

MORFODYNAMIEK DINKEL ZUID

Waterschap Vechtstromen

11 JULI 2019 - DEFINITIEF



Contactpersoon

NATHANAËL GELEYNSE
LAURA COUMOU

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

Titelpagina: Dinkel te Glane, bron: Losser Nieuws, 31-jan-2018

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	5
1 INLEIDING	7
2 BESCHRIJVING PROJECTGEBIED	8
2.1 Algemeen	8
2.2 Landschapsgenese en geomorfologische setting	10
2.2.1 Pleistocene ontwikkelingen	10
2.2.2 Holocene ontwikkelingen	10
2.2.3 Bodemopbouw	10
2.3 Historische ontwikkelingen (decennium-schaal)	12
2.3.1 Algemene ontwikkelingen	12
2.3.2 Oeverbestortingen	12
2.3.3 Geulverruiming	12
2.3.4 Gobi-matten in bedding	13
2.4 Huidige en toekomstige ontwikkelingen	14
3 THEORETISCH KADER MORFODYNAMIEK	19
3.1 Welke afvoer bepaalt de morfodynamiek?	19
3.2 Sedimenttransport en sedimentatie/erosie	19
3.3 Geulpatronen in relatie tot stromingsvermogen en korrelgrootte	21
3.3.1 Geulpatroontypen	21
3.3.2 Stabiliteitsdiagram voor geulpatronen	21
3.4 Karakteristieken van meanderende rivieren	23
3.4.1 Stroming in een meanderbocht	23
3.4.2 Dwarsprofielen	25
3.4.3 (Geo)morfologie	25
3.5 Invloed van erosiegevoeligheid van de oever op geulmigratie	26
3.5.1 Relatie migratiesnelheid – breedte-diepteverhouding	26
3.6 Relatie tussen meandermigratiesnelheid en de meanderbochtstraal	27

4	HISTORISCHE EN HUIDIGE MORFODYNAMIEK DINKEL ZUID	28
4.1	Algemene relevante procesvariabelen	28
4.1.1	Afvoer	28
4.1.2	Dalverhang	28
4.1.3	Sedimentsamenstelling in geul	28
4.1.4	Sedimentsamenstelling in het stroomdal	31
4.2	Historische 'natuurlijke' morfodynamiek	34
4.2.1	Afvoer	34
4.2.2	Historische activiteit en kronkelfactor	35
4.2.3	Natuurlijke dwarsdoorsnede	36
4.3	Huidige morfodynamiek	40
4.3.1	Verval, verhang en kronkelfactor	40
4.3.2	Hydrodynamiek	40
4.3.3	Huidige dwarsdoorsnede	47
4.3.4	Sedimentbalans	49
5	TOEKOMSTIGE SITUATIE EN VERWACHTE MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN DINKEL ZUID	54
5.1	Toekomstige situatie volgens definitief voorontwerp	54
5.2	Verwachte trends in morfologische ontwikkelingen Dinkel Zuid	56
5.2.1	Aanpassingen in het dwarsprofiel	56
5.2.2	Veranderingen in sedimenttransportcapaciteit	56
5.2.3	Meanderpotentie	59
	Stabiliteitsdiagram	59
	Belang van ondergrond en vegetatie	60
5.3	Locatie-specifieke verwachte morfologische ontwikkelingen	61
5.3.1	Situatie bij Glane	61
5.3.2	Situatie bij paaiplaats benedenstrooms van Weertsbrug	62
6	AANBEVELINGEN	63
6.1	Ontwerp	63
6.2	Monitoring	63
	LITERATUURLIJST	66
	BIJLAGE 1 TOPOGRAFISCHE KAARTEN DINKEL ZUID	67
	COLOFON	69

SAMENVATTING

In het voorliggende rapport is ingegaan op de morfodynamiek van de Dinkel Zuid in het kader van het herstel van de Dinkel. Het nieuwe ontwerp van de Dinkel in het projectgebied (Duitse-Nederlandse grens tot aan de Ellermansbrug bij Losser) is hoofdzakelijk gericht op het halen van de (ecologische) doelstellingen vanuit het Natura2000-beleid en de Europese Kaderrichtlijn Water. Het herstellen van natuurlijke morfodynamiek is hiervoor een randvoorwaarde. Hieronder wordt onder andere het met enige regelmaat buiten de oevers treden van de Dinkel verstaan, waarbij zand op de oevers wordt afgezet (natuurlijke oeverwalvorming). Binnen dit kader gaat deze studie in op de historische en huidige morfodynamiek van de Dinkel Zuid om hiermee vervolgens een eerste kwalitatieve inschatting te geven van de te verwachten morfodynamiek in de toekomstige situatie.

Tot circa 1970 waren de invloeden van menselijk ingrepen beperkt en was de situatie als 'natuurlijk' te beschouwen. Na 1970 was de Dinkel Zuid niet langer natuurlijk door een aantal menselijke ingrepen: er zijn meanderbochten afgesneden, het profiel is verbreed en daarmee het doorstroomoppervlak vergroot, Gobi-matten hebben de bedding vastgelegd en puinstoringsen in/op de oever houden de oevers vast. In de toekomst wordt volgens het definitieve voorontwerp een deel van deze ingrepen weer ongedaan gemaakt: de dwarsdoorsnede wordt verkleind, de Gobi-matten en puin worden grotendeels verwijderd, de geul wordt op meerdere locaties verlegd om weer meer meanders te creëren en er worden bij Glane compensatiemaatregelen voor hoogwaterveiligheid aangebracht (duiker en bypass/nevengeul).

Historische morfodynamiek

De Dinkel is van nature een kleine, actief meanderende rivier met zandbedding. De oude kronkelwaarden en meanderhalsafsnijdingen in het beekdal zijn nog altijd zichtbaar in het landschap. De dynamiek varieerde over ruimte en tijd. Uit historische kaarten volgt dat de Dinkel een hoge kronkelfactor had en de afgelopen anderhalve eeuw relatief stabiel is geweest binnen het projectgebied. Benedenstrooms waren de geulmigratiesnelheden in de orde van enkele dm/jaar. Waar de geul weinig verplaatst is, hebben oeverwallen sterker kunnen ontwikkelen. Op locaties waar de Dinkel in/langs de fluvioglaciale en eolische zandgronden langs de rand van het Dinkedal stroomt (m.n. benedenstrooms bij de Groene Staart) waren de geulmigratiesnelheden hoger, omdat dit sediment makkelijker te eroderen is dan de Holocene rivierafzettingen in het stroomdal. Dit benadrukt dat de ondergrond essentieel is in de morfologische ontwikkeling van de Dinkel, wat ook zal gelden voor de toekomstige situatie.

Belang van ondergrond voor morfodynamiek

In het definitieve schetsontwerp loopt de Dinkel Zuid door de Holocene rivierafzettingen van de Dinkel en niet langs/door de makkelijk erodeerbare Pleistocene zandgronden. De sediment-samenstelling van de ondergrond waar de nieuwe geul doorheen zal lopen, is op hoofdlijnen vergelijkbaar met de huidige geul: de huidige geul heeft een zandige bodem met een brede range in D50-waarden van 94 μm (uiterst fijn zand) tot 316 μm (zeer grof zand), met oevers met een vergelijkbare samenstelling met een kleine bijmenging van silt. De ondergrond in het stroomdal bestaat uit matig fijn zand, afgewisseld door zeer fijn en matig grof zand binnen het dieptebereik van de toekomstige geul. Het sediment in het stroomdal is echter lokaal cohesief door bijmenging van silt en leem en de aanwezigheid van decimeters dikke klei- en veenlagen. De geul zal zich moeilijker door deze cohesievere ondergrond heen kunnen verplaatsen dan door locaties met alleen zand, waardoor lokale variatie in de dynamiek van de geul te verwachten is. Met het oog op de natuurlijke ontwikkeling van oeverwallen is het gunstig dat de geul (lokaal) niet snel verplaatst, zodat de oeverwallen tijd hebben om te vormen. De exacte ligging van de (nieuwe) geul van de Dinkel ten opzichte van deze lokaal cohesievere ondergrond zal bepalend zijn voor de mate van geulmigratie. Hierbij is ook extra cohesie door vegetatie (doorworteling) van belang.

Belang van afvoer voor morfodynamiek

Niet alleen de ondergrond, maar ook de afvoer en het daaraan gerelateerde stromingsvermogen is van groot belang voor de morfodynamiek van de Dinkel. De afvoer van de Dinkel is over het algemeen gekarakteriseerd door neerslagpiekafvoeren in de winter van rond de 15 m³/s, en

baseflow door o.a. grondwateraanvoer in de zomer van veelal $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de morfodynamiek is de geulvullende afvoer de meest gebruikte maatgevende afvoer. Deze is voor de Dinkel in de huidige situatie ongeveer $9 - 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Voor de toekomstige situatie met een kleinere dwarsdoorsnede en kleinere breedte-diepteverhouding zal de geulvullende afvoer waarschijnlijk kleiner zijn; bij gebrek aan een representatieve historische of gemodelleerde geulvullende afvoer wordt nu de range $5 - 20 \text{ m}^3/\text{s}$ aangehouden.

Verwacht geultype en meanderpotentie

Met de verwachte afvoerrange en het dalverhang (0.0005 m/m) is het potentiële specifieke stromingsvermogen bepaald. Deze is samen met de korrelgrootterange in het geulpatroon-stabiliteitsdiagram geplot om een indicatie te geven van het te verwachten geultype en de potentie tot meanderen in een toekomstige dynamische evenwichtssituatie. De Dinkel Zuid plot grotendeels in de zone 'meanderende rivieren met scrolls'. Dit suggereert dat de Dinkel op termijn voldoende energie zal hebben voor laterale migratie van meanders. Dit is in overeenstemming met de geobserveerde dynamiek in de "natuurlijke" historische situatie. De historische migratiesnelheden geven een indicatie van wat mogelijk verwacht kan worden aan migratiesnelheden op de lange termijn, namelijk snelheden van orde grootte enkele decimeters per jaar. De daadwerkelijke, lokale migratiesnelheid zal echter sterk samenhangen met de lokale ondergrond.

Korte termijn aanpassingen in dwarsprofiel

De sectie hierboven gaat hoofdzakelijk in op de morfodynamiek op de langere termijn (dynamische evenwichtssituatie). Op kortere termijn, direct na aanleg van de nieuwe geul, is echter ook een trend in de morfodynamiek te verwachten met betrekking tot het dwarsprofiel. Het dwarsprofiel in het definitieve schetsontwerp is gebaseerd op de dwarsdoorsnede van de Dinkel in 1970 als zijnde meest representatief, natuurlijk evenwichtsprofiel, wat met de huidige kennis een goede aanpak lijkt. In het definitieve voorontwerp krijg het dwarsprofiel echter wel de vorm van een trapezium. Het is te verwachten dat dit profiel na aanleg een natuurlijkere vorm aan zal nemen: minder hoekig en in de meanderbochten asymmetrisch met een diepere buitenbocht en ondiepe binnenbocht. Erosie in de buitenbocht kan direct na aanleg relatief sterk zijn, mede doordat vegetatie de oever nog niet goed doorworteld heeft. Daarnaast wordt verwacht dat het doorstroomoppervlak zich aan gaat passen op de afvoer, met uiteindelijk een kleinere breedte-diepteverhouding dan het huidige genormaliseerde en verbrede profiel en dan het door Gobi-matten en/of puin vastgelegde profiel. De beste inschatting van de te verwachten breedte-diepteverhouding die op dit moment gegeven kan worden voor de toekomstige situatie, is gebaseerd op de historische, 'natuurlijke' situatie rond 1970 met waarden rond de $4 - 6$, waar in het ontwerp rekening mee is gehouden.

Veranderingen in sedimenttransport(capaciteit)

Morfodynamiek kan naast dynamiek door geulverplaatsing en aanpassingen in het dwarsprofiel ook beschreven worden door sedimenttransport. Hiervoor is de stroomsnelheid een belangrijke parameter. Uit reeds beschikbare 1D SOBEK-berekeningen voor de huidige situatie blijkt dat de profielgemiddelde stroomsnelheden in de Dinkel Zuid tussen de $0,1$ en $0,4 \text{ m/s}$ liggen bij gemiddelde condities en op kunnen lopen tot ca. $0,6 \text{ m/s}$ bij hoge afvoeren. Uit vergelijkbare berekeningen voor een oudere versie van het schetsontwerp met meer en scherpere bochten volgt dat de stroomsnelheden op locaties waar de geul verlegd wordt met max. $0,2 \text{ m/s}$ af zullen nemen, terwijl voor enkele andere locaties een lichte toename berekend is. Voor het definitieve schetsontwerp zijn echter geen stroomsnelheidsberekeningen beschikbaar; waarschijnlijk zijn de verschillen voor dit ontwerp kleiner. Op basis van de beschikbare gegevens lijkt de transportcapaciteit van de Dinkel Zuid in de verlegde geul in het algemeen af te nemen direct na aanleg.

Alles tezamen nemend lijkt het op basis van de huidige informatie en kennis plausibel dat het definitieve schetsontwerp bijdraagt aan het behalen van de doelstelling om de morfodynamiek van de Dinkel natuurlijker te maken. In het afsluitende hoofdstuk van dit rapport zijn aanbevelingen opgenomen, die gebruikt kunnen worden voor specifieke aspecten van het detailontwerp van de Dinkel Zuid. Tevens zijn in dit hoofdstuk aanbevelingen gegeven die gericht zijn op de monitoring van de toekomstige morfodynamiek van de Dinkel.

1 INLEIDING

Projectomschrijving

In het projectgebied van Dinkel Zuid tussen de grens met Duitsland en de Ellermansbrug bij het dorp Losser wordt door het waterschap Vechtstromen gewerkt aan het herstel van de genormaliseerde loop van de Dinkel ten behoeve van het stimuleren van meer natuurlijke hydromorfologische en ecologische processen. De geplande aanpassingen van de Dinkel omvatten drie type maatregelen: het versmallen van het dwarsprofiel, het verwijderen van de oeverbescherming en het hermeanderen van de Dinkel. Beide maatregelen zullen onder andere effect hebben op de toekomstige morfodynamiek van de Dinkel.

In de voorliggende studie is een overzicht gegeven van de beschikbare gegevens met betrekking tot de hydromorfodynamiek van de Dinkel Zuid en zijn aan de hand daarvan analyses verricht van de morfologische ontwikkelingen die in het gebied in verschillende perioden hebben plaatsgevonden. Tevens is op basis van deze analyses, gecombineerd met expert judgement, een eerste inschatting gegeven van de morfologische activiteit die kan worden verwacht na de voorgestelde herinrichting van de Dinkel Zuid.

Doel van het project

Het doel van de studie betrof de uitvoering van analyses op basis van beschikbare documentatie & data, gericht op de morfodynamiek van de Dinkel en het geven van een kwalitatieve inschatting van de te verwachten morfologische activiteit van de Dinkel na uitvoering van de genoemde maatregelen. Tevens zijn specifieke aanbevelingen gegeven, gericht op de ontwikkeling van een verder begrip van de effecten van de voorziene ingrepen, alsmede voor de monitoring van de morfodynamiek van de Dinkel Zuid.

Leeswijzer

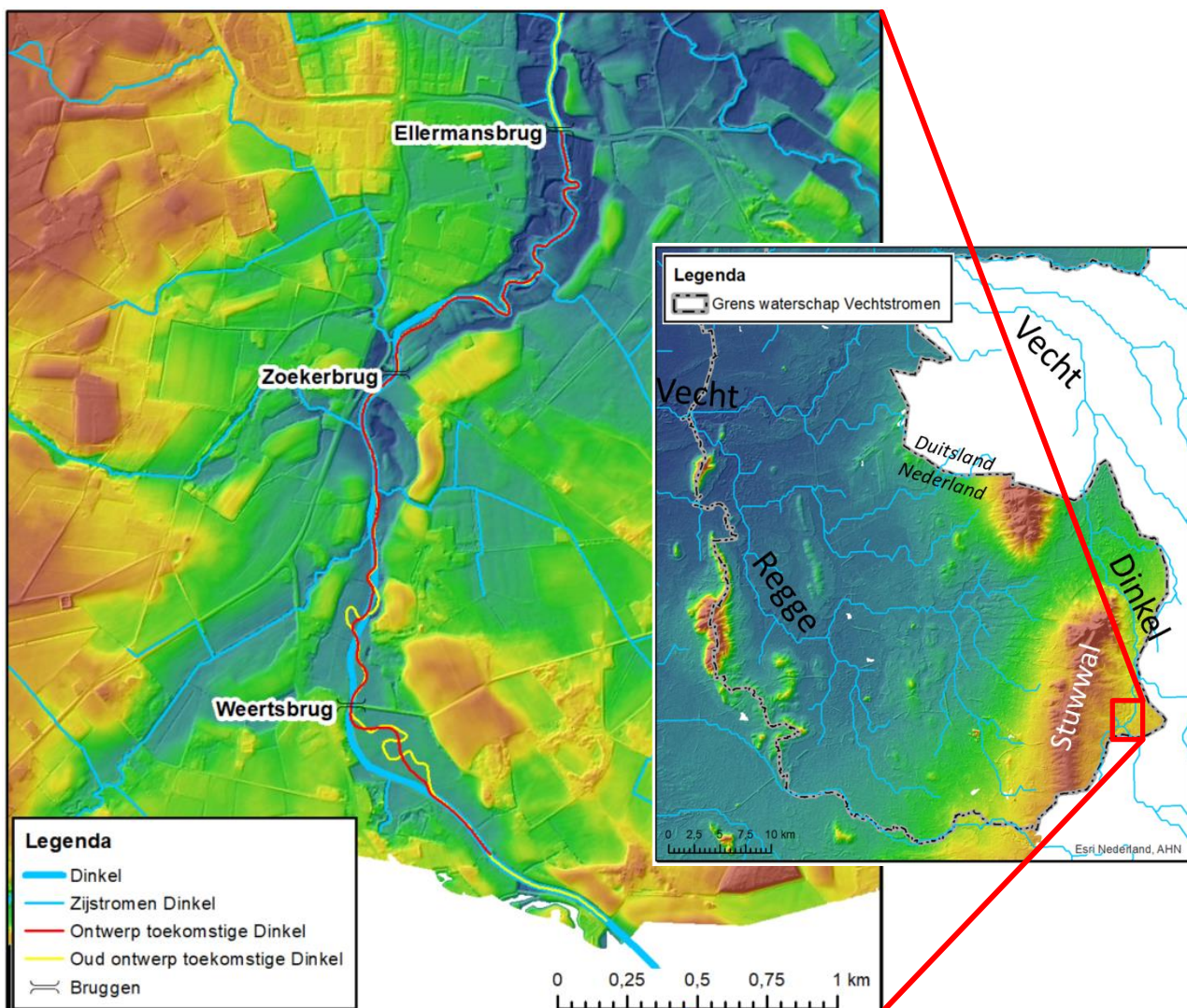
Het voorliggende rapport is als volgt opgebouwd. Eerst is in Hoofdstuk 2 een beschrijving van het studiegebied gegeven. Hierin is tevens ingegaan op de landschapsgenese en de huidige geomorfologische setting van de Dinkel Zuid. Daarnaast zijn in dit hoofdstuk de beoogde toekomstige ingrepen beknopt beschreven. In Hoofdstuk 3 is vervolgens het theoretische kader gepresenteerd waarin enkele relevante (technische) procesvariabelen en enkele theoretische relaties zijn opgenomen die van belang zijn voor het begrip van de historische, huidige en toekomstige morfodynamiek van de Dinkel Zuid. De presentatie en analyse van de beschikbare historische en huidige gegevens van de Dinkel Zuid zijn opgenomen in Hoofdstuk 4. Hierin is ook specifiek de sedimentsamenstelling in het gebied geadresseerd. Vervolgens is aan de hand van een synthese van alle beschikbare gegevens en analyses in Hoofdstuk 5 een eerste inschatting gegeven van de te verwachten morfologische ontwikkelingen in de voorgestelde toekomstige situatie. Hierbij is specifiek stilgestaan bij de geplande herinrichting in de omgeving van Glane en in de omgeving van de beoogde paaipplaatsen ten Noorden van Glane. In Hoofdstuk 6 zijn tevens specifieke aanbevelingen geformuleerd voor het toekomstige detailontwerp, alsmede voor de toekomstige morfologische monitoring van de Dinkel Zuid.

2 BESCHRIJVING PROJECTGEBIED

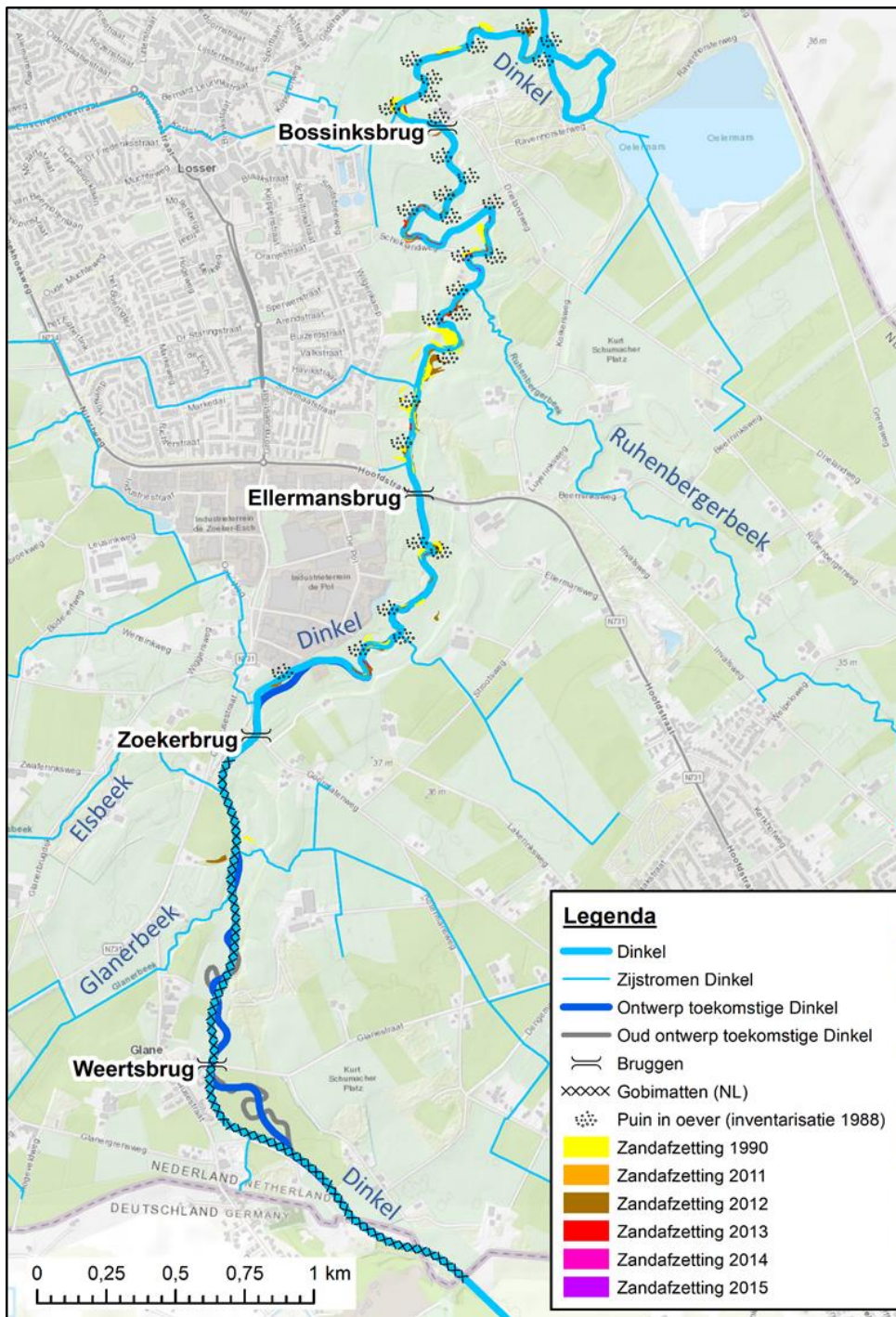
2.1 Algemeen

Figuur 2-1 en Figuur 2-2 geven een overzicht van de (hoogte)ligging van het projectgebied Dinkel Zuid. Het projectgebied wordt begrensd door de Duits-Nederlandse grens aan de bovenstroomse zijde en door de Ellermansbrug aan de benedenstroomse zijde. De Dinkel stroomt parallel aan de Oost-Twentse stuwwal aan de westzijde van de Dinkel (Figuur 2-1). Verschillende beekjes lopen van de stuwwal af en monden uit in de Dinkel, waaronder de Glanerbeek en Elsbeek binnen het projectgebied (Figuur 2-2). Benedenstrooms van de Ellermansbrug mondt de Ruhenbergerbeek uit in de Dinkel. Verder benedenstrooms in Duitsland voegt de Dinkel zich bij de Vecht om daarna westwaarts Nederland weer binnen te stromen.

De Dinkel is een kleine meanderende rivier met zandbedding. Het totale stroomgebied van de Dinkel heeft een grootte van ongeveer 650 km² (Wolfert, 2001). De Dinkel stroomt op een hoogte van circa 110 m +NAP naar 15 m +NAP. In het projectgebied ligt de stroomgordel van de Dinkel rond de 32-34 m +NAP (Figuur 2-1).



Figuur 2-1 Hoogtekaart (AHN2) van het projectgebied en omgeving. Naast de huidige loop van de Dinkel is ook de loop van de Dinkel uit een tweetal ontwerpfasen weergegeven.



Figuur 2-2 Overzichtskaart omgeving projectgebied Dinkel Zuid. Achtergrond: ArcMap Basemap Topografie met AHN2 hillshade.

In Figuur 2-2 is tevens het traject aangegeven waar in de huidige situatie de bedding (min of meer) is vastgelegd met zogenaamde Gobi-matten. Daarnaast zijn in de figuur verscheidene zandafzettingen weergegeven die op basis van luchtfoto's zijn gekarteerd. Deze aspecten komen in latere hoofdstukken aan de orde.

In de volgende secties zijn voor verschillende schaalniveaus in chronologische volgorde de ontwikkelingen en activiteiten in het studiegebied behandeld. In sectie 2.2 zijn eerst de geologische en geomorfologische achtergronden van het studiegebied beschreven. Hiermee kan een indruk worden verkregen van de morfodynamiek van de Dinkel in het (verre) verleden en deze informatie

fungeert als natuurlijke randvoorwaarden voor het te verwachten toekomstige morfologische gedrag van de Dinkel.

Vervolgens is in sectie 2.3 ingegaan op de historische activiteiten die in het studiegebied hebben plaatsgebonden, waaronder het aanbrengen van de hierboven genoemde Gobi-matten. De huidige situatie en de geplande toekomstige activiteiten in het gebied die relevant zijn voor het verwachte toekomstige morfologische gedrag zijn in sectie 2.4 beschreven.

2.2 Landschapsgenese en geomorfologische setting

2.2.1 Pleistocene ontwikkelingen

Figuur 2-3 toont de geomorfologische kaart van de Dinkel Zuid. Een groot deel van de geomorfologische setting van dit gebied is bepaald door de laatste ijstijden. Tijdens het Saalien was het gebied bedekt door een ijskap die vanuit Duitsland Nederland binnentrok. Deze ijskap heeft de stuwwal aan de westzijde van de Dinkel (buiten Figuur 2-3) gevormd tussen 200.000 en 125.000 v. Chr., hoewel nog niet geheel duidelijk is of dit enkel een stuwwal betreft (opgestuwd lokaal materiaal) of (ook) een keileemrug (afgezet materiaal door de ijskap) (Berendsen, 2008). Daarnaast is onder de gletsjer sediment afgezet dat achterbleef toen de gletsjer zich terugtrok. Deze afzetting is in een groot deel van het gebied ten westen van het projectgebied nog terug te vinden als 'vlakte van grondmorene'. Nadat de ijstong weggetrokken was, werden wind en water belangrijk voor de ontwikkeling van het landschap. De wind zorgde voor de vorming van dekzandruggen en -gordels onder de fluvioperiglaciale omstandigheden aan het eind van de laatste ijstijd (Weichselien). Deze afzettingen zijn tegenwoordig vooral aan de oostzijde van de Dinkel terug te vinden. Daarnaast vormde (smelt)water dat de stuwwal afstroomde de 'dalvormige laagtes' waar tegenwoordig ook nog beken doorheen stromen, zoals de Elsbeek. Deze beken verzamelden zich in het beekdal van de Dinkel, die in deze periode nog een vlechtende rivier was.

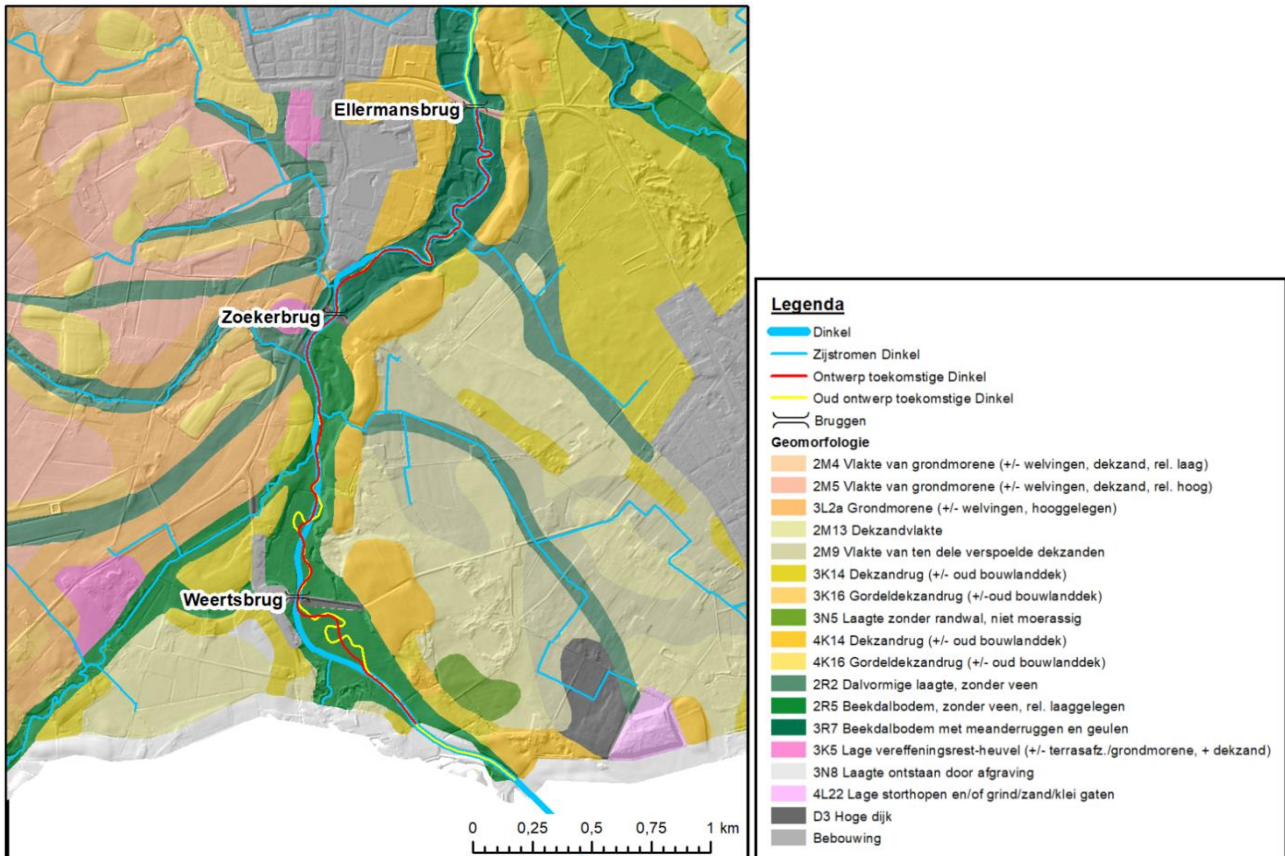
2.2.2 Holocene ontwikkelingen

In het Holoceen heeft het beekdal van de Dinkel zijn huidige vorm gekregen. De Dinkel was een sterk meanderende rivier die in een ca. 250-500 m brede overstromingsvlakte heen en weer bewoog en fluviatiele afzettingen vormde. De kronkelwaarden en meanderhalsafsnijdingen die hierbij werden gevormd, zijn deels nog in het landschap zichtbaar. De Dinkel trad ook buiten zijn oevers waarbij (i) oeverwallen werden gevormd, (ii) sediment werd afgezet op de overstromingsvlakte, en (iii) meanderhalsafsnijdingen (deels) werden opgevuld (Wolfert, 2001).

