



Vlaanderen
is wetenschap

25_004_2
WL rapporten

Validatie metingen valsnelheid van sediment met OpenPIV

Eind rapport

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Validatie metingen valsnelheid van sediment met OpenPIV

Eind rapport

Brouwers, B.; Gruwez, V.; Plancke, Y.; Peeters, P.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2025
D/2023/xxx

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Brouwers, B.; Gruwez, V.; Plancke, Y.; Peeters, P. (2025). Validatie metingen valsnelheid van sediment met OpenPIV: Eind rapport. Versie 4.0. WL Rapporten, 25_004_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen


Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie



Oprichtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2025R25_004_2
Trefwoorden (3-5):	Valsnelheid, Sediment, PIV, OpenPIV		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Sediment > Sedimenttransport > Schaalmodelproeven Hydraulica en sediment > Sediment > Baggeren en storten > Schaalmodelproeven Hydraulica en Sediment > Morfologie > sedimentbalans > schaalmodelproeven Hydraulica en Sediment > Morfologie > erosie/sedimentatie > schaalmodelproeven		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s):	Brouwers, B.
------------	--------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Gruwez, V. Plancke, Y.	Signed by: Vincent Gruwez (Signature) Signed at: 2025-12-05 15:32:04 +01:00 Reason: I approve this document <i>Gruwez Vincent</i> Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2025-12-16 14:45:50 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Plancke Yves</i>  Vlaamse overheid
Projectleider:	Brouwers, B.	Getekend door: Brouwers Bart Ingrid J Getekend op: 2025-12-08 10:31:59 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Brouwers Bart</i>  Vlaamse overheid

Goedkeuring

Verantwoordelijke E&O:	Latte, J.	Getekend door: Latte Jurgen Frank M Getekend op: 2026-01-15 16:03:45 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Latte Jurgen</i>  Vlaamse overheid
Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Bellafkih Abdelkarim Getekend op: 2025-12-05 14:33:44 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bellafkih Abdelkarim</i>  Vlaamse overheid

Abstract

In het sedimentologisch laboratorium is reeds enkele jaren een fysische opstelling beschikbaar waarmee beelden kunnen worden gegenereerd van sediment dat in water bezinkt. Deze opstelling werd voornamelijk gebruikt door studenten. Voor het afleiden van de bezinkingssnelheid op basis van deze beelden werd tot nu toe de Streams Software gebruikt.

Voor verschillende onderzoeksgroepen binnen het WL is de mogelijkheid om de bezinkingssnelheid van sediment te bepalen een waardevolle toevoeging. De Streams Software is echter weinig bekend binnen het WL, terwijl andere soortgelijke software, zoals OpenPIV, wél vaker wordt toegepast. In dit project werd daarom geëvalueerd of OpenPIV geschikt is voor deze toepassing.

Allereerst werd de nauwkeurigheid van de verkregen snelheidsvectoren bepaald, waarbij manueel bepaalde vectoren als referentie dienden. Vervolgens werd een dataset die eerder met Streams verwerkt was, opnieuw geanalyseerd met OpenPIV, om de resultaten van beide softwaretoepassingen te kunnen vergelijken.

Zowel de validatie van de resultaten bij gebruik van OpenPIV als de vergelijking met de resultaten van Streams werd positief beoordeeld. Het bepalen van de bezinkingssnelheid van sediment met behulp van OpenPIV kan dan ook met vertrouwen worden opgenomen in het portfolio van het sedimentologisch laboratorium.

Inhoudstafel

Abstract	IV
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Bepaling valsnelheid sediment.....	2
2.1 Fysieke opstelling.....	2
2.1.1 Beschrijving.....	2
2.1.2 Afstandscorrelatie.....	3
2.1.3 Verwerking en organisatie van de beeldenreeks	5
2.2 Experimenten valsnelheid sediment.....	6
2.2.1 Manuele bepaling valsnelheid.....	7
2.2.2 Bepaling valsnelheid met OpenPIV.....	9
2.3 Validatie output OpenPIV	11
2.3.1 OpenPIV vs manueel.....	11
2.3.2 OpenPIV vs Streams.....	13
3 Procedure en scripts.....	16
3.1 Werkingsprincipe	16
3.2 Ontwikkelde en gebruikte python scripts.....	16
3.2.1 Correlatie pixels/mm	16
3.2.2 Voorbereiding beeldenreeks	16
3.2.3 Manuele bepaling valsnelheid.....	18
3.2.4 OpenPIV	18
3.2.5 Analyse output OpenPIV.....	19
Referenties	20

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Resultaten van de analyse van de pixelminima over verschillende pixelprofielen.	5
Tabel 2 – Principe van structurering en herbenoeming van de beelden. Beeld nummer 3 wordt bijvoorbeeld hernoemd naar A002b en gekopieerd met bestandsnaam A003a.	6
Tabel 3 – Correlatie tussen frame rate en de maximale resolutie van de valsnelheid in geval van 0,067 mm/pixel. Hoe lager het frame rate hoe hoger de resolutie van de valsnelheid.	9
Tabel 4 – Samenvattende tabel van de gevonden valsnelheden van een partikel. De valsnelheden werden zowel manueel als met de hulp van OpenPIV bepaald.	12
Tabel 5 – Samenvattende tabel van de gevonden valsnelheden van een ander partikel. De valsnelheden werden zowel manueel als met de hulp van OpenPIV bepaald.	12

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Experimentele opstelling in het Sedimentologisch Laboratorium. De hoofdcomponenten zijn de camera (1), telecentrische lens (2), plexiglas reservoir gevuld met water (3), belichting (4) en een verduisterende doek (5).....	3
Figuur 2 – Foto van millimeter papier achter de tank. De licht gele lijn aan de rechterzijde is het touw van het schietlood dat dient voor de verticale uitlijning van het millimeter papier.....	4
Figuur 3 – Links: een geknipt stuk aan de bovenzijde van figuur 2 in grayscale. Rechts: een profiel van pixelwaarden van pixel kolom 52, aangeduid met de gele lijn op de figuur rechts. De oranje minima (vanaf rij 100) geven de locaties van de zwarte lijnen aan.....	5
Figuur 4 – screenshot van de 2D matrix van pixelwaarden van een foto. De kleurschaal van rood naar blauw komt overeen met de pixelwaardes van 0 tot 1. De verzameling van hogere pixelwaarden rond pixel met coördinaten (488, 80) geeft de weergave van een sediment partikel op die locatie in de afbeelding weer. ...	8
Figuur 5 – screenshot van de 2D matrix van pixelwaarden van de foto volgend op de foto voorgesteld in Figuur 4. De verzameling van hogere pixelwaarden in dezelfde pixelkolommen als in Figuur 4 maar in lagere pixelrijen geeft het bezinken van het sediment partikel in de tijd weer.	8
Figuur 6 – Snelheidsvectorveld zoals geproduceerd met OpenPIV. Het raster geeft de coördinaten weer in millimeters. De vectoren staan in het blauw. Hun richting en magnitude is onduidelijk in dit voorbeeld omwille van de hoge resolutie en lage snelheid. Afgezien van een eerste kwalitatieve verificatie van de resultaten hebben deze figuren ook geen verder nut. De geel gemarkeerde vectoren komen overeen met de selectie van in Figuur 7 kwantitatief getoonde vectoren.....	9
Figuur 7 – Snapshot van een deel van het txt-bestand overeenkomstig met het snelheidsvectorveld in geel gemarkeerd in Figuur 6. De kolommen X en Y geven de coördinaten van de vectoren [mm]. Kolommen U en V geven respectievelijk de horizontale en verticale component van de snelheidsvectoren weer [mm/s]. S2N is de “Signal – to – noise ratio” van iedere vector [-].....	10
Figuur 8 – Histogram gebaseerd op een reeks van 19 snelheidsvectorvelden. Het interessegebied werd in breedte beperkt tussen pixelkolommen 75 en 85 en in hoogte tussen pixelrijen 487 en 570, conform de valbeweging van het partikel afgebeeld in Figuur 4 en Figuur 5. De gemiddelde valsnelheid, bijhorende standaard afwijking en mediaan worden meegegeven voor verdere analyse.	11
Figuur 9 – Histogram op basis van de output van het Streams script na verwerking van beelden 2 tot en met 99 van beeldenreeks Exp_3-10_Sample_2 uit project 18_148. De gemiddelde verticale snelheid alsook de standaard deviatie staan mee vermeld.....	14
Figuur 10 – Histogram op basis van de output van OpenPIV na verwerking van beelden 2 tot en met 99 van beeldenreeks Exp_3-10_Sample_2 uit project 18_148. De gemiddelde verticale snelheid alsook de standaard deviatie staan mee vermeld.	14
Figuur 11 – Vergelijking van de relatieve frequenties van de histogrammen van Figuur 9 en Figuur 10.....	15

1 Inleiding

Reeds enkele jaren staat er een opstelling in het sedimentologisch laboratorium (sedlab) ter validatie van de valsnelheid van sediment in water. Deze opstelling werd voornamelijk gebruikt door studenten onder begeleiding van Yves Plancke (18_148 en 24_003). Voor de verwerking van de gegenereerde beelden werd een algoritme/script opgemaakt in Streams (Nokes, 2019). Deze verwerking is eerder complex, waarbij verschillende parameters ingesteld moeten worden, zonder dat hier echter een gedegen onderbouwing of gevoeligheidsanalyse heeft op plaatsgevonden.

