

Advisering modellering boezembemaling bij Hardinxveld

Auteurs: Femke Verhaart, Erik Mosselman, Anke Becker, Willem Ottevanger

Review: Rolien van der Mark

Advisering modellering boezembemaling bij Hardinxveld

Opdrachtgever	Infram BV
Contactpersoon	mevrouw G.A. Brouwer
Referenties	18i178_03032021
Trefwoorden	Alblasserwaard, Sifon, Boezem, Giessen, Bochtverliezen

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	07-05-2021
Projectnummer	11207040-002
Document ID	11207040-002-ZWS-0002
Pagina's	40
Classificatie	Geheim tot 7 mei 2031
Status	definitief

Auteur(s)		
	Femke Verhaart	
	Erik Mosselman	
	Anke Becker	
	Willem Ottevanger	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Willem Ottevanger	Rolien van der Mark	Johan Boon	
				

Samenvatting

De afwatering van het watersysteem van de Alblasserwaard is steeds lastiger te beheersen, en het toekomstbestendiger maken van de Alblasserwaard is aanleiding geweest om een ontwerp te maken voor een herinrichting van het gebied. Het voorkeursalternatief (VKA) is doorgerekend met SOBEK 2 door een consortium onder leiding van Infram. Deltares heeft een review uitgevoerd op de modellering van het VKA met betrekking tot de aandachtspunten (zie slide 5) en daarnaast aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek. De SOBEK 2 berekening en andere ontwerptekeningen hebben hierbij als basis gediend. Grondwater is hierbij bewust buiten beschouwing gelaten, aangezien dit onder een ander werkpakket valt.

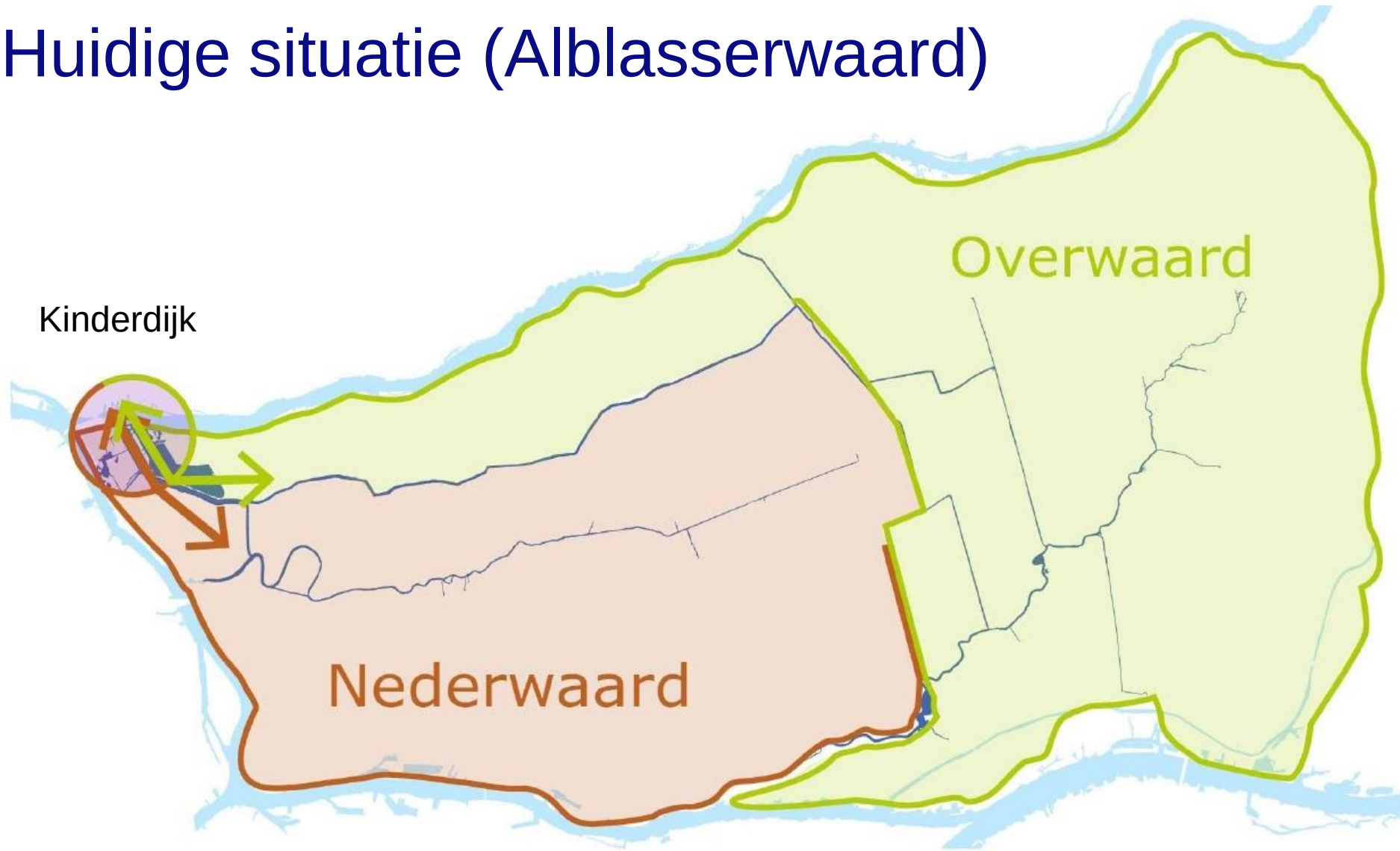
In deze notitie zal de review van de verschillende kunstwerken die in het VKA zijn opgenomen worden besproken. Hierin is ook de watergang meegenomen. Hierna zullen er nog een aantal aandachtspunten behandeld worden m.b.t. de SOBEK modellering van de kunstwerken. Als laatste volgt een handreiking voor de aandachtspunten m.b.t. de modellering van bochten in de Giessen, en ook voor de eventuele bochten in het tracé van de Giessen tot aan het nieuwe gemaal bij Hardinxveld.

Voor de verschillende onderwerpen volgen ook verdere aanbevelingen voor nader onderzoek en monitoring bij ingebruikname. Met deze notitie hopen wij een bijdrage te kunnen leveren aan een robuust ontwerp van de toekomstige afwatering van de Alblasserwaard.

Inhoudsopgave

<u>Onderwerp</u>		<u>Slide</u>
1. a) Huidige situatie en b) voorkeursalternatief (VKA)		5
Review op aandachtspunten in het VKA:		
2. Sifons	Analyse ontwerp en advies	7
3. Veiligheids- / kroosrekken	Analyse ontwerp en advies	10
4. Spoorbrug / duikers	Analyse ontwerp en advies	12
5. Watergang	Analyse ontwerp en advies	14
6. SOBEK modellering	Analyse aandachtspunten VKA en advies extra weerstand	15
7. Opstuwing door bodemweerstand en wind	Aanvullende formules	19
8. Bochteffecten Giessen	Analyse ontwerp en advies monitoring	27

1a. Huidige situatie (Alblasserwaard)



(met dank aan Hydrologic)

1b. Voorkeursalternatief (VKA)

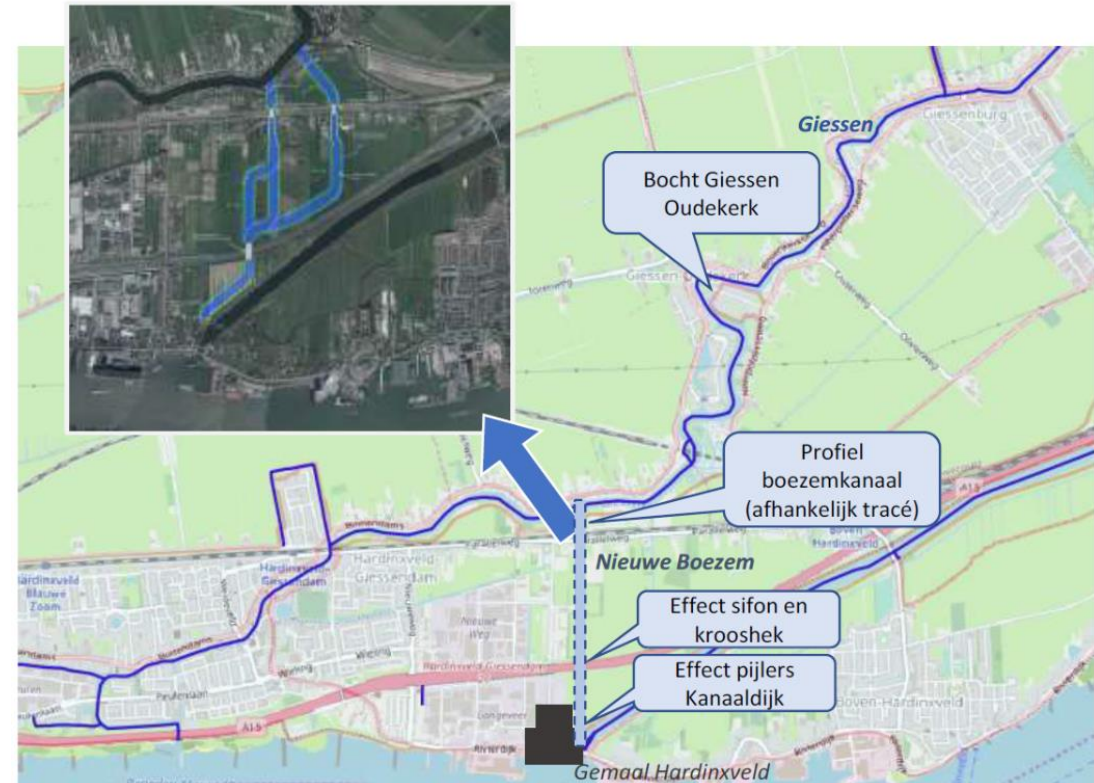


Literatuurverwijzingen:

