

## Bodemschuifspanning Gemeenschappelijke Maas

Duiding op basis van modelberekeningen en veldmetingen



# **Bodemschuifspanning Gemeenschappelijke Maas**

Duiding op basis van modelberekeningen en veldmetingen

## **Auteur(s)**

Eveline van der Deijl

Willem Ottevanger

## Bodemschuifspanning Gemeenschappelijke Maas

Duiding op basis van modelberekeningen en veldmetingen

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Zuid-Nederland District Limburg, hoofdkantoor Maastricht
<b>Contactpersoon</b>	Mr dr. R. Frings
<b>Referenties</b>	31187900 / FrisodeKoekkoek
<b>Trefwoorden</b>	korrelgrootteverdeling, sedimentbemonstering, metingen, modellen, kritische bodemschuifspanning, bodemverandering, gemeenschappelijke Maas, D-HYDRO, hoogwater juli 2021

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	19-12-2023
<b>Projectnummer</b>	11209470-002
<b>Document ID</b>	11209470-002-ZWS-0004
<b>Pagina's</b>	23
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Eveline van der Deijl	

# Samenvatting

In juli 2021 is er uitzonderlijk hoogwater geweest in de Maas, waardoor veel schade is ontstaan. Naast de materiële schade is er ook veel erosie en sedimentatie geweest. Lokaal zijn erosiekuilen ontstaan tot meer dan 10 m diep. Langs veel trajecten zijn oevers geërodeerd, en er zijn grote zandafzettingen geweest. De verplaatste volumes worden nog in kaart gebracht maar deze lijken een veelvoud van de veel geciteerde jaarvrachten te zijn. Dit lijkt erop te wijzen dat er een kennisleemte is met betrekking tot het sedimenttransport langs de Maas.

Rijkswaterstaat heeft als onderdeel van het Interreg-project EMFloodResilience Deltares gevraagd de (kritische) bodemschuifspanning in de Gemeenschappelijke Maas te inventariseren op basis van reeds beschikbare modelresultaten, eerdere analyses, en de recente veldmetingen van bodemsamenstelling uit 2023.

Het voorliggende rapport beschrijft de bodemschuifspanningen in de Gemeenschappelijke Maas afkomstig uit stationaire D-HYDRO-berekeningen met Borgharen-afvoeren 250 m<sup>3</sup>/s, 750 m<sup>3</sup>/s, 1300 m<sup>3</sup>/s, 2100 m<sup>3</sup>/s, 3200 m<sup>3</sup>/s. Daarnaast is ook de maximale bodemschuifspanning uit een berekening van het hoogwater in juli 2021 opgenomen in de analyse.

Metingen van de bodemsamenstelling zijn langs vijf zones (links van, rondom en rechts van de rivieras, winterbed links en rechts) geïnterpoleerd langs trajecten van 10 km, om zodoende de geometrisch gemiddelde korreldiameter af te leiden. Deze korreldiameter is vervolgens gebruikt om de kritische bodemschuifspanning af te leiden.

Bij vergelijking van de bodemschuifspanning in het zomerbed per afvoerniveau met de kritische bodemschuifspanning is te zien dat bij een afvoer tussen 250 m<sup>3</sup>/s en 750 m<sup>3</sup>/s een deel van het bodemmateriaal mobiel wordt. Enkele locaties (meestal rondom nevengeulen, plassen zoals bij Geulle aan de Maas, Meers, Koeweide) vertonen geen maximale bodemschuifspanning die boven de kritische bodemschuifspanning uit komt. Dit wordt veroorzaakt door de stroming die bij hogere afvoeren meer via het winterbed stroomt. Lokale verschillen tussen de bodemschuifspanning links en rechts van de rivieras treden ook op.

