). Om de stroming in de goot te voorzien van voldoende niveau, werd er een overstortrand geplaatst aan het einde van de meetgoot. Wanneer deze overstort lager wordt gemaakt, kan hierdoor het niveau in de goot worden bijgestuurd. Dit is te zien in onderstaande figuur.



Figuur 46: Overstort van 6cm (links) en 4cm (rechts)

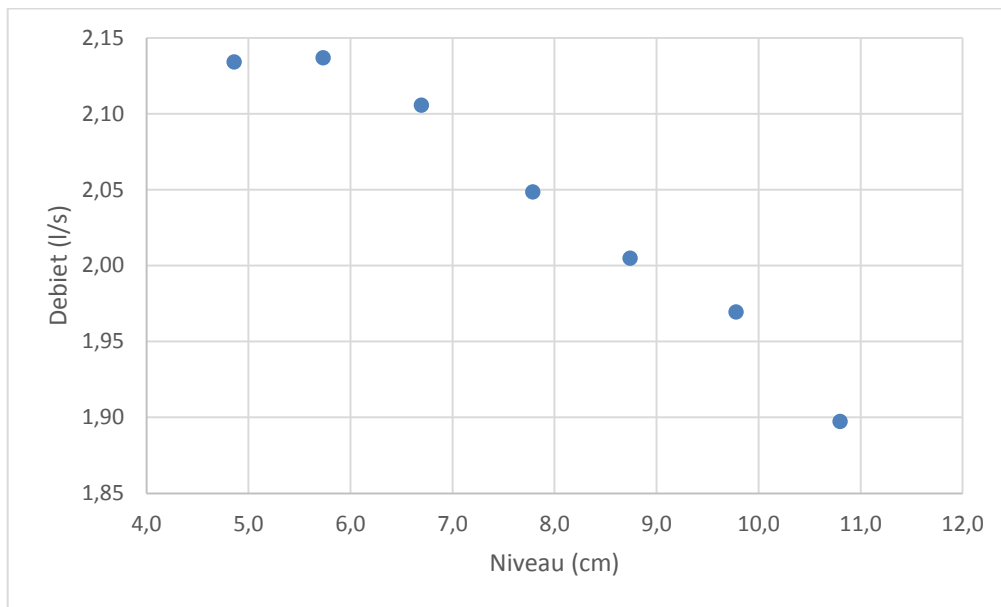
Voor opstart van de test werd opnieuw het werkelijke debiet nagegaan. Deze bedraagt 1,88 l/s. Vervolgens werd het debiet gemeten met een overstort van 6cm en werd deze telkens 1cm ingekort. Hierdoor daalt het niveau maar het debiet blijft in principe constant. De resultaten van deze proef worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 11: Resultaten bij verschillende overstort-hoogtes

Overstort	Niveau (cm)	Stromingssnelheid (m/s)	Debiet (l/s)	Afwijking werkelijk debiet (%)	Signaal(%)	Spectrum(%)
6	10,8	0,073	1,90	0,92	57,01	87,13
5	9,8	0,084	1,97	4,75	58,73	81,88
4	8,7	0,096	2,00	6,64	60,30	82,19
3	7,8	0,110	2,05	8,96	63,22	83,03
2	6,7	0,131	2,11	12,00	67,42	81,88
1	5,7	0,155	2,14	13,67	69,74	79,56
0	4,9	0,183	2,13	13,52	74,44	78,66
0	3,4	0,188	1,52	23,90	73,88	88,12

Wanneer de overstort volledig verwijderd is, bedraagt het niveau nog steeds 4,9cm. Om nog een extra meting te doen bij een lager niveau werd de sensor richting de uitstroom verplaatst, omdat het waterniveau daar sowieso lager staat.

Wat meteen opvalt is dat deze meetwaarde voor het debiet volledig afwijkt van de vorige gemeten debieten. Aangezien deze meting niet onder dezelfde condities werd gemeten als voorgaande waarden (afstand tot de uitstroom), wordt deze niet gebruikt om een besluit te formuleren in verband met het effect van het niveau op het debiet. De resterende waarden worden weergegeven in Grafiek 9.

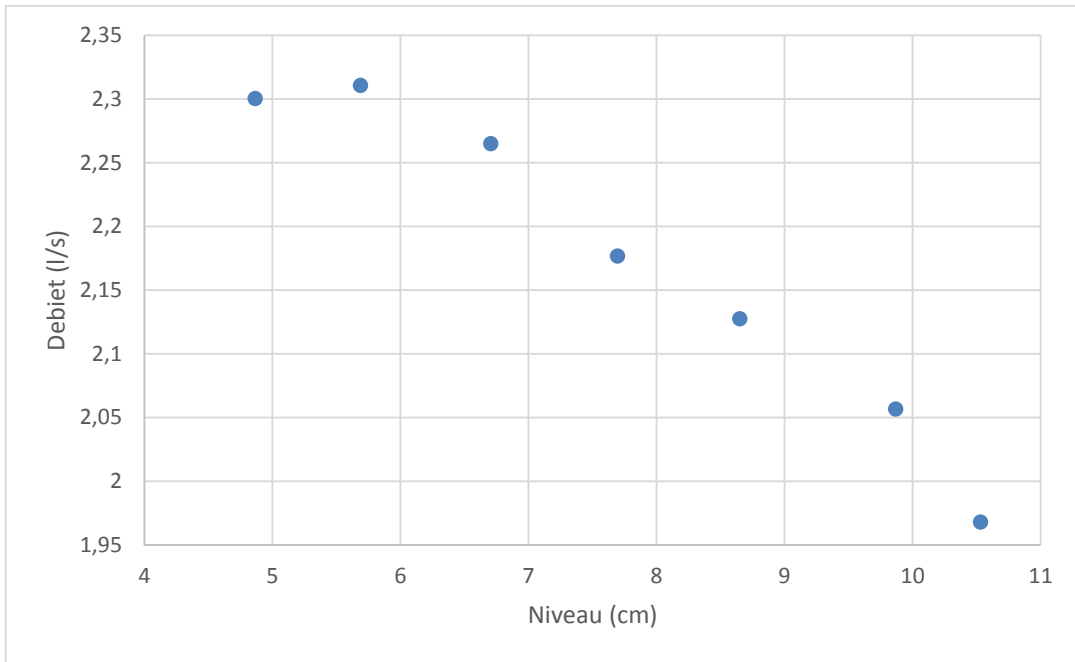


**Grafiek 9: Effect van het debiet bij verschillende niveaus**

Hier is meteen duidelijk dat naarmate het niveau daalt, het debiet toeneemt. De afwijking van de werkelijkheid neemt ook toe met dalend niveau. Aangezien de hoogte steeds correct wordt gemeten door het toestel, wijst dit in eerste instantie op een foutieve snelheid. Dit zorgt er dan uiteindelijk voor dat het debiet in dit experiment niet constant blijft.

In "3.11 Meten met 2 sensoren" wordt nagegaan of er betere resultaten worden bekomen in ondiepe profielen, wanneer er gebruik gemaakt wordt van een 2<sup>de</sup> sensor. Hiervoor werden de sensoren op 1/3<sup>de</sup> en 2/3<sup>de</sup> van de totale breedte van de meetgoot geplaatst. Het gecombineerde debiet wordt weergegeven in Grafiek 10. Hier wordt opnieuw hetzelfde verloop waargenomen. Hiermee wordt dus uitgesloten dat het negatieve effect van een laag waterniveau op de debietsmeting het resultaat is van niet uniforme stroming.





**Grafiek 10: Effect van het debiet bij verschillende niveaus (2 sensoren)**

### 3.8 Meetinterval

In de ISCO 2150-logger kan er gekozen worden voor verschillende meetintervallen waarop de meetwaarden worden gelogd. De 4 kortste intervallen die kunnen worden ingesteld zijn: 15, 30, 60 en 120 seconden. In dit onderdeel van deze masterproef wordt er gefocust op het effect van de meetfrequentie op de uiteindelijke debietsmeting. Hiervoor werd het debiet een uur lang gelogd met de ISCO 2150-logger in de meetgoot (Figuur 33: Simulatiegoot op het proefstation) die eerder in deze masterproef werd voorgesteld.

In Tabel 12 worden de gemiddelde debieten weergegeven, gemeten over een uur op verschillende tijdsintervallen. Ook werd opnieuw het werkelijke debiet bepaald (1,863 l/s) en werd de afwijking bepaald met de gemeten debietwaarden van de ISCO 2150-logger.