Hydrologic (2021), WP 8.1 Systeemwerking Hardinxveld

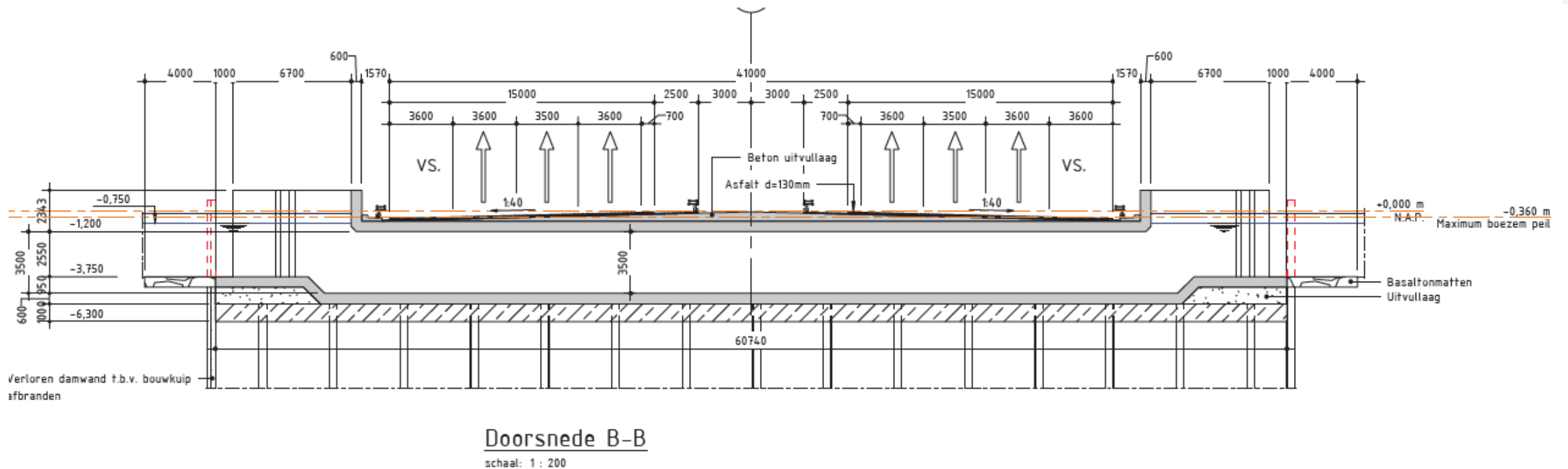
Aandachtspunten (VKA):

Mogelijke tracé's boezem
(Giesen -emaal)



2. Sifon - Dwarsdoorsnede

De analyse van de sifon is gebeurd op basis van de aangeleverde tekening. Hieronder is de dwarsdoorsnede weergegeven, omdat in de volgende slides hiernaar verwezen wordt.



2. Sifon – Ontwerp (1)

- Wat betreft de gekozen verliezen, wordt het volgende opgemerkt:
 - Instroomverlies ($\xi=0.5$) is te laag ingeschat. Dit is een standaardwaarde. Handboeken geven voor de betreffende situatie hogere waarden (Idelchik, diagram 3-11).
 - Om het gekozen uitstroomverlies te kunnen beoordelen, dient deze toegelicht te worden.
 - Graag onderbouwing geven van de gekozen weerstand / wandruwheid van de sifon. Het is niet gebruikelijk om voor een betonnen kunstwerk te werken met een Strickler coëfficiënt. Voor de stromingsweerstand wordt over het algemeen Darcy-Weisbach gebruikt, waarbij wandruwheden van 1 mm voor nieuw beton en 5 mm voor ouder beton logische invoerparameters zijn. Tevens is de lengte van het kunstwerk een invoerparameter in de Darcy-Weisbach formule. Als de keuze van de Strickler coëfficiënt goed onderbouwd is, kan deze natuurlijk ook toegepast worden.
 - De bochten aan het begin en einde van de sifon zijn als knikken meegenomen, dit lijkt wel heel conservatief. Het is aan te raden, de gehele in- en uitstroming in detail apart in een 3D model te bekijken en op basis daarvan een verliescoëfficiënt voor de in- en uittrede te bepalen.
 - Bochten in de watergang bovenstrooms van de sifon, kunnen zorgen dat het effectieve doorstroom-oppervlak kleiner is (en dus het verlies groter). Dat zou in de verliesberekening meegenomen moeten worden. Het is moeilijk om een exacte waarde te geven voor de afstand tussen bocht en kunstwerk waarbij geen rekening meer gehouden hoeft te worden met het effect van de bocht. Dit moet eigenlijk per geval bekeken worden. In dit geval raden we aan de bocht minimaal 5 à 10 keer de breedte van het kanaal bovenstrooms van het kunstwerk te plaatsen.

2. Sifon – Ontwerp (2)

- Een groot risico voor het niet functioneren van de sifon is dat er een vrije spiegel stroming optreedt door waterstandsverlaging bovenstrooms van de sifon, bijvoorbeeld door insnoering voor de sifon. De snelheidshoogte (zie onderstaande formule) is een goede maat voor de inschatting van de maximale waterstandsverlaging die zou kunnen optreden. De snelheidshoogtes zijn onder verschillende omstandigheden berekend:
 - Snelheidshoogte als de stroming netjes over het hele oppervlak van de sifon is verdeeld: ~ 2mm
 - Snelheidshoogte boezemkanaal: ~6 mm
 - Snelheidshoogte indien effectief het halve oppervlakte van het boezemkanaal wordt gebruikt: ~25 mm

De waterdekking van de sifon is ongeveer 45 cm (streefpeil -0.75 m NAP, binnen bovenkant sifon -1.2 m NAP). Het risico dat vrije spiegel stroming optreedt door slechte aanstroming wordt verwaarloosbaar geacht. Let op dat andere effecten die op de volgende slides besproken worden, nog wel voor problemen m.b.t. lucht in de sifon kunnen zorgen.

$$\Delta H = \frac{u^2}{2g}$$

ΔH = waterstandsverandering, u = stroomsnelheid, g = zwaartekrachtconstante

2. Sifon - Risico op lucht in sifon

- Naast een waterstandsverlaging zijn er nog andere mechanismen waardoor er lucht in de sifon kan komen:
 - Indien er een bocht is voor de sifon, kan er in bijvoorbeeld de binnenbocht een neer / vortex vormen. Gezien de geringe waterdekking van de sifon kan die voor luchtaanzuiging zorgen.
 - Waterstandsdingen bij opstarten gemaal.
 - Windeffecten
- De stroomsnelheden zijn zo laag dat eenmaal ingesloten lucht, niet afgevoerd zal worden. Dit zorgt voor extra weerstandsverliezen en moet ten alle tijden voorkomen worden.
 - Tijdens het ontwerpproces moeten o.a. waterstandsdingen bij opstarten van het gemaal en de effecten van wind goed in beeld gebracht worden en meegenomen worden in het ontwerp.
 - Het ontwerp kan bijvoorbeeld op dit gebied robuuster gemaakt worden door de sifons dieper te leggen.

2. Sifon - Conclusies

Met betrekking tot de sifons wordt het volgende geconcludeerd:

1. De basis van het ontwerp is logisch. Het doorstroomd oppervlak is voldoende groot en er is geen noodzaak om dat groter te maken. Er zijn echter nog wel een aantal aandachtspunten voor het ontwerp om te zorgen dat de sifon daadwerkelijk goed gaat functioneren:
 - A. Het grootste gevaar met betrekking tot niet functioneren zit in mogelijke waterstands dalingen door de wind en door het opstarten van het gemaal. Dit gevaar kan dus zowel bij de intrede als de uitrede van de sifon optreden.
 - B. Het totale verlies over de sifon wordt door 3D effecten bepaald. Aangezien het streven een totaalverlies over de sifon van een paar millimeter is, zijn handberekeningen met uitkomsten in de orde van mm ontoereikend voor de (detail) dimensionering van de sifons. Zo'n methode is te gevoelig voor aannames. Detail ontwerp van de sifons zou met 3D software of schaalmodellen moeten gebeuren.
 - C. Gezien de lage stroomsnelheden in de sifon, wordt er geen reden gezien om de kokers te vergroten. De verliezen hangen momenteel enkel van details af en er wordt geen winst behaald met het vergroten van de kokers.
 - D. Bochten in de watergang dienen zo ver mogelijk bovenstrooms van de sifons te zitten. Bochten benedenstrooms hebben minder consequenties maar moeten niet direct benedenstrooms van de sifon komen. We raden aan bochten op minimaal 2 à 3 (liefst meer) kanaaldiameters benedenstrooms van het kunstwerk te plaatsen.