Daarnaast is er ook voor het traject waarin de korrelsamenstelling is gemeten een overzicht gemaakt van de bodemveranderingen naar aanleiding van het hoogwater 2021 en is een vergelijking met de langsverandering in bodemschuifspanningen gemaakt.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	Doelstelling	7
1.3	Organisatie	7
<b>2</b>	<b>Materiaal en methode</b>	<b>8</b>
2.1	Veldmetingen	8
2.1.1	Geometrische gemiddelde sedimentdiameter ( $D_g$ )	8
2.1.2	Kritische schuifspanning	10
2.2	Modelberekeningen	10
2.2.1	Modelvarianten	10
2.2.2	Bodemschuifspanning	11
2.3	Bodemligging voor en na hoogwater 2021	11
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>13</b>
3.1	Bodemschuifspanning	13
3.1.1	Stationaire sommen	13
3.1.2	Hoogwater juli 2021	14
3.1.3	Verschil links en rechts van de rivieras	14
3.2	Mobiliteit sediment	15
3.3	Morfologische veranderingen	16
<b>4</b>	<b>Conclusies</b>	<b>18</b>
4.1	Bodemschuifspanningen	18
4.2	Kritische bodemschuifspanningen	18
4.3	Bodemveranderingen	18
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>19</b>
<b>A</b>	<b>Kaarten bodemschuifspanning</b>	<b>20</b>
A.1	Bodemschuifspanning S_250 (geometrie voorjaar 2021)	20
A.2	Bodemschuifspanning S_750 (geometrie voorjaar 2021)	20
A.3	Bodemschuifspanning S1300 (geometrie voorjaar 2021)	20
A.4	Bodemschuifspanning S2100 (geometrie voorjaar 2021)	20
A.5	Bodemschuifspanning S3200 (geometrie voorjaar 2021)	20
A.6	Bodemschuifspanning HW2021 (geometrie voorjaar 2021)	20
A.7	Kritische bodemschuifspanning (op basis van najaar 2023 kor)	21

A.8	Overschrijding kritische bodemschuifspanning_S_250.pdf	21
A.9	Overschrijding kritische bodemschuifspanning_S_750.pdf	21
A.10	Overschrijding kritische bodemschuifspanning_S1300.pdf	21
A.11	Overschrijding kritische bodemschuifspanning_S2100.pdf	21
A.12	Overschrijding kritische bodemschuifspanning_S3200.pdf	21
A.13	Overschrijding kritische bodemschuifspanning HW2021	21
<b>B</b>	<b>Bodemontwikkeling hoogwater 2021 (geometrie najaar minus geometrie voorjaar 2021)</b>	<b>22</b>

# 1 Introductie

## 1.1 Achtergrond

In juli 2021 ([ENW, 2021](#)) is er uitzonderlijk hoogwater geweest in de Maas, waardoor veel schade is ontstaan. Naast de materiële schade heeft er ook veel erosie en sedimentatie plaats gevonden. Lokaal zijn erosiekuilen ontstaan tot meer dan 10 m diep. Langs veel trajecten zijn oevers geërodeerd, en er zijn grote zandafzettingen geweest. De verplaatste volumes worden nog in kaart gebracht maar deze lijken een veelvoud van de veel geciteerde jaarvrachten te zijn. Dit lijkt erop te wijzen dat er een kennisleemte is met betrekking tot het sedimenttransport langs de Maas.

Rijkswaterstaat heeft als onderdeel van het Interreg-project EMFloodResilience, Deltares gevraagd de (kritische) bodemschuifspanning in de Gemeenschappelijke Maas te inventariseren op basis van reeds beschikbare modelresultaten, eerdere analyses, en de recente veldmetingen van bodemsamenstelling uit 2023.

## 1.2 Doelstelling

De doelstelling van de werkzaamheden is een duiding van het sedimenttransport in de Maas tussen Eijsden en Keizersveer met daarbij speciale aandacht voor de Gemeenschappelijke Maas. Dit is opgesplitst in vier verschillende onderdelen:

- A Compilatie en evaluatie van sedimenttransportschattingen gebaseerd op veldmetingen;
- B Compilatie en evaluatie van sedimenttransportschattingen gebaseerd op modelberekeningen;
- C Inschatting van (actuele) sedimentaanvoer en -afvoer op de Gemeenschappelijke Maas (op basis van A en B);
- D Berekening van (kritische) bodemschuifspanning voor de Gemeenschappelijke Maas.

Het huidige rapport beschrijft onderdeel D.

## 1.3 Organisatie

De onderstaande tabel geeft de namen, de rol en de relevante ervaring weer van het projectteam.

