

ONDERWERP

Analyse debietmetingen & water- en stofbalansen Sensor Gestuurd

PROJECTNUMMER

10556484

DATUM

8 mei 2023

ONZE REFERENTIE

<DocId>:1

VAN

Arjon Buijert

AAN

Frank van Herpen

Inleiding en gebiedsbeschrijving

Vanuit het project Sensor gestuurd boeren worden op verschillende locaties in de Vinkenloop debietmetingen uitgevoerd. Deze metingen vinden op verschillende manieren plaats. Op de meeste locaties wordt bij een stuw of meetschot de waterstand gemeten. Op basis van de gemeten waterstand en de kenmerken van het kunstwerk wordt het debiet berekend. Doel van deze metingen is het krijgen van inzicht in de werking van het watersysteem en gecombineerd met steekmonsters en sensormetingen van de waterkwaliteit massabalansen opstellen.

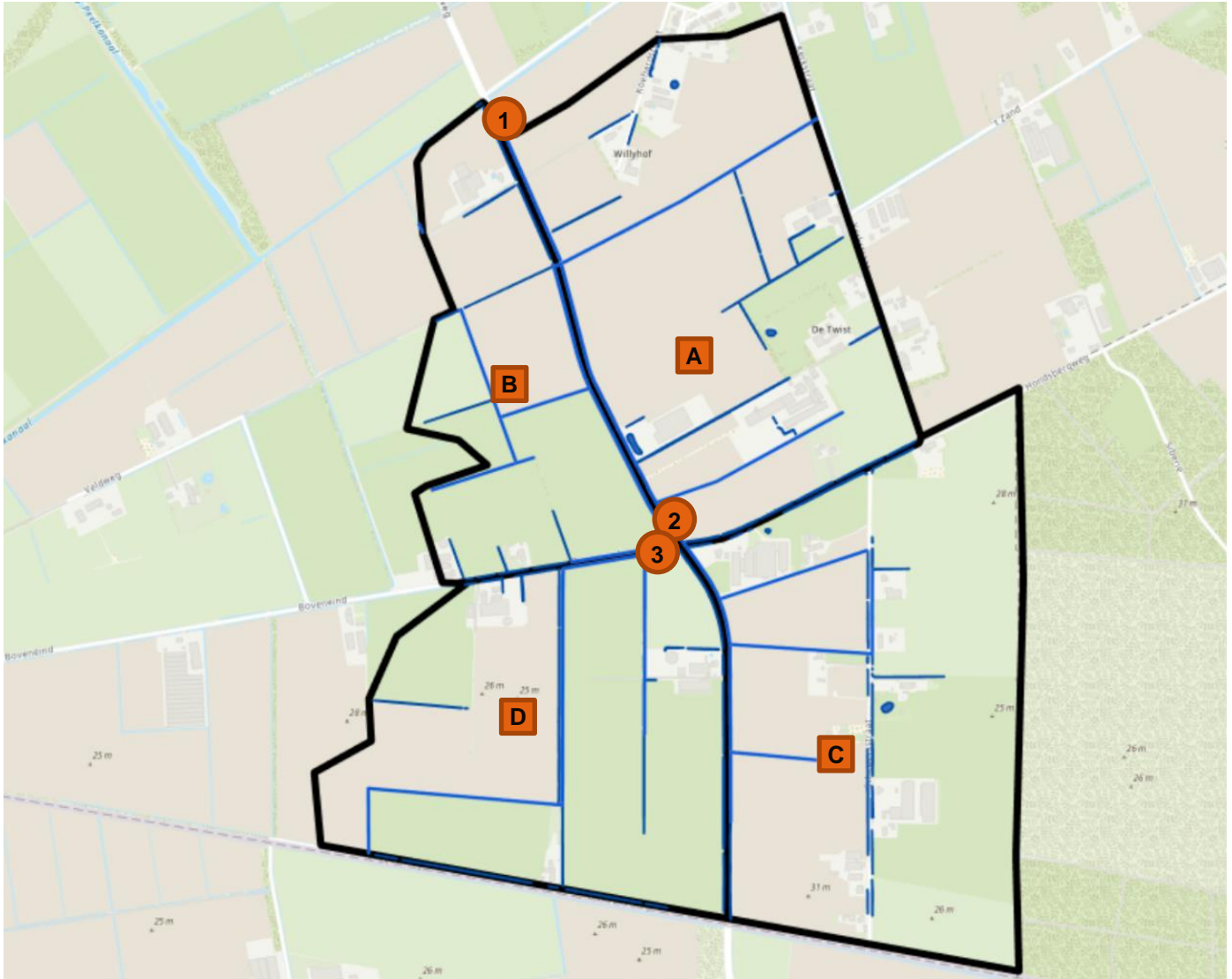
Doordat het om kleine watergangen gaat met weinig afvoer is het goed meten van het debiet lastig. Als onderdeel van een onderzoek naar de uitspoeling van nutriënten uit de Vinkenloop is Arcadis gevraagd om kritisch te kijken naar de gemeten/berekende debieten en advies te geven over mogelijke verbeteringen wanneer deze metingen op andere locaties uitgevoerd gaan worden. Ook is er een stoffenbalans opgesteld om hiermee in beeld te krijgen of dit haalbaar is voor andere gebieden en welke eïssen dit stelt aan de meetgegevens.