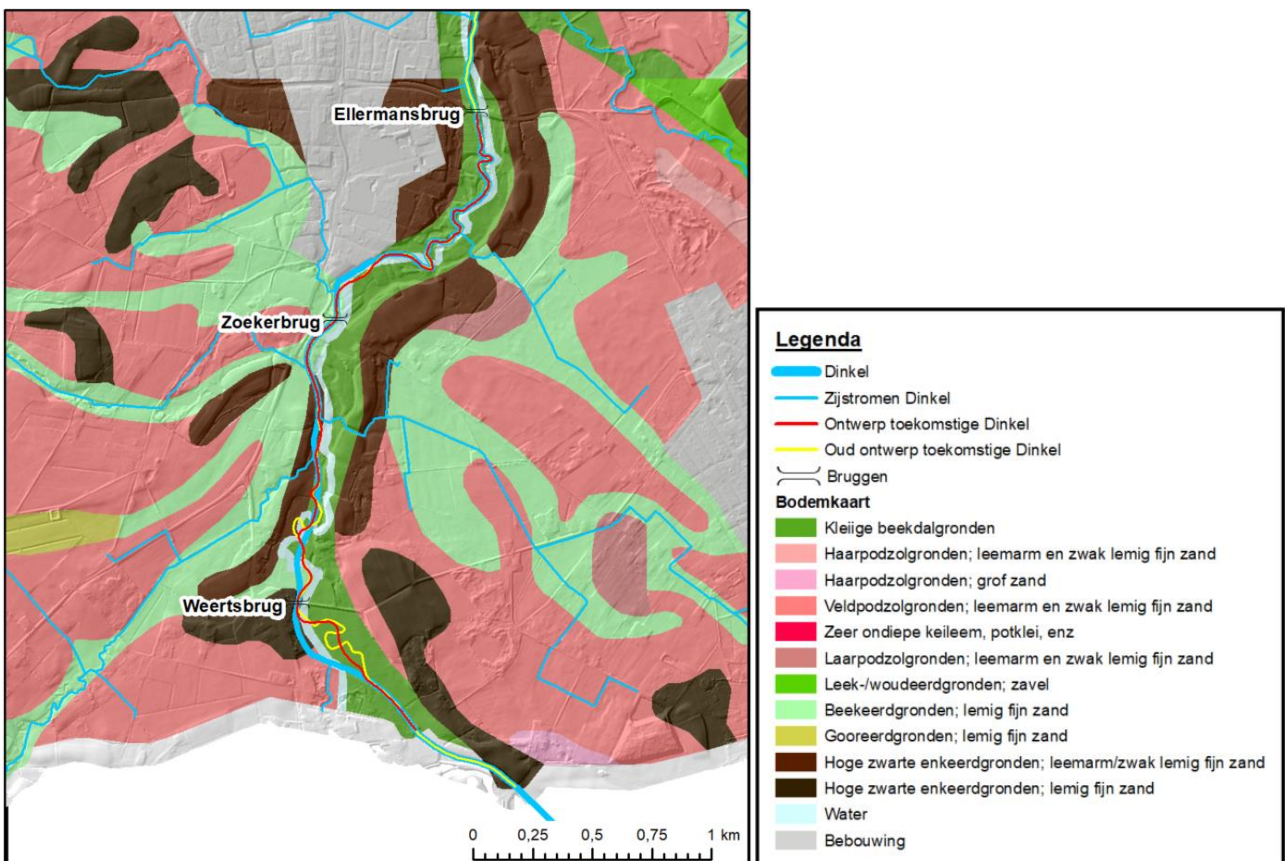
2.2.3 Bodemopbouw

De ondergrond van het stroomgebied van de Dinkel bestaat uit kalksteen uit het Krijt, Tertiaire klei en Pleistocene moreneafzettingen. In het beekdal is dit bedekt met zand en fijn gravel dat afgezet is onder periglaciale condities en lokaal zandige eolische afzettingen. Tenslotte zijn in het Holoceen in de overstromingsvlakte van de Dinkel fluviatiele afzettingen afgezet (Wolfert, 2001).

De geomorfologische ontwikkeling van het gebied is bepalend voor de aanwezige bodemtypen. Figuur 2-4 toont een bodemkaart van het projectgebied. De patronen in deze kaart komen grotendeels overeen met de patronen in de geomorfologische kaart (Figuur 2-3). Het gebied heeft hoofdzakelijk fijnzandige gronden met een siltige (/lemige) bijmenging in de dalen die uitkomen op de Dinkel. De stroomgordel van de Dinkel zelf zou daarentegen volgens de bodemkaart uit kleiige beekdalgrond bestaan. Boringen in het stroomdal van de Dinkel Zuid (zie sectie 4.1.4) zijn echter hoofdzakelijk zandig met af en toe een laag klei (/zavel/veen). Mogelijk zou daarom de classificatie herzien moeten worden. De bodem in het stroomdal behoort tot de enkelvoudige bodemassociaties, waar geen onderscheid wordt gemaakt in verschillende bodemlagen (zogenaamde horizonten). Keileem is volgens de bodemkaart relatief diep aanwezig nabij de Dinkel Zuid, hetgeen impliceert dat een dergelijke erosieresistente laag naar verwachting niet belemmerend zal zijn voor de laterale migratie van de Dinkel in geval, bij gelijkblijvende afvoer, het dwarsprofiel wordt verlegd of enigszins wordt geherdimensioneerd.



Figuur 2-3 Kaart met de geomorfologische eenheden in en rondom het projectgebied Dinkel Zuid. Bron: Geomorfologische kaart Nederland (Alterra, 2008), beschikbaar gesteld door PDOK. Hillshade o.b.v. AHN2.



Figuur 2-4 Kaart van de bodemtypen in en rondom het projectgebied Dinkel Zuid. Bron: Bodemkaart van Nederland 1:50.000, onderdeel van het BRO, beschikbaar gesteld door Alterra. Hillshade o.b.v. AHN2.

2.3 Historische ontwikkelingen (decennium-schaal)

2.3.1 Algemene ontwikkelingen

In de eeuwen tot de beginjaren '70 van de vorige eeuw was de Dinkel een 'natuurlijke' beek. Hiermee wordt bedoeld dat de geul zich min of meer vrij kon bewegen en een vorm aan kon nemen die paste bij de afvoer, het hieraan gerelateerde verhang en de samenstelling van de ondergrond. De term 'natuurlijk' staat echter wel tussen aanhalingstekens, omdat de mens in de afgelopen honderden jaren al langs de Dinkel leefde en mogelijk de loop van de geul in meer of mindere mate heeft beïnvloed door bijvoorbeeld lokale verleggingen of oeverbescherming om verlies van landbouwgrond of leefomgeving tegen te gaan. Mogelijk hebben in dit verband ook de grootschalige ontginningen in de 19^{de} eeuw in de regio geleid tot significante veranderingen in de afvoer van de Dinkel.

Bijlage 1 toont de ontwikkeling van de Dinkel Zuid op basis van historische topografische kaarten over de periode 1820 tot 2010. Uit deze figuren blijkt dat de loop van de Dinkel in het algemeen over een periode van zo'n anderhalve eeuw tot 1966 vrij stabiel is geweest. Het beeld uit 1988 ten opzichte van 1966 toont duidelijk de normalisatie van de Dinkel waarbij de geul minder bochten en minder sterke bochten bevat ten opzichte van de periode daarvoor.

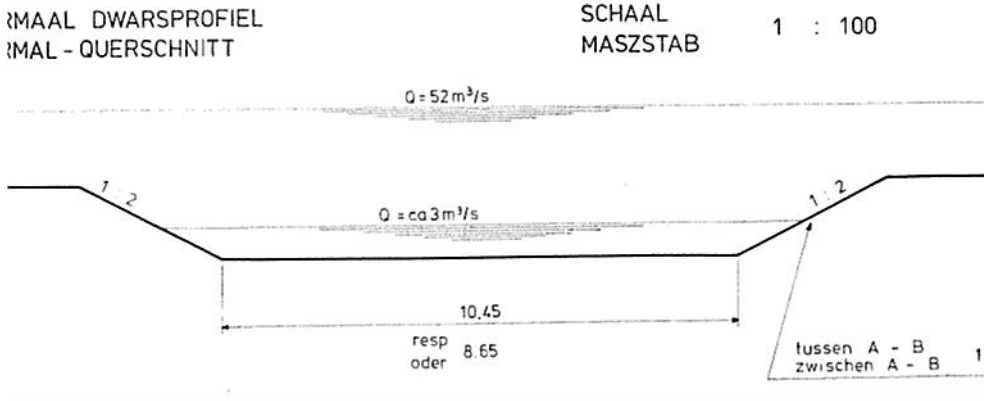
2.3.2 Oeverbestortingen

Halverwege de jaren '70 nam de invloed van de mens op de loop van (delen van) de Dinkel zodanig toe dat deze niet meer als natuurlijk te beschouwen was. Gerelateerd aan de afbraak van industriële gebouwen, hebben in de jaren '70 en '80 grondeigenaren langs de Dinkel puin (stenen, betonbrokken, tegels, asfalt, dakpannen, etc.) gestort om de oever te beschermen en erosie van hun land te voorkomen.

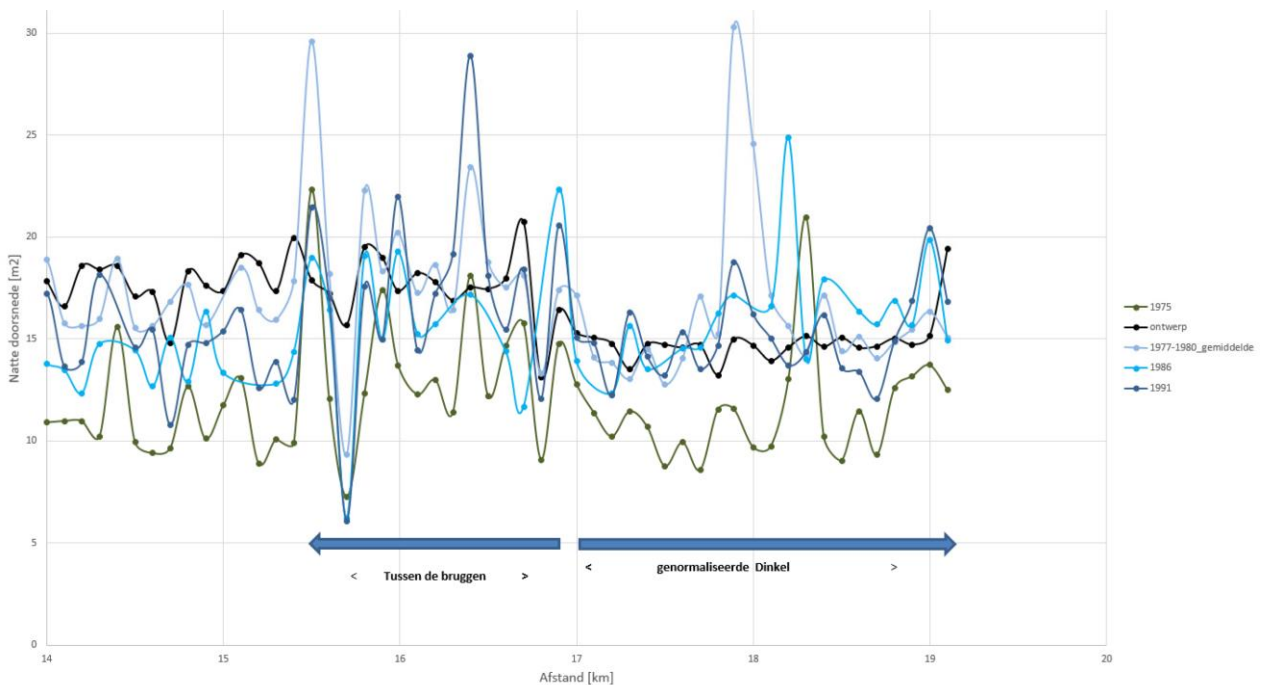
In 1988 heeft het waterschap een schouwprogramma uitgevoerd om de locaties en omvang van de stortingen in kaart te brengen. Hieruit kwamen circa 290 stortlocaties naar voren met een geschatte totale omvang van 11.000 m³ (Zonderwijk, 1989, in: Compas et al., 2016). De locaties uit dit onderzoek in en nabij het projectgebied zijn weergegeven in Figuur 2-2. Het merendeel van de geïnterviewde locaties bevinden zich benedenstrooms van het projectgebied Dinkel Zuid. Tussen de Zoekerbrug en de Ellermansbrug (het noordelijk deel van het projectgebied) zijn 6 locaties met puin aangetroffen in 1988, en tussen de Duits-Nederlandse grens en de Zoekerbrug (zuidelijk deel projectgebied) geen. In de huidige situatie kunnen de stortlocaties afwijken van deze inventarisatie, en is een groot deel door o.a. begroeiing mogelijk niet goed meer zichtbaar.

2.3.3 Geulverruiming

In 1976 is de Boven Dinkel verruimd om meer waterafvoer te kunnen accommoderen en inundatie te beperken. Hierop volgend hebben het waterschap en het Bodemverband Unteres Dinkel in 1981 afspraken gemaakt binnen een Grenstractaat over de dwarsdoorsnede (Figuur 2-5) en de waterstanden van de Dinkel. De Dinkel Zuid werd verbreed en genormaliseerd om de waterstanden in Gronau bij hoge afvoeren ($Q = 53 \text{ m}^3/\text{s}$) te verlagen, teneinde overstromingen te voorkomen. In Nederland gold dit voor het traject van de Dinkel van de Duits-Nederlandse grens tot aan de Zoekerbrug. Door deze ingrepen is de lengte van de Dinkel afgenomen en het doorstroomoppervlak in het algemeen toegenomen (Figuur 2-6).



Figuur 2-5 Dwarsprofiel van de Dinkel zoals in 1982 afgesproken tussen het waterschap en het Bodemverband Unteres Dinkel voor het grensgebied. Bron: Waterschap Vechstromen, 2019.



Figuur 2-6 Gereconstrueerde natte doorsnede van de Dinkel tussen de grens met Duitsland (rechts) en de Ellermansbrug (links). De (veelal onderaan gelegen) donkergroene lijn toont de natte doorsnede in 1975. De zwarte lijn is het ontwerpprofiel uit 1975. De blauwe lijnen horen bij het profiel in 1977-1980, 1986 en 1991. Bron: Waterschap Vechstromen (2018).

2.3.4 Gobi-matten in bedding

Om er voor te zorgen dat het vastgestelde bodemprofiel bleef liggen, zijn Gobi-matten op de bodem (en mogelijk doorlopend tot in de oever) geplaatst, zoals zichtbaar in Figuur 2-7. Het traject waarvoor de Gobi-matten zijn aangelegd, is weergegeven in Figuur 2-2. Deze matten bestaan uit betonelementen vastgelijmd op geotextiel (synthetisch filterdoek) en kunnen erosie van de bedding voorkomen. Sedimentatie kan nog wel plaatsvinden in de mazen en aan de bovenzijde van de Gobi-matten.



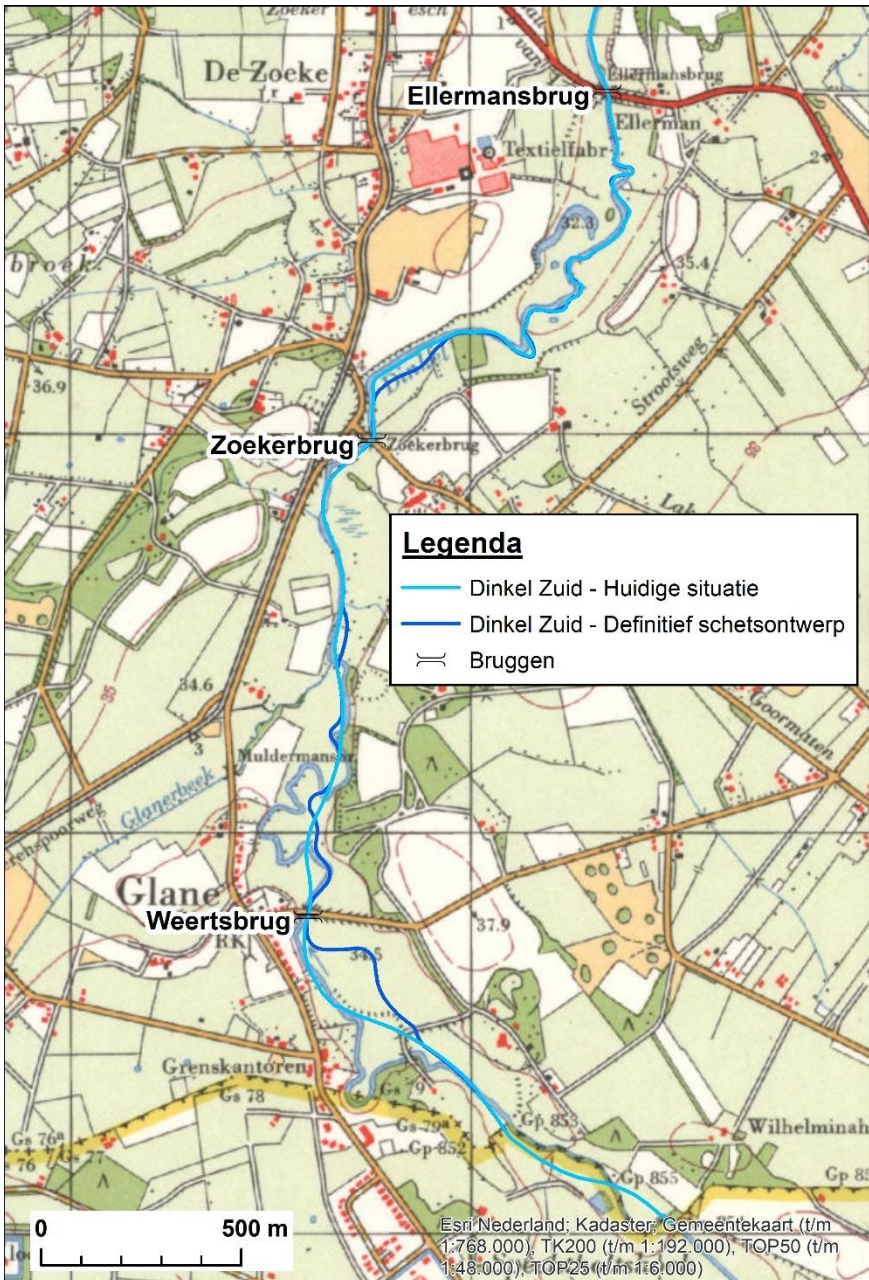
Figuur 2-7 Foto impressie van Gobi-matten in de Dinkel. Links: Gobi-matten op de bodem van de Dinkel (Bron: Waterschap Vechtstromen, 2019). Rechts: Gobi-matten in een stroomgoot aan het eind van een experiment met turbulente stroming (Derks, 2013).

2.4 Huidige en toekomstige ontwikkelingen

Na de eerdere tendens tot het vastleggen van de Dinkel zijn tegenwoordig weer initiatieven genomen om de natuurlijke dynamiek terug te brengen. Dit is mede te danken aan het opstellen van de Natura 2000-doelstellingen en de Europese Kaderrichtlijn Water (EU-KRW) waarin ook voor de Dinkel doelen zijn gesteld. Vanuit Natura2000 heeft het Dinkedal als doelstelling om de habitats 'stroomdalgrasland' en 'beek-begeleidende (alluviale) bossen' uit te breiden en de rivieronderpad te behouden. De EU-KRW is voornamelijk gericht op de ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater en op de chemische toestand van het grond- en oppervlaktewater.

Om aan de doelstellingen te voldoen werkt het Waterschap Vechtstromen momenteel aan een nieuw ontwerp van de Dinkel Zuid. Het definitieve schetsontwerp (ten tijde van schrijven van het voorliggende rapport) is weergegeven in Figuur 2-9. Figuur 2-8 toont de topografische kaart uit 1966 met daarbij de huidige en geplande toekomstige loop van de Dinkel waarin de verschillen in de mate van meandering duidelijk naar voren komen. In Figuur 2-1, Figuur 2-2 en Figuur 2-3 is naast de huidige ligging van de Dinkel en dit definitieve ontwerp ook de ligging aangegeven van de Dinkel in het eerdere schetsontwerp voor de toekomstige Dinkel Zuid. Dit voormalig ontwerp met meer en scherpere bochten is ook weergegeven, omdat voor dit ontwerp met SOBEK-1D berekende stroomsnelheden beschikbaar zijn die in dit rapport gebruikt zullen worden. Deze berekeningen zijn (nog) niet beschikbaar voor het definitieve ontwerp.

De toekomstige geul van de Dinkel ligt binnen dezelfde geomorfologische eenheid en bodemklasse als de huidige geul: de geul wordt verlegd binnen de meandergordel en het beekdal van de Dinkel. Op deze relatief grove ruimtelijke schaal zal de ondergrond dus redelijk vergelijkbaar zijn voor beide geulen. De lokale samenstelling van de ondergrond kan echter wel verschillen door de precieze ligging van bijvoorbeeld oude afgesneden meanders. Zoals zichtbaar in Figuur 2-9 zal in de toekomstige situatie een groot deel van de Gobi-matten worden verwijderd. Tevens zal de (zomer)geul worden geherdimensioneerd, waarbij nog onduidelijk is hoe deze aanpassingen precies zullen worden gerealiseerd (bijvoorbeeld hergebruik van afgegraven, gebiedseigen materiaal voor de nieuwe geul te Glane ten behoeve van versmalling van de bestaande geul verder benedenstrooms). De ontwerpprofielen voor de toekomstige situatie zijn toegelicht in sectie 4.3.

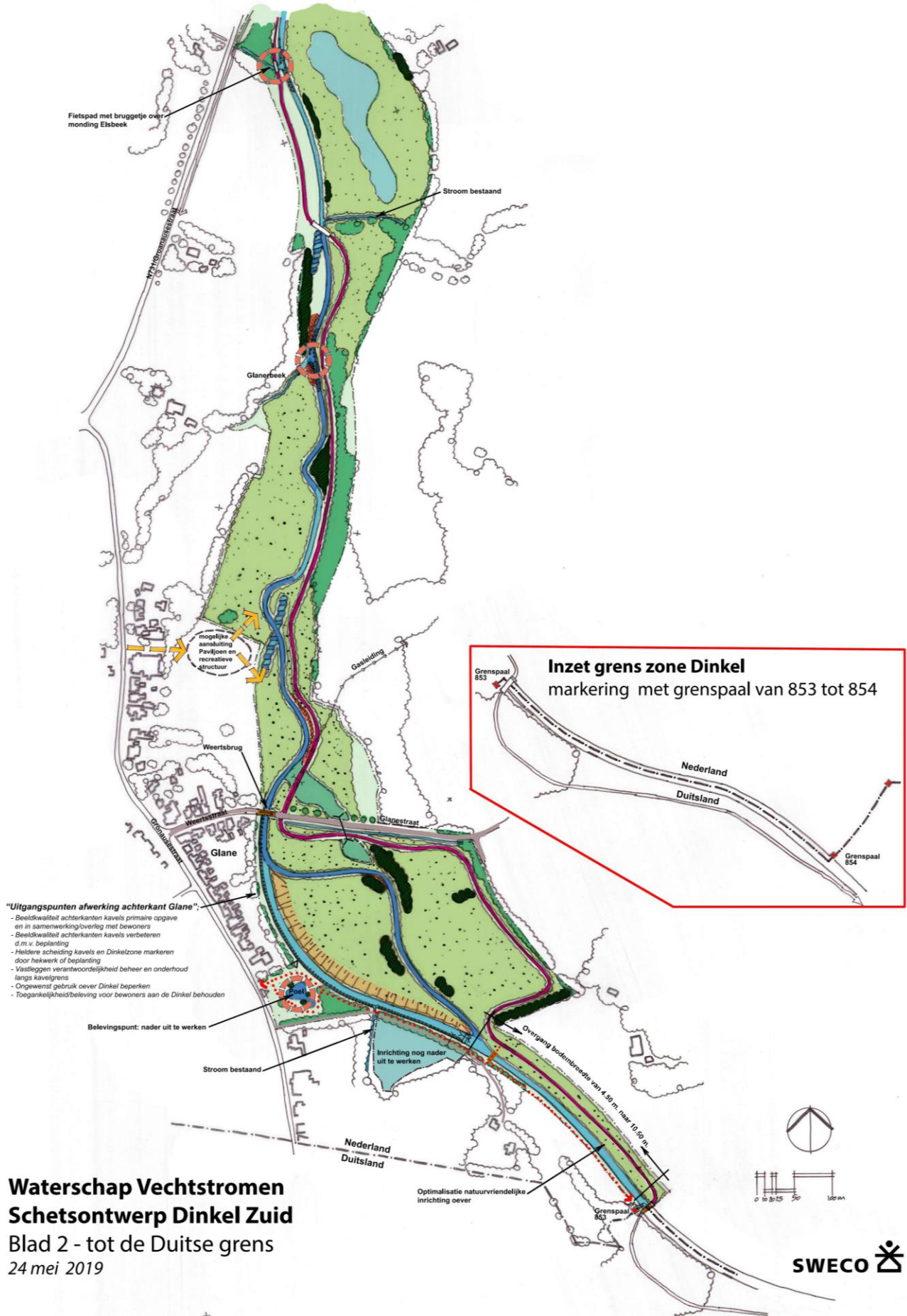


Figuur 2-8 Topografische kaart van het projectgebied Dinkel Zuid uit 1966 vóór normalisatie met daarop de huidige en geplande toekomstige loop van de Dinkel geprojecteerd.

Waterschap Vechtstromen
Definitief schetsontwerp Dinkel Zuid
Blad 1- tussen Ellermansbrug en Elsbeek
Aangepast 24 mei 2019



Figuur 2-9 Definitief schetsontwerp Dinkel Zuid. Bovenstaand: blad 1 (projectgebied tussen Ellermansbrug en Elsbeek). Zie volgende pagina's voor Blad 2 (projectgebied tot de Duitse grens) en de legenda.






















LEGENDA

Bestaand

	Grens plangebied Dinkel Zuid
	Loop Dinkel, ruimte voor 50% spontane ontwikkeling en behoud beekbegeleidend struweel langs loop
	Groenstructuur
	Alluviaal bos
	Laagte
	Natte laagte
	Kop
	Oude/geïsoleerde meander
	Riool

Maatregelen

	H6120 Stroomdalgraslanden, kansrijk voor ontwikkeling d.m.v. maatregelen of beheer. Spontane ontwikkeling struweel over 20% van oppervlak toegestaan
	Bloemrijk grasland (dmv beheer)
	Ontwikkelen aanplant struweel
	Nieuwe aanplant struweel als buffer
	Zoomvegetatie (kruiden en grassen) tussen riool en fietspad, ivm onderhoud riool en toegang tot de putten
	Gradient met inheemse aanplant, struiken en boomgroepen, semi transparant. Rekening houden met standplaats (droog/nat)
	Behouden waardevolle vegetatie en soorten (eventueel verplaatsen bos geelster)
	Aanplant struweel en bosontwikkeling in een nat/schraal dynamisch landschap
	Nieuwe meander Dinkel, ruimte voor 50% spontane ontwikkeling en behoud beekbegeleidend struweel langs loop
	Oude loop benedenstroom aantakken (paaiplaatsen)
	Slenkvormige laagte mogelijk inrichten als moeraszone
	Duiker in slenkvormige laagte met fietspad over bestaande gasleiding

	Duikers bij bestaande laagte
	Drempel op bankfullhoogte voorzien van regelbare inlaatduiker
	Verflauwen oostoever
	Verflauwen oever
	Gobimatten handhaven
	Herstel oeverwal
	Oever met dood hout/stobben, Houtige inheemse beplanting
	Fietspad
	Fietsvlonder
	Nieuwe fietsbrug
	Fietspad naast riool, toegang optimaliseren langs dit deel voor periodiek onderhoud riool
	Raster langs fietspad
	Struinp pad
	Struinp pad over voetbrug
	Afsluitbaar hek
	Nieuw te ontwerpen landmark 'De Dinkel met nestje koeien'
	Markant uitzichtpunt over de Dinkel en aansluiting fietspaden
	Openen zicht op Dinkel. uitdunnen/verwijderen onderlaag beplanting
	Bestaande halteplaats langs Dinkel optimaliseren

3 THEORETISCH KADER MORFODYNAMIEK

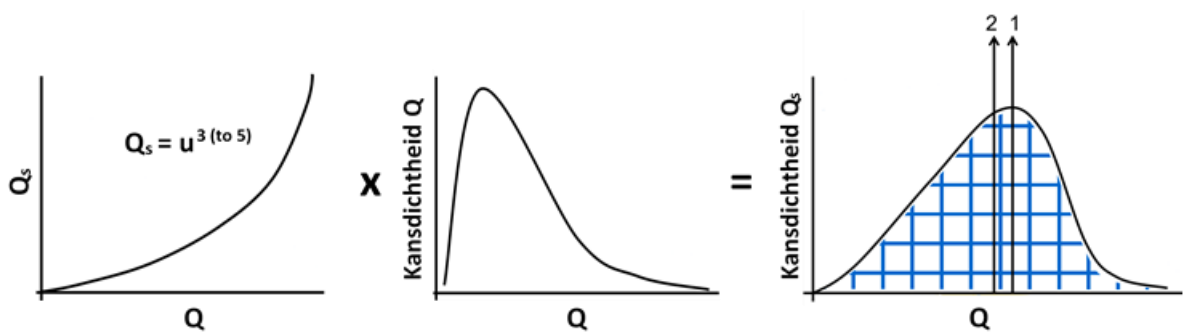
In dit hoofdstuk zijn een aantal definities, processen en theoretische en empirische relaties gepresenteerd die zijn gebruikt in de hieropvolgende hoofdstukken waarin specifiek is ingegaan op de situatie van de Dinkel-Zuid.

3.1 Welke afvoer bepaalt de morfodynamiek?

De afvoer is een zeer belangrijke variabele die de morfodynamiek van een rivier zoals de Dinkel bepaalt. Meestal zijn de piekafvoeren belangrijker voor de morfologische ontwikkeling dan de lage, meest voorkomende afvoer. Dit komt doordat de relatie tussen afvoer (stroomsnelheid) en sedimenttransport niet lineair is: het sedimenttransport schaal over het algemeen met de stroomsnelheid tot de 3^e (tot maximaal de 5^e) macht. Een hogere afvoer en daarmee een hogere stroomsnelheid kan dus resulteren in veel meer sedimenttransport en daarmee relatief grote morfologische veranderingen.

Welke afvoer als maatgevend beschouwd kan worden voor de morfodynamiek van een geul is niet altijd eenduidig. In verschillende relaties en vergelijkingen worden verschillende definities gehanteerd voor de maatgevende afvoer. Bij het gebruik van een maatgevende afvoer in een vergelijking of relatie dient daarom altijd te worden nagegaan welke definitie is gehanteerd. Er kunnen een drietal afvoerdefinities worden onderscheiden, die alle voor de Dinkel bruikbaar zijn:

- 1) De geulvullende ("bankfull") afvoer: deze definitie is het meest gangbaar en wordt bepaald door de morfologie van de geul.
- 2) Statistische piekafvoeren, zoals de gemiddelde jaarlijkse piekafvoer, of de afvoer met een herhalingsperiode van 1 of 2,33 jaar, bepaald op basis van tijdreeksen van gemeten afvoeren.
- 3) De meest efficiënte afvoer in termen van sedimenttransport. Hiervoor wordt de afvoerkansverdeling vermenigvuldigd met de afvoerafhankelijke sedimenttransport, zoals schematisch weergegeven in Figuur 3-1. Hierin is een grafiek zichtbaar die uitdrukt hoe groot de sedimentlast per afvoer is, rekening houdend met de kans dat deze afvoer voorkomt. Uit deze grafiek kan zowel de afvoer worden afgeleid die resulteert in de een maximaal sedimenttransport, als de afvoer die de jaarlijkse sedimentlast oplevert. Merk op dat de afvoer die leidt tot de piek in het sedimenttransport hoger is, zoals aan het begin van deze sectie beschreven.

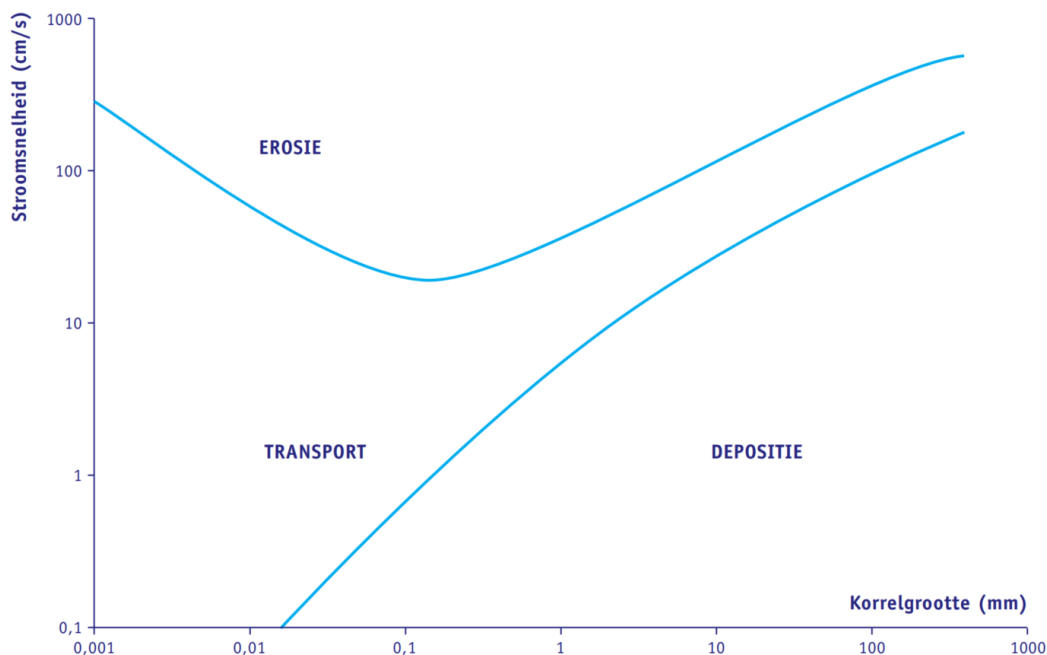


Figuur 3-1 Methode voor het bepalen van de meest efficiënte afvoer m.b.t. sedimenttransport: een van de definities van de maatgevende afvoer. Q = afvoer, Q_s = sedimentafvoer. 1 = afvoer die resulteert in het meeste sedimenttransport (piek van de Q_s kansverdeling), 2 = afvoer die de jaarlijkse sedimentlast transporteert (gemiddelde/integraal van de Q_s kansverdeling).

