



# Het onderzoeken van waterlopen

(Stroomsnelheid, doorstroomoppervlak en debiet)

Bron: Geopacks – Flowmeter Operation Manual  
Nederlandse vertaling: Wiet van Bragt  
Versie: december 2018

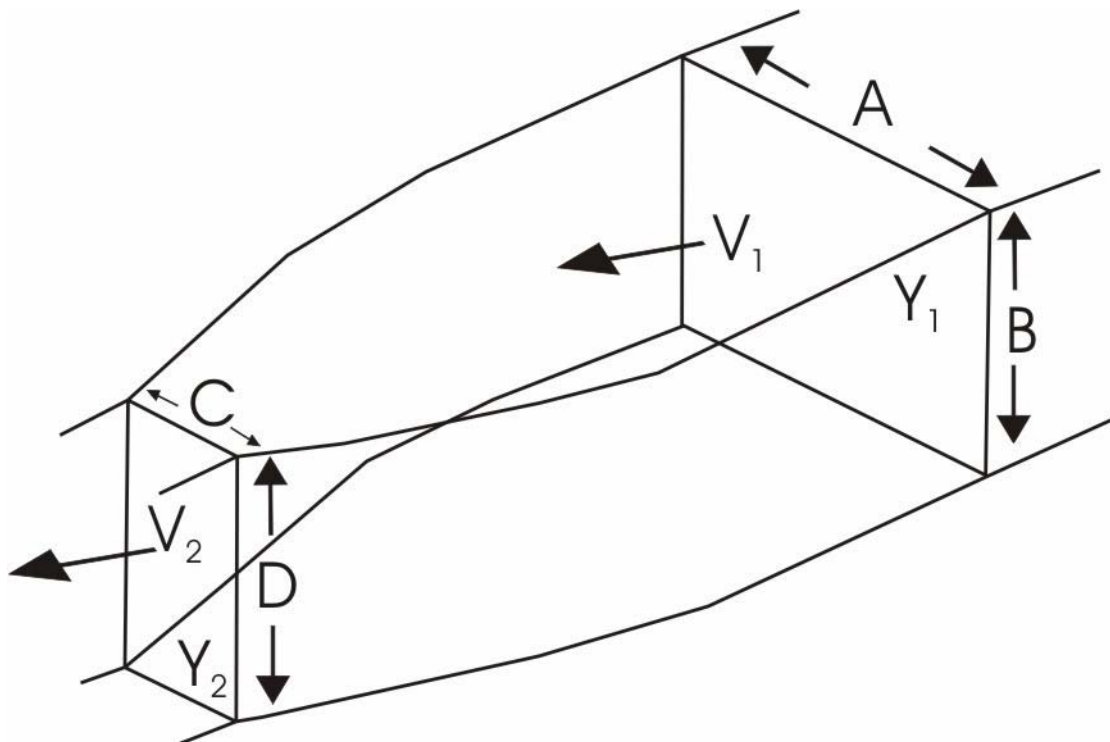
## Inhoud

<b>Stroomsnelheid .....</b>	<b>4</b>
<b>Beschrijven van stromingen .....</b>	<b>5</b>
<b>Sediment Transport.....</b>	<b>6</b>
<b>Veldwerk – het bestuderen van waterlopen.....</b>	<b>7</b>
Stroomsnelheid meten.....	7
Het dwarsprofiel van een waterloop uitmeten .....	8
Debiet van een waterloop berekenen.....	9
Stromingspatronen in een waterloop in beeld brengen .....	13
<b>Veiligheidsoverwegingen WEES ALERT – WEES VEILIG .....</b>	<b>15</b>

## Stroomsnelheid

Een bewegende vloeistof heeft een aantal belangrijke eigenschappen. De stroomsnelheid van een vloeistof hangt af van de dwarsdoorsnede van de waterloop (oftewel de doorstroomopening) en van de hoeveelheid vloeistof die per tijdseenheid door dat punt stroomt. Dit laatste wordt het DEBIET genoemd en laat goed het principe van behoud van massa zien.

Figuur 1 Dwarsdoorsneden van een rivier en stroomsnelheden



In de waterloop van figuur 1 is de hoeveelheid water die per seconde langs doorsnede  $Y_1$  stroomt – het DEBIET ( $Q$ ) – gelijk aan:

$$Q = A \cdot B \cdot V_1$$

en op dezelfde manier langs doorsnede  $Y_2$ :

$$Q = C \cdot D \cdot V_2$$

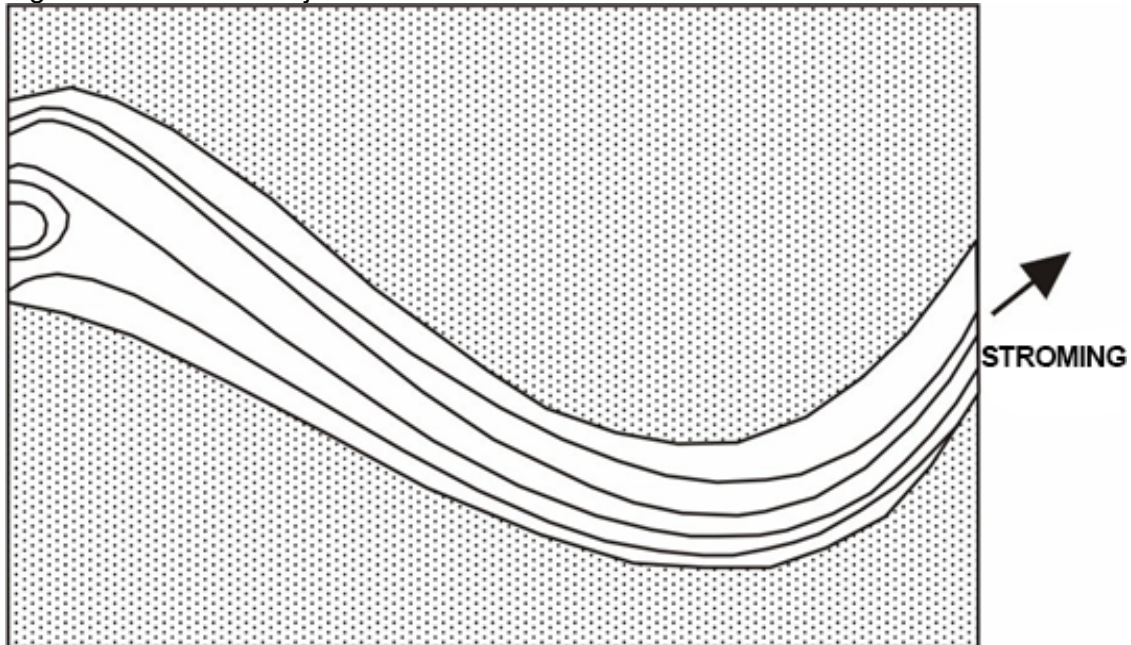
In deze vergelijkingen zijn  $A$  en  $C$  de breedtes en  $B$  en  $D$  de dieptes van de waterloop bij de twee doorsnedes, en  $V_1$  and  $V_2$  zijn de stroomsnelheden. Omdat hetzelfde DEBIET ( $Q$ ) door beide doorsnedes stroomt zal de stroomsnelheid afhangen van het verschil tussen  $A \cdot B$  en  $C \cdot D$  (de oppervlakte van de doorstroomopening); m.a.w. als de loop ofwel smaller ofwel ondieper wordt zal de stroomsnelheid toenemen en andersom.