Voor een verdere uitwerking en implementatie van de opstelling in het portfolio van het WL is er dan ook twijfel of het gebruik van het ontwikkelde Streams script de beste keuze is. Dit voornamelijk door het ontbreken van gedegen kennis van de Streams software binnen het WL.

Binnen E&O en op het WL is er wel kennis van andere verwerkingssoftware, zoals bvb OpenPIV (bvb. 19_120), welke tevens voor deze toepassing gebruikt kan worden.

Gezien de interesse van onderzoeksgroepen WatSed en Kust (24_075) om de valsnelheid van sediment accuraat te kunnen bepalen, werd dit project opgestart. Het doel is om de betrouwbaarheid van het gebruik van OpenPIV ter bepaling van valsnelheid van sediment aan te tonen. Bijkomend zal de output na verwerking van eenzelfde beeldreeks met zowel het Streams script alsook met OpenPIV met elkaar vergeleken worden, om tevens de betrouwbaarheid van het Streams script in te kunnen schatten.

2 Bepaling valsnelheid sediment

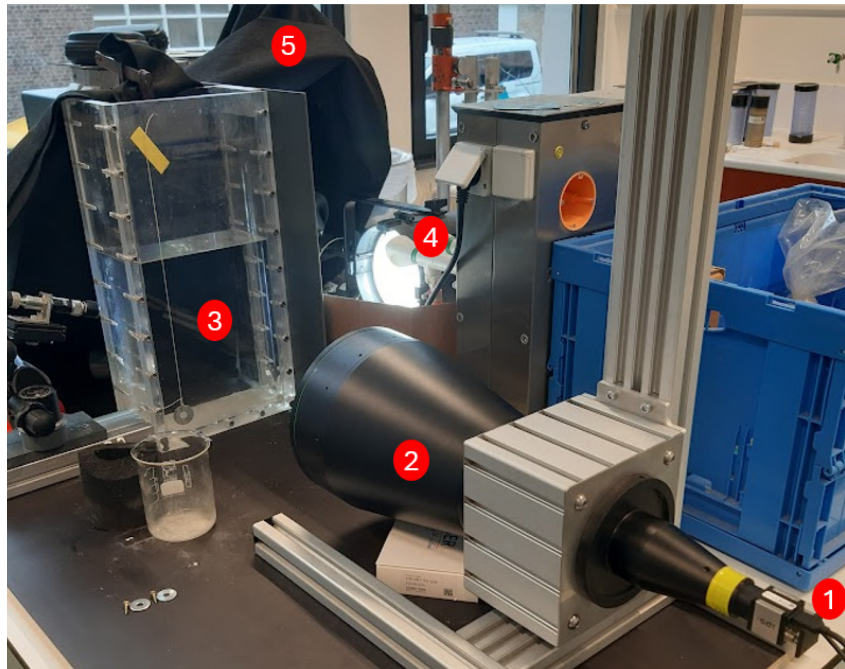
2.1 Fysieke opstelling

De fysieke opstelling van een waterbassin opgebouwd uit plexiglas, belichting en camera stond reeds opgebouwd in het sedlab (zie Figuur 1). Deze opstelling werd voor dit project gebruikt zoals ze was, en is identiek zoals gebruikt tijdens voorgaand project 18_148.

2.1.1 Beschrijving

Een foto van de opstelling is hieronder terug te vinden als Figuur 1. Het bestaat uit een watertank, een camera met lens en belichting. De watertank is opgebouwd uit plexiglas om belichting van het sediment in de tank van buitenaf toe te laten. De tank is 0.50 m hoog, 0.20 m breed en 0.10 m diep. De bovenzijde van de tank is open. Sediment kan hierdoor langs de bovenzijde in het water gebracht worden. De belichting gebeurt met een LED lamp naast de watertank. Om het sediment beter te accentueren werd de belichting beperkt tot een “vlak” van enkele millimeters dik, door middel van een filter tegen de zijwand van de tank. Deze filter bestaat uit een PVC plaat met een fijne sleuf over een bepaalde hoogte. Het PVC materiaal is niet-transparant, waardoor het licht enkel door de sleuf de watertank kan binnen treden. Een alternatieve belichting bestaat uit het gebruik van een laser die slechts een zeer dun vlak belicht. Dit werd eerder toegepast in project 18_148, maar niet bij huidig project.

Bijkomend werd een verduisterende doek over de gehele opstelling gelegd om omgevingslicht te blokkeren. De camera staat vast opgesteld voor de tank, en dus dwars op het lichtvlak. Dit betreft een UI-3080 CP camera van IDS. Een Bi-telecentrische lens (Opto – 0.05X) werd gemonteerd op de camera. Hierdoor zijn de beelden onafhankelijk van de afstand tussen de camera en de tank. Telecentrische lenzen worden typisch gebruikt voor tweedimensionale precisiemetingen net zoals voor deze toepassing.



Figuur 1 – Experimentele opstelling in het Sedimentologisch Laboratorium. De hoofdcomponenten zijn de camera (1), telecentrische lens (2), plexiglas reservoir gevuld met water (3), belichting (4) en een verduisterende doek (5).

2.1.2 Afstandscorrelatie

De correlatie tussen pixels en werkelijke dimensies is van groot belang bij het afleiden van snelheden op basis van beelden. Op basis van de beelden kan de afgelegde afstand van het sediment immers enkel bepaald worden in pixels. Om een snelheid te bekomen moet dit dan ook accuraat vertaald kunnen worden naar een werkelijke afstand. Deze correlatie werd zowel theoretisch als experimenteel bepaald.

Theoretisch

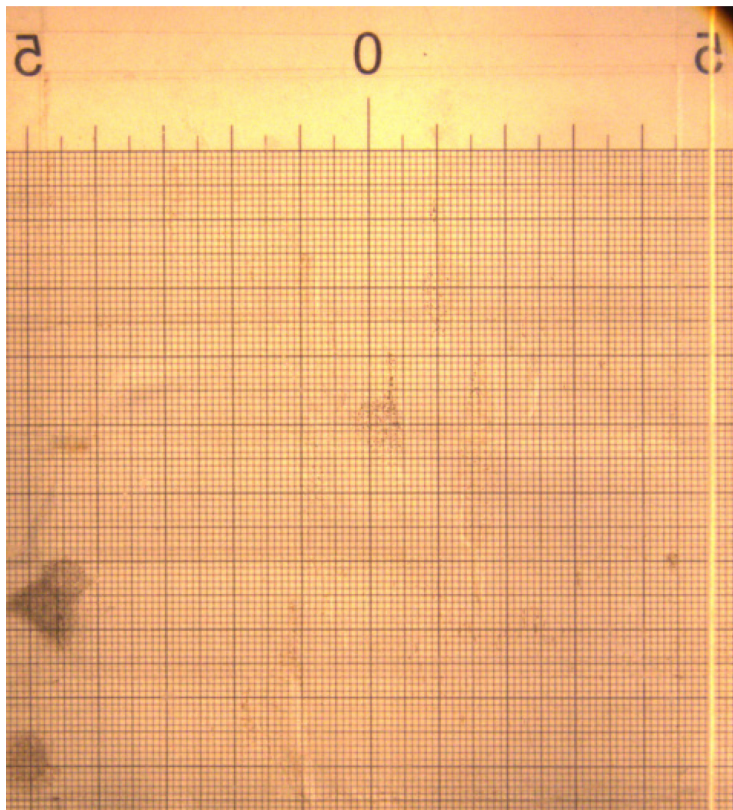
De specificaties van de camera geven een pixelgrootte van $3,45 \mu\text{m}$ aan.