3.2 Sedimenttransport en sedimentatie/erosie

Alle morfologische processen hangen samen met de mate van sedimenttransport. Om zand af te zetten op de oevers tijdens hoogwater - één van de gewenste processen voor de Dinkel - zal de stroming sterk genoeg moeten zijn in de geul om zand op te nemen en te transporteren, om het vervolgens op de oever te laten bezinken waar de stroming minder sterk is. De mate van sedimenttransport is afhankelijk van de eigenschappen van de stroming en het sediment.

De simpelste weergave van wanneer de stroming sterk genoeg is voor erosie en transport van sediment, is het zogenaamde Hjulström diagram. Deze is weergegeven in Figuur 3-2. Dit is een eenvoudig diagram (ten opzichte van de meer geavanceerde Shields curves) waarin erosie, transport en depositie van sediment is gerelateerd aan de korrelgrootte van het sediment (horizontale as) en de stroomsnelheid (verticale as). Het diagram geldt voor water dat over een los sedimentoppervlak stroomt, waarbij het de stroomsnelheid net boven de bodem betreft. De bovenste curve in het diagram geeft de ondergrens voor erosie van het sedimentoppervlak: voor snelheden boven deze lijn kan het water sediment van de bodem opnemen (eroderen) en transporteren. Als de snelheid onder deze curve komt, kan het sediment dat al in het water aanwezig is nog wel getransporteerd worden, maar wordt geen nieuw sediment meer geërodeerd. Als de snelheid tot onder de onderste curve zakt, is de stroomsnelheid te laag om het sediment te transporteren en wordt het sediment afgezet.



Figuur 3-2 Het Hjulström diagram waarin de korrelgrootte en stroomsnelheid gekoppeld zijn aan de mobiliteit van het sediment (erosie, depositie en transport). Merk op dat de assen logaritmisch zijn.

Het Hjulstrom diagram geeft een indicatie of het water (onder constante stroomsnelheden) genoeg energie heeft om sediment te eroderen en/of in transport te houden, of dat het water te weinig energie heeft en aanwezig sediment naar de bodem zakt.

Sedimentatie en depositie kan ook gekoppeld worden aan gradiënten in stroomsnelheden en daarmee gradiënten in sedimenttransport. Erosie van de bedding vindt plaats op locaties met een versnelling, en sedimentatie op locaties met een vertraging. Hoe groter de gradiënt, hoe groter de respons. Dergelijke erosie en aanzanding zal niet voortdurend met dezelfde snelheid en op dezelfde locatie plaatsvinden, omdat sprake is van een (negatief) feedbackmechanisme: de verandering in het bodemniveau resulteert in veranderingen in de waterstroming, dat weer invloed heeft op de locaties en snelheid van sedimentatie/erosie en dus op het bodemniveau, etc. Over het algemeen zullen hierdoor geleidelijk de verschillen in stroomsnelheden en beddinghoogte afgevlakt worden in een natuurlijke situatie zonder verstoringen.

3.3 Geulpatronen in relatie tot stromingsvermogen en korrelgrootte

Verschillende typen rivieren vertonen verschillende karakteristieke eigenschappen in termen van morfodynamiek. De verschillen tussen deze riviertypen zijn onder andere te koppelen aan het stromingsvermogen en de korrelgrootte van het sediment in de rivier. In deze sectie is hier verder op ingegaan.

3.3.1 Geulpatroontypen

Riviergeulen kunnen binnen hun stroomgordel een continuüm van vormen aannemen, met als basisgeulvormen vlechtend, meanderend en recht. Vlechtende rivieren hebben meerdere geulen met zand- of grindbanken ertussen. Meanderende rivieren hebben één slingerende geul die zich verplaatst door oevererosie in de buitenbocht en aanwas in de binnenbocht. Hiervoor is voldoende stromingsenergie nodig. Rechte rivieren hebben net als meanderende rivieren één geul, maar vanwege de beperkte stromingsenergie slingert deze niet regelmatig. Er kunnen echter wel bochten in een 'rechte' geul zitten. Over het algemeen verplaatsen rechte geulen amper, en hebben ze steile oevers, doordat ze zijn gevormd in cohesief sediment (lemig, kleiig) of veen. Rechte geulen zijn meestal relatief smal en diep in vergelijking tot meanderende geulen.

De mate van slingering van geulen wordt vaak beschreven met de kronkelfactor. De kronkelfactor – ook sinuositeit genoemd – is de afstand tussen twee punten langs de bedding gemeten gedeeld door de afstand tussen deze punten gemeten langs een rechte lijn.

3.3.2 Stabiliteitsdiagram voor geulpatronen

De afvoer, de helling van het terrein en het sediment in de geul bepalen welk type geulpatroon een rivier in evenwicht vertoont. De afvoer en helling bepalen de hoeveelheid energie die de rivier heeft om het sediment te eroderen en transporteren. Deze parameters worden meegenomen in het "potentiële specifieke stromingsvermogen" (ω_{pv} in W/m^2). "Potentieel" verwijst naar het feit dat het vermogen voor een evenwichtssituatie bepaald wordt. De energieparameter ω_{pv} wordt als volgt berekend:

$$\omega_{pv} = \rho g Q S_v / W_r$$

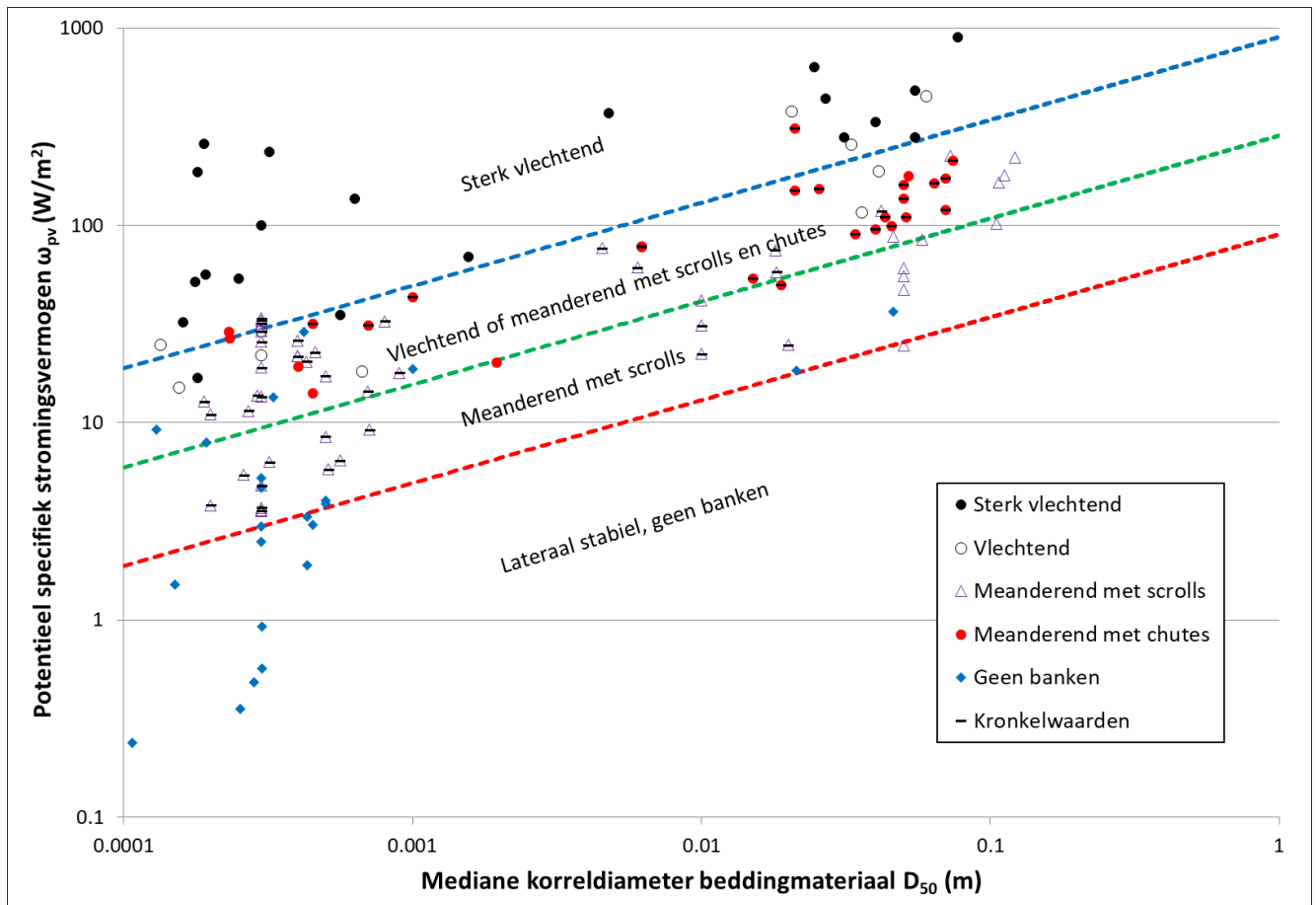
met ρ = dichtheid van water (kg/m^3); g = zwaartekrachtsversnelling (m/s^2);
 Q = dominante of geulvormende afvoer (m^3/s); S_v = helling van dal of vlakte (-);
 W_r = breedte van een referentiegeul (m).

Voor de afvoer wordt vaak de geulvullende afvoer ("bankfull discharge", Q_{bf}) gebruikt, of anders de gemiddelde jaarlijkse piekafvoer (Q_{af}). De helling S_v is de helling van het rivierdal, en dus niet de geulhelling.

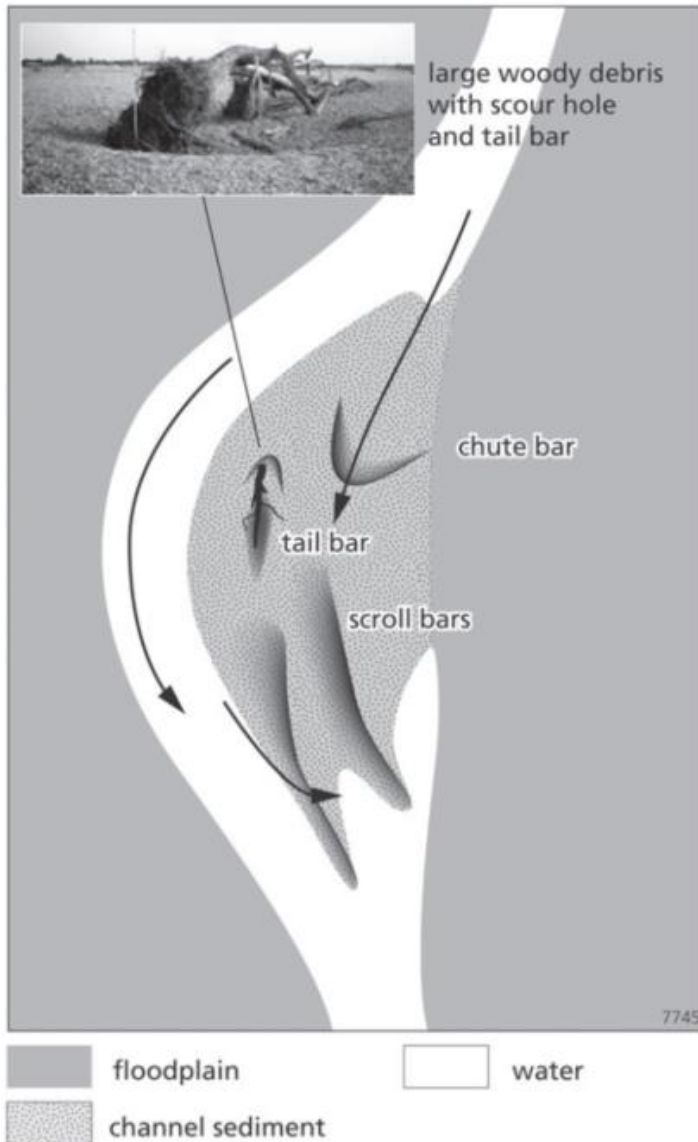
Naast de afvoer en de helling staat ook de geulbreedte in de vergelijking. Dit is omdat het vermogen per oppervlakte-eenheid van belang is voor de geulvormende processen. De toevoeging "specifieke" verwijst ernaar dat het het vermogen per oppervlakte-eenheid is. In de vergelijking wordt de breedte van een referentiegeul (W_r) gebruikt, omdat we de vergelijking onafhankelijk willen hebben van het geultype en de geulbreedte een relatie heeft met het geultype (de relatieve geulbreedte neemt toe van rechte, meanderende naar vlechtende geulen). W_r is een theoretische geulbreedte die onafhankelijk is van het geultype en wordt voor geulen met een zandige bedding ($D_{50} < 2$ mm) bepaald met:

$$w_r = 4,7 \sqrt{Q}$$

Figuur 3-3 toont een geulpatroon-stabiliteitsdiagram waarin het potentiële specifieke stromingsvermogen is uitgezet tegen de korrelgrootte, de derde factor die bepalend is voor het geultype. De grenzen tussen verschillende geulpatronen zijn bepaald op basis van een grote dataset van natuurlijke rivieren in evenwicht waarvan de morfologie bekend is. De grenzen geven het karakteristiek bereik van een geulpatroontype weer; de grenzen zijn echter niet scherp zoals te zien is in de data.



Figuur 3-3 Geulpatronen in relatie tot het potentieel specifieke stromingsvermogen en de korrelgrootte. Reproductie van figuur 9a in Kleinhans & Van den Berg (2010). De definitie van scrolls en chutes is weergegeven in Figuur 3-4.



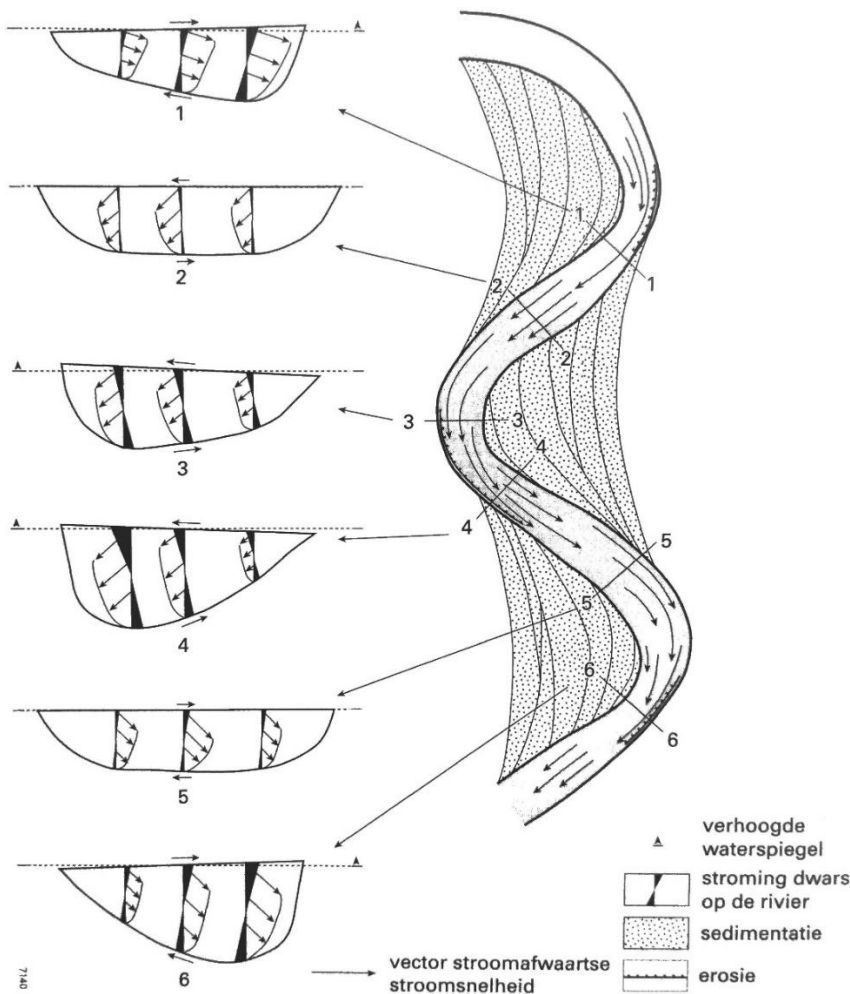
Figuur 3-4 Schematische weergave van drie zandbanktypen in meanderende rivieren die bij lage afvoer in de binnenbocht zichtbaar kunnen zijn. Een tail bar vormt zich achter obstructies zoals dood hout. Chute en scroll bars zijn gerelateerd aan de hydrodynamica in een meanderbocht. Een chute kan resulteren in een chute cutoff waarbij de chute bar wordt geërodeerd. Figuur overgenomen uit Kleinhans en Van der Berg (2010).

3.4 Karakteristieken van meanderende rivieren

De Dinkel is van nature een meanderende rivier. Daarom zal deze sectie verder ingaan op karakteristieke eigenschappen van meanderende rivieren.

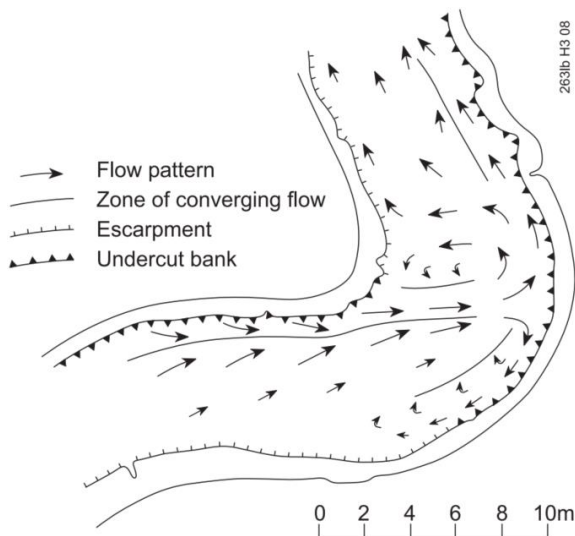
3.4.1 Stroming in een meanderbocht

Figuur 3-5 toont de stroming in een klassieke meanderende rivier. De lijn met de hoogste stroomsnelheden (de thalweg) ligt iets voorbij de as van een meander in de buitenbocht. In de bocht stroomt het water tegen de buitenbocht aan, waardoor de waterstand daar hoger wordt. Om voor het waterstandsverschil in de dwarsdoorsnede te compenseren ontstaat een retourstroom over de bodem naar de binnenbocht. Aangezien het water tegelijkertijd ook stroomafwaarts beweegt, ontstaat een helicoïdale (schroefdraadvormige) stroming in de bocht.



Figuur 3-5 Schematische weergave van het dwarsprofiel en de stroming op verschillende locaties in een meanderende rivier. De pijlen in de dwarsprofielen geven de stroomafwaartse stroomsnelheden weer, de zwarte vlakken de stroming dwars op de rivier. Overgenomen uit Berendsen (2011).

Als een meanderbocht erg scherp wordt, kan de klassieke helicoïdale stroming zich niet goed ontwikkelen. Dit is zichtbaar in Figuur 3-6. Door de scherpste van de bocht stroomt het water tegen de oever halverwege de bocht en splitst de stroming zich op: er ontstaan circulatiecellen (neren). De stroming convergeert in het midden van de bocht en daar ontstaat een erosiekuil, in plaats van langs de buitenoever. In de neer langs de buitenoever is een zone met lage stroomsnelheden waarin (fijn) sediment en organische stof neerslaan en een ondiepte of bank vormen (Wolfert, 2001; Makaske en Maas, 2015).



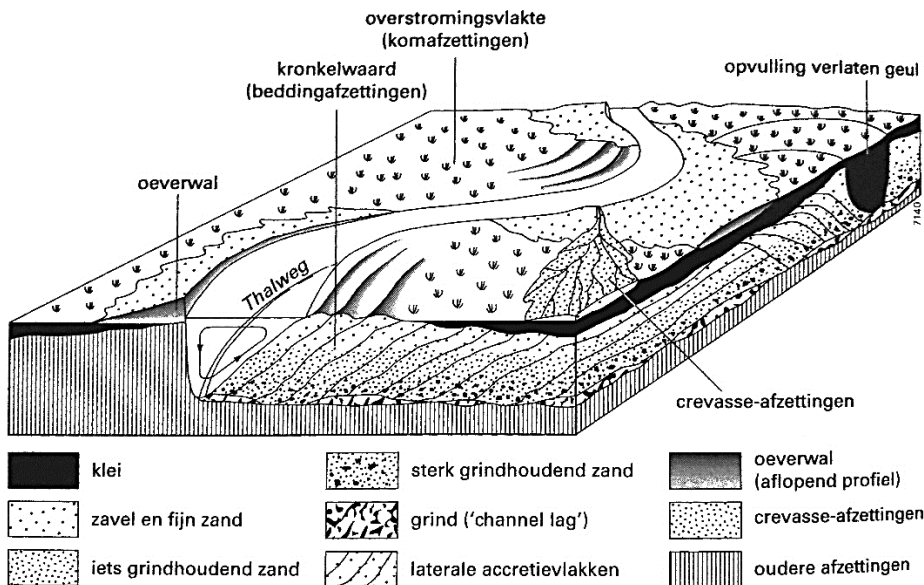
Figuur 3-6 Strooming aan het wateroppervlak in een scherpe bocht. Voorbeeld van de Keersop, een zijtak van de Dommel in het Noord-Brabant (NL). Overgenomen uit Wolfert (2001).

3.4.2 Dwarsprofielen

Figuur 3-5 toont naast de strooming ook de vorm van het dwarsprofiel van een meanderende rivier op verschillende locaties. Op de stukken tussen de meanders waar de strooming rechtdoor stroomt is het dwarsprofiel over het algemeen symmetrisch. In een bocht zorgt de sterke strooming in de buitenbocht voor erosie op zowel de bodem en de oever. Het sediment wordt door de retourstroming op de bodem naar de binnenbocht verplaatst, waar het langzamer stroomt en het sediment afgezet kan worden. Zo ontstaat een asymmetrisch dwarsprofiel met een diepere buitenbocht.

3.4.3 (Geo)morfologie

De dynamiek van een meanderende rivier zorgt voor een morfologie zoals schematisch weergegeven in Figuur 3-7. De erosie van de oever in de buitenbocht in combinatie met het afzetten van sediment in de binnenbocht resulteert in laterale verplaatsing van de meander. De afzettingen in de binnenbocht worden ook wel kronkelwaarden genoemd. Deze worden gekenmerkt door een patroon van ruggen en ondiepe geulen. Als de rivier overstroomt, wordt sediment uit de geul afgezet op de overstromingsvlakte. Aangezien grof sediment sneller bezinkt dan fijn materiaal, neemt de korrelgrootte van het afgezette sediment af met de afstand tot de geul. Het grootste sediment wordt direct naast geul afgezet en vormt zo een oeverwal.



Figuur 9.30 Blokdiagram van een meanderende laaglandrivier (naar Reineck & Singh 1973, gewijzigd).

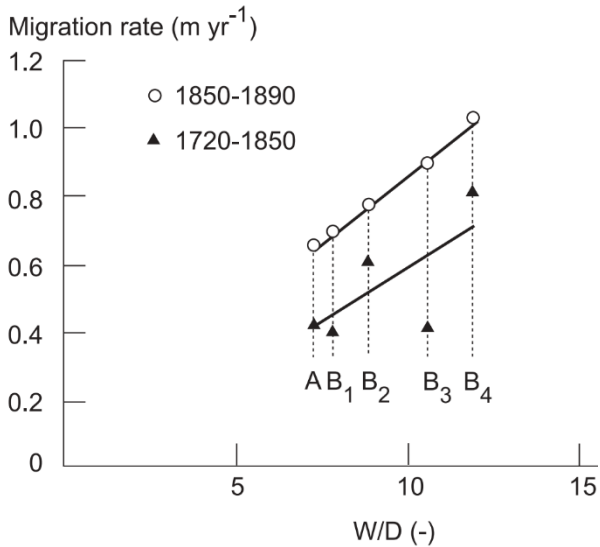
Figuur 3-7 Blokdiagram van de morfologie van een meanderende laaglandrivier (uit Berendsen, 2011)

3.5 Invloed van erosiegevoeligheid van de oever op geulmigratie

Niet alleen de 'stream power', maar ook de erosiegevoeligheid van de oever is essentieel voor de dynamiek van de geul. Hiervoor is zowel de sedimentsamenstelling als de begroeiing van belang. Hoe meer klei en/of silt er in het sediment zit, hoe cohesiever het sediment en hoe moeilijker de oever erodeert. Zand is daarentegen het minst cohesief, waardoor zandige oevers makkelijk eroderen. Ook de aanwezigheid van plaggen zorgt voor een erosie-resistente oever, zoals opgemerkt in de Vecht (Wolfert, 2001). Daarnaast kunnen wortels de grond bij elkaar houden en erosie beperken.

3.5.1 Relatie migratiesnelheid – breedte-diepte-Verhouding

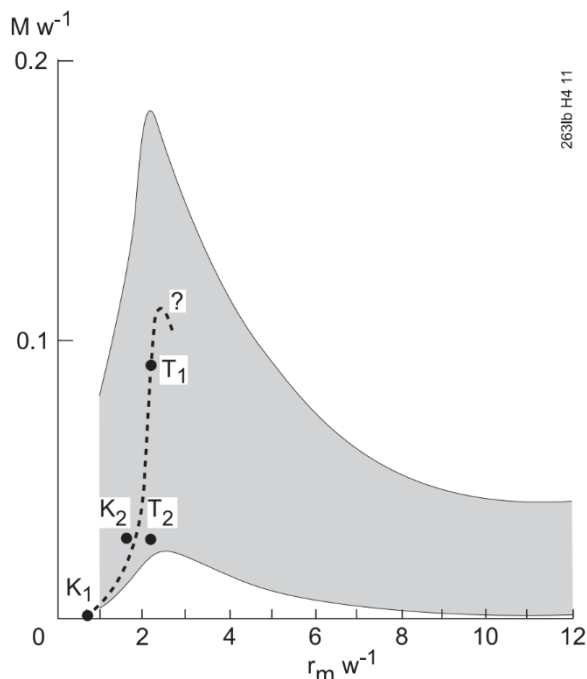
De erosiegevoeligheid van de ondergrond bepaalt niet alleen die laterale migratiesnelheid, maar ook de breedte-diepte-Verhouding van de geul. In een erosiegevoelige ondergrond zoals zand kan de geul makkelijk breed worden, maar niet diep. In een erosieresistente ondergrond zoals klei kan een geul juist makkelijker diep worden dan breed. Door deze afhankelijkheid van de ondergrond, is er over het algemeen een positieve relatie tussen de migratiesnelheid en de breedte-diepte-Verhouding. Deze relatie is onder andere van toepassing op de Overijsselse Vecht voordat deze werd gekanaliseerd (Figuur 3-8).



Figuur 3-8 Relatie tussen de gemiddelde geulmigratiesnelheid en de gemiddelde breedte-diepteverhouding (W/D) voor verschillende riviersecties van de Overijsselse Vecht (uit Wolfert, 2001).

3.6 Relatie tussen meandermigratiesnelheid en de meanderbochtstraal

De migratiesnelheid van een meanderende geul vertoont een relatie met de radius van de meander zoals zichtbaar in Figuur 3-9. In verschillende beken en rivieren is een optimum waargenomen in de migratiesnelheid van een bocht bij een meanderbochtstraal-geulbreedte-ratio van circa 2 tot 3 (o.a. Wolfert, 2001). Bij scherpere bochten nemen de migratiesnelheden snel af doordat het stromingspatroon opgebroken wordt in neren en de stroomsnelheid tegen de oever van de buitenbocht relatief lager wordt. Bij flauwere bochten dan het optimum zijn de stroomsnelheden tegen de oever ook relatief lager doordat de stroming minder tegen de buitenbocht aan wordt geduwd.



Figuur 3-9 Relatie tussen geulmigratiesnelheid en meanderbochtstraal-geulbreedte-ratio voor de beken Tongelreep (T_1 en T_2) en Keersop (K_1 en K_2) vergeleken met de bandbreedte van andere rivieren. M = migratiesnelheid, r_m meanderbochtstraal, w = geulbreedte. Overgenomen uit Wolfert (2001).

4 HISTORISCHE EN HUIDIGE MORFODYNAMIEK DINKEL ZUID

In dit hoofdstuk zijn de beschikbare gegevens gepresenteerd en geanalyseerd ten aanzien van de morfodynamiek van de Dinkel Zuid. In [sectie 4.1](#) zijn eerst de algemene procesvariabelen (parameters) gepresenteerd die gebruikt kunnen worden voor het karakteriseren van de morfodynamiek van de Dinkel Zuid. Vervolgens is aan de hand van deze procesvariabelen specifiek ingegaan op de historische situatie voor normalisatie ([sectie 4.2](#)) en op de huidige situatie ([sectie 4.3](#)). De verwachte ontwikkeling van deze procesvariabelen voor de toekomstige situatie is onderwerp van het volgende hoofdstuk.

4.1 Algemene relevante procesvariabelen

Een aantal gegevens en/of parameters die van belang zijn voor de duiding van de morfodynamiek van de Dinkel Zuid zijn logischerwijze identiek voor de historische, huidige en toekomstige situatie. Dit betreft de afvoercharacteristieken, waaronder de geulvullende afvoer, het dalverhang en de sedimentsamenstelling. Voor de laatstgenoemde is expliciet onderscheid gemaakt tussen de sedimentsamenstelling van de geul en de sedimentsamenstelling in het stroomgebied. Eerstgenoemde is relevant voor het sediment transport binnen de bestaande bedding van de Dinkel, terwijl laatstgenoemde van belang is voor de (potentiële) laterale migratie van de Dinkel en om te bepalen welk geulpatroontype te verwachten is als de Dinkel Zuid in een natuurlijk evenwicht is. Deze procesvariabelen zijn hieronder kort toegelicht.

4.1.1 Afvoer

De (water)afvoer is belangrijk voor de morfodynamiek van de Dinkel. In de zomermaanden juli en augustus zijn er relatief weinig neerslagpiekafvoeren, en is de afvoer van de Dinkel in het algemeen beperkt. De afvoer in de zomer wordt hoofdzakelijk bepaald door lozingen van de RWZI bij Gronau en Lossler, in combinatie met natuurlijke grondwateraanvoer (baseflow), omdat de hoeveelheid evapotranspiratie groter is dan de hoeveelheid neerslag in het stroomgebied. Ook kunnen hevige buien in de zomerperiode leiden tot grotere afvoeren. De afvoer van de Dinkel in de winter wordt gekarakteriseerd door afvoerpieken als gevolg van neerslag in het stroomgebied. Vanwege de topografie en slecht doorlatende ondergrond resulteert een bui in kortdurende overstromingen tijdens situaties met hoge waterstanden (Wolfert, 2001).