Dit principe verklaart veel van de variaties in de hydromorfologie van waterlopen en stroomsnelheden. Het is daarom van belang dat dit principe goed wordt begrepen door iedereen die serieus van plan is veldwerk metingen aan rivieren en andere waterlopen te doen. Door het bepalen van doorstroomoppervlaktes en debieten op een aantal verschillende doorsnedes van een waterloop is dit goed aan te tonen.

## Beschrijven van stromingen

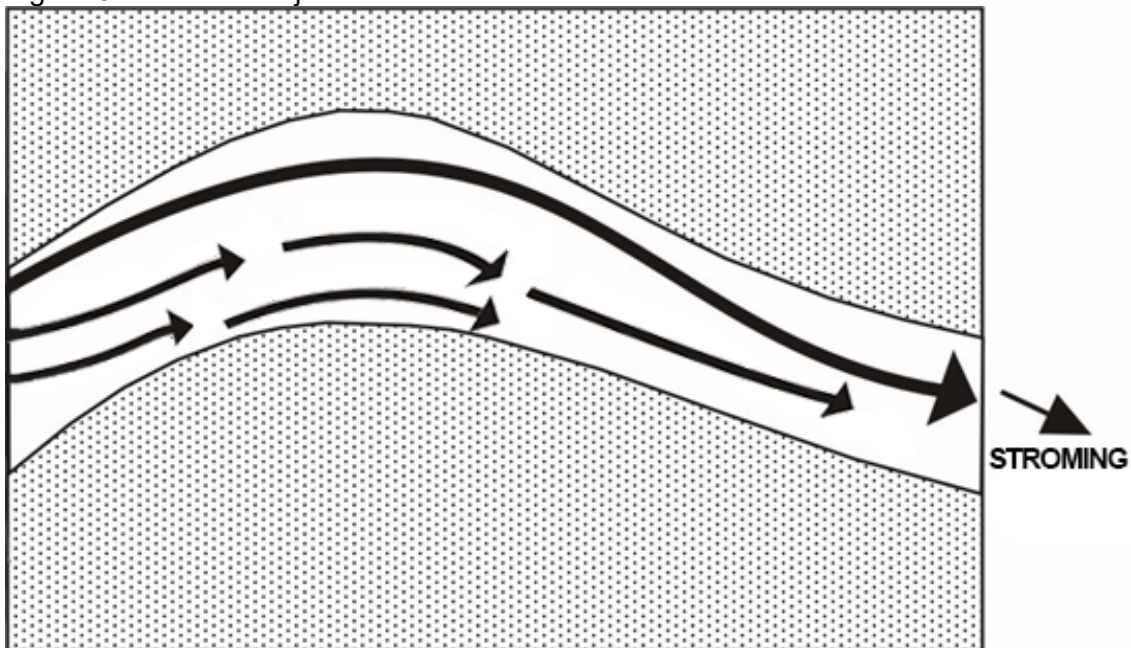
Om de stromingseigenschappen van waterlopen te begrijpen is het handig om STROOMLIJNEN en VECTORLIJNEN te bepalen. Figuur 2 laat zien hoe Stroomlijnen de mogelijke routes van een enkel vloeistofdeeltje beschrijven.

Figuur 2 Stroomlijnen in een stroom rond een meander



Vectorlijnen laten zowel de stromingsrichting als de stroomsnelheid zien. Hoe langer en breder de lijn, hoe groter de stroomsnelheid. Vectorlijnen beschrijven bruikbare informatie over de stromingseigenschappen van een waterloop.