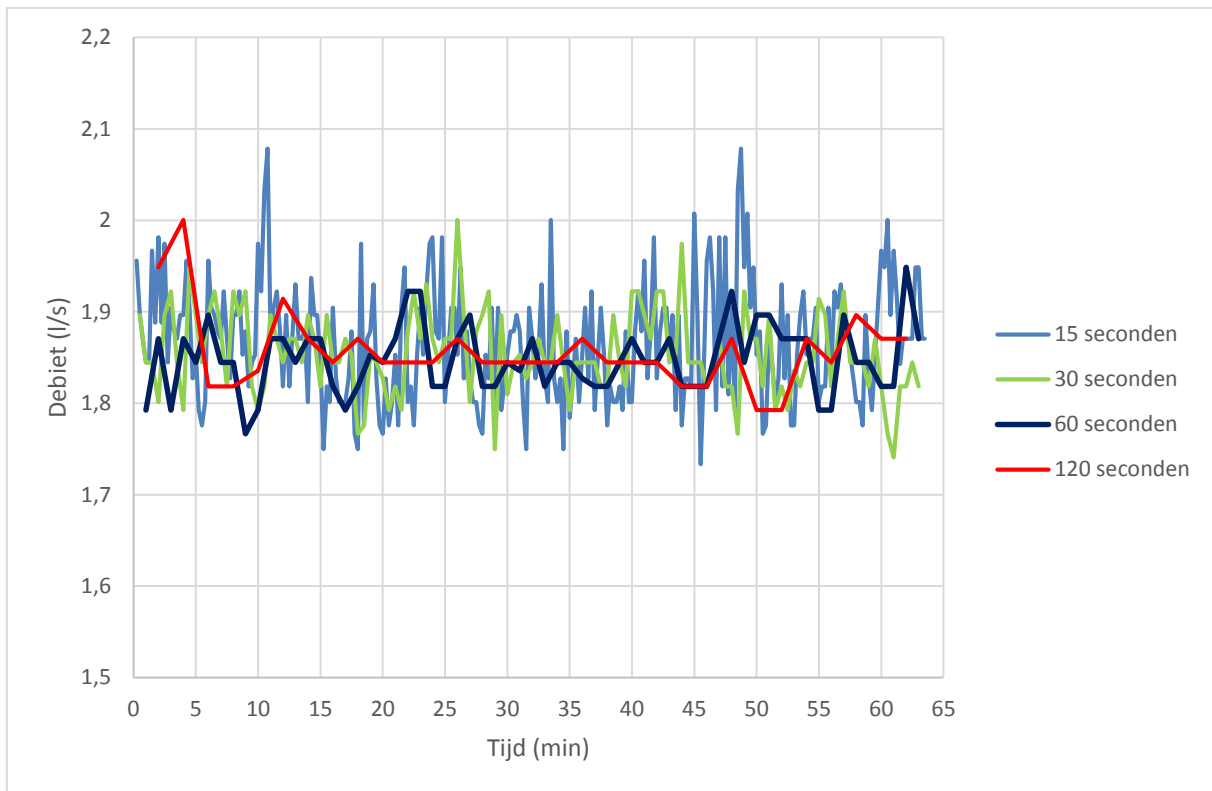
Tabel 12: Meetresultaten op verschillende intervallen

Interval (s)	Debiet (l/s)	Afwijking (%)
15	1,867	0,018
30	1,855	0,48
60	1,848	0,83
120	1,856	0,39

Aan de hand van deze resultaten is te zien dat het interval weinig effect heeft op de correctheid van de meting. Alle meetresultaten wijken minder dan 1% af van de werkelijkheid. Echter werd bij dit experiment een uur lang gemeten en hierover het gemiddeld debiet berekend. Het is dan ook interessanter om de afwijking of stabiliteit van de gemeten debieten in functie van de tijd te bestuderen. Dit wordt nagegaan door de standaarddeviatie te bepalen over de hele set van gegevens. Deze worden weergegeven in onderstaande tabel. In Grafiek 11 kan duidelijk de spreiding van deze meetgegevens bij verschillende meetintervallen vastgesteld worden.

Tabel 13: Standaarddeviatie bij verschillende intervallen

Interval (s)	Standaarddeviatie
15	0,0749
30	0,0430
60	0,0368
120	0,0392

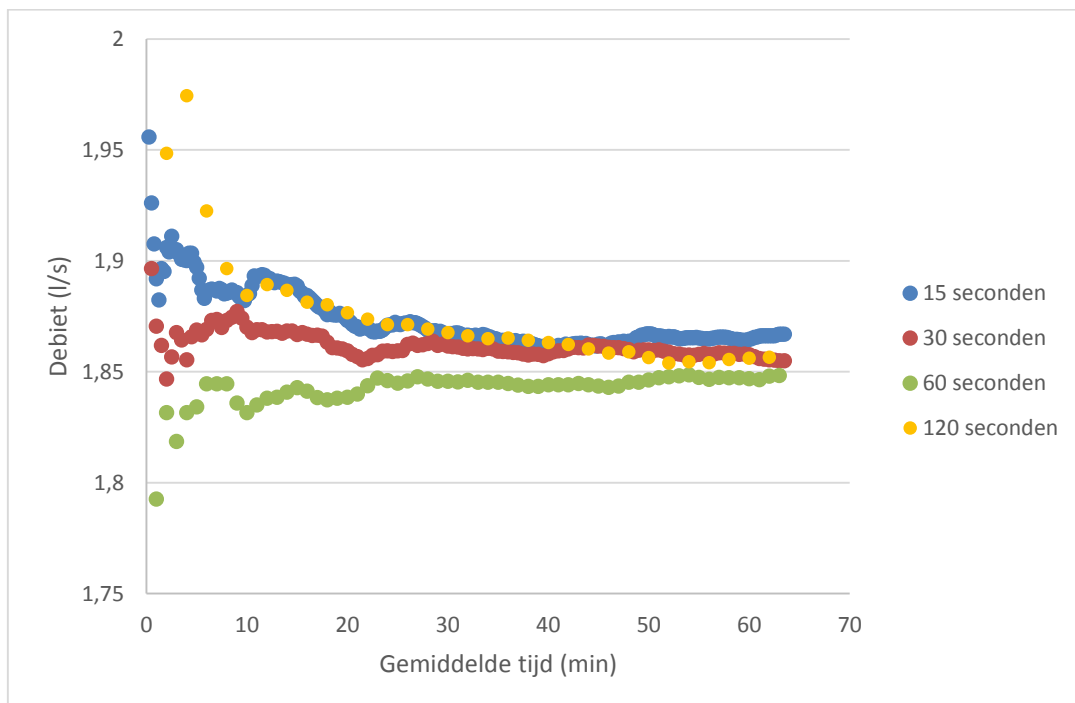


**Grafiek 11: Spreiding debiet bij verschillende intervallen**

Wat meteen opvalt uit bovenstaande grafiek, is dat de spreiding duidelijk afneemt in functie van een groter wordend meetinterval, vanaf 60 seconden lijkt de spreiding niet sterk meer af te nemen. Dit kan belangrijk zijn wanneer er slechts over korte tijd wordt gemeten. Deze informatie kan belangrijk zijn wanneer er voor het uitvoeren van de debietsmeting slechts een beperkte meettijd voorhanden is en toch een accurate debietsmeting vereist is. Omdat het voor het proefstation belangrijk is om op een zo efficiënt mogelijke manier zoveel mogelijk meetlocaties per dag in kaart te brengen, is het binnen deze masterproef belangrijk om op een zo kort mogelijke meettijd toch een accurate debietsmeting uit te voeren. Zo kan de vraag gesteld worden of het interessant is om te kiezen voor een groter meetinterval, waardoor het gemiddelde debiet dus berekend wordt op basis van een beperkter aantal metingen, of net andersom. Deze onderzoeksvraag wordt in de volgende paragrafen nader onderzocht.