Bij dit onderzoek is er gekeken naar 3 locaties (Figuur 1). Per locatie zijn er meerdere objecten aanwezig:

- **Locatie 3:**
 - Een meetschot (meetschot 4) waar het debiet wordt berekend (xVINKLO125).
 - Bovenstrooms van het meetschot wordt de waterstand gemeten. Benedenstrooms zit direct een duiker, waarna het bovenstroomse meetpunt van locatie 2 zit. Dit meetpunt kan als benedenstrooms meetpunt gebruikt worden voor locatie 3.
 - Het water uit deelgebied D stroomt hier door (ten westen van de Nieuweweg). Ook het zuidelijke deel van deelgebied B stroomt via deze locatie af. De grootte van dit gebied is onbekend. Daarom is aangenomen dat dit verwaarloosbaar is.
- **Locatie 2:**
 - Een handmatig bediende klepstuw (114CKT) waar het debiet wordt berekend (xVINKLO130).
 - Bovenstrooms en benedenstrooms van het meetschot wordt de waterstand gemeten.
 - Het water uit deelgebied C (ten oosten van de Nieuweweg en ten zuiden van de Hondsborgweg) en locatie 3 stroomt hier via af.
- **Locatie 1:**
 - Een akoestische debietmeter (Acoustic Doppler Current Profiler = ADCP) die het debiet meet in de benedenstroomse duiker (ADCP114CK_VINK).
 - Een meetschot (meetschot 1) waar het debiet wordt berekend (oVINKLO170).
 - Bovenstrooms en benedenstrooms van het meetschot wordt de waterstand gemeten op meerdere manieren.
 - Al het water uit de Vinkenloop stroomt hierlangs.

Naast deze meetlocaties worden ook debieten bepaald van de drains op twee percelen en worden de afvoeren gemeten in twee zijloopjes. Voor al deze meetlocaties geldt dat door droogval, hele beperkte afvoeren en/of beperkingen in de apparatuur geen betrouwbare meetreeksen zijn verkregen. Deze zijn daarom buiten beschouwing gelaten.

Belangrijke opmerking: tot dusver zijn studies uitgebied (KIWK) die kijken naar vrachten vanuit het gehele stroomgebied (deelgebieden A+B+C+D). In deze memo proberen we o.b.v. de debietmetingen de relatieve bijdragen te bepalen van de individuele deelgebieden.