Figuur 3 Vectorlijnen in een stroom rond een meander

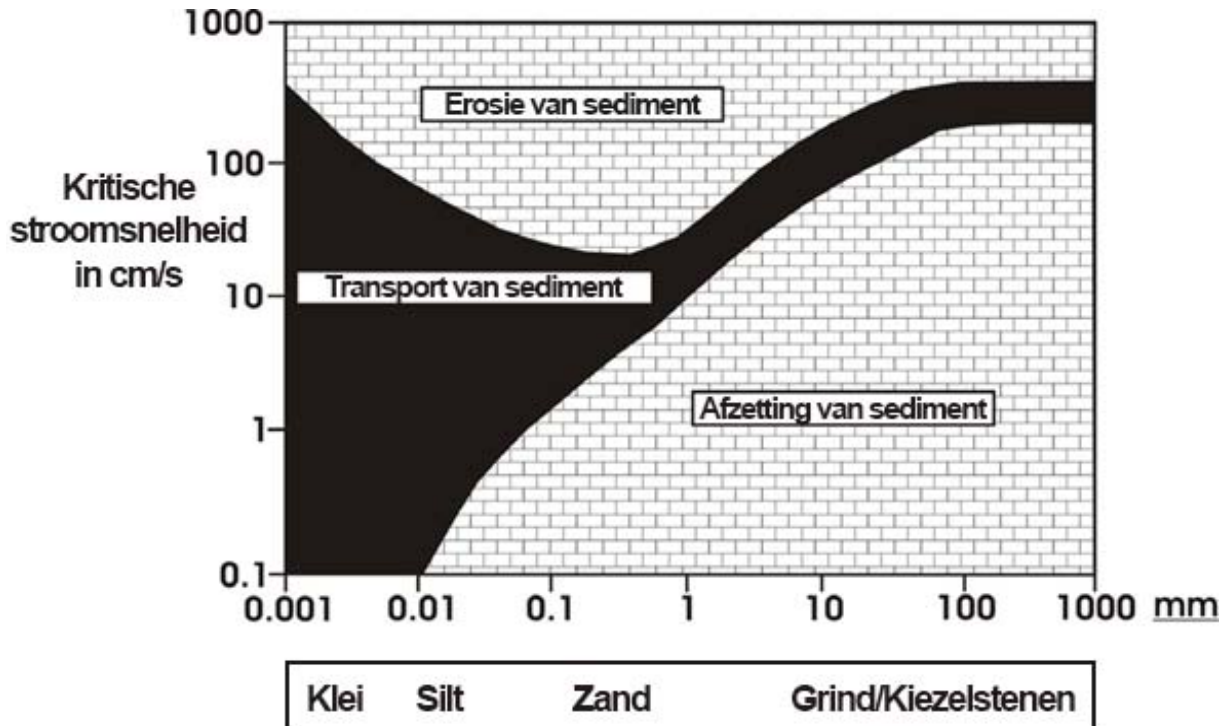


In dit diagram stellen de dunne pijlen de langzamere delen van de waterloop voor, en de lange dikke lijnen de snellere delen van de stroom.

## Sediment Transport

De hoeveelheid sediment en de maximale deeltjesgrootte die door bewegend water kan worden meegenomen is afhankelijk van de stroomsnelheid. Daarom kunnen metingen aan de stroomsnelheid worden gebruikt om de maximale grootte van meegenomen sediment deeltjes te bepalen (Figuur 4).

Figuur 4 Erosiesnelheden van Water



Deze grafiek, afgeleid van een grote hoeveelheid verzamelde veldgegevens, laat zien dat deeltjes in een waterloop (in het water en op de bodem) zich bij een bepaalde stroomsnelheid verschillend gedragen afhankelijk van hun grootte. Bij een gemeten stroomsnelheid van 100 cm/s (1 m/s) bijvoorbeeld, worden silt en zand (maar compacte klei niet) geërodeerd van de waterbodem en stroomafwaarts getransporteerd. Bij dezelfde snelheid blijven alle deeltjes kleiner dan 1mm, die al in beweging waren, in beweging. Waar de stroomsnelheid onder de 10 cm/s (0,1 m/s) zakt, vanwege bijvoorbeeld een verbreding van de waterloop, worden deeltjes groter dan 1mm doorsnee afgezet.

Een stroomsnelheidsmeter kan dus een waardevol hulpmiddel zijn om deeltjestransport in waterlopen te bestuderen. Van de waargenomen stroomsnelheden kun je m.b.v. deze grafiek vaststellen wat de maximale deeltjesgrootte is die bij deze snelheid kan worden getransporteerd.

## Veldwerk – het bestuderen van waterlopen

### **Stroomsnelheid meten**

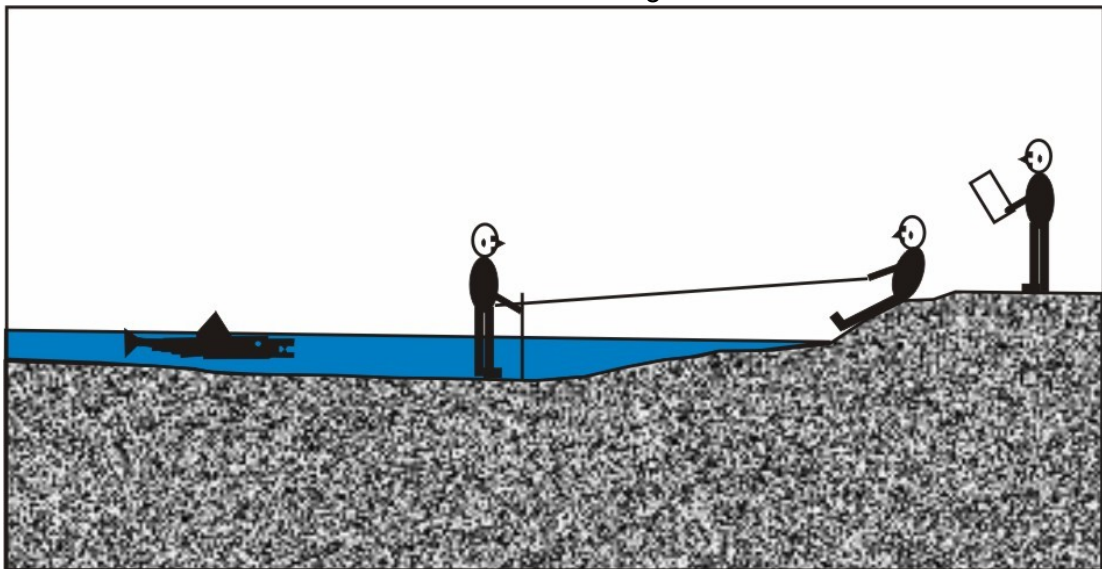
Benodigdheden:

- Rotor (flowmeter)
- Stopwatch (bij gebruik van een simpele flowmeter)
- Meetlint
- Peilstok
- Clipboard en pen
- Waarnemingsformulier

In een groep van 2 of 3 maak je een lekker tempo mits je efficiënt werkt, je doelstellingen helder hebt en je je basis goed hebt voorbereid. Bijvoorbeeld: één person werkt in of boven de waterstroom met de meter, terwijl een tweede person een stopwatch gebruikt om de tijd in de gaten te houden. Een derde persoon noteert de gevonden data, zoals bijzonderheden over de locatie, afstand tot de oever waarvandaan metingen worden gedaan, op welke diepte de meting wordt gedaan, het tijdstip van de meting en tenslotte natuurlijk het aantal omwentelingen per minuut oftewel de stroomsnelheid (na omrekening).