### 3.9 Ideale totale meettijd per locatie

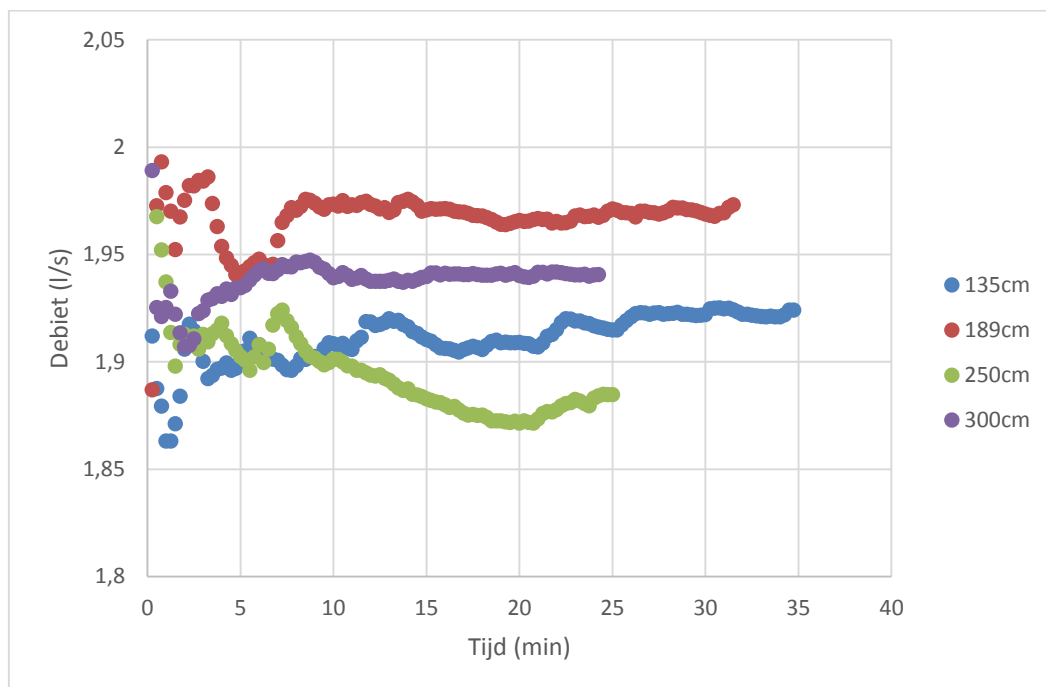
Aangezien de ISCO 2150-logger werkt op basis van meetintervallen die vrij gekozen kunnen worden door de operator van de debietsmeter en omdat in voorgaande experimenten aangetoond werd dat een lagere meetfrequentie (=langere meetintervallen) positief is voor de spreiding op de analyseresultaten, wordt er in een nieuw experiment gezocht naar de optimale totale meettijd om tot een geslaagde debietsmeting te komen. Om na te gaan hoe lang er gemeten moet worden om een betrouwbare debietsmeting te bekomen, wordt van de gemeten data van voorgaand experiment een gemiddelde genomen over een toenemend tijdsinterval (Dit wil zeggen voor het interval van 15 seconden dat er eerst een gemiddelde genomen wordt over slechts 30 seconden/2 datapunten, dan 45 seconden/3 datapunten, enz...). De verschillende gemiddelde debietswaarden worden vervolgens grafisch uitgezet in functie van het tijdsinterval waarover de gemiddelde waarde wordt berekend. Op deze manier wordt duidelijk wat de optimale meettijd is of over hoeveel datapunten een gemiddelde moet berekend worden om een stabiele en betrouwbare debietsmeting te verkrijgen. Dit wordt herhaald voor 4 verschillende log-intervallen zoals beschreven in "3.8 Meetinterval". In Grafiek 12 worden deze resultaten grafisch voorgesteld.



Grafiek 12: Bepalen van de ideale meettijd bij verschillende meet-intervallen

Hier valt meteen op dat de data nogal hard fluctueert in de eerste 5 minuten, hierna stabiliseert het debiet geleidelijk aan. Vanaf 20 minuten verandert het debiet nagenoeg niet meer. Wanneer er gekeken wordt naar de afwijking die bekomen wordt na de eerste 6 à 10 minuten, kan besloten worden dat deze hier reeds klein genoeg is. Daarom is het niet nodig om langer dan 10 minuten te loggen om een betrouwbare debietsmeting te vergaren. Ook kan er besloten worden dat het gekozen log-interval geen noemenswaardig effect heeft op de ideale meetduur. Alle grafieken stabiliseren rond dezelfde meet-termijn.

Ter volledigheid werd deze test nog eens herhaald met de data uit Grafiek 3 (pagina 48). In Grafiek 13 worden deze resultaten op dezelfde manier uitgezet dan voordien. Hier wordt steeds een log-interval gebruikt van 15 seconden.

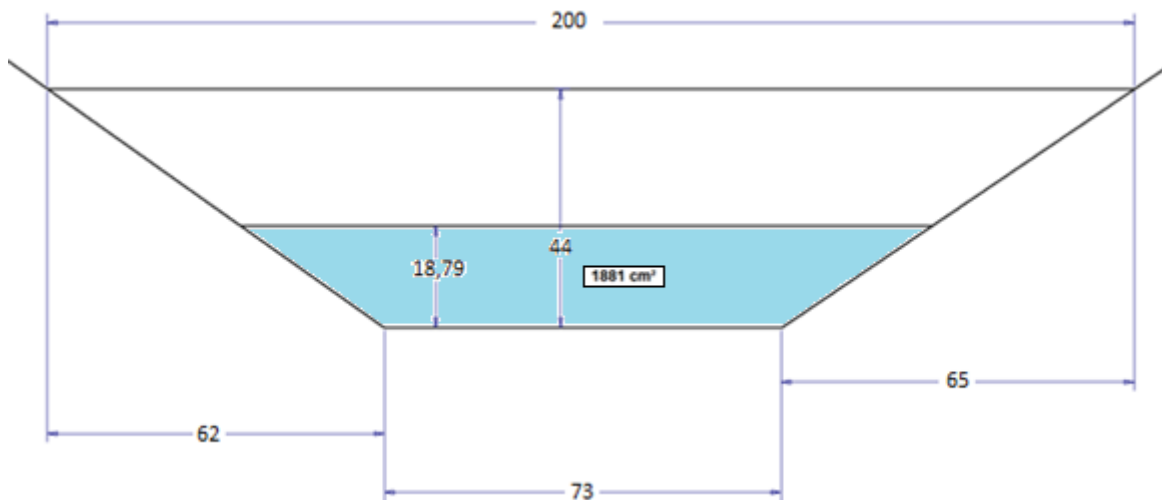


Grafiek 13: Bepaling ideale meettijd

Ook hier kan vastgesteld worden dat het gemiddelde debiet voornamelijk in de eerste vijf minuten onstabiel is om dan daarna eerder te stabiliseren. Tussen 5 à 10 minuten begint de data bij 3 van de 4 proeven te stabiliseren. De test op 250cm vertoont nog een diepe daling tot ongeveer 20 minuten. Maar als er gekeken wordt naar de procentuele afwijking moet besloten worden dat deze zelfs bij deze test zeer klein is. De afwijking tussen de kleinste en grootste gemeten waarde na de eerste 5 minuten bedraagt slechts 5,5%. Ook uit dit experiment kan dus besloten worden dat een totale meettijd van meer dan 5 minuten aan te raden is.

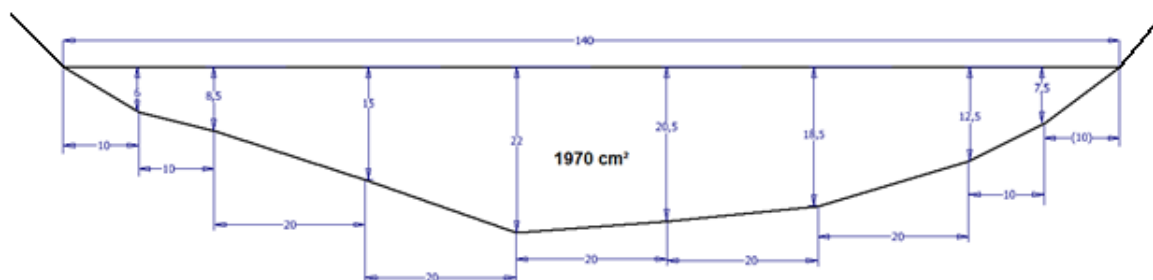
### 3.10 Opstellen profiel in open waterlopen

Zoals aangehaald op pagina 25, is het voor de berekening van een debietswaarde voor een welbepaalde meetlocatie noodzakelijk om een profiel op te stellen van het doorstroomd oppervlak van de beek of gracht. Hiervoor wordt het stromingsprofiel vereenvoudigd weergegeven als een trapezium om verwerking van de resultaten te vereenvoudigen. In volgend experiment werd nagegaan in hoeverre het doorstroomd oppervlak verschilt tussen de vereenvoudigde versie en een gedetailleerder opgemeten profiel op basis van verschillende dieptemetingen. Met de versnelde procedure wordt onderstaand profiel bekomen, de afmetingen worden weergegeven in centimeter.