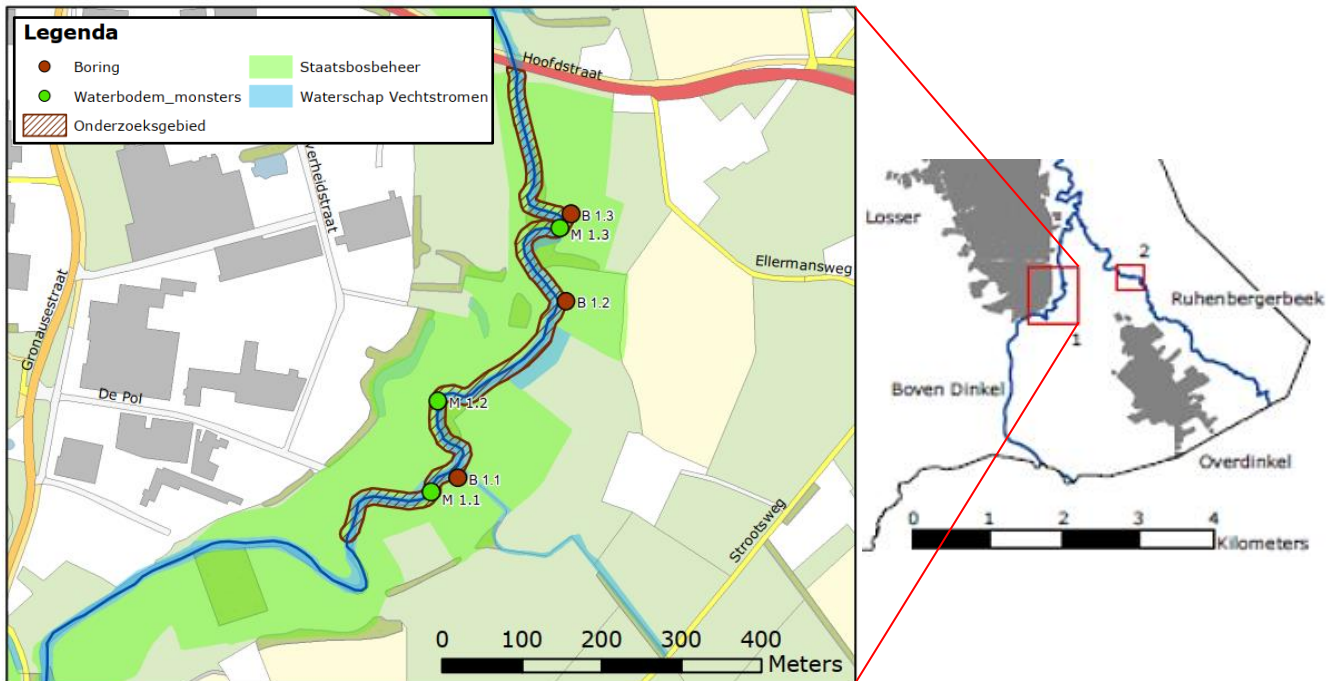
De specifieke afvoer van de Dinkel vertoont dus relatief grote tijdsvariaties. Kwantitatieve informatie over de afvoer is in de volgende secties opgenomen.

4.1.2 Dalverhang

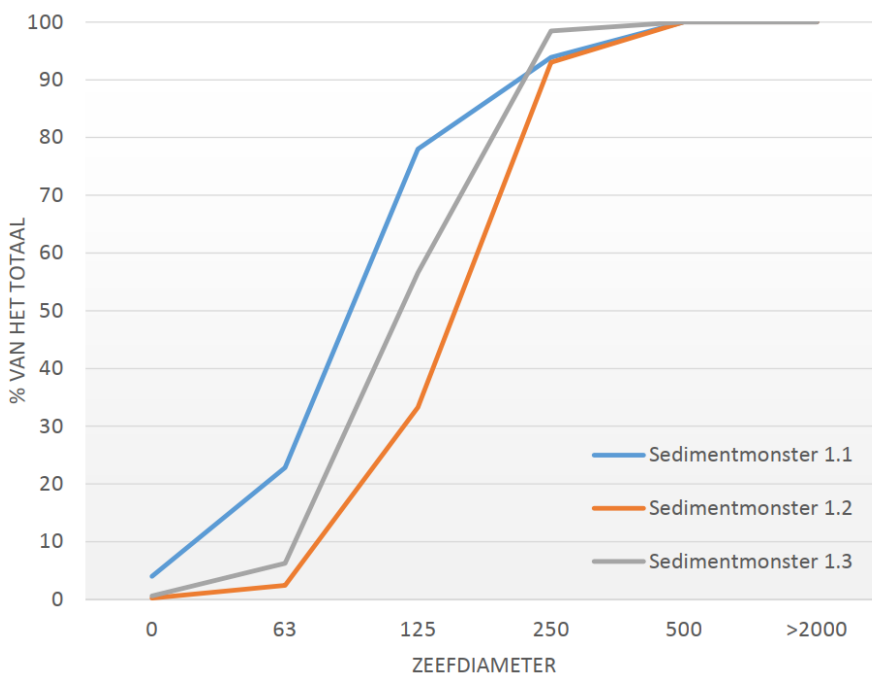
Voor de bepaling van het potentiële specifieke stromingsvermogen is het verhang van het dal waar de Dinkel Zuid doorheen stroomt nodig. Het dalverhang is onafhankelijk van de loop van de geul en is derhalve hetzelfde voor de historische, huidige en toekomstige situatie. Op basis van data uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN2) is het dalverhang binnen het projectgebied bepaald op circa 5×10^{-4} m/m. Deze waarde komt overeen met de waarde zoals gerapporteerd in Hommel et al. (1994) voor de Boven-Dinkel.

4.1.3 Sedimentsamenstelling in geul

In de studie van Compas et al. (2016) zijn in het benedenstroomse deel van het projectgebied op verschillende plekken (Figuur 4-1) een monster van het beddingmateriaal in het midden van de geul genomen. Figuur 4-2 toont de zeefcurve voor elk monster.



Figuur 4-1 Boor- en sedimentbemonsteringslocaties bovenstrooms van de Ellermansbrug in het noordelijke deel van het projectgebied Dinkel Zuid in het onderzoek van Compas et al. (2016). M = sedimentmonster in midden van de geul voor opstellen zeefkromme; B = boring op de oeverwal.



Figuur 4-2 Zeefkrommes van de sedimentmonsters van het beddingmateriaal van de Dinkel op de drie monsterlocaties weergegeven Figuur 4-1. De 30 cm diepe monsters zijn genomen in het midden van de bedding met een zuigboor. Figuur overgenomen uit Compas et al. (2016).

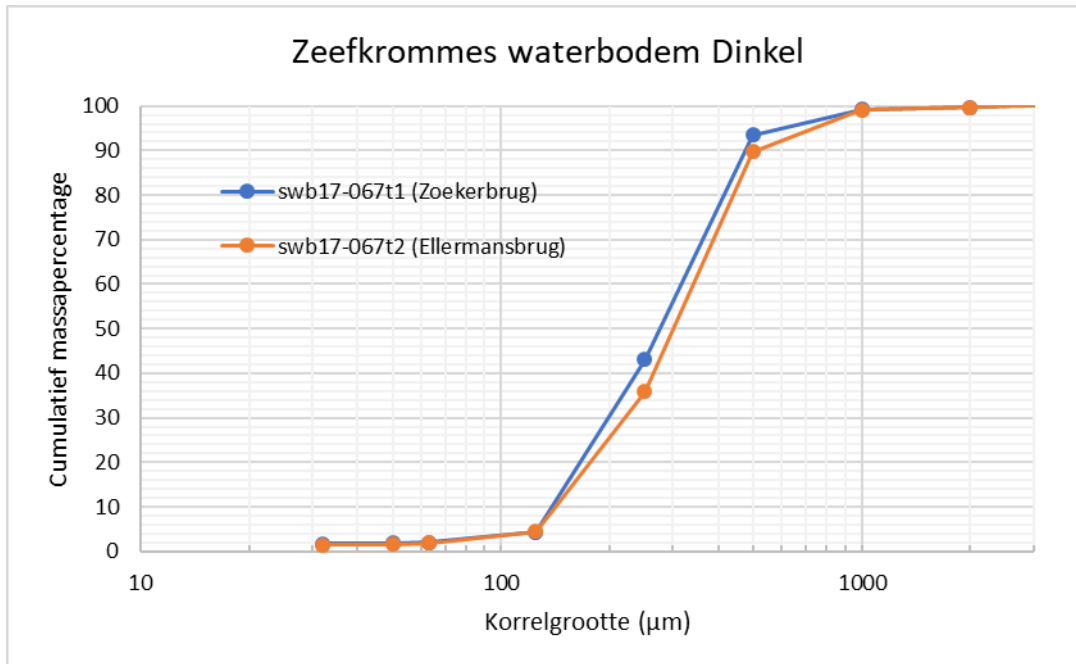
Uit Figuur 4-2 blijkt dat de mediane korrelgrootte (D50) ongeveer 94 µm, 160 µm en 117 µm voor respectievelijk locatie 1.1, 1.2 en 1.3 bedraagt. In alle gevallen is derhalve sprake van uiterst fijn tot matig fijn zand. Tevens is voor de meest bovenstrooms gelegen locatie sprake van een significant percentage silt (ruim 20% < 63 µm). Zandkorrels groter dan 300 µm (grof zand) zijn nauwelijks tot niet aanwezig in deze boringen.

Aqualysis heeft in opdracht van waterschap Vechtstromen in 2017 ook zeefkrommes bepaald voor de bodem van de Dinkel op basis van een mengmonster van meerdere boringen tot max. 1,6 m diep. De zeefkrommes zijn weergegeven in Figuur 4-4. Deze monsters laten een grover beeld zien, met een D50 van 285 μm (matig grof) bij de Zoekerbrug en 316 μm (zeer grof) bij de Ellermansbrug, met in beide gevallen vrijwel geen silt. Deze waarden liggen rond de waarde die Doctor (1998) gebruikt in zijn berekeningen voor de Dinkel (i.e. 300 μm). De individuele boringen zijn volledig zandig bij de Ellermansbrug, terwijl de boringen bij de Zoekerbrug zandig zijn met onderin in de meeste gevallen een minimaal 10-60 cm dikke laag leem.

De totale range in de hierboven beschreven mediane korrelgrootte waarden in de bedding van de Dinkel in het projectgebied is 94 - 316 μm . Een mogelijke reden voor het relatief grote verschil tussen de zeefcurves van Aqualysis (2017) en die van Compas et al. (2016) is de diepte waarop de monsters genomen zijn: de monsters van Aqualysis (2017) zijn dieper gestoken. Daarnaast is de variatie ook te verklaren door natuurlijke variatie in korrelgrootte over de ruimte (bijvoorbeeld door sortering in de doorsnede met grover materiaal in de buitenbocht dan in de binnenbocht) en tijd (bijvoorbeeld door meer bezinking van fijner sediment op de bedding onder rustige condities, wat later weer opgewoeld wordt).



Figuur 4-3 Locatie van bodemonsters in de Dinkel Zuid nabij Losser in het onderzoek van Aqualysis (Brouwer, 2017). Bewerkt figuur uit Aqualysis (2017).



Figuur 4-4 Zeefkrommes van bodemonsters in de Dinkel Zuid nabij Losser (Aqualysis, 2017). De monsters zijn mengmonsters van de verschillende ondiepe (max. 1,6 m diepe) boringen binnen het monstervak voor elk van de twee bruggen. Locatie van de boringen in de monstervakken: zie Figuur 4-3.

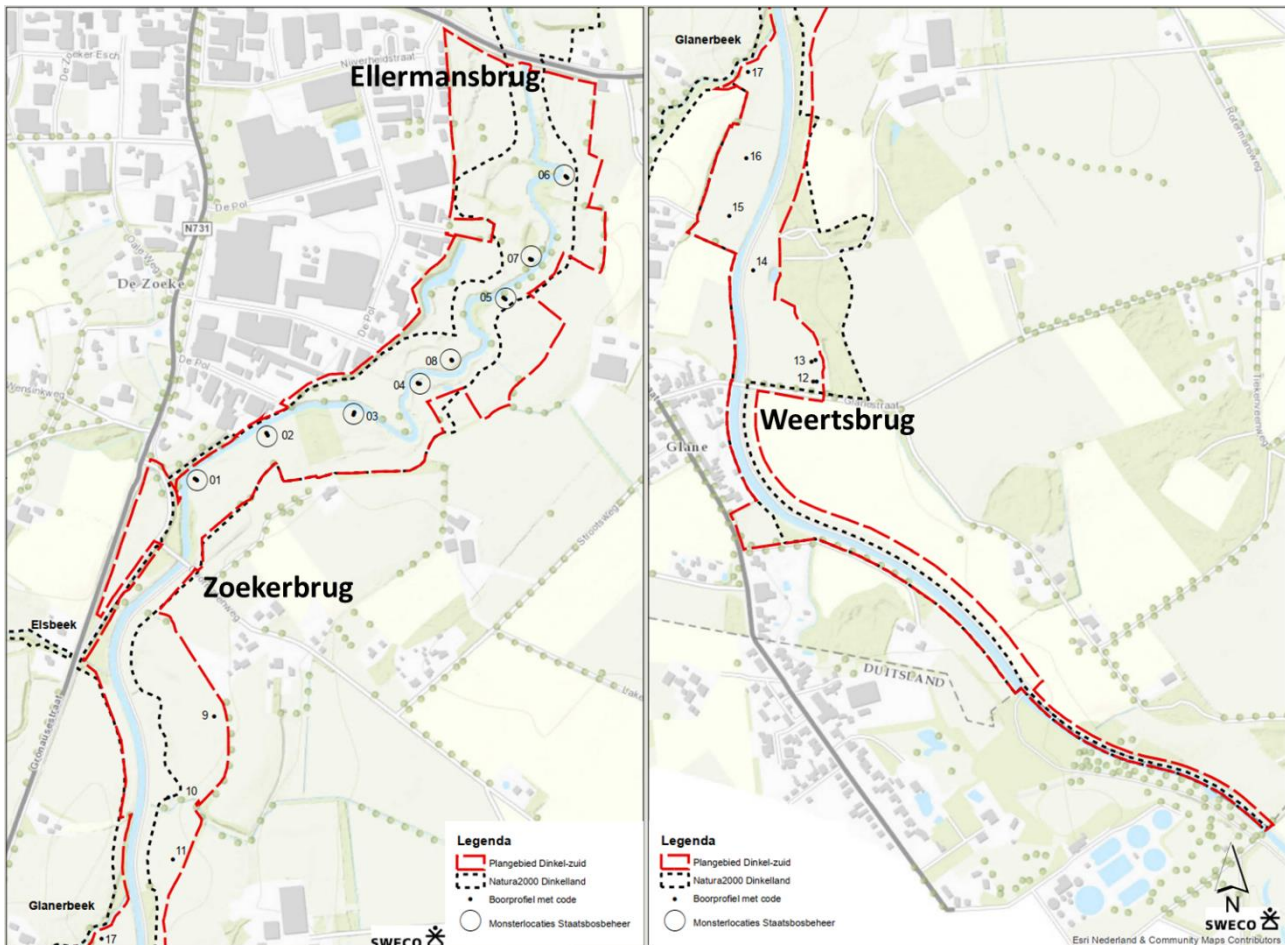
4.1.4 Sedimentsamenstelling in het stroomdal

Naast de sedimentsamenstelling in de geul is ook de samenstelling in de omgeving van de geul belangrijk (met name in de oevers). De samenstelling van de oevers en het stroomdal bepaalt namelijk hoe eenvoudig de geul zich lateraal kan verplaatsen en hoe het dwarsprofiel van de geul eruit zal zien (bijvoorbeeld stroomdraad en geulasymmetrie). In het algemeen zal cohesief sediment de geul beperken in het meanderen, terwijl losgepakt fijn zand oevererosie zal bevorderen.

Compas et al. (2017) hebben bovenstrooms van de Ellermansbrug een drietal boringen gezet in de oeverwal van de Dinkel tot max. 4 m onder maaiveld (locatie: Figuur 4-1). Hierbij troffen ze hoofdzakelijk zand aan in de drie boringen: B1.1: matig fijn tot matig grof zand, B1.2: zeer fijn tot matig fijn zand, en B1.3: zeer fijn tot matig grof zand. Het grovere sediment wordt met name op het diepste deel van de boringen aangetroffen: tot een diepte van ca. 2,5 m -mv wordt vrijwel alleen zeer fijn (105-150 µm) en matig fijn (150-210 µm) zand aangetroffen. Het zand bevat een kleine bijmenging van silt: het sediment is hoofdzakelijk zwak siltig, soms matig siltig. Silt verhoogt de cohesie van de ondergrond.

Ook in de rest van het projectgebied zijn boorgegevens beschikbaar in de overstromingsvlakte en op de oevers van de Dinkel (locatie: Figuur 4-5) (Sweco, 2017). De boringen op de oeverwallen zijn 0,5 tot 2,0 m diep en bestaan uit matig fijn zand (150-210 µm) met zwak tot matige siltige bijmenging en in de toplaag ook wat humeuze bijmenging. Een enkele keer is het zand matig grof (210-300 µm) of zeer fijn (105-150 µm). Klei- of veenlagen zijn in deze boringen in de oeverwallen niet aangetroffen. Deze samenstelling komt overeen met de boringen van Compas et al. (2016), en is conform de te verwachte sedimentsamenstelling voor oeverwallen.

De boringen van Sweco (2017) in de overstromingsvlakte zijn niet dieper dan 1,2 m. In deze boringen wordt hoofdzakelijk zeer fijn en matig fijn zand aangetroffen met dezelfde bijmengingen als op de oeverwallen. In een enkele boring wordt een 20 - 40 cm dikke klei- of leemlaag aangetroffen, wat de bochtverplaatsing van de Dinkel kan vertragen als deze hier tegenaan komt.



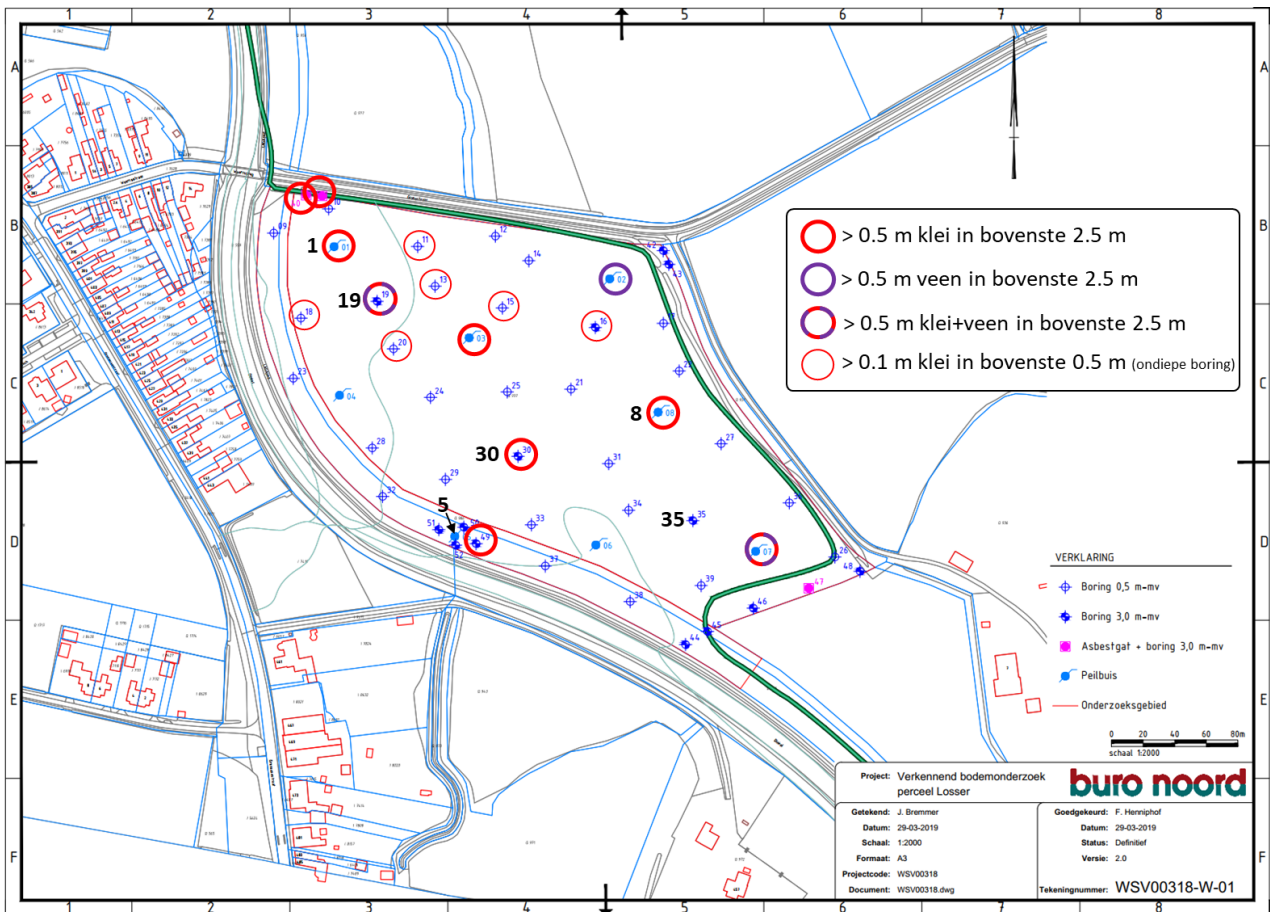
Figuur 4-5 Locatie van ondiepe boringen op de oever van Dinkel Zuid (boring 1 t/m 8, tussen de Ellermansbrug en Zoekerbrug) en in het stroomdal van Dinkel Zuid (boring 9 t/m 17, bovenstrooms van de Zoekerbrug). Bron: Sweco, 2017.

In de omgeving van het dorp Glane zijn specifiek voor de herinrichting zowel diepe (3 m diep) als ondiepe (0,5 m diep) boringen geplaatst in het gebied waar de nieuwe loop van de Dinkel Zuid is voorzien. De ligging van deze boringen is getoond in Figuur 4-6. Een selectie van de boorstaten uit dit onderzoek is weergegeven in Figuur 4-7. Uit Figuur 4-7 blijkt dat de samenstelling van het perceel overwegend wordt gekenmerkt door matig fijn (150-210 μm) en af en toe matig grof (210-300 μm) zand, in meer of mindere mate siltig of leemhoudend. Dit geldt ook voor de andere boringen.

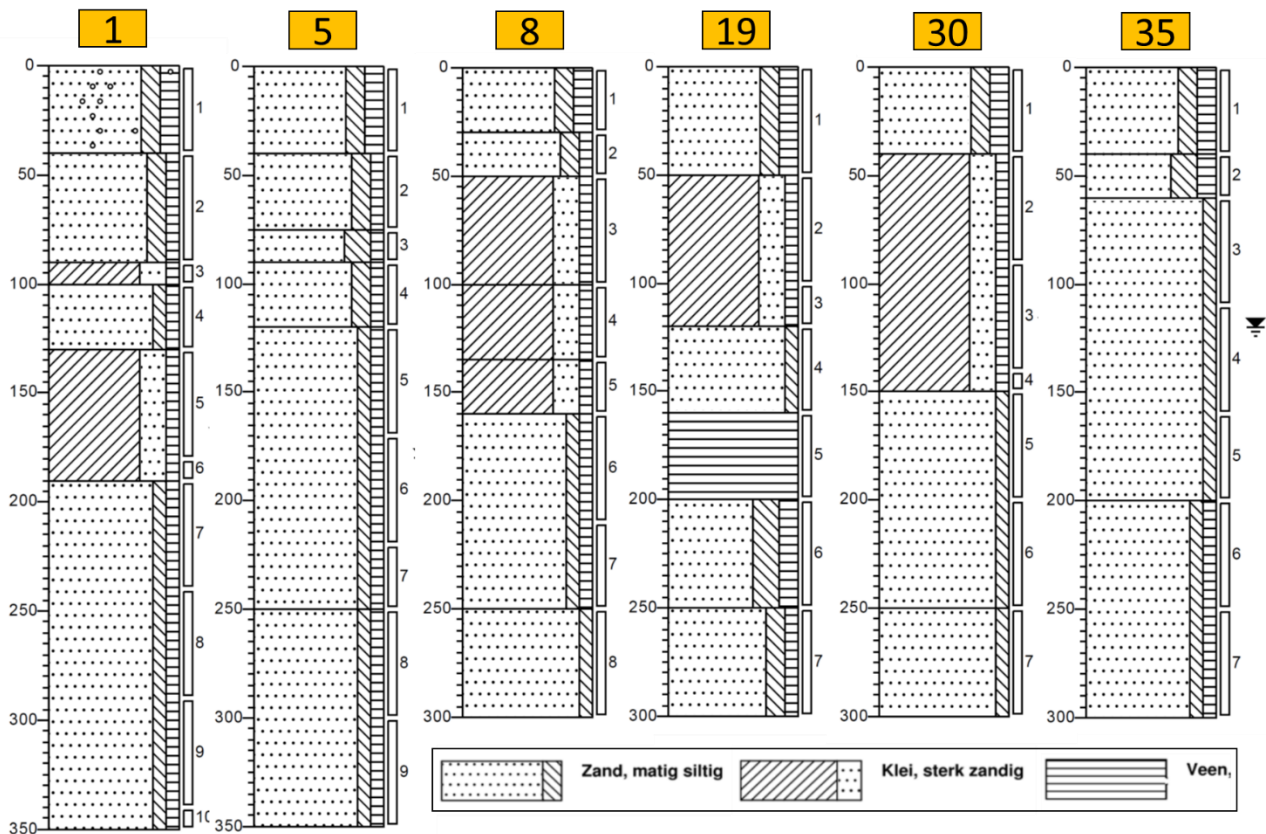
Echter, de boorstaten tonen dat de bodem niet enkel uit zand bestaat, doch dat een ruimtelijke variatie in de sedimentsamenstelling bestaat. Dit heeft onder andere te maken met de aanwezigheid van - met fijner sediment en veen opgevulde - oude geulen van de Dinkel. Ter plaatse van boring #5 en boring #35 is sprake van een 3 meter dik (matig humeus) zandpakket met kleilagen, terwijl ter plaatse van boring 1, 8, 19 en 30 ook sterk zandige kleilagen van variërende dikte (ca. 50 tot ruim 100 cm) relatief ondiep voorkomen. In de boring op locatie 19 is tevens een veenlaag van enkele decimeters dikte aangetroffen. De aanwezigheid van kleilagen is vergelijkbaar met de boringen van Sweco (2017) in andere delen van de overstromingsvlakte, zoals hierboven beschreven. De lagen in het perceel bij Glane lijken echter dikker en vaker voor te komen.

In Figuur 4-6 is ruimtelijk weergegeven welke boringen op het perceel bij Glane een veen- en/of kleilaag van in totaal minstens 50 cm bevatten in de bovenste 2,5 m voor de boringen die minstens tot deze diepte reikten. Voor de boringen van 50 cm diep is aangegeven als minstens de onderste 10 cm een kleilaag was. Hieruit blijkt dat dergelijke erosieresistente lagen verspreid over het hele

terrein vrij regelmatig voorkomen. Dit is van belang voor de migratie van de voorgestelde nieuwe meanderloop door dit perceel, zoals is beschreven in sectie 5.2.3.



Figuur 4-6 Locaties van en aanwezigheid van klei/veen in de boringen in 2019 in het perceel ten oosten van het dorp Glane waar de nieuwe loop oostelijk van de bestaande loop van de Dinkel zal worden gerealiseerd. De bestaande loop blijft in het plan behouden en krijgt de functie van hoogwatergeul. De locaties van de diepere boringen die in Figuur 4-7 zijn getoond, zijn uitvergroot (voorzien van een kader). Bron: Greenhouse Advies, 2019.



Figuur 4-7 De boorstaten behorende bij de in Figuur 4-6 uitgelichte locaties. Enkele veelvoorkomende eenheden zijn in de legenda getoond. Voor alle boringen en de volledige agenda, zie Greenhouse Advies, 2019.

4.2 Historische 'natuurlijke' morfodynamiek

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 waren de menselijke invloeden op de Dinkel Zuid tot circa 1970 relatief beperkt en kon de Dinkel als 'natuurlijke' beek beschouwd worden. De dwarsdoorsnede van de Dinkel in deze situatie is in het schetsontwerp van de toekomstige Dinkel als representatief genomen voor de natuurlijke situatie die nagestreefd wordt. Hierbij is uitgegaan dat de dwarsdoorsnede in de oude situatie een evenwichtsprofiel betreft (Waterschap Vechtstromen, 2018). Daarbij wordt opgemerkt dat het evenwichtsprofiel op een later moment wel kan veranderen, bijvoorbeeld als gevolg van veranderingen in de afvoercharacteristieken.

4.2.1 Afvoer

De afvoer in de periode vóór 1970 is niet gemeten in of nabij het projectgebied. De waterstand is wel gemeten met één gauge in het projectgebied. De data van dit meetpunt suggereert dat gemiddeld 4,9 keer per jaar bankfull-condities voorkwamen in de periode 1969-1993 (Wolfert, 2001). Welk debiet daar precies bijhoort, is onduidelijk. Het is echter wel wenselijk om deze afvoer te weten, aangezien deze geulvullende afvoer de meest representatieve waarde is voor de evenwichtssituatie voor de Dinkel, en deze maatgevende 'evenwichtsafvoer' nodig is voor bijvoorbeeld het nauwkeuriger bepalen van de locatie van de Dinkel in het geulstabiliteitsdiagram. Onder de aanname dat de veranderingen in de neerslagintensiteit in de afgelopen decennia beperkt zijn geweest en uitgaande van een bekende hydraulische ruwheid, kan met behulp van de bodemprofielen uit die periode en de bodemprofielen en afvoer tijdreeks voor de huidige situatie de afvoer worden gereconstrueerd.

4.2.2 Historische activiteit en kronkelfactor

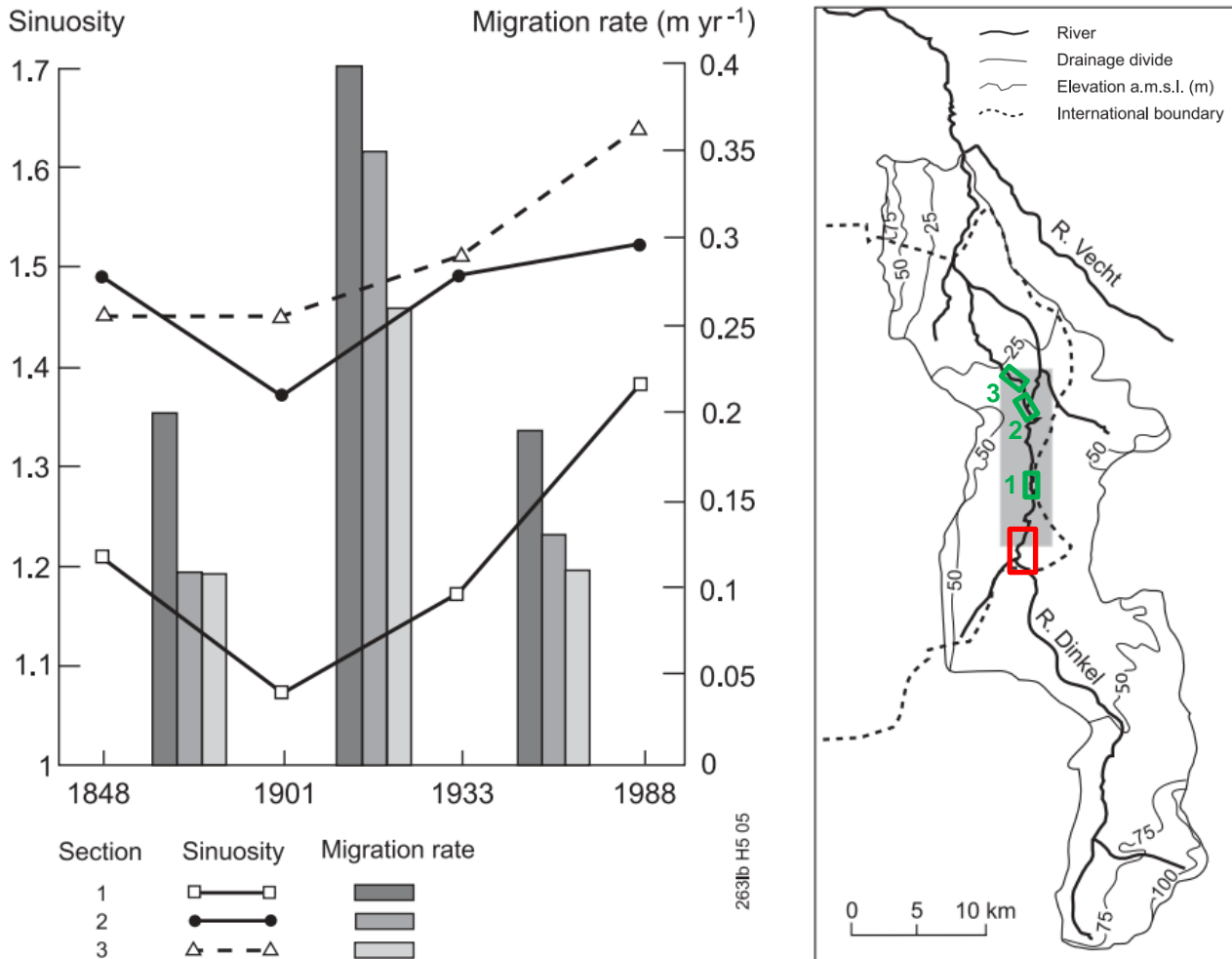
De Dinkel was ten minste anderhalve eeuw een actief meanderende rivier met variatie in de dynamiek in ruimte en tijd. Dit volgt onder andere uit het onderzoek van Wolfert (2001). Wolfert heeft zowel een geomorfologische kaart van de Dinkel als oude topografische kaarten uit 1848, 1901, 1933 en 1988 bestudeerd.

In de geomorfologische kaart wijzen kronkelwaardafzettingen op laterale migratie van de geulen en de (deels) opgevlude afgesneden geulen ('oxbow lakes') op meanderhalsafsnijdingen. Er is ruimtelijke variatie in de mate van dynamiek: locaties met sterke migratie gaan gepaard met grote kronkelwaardafzettingen, zoals bij de Groene Staart. Deze sterke migratie vond vooral plaats in de fluvio-periglaciale en eolische zandgronden aan de randen van het Dinkedal, aangezien deze gronden makkelijker eroderen dan de rivierafzettingen uit het Holoceen. De minder dynamische gedeelten worden gekenmerkt door relatief hoge en lange oeverwallen.