De vergrotingsfactor van de bi-telecentrische lens is 0,05

$$\rightarrow \frac{3,45 \mu\text{m}/\text{pixel}}{0,05 \times 10^3 \mu\text{m}/\text{mm}} = 0,069 \text{ mm}/\text{pixel}$$

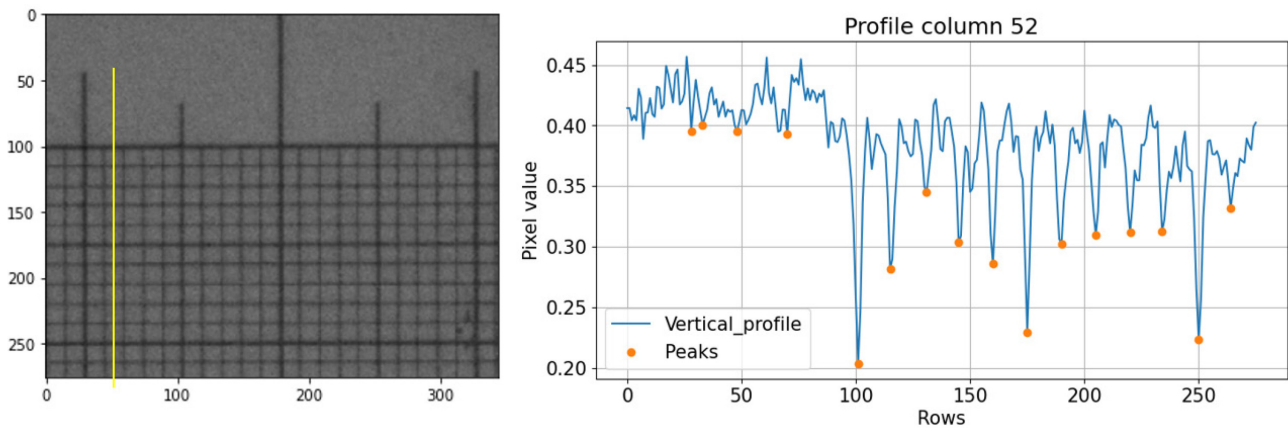
Experimenteel

Een stuk millimeterpapier werd geplastificeerd en op een plaatje bevestigd. Dit werd vervolgens achter het waterreservoir geplaatst. Om de verticaliteit hiervan te verifiëren werd een schietlood in het waterreservoir gehangen. De lijnen van het primair grid op het millimeter papier werden uitgelijnd met het touw van het schietlood. Met de camera wordt een foto genomen van het millimeter papier, zie Figuur 2. Met beeldverwerkingssoftware wordt de foto geanalyseerd door het aantal pixels te bepalen tussen de lijnen van het millimeter papier.



Figuur 2 – Foto van millimeter papier achter de tank. De licht gele lijn aan de rechterzijde is het touw van het schietlood dat dient voor de verticale uitlijning van het millimeter papier.

Om de nauwkeurigheid van deze analyse te bevorderen wordt de figuur omgezet in een zwart/wit figuur en wordt slechts een deel van de gehele figuur geanalyseerd. Bij voorkeur bevat dit deel enkel en alleen de lijnen van het millimeter papier (zie Figuur 3 – links). Door middel van het “skimage” package in Python werd de figuur omgezet naar een tweedimensionale matrix van pixelwaarden. De donkere lijnen van het millimeter papier worden gekenmerkt door lage pixelwaarden. De lichte achtergrond door hoge pixelwaarden. Een profiel van pixelwaarden volgens een willekeurige pixelkolom geeft, aan de hand van de verschillende minima (omgekeerde pieken), de pixelrijen weer waar de zwarte lijnen afgebeeld zijn op de foto. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 3 (rechts). Dit profiel komt overeen met pixelkolom 52, in het geel aangeduid op Figuur 3 (links). Op dit profiel is bijvoorbeeld duidelijk te zien dat het millimeterraster start vanaf pixelrij 100. De minima geven aan op welke pixelrijen een zwarte lijn wordt afgebeeld. Het aantal pixelrijen tussen twee minima komt dan overeen met één millimeter in werkelijkheid. Dit doen we voor verschillende paren van minima, en bij voorkeur over meerdere profielen van pixelwaarden, zowel verticaal (volgens pixelkolom, zoals in Figuur 3) alsook horizontaal (volgens pixelrij).



Figuur 3 – **Links**: een geknipt stuk aan de bovenzijde van figuur 2 in grayscale. **Rechts**: een profiel van pixelwaarden van pixel kolom 52, aangeduid met de gele lijn op de figuur rechts. De oranje minima (vanaf rij 100) geven de locaties van de zwarte lijnen aan.

Aangezien deze analyse vertrekt van een foto van een zelf geprint en geplastificeerd millimeter papier, getrokken doorheen verschillende lagen van lucht, plexiglas en water, is het onvermijdelijk dat er kleine variatie in pixelafstanden tussen minima wordt gevonden. Een gewogen gemiddelde (zie Tabel 1) wordt daarom verder beschouwd ter bepaling van de valsnelheid van sediment. Voor deze opstelling stemt dit overeen met een correlatie van 0,066981 mm/pixel. De afwijking tussen de experimenteel bepaalde correlatie en de theoretische is 2,93 %.

Tabel 1 – Resultaten van de analyse van de pixelminima over verschillende pixelprofielen.

# pixels	Aantal	Voorkomen	Gewogen gemiddelde
15	119	92,97 %	14,9297 pixels
14	9	7,03 %	

Opmerking: door deze oefening te herhalen met het millimeterpapier geplaatst vóór het aquarium, kan worden geverifieerd of de camera op loodrecht op het aquarium is opgesteld. Indien loodrecht zou het resultaat volgend uit de twee opstellingen gelijk moeten zijn.

2.1.3 Verwerking en organisatie van de beeldenreeks

Voor het afleiden van een bewegingssnelheid op basis van een reeks opeenvolgende stationaire beelden is het cruciaal dat het tijdsinterval tussen opeenvolgende beelden constant is. Verder vraagt de verwerking van de beeldenreeks door middel van OpenPIV dat de beelden gestructureerd worden in opeenvolgende paren. Het principe hiervan wordt verduidelijkt in Tabel 2.

Tabel 2 – Principe van structurering en herbenoeming van de beelden. Beeld nummer 3 wordt bijvoorbeeld hernoemd naar A002b en gekopieerd met bestandsnaam A003a.

Origineel beeld	Nieuwe bestandsnaam
1	A001a
2	A001b A002a
3	A002b A003a
4	A003b

De output van OpenPIV bestaat uit snelheidsvectorvelden, waarbij elk vectorveld wordt berekend op basis van de correlatie tussen de beelden van een specifiek paar. Zo is snelheidsvectorveld 1 is gebaseerd op correlatie tussen beelden A001a en A001b, snelheidsvectorveld 2 tussen beelden A002a en A002b, enzovoort.

Voor de verwerking van de beeldenreeks moet dus eerst afgetoetst worden of het tijdsinterval tussen opeenvolgende beelden consistent is. Vervolgens moeten de beelden gekopieerd en hernoemd worden volgens het principe van Tabel 2. Om dit te faciliteren werd een python script geschreven. Een beschrijving hiervan en de bijbehorende gebruiksinstructies, is terug te vinden in Sectie 2.3.2.

2.2 Experimenten valsnelheid sediment

Het doel van deze experimenten was om de valsnelheden, bekomen na verwerking met OpenPIV, te vergelijken met een manuele bepaling op basis van pixelcoördinaten van een zichtbaar sedimentpartikel in opeenvolgende afbeeldingen. Hiervoor werden verschillende reeksen van afbeeldingen van bezinkend sediment opgenomen. Hiervoor werd zowel fijn zand ($d_{50} = 110 \mu\text{m}$) als parelmoer ($d_{50} = 484 \mu\text{m}$) gebruikt als sediment. Een reeks afbeeldingen werd opgenomen aan 30 Hz (aantal beelden per seconde). Op basis van deze reeks werden andere reeksen met lagere frame rates aangemaakt. Hiermee kan tevens de invloed van de frame rate op de resultaten en de minimaal vereiste frame rate bepaald worden.

De uitdaging bij deze opzet is het correct identificeren van hetzelfde sedimentpartikel in de opeenvolgende afbeelding(en) en de overeenkomstige snelheidsvector volgend uit de OpenPIV verwerking. Daarom werd er initieel geopteerd om de sediment concentraties laag te houden, om zo het onderscheiden van de verschillende sediment partikels te faciliteren. Experimenten met dergelijke lage concentraties werden dan ook uitgevoerd en verwerkt. De resultaten volgend uit de OpenPIV verwerking bleken echter weinig betrouwbaar, met een hoge gevoeligheid voor de gekozen grootte en overlap van de interrogatievensters. Met een variatie in deze parameters kon uiteindelijk wel een goede overeenkomst met de manueel bepaalde valsnelheden worden bereikt. Bij gebruik als tool van een nog ongekende valsnelheid is dit echter niet mogelijk. Bijgevolg kunnen deze experimenten niet als een succesvolle validatie beschouwd worden. Achteraf bekeken is de minder geschiktheid van OpenPIV voor lage partikel concentratie niet onlogisch. Voor Particle Image Velocimetry (PIV) wordt immers een minimale partikel concentratie gevraagd. Voor lagere concentraties zijn andere correlatie technieken, zoals Particle Tracking Velocimetry (PTV), beter geschikt.

De resultaten van deze experimenten werden per beeldenreeks opgeslagen in een Excelbestand. Voor iedere beeldenreeks zijn deze terug te vinden in afzonderlijke submappen op volgende locatie in de projectmap:

P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Validation\Low_concentration\Images.

De uitvoering van dit project werd verder gezet met beelden met een hogere concentratie van bezinkend sediment. Deze beelden werden eerder opgenomen tijdens de testfase van de opstelling. De verwerking ervan, zowel manueel als met OpenPIV, wordt verder besproken in dit hoofdstuk.