Figuur 47: Profiel opgemeten met versnelde procedure

Vervolgens werd op dezelfde locatie het profiel opgemeten met een nauwkeurigere procedure zoals te werk werd gegaan met de Valeport sensor op pagina 25. Er werd gekozen om de diepte te meten om de 10cm dichtbij de oever en om de 20cm in de diepere stukken. Deze dimensies werden net zoals in voorgaand profiel ingegeven in AutoCAD software waar automatisch het oppervlak mee werd bepaald. Het profiel ziet er nu als volgt uit:



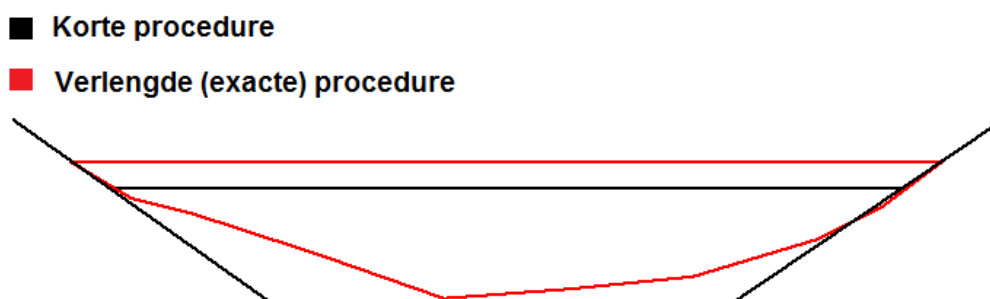
Figuur 48: Voorstelling profiel bij nauwkeurig opmeten

In onderstaande tabel worden de doorstroomde oppervlakken met elkaar vergeleken:

Tabel 14: Vergelijking oppervlak van de profielen

	<b>Doorstroomd oppervlak (cm<sup>2</sup>)</b>
Vereenvoudigd profiel	1881
Nauwkeuriger profiel	1970
Afwijking	<b>4,73 %</b>

Zoals te zien is in bovenstaande tabel is de afwijking relatief klein. Het nauwkeurig opgemeten profiel heeft duidelijk een groter doorstroomd oppervlakte. Dit is duidelijk te zien wanneer beide profielen op elkaar worden gelegd:



Figuur 49: Visuele vergelijking van beide profielen

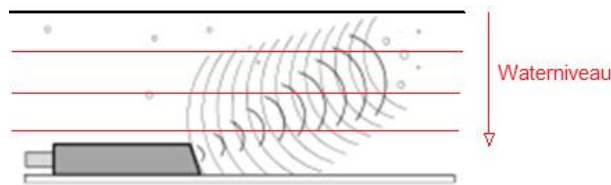
Wat opvalt aan deze figuur, is dat de breedte van de beek/gracht (ter hoogte van het wateroppervlak) bij de korte procedure smaller lijkt te zijn dan bij de exacte procedure, terwijl deze in werkelijkheid even lang zijn (afstand van oever tot oever). Deze afwijking is te wijten aan het feit dat bij de eerste methode het wateroppervlak van de waterstroom niet rechtstreeks wordt gemeten. Deze wordt berekend aan de hand van de oeverlengtes en de hoogte die door de sensor wordt bepaald (zie Figuur 47). Als de hoeken en lengtes van de oevers niet exact kunnen

worden gemeten (wat in de praktijk zeer moeilijk blijkt te zijn), zijn deze afwijkingen onvermijdelijk.

Aangezien het correct opmeten van het profiel zeer belangrijk is voor een correcte debietbepaling, wordt in de praktijk de voorkeur gegeven aan de 2<sup>de</sup> methode. Echter wordt in deze profielberekening het waterniveau niet gemeten, maar de afstand tot de bovenliggende lat zoals de versnelde methode. Dit laat toe om te werk te gaan met de meest nauwkeurigste methode en het waterniveau te laten bepalen door de sensor. Op deze manier kan het opgemeten profiel tijdens de volgende meetcampagne opnieuw gebruikt op dezelfde meetlocatie wanneer het waterniveau mogelijk gewijzigd is. Deze wordt dan opnieuw door de sensor bepaald.

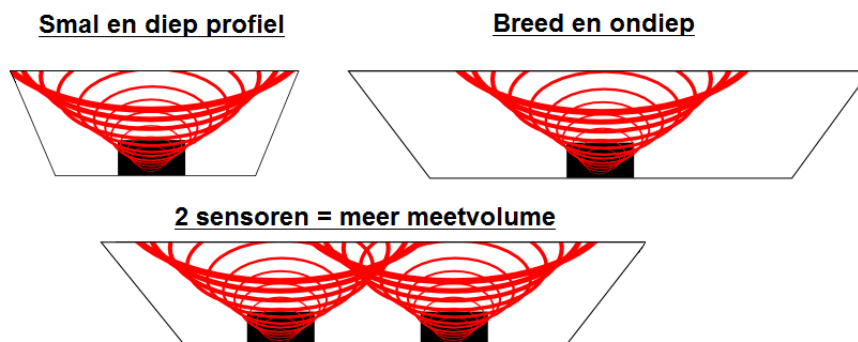
### 3.11 Meten met 2 sensoren

Wanneer er gemeten wordt bij een laag waterniveau en brede oevers, zal het watervolume dat wordt gemeten, afnemen. Dit fenomeen wordt duidelijk aan de hand van onderstaande figuur.



Figuur 50: Afnemende waterhoogte (zijaanzicht)

Op de figuur wordt weergegeven dat het aantal bruikbare geluidsgolven zal verkleinen bij dalend waterniveau. Hierdoor zal het watervolume waarin gemeten wordt op een bepaald punt slechts een kleine fractie zijn van het volledige doorstroomd profiel. Dit kan problematisch zijn in het geval van brede en ondiepe profielen, zoals geschetst wordt in Figuur 51.



Figuur 51: Gemeten volume bij verschillende profielen (vooraanzicht)



Op deze figuur wordt snel duidelijk dat bij profielen die smal en diep zijn, er meer volume zal worden gemeten van het totale doorstroomd oppervlak dan bij brede, ondiepe profielen. Daarom is het interessant om in deze laatste situaties te meten met 2 sensoren om zo het meetvolume te verhogen.

Om dit na te gaan, werden er 4 meetpunten opgemeten in dezelfde beek die verspreid liggen over een afstand van 500 meter (zie "bijlage 3.2 Locatie 2: Bemortelloop proefstation"). Op deze verschillende locaties werd eerst gemeten met slechts één sensor die centraal in de stroming werd geplaatst. Vervolgens werd op dezelfde plaats de meting herhaald met twee sensoren. Deze worden ongeveer op 1/3<sup>de</sup> en 2/3<sup>de</sup> van de totale breedte van de waterloop geplaatst. In het geval dat er gemeten wordt met twee sensoren zal de linkerhelft en rechterhelft worden berekend met de gegevens van de betreffende sensor. De resultaten van deze metingen worden weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Proef 1 debietberekening 1 en 2 sensoren

Meting	Debiet (l/s)		Centraal niveau (cm)	Stroombreedte (cm)
	1 Sensor	2 Sensoren		
1	4,13	3,97	7,0	120,5
2	3,83	4,00	8,3	95,0
3	6,90	4,65	10,8	81,0
4	6,48	4,29	5,7	44,0

Wat meteen opvalt aan deze gegevens, is dat de berekende debieten met 1 sensor veel meer spreiding vertonen tussen de verschillende meetlocaties dan wanneer de debietsberekening wordt doorgevoerd met de meetgegevens van de 2 sensoren. Daarom lijkt het uit deze resultaten aangewezen om bij ondiepe stromingen gebruik te maken van een 2<sup>de</sup> sensor.

Om bovenstaande conclusie kracht bij te zetten, werd voor 3 verschillende meetlocaties opnieuw het verschil getest tussen 1 en 2 sensoren. Deze locaties zijn allemaal open stromingen, de resultaten en afmetingen zijn terug te vinden in Tabel 16. Opnieuw worden hier verschillende debieten waargenomen wanneer er met 1 of 2 sensoren wordt gewerkt. Echter kunnen deze resultaten niet individueel

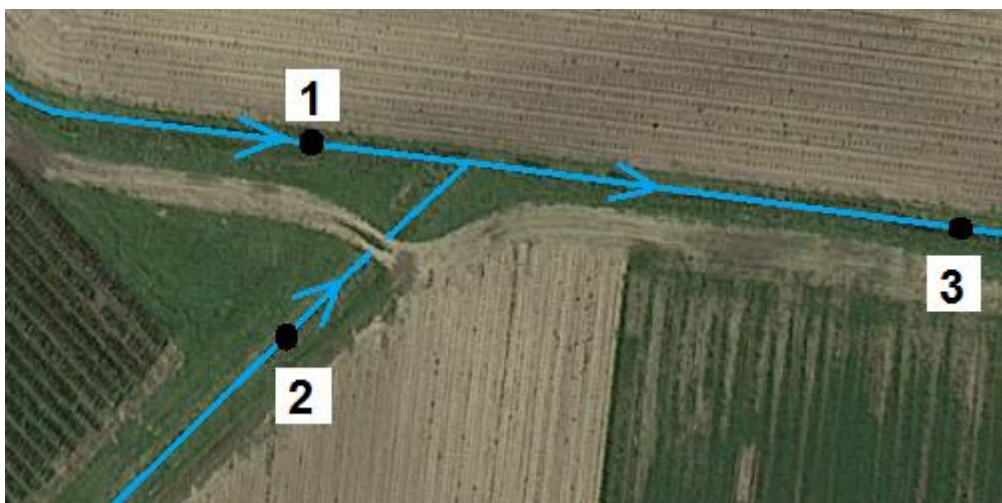
met elkaar vergeleken worden aangezien deze niet in dezelfde beek/gracht zijn gemeten. Uiteindelijk kan er besloten worden dat het alvast geen eenvoudige beslissing is in welke gevallen er nu juist moet gewerkt worden met 2 sensoren. Het lijkt vooral aangewezen wanneer de stroom ondiep is of de bodem een sterk variërend reliëf vertoont tussen linker en rechterhelft.