3. Veiligheids- / kroosrekken

- De volgende vraag is aan Deltares gesteld: *Wat is het verlies van:*
 - *Rooster van bodem tot bovenzijde sifon;*
 - *Verticale spijlen met tussenafstand van 20cm (vrije doorlaat);*
 - *Spijlbreedte (platstaaf) 20mm (100mm dik);*
 - *2st. horizontale spijl (op 1,25m en 2,5m boven de bodem).*

Op basis van handboeken (Idelchik) en ervaring is een inschatting gemaakt van de weerstandscoefficiënt van het veiligheidsrek en daarmee dus het verlies. De inschatting is dat het verlies (waterstandsverlaging) orde 1 mm zal zijn. Als het veiligheidsrek sterk vervuild is, neemt het verlies sterk toe. Bijvoorbeeld, als door vervuiling nog maar 50% van het oppervlak beschikbaar is, zal het verlies 4 à 8 keer zo groot zijn.

- Het verlies over het veiligheidsrek zou nog enigszins verkleind kunnen worden, door de spijlen hydraulisch gunstiger vorm te geven.
- Het is echter belangrijker om op te merken, dat (drijf)vuil goed afgevangen wordt. Als dat eenmaal de sifon ingetrokken wordt (en die kans is reëel omdat het dak van de sifon maar net onder de waterspiegel ligt), zal het nooit meer weggevoerd worden door de lage snelheden. Het is essentieel om dit te voorkomen. De drijfbalk die voorzien is kan hierbij helpen. Deze moet wel diep genoeg steken, zodat de drijfbalk daadwerkelijk al het vuil tegenhoudt.

4. Spoorbrug / duiker

- Allereerst wordt opgemerkt dat de spoorbrug nog als een duiker (culvert) in het SOBEK model staat, dat is onjuist, het moet een brug zijn.
- Wat betreft het inschatten van de verliezen is het volgende van belang:
 - Instroomverlies moet afgeschat worden op basis van de verwachte stroompatronen. Als er insnoering door bochten vlak voor de spoorbrug kan optreden, moet hier rekening mee gehouden worden. Er kan niet standaard van $\xi=0.5$ worden uitgegaan.
 - Net zoals bij de sifon is om de gekozen weerstandscoefficiënt te kunnen beoordelen, een onderbouwing nodig. Het is niet gebruikelijk om voor de wrijvingsverliezen bij een kunstwerk (gemaakt van beton en/of damwanden) gebruik te maken van een Strickler coëfficiënt. Het gebruik van Darcy-Weisbach is meer gebruikelijk.
- Indien een realistische schatting wordt gemaakt van de lokale verliezen, kan de spoorbrug het beste in SOBEK gemodelleerd worden als een “bridge” om de verliezen nauwkeurig te bepalen. Als de brugpijlers een significant deel van het doorstroomde oppervlak innemen (hetgeen niet de verwachting is) dient wel de “shape factor” nauwkeurig bepaald te worden.
- Het onderkant van het brugdek ligt op een hoogte van -0.36 m NAP. Vanuit een hydraulisch oogpunt wordt aangeraden dat het brugdek altijd ruim boven de waterspiegel ligt. Het verwachte maximum waterniveau (toetspeil) is -0.49 m NAP. Er is dus nog een marge over van ruim 10 cm. Dit is niet veel, maar waarschijnlijk net voldoende. Bij het ontwerp van het brugdek is het wel essentieel dat er geen delen (bijvoorbeeld steunbalken) lager uitsteken dan -0.36 m NAP.

5. Watergang

- Het is belangrijk om te onderbouwen waarom een bepaalde Strickler coëfficiënt is gekozen, aangezien de resultaten (het verhang) hier direct van afhankelijk zijn.
- Het wordt aangeraden om bochten in de watergang zo ver mogelijk van kunstwerken te lokaliseren. Het is moeilijk om een exacte waarde te geven voor de afstand tussen bocht en kunstwerk waarbij geen rekening meer gehouden hoeft te worden met het effect van de bocht. Dit moet eigenlijk per geval bekeken worden. In dit geval raden we aan de bocht minimaal 5 à 10 keer de breedte van het kanaal bovenstrooms van het kunstwerk te plaatsen en 2 à 3 keer de kanaalbreedte benedenstrooms.
- We zien niet direct problemen m.b.t. het gekozen boezemprofiel. Bekijk in het ontwerp ook goed welke snelheden kunnen worden verwacht bij de oevers en op de bodem (zie ook slides 33-34).

6. SOBEK modellering - Kunstwerken

Er dient met het volgende rekening gehouden te worden:

- SOBEK rekent niet met discharge coëfficiënten (μ) groter dan 1! Dit houdt in dat er dus een rekenfout wordt gemaakt en dat betekent dat er bij een totale weerstand coëfficiënt (ξ) kleiner dan 1 (inclusief friction losses) hiervoor gecorrigeerd moet worden met extra “resistance notes”.

Verder viel het volgende op / worden de volgende aanbevelingen gegeven:

- Zoals eerder genoemd, kan de spoorbrug beter als een “bridge” opgenomen worden dan als een culvert.
- De profielen in de takken beneden- en bovenstrooms van de sifon kloppen niet. Deze hebben allemaal nog het volledige doorstroomoppervlak van de boezem, terwijl dit maar $\frac{1}{4}$ zou moeten zijn.
- Het gedrag van de sifon wordt door 3D fenomenen bepaald. Deze kunnen nooit allemaal in 1D in SOBEK meegenomen worden. Het wordt daarom aangeraden eerst met 3D modellen het hydraulisch gedrag van de sifons in kaart te brengen en vervolgens de gebruikte component in SOBEK zo te “tunen” dat de juiste verliezen worden uitgerekend. Het is daarom ook niet nodig om de sifon als 4 losse kokers te modelleren in SOBEK.
- De huidige in- en uitlaatniveaus van de sifon zijn zo gekozen dat SOBEK denkt dat er een vrije spiegelstroming optreedt bij de in- en uittrede. Gezien de gekozen layout van de sifon is het logischer het niveau van het dak van de sifons als in- en uittrede niveau op te geven.
- De afstand tussen de rekenpunten boven- en benedenstrooms van de sifon zouden gelijk moeten zijn aan de lengte van de sifon, dus 70m. Op dit moment is de afstand in het model duidelijk groter.
- Aangezien in deze fase van het project er nog geen detailontwerp van de sifon is, wordt aangeraden de sifon (tijdelijk) zo simpel mogelijk in Sobek op te nemen. Dus bijvoorbeeld als een “resistance” en aan deze “resistance” een waarde toe te kennen die gehaald kan worden als het detailontwerp van de sifon klaar is. In dit geval dus 5 à 10 mm.

6. SOBEK modellering - Ruwheid watergangen

In de (Duitse) literatuur zijn de volgende indicaties voor Strickler-ruwheidswaarden gevonden. De schatting van een waarde van 30-35 m^{1/3}/s lijken realistisch (kijk naar de waardes voor “Erdkanäle, leicht verkrautete”, “Erdkanäle in scholligem Lehm”, Erdkanäle, stärker bewachsen”). Er wordt echter in de literatuur een vrij grote bandbreedte aan waardes aangegeven. Het is daarom aan te bevelen om met het SOBEK-model de gevoeligheid van de opstuwings/het verhang na aanleg van het gemaal (dus met omgekeerde stroomrichting en grote stroomsnelheid) te onderzoeken. Dit om het risico in te kunnen schatten dat de keuze van de ruwheidswaarde vormt. We concluderen dat voor de gekozen profielen de huidige inschatting juist lijkt. Voor een robuust ontwerp, wordt wel aangeraden te controleren hoe gevoelig het model is voor deze keuze. Hangt samen met slides 19-26.

a) Sammlung von k_{st} -Werten aus BOLLRICH & PREISLER (1996):