2.2.1 Manuele bepaling valsnelheid

Zoals aangegeven in sectie 1.2, is het voor een manuele bepaling van de valsnelheid van een sedimentpartikel noodzakelijk om hetzelfde partikel op opeenvolgende beelden terug te vinden. Om dit mogelijk te maken, worden de beelden eerst omgezet naar tweedimensionale matrices met genormaliseerde pixelwaarden. Deze conversie werd in dit project uitgevoerd met behulp van het “skimage”-pakket in Python. De pixelwaarden variëren tussen 0 (zwart) en 1 (wit).

Bij het openen van een matrix in de programmeeromgeving *Spyder* wordt gebruik gemaakt van een kleurenschaal waarbij lage pixelwaarden rood en hoge pixelwaarden blauw worden weergegeven. Deze kleurcodering vergemakkelijkt het visueel identificeren van partikels (zie Figuur 4). Aangezien de beweging van de partikels vrijwel verticaal is, kan het terugvinden van hetzelfde partikel in de matrix van het volgend beeld efficiënt gebeuren door in dezelfde pixelkolommen in lagere pixelrijen te zoeken. De eerste waargenomen structuur die een partikel vertegenwoordigt, wordt verondersteld hetzelfde partikel te zijn.

Een bijkomende controle kan worden uitgevoerd door de vorm en intensiteitsverdeling van de pixelwaarden in het gebied rond het geïdentificeerde partikel te vergelijken. Dit is bijvoorbeeld duidelijk te zien voor het partikel dat in Figuur 4 en in Figuur 5 wordt geïllustreerd. De helderste kern van dit partikel blijft zichtbaar in pixelkolom 80, hoewel de omliggende pixelwaarden een lichte verschuiving naar links aangeven. Op langere tijdschalen wordt deze verplaatsing nog duidelijker.

In het voorbeeld weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5 verplaatst het partikel zich verticaal over 16 pixelrijen (rij 487 naar rij 503). Deze verplaatsing komt overeen met een afstand van 1,067 mm in realiteit. Deze beelden zijn afkomstig uit een reeks met een frame rate van 7,5 Hz, wat resulteert in een tijdsinterval van 0,133 seconden tussen beide beelden. Hieruit volgt een valsnelheid van 8,00 mm/s. Op basis van de andere reeksen van dezelfde beelden, maar met verschillende frame rates (30 Hz, 5 Hz, 3 Hz en 1,58 Hz), werd consistent een valsnelheid van 8,00 mm/s vastgesteld.

Voor mogelijke toekomstige manuele verwerking van gelijkaardige beeldreeksen werd een Python-script ontwikkeld. Een beschrijving van dit script en de bijbehorende gebruiksinstructies is terug te vinden in Sectie 2.3.3.

	78	79	80	81	82	83
485	0.0586953	0.178736	0.106624	0.0191969	0.0350631	0.00900392
486	0.121745	0.254544	0.404711	0.194385	0.0570059	0.0353843
487	0.169029	0.554506	1	0.750837	0.118224	0.00733647
488	0.111537	0.550104	1	0.856733	0.190998	0.03458
489	0.0584227	0.346473	0.522349	0.515258	0.103109	0.00903294
490	0.0275396	0.045802	0.077649	0.102638	0.0637329	0.0114969

Figuur 4 – screenshot van de 2D matrix van pixelwaarden van een foto. De kleurschaal van rood naar blauw komt overeen met de pixelwaardes van 0 tot 1. De verzameling van hogere pixelwaarden rond pixel met coördinaten (488, 80) geeft de weergave van een sediment partikel op die locatie in de afbeelding weer.

	78	79	80	81	82	83
501	0.095389	0.146407	0.132387	0.044862	0.0339173	0.0218776
502	0.185995	0.360807	0.384586	0.13026	0.0339612	0.0247059
503	0.213203	0.856827	1	0.479372	0.0962824	0.00395843
504	0.217104	0.921505	1	0.502185	0.0691973	0.0339925
505	0.085949	0.48982	0.655831	0.355213	0.058111	0.0222271
506	0.0437898	0.0288945	0.0992094	0.0729427	0.0337388	0.0468812

Figuur 5 – screenshot van de 2D matrix van pixelwaarden van de foto volgend op de foto voorgesteld in Figuur 4. De verzameling van hogere pixelwaarden in dezelfde pixelkolommen als in Figuur 4 maar in lagere pixelrijen geeft het bezinken van het sediment partikel in de tijd weer.

Bij het manueel bepalen van de valsnelheid van een sedimentpartikel gaat de voorkeur uit naar het gebruik van een beeldreeks met een lager frame rate. Een langere tijdsduur tussen opeenvolgende beelden resulteert immers in een grotere verplaatsing van het partikel, wat leidt tot een hogere resolutie bij het bepalen van de valsnelheid (zie Tabel 3). Daartegenover staat dat een lager frame rate het moeilijker maakt om het juiste partikel te identificeren in de volgende beelden. Een evenwicht tussen de twee zal gevonden moeten worden en is verschillend voor ieder beeldenreeks.

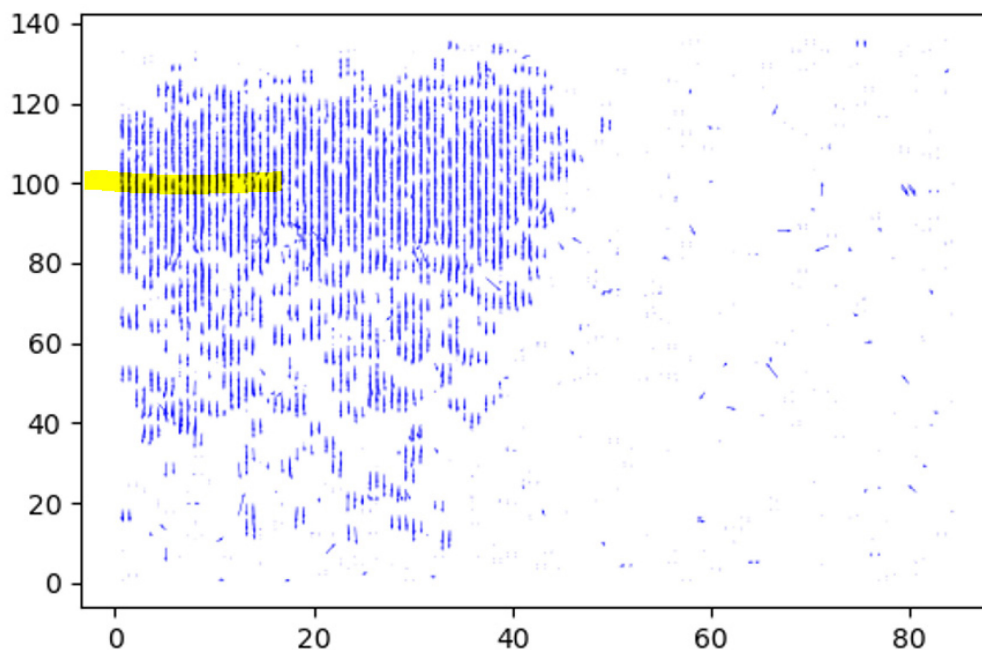
Tabel 3 – Correlatie tussen frame rate en de maximale resolutie van de valsnelheid in geval van 0,067 mm/pixel. Hoe lager het frame rate hoe hoger de resolutie van de valsnelheid.

Frame rate	Resolutie valsnelheid
30 Hz	2,000 mm/s
20 Hz	1,333 mm/s
7,5 Hz	0,500 mm/s
5 Hz	0,333 mm/s
3 Hz	0,200 mm/s
1,58 Hz	0,105 mm/s

2.2.2 Bepaling valsnelheid met OpenPIV

OpenPIV (Liberzon 2020) is een open-source softwarepakket ontwikkelt voor de applicatie van Particle Image Velocimetry (PIV). Bijgevolg leent het zich goed voor deze applicatie. Het script dat werd gebruikt in dit project, wordt verder toegelicht in Sectie 2.3.4.

Zoals vermeld in Sectie 1.1.3 moet de input bestaan uit paren van opeenvolgende beelden. De output bestaat uit snelheidsvectorvelden, beschikbaar in zowel afbeeldingsformaat (PNG – zie Figuur 6) als tekstformaat (TXT – zie Figuur 7). Ieder vectorveld beslaat hetzelfde gebied als de beelden. In het TXT bestand worden de vectoren beschreven aan de hand van hun coördinaten (in mm), hun horizontale en verticale componenten (in mm/s), en de bijhorende Signal-to-Noise ratio (S2N ratio). Deze S2N ratio wordt veelal gebruikt als filtercriterium voor de output: hoe hoger de S2N ratio, hoe betrouwbaarder de vector. Naargelang de toepassing wordt doorgaans een ondergrens tussen 1,25 en 1,50 beschouwd.