Tabel 16: Proef 2 debietberekening 1 en 2 sensoren

<b>Meting</b>	<b>Debiet (l/s)</b>		<b>Centraal niveau (cm)</b>	<b>Stroombreedte (cm)</b>
	<b>1 Sensor</b>	<b>2 Sensoren</b>		
1	1,51	1,21	6,1	70,0
2	3,70	3,40	9,4	88,0
3	1,67	1,59	11,5	75,0

## 4 Bepalen van de nitraatvracht op basis van een debietsmeting

Hoewel de aandacht in deze masterproef vooral gefocust was op een accurate debietsmeting in kleine grachten en beken, is de uiteindelijke doelstelling van deze masterproef het bepalen van de nitraatvrachten in sterk vertakte netwerken van kleine waterlopen. Een gepaste debietsmeting is in dit verhaal natuurlijk een voorwaarde om tot een juiste nitraatvracht te komen. Bij wijze van voorbeeld werd dan ook getracht om voor een specifieke meetlocatie (een T-splitsing), de nitraatvracht te bepalen met behulp van de ISCO 2150. Op onderstaande figuur wordt de Zoeteweibeek in Lier weergegeven.



Figuur 52: Zoeteweibeek in Lier

Op de verschillende aangeduide meetlocaties van deze T-splitsing werd zowel de nitraatconcentratie als het debiet gemeten. Deze resultaten worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 17: Resultaten T-splitsing Zoeteweibeek

Locatie	niveau (cm)	debiet (l/s)	NO <sub>3</sub> - conc. (mgNO <sub>3</sub> /l)	Vracht (mgNO <sub>3</sub> /s)
1	4,0	0,70	15	10,56
2	11,5	1,59	49	78,11
3	4,9	2,34	32	74,75

Wanneer er gekeken wordt naar de gemeten nitraatconcentraties, valt op dat de hoogste concentratie op locatie 2 wordt gemeten. De stroom die hiermee samen komt (locatie 1), vertoont een lagere concentratie wat leidt tot de gecombineerde concentratie op locatie 3. Echter wordt er verwacht dat de som in nitraatvracht

van locatie 1 en 2 zou leiden tot de nitraatvrucht op locatie 3. Dit is niet het geval. Daarom lijkt het aangewezen om deze test te herhalen op verschillende locaties om na te gaan waar de oorzaak van deze afwijking kan liggen. In "Hoofdstuk VI: Aanbevelingen", worden enkele suggesties aangehaald voor toekomstige experimenten.

## **Hoofdstuk V: Conclusies**

### **1 Keuze van de toestellen**

Op basis van verschillende parameters zoals toepasbaarheid in het veld, betrouwbaarheid van de metingen (belangrijkste criteria), kostprijs en onderhoud, werd er gekozen voor de Valeport 801 en de SonTek FlowTracker. Het installeren van meetgoten is naar onderhoud en kostprijs niet toe te passen om deze meetlocaties allemaal te dekken. Later werd een nieuw toestel overwogen, namelijk de ISCO 2150. Dit toestel bleek eenvoudiger te zijn in gebruik en kon hierdoor de benodigde tijd om een meting uit te voeren sterk inkorten.

### **2 Vergelijking Valeport 801 en FlowTracker**

De Flowtracker is een handig, gebruiksvriendelijk toestel dat al de berekeningen zelf uitvoert. Deze zijn na afloop van de meetdag gewoon uit te lezen op de computer zonder extra rekenwerk. Echter kan de nauwkeurigheid in twijfel getrokken worden op locaties waar de begroeiing en slibafzetting hoog zijn. De software tracht foutieve metingen of uitschieters te filteren maar in vele gevallen is de verstoring door begroeiing en slibafzetting te groot. Selectie van de meetpunten is hier zeer belangrijk, echter is er op bijna alle locaties sprake van begroeiing en slibafzetting.

De Valeport sensor ondervindt veel minder nadelige effecten van de begroeiing en slibafzetting omwille van de meetmethode (Elektromagnetisch principe). Het grootste nadeel van deze methode is de duur van de meting (in vergelijking met de standaardmethode van de Flowtracker). Deze methode vereist meerdere meetdieptes over de gehele lengte, afhankelijk van de diepte op die plaats. Maar belangrijker, beschikt dit toestel niet over de uitgebreide software in vergelijking met de Flowtracker waardoor data verzamelen iets moeizamer verloopt. Door de hoeveelheid van meetpunten kan het loggen van meetpunten onoverzichtelijk worden wanneer ze later uitgelezen worden op de computer. Daarom is het aan te raden om elk resultaat meteen op te schrijven op een overzichtelijk invulformulier. Dit brengt wel met zich mee dat er in het ideale geval 2 personen nodig zijn om deze meetmethode efficiënt uit te voeren. Na afloop dienen de gegevens nog

manueel verwerkt te worden. Dit kan echter snel verwerkt worden wanneer hiervoor een standaard invul-Excel-sheet wordt gebruikt.

Wanneer er gesproken wordt over de tijdsduur van de metingen moet opgemerkt worden dat de Flowtracker met de standaardmethode slechts met 1 hoogtemeting werkt (0,6 keer de totale diepte). Wanneer er echter voor gekozen wordt om in manuele modus te meten met de Flowtracker, kan dit ook uitgebreid worden naar meerdere dieptes zoals bij de Valeport-sensor. Achteraf wordt het profiel van de meting weergegeven en is het wel mogelijk om gegevens te gaan loggen (maar er wordt geen debiet berekend). Het is dus niet nodig om met 2 personen te werken dankzij de uitgebreide manier van loggen. De belangrijkste "tijd"-factor is de manier waarop data wordt verzameld, namelijk het afzonderlijk opmeten van verschillende secties in de waterloop. Bij de Valeport sensor dient de data steeds genoteerd te worden, waarvoor steeds een 2<sup>de</sup> persoon nodig is. Bij de FlowTracker wordt de data opgeslagen in het geheugen van het toestel en kan het achteraf worden uitgelezen, dit kan bijgevolg door één persoon worden uitgevoerd.

De effectieve tijdsduur van een meting is afhankelijk van de breedte en diepte van de sectie. Hoe breder het kanaal, hoe meer meetpunten er in de breedte opgenomen dienen te worden. Als de breedte toeneemt, kan er wel overwogen worden om de sectiebreedte te vergroten. Hoe dieper een meetpunt is, hoe meer dieptes er opgemeten dienen te worden, dit werd duidelijk weergegeven in Tabel 1 op pagina 25. Een meting effectief uitvoeren duurt 30 seconden. Wanneer hier de tijd in rekening gebracht wordt van het verstellen van de sensor en de initialisatietijd tussen de metingen van de Valeport-sensor dient men ongeveer een minuut te tellen per meetpunt. Het opstellen aan het meetpunt duurt slechts enkele minuten (lat leggen over de stroming en sensor vastmaken op het statief). Bij de Flowtracker dient men tussen elk meetpunt de diepte en locatie in te tikken, alsook de sensor op de juiste diepte brengen. Dit toestel heeft geen initialisatietijd tussen elk meetpunt. Wanneer er gekeken wordt naar de tijdsduur van meetpunten uitgevoerd met de Flowtracker, neemt een meting ook ongeveer een minuut in beslag (met een meet-tijd van 15 seconden). Hier moet wel rekening gehouden worden met het feit dat er achteraf geen verdere berekening meer nodig is van het debiet. Meetlocatie 1 (pagina 36) neemt volgens deze tijdsbesteding

ongeveer 35 minuten in beslag, een kleine stroming zoals locatie 6 (pagina 38) neemt ongeveer 7 minuten in beslag.

Wanneer de gegevens van de Flowtracker en Valeport met elkaar worden vergeleken is er steeds enige afwijking waarneembaar. Door de hoeveelheid punten die gemeten worden met de Valeport en omdat deze zijn uitgevoerd door iemand met jarenlange ervaring, kan er vanuit gegaan worden dat deze meetwaarden de werkelijkheid het best benaderen. Alsook kunnen de resultaten van de Flowtracker in twijfel getrokken worden door de verstoring van de meting door begroeiing en slibafzetting.

Tot slot werd de meest eenvoudige methode voor debietmeting éénmalig getest. Door de stromingssnelheid op het oppervlak te meten aan de hand van de drijfsnelheid van een blad te bekijken kan ook een debiet worden berekend (gemiddelde van 3 herhalingen). Deze methode benaderde de meting van de Flowtracker. Deze waarde is weer hoger dan de meting van de Valeport. Opnieuw doordat er maar rekening gehouden wordt met een beperkt aantal punten (in dit geval slechts 1). Dit meetpunt wordt veralgemeend voor het volledig doorstroomoppervlak. Deze methode is echter enkel uit te voeren wanneer het oppervlak van het water volledig vrij is van begroeiing. Dit is bijna nooit het geval.