Figuur 1: Belangrijkste locaties en deelgebieden van de Vinkenloop

Bepalen afvoer o.b.v. gemeten waterstanden

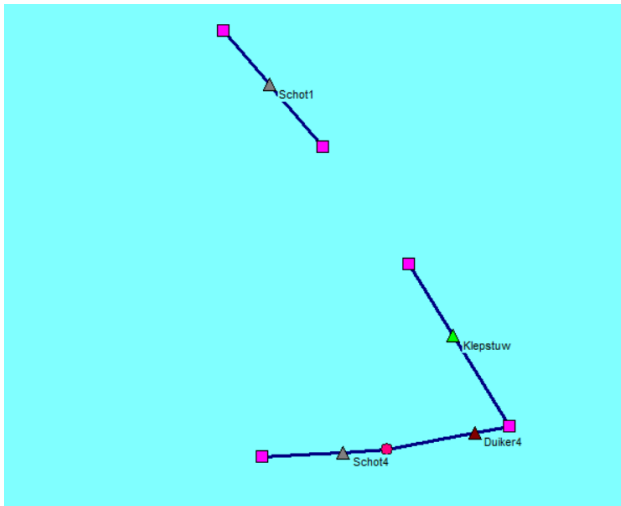
Op de 3 locaties wordt sinds maart 2021 bovenstrooms en benedenstrooms van kunstwerken de waterstand gemeten (Figuur 1). Op locatie 2 gaat het om een bestaand kunstwerk, op de overige 2 locaties gaat het om specifiek voor het onderzoek geplaatste meetschotten. Op basis van de gemeten waterstanden boven- en benedenstrooms kan het debiet over het kunstwerk berekend worden. Daarnaast wordt sinds november 2021 ook het debiet bij locatie 1 gemeten met een ADCP. In de datahub van Aa en Maas worden alle meetgegevens verzameld, waaronder de gemeten waterstanden en het debiet van de ADCP.

De berekening van de debieten wordt gedaan met relatief eenvoudige stuwformules die door middel van ijking tot stand zijn gekomen. Deze eenvoudige formules hebben enkele nadelen:

- Er wordt geen rekening gehouden met (de mate van) verdrinken van de stuwen

- Er wordt geen rekening gehouden met benedenstroomse kunstwerken (een krappe duiker bij locatie 3)
- Per locatie wordt er wel of geen rekening gehouden met de benedenstroomse waterstand

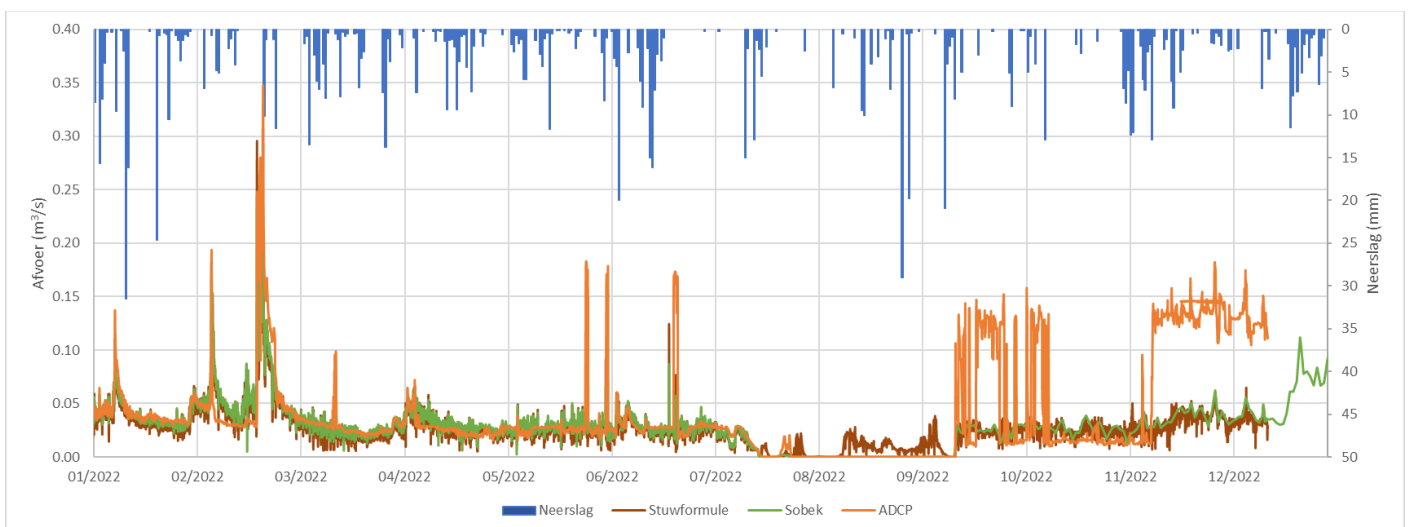
Om meer inzicht te krijgen in de kwaliteit van de eenvoudige stuwformules is de afvoer ook berekend met de kunstwerkformules van Sobek. Hierbij zijn de verliescoëfficiënten gekozen op basis van literatuur en gekalibreerd op de ADCP (voor locatie 1). Sobek kiest hierbij automatisch de juiste formule die past bij de verdrinkingsgraad en vorm van de stuw.