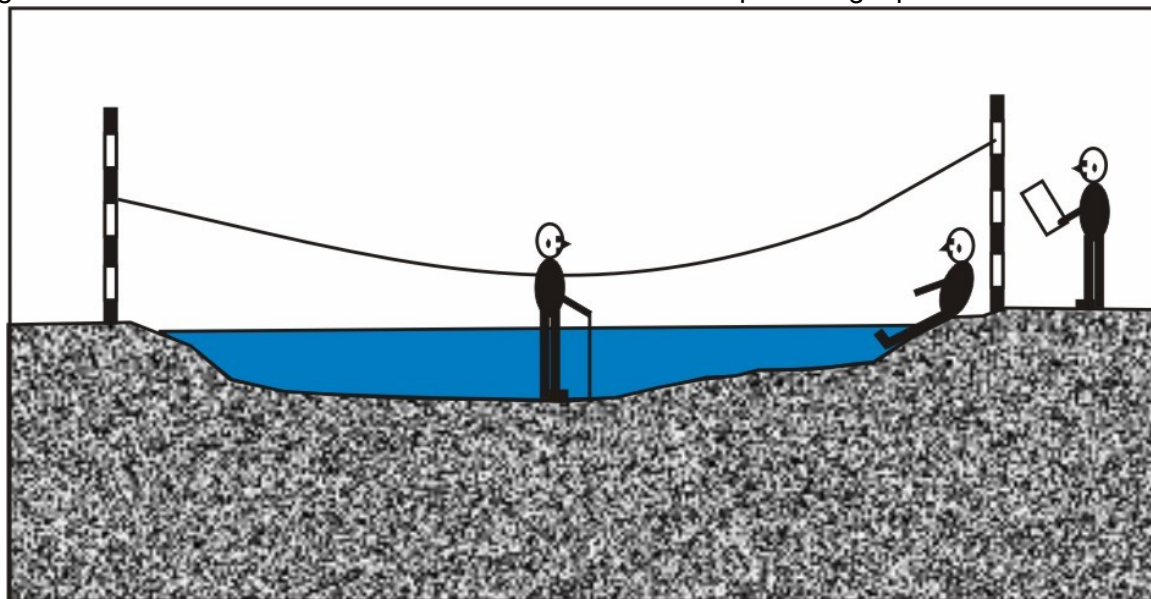
Metingen van de afstand tot de oevers en de positie van de meter in de waterloop zijn essentieel. Voor systematische verzameling van stroomsnelheidsdata dient de positie van de meter altijd te worden genoteerd ten opzichte van één van de twee oevers, en de AFSTAND UIT. Bijvoorbeeld: in grotere waterlopen kan dit worden bepaald door een meetlint te bevestigen aan de person die in het water met de meter werkt. Door op de oever te staan en het lint horizontaal over de stroom te houden kan één person de positie van de meter ten opzichte van de oever bepalen.

Figuur 5 – “Afstand UIT” meten met een lint dat is vastgemaakt aan iemands riem



Bij kleinere waterlopen kan het handiger zijn om een meetlint horizontaal van oever naar oever op te spannen. De einden van het lint kunnen bijvoorbeeld aan peilstokken worden vastgemaakt.

Figuur 6 “Afstand UIT” meten met een lint wat tussen twee palen is gespannen



### Het dwarsprofiel van een waterloop uitmeten

Dit is essentieel voor een waardevolle stroomsnelheidsmeting. Een tekening of “kaart” van de doorsnede van de waterloop op elk punt waar wordt gemeten vormt de basis voor het noteren van de waarnemingen.

Eén manier om het dwarsprofiel op te meten en uit te tekenen is om een meetlint op te spannen zoals hierboven beschreven. Dieptes kunnen verticaal naar beneden worden gemeten vanaf het strak opgespannen lint tot aan de waterbodem – zie Figuur 7. Metingen van geulbreedtes en –dieptes worden dan op het waarnemingsformulier genoteerd. Op vaste afstanden langs het lint worden steeds twee metingen genoteerd. Ten eerste de afstand van het lint tot de grond of het wateroppervlak (de DROGE METING). Ten tweede dient de NATTE METING te worden genoteerd. Dit is de diepte van het water op elk punt. Deze diepte kan met een peilstok worden gemeten. Hoe groter het aantal meetpunten op elke dwarsdoorsnede, hoe preciezer de stroomgeul kan worden weergegeven.

Figuur 7 – Meten en uittekenen van het dwarsprofiel





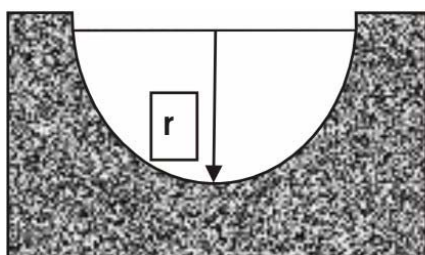
### Debiet van een waterloop berekenen

We hebben eerder gezien (Figuur 1) dat:

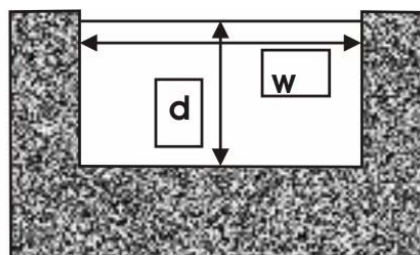
### DEBIET (Q) = Oppervlakte doorstroomopening x Stroomsnelheid

Als dus de doorsnede van een waterloop 1 m<sup>2</sup> is en de stroomsnelheid 1 m/s, dan geldt dat het Debiet Q = 1 m<sup>3</sup>/s. Stel dat de doorstroomopening na zware regenval uitbreidt tot 2 m<sup>2</sup> en de stroomsnelheid tot 1.5 m/s dan wordt het debiet (Q) 3 m<sup>3</sup>/s. Debiet is een zeer belangrijke variabele die helaas niet altijd gemakkelijk meten is.

Figuur 8a Halfrond profiel



Figuur 8b Rechthoekig profiel



Het berekenen van het debiet in geval van ofwel een halfrond (Figuur 8a) of rechthoekig (Figuur 8b) profiel is relatief eenvoudig.