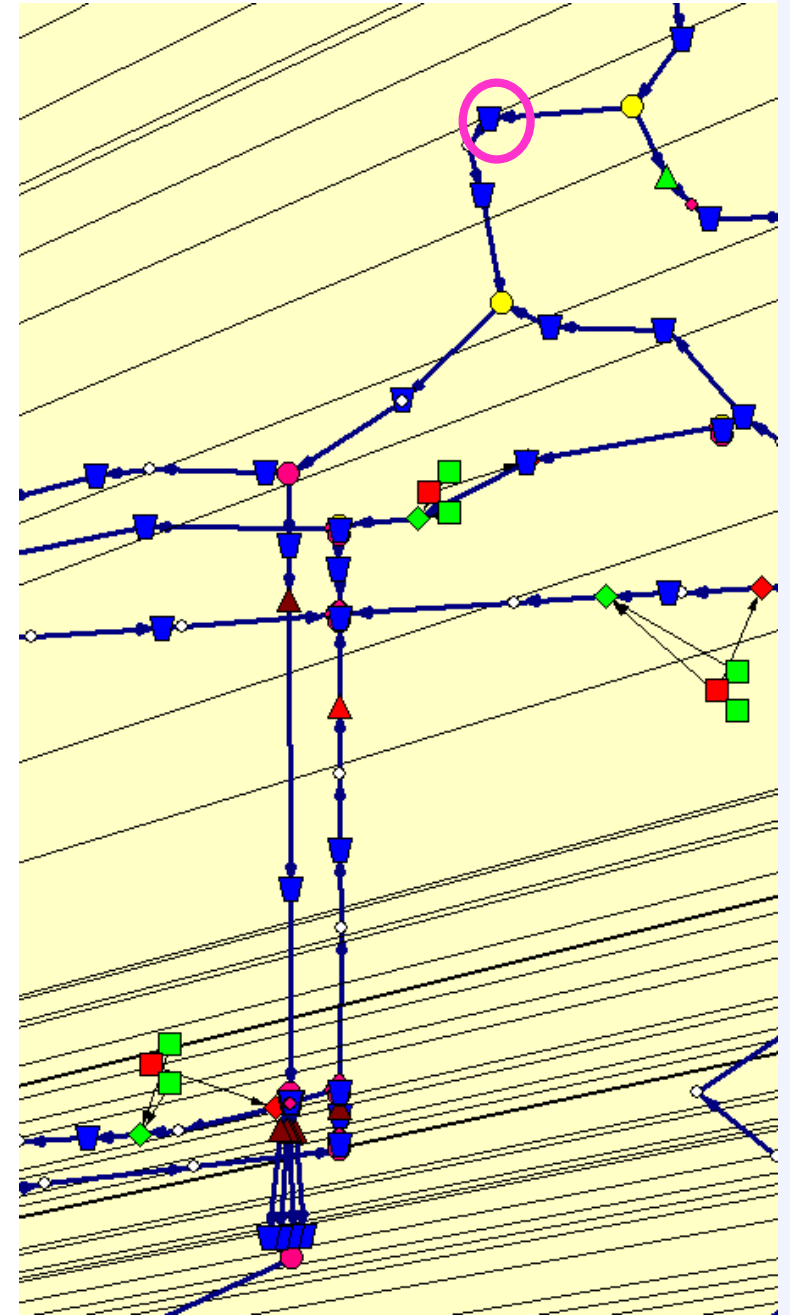
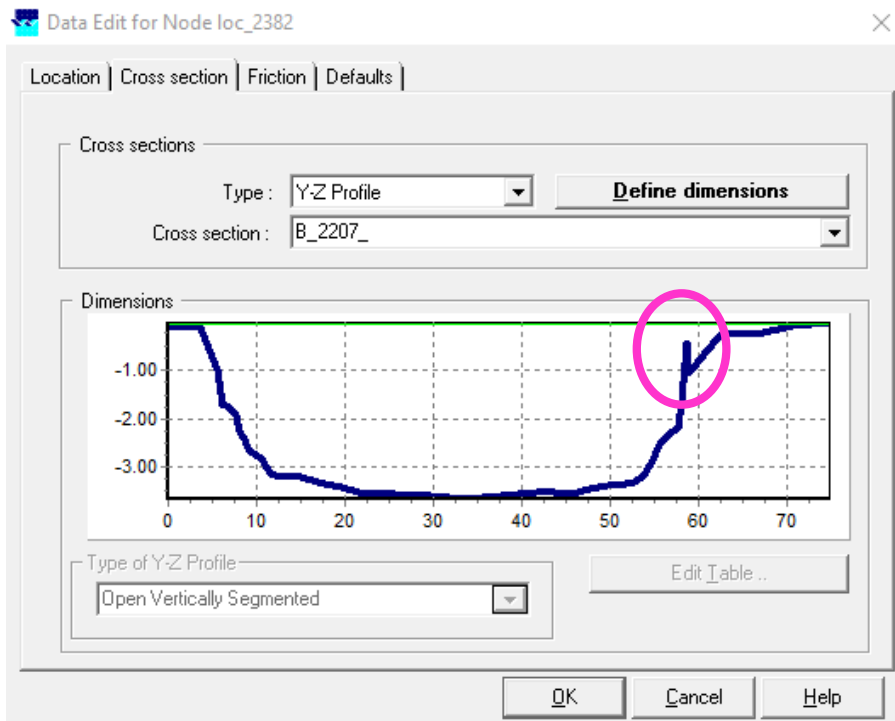
Beschaffenheit der Gerinnewand	k_{st} [m ^{1/3} /s]
Ungehobelte Bretter; geglätteter Beton; feiner Schlamm	90
Glatter Zementputz; glatter Beton mit hohem Zementgehalt; gut gefugte Klinker; Hausteinquader	80
Alte, aus Einzelrohren bestehende Betonrohrleitungen	75
Sorgfältiges Bruchsteinmauerwerk; mäßig inkrustierte Rohre; Walzgussasphalt	70
Normales Bruchsteinmauerwerk; unverputzter, gut geschalter Beton; behauene Steine; glatte Erdkanäle in festem Material	60
Grobes Bruchsteinmauerwerk; feiner Kies und Sand; gepflasterte Böschungen; unbefestigte Erdsohle	50
Regelmäßige Erdkanäle ohne Geschiebe; mittlerer Kies (20/40/60 mm)	40
Grober Kies (50/100/150 mm); leicht verkrautete Erdkanäle; natürliche Flüsse mit mäßiger Geschiebebewegung und Kolken	35
Natürliche Flussbetten mit grobem Geröll; stark geschiebeführende Flüsse; Erdkanäle in scholligem Lehm; kopfgroße Steine; Wildbäche; Flussvorland mit Vegetation	30
Gebirgsflüsse mit grobem Geröll; stark bewachsene Erdkanäle; rohe Felswand	25
Sehr unregelmäßiger Felskanal; Gebirgsflüsse mit starker Geschiebebewegung	< 20

b) Sammlung von k_{st} -Werten aus DVWK (1990):

Gerinne		k_{st} [m ^{1/3} /s]	k_s [m]
Erdkanäle	stärker bewachsen	32,5 - 34,5	0,19 - 0,27
	stark verkrautet	24,5 - 29	0,5 - 0,15
	kurzes Gras, etwas Kraut	30 - 45,5	
Vorländer	mitteldichtes Gestrüpp	6 - 22	
	dichte Weiden	5 - 9	
Kies und Steine	Grobkies	42,5 - 43	0,05 - 0,054
	Sand und Kies bis 60 mm	42 - 50	0,02 - 0,055
	mittlerer Kies	40	

6. SOBEK modellering - Profiel

Toevallig is er een raar profiel gevonden op de Giessen, profiel met ID: B_2207_:



6. SOBEK Modelling – extra weerstand

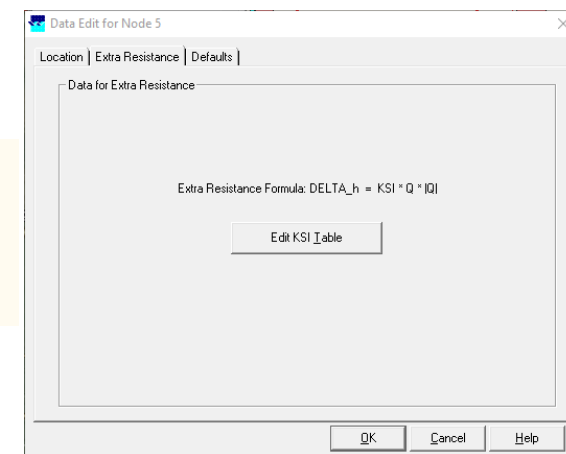
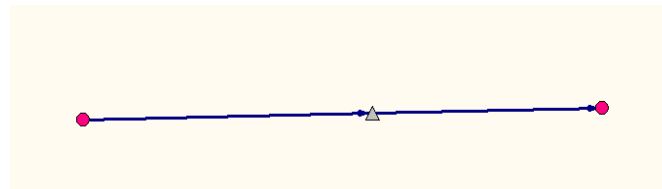
Voor het opnemen van aanvullende weerstand door bochten of door sifons raden we aan hiervoor een weerstandsknoop te gebruiken. Dit heeft als voordeel dat er geen schijnnaauwkeurigheid in het model zit en dat meteen duidelijk is dat dit een modelaannname is. Dit betekent concreet:

1) voor het sifon – 1 weerstandsknoop opnemen met verlies van 5 à 10 mm bij $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

het complete sifon wordt hiermee dus in een weerstandsknoop weergegeven.