Daarnaast heeft Wolfert (2001) de migratiesnelheden en kronkelfactor van de Dinkel afgeleid uit de topografische kaarten van drie locaties benedenstrooms van het projectgebied Dinkel Zuid. Dit is weergegeven in Figuur 4-8. Beide parameters variëren in tijd en ruimte. De meanderbochten verplaatsten zich met snelheden van 0,11 tot 0,40 m/jaar en de kronkelfactor van de Dinkel varieerde tussen 1,07 en 1,64. Ter vergelijking hebben we ook de kronkelfactor in het projectgebied van de Dinkel Zuid afgeleid voor de situatie vlak voor normalisatie in 1966 (o.b.v. de topografische kaart in Figuur 2-8): deze is 1,25. De migratiesnelheid nam over het algemeen af in benedenstroomse richting, terwijl de kronkelfactor toenam. Hieruit is dus ook af te leiden dat een hogere kronkelfactor niet noodzakelijkerwijze impliceert dat ook meer laterale geulverplaatsing plaatsvindt.

De hoogste migratiesnelheden zijn gevonden bij de Groene Staart waar de geul circa 170 m is verplaatst in 139 jaar (i.e. gemiddeld 1,22 m/jaar). Tenslotte waren de migratiesnelheden in de periode 1848-1901 vergelijkbaar met die in de periode 1933-1988, terwijl de snelheden in de periode ertussen (1901-1933) 2 à 3 keer hoger waren.

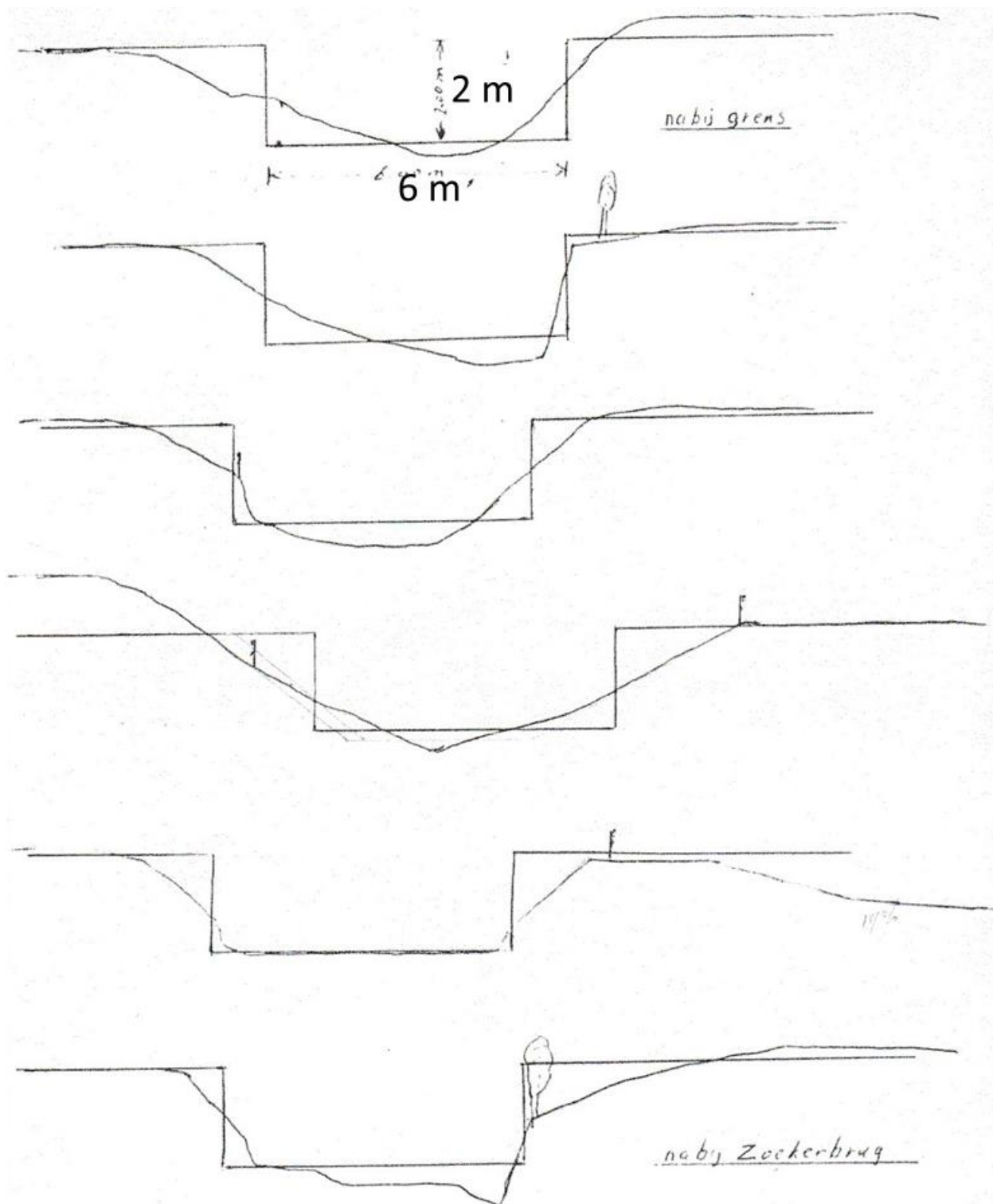
De veranderingen in de migratiesnelheid en kronkelfactor over tijd tonen dezelfde trend voor de verschillende gebieden, hetgeen suggereert dat een regionale/externe reden bestaat voor de geconstateerde veranderingen. Veranderingen in landgebruik zouden hiervoor een reden kunnen zijn, maar door gebrek aan gegevens over de afvoer en sedimentbalans in deze perioden is dit niet vast te stellen.



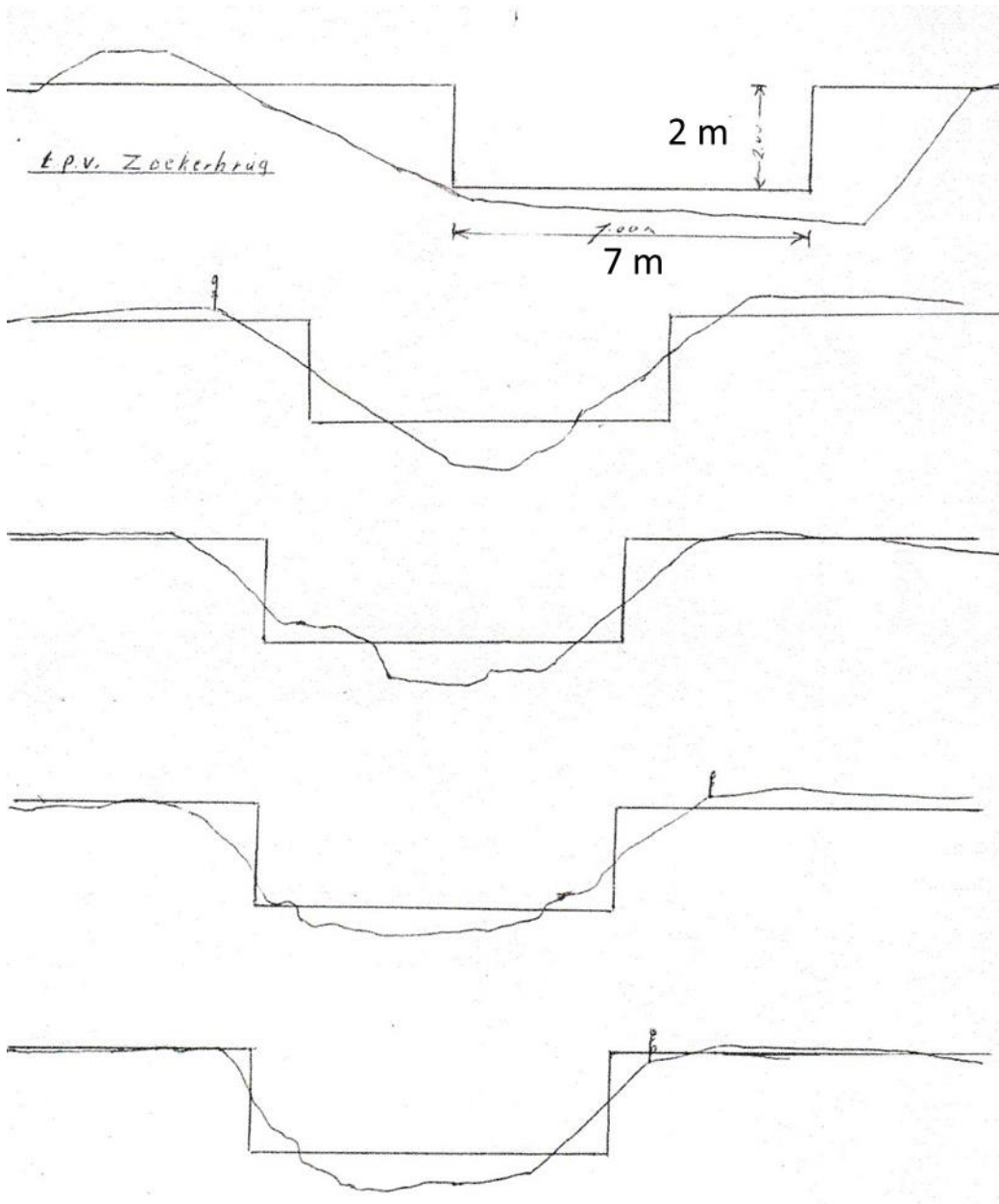
Figuur 4-8 Laterale verplaatsingssnelheden en kronkelfactor (sinuosity) van de Dinkel over de periode 1848 – 1988 (Folkert, 2001). Rechts: locaties waarvoor de waarden zijn afgeleid (groen) en het projectgebied Dinkel Zuid (rood) (bij benadering). De waarden zijn afgeleid uit historische topografische kaarten met een schaal van 1: 25 000. De migratiesnelheid is de gemiddelde afstand die de geul verplaatst was per jaar, waarbij cut-offs niet meegenomen zijn.

4.2.3 Natuurlijke dwarsdoorsnede

Sinds de Dinkel in het beheergebied van het waterschap is gekomen in 1970 zijn opnamen verricht van de bodemhoogte langs dwarsprofielen. In het rapport van het Waterschap Vechtstromen (2018) zijn een aantal historische dwarsprofielen opgenomen uit eerdere documenten en is een beschrijving daarvan gegeven. Hieruit blijkt dat de Dinkel ter plaatse van de grens met Duitsland in 1970 ongeveer 6 meter breed en ca. 2 meter diep was (Figuur 4-9). De precieze afmetingen in relatie tot de afvoer en het eerdere ontwerp uit die tijd zijn onbekend. Uit Figuur 4-9 blijkt dat de geulafmetingen en geulvorm (waaronder de mate van asymmetrie) van de Dinkel Zuid varieerde tussen de landsgrens en de Zoekerbrug voor de situatie zonder Gobi-matten en grootschalige oeverbestortingen. Ter plaatse van de Zoekerbrug en benedenstrooms daarvan was het profiel meer dan een meter breder en mogelijk iets symmetrischer (Figuur 4-10), hoewel dit samenhangt met de locatie van de dwarsdoorsneden ten opzichte van rivierbochten.



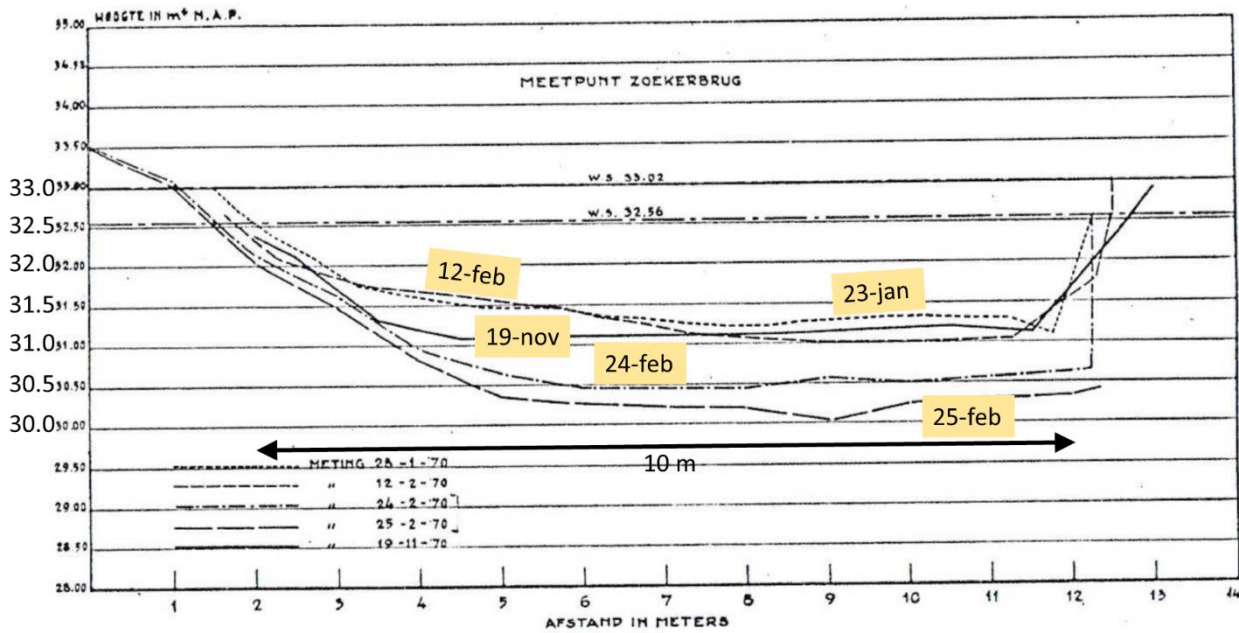
Figuur 4-9 Bodemhoogte langs enkele dwarsprofielen van de Dinkel tussen de Nederlands-Duitse grens en de Zoekerbrug, situatie in 1970 (voor aanvang van de periode waarin de loop werd genormaliseerd). De theoretische ontwerpprofielen uit die tijd zijn tevens aangegeven (indicatief). Bron: Verbeek, 1976; in Waterschap Vechtstromen, 2018.



Figuur 4-10 Idem Figuur 4-9 voor het transect tussen de Zoekerbrug en de verder benedenstrooms gelegen Ruherbergerbeek.

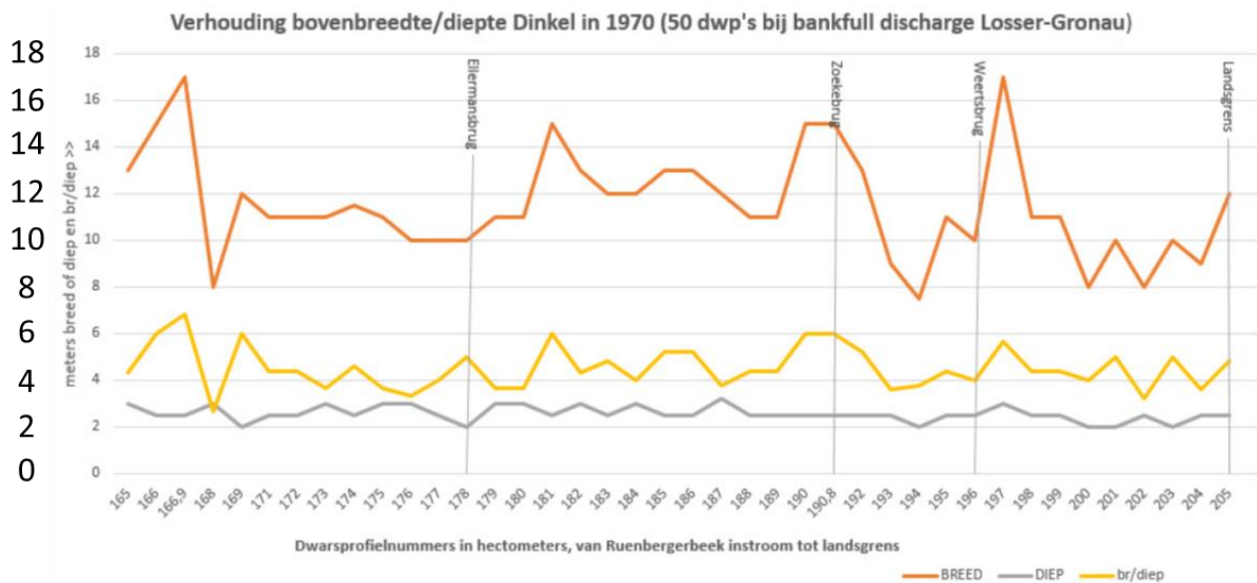
Naast ruimtelijke variatie vertonen de historische natuurlijke dwarsprofielen ook sterke variatie -en dus dynamiek- over de tijd, iets wat mogelijk ook geldt voor de toekomstige situatie. Specifiek ter plaatse van de Zoekerbrug zijn op verschillende momenten in 1970 opnamen verricht van de bodemhoogte in de dwarsdoorsnede (Figuur 4-11). Hieruit blijkt dat in de natuurlijke situatie op deze locatie aanzienlijke morfologische veranderingen optraden, waarbij in ongeveer 2 weken (12-feb – 25-feb) netto ruim een meter erosie optrad over grote delen van het dwarsprofiel. Ook de dagelijkse variatie is in Figuur 4-11 zichtbaar; van 24-feb naar 25-feb trad erosie op van enkele decimeters (Figuur 4-11).

Het kan hierbij echter wel worden afgevraagd hoe representatief de waargenomen veranderingen bij de Zoekerbrug zijn voor de gehele Dinkel Zuid. Het is immers mogelijk dat door lokale oeverbescherming ter plaatse van de brug het natuurlijke proces van verdieping is versterkt, ten opzichte van locaties waar het dwarsprofiel natuurlijker is. Bodemprofielen op andere locaties met een dergelijke tijdsresolutie zijn echter niet beschikbaar om deze hypothese te onderzoeken.



Figuur 4-11 De gemeten bodemhoogte langs de dwarsdoorsnede ter plaatse van de Zoekerbrug voor verschillende momenten in 1970. Bron: Heidemij, 1973; in Waterschap Vechtstromen, 2018.

Voor een vijftigtal dwarsprofielen in 1970 is door het Waterschap Vechtstromen (2018) de breedte-diepte verhouding bepaald en uitgezet langs de as van de Dinkel (Figuur 4-12). Dit betreft bij benadering de situatie tijdens de geulvullende afvoer (gehanteerde bovenbreedte van de dwarsdoorsnede en de bijbehorende geuldiepte). Uit Figuur 4-12 blijkt dat de breedte-diepte verhouding van de geul in 1970 gemiddeld ongeveer 4.5 in een bereik van ca. 3.5 tot 6. Deze gegevens kunnen worden vergeleken met de gegevens van de huidige situatie en ter invoer van theoretische relaties voor de bepaling van het geulpatroontype.



Figuur 4-12 Gereconstrueerde breedte-diepte verhouding van de Dinkel in 1970 tussen de landsgrens (rechts) en de Ruhenbergerbeek (links). De breedte, diepte en breedte-diepte verhouding zijn respectievelijk weergegeven door de oranje lijn, grijze lijn en gele lijn. Bron: Waterschap Vechtstromen, 2018.

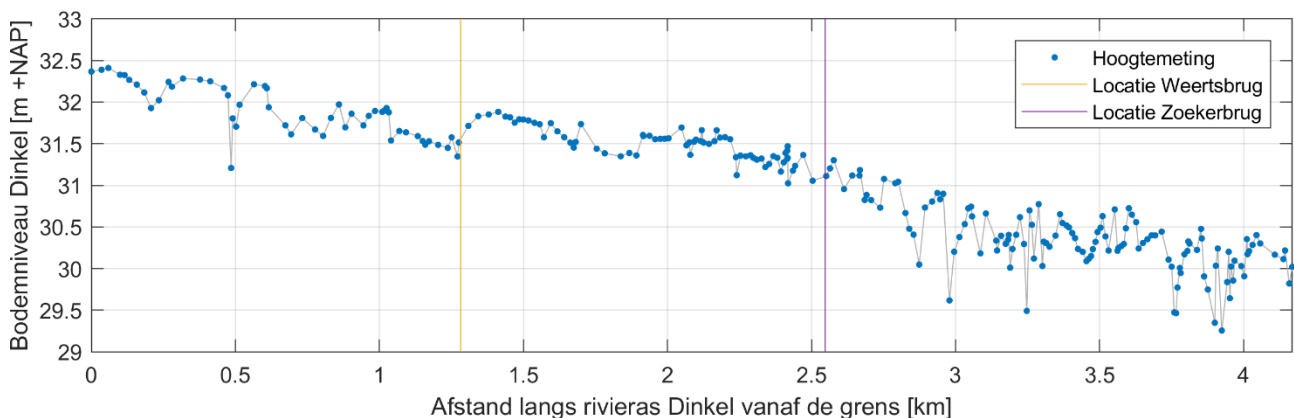
4.3 Huidige morfodynamiek

Evenals is gedaan voor de historische situatie in sectie 4.2, zijn in onderstaande secties de procesvariabelen uiteengezet voor de huidige situatie (d.w.z. voor de periode na normalisatie).

4.3.1 Verval, verhang en kronkelfactor

Het waterstandsverval tussen de Weertsbrug en de Zoekerbrug is circa 65 cm gedurende de perioden zonder afvoerpiek (zie §4.3.2; Figuur 4-18). Dit komt overeen met een waterstandsverhang van circa $5,2 \times 10^{-4}$ m/m. Het bodemverhang van de Dinkel langs de rivieras is vergelijkbaar: $4,7 \times 10^{-4}$ m/m voor het traject tussen deze bruggen en $6,1 \times 10^{-4}$ m/m gemiddeld over het hele projectgebied (zoals afgeleid uit Figuur 4-13 op basis van een lineaire relatie). De laatstgenoemde waarde is opmerkelijk, omdat deze waarde groter is dan het dalverhang (§4.1.2). Mogelijk is sprake van een incorrecte bepaling en/of is een meer gedetailleerde bepaling nodig om deze waarde vast te stellen. Doctor (1998) kwam voor de volledige Boven Dinkel uit op een kleiner bodemverhang van $3,0 \times 10^{-4}$ m/m.

De kronkelfactor van de huidige geul in het projectgebied is kleiner geworden ten opzichte van de historische situatie, doordat een deel van de geulen is rechtgetrokken. De huidige kronkelfactor in het projectgebied is circa 1,15. Dit is lager dan de 1,25 in het projectgebied in 1966 en de meeste historische kronkelfactoren in de Dinkel benedenstrooms van het projectgebied (Figuur 4-8).

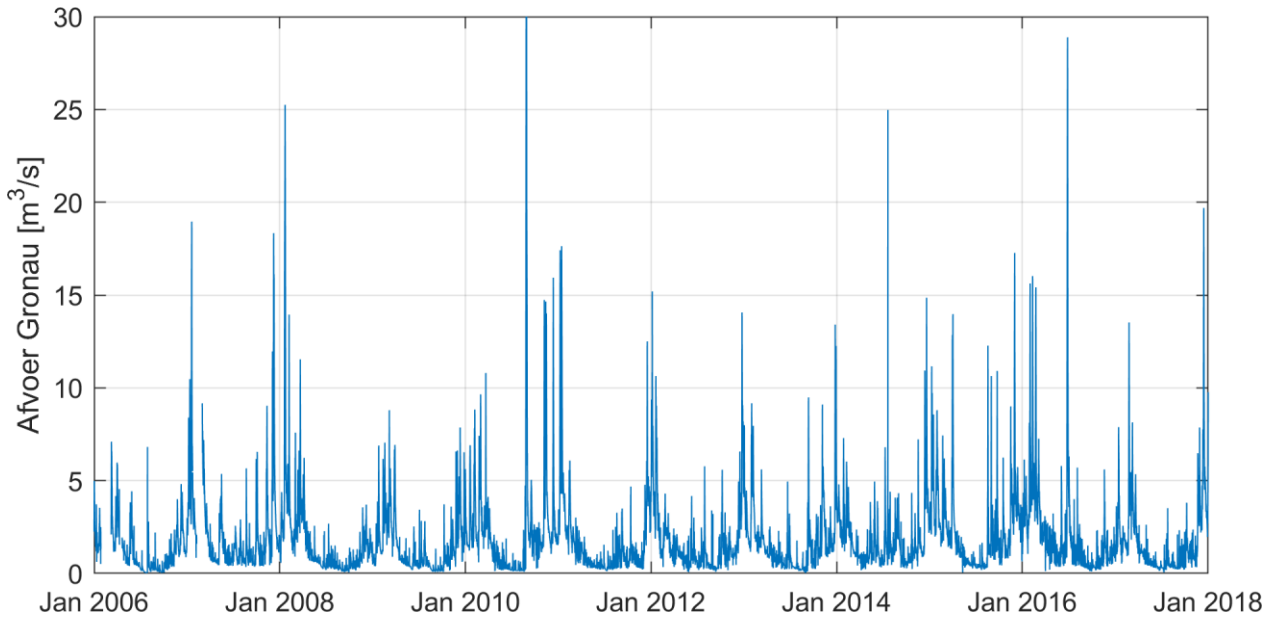


Figuur 4-13 Langsprofiel van de rivierbedding van de Dinkel in het projectgebied (Duits-Nederlandse grens tot de Ellermansbrug bij Losser). Gebaseerd op de meetgegevens langs de rivieras ('LP_AS_40') van 02-08-2012.

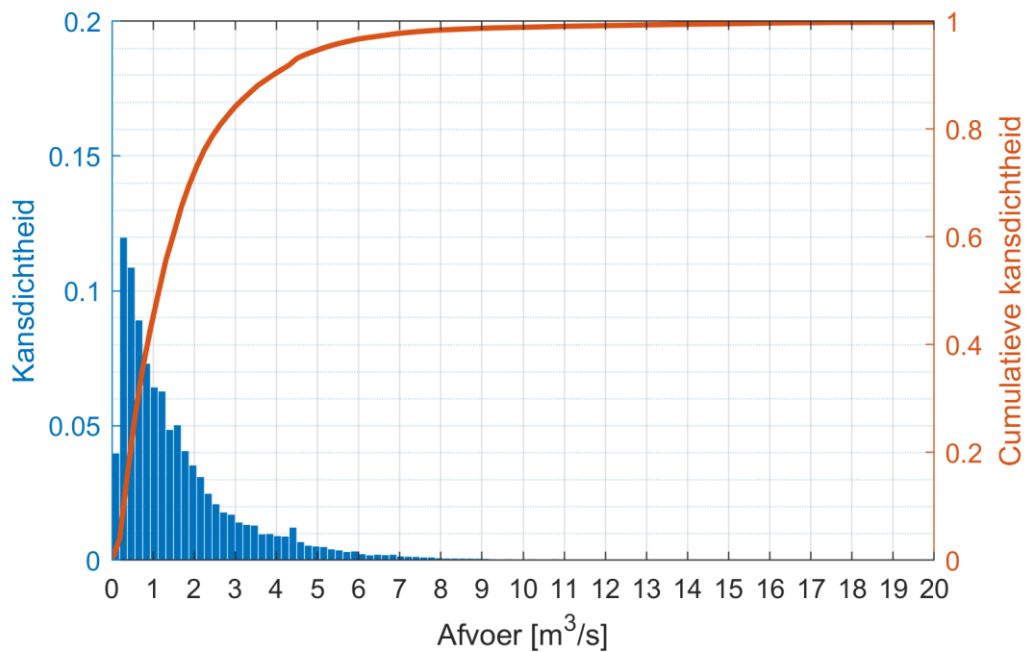
4.3.2 Hydrodynamiek

Afvoer

Figuur 4-14 toont de afvoer door het projectgebied Dinkel Zuid voor de periode 2006-2018 en Figuur 4-15 de bijbehorende afvoerkansverdeling. Dit is de afvoer die representatief is voor het debiet dat over de Duits-Nederlandse grens het projectgebied binnen komt en is gebaseerd op debietmetingen in de Dinkel in Gronau. In de tijdserie is de seizoenale variatie duidelijk zichtbaar; in de winter is de afvoer enkele m^3/s met hoge afvoerpieken rond de $15 \text{ m}^3/\text{s}$. In de zomer is sprake van een relatief constante lage afvoer die meestal onder de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt. De mediane afvoer over deze periode was $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

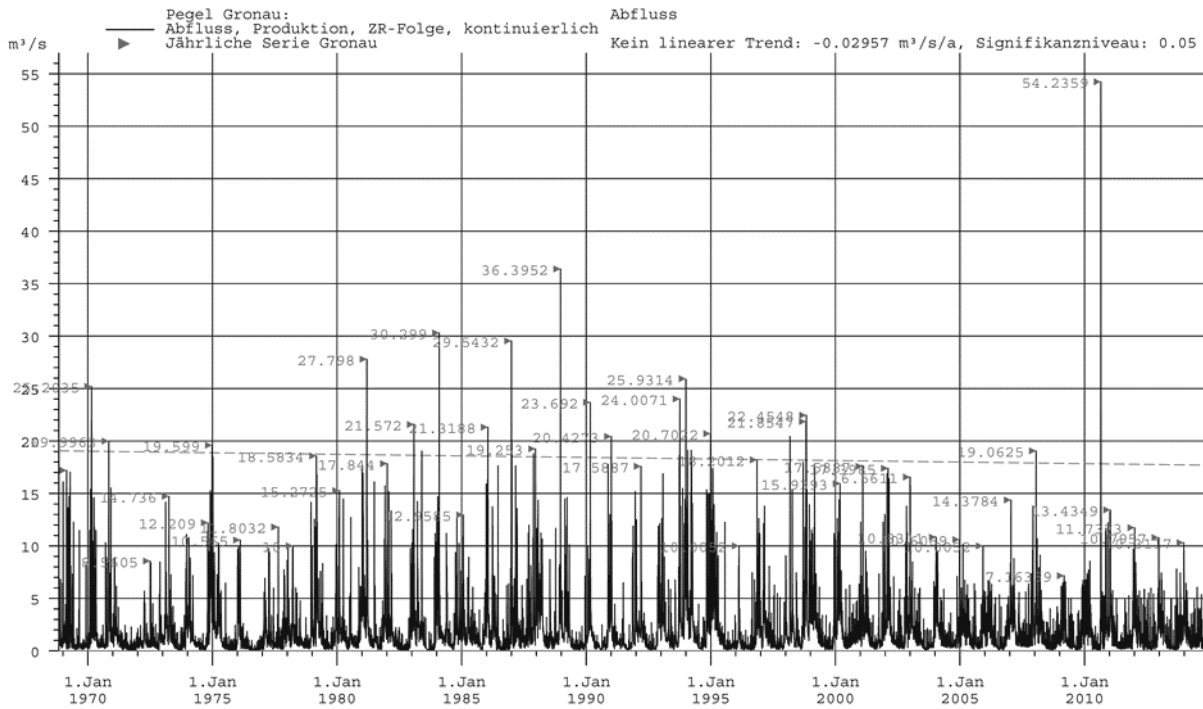


Figuur 4-14 Tijdsree van de afvoer door de Dinkel Zuid voor de periode van 2006-2018 met een interval van 1 uur.

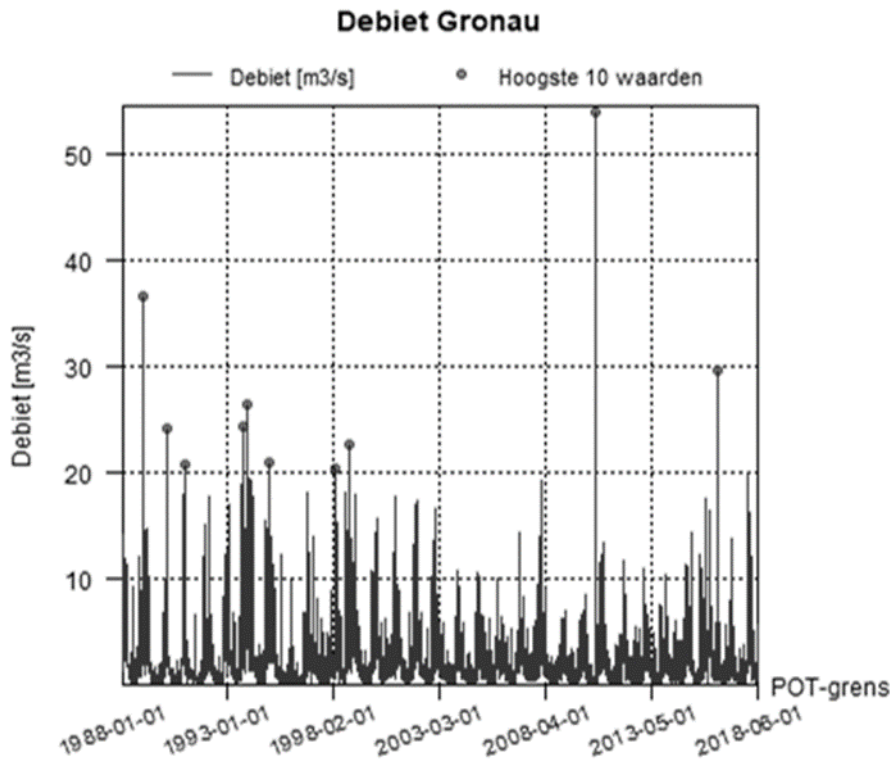


Figuur 4-15 Kansverdeling van de afvoer door de Dinkel Zuid gebaseerd op de gemeten afvoer in de periode 2006-2018 met een interval van 1 uur.