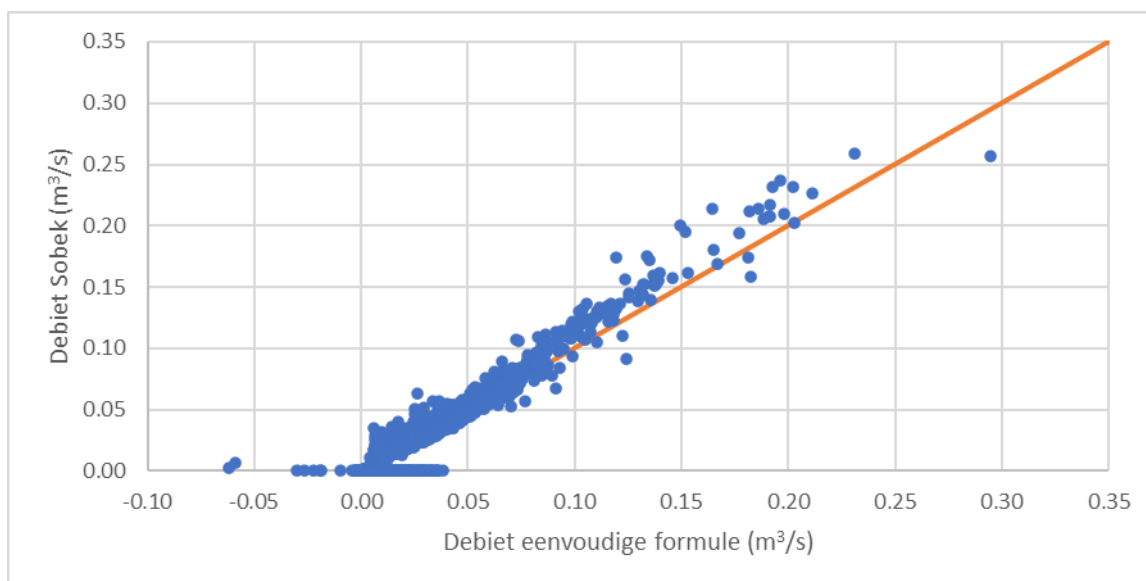
Figuur 2: Schematisatie in Sobek om het debiet over de kunstwerken te berekenen op basis van de gemeten waterstanden.

Uit deze analyse blijkt dat de met Sobek berekende debieten goed overeenkomen met de berekende debieten met de stuwformules. Wel zijn er specifieke gebeurtenissen zichtbaar waarbij het debiet met de eenvoudige formules aanwijsbaar afwijkt. Op locatie 1 gebeurt dit onder andere wanneer de bovenstroomse waterstand uitzakt tot onder de meetstuw. Er wordt dan nog steeds afvoer berekend, omdat de bovenstroomse waterstand hoger is dan de benedenstroomse waterstand. In de praktijk is dit echter niet mogelijk.

Ook bij hogere afvoeren lijkt het met de eenvoudige formule berekende debiet te laag te zijn. Over de periode november 2021 tot december 2022 zorgt dit voor een verschil in de totale afvoer van 5%.



Figuur 3: Vergelijking tussen de gemeten debieten met de ADCP, stuwformule en Sobek.