Tabel 1.1 Projectteam

Persoon	Rol	Ervaring
Víctor Chavarrías	Adviseur	Morfologisch modeleren Maas
Eveline van der Deijl	Adviseur	Maas schematisaties en Basis Rivier Bodemligging, GIS
Erik Mosselman	Reviewer	Rivierkundig expert
Willem Ottevanger	Projectleider	Morfologisch modeleren Maas

Van de zijde van de opdrachtgever is Roy Frings (Rijkswaterstaat Zuid-Nederland) de contactpersoon. De uitkomsten worden verder voorgelegd aan Rijkswaterstaat, De Vlaamse Waterweg en Wageningen University & Research (Hermjan Barneveld).



## 2 Materiaal en methode

### 2.1 Veldmetingen

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft BK Ingenieurs het project Sedimentbemonstering Zuidelijke Maasdelen uitgevoerd. Op het traject tussen Borgharen en Maaseik zijn van eind juli t/m half oktober 2023 met behulp van een amfibische kraan met bak voorzien van GPS op 162 locaties bemonsteringen van de toplaag (0-0,12 m onder bodemoppervlak) en de onderlaag (0,12 -0,50 m onder bodemoppervlak) uitgevoerd. Op de zeeflocatie zijn alle boxen ontdaan van overtollig water, gewogen en volledig gezeefd in een zeefinstallatie. De fracties waarop is gezeefd zijn 256, 181, 128, 90 en 64 mm. Van de fractie < 64 mm is een representatief deelmonster van 10 liter samengesteld. In het laboratorium is het droge-stofgehalte bepaald en gezeefd van 0,063 t/m 45 mm. Hierna heeft een omrekening plaatsgevonden naar het totale monster.

Voor elk van de bemonsteringen is naast de coördinaten ook de dichtstbijzijnde rivierkilometer en de afstand tot de rivieras gedocumenteerd, waarbij positieve waarden een positie rechts van de rivieras in stroomafwaartse richting aanduiden. Deze gegevens zijn aangeleverd als conceptresultaten versie 2.1 d.d. 15-11-2023.

Voor deze analyse zijn met behulp van de positie ten opzichte van de rivieras en de begrenzing van het zomerbed uit Baseline alle bemonsteringen ingedeeld in de volgende 5 zones:

- Zomerbed links van de rivieras
- Zomerbed rondom de rivieras ( $\leq 10$ m rondom de rivieras)
- Zomerbed rechts van de rivieras
- Winterbed links van de rivieras
- Winterbed rechts van de rivieras

Voor elke zone is vervolgens voor zowel de bemonsteringen uit de toplaag als uit de onderlaag de geometrisch gemiddelde sedimentdiameter ( $D_g$ ) en de kritische schuifspanning bepaald.

#### 2.1.1 Geometrische gemiddelde sedimentdiameter ( $D_g$ )

Voor zowel de toplaag als onderlaag van elke zone is voor de massafractie van elke individuele zeef ( $f_i$  [%]) het lopend gemiddelde over 10 km bepaald per zone. Vervolgens is met deze gemiddelde massafracties voor elke meting de geometrisch gemiddelde sedimentdiameter berekend met vergelijking 1:

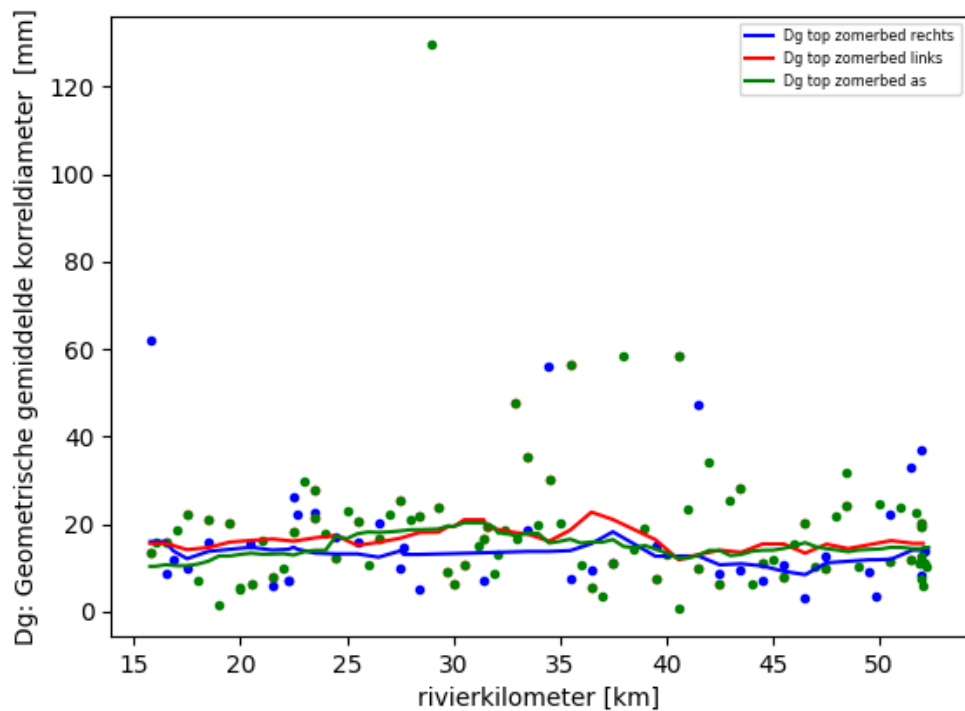
$$D_g = e^{[0.01 \sum (f_i \ln(m_i))]} \quad 1$$