In Figuur 4-16 en Figuur 4-17 zijn nog een tweetal tijdreeksen van afvoeren te Gronau getoond voor een langere periode.



Figuur 4-16 Tijdsree van de afvoer te Gronau voor de periode 1970 – 2014 (Bron: Waterschap Vechtstromen, 2019).



Figuur 4-17 Tijdsree van de afvoer te Gronau voor de periode 1988 – 2018 (Bron: Waterschap Vechtstromen, 2019).

Evenals voor de getoonde meetreeks in Figuur 4-14 tonen beide tijdreeksen duidelijke seizoenale verschillen in de afvoer. Ook is een aantal events zichtbaar waarbij de afvoer hoger is dan 20 m³/s. Uit beide figuren blijkt geen duidelijke meerjarige trend in de afvoer aanwezig te zijn. Een meer gedetailleerde analyse van deze meetreeksen is aan te bevelen om mogelijke

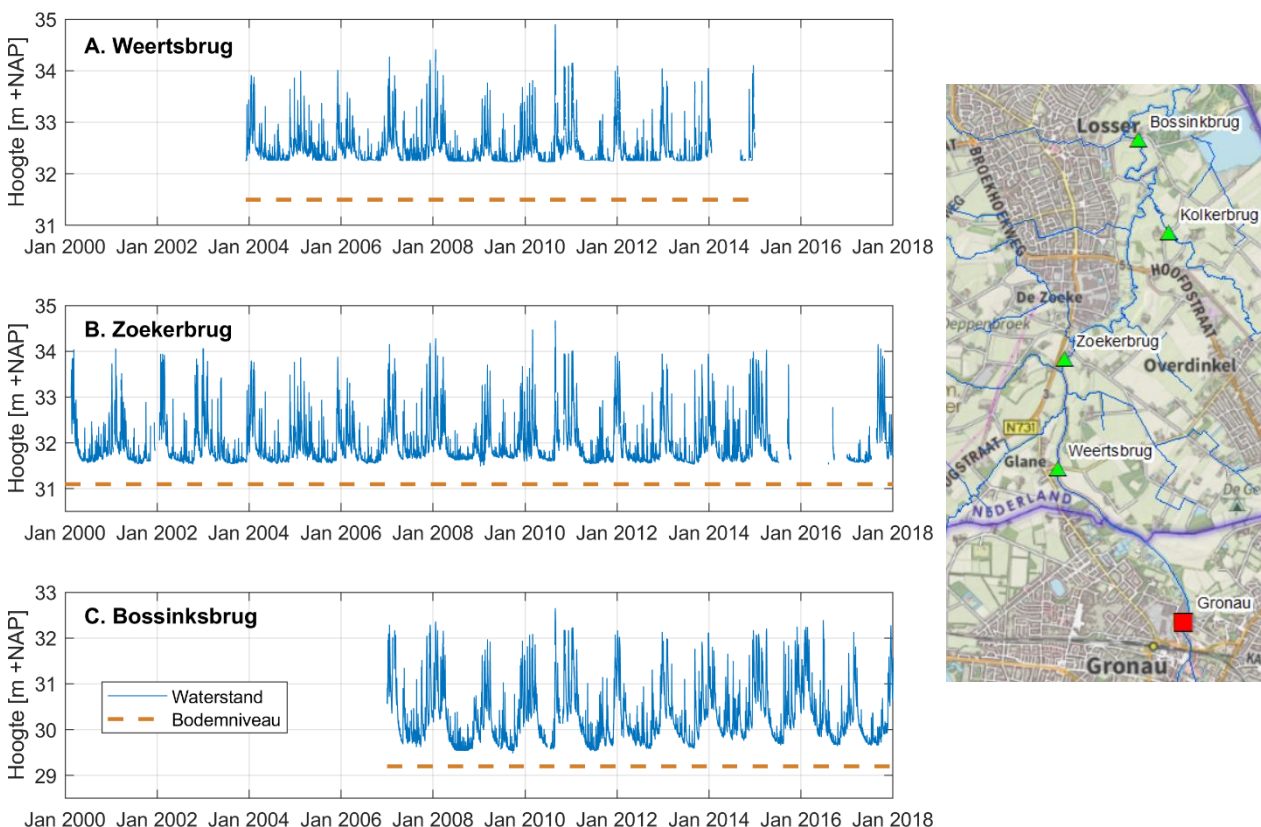
afvoerontwikkelingen in de tijd te kunnen duiden, alsmede voor de verklaring van de piekwaarden en de mogelijke filtering van foutieve registraties (buiten de scope van de voorliggende studie).

Binnen het projectgebied monden de Glanerbeek en de Elsbeek uit op de Dinkel: de afvoer van deze beken is echter klein vergeleken met de afvoer door de Dinkel. Circa een kilometer benedenstrooms van het projectgebied voegt de Ruhenbergerbeek zich bij de Dinkel. De afvoer van deze beek levert wel een significant aandeel in de afvoer van de Dinkel. Er is echter (nog) geen debietmeetpunt in deze beek aanwezig.

De Dinkel treedt buiten zijn oevers van het zomerbed bij afvoeren boven de 10-20 m³/s (geulvullende afvoer) (bron: onbekend). Na normalisatie van het traject kreeg de Boven-Dinkel een afvoercapaciteit van 15 m³/s, dat is gerealiseerd door middel van baggeren met behulp van zandzuigers (Hommel et al., 1994). Door morfologische effecten bleek dat de afvoercapaciteit van de Boven Dinkel was gereduceerd tot gemiddeld 9 m³/s. In het akkoord is vastgelegd dat de gereduceerde afvoer maatgevend is (Schmidt & Zwijnenberg, 2015).

Waterstanden

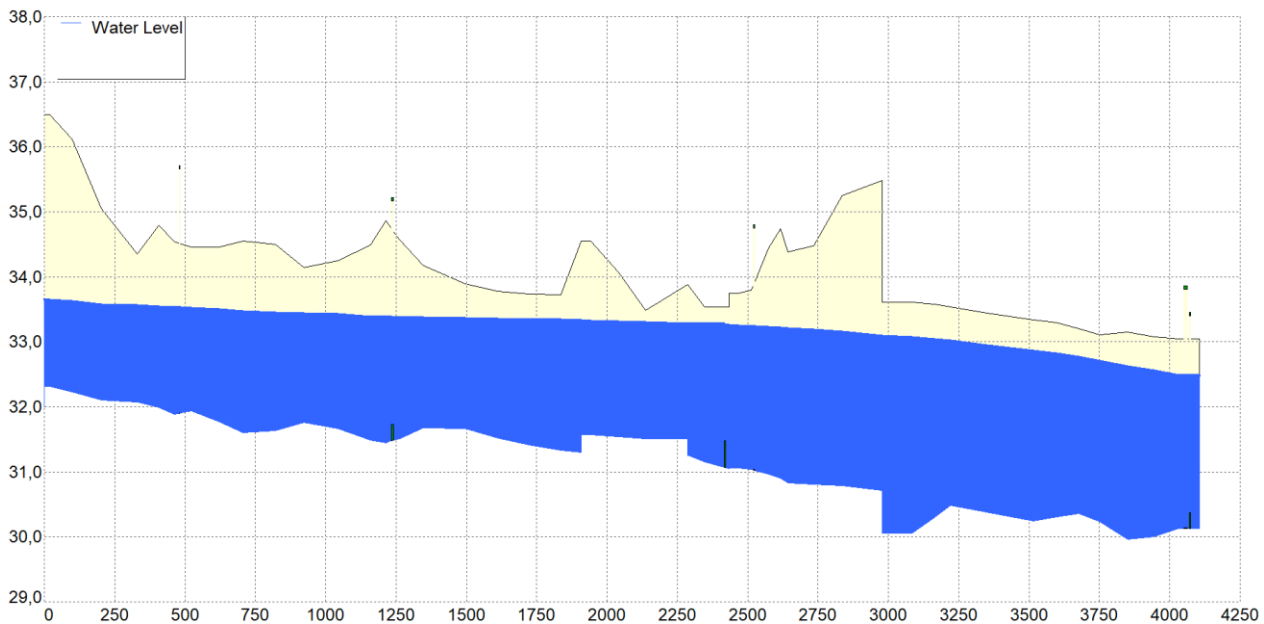
Figuur 4-18 toont de waterstanden in – en benedenstrooms van het projectgebied bij de Weertsbrug, Zoekerbrug en Bossinksbrug.



Figuur 4-18 Tijdsree van de waterstanden in de Dinkel (links) op verschillende locaties van bovenstrooms naar benedenstrooms. De locatie van de waterstandsmeeptpunten zijn weergegeven in de kaart rechts. De weergegeven bodemhoogte is gebaseerd op de hoogtemetingen op de geul-as van de Dinkel op 02-08-2012 en kan enkele decimeters afwijken van de daadwerkelijke bodemhoogte die hoort bij de waterstand: de lijnen zijn dus enkel indicatief.

De jaarlijkse seizoenale patronen in de waterstanden zijn, evenals in de afvoerreeksen, duidelijk zichtbaar (Figuur 4-18). Het bereik van waterstanden tussen droge perioden en een piekafvoer is 2,7 - 3,0 m in het projectgebied. De waterdiepte van de Dinkel Zuid is over het algemeen minimaal enkele decimeters (Waterschap Vechtstromen, pers. comm.).

In Figuur 4-19 zijn gemodelleerde waterstanden getoond langs de Dinkel vanaf de Duits-Nederlandse grens tot de Ellermansbrug voor de 20 dagen/jaar afvoerconditie (Waterschap Vechtstromen, 2019). De onderzijde van het blauwe vlak in dit figuur wordt begrensd door de bodemligging van de geul en de bovenzijde van het blauwe vlak toont de gekromde waterstandscurve. Uit Figuur 4-19 blijkt dat de berekende waterdiepte voor deze afvoerconditie over het beschouwde gebied toeneemt van circa 1,3 m aan de bovenstroomse zijde tot circa 2,2 m aan de benedenstroomse zijde.



Figuur 4-19 Gemodelleerde waterstand bij een 20 dagen/jaar-afvoer. Op de horizontale as staat de afstand [m] vanaf de Duits-Nederlandse grens tot aan de Ellermansbrug. Op de verticale as staat het niveau [m] t.o.v. NAP. De onderkant van het blauwe vlak is de geulbodembodem. Bron: Waterschap Vechtstromen (2019).

Stroomsnelheden

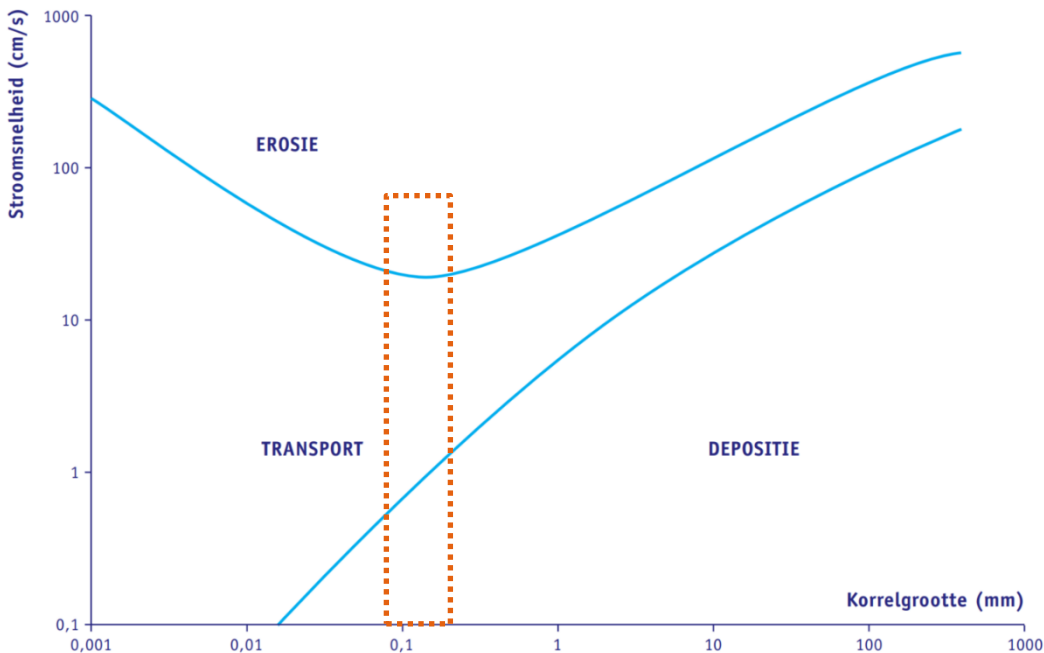
Naast de afvoeren en waterstanden zijn tevens de stroomsnelheden van belang voor de morfodynamische ontwikkelingen van de Dinkel. Door het Waterschap Vechtstromen zijn 1D SOBEK modelberekeningen uitgevoerd voor de huidige situatie. Het resultaat van de 1D-berekeningen is getoond in Figuur 4-21 voor vier specifieke afvoercondities. Uit deze modelberekeningen blijkt dat tijdens gemiddelde afvoercondities sprake is van (profielgemiddelde) stroomsnelheden tussen 0,1 en 0,4 m/s. Tijdens hogere afvoeren kunnen volgens de berekeningen stroomsnelheden tot ongeveer 0,6 m/s worden bereikt en is sprake van een duidelijk ruimtelijk patroon. De berekende snelheden zijn de gemiddelde waarden over de gehele dwarsdoorsnede; binnen de dwarsdoorsnede zal de stroomsnelheid in zowel de verticale richting als de transverse richting variëren.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat bijvoorbeeld secundaire stroming in bochten niet wordt meegenomen in dergelijke 1D berekeningen. Metingen of resultaten van een 3D-model waren echter niet voorhanden ten tijde van schrijven.

Potentie tot sedimenttransport

Met behulp van het Hjulstrom diagram (Figuur 4-20) en op basis van ervaring kan een grove inschatting gemaakt worden in hoeverre deze stroomsnelheden voldoende zijn voor sedimenttransport in de Dinkel. Hieruit volgt dat de stroomsnelheden tijdens de 10 dagen/jaar en 20 dagen/jaar events in het algemeen voldoende zijn om (losgepakt) zand vanuit de bedding te

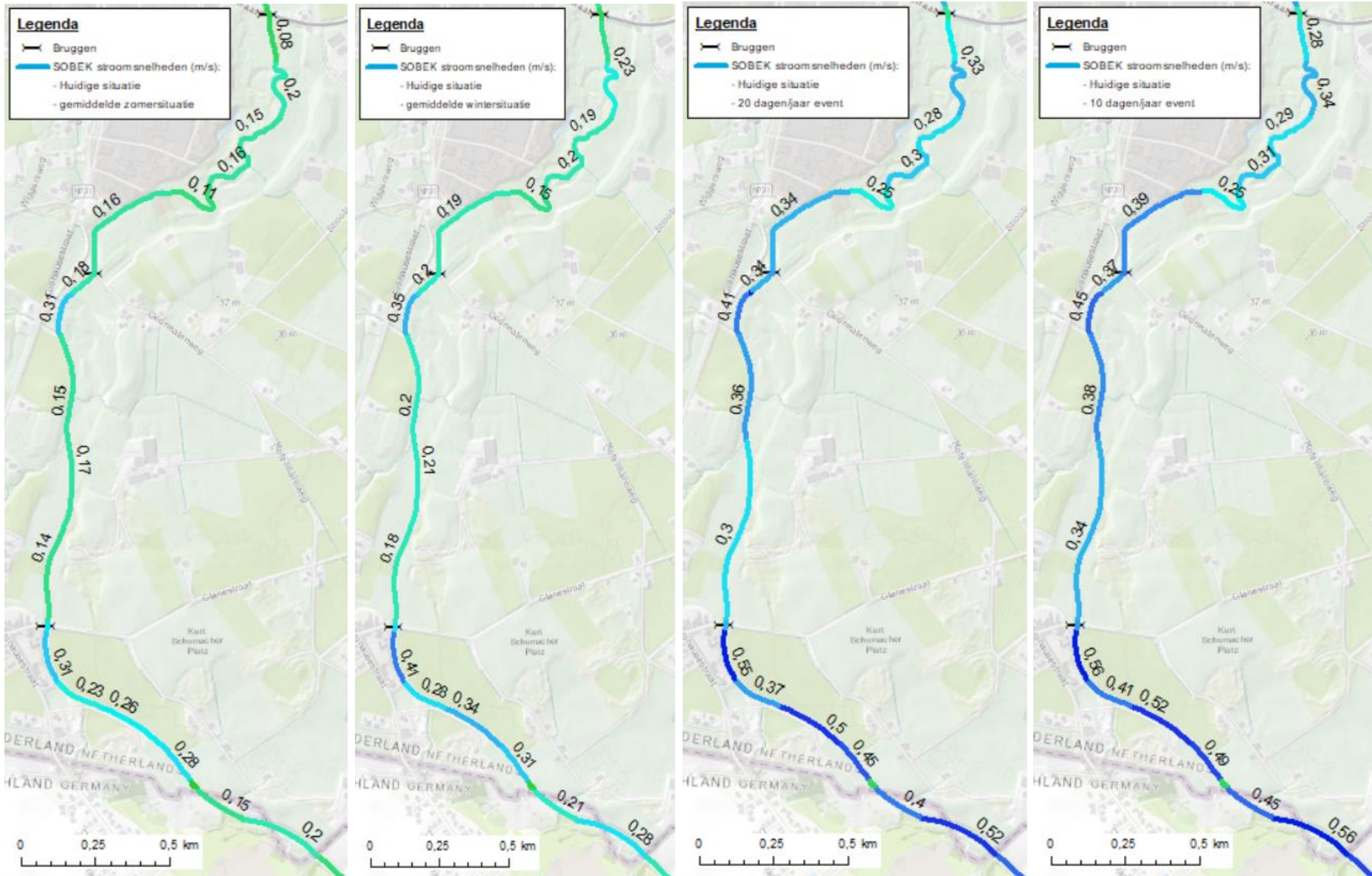
eroderen en in suspensie te houden¹. Dit is in lijn met het feit dat tijdens hoge afvoeren zand dat via de geul wordt getransporteerd afgezet wordt op de oevers (sectie 4.3.4). Tijdens de gemiddelde condities kan zand, indien aanwezig in de waterkolom en afhankelijk van de korrelgrootte, in specifieke delen van de Dinkel Zuid neerslaan op de bodem; de stroomsnelheden op deze locaties zijn dan ontoereikend om het zand te transporteren.



Figuur 4-20 Hjulstrom diagram uit sectie 3.2 met daarin grofweg het gebied waar de berekende stroomsnelheden in de Dinkel in de huidige situatie uit het 1D Sobek model voor de verschillende afvoersituaties plotten in combinatie met de korrelgrootterange in de geul (zie sectie 4.1.3). De stroomsnelheid op de verticale as is de stroomsnelheid nabij de bodem, maar de berekende snelheden zijn profielgemiddeld. Daarom is de hoogste, berekende stroomsnelheid als bovengrens gehanteerd en de ondergrens verder naar beneden doorgetrokken dan de laagste, berekende stroomsnelheid.

De variatie in stroomsnelheden in de langsrichting van de Dinkel resulteert in gradiënten in sedimenttransport. Dit kan ook gekoppeld worden aan locaties waar sedimentatie en erosie te verwachten is. Door de Gobi-matten en puinstortingen kan echter niet overal erosie plaatsvinden waar erosie te verwachten is op basis van de stroomsnelheden. Hierdoor worden de gradiënten deels in stand gehouden: de feedback tussen stroming en bodemniveau kan niet overal op een natuurlijke wijze de gradiënten vereffen.

¹ Onder de aanname dat de berekende profielgemiddelde stroomsnelheden representatief zijn voor de stroomsnelheid nabij de bodem (laatstgenoemde variabele is aangehouden in het Hjulstrom diagram).



Figuur 4-21 Stroomsnelheden in de Dinkel in het projectgebied voor de huidige situatie berekend met een 1D SOBEK-model voor 4 situaties (vlnr): de gemiddelde zomersituatie, de gemiddelde wintersituatie, een afvoerevent dat 20 dagen per jaar voorkomt en een afvoerevent dat 10 dagen per jaar voorkomt.

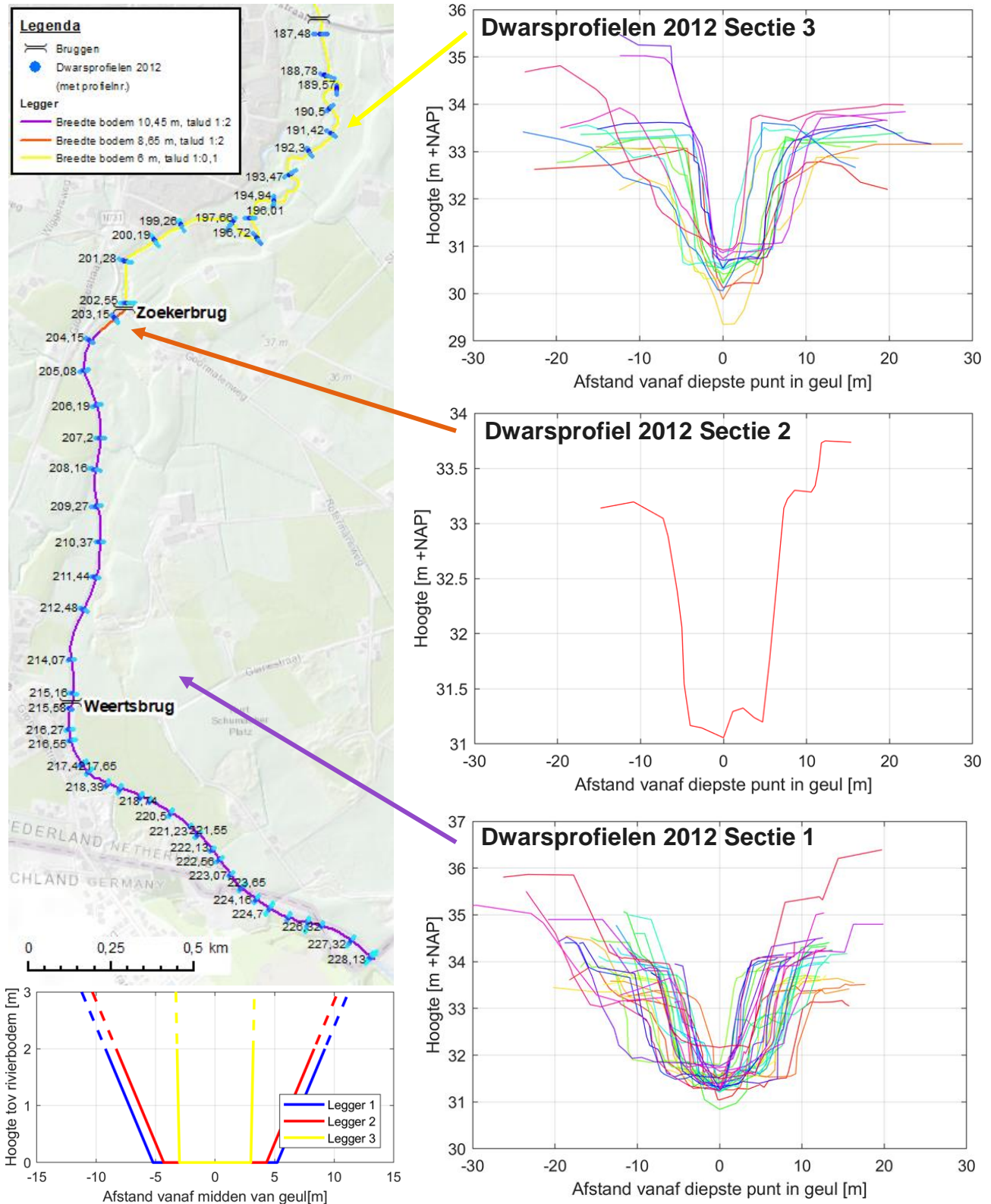
Invloed van kunstwerken op hydrodynamiek

In de Dinkel Zuid komen geen stuwen voor, waardoor het directe effect van kunstwerken anders dan bruggen in dit deel beperkt is. In bovenstroomse delen van de Dinkel in Duitsland zijn wel stuwen aanwezig.

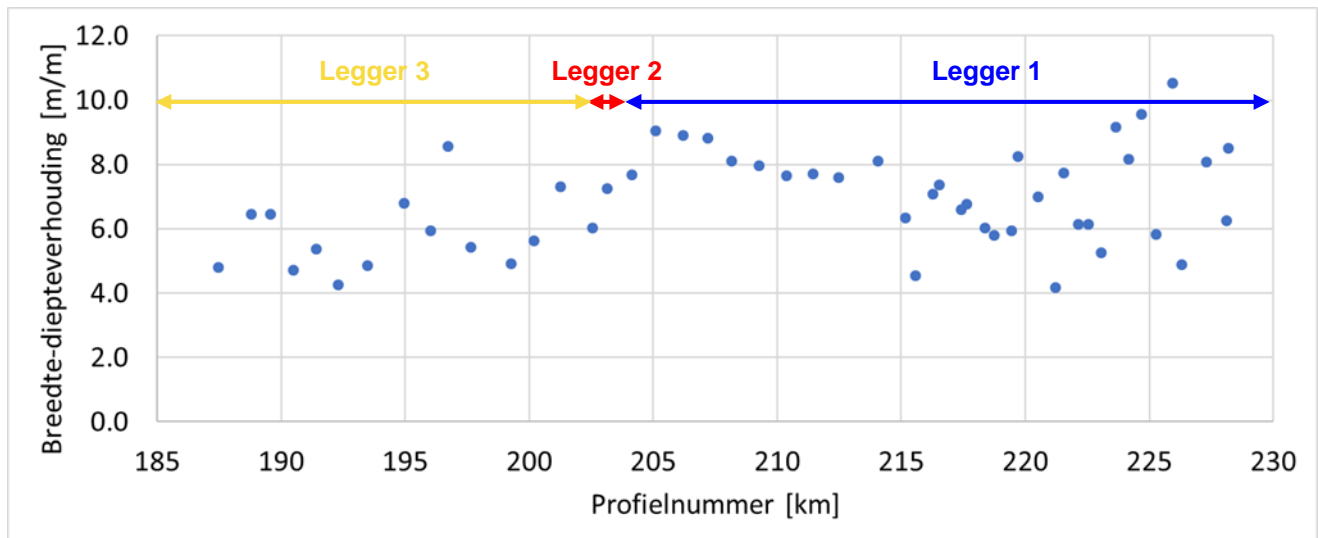
4.3.3 Huidige dwarsdoorsnede

Figuur 4-22 toont de in 2012 gemeten dwarsprofielen van de Dinkel in het projectgebied voor drie secties waarvoor een verschillende legger van toepassing is. Sectie 1 komt overeen met het verbrede traject waar het profiel is vastgelegd met Gobi-matten. Op hoofdlijnen is het leggerprofiel hier terug te zien in de ingemeten dwarsprofielen, maar er zijn ook duidelijke afwijkingen. In bochten is de afwijking meestal het grootst: hier is de binnenbocht ondieper en de buitenbocht dieper. Dit impliceert dat de Gobi-matten deels onder het zand zijn verdwenen en/of sediment onder de Gobi-matten is verdwenen, of dat de profielen in eerste instantie al niet precies volgens de legger zijn aangelegd. Sectie 2 in de legger omvat de overgang van het deel met Gobi-matten naar het deel zonder Gobi-matten. Het profiel is hier volgens de legger iets smaller. Voor deze sectie is slechts één ingemeten dwarsprofiel beschikbaar. Sectie 3 in de legger is het traject zonder Gobi-matten dat nog het meest natuurlijk is. Volgens de legger is het profiel langs dit traject smaller dan bovenstrooms en heeft het een steiler talud. Dit is op hoofdlijnen terug te zien in de ingemeten profielen.

Uit de dwarsprofielen is per dwarsdoorsnede de breedte-diepteverhouding van de geul afgeleid. Het ruimtelijke verloop van deze parameter is weergegeven in Figuur 4-23. Uit Figuur 4-23 volgt dat de breedte-diepteverhouding in het bereik 4 - 10 ligt. Er lijkt sprake van een lichte trend in ruimtelijke zin, waarbij de verhouding afneemt in benedenstroomse richting. Dit is consistent met de legger: bovenstrooms (> profiel 203) is de breedte-diepteverhouding toegenomen naar ca. 8 door de verbreding van het profiel, terwijl benedenstrooms (< profiel 203) minder grote ingrepen in het dwarsprofiel hebben plaatsgevonden en de verhouding nog redelijk in de buurt van de natuurlijke waarde (4-6) ligt. Helemaal bovenstrooms is de spreiding in de verhouding relatief groot, doordat er meer getrapte profielen aanwezig zijn waarvoor het bepalen van de verhouding minder eenduidig is.



Figuur 4-22 Gemeten dwarsprofielen 2012 (rechts), bijbehorende leggers (rechtsonder) en de locatie van de dwarsprofielen en bijbehorende drie secties met verschillende legger in het projectgebied. De profielen horend bij legger 3 benedenstrooms zijn relatief smal met een steil talud, terwijl de profielen horend bij legger 1 bovenstrooms relatief breed zijn met een flauwer talud.



Figuur 4-23 Breedte-diepteverhouding (W/h) voor de gemeten dwarsprofielen 2012. Locatie van de profielnummers, zie kaart in Figuur 4-22.

4.3.4 Sedimentbalans

Naast de waterafvoer van de Dinkel is ook de sedimentafvoer van de Dinkel relevant voor de morfologische veranderingen in het gebied. Er is nauwelijks tot geen informatie vanuit metingen over het sedimenttransport tijdens maatgevende condities en ook de beschikbaarheid van mobiel sediment in het systeem is grotendeels onbekend. Om toch een beeld te kunnen vormen van de morfodynamiek is het relevant om de verschillende (potentiële) bijdragen aan de totale zandbalans in het systeem te beschouwen.

In het algemeen kan onderscheid worden gemaakt in de volgende componenten van de zandbalans:

1. zandaanvoer vanuit bovenstroomse Dinkel (Duitsland);
2. zandaanvoer vanuit de huidige bedding (ondergraving van Gobi-matten);
3. zandaanvoer vanuit de oevers langs de Dinkel.
4. zandaanvoer vanuit de geul en door laterale afstroming aan het oppervlak tijdens overstromingen.

De componenten hebben betrekking op de oorsprong van het zand. Uiteraard maken de transportpaden van dit zand en de lokale (tijdelijke) opslag van zand in andere delen van het morfodynamische systeem onderdeel uit van de zandbalans van de Dinkel. De componenten van de zandbalans zijn in onderstaande verder toegelicht.

Zandaanvoer vanuit bovenstroomse Dinkel (Duitsland)

De eerste component van de zandbalans voor Dinkel Zuid heeft betrekking op de aanvoer van zand vanuit het bovenstroomse deel van de Dinkel. Hierbij valt te denken aan fijn zand dat in suspensie (of eventueel over bodem getransporteerd als bodemvorm) wordt aangevoerd vanuit Duitsland tijdens maatgevende condities en/of tijdens lagere afvoeren. Dit sediment kan van natuurlijke oorsprong zijn (lokale erosie van de geul/oevers of aangevoerd vanaf land bij oppervlakteaftroming), maar ook afkomstig zijn uit de RKZI die bij Gronau water loost op de Dinkel. Een beperking in de aanvoer van sediment uit Duitsland vormen de stuwen in Gronau en verder bovenstrooms: afhankelijk van het type stuw zouden deze een groot deel van het sediment kunnen afvangen en daarmee de aanvoer naar Nederland kunnen beperken. Het van bovenstrooms aangevoerde zand kan vervolgens in potentie in de Dinkel (tijdelijk) worden afgezet in geval de schuifspanning aan de bodem onvoldoende is om het sediment in suspensie te houden. Er zijn momenteel geen metingen van het zwevend stof transport of gebiedsdekkende hoge resolutie bathymetrische inmetingen om te bepalen of, en tijdens welke afvoeren deze

component significant is. Wel zou kunnen worden nagegaan wat het baggerbezwaar is in het Duitse deel van de Dinkel en in de omgeving van de stuw te Gronau en verder stroomopwaarts. Dit baggerbezwaar geeft dan een indicatie voor het (rest)transport richting Nederland.