Bij het halfronde profiel geldt:

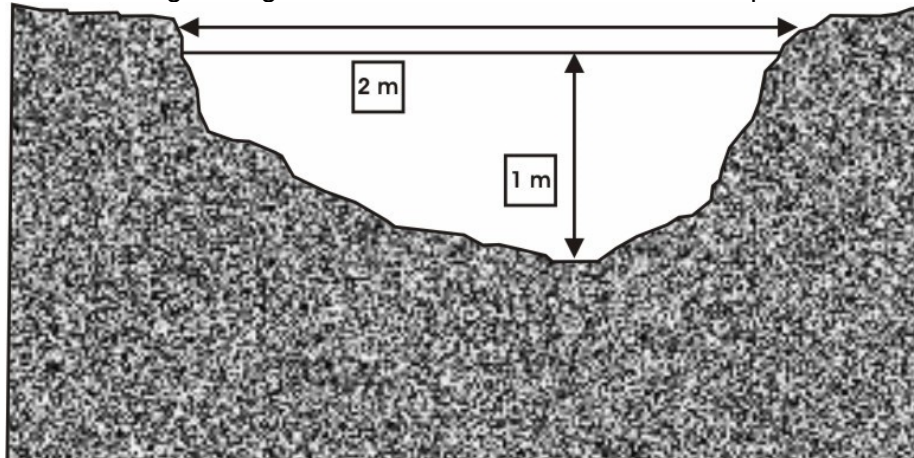
Radius (straal) van het profiel (r)	=	1 m
Oppervlakte doorstroomopening ( $\Delta$ )	=	$\pi^2 \div 2$
	=	1,57m <sup>2</sup>
Gemiddelde stroomsnelheid (V)	=	1 m/s
Debiet (Q)	=	$\Delta \times V$
	=	1,57 m <sup>3</sup> /s

Vergelijkbaar, bij het rechthoekige profiel:

Diepte (d)	=	1 m
Breedte (w)	=	1,5 m
Doorstroomopening ( $\Delta$ )	=	1,5m <sup>2</sup>
Gemiddelde stroomsnelheid (V)	=	1 m/s
Debiet (Q)	=	$\Delta \times V$
	=	1,50 m <sup>3</sup> /s

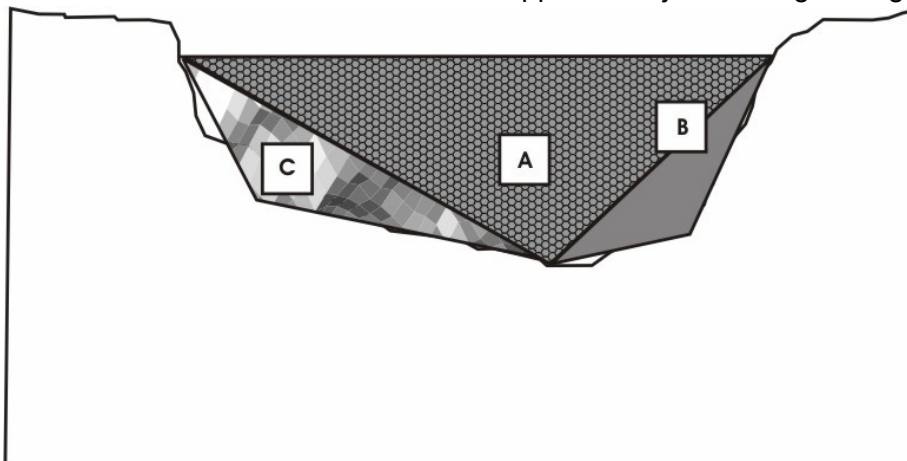
In het echt is de vorm van het stroomprofiel echter verre van regelmatig.

Figuur 9a Onregelmatige dwarsdoorsnede van een waterloop



In dit soort gevallen is het berekenen van de oppervlakte van de doorstroomopening complexer, zoals blijkt uit dit voorbeeld:

Figuur 9b Berekenen van het doorstroomoppervlak bij een onregelmatig profiel



In dit voorbeeld is het gedeelte onder het wateroppervlak verdeeld in drie driehoekige vormen. De grootste driehoek is compleet, en de andere twee benaderen de vorm van het gebied wat zij bedekken, door gedeeltelijk juist teveel of te weinig omvatten. Het oppervlak van elke driehoek is te vinden met deze formule:

$$\text{Oppervlakte driehoek} = (\text{lengte van de basis}) \times (\text{halve hoogte})$$

Door de oppervlaktes van deze driehoeken bij elkaar op te tellen is het mogelijk om de doorstroomopening te berekenen (de getallen die hier worden gebruikt zijn slechts ter illustratie):