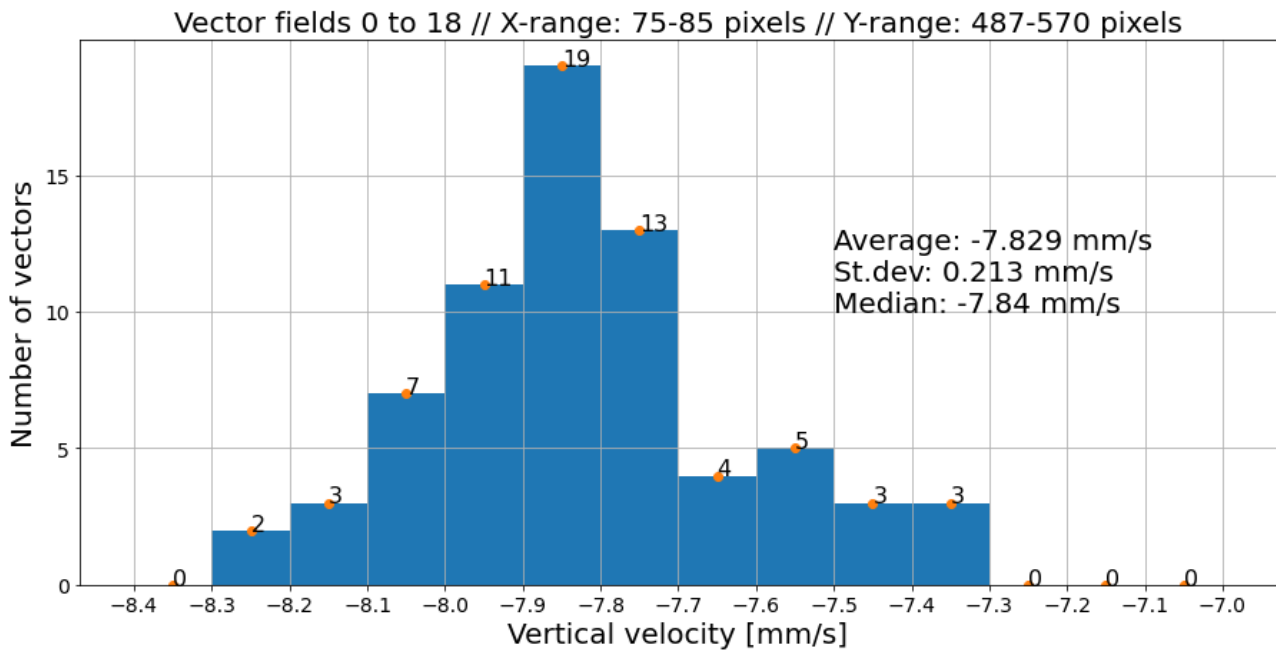
Figuur 6 – Snelheidsvectorveld zoals geproduceerd met OpenPIV. Het raster geeft de coördinaten weer in millimeters. De vectoren staan in het blauw. Hun richting en magnitude is onduidelijk in dit voorbeeld omwille van de hoge resolutie en lage snelheid. Afgezien van een eerste kwalitatieve verificatie van de resultaten hebben deze figuren ook geen verder nut. De geel gemarkeerde vectoren komen overeen met de selectie van in Figuur 7 kwantitatief getoonde vectoren.

#	x	y	u	v	s2n
0.7333	100.4667	100.4667	0.0656	-7.6229	7.1936
1.4667	100.4667	100.4667	0.0765	-7.6201	10.4495
2.2000	100.4667	100.4667	-0.3089	-8.1904	25.1942
2.9333	100.4667	100.4667	-0.2163	-7.6554	95.8328
3.6667	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
4.4000	100.4667	100.4667	0.0029	-7.1995	9.9677
5.1333	100.4667	100.4667	-0.0969	-7.3288	2.7508
5.8667	100.4667	100.4667	-0.1349	-7.4333	2.9788
6.6000	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
7.3333	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
8.0667	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
8.8000	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
9.5333	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
10.2667	100.4667	100.4667	-0.0960	-7.5128	3.6436
11.0000	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
11.7333	100.4667	100.4667	0.0482	-8.1299	32.4978
12.4667	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
13.2000	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
13.9333	100.4667	100.4667	0.1231	-7.4392	174.7201
14.6667	100.4667	100.4667	0.0592	-8.1239	2.9303
15.4000	100.4667	100.4667	-0.0934	-8.6285	13.7265
16.1333	100.4667	100.4667	-0.3591	-7.7192	39.6306
16.8667	100.4667	100.4667	nan	nan	0.0000
17.6000	100.4667	100.4667	-0.1907	-3.4592	5.8793
18.3333	100.4667	100.4667	0.1354	-6.3591	3.2180

Figuur 7 – Snapshot van een deel van het txt-bestand overeenkomstig met het snelheidsvectorveld in geel gemarkeerd in Figuur 6. De kolommen X en Y geven de coördinaten van de vectoren [mm]. Kolommen U en V geven respectievelijk de horizontale en verticale component van de snelheidsvectoren weer [mm/s]. S2N is de “Signal – to – noise ratio” van iedere vector [-].

De resolutie van het snelheidsvectorveld wordt bepaald door de grootte van de interrogatie vensters en hun overlap. De optimale venstergrootte is afhankelijk van de grootte en kwaliteit van de beelden en kan niet op voorhand gedefinieerd worden. Verwerking van eenzelfde beeldenreeks (30 Hz) werd dan ook gedaan met verschillende venstergroottes. De meest optimale venstergrootte kan achteraf bepaald worden aan de hand van de output. Aangezien de opnames werden gemaakt met een vaste opstelling (zie Sectie 1.1.1), mag worden aangenomen dat dit voor alle beelden gegeneerd binnen dit project gelijkaardig is.

De output in txt-formaat wordt gebruikt voor verdere analyse. Aangezien er geen éénduidige valsnelheid kan worden bepaald, wordt een histogram van alle gemeten valsnelheden gegenereerd (zie Figuur 8). Het Python script dat hiervoor gebruikt werd, wordt beschreven in Sectie 2.3.5. Het script laat toe om aan de hand van de pixelcoördinaten een interessegebied te definiëren waarbij enkel die vectoren die in het interessegebied voorkomen in rekening worden genomen voor het histogram. Om de bekomen valsnelheden te vergelijken met de manueel bepaalde valsnelheden, is het dan ook aangeraden om het interessegebied te beperken tot een gebied waarin de, voor de manuele analyse, geselecteerde partikels bewegen.



Figuur 8 – Histogram gebaseerd op een reeks van 19 snelheidsvectorvelden. Het interessegebied werd in breedte beperkt tussen pixelkolommen 75 en 85 en in hoogte tussen pixelrijen 487 en 570, conform de valbeweging van het partikel afgebeeld in Figuur 4 en Figuur 5. De gemiddelde valsnelheid, bijhorende standaard afwijking en mediaan worden meegegeven voor verdere analyse.

2.3 Validatie output OpenPIV

2.3.1 OpenPIV vs manueel

De paren van de beeldenreeks die gebruikt werden voor deze validatie staan in de submap ‘Images’ van onderstaande locatie in de projectmap.

P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Validation\Normal_concentration_(pre_project)

Voor de manuele bepaling van de valsnelheid werden, op basis van de beelden, twee goed zichtbaar bezinkende partikels geselecteerd. De valsnelheden hiervan werden bepaald zoals beschreven in Sectie 1.2. Omwille van de invloed op de nauwkeurigheid werd de manuele valsnelheid bepaald voor verschillende frame rates, zijnde 30 Hz, 7,5 Hz, 5 Hz, 3 Hz en 1,58 Hz.

Bepaling van de valsnelheid door middel van OpenPIV werd gelijkaardig meerdere malen uitgevoerd, telkens met een verschillende grootte van de interrogatie vensters en hun overlap.

De resultaten van deze analyses worden hieronder samengevat in Tabel 4 en Tabel 5. Meer details staan in de twee Excelbestanden, welke terug te vinden zijn in bovengenoemde locatie in de projectmap.

Tabel 4 – Samenvattende tabel van de gevonden valsnelheden van een partikel.
De valsnelheden werden zowel manueel als met de hulp van OpenPIV bepaald.

Manueel		OpenPIV	
Frame rate [Hz]	Valsnelheid [mm/s]	Venstergrootte [pixels]	Valsnelheid [mm/s]
30	8,00	32/16	7,793 ± 0,179
7,5	8,00	24/12	7,829 ± 0,213
5	8,00	22/11	7,727 ± 0,228
3	8,00	20/10	7,814 ± 0,257
1,58	8,00	16/8	7,659 ± 1,137

Tabel 5 – Samenvattende tabel van de gevonden valsnelheden van een ander partikel.
De valsnelheden werden zowel manueel als met de hulp van OpenPIV bepaald.