### **3 ISCO 2150**

Het meten van debieten aan de hand van de hierboven beschreven toestellen bleek zeer tijdrovend te zijn. Daarom werd er gekeken naar de ISCO 2150 die met minder handelingen een debiet kan bepalen. Het toestel wordt centraal in de stroming geplaatst en meet de snelheid en het waterniveau. Dit laat toe om aan de hand van gekende profielen eenvoudig een debiet te bepalen.

Ten eerste werd een kalibratie van het toestel uitgevoerd aan de UGent. Echter werd hier enkel gekeken naar debieten boven 4 l/s en wordt er in de praktijk vaak gemeten bij veel kleinere debieten. Daarom werd er op het proefstation een kleine goot geïnstalleerd om de kalibratie na te kijken bij kleinere debieten (rond de 1,8 l/s). Hier werd duidelijk dat de interne kalibratie van het toestel voldoende nauwkeurig is om correct metingen uit te voeren bij deze lage debieten. Aan de UGent werd ook het effect nagegaan van obstructies in de stroming (rooster) om begroeiing te simuleren. Hier bleek het toestel zeer weinig effect van te

ondervinden. Anderzijds werd er ook gekeken naar de invloed van turbulentie aan de hand van een klein hoogteverval in de stroming. Hier bleek het toestel op relatief grote afstand nog steeds hinder van te ondervinden. Daarom is het belangrijk om in de praktijk te zorgen voor een meetlocatie waar de stroming lineair is en niet kort na grote objecten die voor mogelijke turbulentie zorgen.

Wanneer het toestel in de praktijk werd gebruikt werden er enkele problemen geconstateerd. Het eerste probleem was de originele bevestigingsplaat die bij het toestel wordt geleverd. Deze bleek niet optimaal voor metingen in gesloten buizen omdat de bevestigingsplaat te groot bleek. Hierdoor bevond de sensor zich op enkele centimeters boven de onderkant van de buis. Daarom werd voor deze toepassing een eigen bevestiging ontwikkeld om gemakkelijk metingen uit te voeren daar waar de originele bodemplaat dit niet toelaat.

Vervolgens werden er vaak lage signaalsterktes waargenomen, deze zorgen ervoor dat de toestel geen of foutieve metingen uitvoert. Op locaties waar slechts weinig zwevende deeltjes of luchtballen aanwezig zijn in het water, wordt het signaal versterkt door manueel slib op te woelen. Hierdoor worden er deeltjes in het water gebracht en kan de sensor de stromingssnelheid bepalen.

Aangezien dit toestel bedoeld is om voor langere tijd te loggen op een bepaalde locatie was het aan te raden om te gaan kijken naar de ideale totale meettijd. Na enkele metingen in de meetgoot, bleek een minimale meetduur van 10 minuten vereist. Verder kan er gekozen worden voor verschillende meetintervallen. De 4 kortste intervallen (15, 30, 60 en 120 seconden) werden ook op dezelfde wijze getest. Hieruit kon geconcludeerd worden dat alle intervallen geschikt zijn. Aangezien men zoveel mogelijk datapunten wilt loggen, lijkt een interval van 15 seconden optimaal te zijn wanneer er slecht kortstondig (10 minuten) wordt gemeten.

Tot slot werd er nog gekeken naar het meten van brede, ondiepe stromingen. Aangezien de sensor onder een bepaalde hoek meet, zal het meetvolume afnemen naarmate het waterniveau daalt. Als de stroming daarbij ook nog eens breed is, kan dit leiden tot een onrepresentatieve debietsmeting. Daarom werd er gekeken naar het gebruik van 2 sensoren. In deze situatie worden de sensoren geplaatst op  $1/3^{\text{de}}$  en  $2/3^{\text{de}}$  van de totale breedte van de stroming in de plaats van slechts 1



in het midden. Na enkele experimenten bleek dit de metingen positief te beïnvloeden.

#### **4 Algemene conclusie**

Het uitvoeren van debietsmetingen op kleine waterlopen blijkt niet evident te zijn. Zelfs met de meest geschikte methode (ISCO 2150) vragen de debietsmetingen tijd en dienen ze met alle zorg worden uitgevoerd. Het uitkiezen van de locaties is van groot belang. Op deze locaties moet de stroming voldoende vrij zijn van hevige begroeiing en moeten dus onderhouden worden. Verder mag de stroming niet verstoord worden door turbulentie en moet een voldoende hoge signaalsterkte bereikt worden. Wanneer deze locaties worden onderhouden zodat er aan deze eisen wordt voldaan, kan de ISCO 2150 toegepast worden om nitraatvrachten in kaart te brengen. Deze sensor heeft bewezen om op relatief korte tijd, correcte metingen voort te brengen.

## Hoofdstuk VI: Aanbevelingen

Na het afronden van deze masterproef blijven er nog enkele zaken over waarop kan worden verder gewerkt. In dit hoofdstuk worden deze kort beschreven.

In "3.7 Effect van het niveau op het debiet" (pagina 65) werd een verband gevonden tussen het niveau en het debiet. Deze kwestie werd op moment van indienen van de masterproef nog verder onderzocht.

Na het uitvoerig testen van de ISCO 2150, werd er voor het eerst op een T-splitsing de nitraatvracht uitgevoerd. De bekomen debieten lagen met een beperkte foutenmarge binnen de verwachtingen. Ook de gemeten nitraatconcentraties leken zeer logisch. Echter wanneer er werd omgerekend naar nitraatvracht, lag de gecombineerde nitraatvracht lager dan verwacht. Om na te gaan wat hier de oorzaak van kan zijn, lijkt het aangewezen om vergelijkbare situaties op te meten. Zo kan er een beter beeld gevormd worden van dit soort situaties. Het kan ook interessant zijn om in deze stroming de nitraatconcentratie in functie van de tijd op te volgen. Aangezien deze 3 debieten niet gelijktijdig werden gemeten kan een wijziging in nitraatgehalte dit gedrag verklaren.

Om een debiet te bepalen aan de hand van de snelheids- en hoogtemeting, is het nodig om een profiel op te meten. Deze profielen worden vervolgens gemarkeerd zodat de volgende keer op dezelfde locatie kan worden gemeten. Zo kan er voor gezorgd worden dat het profiel niet elke keer opnieuw moet worden gemeten. Afhankelijk van hoe vast de bodem is, is het aangewezen om in het begin een gemeten profiel op te volgen. Zo kan men snel opmerken hoe sterk het doorstroomd profiel veranderd in loop van de tijd. Wanneer er gemeten wordt in vaste profielen (zoals beton), is dit natuurlijk niet van toepassing.

## Hoofdstuk VII: Glossarium

CVBB:	Coördinatiecentrum Voorlichting en Begeleiding duurzame Bemesting
GEP:	Good Experimental Practise
MAP:	Mestactieplan
SNR:	Signal to Noise Ratio
VMA:	Vlaamse Milieumaatschappij
WKG:	Waterkwaliteitsgroepen

# Hoofdstuk VIII: Bijlagen

## 1 Summary report FlowTracker

### Discharge Measurement Summary

Date Generated: Sat Dec 14 2013

File Information		Site Details	
File Name	001.001.WAD	Site Name	
Start Date and Time	2013/12/03 10:36:19	Operator(s)	KENNY

System Information		Units (Metric Units)	
Sensor Type	FlowTracker	Distance	m
Serial #	P937	Velocity	m/s
CPU Firmware Version	3.7	Area	m <sup>2</sup>
Software Ver	2.30	Discharge	m <sup>3</sup> /s
Mounting Correction	0.0%		

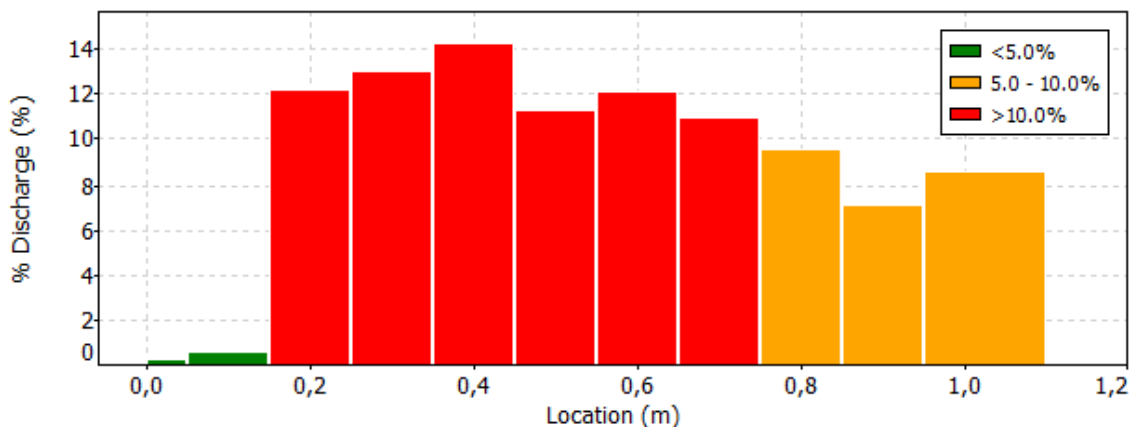
Discharge Uncertainty			
Category	ISO	Stats	
Accuracy	1.0%	1.0%	
Depth	0.5%	1.8%	
Velocity	1.0%	6.0%	
Width	0.2%	0.2%	
Method	2.5%	-	
# Stations	4.2%	-	
<b>Overall</b>	<b>5.1%</b>	<b>6.3%</b>	