1) voor de Giessen – 1 weerstandsknoop opnemen met verlies van 5 cm bij $Q = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

de bochttopstuwing wordt opgelegd bij Giessenburg, en is conservatief (zie slide 27, maar bevat ook opstuwing voor andere bochten die mogelijk ook orde 1 mm bijdragen)



7. Opstuwing

- Door het milde verhang en de lage stroomsnelheden is het lastig om uit waterstandsmetingen de ruwheid te kalibreren. Slide 16 laat een beeld van geschatte ruwheid zien op basis van de eigenschappen van begroeiing op oevers en bodemmateriaal en -vorm. Wind en bodemweerstand zijn twee effecten die kunnen zorgen voor opstuwing. Theoretisch kunnen we hier wel iets over zeggen. De volgende slides behandelen formules die opstuwing door de wind of bodemweerstand beschrijven. Gebruikmakend van deze formules kan een variatie van bodemruwheidseffecten en windopstuwing worden bepaald om te komen tot een robuust ontwerp.

Schuifspanning door bodem Schuifspanning door wind



$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial z_w}{\partial x} + \frac{\tau_b}{\rho h} - \frac{\tau_{wind}}{\rho h} = 0$$

- Energieverliezen in bochten kunnen ook zorgen opstuwing (zie hiervoor slides 27-30 bochteffecten Giessen).

7. Opstuwing

Opwaaiing

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial z_w}{\partial x} + \frac{\tau_b}{\rho h} - \frac{\tau_{wind}}{\rho h} = 0$$

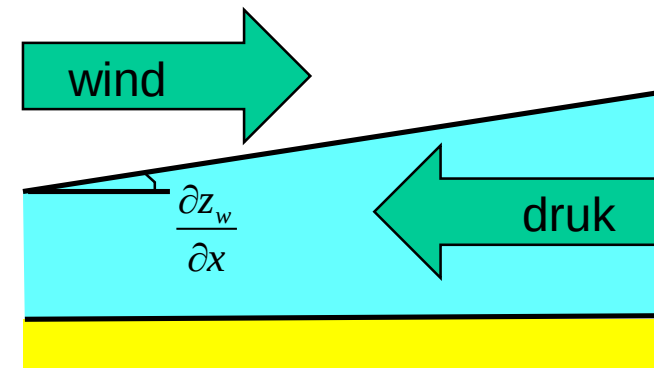
Vereenvoudiging door aannames:

Geen dieptegemiddelde stroming: $u = 0$

Verwaarlozing van bodemwrijving

Empirisch: $\tau_{wind} = \rho_{lucht} C_{wind} U_{wind}^2$

$$\frac{\partial z_w}{\partial x} = \frac{\rho_{lucht}}{\rho} C_{wind} \frac{U_{wind}^2}{gh}$$



7. Opstuwing

Opwaaiing

$$\frac{\partial z_w}{\partial x} = \frac{\rho_{lucht}}{\rho} C_{wind} \frac{U_{wind}^2}{gh}$$

Hoe groot is de opwaaiing over 1 km van de Giessen bij windkracht 10 (26,5 m/s)?

$$\rho_{lucht} \approx 1 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{wind} \approx (0,63 + 0,066 U_{wind}) \cdot 10^{-3}$$

$$g \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$h \approx 5 \text{ m}$$

$$\frac{\partial z_w}{\partial x} = 33,4 \text{ mm/km}$$
$$\Delta z_w = 33,4 \text{ mm}$$

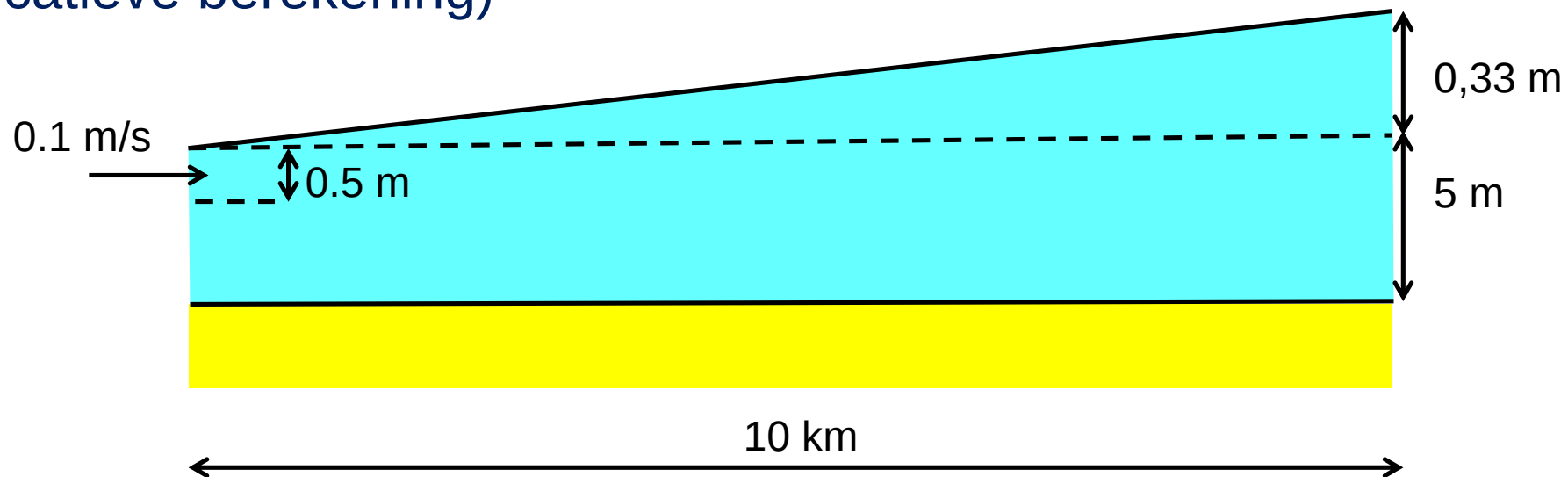
Literatuurverwijzingen:

Smith S. D., Banke E. G., 1975, Variations of the sea surface drag coefficient with wind speed, Q. J. Roy. Meteorol. Soc., 101, 665–673,
<http://dx.doi.org/10.1002/qj.4971014292>

Opwaaiing

Hoelang duurt het voor die opwaaiing bereikt is?

(Indicatieve berekening)



Te vullen volume per eenheid van breedte = $0,5 \times 0,33 \times 10\,000 \approx 1\,650 \text{ m}^2$

Watertoevoer per eenheid van breedte = $0.1 \times 0.5 = 0.05 \text{ m}^2/\text{s}$

Vulduur = $33\,000 \text{ s} \approx 9 \text{ uur}$

Stormduur is een belangrijke factor!

7. Opstuwing

Bodemweerstand bij hellende bodem (1)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_b}{\rho h} - \frac{\tau_{wind}}{\rho h} = 0$$

Vereenvoudiging door aannames:

Stationaire stroming: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
Verwaarlozing van wind $\tau_{wind} = 0$
Empirisch: $\tau_b = \rho \frac{g}{C^2} u^2$
Constance afvoer $q = hu$
Constant bodemverhang $\frac{\partial z_b}{\partial x} = -S_b$
Constance breedte

Bé langer

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -S_b \frac{h^3 - h_e^3}{h^3 - h_c^3}$$

$C = 25 \left(\frac{h}{k} \right)^{1/6}$

Chezy

Strickler

$$h_e = \sqrt[3]{\frac{c_f q^2}{-g S_b}}$$

Evenwichtsdiepte

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3}$$

Kritische diepte

7. Opstuwing

Bodemweerstand bij hellende bodem (2)

Bélanger

$$\frac{\partial h}{\partial x} = -S_b \frac{h^3 - h_e^3}{h^3 - h_c^3}$$

Benadering van Bresse: ($h \gg h_c$)

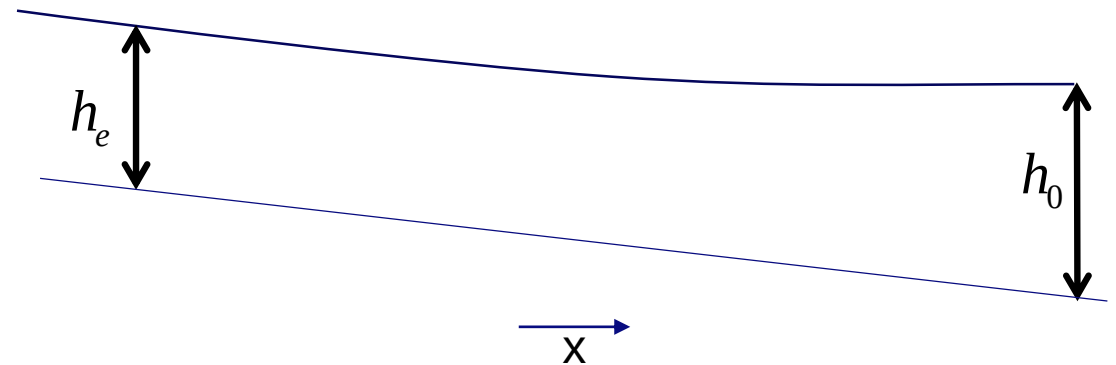
$$\frac{\partial h}{\partial x} = -S_b \left[1 - \frac{h_e^3}{h^3} \right]$$

$$h \approx h_e + (h_0 - h_e) \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{x-x_0}{L_{1/2}}} \quad L_{1/2} = \frac{0.24h_e}{-S_b} \left(\frac{h_0}{h_e} \right)^{4/3}$$