Figuur 4: Vergelijking voor locatie 1 tussen de berekende debieten berekend met een eenvoudige formule en de kunstwerkformules van Sobek. De negatieve debieten ontstaan bij de eenvoudige formule, doordat er in de formule geen rekening wordt gehouden met de klephoogte van overlaat.

Uit de analyse van de gemeten debieten blijkt verder dat de ADCP wel gevoelig is voor korter en langer durende “storingen”. Zo zijn er in de eerste helft van 2022 vier afvoerpieken die niet waargenomen zijn door de andere methodes en niet gerelateerd lijken te zijn aan neerslag. In de tweede helft van 2022 lijkt er een structurele afwijking van de ADCP plaats te vinden. Hierbij is de debietmeting ongeveer 50% van de tijd veel te hoog ($>0,1 \text{ m}^3/\text{s}$), terwijl de rest van de tijd de ADCP juist een relatief lage afvoer meet, lager dan wat er in de eerste helft van het jaar gemeten heeft. Het lijkt daardoor wel nodig om regelmatig onderhoud uit te voeren aan de ADCP.

Tijdens het project is geconcludeerd dat de hoogte van de (meet)stuw en sensoren van essentieel belang is. In de zomer is de afvoer ongeveer 25 l/s. Het waterstandsverschil tussen de bovenstroomse en benedenstroomse waterstand is dan op locatie 1 ongeveer 10 mm. De geregistreerde waterstand heeft een nauwkeurigheid van 1 mm, maar het is niet bekend wat de meetnauwkeurigheid zelf is. Een minimale afwijking van 1 mm zorgt onder deze omstandigheden al voor een fout van 5% in de debietmeting.

Bij de klepstuw (locatie 2) is de overstortende straal ongeveer 3 centimeter. Dit is aanzienlijk groter dan het peilverschil bij de meetschotten (locaties 1 en 3), waardoor de debietberekening in theorie nauwkeuriger zal zijn. Het nadeel bij de klepstuw is echter dat de klephoogte eenvoudig aangepast kan worden, maar dit niet altijd geregistreerd wordt. Zo is in de berekende debietreeksen een plotselinge debietverandering zichtbaar begin december 2021. Aangenomen is dat de klepstuw voor december 2021 1.5 cm lager heeft gestaan. Hiermee ontstaat een logischer verloop van de afvoerreeks. Maar dit is niet gebaseerd op de gemeten klephoogte. Om dit te voorkomen zal na iedere stuwaanpassing de hoogte van de klep opnieuw ingemeten moeten worden.

Opstellen water- en stikstofbalans

Eén van de doelen voor het meten van de waterkwaliteit en het debiet op verschillende locaties was het opstellen van een water- en stofbalansen. Dit is gedaan voor de locaties in Figuur 1 voor de periode 16-3-2021 t/m 30-11-2022. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- De met Sobek berekende daggemiddelde debieten (locaties 1, 2 en 3) na het valideren van onrealistische waterstanden
- De gemeten N_{tot} concentratie (steekmonsters – niet de sensoren)
 - Locatie 1: oVINKNL170

- Locatie 2: xVINKNL130 en xVINKNL135
- Locatie 3: xVINKNL120 en xVINKNL125

De metingen van de ADCP zijn hierbij niet gebruikt omdat de ADCP maar op 1 locatie aanwezig was en de bruikbare meetperiode van de ADCP maar 8 maanden was.

Benedenstrooms komt al het water met alle stikstof van de 4 deelgebieden langs ('bruto'). Om de ('netto') vrachten per deelgebied uit elkaar te halen zijn berekeningen nodig ,

Voor het bepalen van de vrachten zijn per deelgebied voor iedere dag de volgende stappen doorlopen (Figuur 5 en Figuur 6):