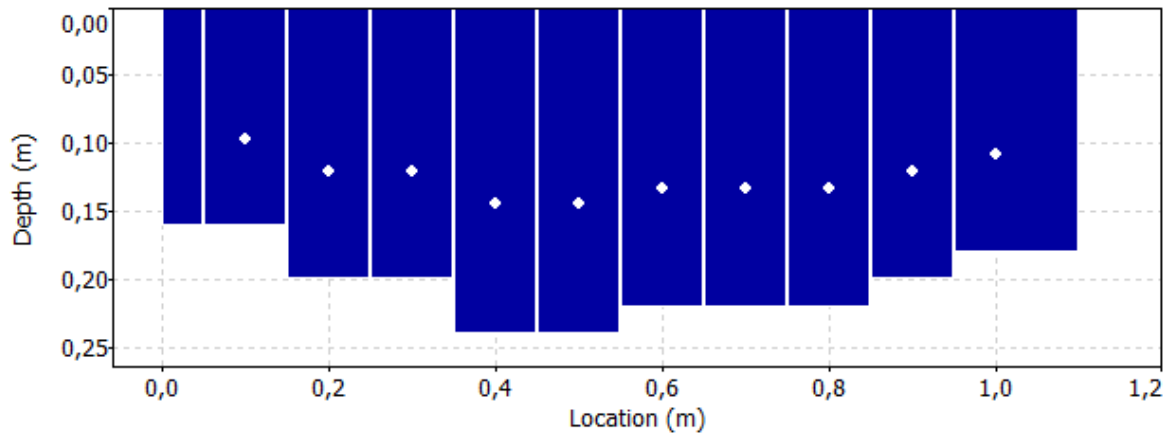
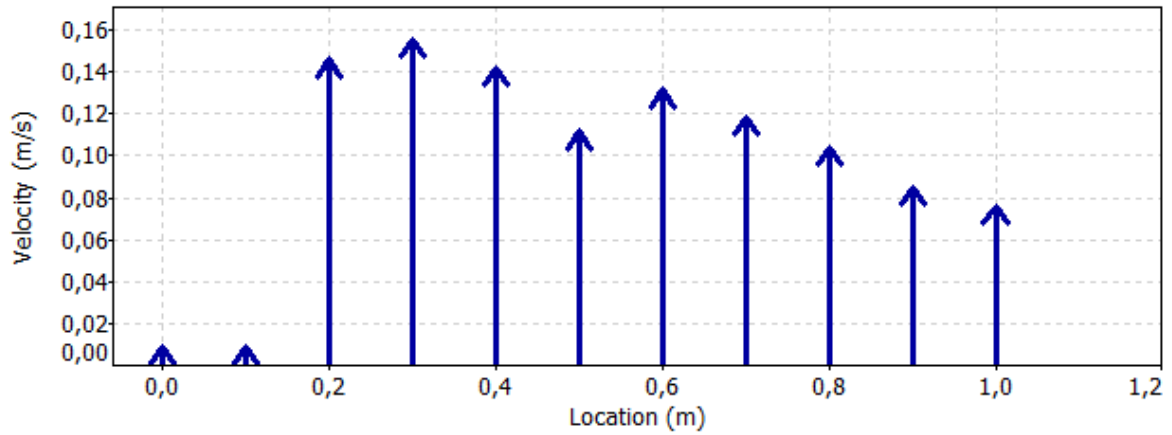
  

Summary			
Averaging Int.	15	# Stations	12
Start Edge	LEW	Total Width	1.200
Mean SNR	14.9 dB	Total Area	0.225
Mean Temp	4.56 °C	Mean Depth	0.188
Disch. Equation	Mid-Section	Mean Velocity	0.1063
		<b>Total Discharge</b>	<b>0.0239</b>

Measurement Results												
St	Clock	Loc	Method	Depth	%Dep	MeasD	Vel	CorrFact	MeanV	Area	Flow	%Q
0	10:36	0.00	None	0.160	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0097	0.008	0.0001	0.3
<i>1</i>	<i>10:36</i>	<i>0.10</i>	<i>0.6</i>	<i>0.160</i>	<i>0.6</i>	<i>0.064</i>	<i>0.0097</i>	<i>1.00</i>	<i>0.0097</i>	<i>0.016</i>	<i>0.0002</i>	<i>0.6</i>
2	10:38	0.20	0.6	0.200	0.6	0.080	0.1459	1.00	0.1459	0.020	0.0029	12.2
3	10:39	0.30	0.6	0.200	0.6	0.080	0.1555	1.00	0.1555	0.020	0.0031	13.0
4	10:40	0.40	0.6	0.240	0.6	0.096	0.1421	1.00	0.1421	0.024	0.0034	14.3
5	10:41	0.50	0.6	0.240	0.6	0.096	0.1120	1.00	0.1120	0.024	0.0027	11.2
6	10:42	0.60	0.6	0.220	0.6	0.088	0.1315	1.00	0.1315	0.022	0.0029	12.1
7	10:43	0.70	0.6	0.220	0.6	0.088	0.1185	1.00	0.1185	0.022	0.0026	10.9
8	10:44	0.80	0.6	0.220	0.6	0.088	0.1041	1.00	0.1041	0.022	0.0023	9.6
9	10:44	0.90	0.6	0.200	0.6	0.080	0.0852	1.00	0.0852	0.020	0.0017	7.1
10	10:45	1.00	0.6	0.180	0.6	0.072	0.0763	1.00	0.0763	0.027	0.0021	8.6
11	10:45	1.20	None	0.000	0.0	0.0	0.0000	1.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0

Rows in italics indicate a QC warning. See the Quality Control page of this report for more information.

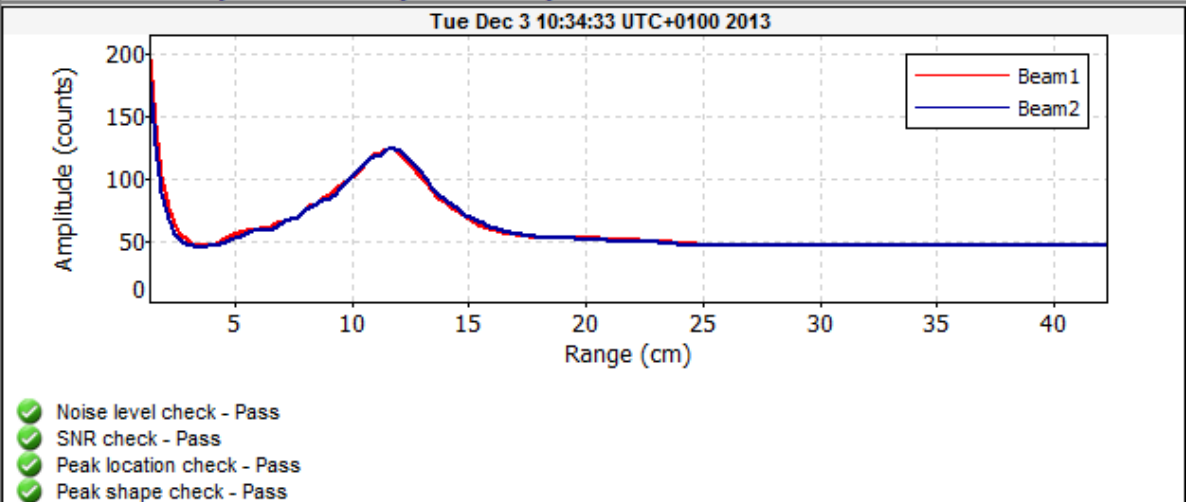




### Quality Control

St	Loc	%Dep	Message
1	0.10	0.6	SNR (55.6) is different from typical SNR (14.9)
		0.6	High SNR variation during measurement: 12.0,10.8