$D_g$  = geometrisch gemiddelde sedimentdiameter [mm]  
 $m_i$  = gemiddelde diameter voor zeefklasse  $i$  [mm]  
 $f_i$  = massa fractie van zeefklasse  $i$  [%]



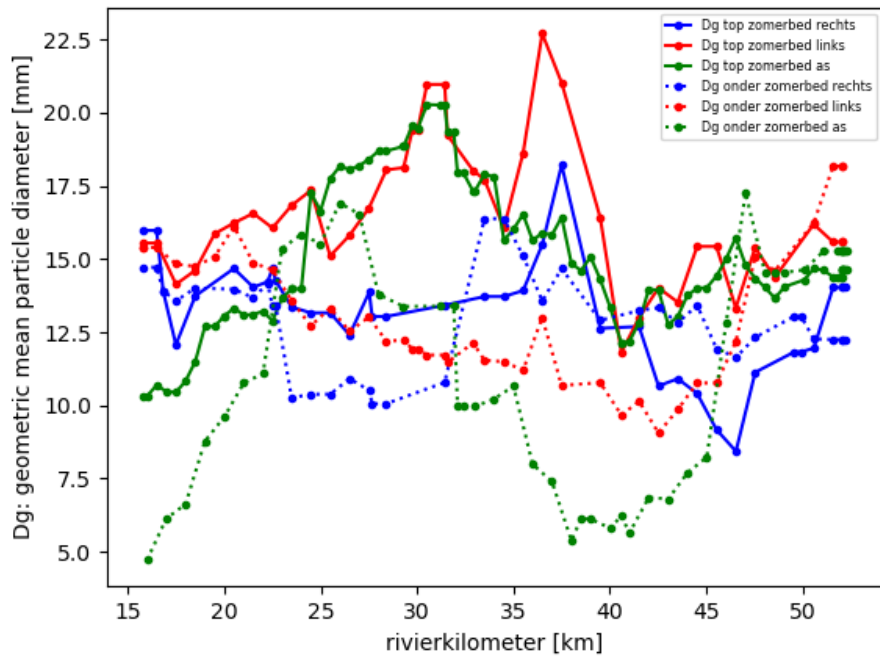
Eerst is de bovengenoemde ruimte-middeling van de korrel fracties van de meetpunten uitgevoerd. Vervolgens zijn de over 10 km gemiddelde geometrisch gemiddelde korreldiameters lineair langs de zones geïnterpoleerd om een ruimtelijk beeld van de geometrisch gemiddelde korreldiameters te genereren. Zowel de geometrisch gemiddelde korreldiameter van de individuele metingen, als de over 10 km gemiddelde en geometrisch gemiddelde korreldiameters zijn voor de bovenlaag van de drie zones van het zomerbed zichtbaar in Figuur 2.1.

Voor de winterbed zones is besloten om vanwege de lage dekking van de metingen de extrapolatie van de geometrisch gemiddelde korreldiameters alleen uit te voeren in een zone van 250 m rondom de meetlocaties.