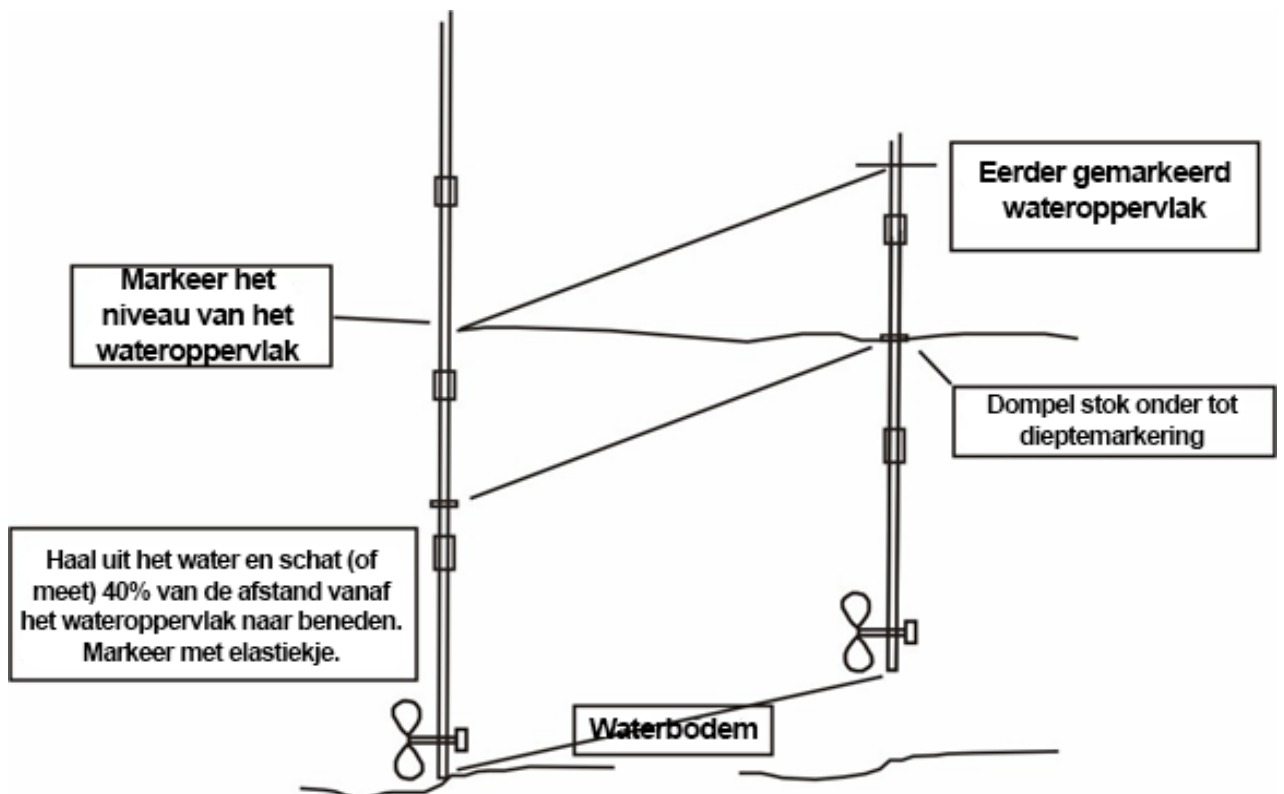
Oppervlakte driehoek A	=	1,00 m <sup>2</sup>
Oppervlakte driehoek B	=	0,15 m <sup>2</sup>
Oppervlakte driehoek C	=	0,30 m <sup>2</sup>
Totale oppervlakte doorstroomopening	=	1,45 m <sup>2</sup>

Ook het meten van de stroomsnelheid is helaas problematisch. Vanwege wrijving met de waterbodem en de oevers (de NATTE OMTREK) en vanwege interne turbulentie varieert de stroomsnelheid van punt tot punt. Vele waarnemingen onder gecontroleerde omstandigheden laten zien dat een betrouwbare gemiddelde stroomsnelheid kan worden gemeten op een punt **wat zich op 0,6 keer de diepte onder het wateroppervlak bevindt** (let op: dit geldt voor waterdiepten tot 0,6 meter). Op deze diepte bevindt zich het gemiddelde tussen de hogere snelheid van de oppervlakte en de langzamere onderstroom langs de bodem. Deze diepte is een acceptabele EMPIRISCHE RICHTLIJN (d.w.z. afgeleid van waarnemingen en experimenten onder gevarieerde omstandigheden).

Om dit punt van 0,6 keer de diepte snel te vinden heb je een speciaal stukje gereedschap nodig – een elastiekje! Volg dit simpele stappenplan:

- |        |  |
|--------|--|
| Stap 1 | plaats de rotorstok op de waterbodem   |
| Stap 2 | markeer de plaats van het wateroppervlak met duim en wijsvinger.   |
| Stap 3 | haal de stok uit het water en houd de gemarkeerde plek vast.   |
| Stap 4 | schat in (of meet) waar je op 0,4 keer de afstand van het gemarkeerde wateroppervlak tot beneden aan de stok bent. |
| Stap 5 | plaats op dat punt een markering (bijv. een elastiekje).   |
| Stap 6 | dompel de rotorstok onder water tot aan dit punt.  |
| Stap 7 | de rotor zal zich nu op ongeveer 0,6 keer de diepte van het wateroppervlak naar beneden bevinden.                  |