Manueel		OpenPIV	
Frame rate [Hz]	Valsnelheid [mm/s]	Venstergrootte [pixels]	Valsnelheid [mm/s]
30	8,00	32/16	7,487 ± 0,278
7,5	8,00	24/12	7,554 ± 0,417
5	7,67	22/11	7,473 ± 0,465
3	7,80	20/10	7,424 ± 0,559
1,58	7,79	16/8	7,136 ± 1,773

Observaties

- de standaard deviatie op de gemiddelde valsnelheid bepaald met OpenPIV neemt toe met afnemende grootte van de interrogatie vensters en hun overlap
- voor beide analyses (partikel 1 en 2) neemt de standaard deviatie een grote sprong bij venstergrootte 16/8 pixels. Venstergroottes van 20/10 pixels kunnen dus als een minimum beschouwd worden
- De met OpenPIV bepaalde valsnelheden zijn consequent lager dan de manueel bepaalde valsnelheden:

Valsnelheid	Manueel (gemiddelde)	OpenPIV (gemiddelde, excl 16/8)	Ratio
Partikel 1	8,00 mm/s	7,79 mm/s	97,4 %
Partikel 2	7,75 mm/s	7,48 mm/s	96,5 %

Conclusie

Het manueel bepalen van de valsnelheid op basis van beelden, zoals beschreven in dit document is praktisch haalbaar. Bijgevolg is het een betrouwbare referentie om de juistheid van de resultaten volgend uit de verwerking met OpenPIV op af te toetsen.

Met een maximale afwijking van 3,5 % ten opzichte van de manueel bepaalde valsnelheid kan gesteld worden dat de resultaten bepaald door middel van OpenPIV correct en betrouwbaar zijn. De wederkerende lagere valsnelheid ten opzichte van de manuele analyse is opvallend, niettemin kan hier niet direct een verklaring voor gevonden worden.

2.3.2 OpenPIV vs Streams

Zoals vermeld in Sectie 1.1 werd de fysieke opstelling van een eerder project (18_148) hergebruikt. Tijdens dit project hebben meerdere studenten de opstelling gebruikt ter bepaling van de valsnelheid van sediment. Het concept van de door hun toegepaste techniek was gelijkaardig met de werkwijze tijdens dit project (zie Sectie 1.2), namelijk het bepalen van de valsnelheid op basis van camerabeelden door middel van beeldverwerkingssoftware. Het verschil zit in de gebruikte software. In project 18_148 werd Streams (Nokes, 2019) gebruikt. Binnen het WL is er echter geen expertise aanwezig met betrekking tot deze software. Bijgevolg wordt het door de studenten ontwikkelde script als een “black box” ervaren. Dit was dan ook de aanleiding naar de opstart van dit onderzoek. Door output bekomen met het Streams script ontwikkeld in project 18_148 onderling te vergelijken met de output van het eerder gevalideerde OpenPIV script, kan het resultaat van project 18_148 beter beoordeeld worden.

Hiervoor werd een willekeurige dataset uit project 18_148 (student Geoffrey Havermans (TU Delft)) gebruikt. De dataset is terug te vinden in volgende map:

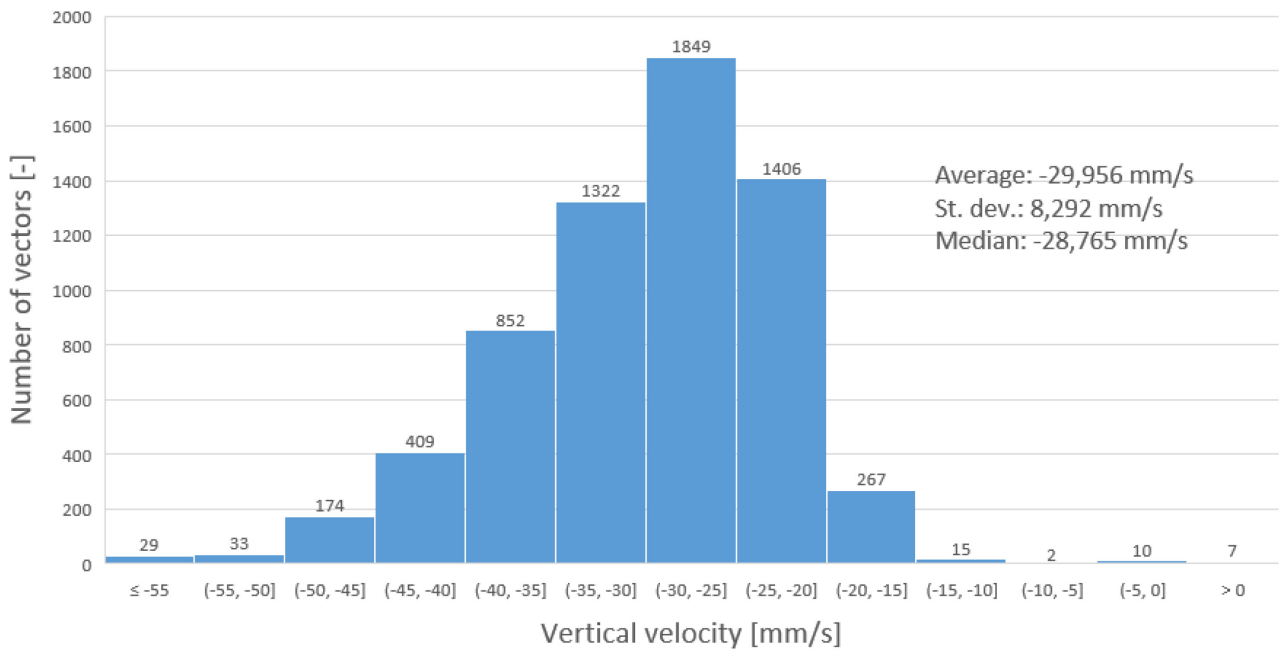
```
P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\18_148_data\Exp_3-10_Sample_2
```

De map “images” bevat de originele beelden en bestand “Sample2.txt” de output na verwerking van die beelden met het Streams script. Zonder de structuur van het output bestand volledig te doorgronden, is het duidelijk dat er voor ieder beeld (frame) meerdere valsnelheden zijn bepaald. De framenummers worden weergegeven in de tweede kolom. De verticale component van de valsnelheden in de twaalfde kolom. Voor deze vergelijkende studie werden enkel de beelden 2 tot en met 99 beschouwd. Door middel van MS Excel werd een histogram opgemaakt van alle valsnelheden, zie Figuur 9.

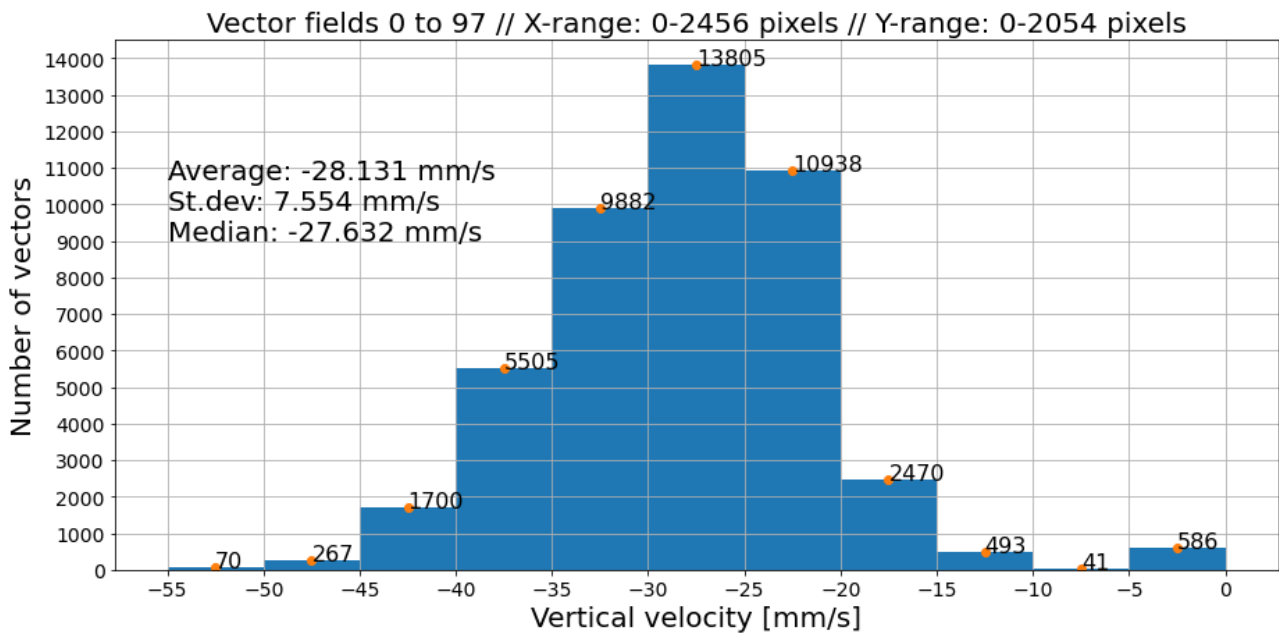
Om de verwerking van dezelfde beeldenreeks met OpenPIV te faciliteren, werden de beelden eerst omgezet geconverteerd naar een grijswaarden-figuur en opgeslagen in Bitmap format. Hiervoor werd het python script “Convert_PNG_to_BMP.py” ontwikkeld en toegepast. Aangezien een dergelijke conversie ook mogelijk is met standaard beeldverwerkingssoftware; en omdat de beelden gegenereerd met de opstelling zoals beschreven in Sectie 1.1 geen pre-processing vereisen, wordt dit script niet verder toegelicht in Sectie 2.2. Het scrip is wel terug te vinden op volgende serverlocatie:

```
P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\18_148_data
```

De verwerking van de beelden werd uitgevoerd zoals beschreven in Sectie 1.2.2. Er werd geen specifiek interessegebied gedefinieerd, waardoor de beelden in hun volledigheid werden beschouwd. Het resulterende histogram is weergegeven in Figuur 10.