Benadering voor kleine afwijking van de evenwichtsdiepte $h_0 \approx h_e$

$$L_{1/2} = \frac{0.24h_e}{-S_b}$$

Voor evenwichtsdiepte van 5 m en helling van 1.5 cm per km halveert het verschil met de evenwichtsdiepte over de halveringslengte $L_{1/2} \approx 80$ km



7. Opstuwing

Bodemweerstand bij hellende bodem (3)

Aanpassingslengte van opstuwingen voor kleine Froudegetallen:

$$h'(x) = \hat{h} \exp\left(-\frac{x}{L_s}\right) \quad L_s = \frac{h}{-3S_b}$$

Eerste schatting: waterdiepte h = gemiddelde waterdiepte van dwarsprofiel met willekeurige vorm (na weglating van zeer ondiepe plateaus in het dwarsprofiel)

Uitdoving van stuweffect tot 5% ($=\exp(-3)$) op afstand stroomopwaarts $x = 3L_s = h/S_b$

7. Opstuwing

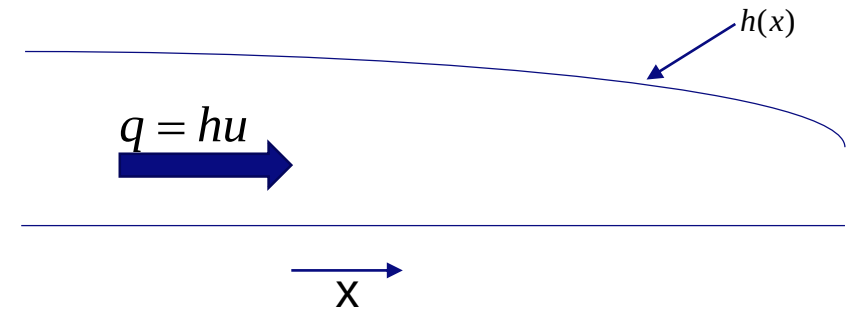
Bodemweerstand bij vlakke bodem

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial z_w}{\partial x} + \frac{\tau_b}{\rho h} - \frac{\tau_{wind}}{\rho h} = 0$$

Vereenvoudiging door aannames:

Stationaire stroming:	$\frac{\partial}{\partial t} = 0$
Verwaarlozing van wind	$\tau_{wind} = 0$
Empirisch:	$\tau_b = \rho \frac{g}{C^2} u^2$
Constante afvoer	$q = hu$
Subcritisch	$h > h_c$
Constante breedte	

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{-\frac{q^2}{C^2}}{\left(h^3 - \frac{q^2}{g}\right)} = \frac{-\frac{q^2}{C^2}}{(h^3 - h_c^3)}$$



Iteratief numeriek op te lossen, via bijvoorbeeld SOBEK, maar voor evenwichtsstroming geldt lokaal de relatie tussen de gradient van de water diepte en de water diepte

8. Bochteffecten Giessen



8. Bochteffecten Giessen

Stromingsweerstand en waterstanden

- Conservatieve schatting (= bovengrens) van energieverliezen in bochten:

$$\Delta z_w = \frac{u^2}{2g} \quad \text{Bij } u_{\max} = 0,3 \text{ m/s} : \Delta z_{w,\max} \approx \frac{0,3^2}{20} = 0,0045 \text{ m} \approx 5 \text{ mm}$$

- Empirische reductie in boek van Ven Te Chow (1959) (zie volgende bladzijde). Advies: empirische reductie niet toepassen, maar alleen het bochtverlies bij De Giessenburg in rekening brengen (= de verliezen van meerdere bochten in één bocht concentreren)
- Niet aanbevolen: aanpassing Chézy- of Manning-coefficient als functie van kronkelfactor (sinuositeit) volgens James (1994), want kronkelfactor zegt niets over karakter van bochten (scherp of rond)

Literatuurverwijzingen:

Chow, V.T. (1959), Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.

James, C.S. (1994), Evaluation of methods for predicting bend loss in meandering channels. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.120, No.2, pp.245-253.

8. Bochteffecten Giessen Stromingsweerstand en waterstanden

Ven Te Chow (1959, pp.443-444):

$$\Delta z_w = f_c \frac{u^2}{2g}$$

met bochtweerstandcoëfficiënt f_c tussen 0 en 1, af te lezen uit grafieken met resultaten uit experimenten. Grafieken in rechterkolom suggereren dat f_c voor gebruikelijke R/B hooguit 0,2 à 0,3 bedraagt, maar grafieken in linkerkolom suggereren dat f_c hoger kan uitvallen bij de hogere Reynoldsgetallen van een echte rivier. Een realistische schatting voor de bochten van de Giessen lijkt $f_c = 0,4$. Dat geeft:

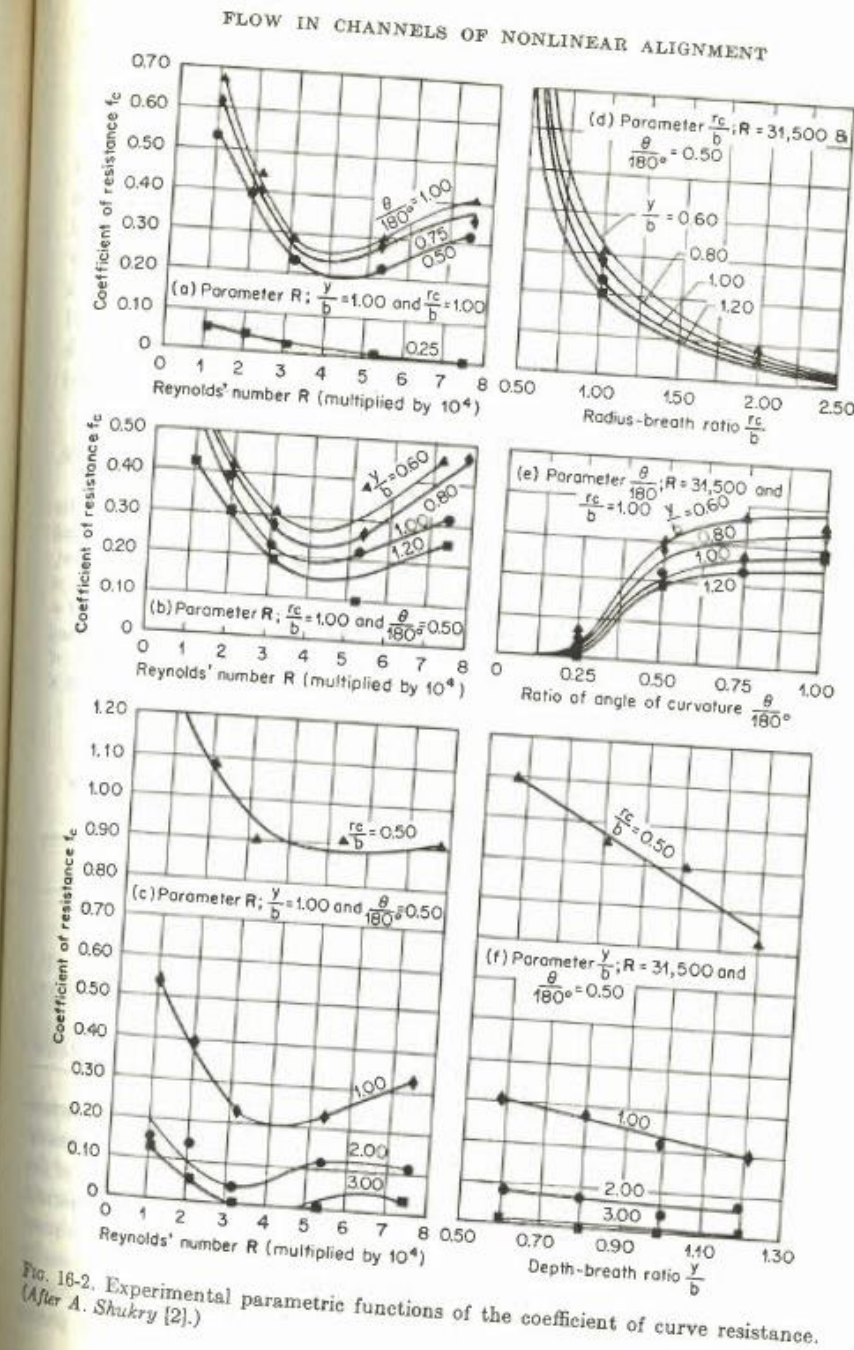
Realistische schatting van energieverliezen in bochten:

$$\Delta z_w = 0,4 \times 5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

Literatuurverwijzing:

Chow, V.T. (1959), Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.

Deltares



8. Bochteffecten Giessen

Stromingsweerstand en waterstanden

Zitten de stromingsweerstand (energieverliezen) in de bochten al in de bestaande kalibratie?