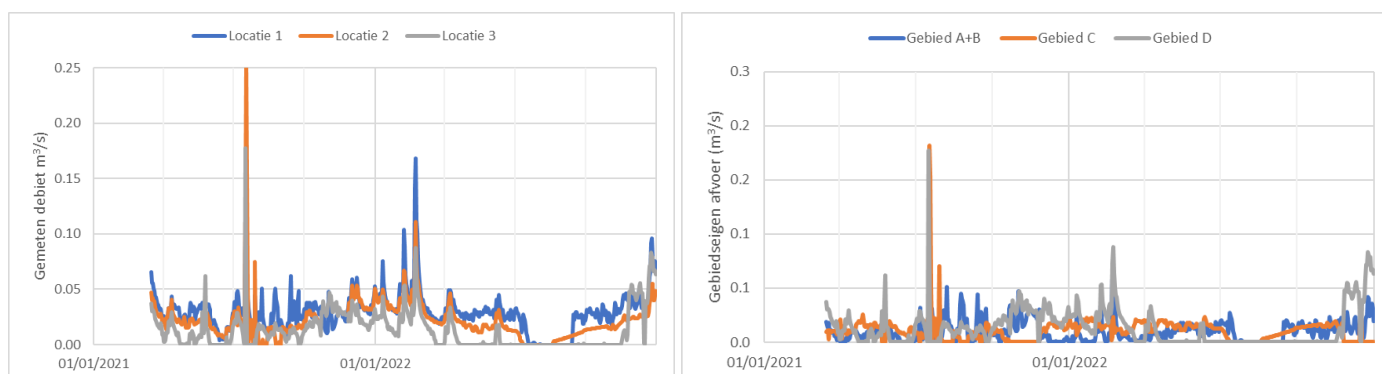
1. De gemeten Ntot concentratie is per locatie lineair geïnterpoleerd om tot een concentratie voor de betreffende dag te komen te komen.
2. Het debiet uit het deelgebied zelf is berekend (bijv. voor gebied C: (debiet op locatie 2 - debiet op locatie 3)*)
3. De Ntot vracht uit het eigen gebied is berekend (bijv. voor gebied C: (debiet * concentratie op locatie 2) – (debiet * concentratie op locatie 3))
4. De Ntot concentratie is vervolgens weer terug berekend voor afstromende water uit het eigen gebied om tot de 'gebiedseigen' concentratie te komen**

*In Figuur 1 zijn de verschillende deelgebieden weergegeven. De exacte grenzen van deze deelgebieden zijn niet bekend, doordat op enkele locaties water via meerdere routes kan afstromen via het oppervlaktewater of via het grondwater onder een watergang door kan stromen.

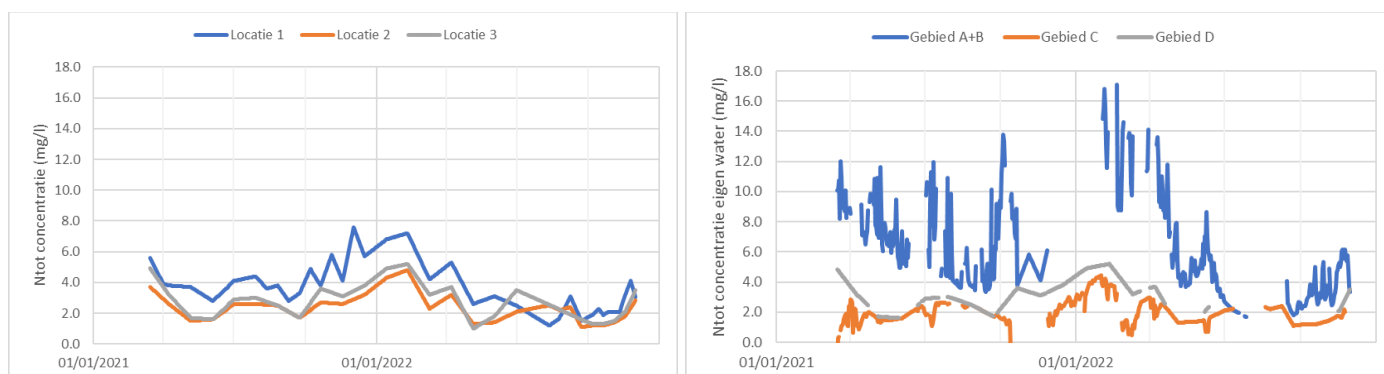
** voor deelgebied D is dit hetzelfde als de geïnterpoleerde concentraties

Tabel 1: Berekening van het netto debiet van de deelgebieden

Gebied	Gemeten 'bruto' debiet met water uit de deelgebieden	Berekening 'netto' debiet / vracht
A + B (locatie 1)	A, B, C en D	Locatie 1 – locatie 2
C (locatie 2)	C en D	Locatie 2 – locatie 3
D (locatie 3)	D	n.v.t.