Figuur 9 – Histogram op basis van de output van het Streams script na verwerking van beelden 2 tot en met 99 van beeldenreeks Exp_3-10_Sample_2 uit project 18_148. De gemiddelde verticale snelheid alsook de standaard deviatie staan mee vermeld.



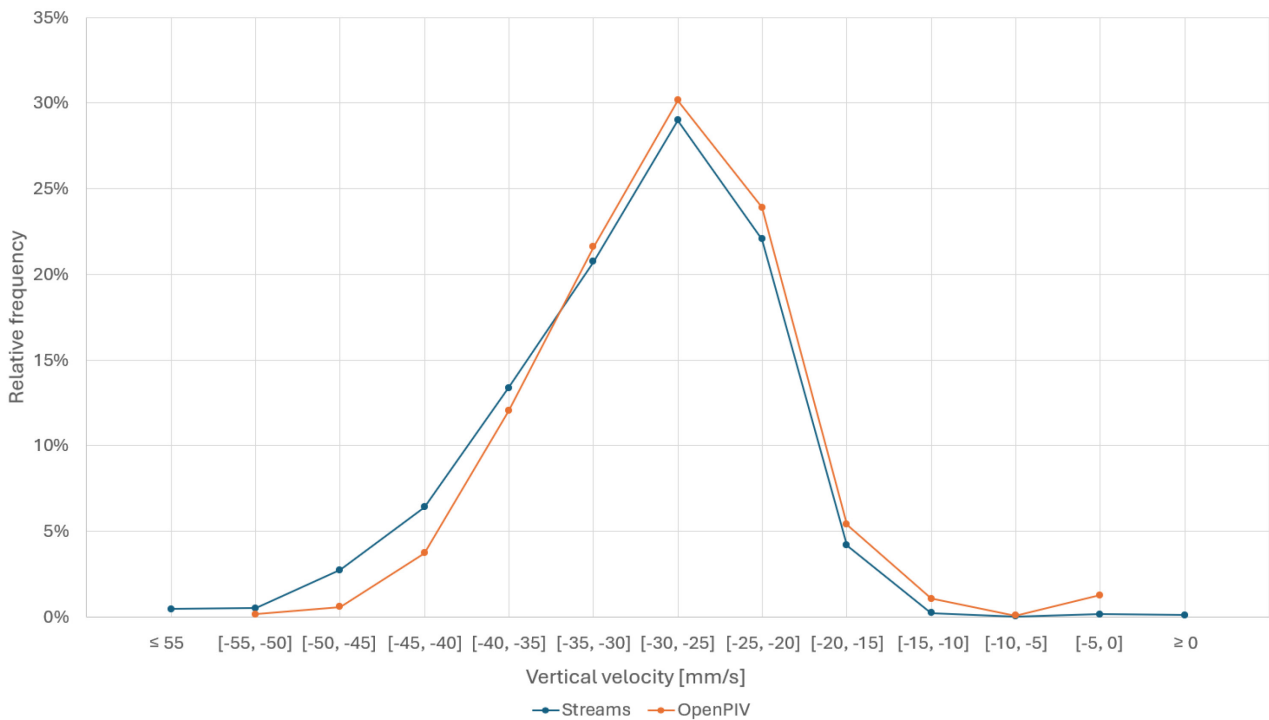
Figuur 10 – Histogram op basis van de output van OpenPIV na verwerking van beelden 2 tot en met 99 van beeldenreeks Exp_3-10_Sample_2 uit project 18_148. De gemiddelde verticale snelheid alsook de standaard deviatie staan mee vermeld.

Observaties

- de gemiddelde snelheid alsook de standaard deviatie zijn zeer gelijkaardig
- de vorm van de histogrammen zijn zeer gelijkaardig
- het aantal metingen is vele malen hoger bij de verwerking met OpenPIV.

Conclusies

Op basis van de observaties kan reeds gesteld worden dat de output van het Streams script en van OpenPIV goed overeenkomen. Het grote verschil in het aantal metingen is opvallend en is te verklaren door het fundamentele verschil in achtergrond tussen beide algoritmes. Streams is ontwikkelt voor PTV toepassingen, terwijl OpenPIV voor PIV toepassingen. Het verschil tussen de twee betreft voornamelijk de dichtheid van de partikels: bij PTV wordt getracht de beweging van individuele partikels te volgen, waardoor de dichtheid laag moet blijven, terwijl PIV juist een minimale dichtheid vereist om tot betrouwbare resultaten te komen (zie Sectie 2.2). Het verschil in aantal snelheidsvectoren als resultaat, is dan ook een rechtstreeks gevolg van dit verschil in werking tussen beide algoritmes. Om eventuele invloed hiervan uit te sluiten, werd de relatieve frequentie van beide histogrammen weergegeven in Figuur 11. Deze vertonen nagenoeg een volledige overlap, wat de goede overeenkomst bevestigt.



Figuur 11 – Vergelijking van de relatieve frequenties van de histogrammen van Figuur 9 en Figuur 10.

3 Procedure en scripts

3.1 Werkingsprincipe

3.2 Ontwikkelde en gebruikte python scripts

3.2.1 Correlatie pixels/mm

Python script: Resolution_calibration.py

Te vinden in map: P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Calibration

Beschrijving:

Dit script detecteert de pixelrijen en -kolommen die de lijnen op het referentiepapier bevatten op basis van pixelwaarden. Het resultaat is een txt-bestand met een tabel van verschillende pixelafstanden overeenstemmend met de referentie (in dit geval 1 mm). Bij grote verschillen in pixelafstanden moet het aantal iteraties worden verhoogd om uitschieters te verwijderen. De uiteindelijke resolutie wordt niet beschouwd als het gemiddelde van de resterende resultaten. De pixelwaarde die (veruit) het meest voorkomt, wordt beschouwd als correct en gebruikt ter bepaling van de pixels/mm.

Instructies:

regel 18: voer het adres van de map met de afbeelding in

regel 19: voer het adres van de map waarin je de kalibratieresultaten wilt opslaan in

regel 31: voer de referentiewaarde (gekende afstand tussen twee lijnen) in, in dit geval 1 mm.

regel 34: maak een lijst van pixelkolomnummers waarvan je zeker weet dat ze niet overeenkomen met een verticale lijn op het referentiepapier. Gebruik hiervoor de geplotte afbeelding en/of controleer de pixelwaarden van de afbeelding in de array "Im".

regel 35: maak een lijst van pixelrijnummers waarvan je zeker weet dat ze niet corresponderen met een horizontale lijn op het referentiepapier. Gebruik hiervoor de geplotte afbeelding en/of controleer de pixelwaarden van de afbeelding in de array "Im".

regel 61: selecteer het aantal iteraties dat je toestaat om uitschieters in de gedetecteerde gegevens te verwijderen. Meer iteraties resulteren in een hogere nauwkeurigheid, maar ten koste van gegevensverlies. Als er onvoldoende resultaten zijn, voeg dan meer kolommen en/of rijen toe in regel 34 en 35 (zie hierboven).

regel 91: hetzelfde als regel 61 maar dan voor de rijen

regel 113: voer de bestandsnaam in van het txt bestand waarin de resultaten worden weg geschreven

3.2.2 Voorbereiding beeldenreeks

Python script: Create pairs.py

Te vinden in map: P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Validation\Python_scripts

Beschrijving

Tijdens de opnames worden de beelden opgeslagen als bitmapbestanden (BMP-formaat). Het laatste deel van de bestandsnaam bevat de timestamp van de opname. De datum wordt weergegeven in het formaat jjjj-mm-dd, gevolgd door het tijdstip in het formaat uu-mm-sss, waarbij de seconden in milliseconden worden weergegeven. Een voorbeeld van een bestandsnaam staat hieronder. De milliseconden van de timestamp staan vermeld in **blauw**.