- Stroomsnelheden in bestaande situatie:

$$u_{oud} = \sqrt[3]{\frac{Q_{oud}}{Q_{nieuw}}} u_{nieuw} = \sqrt[3]{\frac{2}{20}} u_{nieuw} = 0,46 \times 0,3 \text{ m/s} = 0,14 \text{ m/s}$$

- Reeds in bestaande kalibratie meegenomen energieverliezen in bochten zijn dan

$$\Delta z_w = \frac{u^2}{2g} = \frac{0,14^2}{20} \text{ m} = 0,001 \text{ m} = 1 \text{ mm}$$

Schattingen voor het energieverlies per bocht kunnen daarom met 20% gereduceerd worden.

8. Bochteffecten Giessen

Stroombeeld en belastingen op oevers

Bestaande kennis van morfologie in bochten is goed uitgewerkt voor **alluviale** rivieren (= rivieren die stromen in een bedding van eigen sediment (zand, grind) en die die bedding nog steeds vormen en vervormen door erosie en sedimentatie):

- Grootste diepte en grootste stroomsnelheden in buitenbochten
- Diverse mechanismen voor erosie in buitenbocht (Crosato & Mosselman, 2020)
- Empirische ontwerpformules (CIRIA et al, 2007; Hoffmans & Verheij, 1997)

MAAR: de Giessen is niet alluviaal

De Giessen heeft een ondergrond van veen, met een laag slib op de bodem.

Literatuurverwijzingen:

Crosato, A. & E. Mosselman (2020), An integrated review of river bars for engineering, management and transdisciplinary research. Water, 12, 596; doi:10.3390/w12020596 ([open access](#)).

CIRIA, CUR & CETMEF (2007), The Rock Manual; The use of rock in hydraulic engineering. O683, CIRIA, London, United Kingdom ([2nd edition with corrections of errata 2012](#)).

Hoffmans, G.J.C.M. & H.J. Verheij (1997), Scour manual. Balkema, Rotterdam, the Netherlands ([new updated version to appear in 2021](#)).

8. Bochteffecten Giessen

Stroombeeld en belastingen op oevers

Scherpe bocht en niet-alluviale bodem:

- Loslating en insnoering van de stroming
- Grootste stroomsnelheden niet langs de oever van de buitenbocht
- Geen uitgesproken diepe buitenbocht en ondiepe binnenbocht

Stroming:

- Complexe 3D structuur
- Grootste dieptegemiddelde stroomsnelheid kan lokaal 2x zo groot zijn als de over het gehele dwarsprofiel gemiddelde stroomsnelheid
- Verhouding tussen maximale en gemiddelde stroomsnelheid is beter te schatten met een 3D numeriek hydrodynamisch model, maar zo'n model garandeert geen hoge precisie wegens onzekerheden in:
 - hydraulische wandruwheid van bodem en oevers
 - gekozen conceptueel-empirisch turbulentiemodel

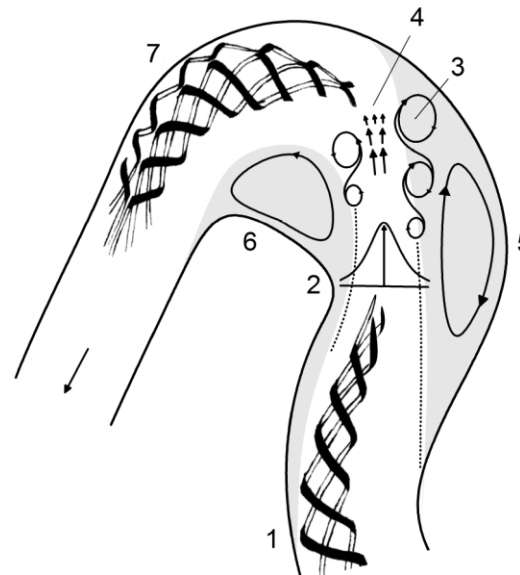
8. Bochteffecten Giessen

Stroombeeld en belastingen op oevers

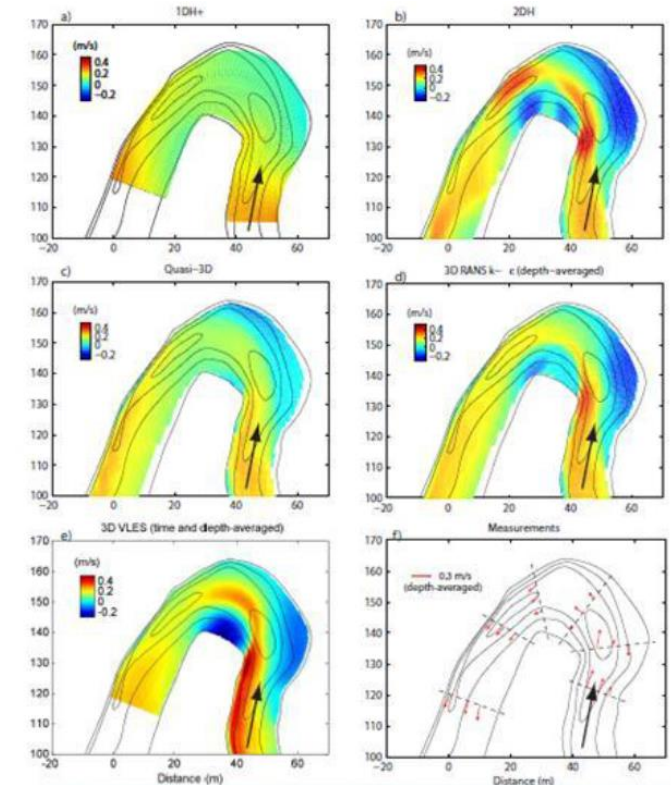
Vergelijkbaar beeld in bocht van riviertje de Tollense in Duitsland



Foto van stroming in de Tollense Rivier (Februari 2010) (Schnauder en Sukhodolov, 2012)



Schematische weergave 3D stroming van Tollense (Schnauder en Sukhodolov, 2012)



Uitkomsten van verschillende modellen met verschillende resoluties (cf. Ottevanger 2013)

Literatuurverwijzingen:

Ottevanger, W. (2013), Modelling and parameterizing the hydro- and morphodynamics of curved open channels. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft.

Schnauder, I. & A.N. Sukhodolov (2012), Flow in a tightly curving meander bend: effects of seasonal changes in aquatic macrophyte cover. Earth Surface Processes and Landforms, BSG, Vol.37, No.11, pp.1142-1157.

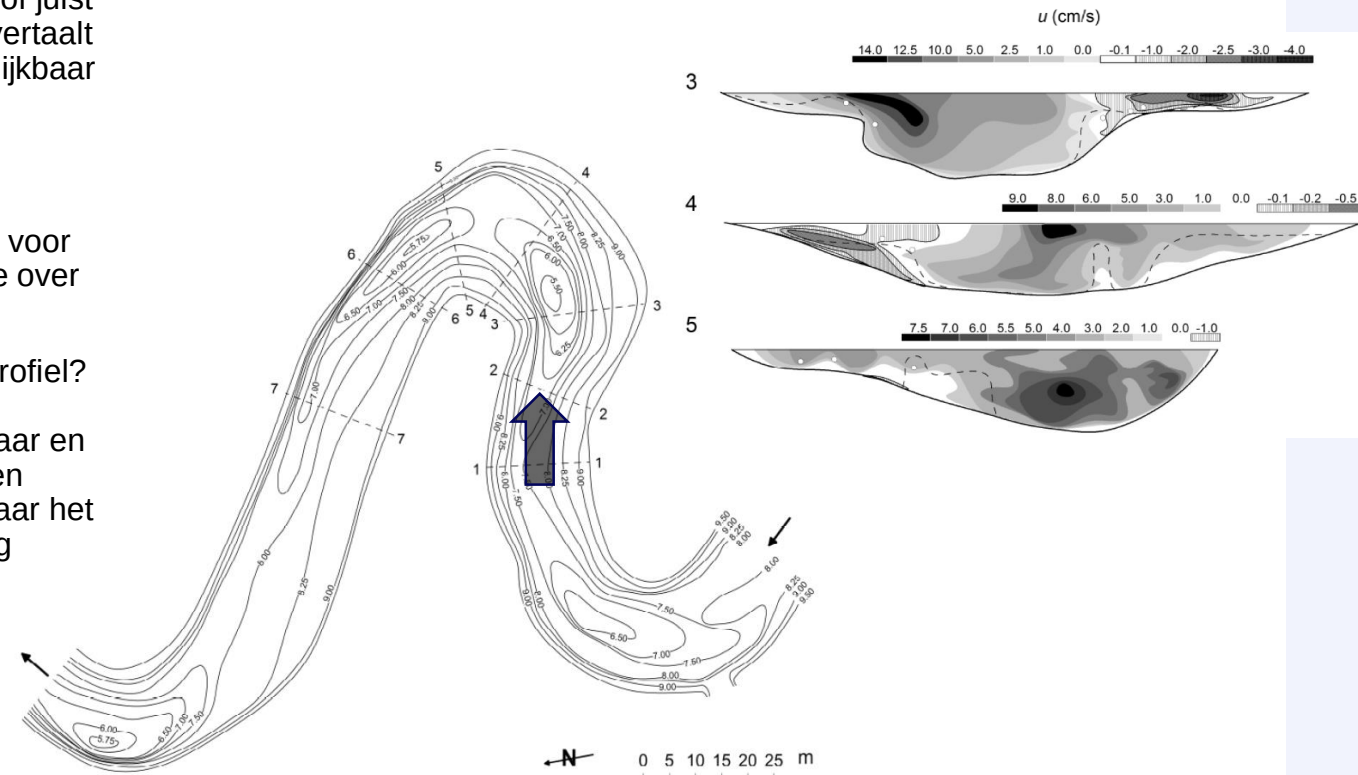
8. Bochteffecten Giessen

(aanvullende vragen over Tollense via email 14 april)