Figuur 10 Het vinden van 0,6 keer de diepte

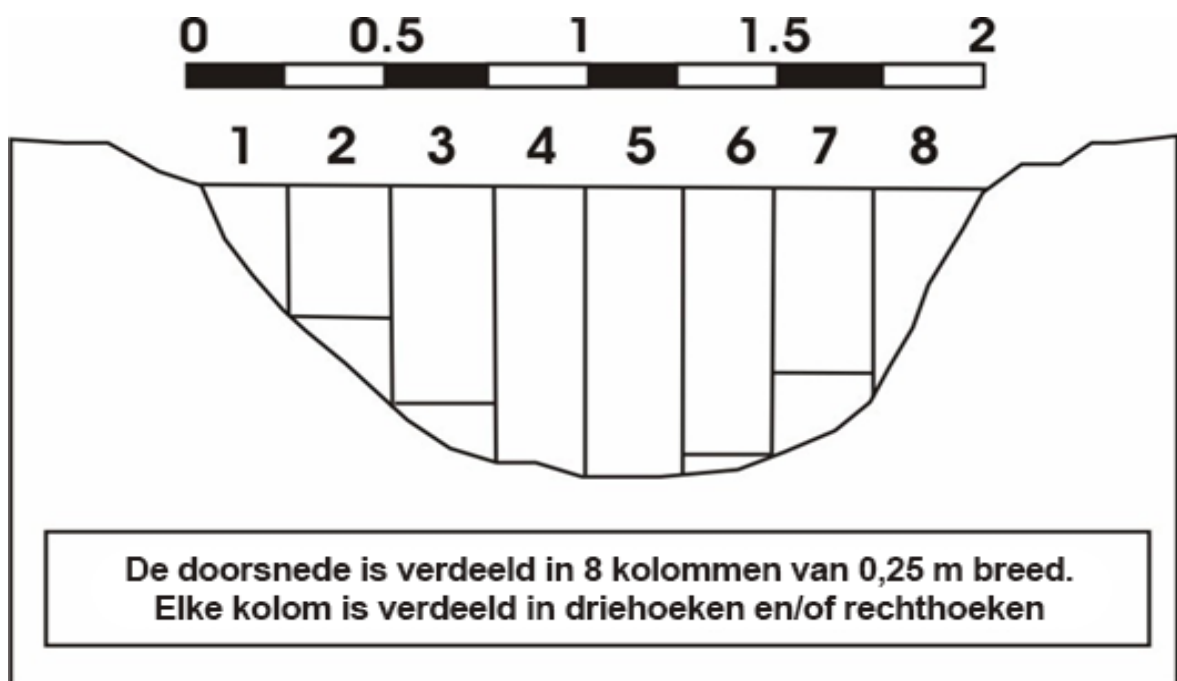


Maar, daarmee zijn we er nog niet. In de halfronde en rechthoekige profielen te zien in Figuren 8a en 8b geeft de positie van 0,6 keer de diepte in het midden van de waterloop een redelijke gemiddelde stroomsnelheid. In een echte situatie zoals in Figuur 9b is het profiel veel minder regelmatig. Waar moet dan de gemiddelde snelheid worden gemeten? De meest voor de hand liggende keuze ligt waarschijnlijk in de buurt van de letter "A".

Dus, als de stroomsnelheid ( $V$ ) op dit punt gemeten is als 1 m/s bij een doorsnede oppervlak van  $1,45 \text{ m}^2$  dan is het DEBIET ( $Q$ )  $1,45 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Om het juist te doen is het echter nodig om een serie te maken van gemiddelde stroomsnelheidsmetingen. Hiervoor moet de oppervlakte van de doorstroomopening verdeeld worden in kolommen zoals in Figuur 11.

Figuur 11 Oppervlak doorstroomopening verdelen in kolommen



Figuur 11 laat een doorstroomoppervlak zien dat 2 meter breed is. De doorsnede is opgedeeld in kolommen (WATERKOLOMMEN) van 0,25 m breed. Door de vorm van het profiel te volgen bestaat elke kolom uit een driehoek en/of een rechthoek. Het oppervlak van elke kolom wordt berekend met de eerder genoemde technieken, rekening houdend met de schaal van de tekening. Op een geschikt punt in elke kolom kan de stroomsnelheid worden gemeten met een rotor. In Tabel 1 is een denkbeeldige set snelheden en oppervlaktes weergegeven, samen met de benodigde berekeningen om het DEBIET ( $Q$ ) te bepalen.

Tabel 1 Tabel met metingen en berekeningen aan de dwarsdoorsnede

	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4	Kolom 5	Kolom 6	Kolom 7	Kolom 8	Kolommen 1-8	
<b>Opp. 1</b>	0,00	0,07	0,12	0,22	0,23	0,19	0,13	0,00	0,96	
<b>Opp. 2</b>	0,07	0,06	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02	0,11	0,31	
<b>Opp. 1+2</b>	0,07	0,13	0,15	0,22	0,23	0,21	0,15	0,11	<b>1,27</b>	Doorstroomoppervlak (m <sup>2</sup> )
<b>V</b>	0,05	0,60	0,90	1,10	1,00	0,50	0,40	0,10	<b>0,58</b>	Gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
<b>Q</b>	0,00	0,08	0,14	0,24	0,23	0,10	0,06	0,01	<b>0,86</b>	Debiet (m <sup>3</sup> /s)

In de Tabel verwijst Opp. 1 naar de rechthoeken en Opp. 2 naar de driehoeken

Uit de tabel:

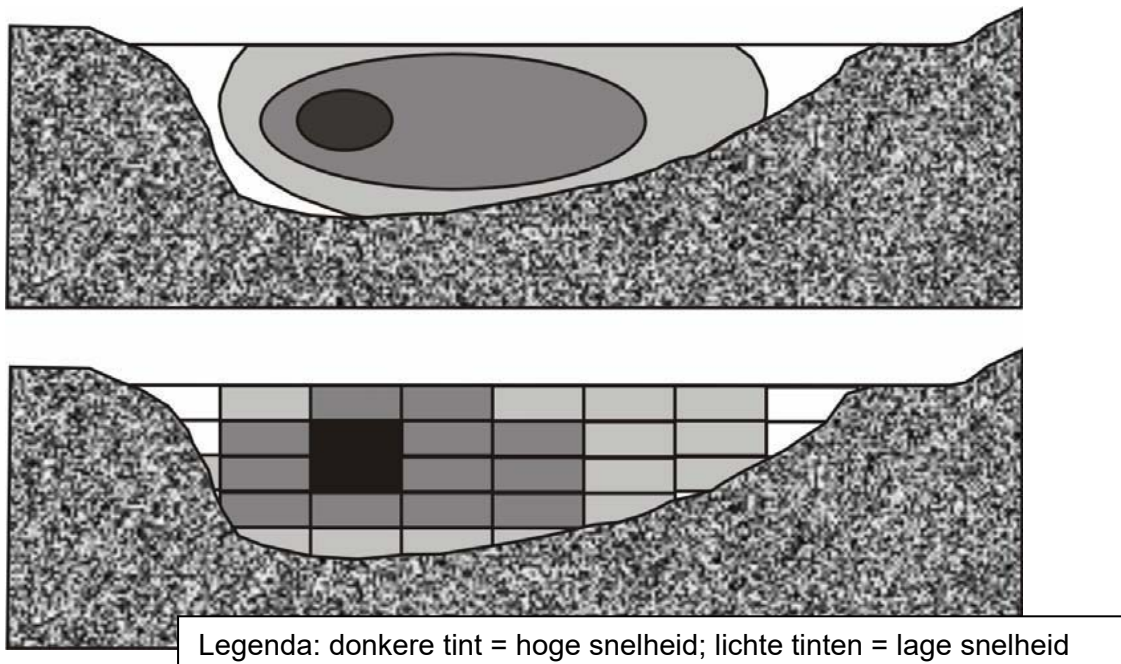
De totale doorstroomoppervlakte is berekend als 1,27 m<sup>2</sup>  
 De gemiddelde stroomsnelheid door deze doorsnede is 0,58 m/s  
 Het totale debiet (Q) door deze doorsnede is 0,86 m<sup>3</sup>/s

Deze procedures garanderen de best mogelijke resultaten uit het veldwerk. Nadat het zware werk van het in kaart brengen van het stroomprofiel is gedaan, kan het herhaaldelijk gebruikt worden onder verschillende omstandigheden (bijvoorbeeld voor en na een zware regenbui). Aanpassingen moeten echter worden blijven gemaakt voor veranderingen in diepte en stroomprofiel door erosie en afzetting. De exacte locatie van de dwarsdoorsnede(n) moet(en) gemarkeerd worden door herkenningspunten in de oevers te plaatsen.