Figuur 5: Gemeten debiet (links) en gebiedseigen debiet (rechts)



Figuur 6: Lineair geïnterpoleerde concentratie (links) en gebiedseigen concentratie (rechts) voor N-totaal (mg N/l)

Uiteindelijk is de totale nutriëntenvracht van ieder deelgebied berekend (Tabel 2). De betrouwbaarheid van deze balans lijkt vooral sterk te worden beïnvloed door de berekende debieten en in het bijzonder de klepstand van de klepstuw (locatie 2). Het debiet op locatie 2 en 3 kon ook niet gevalideerd worden op basis van een ADCP meting.

In de balans vallen de volgende punten op:

- Gemiddeld wordt er 1,3 mm/d afgevoerd (30 l/s). Zoals bekend varieert de afvoer over het gebied sterk, mede als gevolg van de lokale kwel. In het bijzonder deelgebied D heeft veel kwel. Dit wordt mogelijk overschat doordat in de praktijk ook een deel van deelgebied B via locatie 3 afstroomt. Maar ook deelgebied C heeft bovenmatig veel afvoer, waarschijnlijk veroorzaakt door kwel, deels afkomstig uit deelgebied D.
- De concentratie van het uitstromende water (gecorrigeerd voor het bovenstroomse gebied) is in het bijzonder hoog voor deelgebied A+B. Dit komt mogelijk doordat dit water veel minder verdund wordt met kwelwater en het lokale landgebruik (vooral akkerbouw).
- De concentratie van deelgebied C is verder zelfs lager dan de concentratie van deelgebied D. Dit komt mogelijk door het lokale landgebruik en de hoge grondwaterstanden in deelgebied D.
- Als gevolg hiervan is desondanks de totale uitspoeling (als vracht) van deelgebied D het hoogst. Deze vracht is zelfs hoger dan deelgebied A+B. De concentratie is laag, maar het debiet is bijzonder hoog. Daardoor is de uiteindelijke vracht toch nog bovengemiddeld. Een relatief groot deel is hierbij wel afkomstig uit kwel, en een deel komt ook nog van nalevering uit de oude veenrestanten in de bodem in deelgebied D.
- In deelgebied A+B is de concentratie van het water wel veel hoger, maar dit wordt gecompenseerd door het veel lagere debiet, waardoor de totale vracht lager is.
- Het waterschap heeft ook afvoerreeksen berekend met GRAM. Hieruit volgt een gemiddelde afvoer van het projectgebied van 0.74 mm/d (2015-2020). Dit is aanzienlijk minder dan de gemeten gemiddelde afvoer van 1.30 mm/d. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de kwelflux in GRAM wordt onderschat. De afvoer in de zomer is erg stabiel (mediane afvoer is 1.26 mm/d) en rond augustus 2022 alleen onderbroken doordat de beek droogvalt. De droogval wordt mogelijk veroorzaakt door beregning in de omgeving.

Tabel 2: Berekende water- en stoffenbalans van de verschillende deelgebieden (16-3-2021 t/m 30-11-2022)

Gebied	Oppervlak (ha)	Debiet* (mm/d)	Concentratie* (mg/l)	Vracht* (kg/d)	Vracht* (kg/ha/j)
Totaal (A, B, C & D)	196,9	1,49	3,73	9,84	20,3
Bovenstrooms (C+D)	109,8	1,88	2,69	5,54	18,4
Gebied A+B	87,1	1,00	6,21	5,39	22,6
Gebied C	61,2	1,50	1,97	1,81	10,8
Gebied D	48,6	2,35	3,27	3,74	28,1

*Het gaat hierbij om het debiet en de concentratie die volgens de balans uit het gebied zelf komt.

Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de analyse van de debieten en het opstellen van de water- en stoffenbalans zijn er de volgende conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- De stuwformules die worden gebruikt voor het bepalen van de afvoer berekenen een vergelijkbare afvoer als de kunstwerkformules van Sobek.
- Voor het goed berekenen van de afvoer moeten de hoogte van de klep nauwkeuriger bekend zijn. Dit geldt in mindere mate ook voor de hoogte van de meetschotten. Uit de gemeten waterstanden en berekende afvoeren blijkt dat de hoogte enkele keren is veranderd en dit niet (goed) is geregisterd.
- Wanneer de stuwhoogte goed geregistreerd wordt lijkt het mogelijk om een betrouwbare waterbalans op te stellen. Gecombineerd met de steekmonsters geeft dit een goed beeld van de nutriëntenbalans en relatieve bijdrage van een deelgebied. Hierbij worden alleen kortdurende pieken gemist, bijvoorbeeld als gevolg van afspoeling.
- Permanent meten met de ADCP heeft slechts een beperkte meerwaarde doordat de ADCP over een langere periode relatief gevoelig lijkt te zijn voor structurele afwijkingen en kortdurende pieken.
- Op basis van de toegepaste meetopstelling (bovenstroom en benedenstrooms meten van debiet i.c.m. steekmonsters) kan een goed beeld verkregen worden van de gemiddelde bijdrage aan de waterkwaliteit. Hiervoor blijft het wel nodig dat de deelgebieden een significante omvang hebben (bijv. het interessegebied moet minimaal 20% zijn van het bovenstroomse gebied). Daarnaast is het goed om rekening te houden met de onderstaande aanbevelingen.

Aanbevelingen

- De stuwformules kunnen nog verder verbeterd worden om zo de afvoer bij lage en hoge waterstanden beter te berekenen. Voor lage afvoeren is een controle op de kruinhoogte van de stuw van belang. Voor hogere afvoeren moeten de parameters anders gekozen worden, of een tweede formule toegevoegd worden voor een niet verdrongen situatie (bijvoorbeeld vergelijkbaar aan Sobek).
- Uit de meetgegevens blijkt dat de hoogte van de stuwen regelmatig veranderen. Dit komt waarschijnlijk door ingrijpen van beheerders/omwonenden of natuurlijke verzakkingen. Periodiek onderhoud en opnieuw inmeten is daarom noodzakelijk. Hierbij kan gedacht worden aan 2x per jaar, waarbij één van deze momenten direct na het schonen van de watergangen moet plaatsvinden.
- Om een betrouwbare afvoer te berekenen voor een kleine meetstuw moet het debiet gekalibreerd of gevalideerd worden. We adviseren om dit voor locatie 2 en 3 ook minimaal 1x te doen. Dit zou kunnen door de ADCP te laten rouleren over meerdere locaties. Een alternatief is het incidenteel kalibreren van de stuwen met de "verdunningsmethode", waarbij een zoutoplossing wordt toegepast.
- Het zuidelijke deel van deelgebied B lijkt op basis van het watersysteem via locatie 3 (meetschot 4) af te stromen. Dit kan in het veld beter beoordeeld worden, waarna ook de gebiedsindeling en water- en stoffenbalans aangepast kan worden.
- Deelgebied C lijkt een hogere afvoer en lagere concentratie te hebben dan verwacht. Dit komt ook wel overeen met de eerder uitgevoerde temperatuurmetingen die zijn uitgevoerd om directe kwel naar het oppervlaktewater in beeld te brengen. Om hier meer inzicht in te krijgen kan mogelijk het debiet gemeten worden in de duiker onder de Hondsborgweg. Wanneer hier ook de waterkwaliteit gemeten wordt, geeft dit ook inzicht in de "fout" die wordt gemaakt in de water en stoffenbalans.
- Ook de ADCP heeft onderhoud nodig. Dit is onder andere zichtbaar vanaf augustus 2022. De meetgegevens moeten daarom vaker gecontroleerd worden (de reeks controleren of een handmeting), of er moet preventief onderhoud plaatsvinden.