- Wat voor ondergrond heeft deze rivier?
Het is mij niet bekend welke ondergrond de rivier heeft.
- Kun je het profiel ook toevoegen? Is dit een vrij vlak profiel geweest of juist een profiel met een verdieping in het midden van de rivier? En hoe vertaalt zich dat naar het profiel van de Giessen, is deze zo ongeveer vergelijkbaar met de Giessen qua ondergrond en profiel? De bodemligging in de Tollense en enkele profielen zijn bijgevoegd.
In het figuur hiernaast staan enkele dwarsprofielen. Het een op een vertalen van de situatie naar de Giessen is wel lastig, vandaar de aanbeveling om te meten bij ingebruikname. Als er toch een wens is voor een detail 3D berekening vooraf, kunnen we daar natuurlijk met jullie over nadenken over hoe we dit eventueel vorm kunnen geven.
- Is de diepte van een profiel nog van grote invloed op het stromingsprofiel? Zo ja, op welke wijze?
De diepte van een profiel kan invloed hebben, maar het ligt eraan waar en hoe. Doorgaans zal een dieper deel meer stroming trekken, maar een lokale verdieping kan ook werken als een soort kuil op het strand, waar het hard overheen waait en dus geen echte verandering van de stroming boven de kuil veroorzaakt.

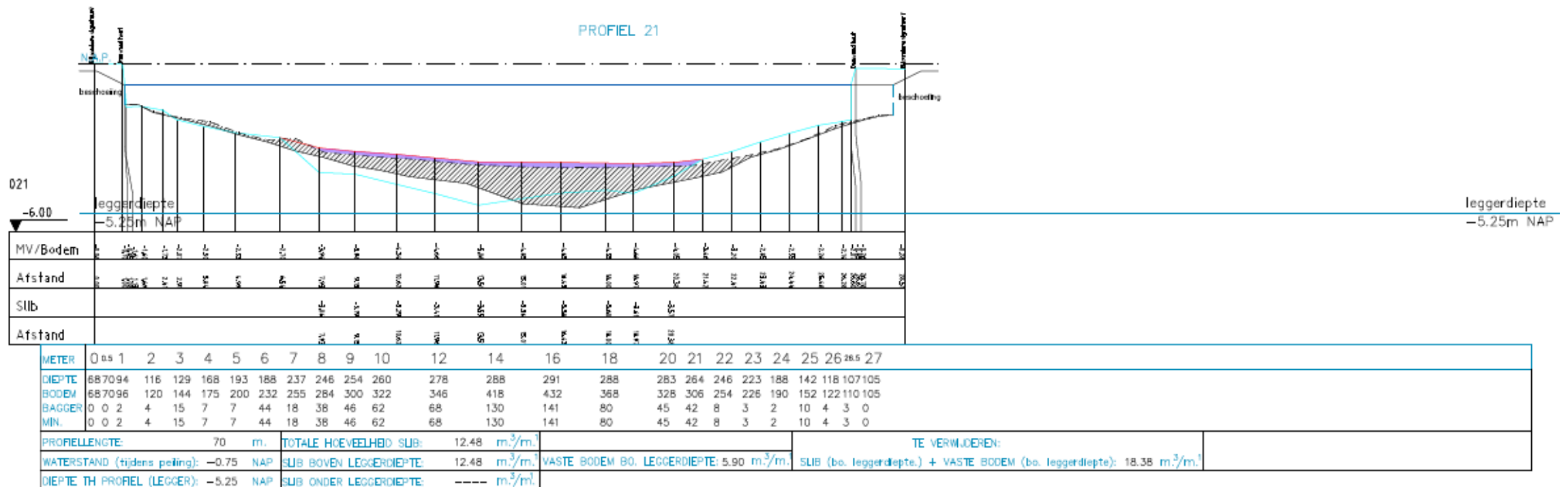
Het lokaal verdiepen van de bocht bij Giessenburg lijkt ons geen goed idee, aangezien hiermee mogelijk ook veenpakketten in beweging zouden kunnen komen. Gezien de complexe stroming die kan optreden (vgl. slide 31) is het belangrijk goed zicht te hebben op de huidige en verwachte stroombeelden.



8. Bochteffecten Giessen

Stroombeeld en belastingen op oevers

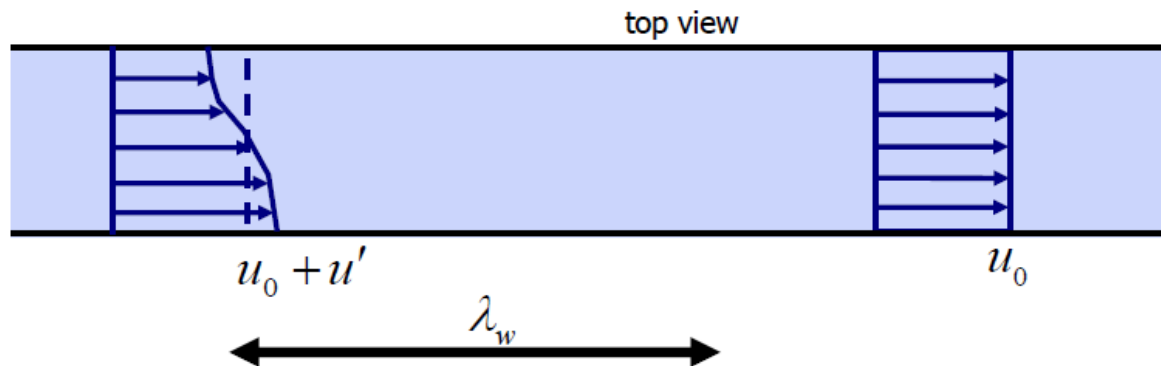
- Huidige bodemdwaarsprofielen geven geen aanleiding tot zorgen om aantasting van oevers
- Geen voorzieningen in dit stadium, maar stapsgewijze ingebruikname met monitoring van effecten



8. Bochteffecten Giessen

Stroombeeld en belastingen op oevers

Aanpassingslengte λ_w van bochteffecten



$$u'(x) = \hat{u} \exp\left(-\frac{x}{\lambda_w}\right)$$

$$\lambda_w = \frac{C^2 h}{2g}$$

Eerste schatting: waterdiepte h = gemiddelde waterdiepte van dwarsprofiel met willekeurige vorm (na weglating van zeer ondiepe plateaus in het dwarsprofiel)

u_0 gemiddelde snelheid
 u' afwijking van gemiddelde snelheid
 x afstand

Uitdoving van snelheidsverschillen over het dwarsprofiel tot 5% ($=\exp(-3)$) op afstand stroomafwaarts $x = 3\lambda_w$

Literatuurverwijzing:

Struiksma, N., K.W. Olesen, C. Flokstra & H.J. de Vriend (1985), Bed deformation in curved alluvial channels. Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol.23, No.1, pp.57-79.

8. Bochteffecten Giessen

Advies voor monitoring

Opname van bodemligging en staat van beschoeiing in huidige situatie (ook voor schadeclaims)

Tests met hoge maar niet meteen maximale stroomsnelheden na ingebruikname:

- Stromingspatroon tijdens piekafvoer (aspecten: loslating, insnoering en concentratie van stroming langs oevers)
- Bodemdwarsprofielen tijdens en na de piekafvoer

8. Bochteffecten Giessen

Ontwerp van bochten in nieuwe boezem

Vuistregel voor bochten die niet te scherp zijn:

R_{as} bochtstraal op de rivieras

B rivierbreedte

$$\frac{R_{as}}{B} \geq 2.5 \text{ à } 3$$

Literatuurverwijzing (geen harde onderbouwing maar inspiratie voor criterium):

Hickin, E.J. & G.C. Nanson (1984), Lateral migration rates of river bends. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.110, No.11, pp.1557-1567.

Dankwoord

Graag willen we nog Janneke de Graaf (Hydrologic), Jan van de Braak (Waterschap Rivierenland), Goswin van Staveren (Infram) en Berthe Brouwer (Infram) bedanken voor de waardevolle discussies die we hebben gehad bij het opstellen van het advies.

Contact

- | | | | | | |
|---|--|---|--|---|---|
|  | www.deltares.nl |  | @deltares |  | linkedin.com/company/deltares |
|  | info@deltares.nl |  | @deltares |  | facebook.com/deltaresNL |