### **Stromingspatronen in een waterloop in beeld brengen**

Met de dwarsprofielen die gemaakt zijn om debieten te berekenen kunnen ook data verzameld worden om de interne stromingseigenschappen van de waterloop in beeld te brengen. Hiervoor zijn verschillende technieken, waarvan de meest algemene het maken van **ISOVELS** of **CHOROPLETEN** zijn. Isovels zijn *lijnen* waarvan elk punt dezelfde snelheid heeft en Choropleten zijn gearceerde *gebieden* van verschillende snelheden.

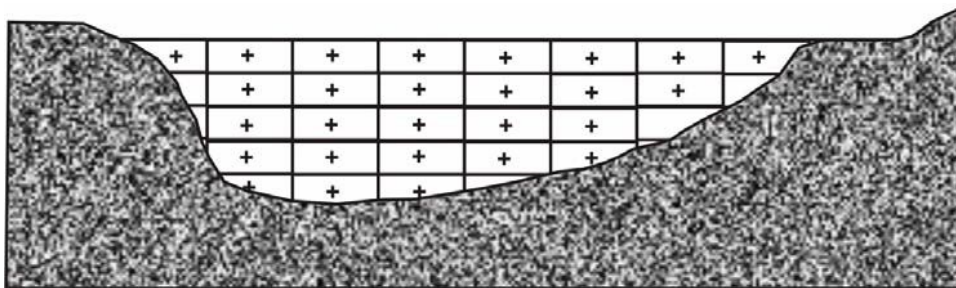
Figuur 12 Interne stromingspatronen zichtbaar maken – Isovels (boven) & Choropleten



De isovels en choropleten zijn lijnen respectievelijk gebieden van gelijke snelheid. De hoogste snelheid komt normaal gesproken voor in het midden van een waterloop, in de buurt van het wateroppervlak, en is vaak lager in de buurt van de bodem en de oevers (Figuur 12). Het patroon van isovels en choropleten laat echter ook de vorm van de waterloop zien, d.w.z. de breedte, diepte en symmetrie (Figuur 12). Hoe dicht de isovels en choropleten op elkaar staan zegt iets over het snelheidsverloop.

Beide methoden kunnen effectief zijn in het zichtbaar maken van interme stromingspatronen. De hoeveelheid detail hangt af van het aantal metingen wat genomen kan worden – hoe meer hoe beter. Drie waarden moeten op elk punt worden verzameld – afstand uit vanaf de ene of de andere oever; diepte; en stroomsnelheid op dat punt. Het dwarsprofiel moet zo nauwkeurig mogelijk in kaart gebracht worden voor de berekening van het debiet, en metingen worden systematisch verzameld in een doorsnede van de waterloop. In plaats van slechts één stroomsnelheidsmeting te nemen op 0,6 keer de diepte, worden meerdere metingen gedaan op regelmatige verdeelde punten in de waterkolom.

Figuur 13 Dataverzamelingsgrid voor het maken van Isovelen en Choropleten



Het “+” symbol in Figuur 13 geeft het middelpunt van elke “cel” in het grid weer. Normaal gesproken bestaat een grid uit cellen van 0,25 m breed en 0,125 m diep. De afmeting wordt bepaald door de grootte en schaal van de waterloop en de mate van precisie die benodigd is.

Tabel 2 Stroomsnelheidsdata verzameld in Cellen

	Stroomsnelheid in m/s							
Diepte	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4	Kolom 5	Kolom 6	Kolom 7	Kolom 8
tot 0,125	0,00	0,06	0,12	0,11	0,07	0,05	0,05	0,00
tot 0,25	0,00	0,09	0,17	0,10	0,10	0,05	0,06	
tot 0,375	0,05	0,11	0,16	0,10	0,10	0,10	0,04	
tot 0,5	0,00	0,09	0,12	0,09	0,08	0,04		
tot 0,625		0,06	0,07	0,06	0,06			
		Cellen zijn 0,25m breed en 0,125m diep						

De gegevens die in deze tabel te zien zijn, zijn perfect geschikt om choropleten mee te maken. Om representatieve en verfijnde Isovels te maken zijn minimaal twee keer zoveel stroomsnelheidsmetingen nodig (normaal gesproken in een grid met cellen van 0,1 bij 0,1 m).

## **Veiligheidsoverwegingen WEES ALERT – WEES VEILIG**

Als je veldwerk gaat doen in en om waterlopen, let dan alsjeblieft op de volgende veiligheidspunten:

1. Werk nooit alleen. Laat iemand die je vertrouwt weten waar en wanneer je aan het werk bent; en ga dan ook niet ergens anders heen.
2. Werk altijd met anderen samen – 3 mensen is een zinnig minimum.
3. Werk nooit in snel stromend of diep water – als algemene stelregel is SNEL een stroomsnelheid boven de 0,5 m/s en DIEP als het waterniveau tot boven de knie komt.
4. Controleer de waterloop altijd op: instabiele oevers, gevaarlijke obstakels op de waterbodem, overhangende bomen en andere gevaren die je met ‘gezond verstand’ opvallen.
5. Loop nooit risico op ONDERKOELING – draag warme, waterdichte kleding en neem deze zelfs in de zomer mee – oppervlaktewater kan het hele jaar door koud zijn. Als je niet weet wat ONDERKOELING is, laat je dan informeren. Het is een levensbedreigende, maar vermijdbare, medische aandoening die veroorzaakt wordt door het verlies van lichaamswarmte aan koude en natte omstandigheden.
6. Wees altijd zo voorzichtig mogelijk bij het doorkruisen van waterlopen – als je twijfelt, doe het dan niet.
7. Probeer nooit waterlopen te doorkruisen of er in te werken als het risico bestaat op plotselinge vloedgolven.

**WEES ALERT – WEES VEILIG**