Zandaanvoer vanuit de huidige bedding door ondergraving van Gobi-matten

Naast bovenstroomse aanvoer kan zand ook lokaal vanuit de bestaande bedding worden opgewerveld door turbulente stroming. Aangezien een deel van het traject van de Dinkel in de huidige situatie voorzien is van Gobi-matten is naar verwachting de aanvoer van zand door lokale erosie van de Gobi-matten beperkt. Uit stroomgootexperimenten met Gobi-matten (Derks, 1973) bleek dat de matten met een maasgrootte kleiner dan de korrelgrootte van het aanwezige zand onder de matten, geen zand doorlaten bij gemiddelde subkritische stroomsnelheden tot 4,25 m/s. Deze stroomsnelheden zullen in de Dinkel niet voorkomen. In deze experimenten resulteerde turbulentie echter wel in het doorlaten van zand, waardoor de matten ondergraven werden en instabiel konden worden. In de huidige situatie blijkt geen sprake te zijn van erosie van de Gobi-matten (Waterschap Vechtstromen, pers. comm.). Echter, het is (vooralsnog) onbekend wat de huidige toestand van het geotextiel onder de Gobi-matten is. In geval van gaten of scheuren in dit geotextiel kan toch plaatselijk zand worden geërodeerd dat tussen de mazen van de matten aanwezig is. Zoals in sectie 4.3.3 beschreven wijkt de legger van het traject met Gobi-matten af van de in 2012 ingemeten dwarsprofielen, dat door zowel sedimentatie op- als erosie onder de Gobi-matten kan komen. Een gedetailleerdere analyse van deze profielen of bij voorkeur, een tijdreeks van dwarsprofielen, in combinatie met een inspectie van de toestand van de Gobi-matten (met name gericht op de toestand van het geotextiel) zou duidelijk kunnen maken of deze afwijking (deels) door ondergraving van de Gobi-matten veroorzaakt wordt.

Zandaanvoer vanuit de oevers langs de Dinkel

Naast bovenstroomse aanvoer van zand en als gevolg van lokale erosie kan zand door erosie van de oevers in de geul terecht komen (Figuur 4-24). Dit mechanisme treedt in natuurlijke rivieren veelvuldig op in met name de buitenbochten, waarbij het zand door de helicoïdale stroming weer afgezet kan worden in de binnenbocht. Een deel van dit zand kan ook in geval van voldoende sterke longitudinale stroming verder stroomafwaarts worden getransporteerd. Het proces is ook sterk afhankelijk van de sedimentsamenstelling van de oevers. In geval van (fijn) zand kan relatief eenvoudig zand uit de oevers worden afgeslagen, terwijl geconsolideerde klei of compact veen in de oevers erosie kan remmen of zelfs kan tegengaan.



Figuur 4-24 Voorbeeld van erosie in de buitenbocht van de Dinkel (omcirkeld).

Zandaanvoer vanuit de geul en door laterale afstroming aan het oppervlak tijdens overstromingen

Tijdens overstromingen is het in potentie mogelijk dat sediment en ander materiaal vanaf de overstroomde gebieden tijdens afnemende waterstanden (de zogenaamde falling limb van de hydrograaf) geconcentreerd op plekken afstroomt aan het oppervlak naar de geul. Echter, naar verwachting is dit proces ondergeschikt aan het tegengestelde proces, namelijk de extractie van zand vanuit de geul door de vorming van oeverwallen tijdens overstromingen. Hierbij wordt zand vanuit de geul afgezet op de oevers, ook wel aangeduid als 'lobben' of 'zandduinen'. Er zijn tal van voorbeelden langs de Dinkel waar dit proces is waargenomen (Figuur 2-2 en Figuur 4-25).



Figuur 4-25 Tweetal voorbeelden van depositie op de oever langs de Dinkel. Bron: Stowa, 2015 (links) en Waterschap Vechtstromen, 2017 (rechts).

Inventarisatie kwantitatieve gegevens

Naast een inventarisatie van de (potentiële) sedimentbronnen in het systeem is ook het vermogen van het hydrodynamische systeem om het beschikbare sediment te transporteren relevant. Deze zogenaamde transportcapaciteit wordt met name bepaald door de waterafvoer, hydraulische ruwheid en het bodemprofiel. Daarnaast kan omgekeerd, het jaarlijkse baggerbezwaar op gegeven locaties langs de Dinkel, in combinatie met frequente inmetingen van de bodemhoogte langs gegeven dwarsraaien, inzicht geven in de morfodynamiek van de Dinkel. Er is (vooralsnog) geen tijdreeks van de bodemhoogte langs een aantal raaien beschikbaar waaruit de morfodynamiek van de Dinkel zou kunnen worden bepaald.

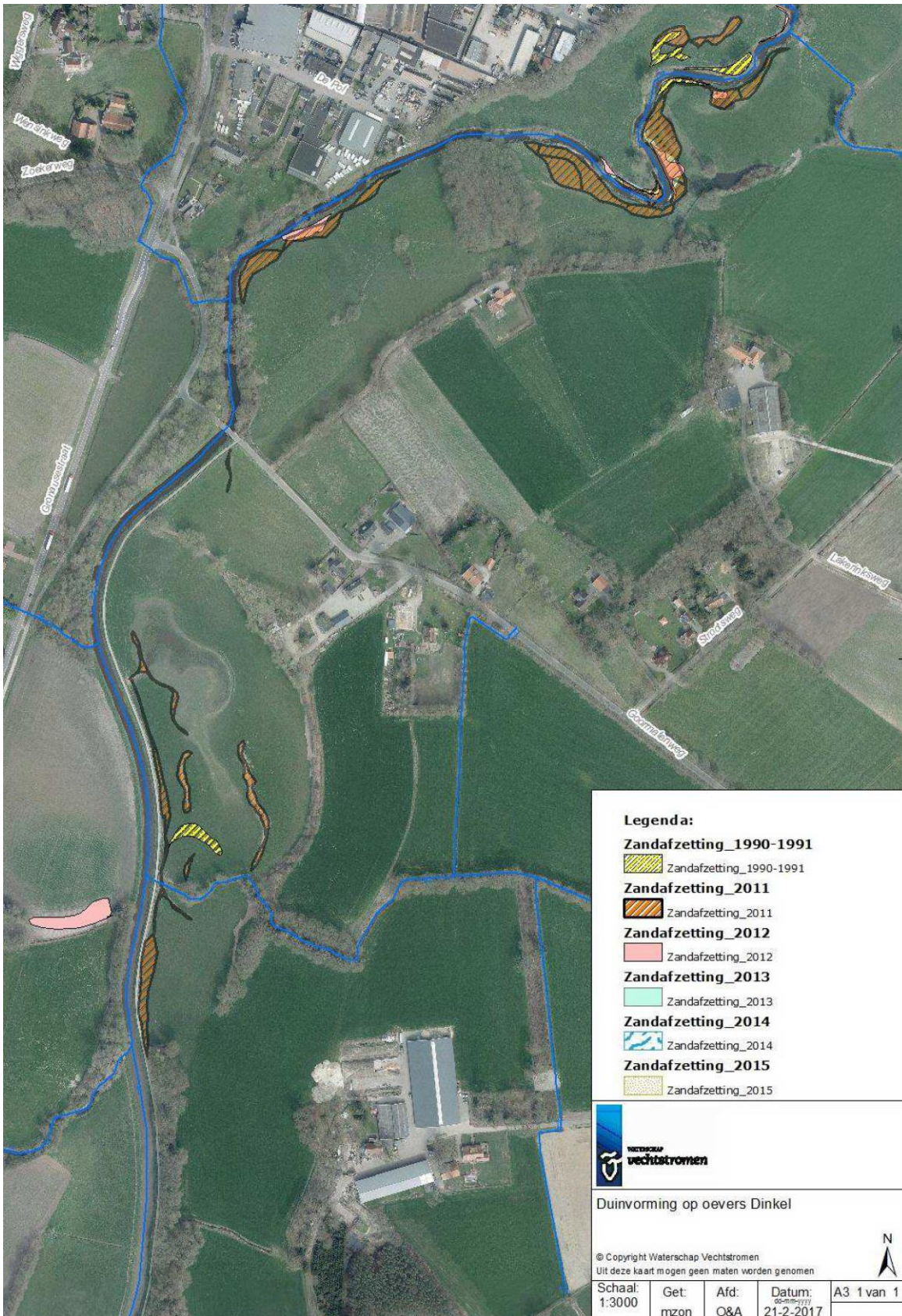
Vanuit de literatuur is enige kwantitatieve informatie beschikbaar over de transportcapaciteit van de Dinkel (Zuid) en de zandvolumes die met enige regelmaat (~jaarlijks tot 3-jaarlijks) op bepaalde plekken ('zandvangen') worden verwijderd, alsmede de zandafzettingen die op specifieke locaties langs de Dinkel zijn waargenomen (bijvoorbeeld als crevassen of oeverwallen).

De variatie in de vermelde waarden in literatuur is aanzienlijk en het is niet overal duidelijk waar de gegevens precies op zijn gebaseerd (in termen van onderliggende procesvariabelen, beschouwde deel van de Dinkel en welke tijdsspanne). In het rapport van Doctor (1998) is een totale transportcapaciteit vermeld van 13.650 m³/jaar. In dat rapport is vermeld dat deze waarde aanzienlijk hoger ligt dan de eerder door Kolff in 1976 bepaalde jaargemiddelde waarde van 3500 m³/jaar, hetgeen deels is toegeschreven aan verschillende gehanteerde waarden voor de natte doorsnede en de hydraulische ruwheid. Deze waarde is vervolgens in de betreffende studie gerelateerd aan de hoeveelheid zand dat in een drietal zandvangen in de Dinkel in 1996 is verwijderd. Het betreft een zandvolume van 4667 m³, 1333 m³ en 700 m³ die respectievelijk ter plaatse van de splitsing naar het Omleidingskanaal, de Kramerwatergang en de Bij-Dinkel in 1996 is verwijderd.

Het Waterschap Vechtstromen heeft in een kaartoverzicht een inventarisatie gemaakt van de zandafzettingen langs de Dinkel voor de periode 1990-2015. In Figuur 4-26 is een deel van dit kaartoverzicht getoond voor een deel van het projectgebied; bovenstrooms en benedenstrooms van de Zoekerbrug. Uit Figuur 4-26 blijkt dat bovenstrooms van de Zoekerbrug sprake is van slechts beperkte zandafzettingen. Dit suggereert dat door de overdimensionering van de geul ten opzichte van de optredende afvoeren de Dinkel in dit deel relatief weinig buiten zijn oevers is getreden in de beschouwde periode. In dit deel van de Dinkel zijn tevens de Gobi-matten aanwezig, waardoor erosie van de bedding wordt geremd of geheel onmogelijk wordt gemaakt. Tevens kan het grotendeels ontbreken van oeverafzettingen in dit deel erop wijzen dat de bovenstroomse aanvoer van zand uit Duitsland mogelijk beperkt is of dat sprake is van een efficiënte bypass van zand door dit deel van de Dinkel. Uit interne communicatie binnen het Waterschap Vechtstromen blijkt dat ongeveer eens per 3 jaar het zand bovenop de Gobi-matten wordt verwijderd en dat de laatste keer naar schatting zo'n 400 m³ is verwijderd. In 2013 is het gehele deel van de Dinkel tussen Gronau en de Zoekerbrug gebaggerd, waarbij enkel schoon zand is aangetroffen. Helaas is onbekend welk totaal zandvolume toentertijd is verwijderd.

Opvallend is dat benedenstrooms van de Zoekerbrug, waar de Gobi-matten afwezig zijn, sprake is van meer zandafzettingen op de oevers. Het dwarsprofiel van de Dinkel is hier natuurlijker en hoewel de spreiding in Figuur 4-23 relatief groot is, is sprake van een iets kleinere breedte-diepte verhouding voor dit deel van de Dinkel.

Verder stroomafwaarts is bekend dat in het omleidingskanaal in 2017 ongeveer 1000 m³ zand is verwijderd en in 2018 ongeveer 1500 m³ zand. Mogelijk is een deel van het zand afkomstig uit de bedding van het meer natuurlijke deel van de Dinkel (benedenstrooms van de Zoekerbrug). Echter, voor het toetsen van deze hypothese zijn hoog-frequente inmetingen van een aantal dwarsprofielen nodig, zoals in 1970 is gedaan ter plaatse van de Zoekerbrug (Figuur 4-11).



Figuur 4-26 Kaartoverzicht van zandafzettingen langs de Dinkel bovenstrooms en benedenstrooms van de Zoekerbrug over de periode 1990 – 2015.

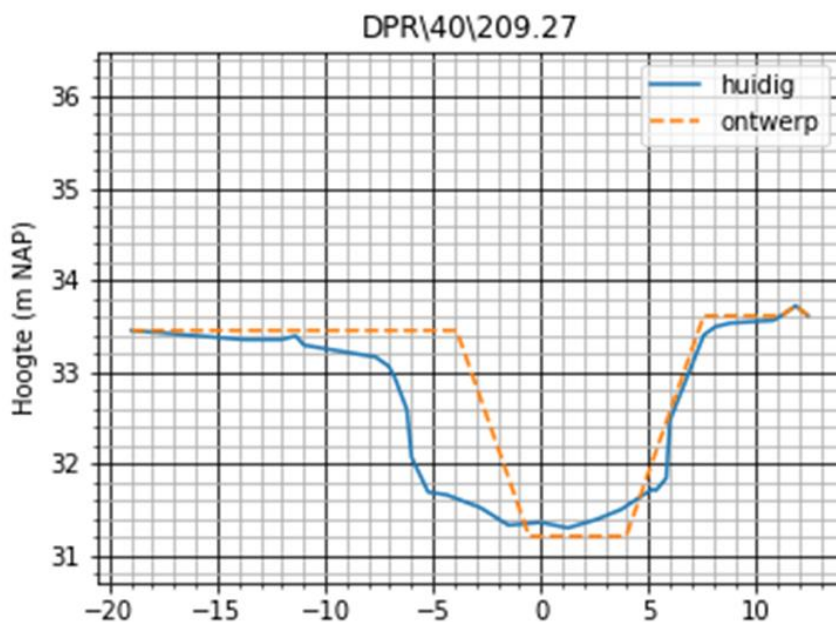
5 TOEKOMSTIGE SITUATIE EN VERWACHTE MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN DINKEL ZUID

5.1 Toekomstige situatie volgens definitief voorontwerp

De voorgestelde wijzigingen uit het ontwerp ten aanzien van de ligging en doorsnede van de Dinkel Zuid zullen effect hebben op de toekomstige hydromorfodynamiek van de Dinkel. Het ontwerp van de nieuwe geul is gericht op het creëren van meer dynamiek door een meer natuurlijke geul aan te leggen, om hiermee de ontwikkeling van meer natuurlijke oevers en het habitatype stroomdalgrasland te stimuleren. Hiertoe zullen de volgende aanpassingen uitgevoerd worden in het zuidelijke deel van het projectgebied (zie ook Figuur 2-9):

1) Verkleinen dwarsdoorsnede

De dwarsdoorsnede zal worden aangepast naar een doorsnede die hoort bij de natuurlijke Dinkel: de verbreding van de geul zal ongedaan worden gemaakt (zie Figuur 5-1). Hiertoe zal het zomerbed worden versmald naar 4,5 m breedte op de bodem en tevens zal de bedding worden verdiept. Het talud zal 1:1,5 bedragen. De doorsnede zal in Duitsland hetzelfde blijven (10,5 m breed op de bodem) en bij de grens zal een geleidelijke overgang van de dwarsdoorsnede worden gerealiseerd.



Figuur 5-1 Ontwerp- en huidig bodemprofiel in vergelijking met het huidige bodemprofiel in het traject tussen de Weertsbrug en de Zoekerbrug in het centrale deel van het projectgebied (zie Figuur 4-22 voor precieze ligging). Het ontwerp- en huidig bodemprofiel is duidelijk smaller en heeft daardoor een kleiner doorstroomoppervlak.

2) Verwijderen Gobi-matten

De Gobi-matten (huidige locatie zie Figuur 2-2) die aangelegd zijn om veranderingen in de ligging en dwarsdoorsnede van de Dinkel te voorkomen, zullen worden verwijderd in de stroomvoerende delen van de geul bij gemiddelde waterstand. De matten zullen blijven liggen in de hoogwatergeul en de meanderbocht aan de benedenstroomse zijde van deze hoogwatergeul.

3) Geulverlegging: meer meanders

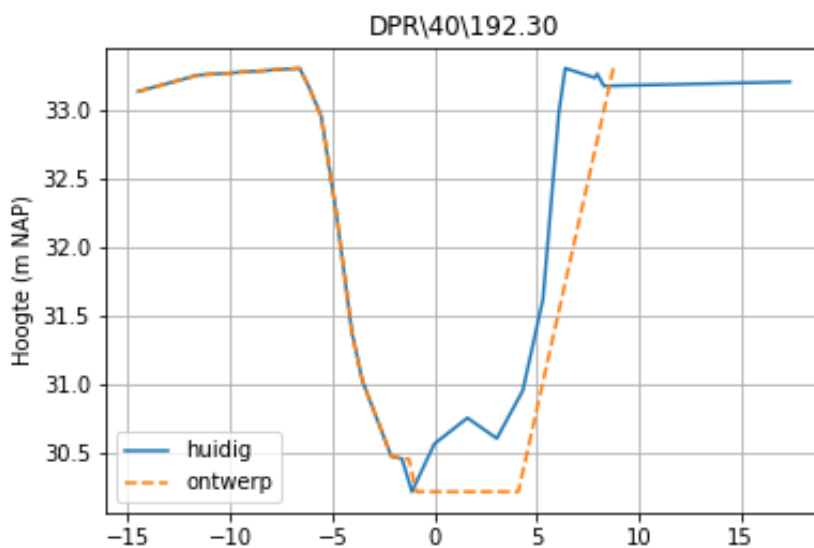
De geul zal meer kronkelend worden aangelegd om de normalisatie in de jaren '70-'80 van de vorige eeuw deels ongedaan te maken. Het aantal bochten in het definitieve schetsontwerp neemt toe en de meanderlengte neemt af (kleinere bochten zoals vroeger),

zonder dat de totale lengte sterk toeneemt. Daardoor neemt de kronkelfactor iets toe van 1,15 in de huidige situatie (zie §4.3.1) naar 1,16 binnen het projectgebied. Een eerder ontwerp voor de nieuwe geul ('variant 3a') bevatte sterker-gekromde en langere meanderbochten, hetgeen zou resulteren in een grotere toename van de kronkelfactor (1,26)².

4) Compensatiemaatregelen hoogwaterveiligheid

Bij Glane zijn twee maatregelen voorzien om de doorstroming te bevorderen bij hoge afvoeren: er zal een duiker worden aangelegd onder de Glanestraat om te voorkomen dat al het water onder de Weertsbrug moet worden afgevoerd en de oude geul zal in stand worden gehouden als hoogwatergeul/bypass. Om te voorkomen dat de hoogwatergeul meestroomt bij lagere afvoeren/waterstanden, zal een drempel worden aangebracht in de hoogwatergeul bij het splitsingspunt.

Het noordelijke deel van het projectgebied hoeft minder aangepast te worden, omdat deze sectie in de afgelopen decennia minder sterk is aangepast (geen Gobi-matten en minder sterk verruimd). Het ontwerpprofiel lijkt daar reeds op de bestaande dwarsdoorsnede (zie Figuur 5-2). Er bevindt zich echter wel nog puin in de oeverwallen, dat (deels) verwijderd zal worden zodat de geul makkelijker kan migreren. Daarnaast zullen kleine ingrepen worden verricht zoals het iets krommer maken van een meander.



Figuur 5-2 Ontwerpprofiel in vergelijking met huidig dwarsprofiel bij Losser in het noordelijk deel van het projectgebied (zie Figuur 4-22 voor precieze ligging). De verschillen tussen de huidige situatie en het ontwerp zijn relatief klein.

² Zoals in respectievelijk sectie 3.6 en 4.2.2 is aangegeven, is de scherpte van een meanderbocht niet lineair gerelateerd aan de snelheid van geulverplaatsing, en impliceert een hogere kronkelfactor niet dat de geul meer dynamisch is/zich sneller verplaatst. De grootte van de verandering in de kronkelfactor zegt daarom nog niets over in hoeverre het schetsontwerp kan voldoen aan de doelstellingen m.b.t. het terugbrengen van natuurlijke dynamiek in de vorm van laterale geulverplaatsing.

5.2 Verwachte trends in morfologische ontwikkelingen Dinkel Zuid

Voor het inschatten van de effecten van de geplande wijzigingen in de loop van de Dinkel op de morfodynamiek kan een onderscheid worden gemaakt tussen twee tijdschalen: de korte en de lange termijn. Op de korte termijn (max. enkele jaren) vindt de directe respons op de aanpassingen van de geul plaats. Dit wordt gekenmerkt door snelle veranderingen in onder andere het dwarsprofiel om een natuurlijk(er) dwarsprofiel te vormen dat past bij het substraat en de nieuwe gradiënt. De aanpassingstijd die nodig is om een nieuw evenwicht te bereiken, wordt ook wel morfologische aanpassingstijd genoemd. Merk op dat het uiteindelijke evenwicht een dynamisch evenwicht is; er vinden dan nog steeds erosie- en sedimentatieprocessen plaats, maar de rivier heeft een min of meer constante gedrag en afmetingen. De morfologische aanpassingstijd is mede afhankelijk van het voorkomen van afvoerpieken die de sterkste morfologische veranderingen bepalen. Over het algemeen bedraagt de initiële aanpassingsperiode circa 1 à 2 jaar (Eekhout en Hoitink, 2014).

In de onderstaande secties is beschreven welke aanpassingen kunnen worden verwacht ten aanzien van:

- het dwarsprofiel;
- de sedimenttransportcapaciteit;
- de meanderpotentie.

5.2.1 Aanpassingen in het dwarsprofiel

Het nieuwe dwarsprofiel van de Dinkel krijgt volgens het definitieve voorontwerp bij aanleg de vorm van een trapezium zonder kunstmatige bescherming van de bodem en oevers. Deze dwarsdoorsnede zal zich in twee opzichten gaan aanpassen. Ten eerste zal het profiel minder hoekig worden en in de bochten ook asymmetrisch van vorm, met in de meanderbochten een diepere buitenbocht en ondiepe binnenbocht zoals getoond in de dwarsdoorsneden in Figuur 3-5. Ten tweede zal het doorstroomoppervlak inclusief de breedte-diepteverhouding zich aanpassen op de afvoer die door de geul gaat. Het is te verwachten dat de uiteindelijke breedte-diepteverhouding kleiner wordt dan in het huidige genormaliseerde en verbrede profiel in het bovenstroomse deel van het projectgebied. Hierop is reeds geanticipeerd door de breedte-diepteverhouding in het definitieve schetsontwerp bij een diepte van 2 m in te stellen op 6. Deze waarde is gebaseerd op de beste inschatting van de te verwachten breedte-diepteverhouding die op dit moment gegeven kan worden voor de toekomstige situatie, namelijk op basis van de historische, 'natuurlijke' situatie rond 1970 zoals weergegeven in Figuur 4-12 met regionale waarden rond de 4 - 6. Op lokale schaal zal de breedte-diepteverhouding hier nog van af kunnen gaan wijken door onder andere lokale verschillen in de samenstelling van de ondergrond.

Op locaties waar het huidige profiel reeds aan het ontwerpprofiel voldoet en alleen de bodembescherming (Gobi-matten) of oeverbestorting (puin) verwijderd zullen worden, zal het dwarsprofiel zich op eenzelfde manier als hierboven beschreven aanpassen naar een evenwichtsprofiel.

Op locaties waar de geul op een nieuwe locatie uitgegraven wordt, kan relatief veel erosie van de oevers (in de buitenbocht) plaatsvinden direct na aanleg van de geul, mogelijk meer dan verwacht op basis van het uiteindelijke evenwichtsprofiel. Dit komt doordat vegetatie tijd nodig heeft om weer tot ontwikkeling te komen op de oevers: de toegevoegde oeverstabiliteit van de wortels ontbreekt in eerste instantie nog.

5.2.2 Veranderingen in sedimenttransportcapaciteit

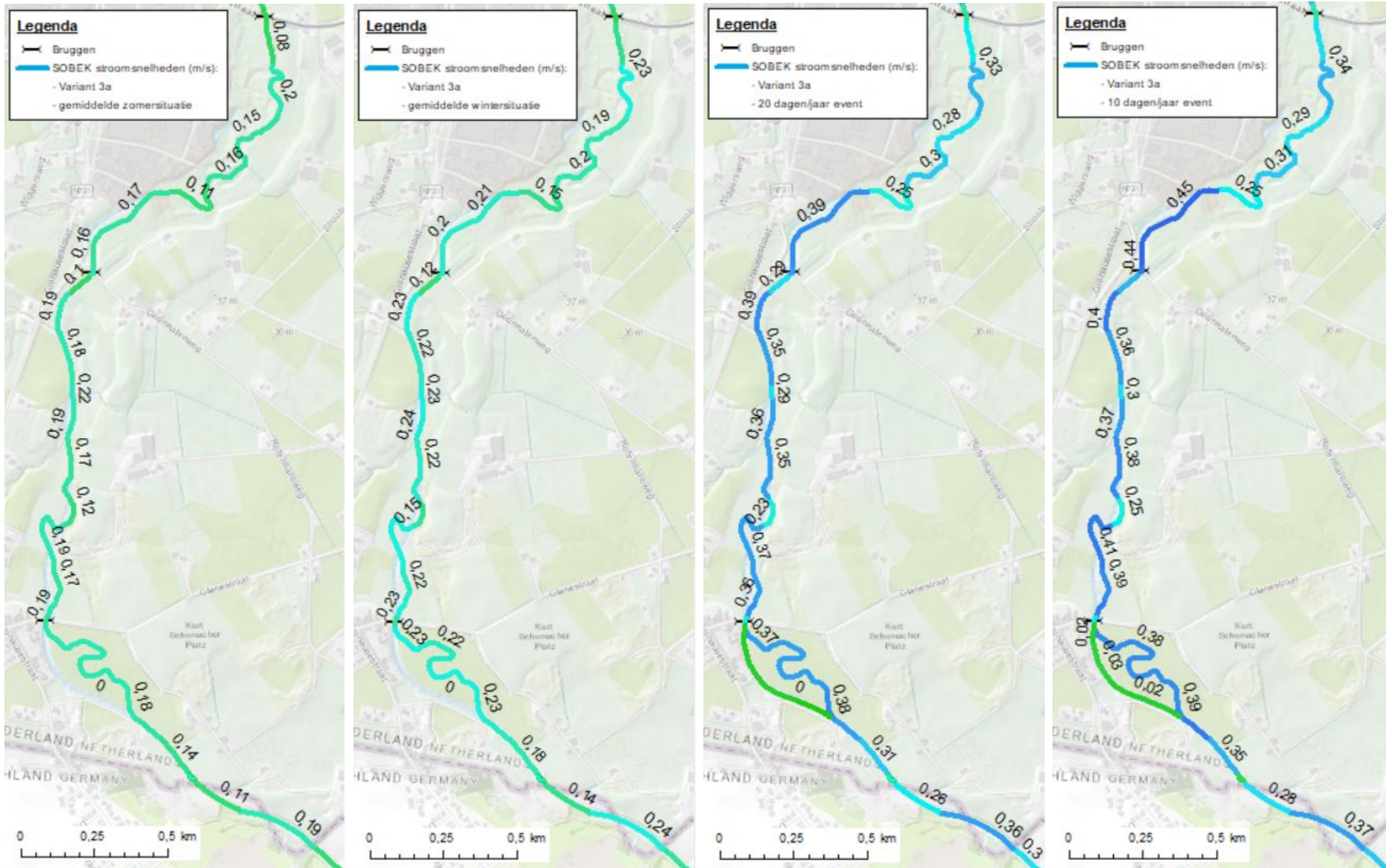
Figuur 5-3 toont de stroomsnelheden in de Dinkel direct na aanleg van de nieuwe geul, zoals berekend met SOBEK in een 1D situatie. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een eerder ontwerp van de toekomstige situatie waarin nog sterkere en langere meanders aangebracht

waren. Het is belangrijk om te realiseren dat de berekende stroomsnelheden daardoor - en door de eerder benoemde beperkingen van een 1D-model - niet volledig representatief zullen zijn voor het definitieve ontwerp. Deze waarden zijn echter voor nu het meest de beste benadering van de te verwachte stroomsnelheden.

Uit de vergelijking tussen Figuur 5-3 en Figuur 4-21 blijkt dat in de voorgestelde nieuwe situatie ter plaatse van de aangepaste delen in het algemeen de stroomsnelheden volgens de berekeningen enigszins zullen afnemen (maximale afname van ca. 15-20 cm/s), waarbij de berekende afname in de omgeving van de landsgrens het meest opvallend is. Op enkele plekken zullen de – over het dwarsprofiel gemiddelde – stroomsnelheden volgens de berekeningen licht toenemen (bijvoorbeeld een berekende toename van enkele cm/s ten zuiden van Losser). Tevens zullen de ruimtelijke verschillen in stroomsnelheden in de nieuwe situatie naar verwachting toenemen als gevolg van de meer bochtige loop van de Dinkel Zuid.

Veranderingen in stroomsnelheden zullen leiden tot veranderingen van het gedrag van het sediment (erosie, transport of depositie; zie Figuur 3-2) en de sedimenttransportcapaciteit. Door de gemodelleerde algemene afname van de gemiddelde stroomsnelheid zal ook naar verwachting de sedimenttransportcapaciteit afnemen. Een kwantificering hiervan is lastig te geven, vanwege de onzekerheden in de stromingsvariabelen (stroomsnelheid, waterdiepte) en de hydraulische ruwheid. Merk op dat een verandering van de transportcapaciteit niet noodzakelijkerwijze impliceert dat de tendens tot laterale migratie (bochtverlegging) en/of de potentie tot oeverwalvorming verandert.

In tegenstelling tot de huidige situatie zal in de toekomstige situatie de bodem van de Dinkel Zuid niet meer vastgelegd zijn, waardoor niet alleen sedimentatie maar ook erosie plaats kan vinden. Hierdoor kan de feedback tussen bodemniveau en waterstroming middels sedimentatie en erosie resulteren in het vereffenen van de gradiënten in de stroomsnelheden en sedimenttransport in de langsrichting van de Dinkel. De berekende 1D SOBEK-stroomsnelheden representeren de stroomsnelheden direct na aanleg van de nieuwe situatie. Vanwege de morfologische feedback is te verwachten dat deze stroomsnelheden en daarmee de sedimenttransportsnelheid en -capaciteit over de tijd heen veranderen. Een rekenmodel dat deze morfologische feedback meeneemt is nodig om in te schatten wat de stroomsnelheden en sedimenttransportsnelheden/-capaciteit op langere termijn zullen zijn.



Figuur 5-3 Stroomsnelheden in de Dinkel in het projectgebied voor de oude ontwerpsituatie (variant 3a) berekend met een 1D SOBEK-model voor 4 situaties (vlnr): de gemiddelde zomersituatie, de gemiddelde wintersituatie, een afvoerevent dat 20 dagen per jaar voorkomt en een afvoerevent dat 10 dagen per jaar voorkomt. In het definitief ontwerp heeft de geul minder sterke en lange meanders. Hiervoor zijn echter (nog) geen stroomsnelheden berekend.

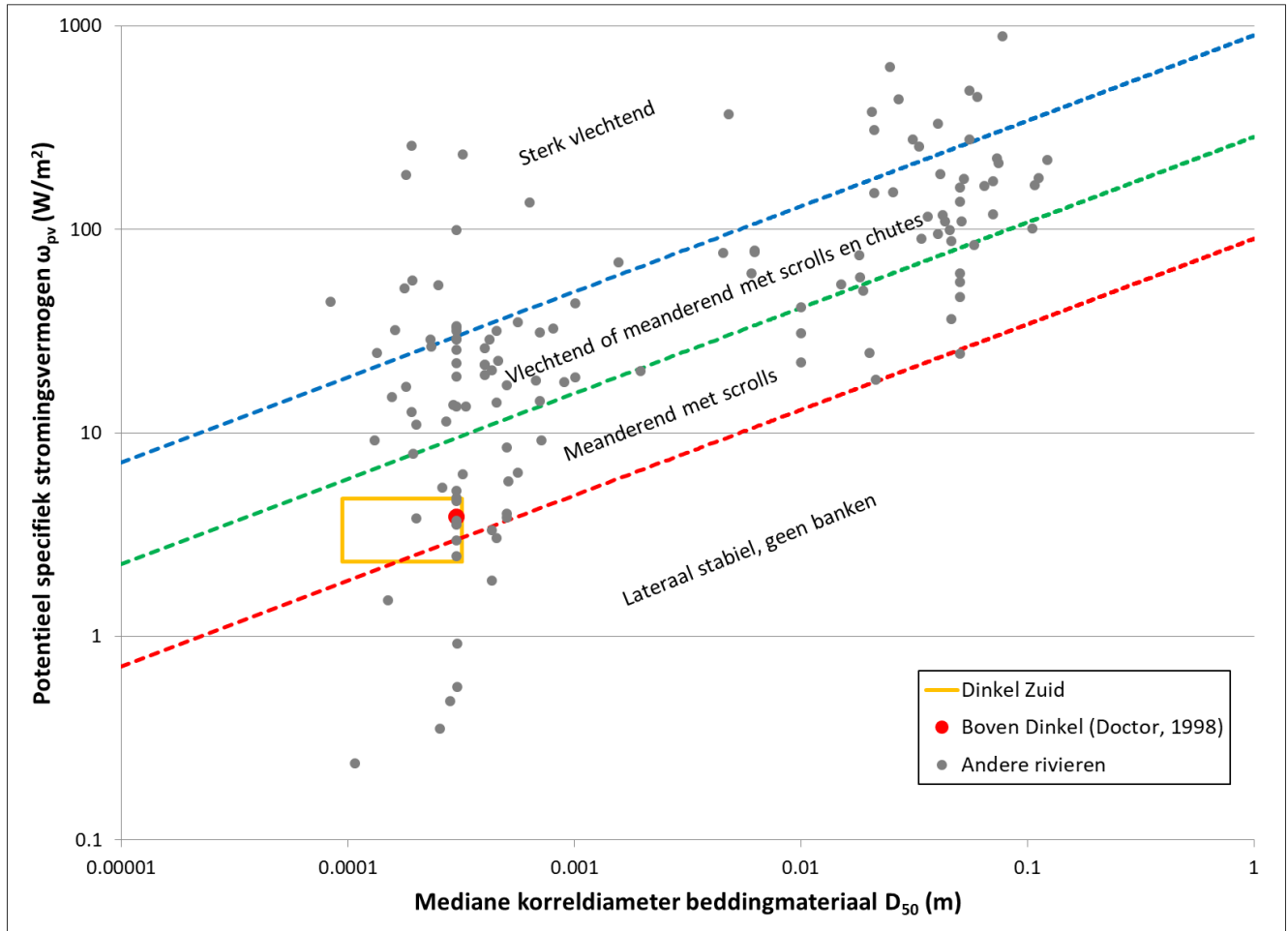
5.2.3 Meanderpotentie

Aan het eind van de morfologische aanpassingstijd van enkele jaren zal de Dinkel een dynamisch evenwicht bereiken mits er geen nieuwe (externe) veranderingen plaatsvinden. Op deze lange termijn vinden de laatste geleidelijke aanpassingen aan de verandering van de loop van de geul plaats en is de dynamiek van de geul 'natuurlijk'. Processen die hierbij horen zijn geleidelijke vorming van natuurlijke oevers tijdens overstromingen en laterale migratie van meanders.