### Automatic Quality Control Test (BeamCheck)



## 2 Verzameling gegevens kalibratie UGent

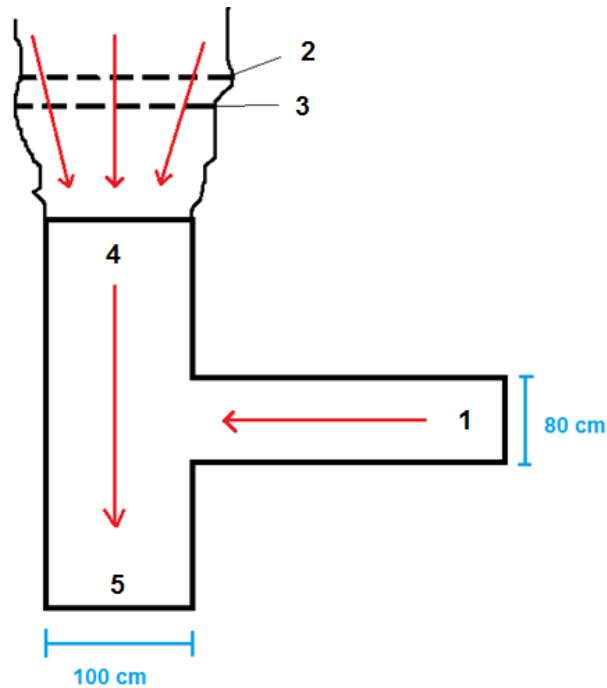
Tabel 18: Verzameling meetgegevens

Ingesteld debiet (l/s)	Gemeten debiet (l/s)	Gekalibreerd debiet (l/s)	Afwijking voor kalibratie (%)	Afwijking na kalibratie (%)
20,00	19,87	20,31	0,66	1,54
20,00	24,22	24,68		
20,00	20,37	21,47	1,85	7,34
20,00	18,74	20,28		
20,00	18,71	20,53	6,45	2,64
20,00	18,93	20,79		
5,00	5,36	5,43	7,25	8,53
2,92	3,62	3,46		
2,92	2,77	2,50	5,19	14,34
10,00	9,30	9,86		
10,00	9,28	9,67	7,22	3,34
10,00	9,93	10,19		
10,00	9,87	9,78	1,29	2,21
10,00	11,41	11,44		
10,00	11,79	11,77	17,87	17,65
10,00	11,46	11,16		
10,00	10,66	10,00	6,64	0,00
10,00	11,21	10,52		
10,00	11,77	11,06	17,67	10,56
10,00	5,92	9,42	3,61	5,79
30,00	15,51	30,15		
23,20	20,50	23,20	11,63	0,00
18,70	16,34	18,46		
14,50	12,76	14,37	12,03	0,86
10,50	9,14	10,27		
8,30	7,16	8,02	13,70	3,37
6,10	5,52	6,17		
4,30	3,67	4,07	14,72	5,30
<b>Som procentuele fout:</b>			<b>127,76</b>	<b>83,48</b>

### 3 Locatieschetsen

#### 3.1 Locatie 1: T-splitsing Bemortelloop proefstation

Deze locatie bevindt zich vlak naast het proefstation en bestaat uit 5 meetpunten. Deze 5 meetpunten bestaan uit gesloten buizen van 80cm (meetpunt 1) en 100cm (meetpunt 4 en 5). Meetpunt 2 en 3 werd gemeten in de open stroom voor de buis. Deze locatie wordt geschetst in bovenaanzicht op onderstaande figuur:



Figuur 53: Schets bovenaanzicht T-splitsing proefstation

Op Figuur 54 wordt een foto weergegeven waar de ingang van de buis wordt weergegeven (meetpunt 4). Een kleine meter voor de buis bevindt zich meetpunt 3.



Figuur 54: Foto meetpunt 2, 3 en 4

### 3.2 Locatie 2: Bemortelloop proefstation

Deze 4 locaties werden gemeten in de Bemortelloop die naast het proefstation in Sint-Katelijne-Waver loopt. Op onderstaande kaart wordt hun locatie ongeveer weergegeven:



Figuur 55: Verschillende meetpunten Bemortelloop langs het proefstation

Deze meetpunten werden allemaal in open stromingen gemeten. Meetpunt 4 komt overeen met meetpunt 3 in bijlage 3.1.



## Hoofdstuk IX: Literatuurlijst

1. ProefstationVzw. *Missie en doelstellingen*. 2005; Available from: <http://www.proefstation.be/nederlands/situation.html>.
2. ProefstationVzw, *Persoonlijke gids doorheen het Proefstation voor de groenteteelt*. p. 40.
3. SALV, *Ontwerp actieprogramma nitraatrichtlijn 2011-2014 (ontwerp MAP4)*. 2011.
4. Devroede, M.-P., et al., *De Europese kaderrichtlijn: Een leidraad*, VIWC, Editor. 2000, Fernand Desmyter.
5. CVBB. *Werking CVBB*. 2014; Available from: <http://www.proefstation.be/voor-telers/cvbb/werking-cvbb>.
6. VMM. *kaart: MAP-meetnet getoetst aan de drempelwaarde van 50 mg nitraat per liter in het winterjaar 2012-2013*. 2013; Available from: [http://www.vmm.be/water/kwaliteit-oppervlaktewater/toestand-oppervlaktewater/fysisch-chemische-toestand/kaart\\_1winterjaar.jpg/view](http://www.vmm.be/water/kwaliteit-oppervlaktewater/toestand-oppervlaktewater/fysisch-chemische-toestand/kaart_1winterjaar.jpg/view).
7. Dieleman, P., *Dossier CVBB werkt aan waterkwaliteit*. Management&Techniek, 2013. **17**(oktober): p. 13.
8. Neefs, V., *MAP-meetpunten: lichte vooruitgang al lijkt het soms processie van Echternach*. Proeftuinnieuws, 2013. **20**(november): p. 11.
9. Lenntech. *Mestbeleid, milieu en gezondheid*. Water treatment solutions; Available from: <http://www.lenntech.nl/artikel-mestbeleid-milieu-gezondheid.htm>.
10. R., D.B. and V.L. N., *Literatuuronderzoek nitraten en nitrieten*. milieu en gezondheid, 2003: p. 35.
11. Europese Commissie, *De Europese nitraatrichtlijn*. 2010: p. 4.
12. ProefstationVzw, *Onderzoek bemesting*. p. 1.
13. Hartong, H. and P. Termes, *Handboek debietmeten in open waterlopen*. 2009, Utrecht: stowa. 265.
14. ALKAN, R.M., et al., *Sound velocity determination with empirical formulas & bar check* 2006: p. 14.
15. SonTek, *FlowTracker Handheld Technical Manual*. 2007, San Diego.
16. ProcessAutomatic. *How does the magnetic flow meter work?* ; Available from: [http://www.processautomatic.com/functionality\\_principle\\_of\\_the\\_magnetic\\_flow\\_meter/](http://www.processautomatic.com/functionality_principle_of_the_magnetic_flow_meter/).
17. ColdFusionDevelopment. *Magnetic flowmeters*. Available from: <http://www.flowmeters.com/ufm/index.cfm?task=magnetic>.
18. Valeport, *Valeport limited model 801 EM flow meter operation manual*. 1999: p. 26.

19. Rijkswaterstaat. *Meetstuw in de Lollebeek bij de uitmonding daaraan in de grote Molenbeek.* Available from: <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/349312>.
20. ENVCO. *Water discharge measurements - RBC Flumes.* Available from: <http://www.envco.ro/water/hydrological-research/water-discharge-measurements-rbc-flumes/26/97>.
21. ADJ. *Canal parshall.* 27/05/2014]; Available from: <http://www.adj.es/canal.html#>.
22. Nivelco, *EchoTREK installation and programming manual 11th edition.* 2007: p. 60.
23. SonTek. *Flowtracker Handheld-ADV.* 2012; Available from: <http://www.sontek.com/flowtracker.php>.
24. SonTek, *Flowtracker quick start guide.* p. 2.
25. Valeport. *Current Meters & Open Channel Meters.* 2013; Available from: <http://www.valeport.co.uk/Products/CurrentMeters/CurrentMeterProductDetails/ProductID/31/List/0.aspx?SortField=ProductName,ProductName>.
26. Valeport, *Single Axis Electromagnetic Flow meter model 801.* p. 2.
27. Eijkelkamp, *RBC meetgoot gebruiksaanwijzing.* p. 12.
28. MachineToolsCentre. *Open Channel Flow Meter.* 2012; Available from: [http://mtcin.com/mtc\\_live/product/open-channel-flow-meters/](http://mtcin.com/mtc_live/product/open-channel-flow-meters/).
29. TeledyneISCO, *2150 Area velocity flow module and sensor.* 2012. p. 118.



FACULTEIT INDUSTRIELE INGENIEURSWETENSCHAPPEN  
CAMPUS DE NAYER (@Thomas More)  
Jan De Nayerlaan 5  
2860 SINT-KATELIJNE-WAVER, België  
tel. + 32 15 31 69 44  
ilw.thomasmore.denayer@kuleuven.be  
www.ilw.kuleuven.be



LID VAN **ASSOCIATIE  
KU LEUVEN**