25_004_FS_t2_1_15107161865_2025-1-30-13-35-13-900.BMP

De bestandsgrootte van een enkel beeld kan oplopen tot bijna 15 MB. In combinatie met een opnamesnelheid van 30 beelden per seconde (30 Hz) kan dit leiden tot een te hoge belasting van de datatransfer hardware. Hierdoor bestaat het risico dat de opslag van één of meerdere beelden uit de reeks wordt overgeslagen en is het tijdsinterval tussen opeenvolgende beelden niet consistent.

Om te voldoen aan de eerder vermelde voorwaarden (zie Sectie 1.1.3), dient eerst te worden geverifieerd of het tijdsinterval tussen opeenvolgende beelden wel consistent is. Dit script analyseert dit op basis van de millisecondencomponent uit de tijdstempels in de bestandsnamen. Het script berekent het verschil in milliseconden tussen opeenvolgende beelden en slaat deze waarden op in een ééndimensionale matrix, genaamd "Time_gaps".

Afgezien van een maximale afwijking van 1 milliseconde moeten alle waarden in deze matrix identiek zijn. Indien dit niet het geval is, genereert het script een melding en wordt de uitvoering ervan stopgezet. De index of indices van de afwijkende waarden in de "Time_gaps"-matrix geven aan welke beelden ontbreken. Op basis van deze informatie kan de oorspronkelijke beeldenreeks worden ingekort tot een reeks met consistente tijdsintervallen. Deze stap moet handmatig worden uitgevoerd via de Windows Verkenner en wordt niet automatisch door het script afgehandeld.

Na het handmatig corrigeren van de beeldenreeks kan het script opnieuw worden uitgevoerd. Indien de tijdsintervallen nu wel consistent zijn, worden de bijhorende bestanden automatisch gekopieerd en hernoemd. Deze aangepaste beelden worden opgeslagen in een nieuwe map met de naam "Img_pairs", die wordt aangemaakt als submap in de map van de oorspronkelijke beelden.

Instructies

regels 22 – 24: voer het adres van de map met de originele beelden in

regel 41: voer het aantal lettertekens van de bestandslocatie + naam, voorafgaand aan de milliseconden notatie in (*).

Tip: bepaling van het aantal lettertekens:

- *Run het script na het correct ingeven van de bestandslocatie (regels 22-24)*
- *Een lijst genaamd "imgs_names" wordt aangemaakt en bevat de bestandslocaties van alle beelden*
- *Open de lijst en dubbelklik op een bestandslocatie. Kopieer de volledige bestandslocatie naar een MS Word bestand.*
- *Selecteer de relevante lettertekens zoals aangegeven in het vb onderaan.*
- *Het aantal lettertekens wordt vermeld in de onderste werkbalk van MS Word.*

Zoals vermeld in de beschrijving kan het nodig zijn om dit script meerdere keren te starten voordat de beeldenreeks geschikt is voor verdere verwerking met OpenPIV.

(*) voorbeeld:

[P:/25_004-Valsnel_sed/3_Uitvoering/18_148_data/Exp_3-10_Sample_2/Images/BMP\UnnamedTest_250_1364059013_2019-10-3-9-13-50-516.bmp](#)

➔ 121 lettertekens

3.2.3 Manuele bepaling valsnelheid

Python script: manual_velocity_assessment.py

Te vinden in map: P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Validation\Python_scripts

Beschrijving

Bij uitvoering van dit script wordt het geselecteerde beeld geplott met een horizontaal raster van 50 pixels en een verticaal raster van 100 pixels. Dit raster biedt een eerste visuele indicatie van de pixelcoördinaten waar sedimentpartikels zich bevinden. Daarnaast wordt ook een 2D matrix aangemaakt die de genormaliseerde pixelwaarden van de figuur bevat. Deze matrix wordt bewaard als een variabele met naam "Im". Het script wordt bij voorkeur uitgevoerd in de programmeeromgeving *Spyder*. Hierin is het immers mogelijk om de matrix te openen en eenvoudig te doorzoeken op basis van de pixelcoördinaten. Figuur 4 en Figuur 5 zijn snapshots van het venster waarin de 2D matrix wordt getoond.

Instructies

regels 18 - 19: voer het adres van de map met de juiste beelden in

regel 27: geef de bestandsnaam van de figuur die je wil bekijken in

3.2.4 OpenPIV

Python script: 2_OpenPiv_windex_client.py

Te vinden in map: P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Validation\Python_scripts\OpenPIV

Beschrijving

OpenPIV (Liberzon 2020) is een open-source softwarepakket ontwikkelt voor de applicatie van Particle Image Velocimetry (PIV). Initieel werd het ontwikkeld in zowel Python als MATLAB, maar sinds 2021 wordt de MATLAB versie niet langer ondersteund. Instructies voor installatie van de software zijn beschikbaar op <https://openpiv.readthedocs.io/en/latest/>. Na installatie kan bovengenoemd script geopend en gebruikt worden.

Instructies

regels 25 – 28: voer het adres van de map met de beeldparen in

regel 31: geef de naam van het experiment op

regel 32: geef het frame rate van de beeldenreeks op [Hz]

regel 33: geef de correlatie tussen mm en pixels op [pixels/mm]

de correlatie voor dit project is 15 pixels/mm (zie Sectie 1.1.2)

regel 64: bepaal factor "m" voor de grootte van de interrogatie vensters en hun overlap

Opmerking:

de grootte van de vensters en hun overlap wordt eigenlijk vastgelegd in respectievelijk regels 71 en 74. Voor deze dimensies gelden enkele vuistregels, welke wat kennis en ervaring in het gebruik van dit OpenPIV vergen. Voor deze toepassing werd daarom gekozen om de vrijheid in keuze van deze dimensies te beperken tot één enkele factor, zijnde factor "m".

In het vervolg van het script worden nog filters gedefinieerd. Op basis van de ingestelde grenswaarden van deze filters worden vectoren al dan niet weerhouden van de output. Voorbeelden zijn onder andere, de maximale verplaatsing tussen twee frames (regel 105), de standaard deviatie (regel 111) of mediaan (regel 113). Aangezien het bepalen van de valsnelheid van sediment resulteert in een spectrum van valsnelheden, zijn deze filters eerder ongewenst. De grenswaarden voor deze filters zijn daarom zodanig hoog ingesteld dat ze geen invloed meer hebben op het resultaat.

De enige actieve filter betreft die van de S2N ratio (regel 122). De minimale S2N ratio staat standaard op twee, wat als een redelijk strikte grenswaarde kan worden beschouwd (zie Sectie 1.2.2). De kwaliteit van de beelddata laat dit echter toe zonder te resulteren in een te weinig aan vectoren. Bovendien komt het de kwaliteit en betrouwbaarheid van de resulterende vectoren alleen maar ten goede.

3.2.5 Analyse output OpenPIV

Python script: Statistics_OpenPIV_results.py

Te vinden in map: P:\25_004-Valsnel_sed\3_Uitvoering\Validation\Python_scripts

Beschrijving

Zoals beschreven in Sectie 1.2.2 genereert het OpenPIV script voor ieder vectorveld een txt-bestand. Deze bestanden bevatten de coördinaten en waarden van de berekende vectoren en worden gebruikt voor verdere analyse van de valsnelheid. Bovengenoemd script genereert een histogram van de berekende valsnelheden en berekent tevens de gemiddelde valsnelheid en bijhorende standaard deviatie.

Voor een volledige analyse van de valsnelheid van een sediment, kunnen de vectorvelden best in hun totaliteit worden beschouwd. Indien bijvoorbeeld enkel die vectoren overeenkomstig met de manuele analyse (Sectie 1.2.1) in rekening genomen moeten worden, kan een beperkter interessegebied worden gedefinieerd op basis van pixelcoördinaten. Net zoals bij de manuele analyse worden altijd enkel de verticale componenten van de vectoren in rekening genomen. De horizontale componenten zijn veelal vele malen kleiner en worden daarom niet verder beschouwd.

Instructies

- regels 14 – 16: voer het adres van de map met de beeldparen gebruikt voor de OpenPIV analyse in
- regel 23: voer de hoogte van een afbeelding in
- regels 25 - 26: bepaal de verticale grenzen van je interessegebied
- regels 28 – 29: bepaal de horizontale grenzen van je interessegebied
- regel 31: geef de correlatie tussen mm en pixels op [pixels/mm]
- regel 36: controleer het adres van de map met OpenPIV output
- regel 41: limiteer het aantal vectorvelden die in rekening worden genomen
- regel 66: definieer de minimum en maximum valsnelheden die je op het histogram wil tonen alsook de grootte van de tussenstappen (bins)
- regel 80: pas de verticale schaal aan naar de maximum af te beelden waarde
- regel 81: pas de coördinaten van het tekst vak voor de gemiddelde snelheid en standaard deviatie aan, indien nodig

Referenties

Liberzon A, Lasagna D, Aubert M, et al. Openpiv/openpiv-python: openpiv - python (v0.22.2) with a new extended search piv grid option. Zenodo. 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3930343>

Nokes, R. (2019). Streams 3.02 - Theory and design. Christchurch, Canterbury, New-Zeeland: University of Canterbury.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be