Stabiliteitsdiagram

Om een eerste inschatting te krijgen van de potentie van de Dinkel Zuid tot meanderen, is de Dinkel Zuid in het geulpatroonstabiliteitsdiagram, zoals beschreven in §3.2.2, geplot in Figuur 5-4. De gele rechthoek in Figuur 5-4 geeft de variatie in de procesvariabelen weer die gebruikt zijn om de Dinkel in het figuur te plotten. De bankvullende afvoer (Q_{bf}) voor de evenwichtssituatie van de Dinkel Zuid is nog niet bekend, aangezien deze met de uiteindelijke afmetingen van het dwarsprofiel samenhangt. De historische geulvullende afvoer zou als representatief beschouwd kunnen worden, maar deze is ook niet bekend. Daarom is op basis van de huidige afvoerstatistieken en de bekende veranderingen in het dwarsprofiel een range gehanteerd voor de Q_{bf} van 5 m³/s tot 20 m³/s. Merk op dat hierbij is aangenomen dat de huidige afvoer-karakteristieken representatief zijn voor de toekomst: als de afvoer significant verandert in de toekomst, zal de Dinkel opnieuw in het diagram geplot moeten worden. De breedte van de referentiegeul is op basis van de bovenstaande Q_{bf} geschat op respectievelijk 11 m en 21 m. Voor het verhang is het dalverhang dat bepaald was op basis van het AHN2 gebruikt (0.0005 m/m). Op de horizontale as staat de korrelgrootte, waarvoor de gemeten range in het benedenstroomse deel van het project is gebruikt: 94 - 316 μ m. Deze range is gebaseerd op de huidige bedding, maar is ook representatief voor de bedding zoals in het voorontwerp geschetst is, aangezien de boringen in de ondergrond van de nieuwe geul korrelgroottes binnen dezelfde range vertonen.

Bijna de volledige range van waarden voor de Dinkel Zuid valt in het stabiliteitsdiagram in de zone met meanderende rivieren met scrolls. Dit suggereert dat de Dinkel Zuid op termijn voldoende energie zal hebben voor het optreden van laterale migratie van meanders. Dit is in overeenstemming met de geobserveerde dynamiek in de "natuurlijke" historische situatie. De historische migratiesnelheden geven een indicatie van wat mogelijk verwacht kan worden aan migratiesnelheden op de lange termijn, namelijk snelheden van orde grootte enkele decimeters per jaar. Volgens observaties zijn lokaal echter ook waarden van 5 - 10 m door één afvoerpiek geconstateerd in de Dinkel (Waterschap Vechtstromen, pers. comm.). De exacte context van deze waarde is niet bekend, waardoor het niet direct te zeggen is of deze waarden in de Dinkel Zuid ook realistisch zullen zijn.



Figuur 5-4 Geulpatroonstabiliteitsdiagram met de ligging van Dinkel Zuid. Op basis van figuur 9a in Kleinhans & Van den Berg (2010). Het gele vlak geeft aan waar het projectgebied uitkomt, rekening houdend met de onzekerheid in de geulvullende afvoer in de evenwichtssituatie en de variatie in de waargenomen D_{50} -waarden. De rode stip geeft de locatie aan uit Doctor (1998) op basis van een D_{50} van $300 \mu\text{m}$.

Belang van ondergrond en vegetatie

De daadwerkelijke potentie en snelheid van laterale migratie van de meanderbochten in de toekomstige situatie wordt ook beïnvloed door variabelen die niet direct in het stabiliteitsdiagram zijn opgenomen. Een zeer belangrijke factor is de ondergrond van de omgeving van de nieuwe geul, aangezien deze bepaalt in hoeverre de geul zich hier doorheen kan verplaatsen. De lokale variatie in de sedimentsamenstelling van de ondergrond van het perceel bij Glane waar in het ontwerp de nieuwe geul doorheen gaat lopen is relatief groot, met op verschillende locaties significante klei- en veenlagen (zie sectie 4.1.4). Lagen klei (en veen) van grofweg een halve meter of meer dik zijn naar verwachting dik genoeg om de migratiesnelheid te vertragen vergeleken met gebieden met alleen zand in de ondergrond. Hoe dikker en compacter de erosieresistente laag, hoe sterker dit effect zal zijn. Ook kan de oever een andere vorm aan nemen (steiler, mogelijk met ondergraving bij een afwisseling van zand en klei). De precieze ligging van de nieuwe geul ten opzichte van de getoonde klei- en veenlagen en massieve zandafzettingen zal dus bepalend zijn voor de dynamiek van de geul, en natuurlijke variatie in de dynamiek en vorm van de oevers is te verwachten.

Naast de ondergrond bepaalt ook de vegetatieontwikkeling de stabiliteit van de oevers en dus de meanderpotentie. Vegetatie kan zowel een stabiliserend effect hebben door doorworteling van de oevers waardoor erosie beperkt wordt, als een destabiliserend effect door het gewicht op eventueel deels ondergraven oevers. Tenslotte is ook de vorm van de bocht zelf bepalend voor hoe snel deze kan verplaatsen, zoals beschreven in sectie 3.5.

5.3 Locatie-specifieke verwachte morfologische ontwikkelingen

In deze sectie worden twee locaties uit het definitieve schetsontwerp uitgelicht.

5.3.1 Situatie bij Glane

In het huidige voorontwerp vinden de grootste veranderingen in de geulligging en dwarsdoorsnede plaats ter hoogte van Glane waar de geul wordt verlegd, de huidige geul dienst blijft doen als hoogwatergeul (/bypass) met een drempel aan de bovenstroomse zijde en een duiker parallel aan de Weertsbrug onder de Glanestraat door wordt aangelegd (Figuur 5-5). De afvoer die door de 'natuurlijke' geul stroomt is afhankelijk van hoe de drempel van de nevengeul ingesteld wordt, en in mindere mate hoe de duiker wordt ingesteld. Als juist bij hogere afvoeren (die de dynamiek van de geul bepalen) een substantieel deel van de afvoer via de nevengeul stroomt, zal dit de dynamiek van het 'natuurlijke' deel beperken en zou dit kunnen resulteren in een gereduceerde meandermigratie. Daarnaast is te verwachten dat het evenwichtsprofiel van de nieuwe geul hier kleinere dimensies heeft dan verder benedenstrooms waar al het water door de hoofdgeul gaat. Hier zal in het uiteindelijke ontwerp rekening mee gehouden moeten worden, om ongewenste aanzanding in de 'natuurlijke' geul te voorkomen.

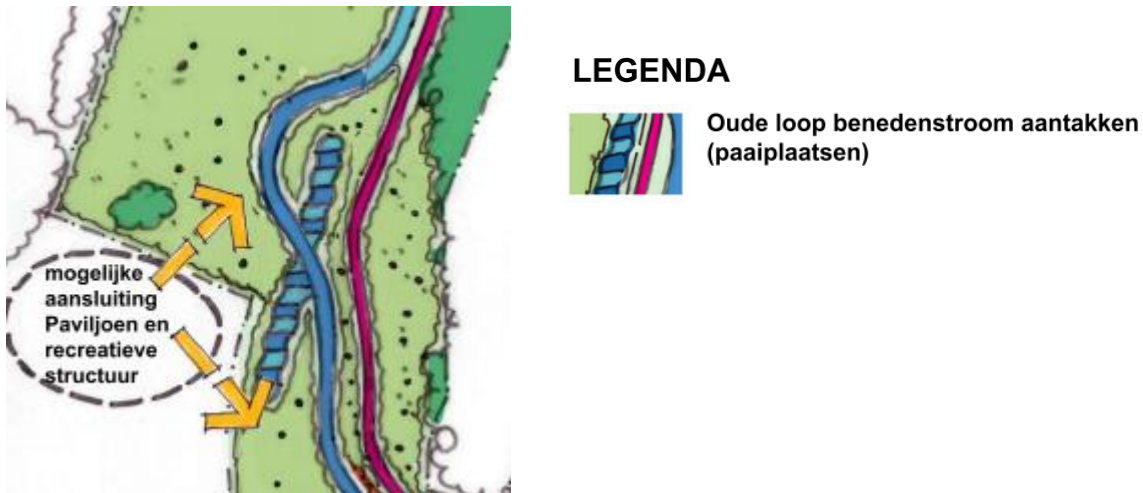
De nieuwe geul takt voor het passeren van de Weertsbrug weer aan op de oude geul. Glane ligt in de buitenbocht van zowel de oude geul als de scherpere nieuwe geul bij dit punt. In een natuurlijke situatie zou deze buitenbocht – zeker de scherpere bocht van de nieuwe geul - een plek zijn waar erosie optreedt. Aangezien dit op deze locatie ongewenst is, zal de oever hier (extra) beschermd en gemonitord moeten worden in de nieuwe situatie. In het voorontwerp is hier reeds rekening mee gehouden door de Gobi-matten/oeverbescherming hier niet te verwijderen.



Figuur 5-5 Uitsnede van het definitief schetsontwerp Dinkel Zuid blad 1 bij Glane (voor volledige figuur: zie Figuur 2-9).

5.3.2 Situatie bij paaiplaats benedenstrooms van Weertsbrug

Benedenstrooms van de Weertsbrug worden in het voorontwerp paaiplaatsen gecreëerd door oude delen van de geul aan te takken op de nieuwe geul (Figuur 5-6). Als de noordelijke paaiplaats in Figuur 5-6 in deze vorm zal worden aangelegd, vormt op deze locatie een potentiële meanderhalsafsnijding van de nieuw aangelegde geul, aangezien de paaiplaats in de buitenbocht van de nieuwe geul in het verlengde van de stroomrichting ligt. Indien dit niet gewenst is, zou de paaiplaats beter aangetakt kunnen worden op een binnenbocht, of in ieder geval niet in het verlengde van de stroomdraad in een buitenbocht.



Figuur 5-6 Uitsnede van het definitief schetsontwerp Dinkel Zuid blad 1 benedenstrooms van de Weertsbrug (volledig figuur: zie Figuur 2-9).

6 AANBEVELINGEN

Op basis van de bevindingen uit de voorliggende beknopte morfologische studie van Dinkel Zuid geven we de volgende specifieke aanbevelingen voor eventuele vervolgstudies. Hierbij maken we onderscheid tussen enerzijds aanbevelingen ten behoeve van het detailontwerp voor de toekomstige morfodynamische situatie van de Dinkel Zuid. Anderzijds geven we, hiermee samenhangend, aanbevelingen voor de inrichting van de monitoring van de morfodynamiek van de Dinkel Zuid.

6.1 Ontwerp

Voor een meer nauwkeurige duiding van de te verwachten morfodynamiek in de toekomstige situatie en ten behoeve van het detailontwerp zijn de onderstaande aanbevelingen geformuleerd.

1. Het vervaardigen van een eenvoudige kaart van de sedimentsamenstelling van de bodem op basis van de beschikbare boringen, voor het Elderink perceel (ten oosten van Glane) en de andere locaties waar de geul verlegd wordt waar de toekomstige loop van de Dinkel in kann worden ingetekend. Ter vergelijking en ter aanvulling kunnen de boringen uit het openbaar toegankelijke DINO-loket worden gebruikt. Deze kaart kan vervolgens worden gebruikt om op basis van de lokale variatie in de ondergrondsamenstelling de ligging van de nieuwe geul te optimaliseren, al dan niet ter bevordering van de lokale geuldynamiek.
2. Zoals aangegeven in sectie 5.3.1 is de hoogte van de drempel van de bypass ten oosten van Glane (en de duiker onder de Glanestraat door) bepalend voor zowel de morfodynamiek in de nieuwe geul en de buitenbocht bij Glane zelf als de hoogwaterveiligheid, aangezien de drempel bepaalt welke afvoer door de nieuwe geul gaat. Voor de bepaling van de hoogte van de te realiseren drempel, alsmede de hoogte van de duiker op het Elderink perceel, is het aan te bevelen om een 2D-model te gebruiken, ten behoeve van het definitieve ontwerp. Daarnaast is het aan te bevelen om de drempel zo aan te leggen dat deze flexibel is, in ieder geval de hoogte, zodat eventueel later de hoogte aangepast kan worden om de ontwikkelingen in de praktijk bij te sturen.
3. In het definitieve schetsontwerp wordt ten noorden van Glane (benedenstrooms van de Weertsbrug) een zogenaamde recreatieve structuur gerealiseerd. Ter plaatse wordt een benedenstroomse aantakking voorzien ten behoeve van de ontwikkeling van paaiplaatsen voor vissen. Op basis van deze ontwerptekening kan mogelijk een meanderhalsafsnoeiing tijdens hoogwatercondities ontstaan, zoals beschreven in sectie 5.3.2. In geval dit niet is gewenst (het bevordert de natuurlijke geuldynamiek, echter mogelijk induceert het daarmee een tegengesteld ecologisch effect), verdient het aanbeveling om het ontwerp op deze locatie te heroverwegen.
4. Gezien de relevantie voor de morfodynamiek van de Dinkel verdient het aanbeveling om de bestaande afvoerreeksen nader te analyseren. Het doel van een dergelijke analyse is tweevoudig: nagaan welke afvoerreeks meest plausibel is voor de historische en de huidige situatie en om na te gaan of in de metingen een meerjarige trend kan worden vastgesteld. Tevens kan de afvoerreeks worden vergeleken met neerslaggegevens om na te gaan of een correlatie kan worden vastgesteld die gebruikt kan worden om een inschatting te maken van verwachte toekomstige afvoerontwikkelingen.

6.2 Monitoring

Monitoring van de ontwikkelingen ten gevolge van het nieuwe ontwerp van de Dinkel Zuid is belangrijk omdat dit helpt om 1) vast te stellen in hoeverre het doel om meer morfodynamiek in de Dinkel Zuid te brengen behaald wordt, 2) af te wegen welke toekomstige ingrepen in het gebied nodig zijn en 3) beter begrip te krijgen van de (te verwachten) morfodynamiek van de Dinkel Zuid.

Hiervoor is het nodig om minimaal de volgende aspecten te monitoren:

- Bodemhoogte voor meerdere dwarsprofielen
Frequente monitoring van de bodemhoogte geeft inzicht in snelheden van morfologische veranderingen en daarmee in hoeverre de doelstellingen met betrekking tot het creëren van meer dynamiek worden gehaald. Het monitoren van meerdere dwarsprofielen geeft inzicht in de sedimentbalans binnen de geul in de lengterichting (samenhang tussen locaties met netto erosie en sedimentatie). Het wordt aangeraden om jaarlijks op enkele locaties een aantal dagen achter elkaar metingen te doen in een periode met wisselende afvoer om te bepalen hoe de natuurlijke dynamiek op korte tijdschaal zich verhoudt tot veranderingen over enkele jaren (vergelijkbaar met de exercitie in 1970 bij de Zoekerbrug).
- Stroomsnelheden (in combinatie met waterstanden)
Stroomsnelheidsmetingen op één of meerdere locaties tijdens maatgevende afvoeren en gemiddelde afvoercondities, bij voorkeur gekoppeld aan de *gelijktijdige* opname van dwarsprofielen, waterstanden en ruwheidsbepalingen (vegetatie eigenschappen en mogelijke bodemvormen) zijn zeer nuttig voor de validatie van de afvoermetingen en modelberekeningen. Dit draagt tevens bij om betere inschattingen te kunnen maken van de morfodynamiek met betrekking tot het sedimenttransport.
- Sedimenttransport
Uitvoering van sedimenttransportmetingen tijdens maatgevende afvoeren en gemiddelde afvoercondities helpt om een beter beeld te krijgen van de sedimentbalans (in kwantitatieve zin) en om te bepalen welke afvoer de morfodynamiek bepaalt (events of jaargemiddelde condities). Door metingen op de grens met Duitsland uit te voeren, kan de sedimentinput vanuit Duitsland worden vastgesteld.
- Baggerbezwaar
Systematische registratie van baggerbezwaar in verscheidene delen van de Dinkel (Zuid) en ter plaatse van de benedenstroomse zandvangen draagt bij aan het vaststellen van de sedimentbalans van de Dinkel;
- Laterale migratie en oeverwalvorming
Laterale migratie en oeverwalvorming (zandafzetting op de oevers) kan vastgesteld worden o.b.v. luchtfoto's. Indien geen gedetailleerde luchtfoto's aanwezig zijn kan hiervoor een drone worden ingezet. Deze gegevens dragen ook bij aan het bepalen of het nieuwe ontwerp voldoet aan de doelstellingen.

Hierbij is het van belang om zowel om de situatie na aanleg te monitoren (direct na aanleg en een aantal latere tijdstippen), als de 'nul-situatie' (de situatie voor aanleg). Dit is nodig om een vergelijking uit te voeren met de huidige situatie en daarmee vast te stellen wat het effect van het nieuwe ontwerp is.

Specifieke monitoringslocaties

Verder zijn er enkele locaties die extra monitoring vergen, waaronder:

- ter plaatse van de buitenbocht Weertsbrug (minimaal visuele inspectie);
- de omgeving van de grens met Duitsland op overgang van breed, vastgelegd profiel naar nieuwe profiel.

Aanleg digitale database morfologie Dinkel

Naast bovenstaande aanbevelingen ten aanzien van de monitoring is het aan te bevelen om de morfologische ontwikkelingen van de Dinkel op systematische wijze te registreren middels een digitale database van de morfodynamiek van de Dinkel Zuid. Als basis voor deze database kan zowel de bestaande historische informatie als actuele informatie worden opgenomen. Hiertoe dienen eerst alle beschikbare analoge dwarsprofielen te worden gedigitaliseerd, inclusief de relevante metadata (bijvoorbeeld tijd van inwinning, resolutie van de meting en type meting en methodiek van verwerking van de ruwe data). Voor de Boven Dinkel is sinds 1970 met een interval van ongeveer 5 jaar reeds een reeks dwarsprofielen ingemeten. Dit betekent dat in principe 15 tijdreeksen beschikbaar zijn voor de periode tussen 1970 en heden.

Daarnaast kunnen de legger, alsmede huidige bathymetrische metingen en topografische metingen aan de database van de Dinkel worden toegevoegd. Vervolgens dient de database up-to-date te worden gehouden door toevoeging van toekomstige inmetingen

Een dergelijke database is belangrijk, omdat dit het waterschap de tools geeft om op basis van feitelijke informatie meetbare criteria op te stellen om na te gaan in hoeverre de gestelde doelstellingen met betrekking tot de morfodynamiek worden behaald. Tevens maakt een database het mogelijk om gericht eventuele mitigerende maatregelen te nemen ter bevordering van de gestelde doelen. Zo biedt de database bijvoorbeeld de mogelijkheid om te onderzoeken of er secties in de Dinkel zijn waar de bedding structureel onderhevig is aan erosie en draagt het, in combinatie met de inwinning van data uit de monitoring, bij aan het opstellen van de grootschalige zandbalans (waar het zand vrijkomt, waar het benedenstrooms en op de oevers accumuleert en of het uit Duitsland wordt aangevoerd; zie §4.3.4).

Partners voor monitoring morfodynamische ontwikkelingen Dinkel

Wat betreft het inwinnen van de data is het aan te raden om samenwerking op te zoeken met partners, enerzijds om de uitvoering van metingen te faciliteren en anderzijds ten behoeve van de inzet en uitwisseling van expertise. Dit betreft zowel interne als externe deskundigen.

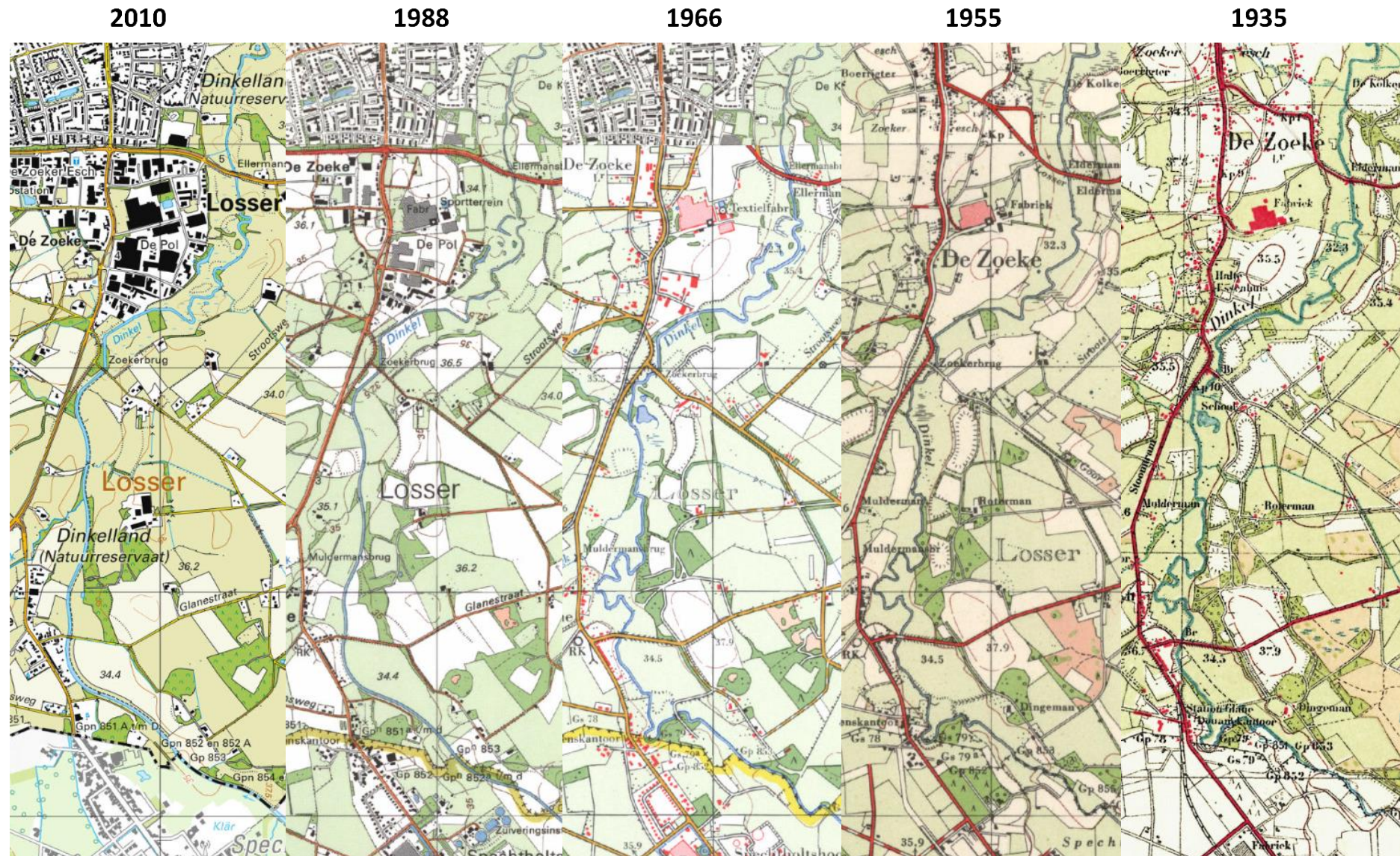
Hierbij kan worden gedacht aan het expliciet betrekken van medewerkers van beheer en onderhoud van het waterschap in de monitoring, aangezien zij een waardevolle toevoeging bieden vanwege hun praktijkkennis en de tijd die ze in het veld doorbrengen. Daarnaast kan worden gedacht aan samenwerking met universiteiten; als de monitoring deels kan worden opgenomen in het curriculum van een (aardwetenschappelijke) studie, kan de monitoring op kostenefficiënte wijze in stand worden gehouden, hetgeen nodig is voor het kunnen vaststellen van het behalen van de gestelde doelen voor de Dinkel. Deze monitoring is interessant voor universiteiten, omdat op deze wijze meer kennis kan worden verkregen van de morfodynamiek van de Dinkel, als voorbeeld van een natuurlijke dynamische rivier.

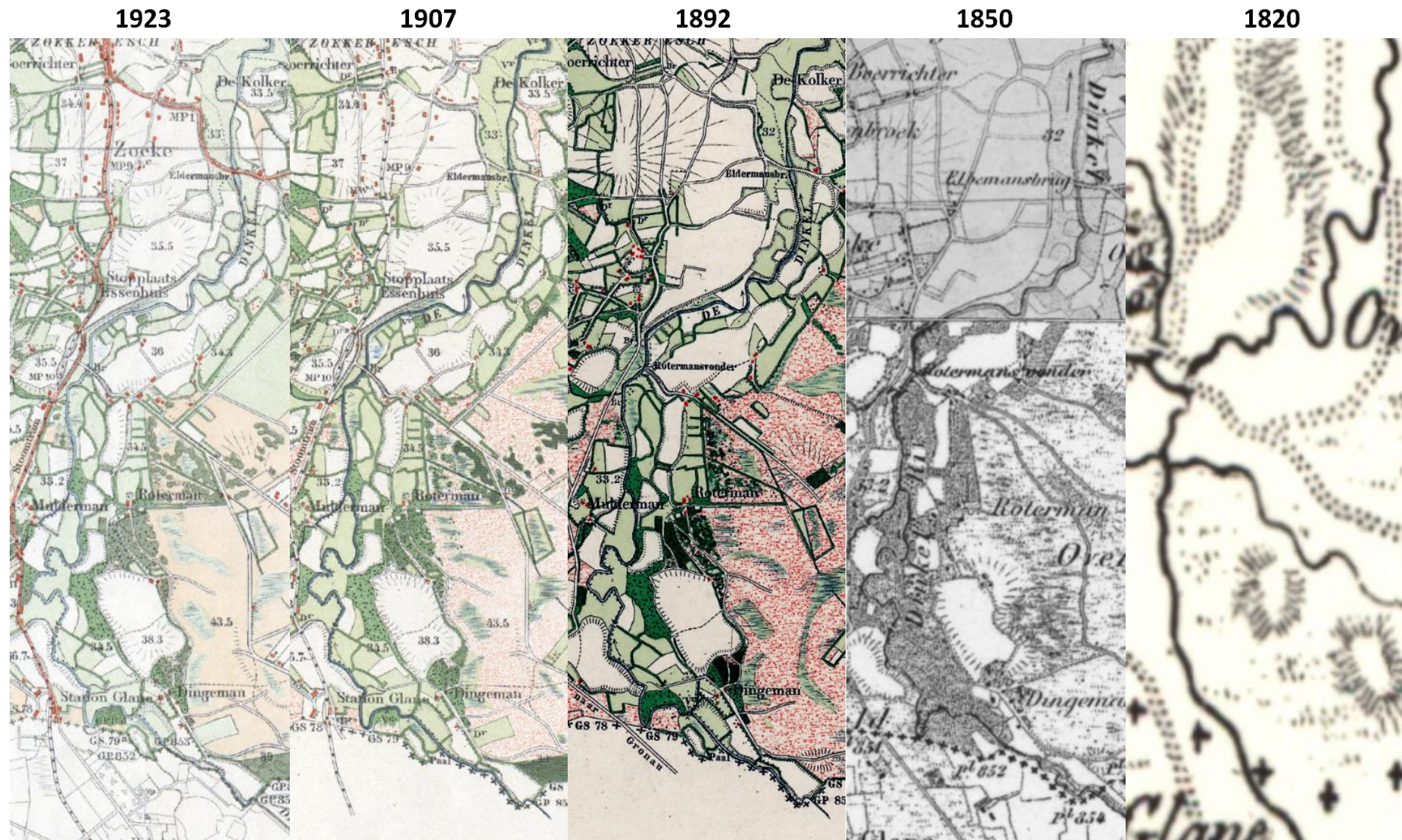
LITERATUURLIJST

- Berendsen, H. J. A. (2008). *Landschappelijk Nederland* (Vol. 3). Uitgeverij Van Gorcum.
- Berendsen, H. J. A. (2011). *De vorming van het land* (Vol. 1). Uitgeverij Van Gorcum.
- Brouwer, H. (2017). *Swb1602 Verkennend onderzoek Dinkel aanvulling baggerplan 2017 Waterschap Vechtstromen*. Aqualysis waterlaboratorium.
- Compas, B., Gerritsen, T., Van der Steeg, P. (2016). *Een dynamisch Dinkedal: Een afstudeeronderzoek naar hoe puinverwijdering uit de oevers van de Dinkel & Ruhembergerbeek bij kan dragen aan de realisatie van de Natura 2000-doelstellingen*. Afstudeeronderzoeksrapport Hogeschool Hall van Larenstein in opdracht van Waterschap Vechtstromen.
- Derks, H. (1973). *Stability of Gobi-mat and its permeability to sand in turbulent flow*. r0788.
- Doctor, K. (1998). *Een profiel van de Dinkel: een onderzoek naar de morfodynamiek van de Boven-Dinkel aan de hand van dwarsprofielen sinds 1975*. Stageverslag in opdracht van Waterschap Regge en Dinkel.
- Eekhout, J. P. C., & Hoitink, A. J. F. (2014). *Morfodynamiek van Nederlandse laaglandbeken* (No. 2014-15). Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Stowa).
- Greenhouse Advies (2019). *Verkennd bodemonderzoek diverse percelen nabij de Glanestraat te Losser*. Rapport met kenmerk 190327_100605.
- Hommel, P. W. F. M., Dirkx, G. H. P., & Prins, A. H. (1994). *Natuurbehoud en natuurontwikkeling langs Bloemenbeek en Boven-Dinkel: gevolgen van ingrepen in de waterhuishouding van het Dinkelsysteem voor enkele karakteristieke vegetatietypen* (No. 304). DLO-Staring Centrum.
- Kleinhans, M.G. and J.H. van den Berg (2010). *River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method*. Earth Surf. Process. Landforms, 287-326, doi:10.1002/esp.2090.
- Makaske, B., & Maas, G. J. (2015). *Handboek geomorfologisch beekherstel: leidraad voor een stapsgewijze en integrale ontwerpaanpak* (No. 2015-02). Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Stowa).
- Sweco (2017). *Resultaten bodemonderzoek Tussen de Bruggen, Zoekerbrug- Duitse grens en referentielocaties: Bodemonderzoek en vegetatiekartering ten behoeve van vaststellen potenties stroomdalgraslanden* (ref. 355487). Conceptrapport.
- Waterschap Vechtstromen (2017). *Natuurlijke afzettingen langs de Dinkel, analyse proces van vorming oeverwallen en rivierduinen*.
- Waterschap Vechtstromen (2018). *Analyse 'natuurlijke' vormgeving van Dinkel-dwarsprofielen ter hoogte van Glane-Losser (N2000/KRW)*. Intern document.
- Waterschap Vechtstromen (2019), presentatie i.h.k.v. overleg met Wasser Bodenverband Unteres Dinkel op 20-02-2019 ("20190220 - presentatie startoverleg.pptx").
- Wolfert, H. P. (2001). *Geomorphological change and river rehabilitation: case studies on lowland fluvial systems in the Netherlands*. PhD Thesis.
- Zonderwijk, M. (1989). *Schouwprogramma Puinstort Dinkel. Almelo*. Waterschap Regge en Dinkel.

BIJLAGE 1 TOPOGRAFISCHE KAARTEN DINKEL ZUID

Bron: Topotijdreis.nl. Elk vermeld jaartal is het eerste jaartal waarvoor de kaart weergegeven wordt.





COLOFON

MORFODYNAMIEK DINKEL ZUID

KLANT

Waterschap Vechtstromen

AUTEUR

Laura Coumou
Nathanaël Geleynse

PROJECTNUMMER

C03141.000173

ONZE REFERENTIE

DATUM

11 juli 2019

STATUS

Definitief

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com