Figuur 2.1 Geometrisch gemiddelde korreldiameter uit individuele metingen (punten) en over 10 km gemiddeld en geïnterpoleerd (lijnen)

Tijdens de metingen zijn zowel de korrelverdelingen van de top (bovenste 10 cm) en onderlaag gekarakteriseerd. Voor de huidige analyse is alleen de bovenlaag gebruikt, maar in figuur 2.2 is te zien hoe de geometrisch gemiddelde korreldiameter van de onderlaag ook varieert langs de Gemeenschappelijke Maas. Rondom de rivieras is een fijnere onderlaag te vinden, behalve tussen rkm 22 en 25 (net bovenstrooms van Geulle aan de Maas) en benedenstrooms van rkm 45 (Koeweide). Benedenstrooms van rkm 41 (Obbicht) is de onderlaag grover dan de toplaag. Voor de zone links van de rivieras is een fijnere onderlaag te vinden tussen rkm 20 en rkm 47. Rechts van de rivieras is een fijnere onderlaag te vinden tussen rkm 23 en rkm 32.



Figuur 2.2 De over 10 km gemiddelde en geïnterpoleerd Geometrisch gemiddelde korreldiameter voor de drie zomerbed zones langs de Gemeenschappelijke Maas

### 2.1.2 Kritische schuifspanning

De kritische schuifspanning wordt bepaald op basis van de sedimentdiameter ( $D$ ) en de Shields-formule (vergelijking 2). Voor de bepaling van  $\theta_{cr}$  is gebruik gemaakt van de benadering voor het Shields-diagram van [van Rijn \(1984\)](#).

$$\tau_* = \theta_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{(\rho_s - \rho)gD} \quad 2$$

- $\tau_{cr}$  = kritische bodemschuifspanning [Pa,  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$ ]
- $\rho_s$  = massadichtheid van sediment [ $\text{kg m}^{-3}$ ]
- $\rho$  = massadichtheid van water [ $\text{kg m}^{-3}$ ]
- $g$  = zwaartekrachtversnelling [ $\text{m s}^{-2}$ ]
- $D$  = sedimentdiameter [m]

De ruimtelijk geïnterpoleerde geometrisch gemiddelde korreldiameter is vervolgens vertaald naar een ruimtelijk beeld van de kritische schuifspanning langs de Gemeenschappelijke Maas. De kaarten zijn terug te vinden in appendix A.7.

## 2.2 Modelberekeningen

### 2.2.1 Modelvarianten

Het 2D-model dflowfm2d-maas-j21\_6-v1a is gebruikt voor de bepaling van de schuifspanning in de Maas. Dit model is specifiek afgeleid ter validatie van het hoogwater van juli 2021. De modelopzet en eigenschappen zijn beschreven in [van der Deijl \(2023b\)](#).

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de volgende beschikbare randvoorwaarden (zie [Rijkswaterstaat en Deltares, 2023](#)):

- Historische simulatie van het hoogwater van juli 2021
  - hist\_20210701\_20210801: De simulatie omvat de periode 1 juli 2021 t/m 1 augustus 2021 ([van der Deijl, 2023b](#)).
- Stationaire simulaties:
  - S\_250 (stationaire afvoer van 250 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen dorp)
  - S\_750 (stationaire afvoer van 750 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen dorp)
  - S1400 (stationaire afvoer van 1400 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen dorp)
  - S2100 (stationaire afvoer van 2100 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen dorp)
  - S3200 (stationaire afvoer van 3200 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen dorp)

De randvoorwaarde voor de historische simulatie van het hoogwater van juli 2021 is afkomstig uit de randvoorwaardenset hist/hist\_20210701\_20210801. De stationaire simulatie S\_750 is een stationaire lage afvoer uit de randvoorwaardenset van de betrekkinglijnen (bl/bl). De overige stationaire simulaties komen uit de test/t1/ randvoorwaardenset waarbij gebruik is gemaakt van de actuele QH-relatie voor Keizersveer (Keizersveer\_Qh\_bnd\_j19).

Voor het maken van de standaardberekeningen is gebruik gemaakt van de D-HYDRO Suite 2023.01. De stationaire simulaties zijn elk voor 20 dagen doorgerekend.

### 2.2.2 Bodemschuifspanning

De bodemschuifspanning (total bed shear stress magnitude) wordt door D-HYDRO uitgevoerd als variable 'mesh2d\_taus' in \_map.nc. Voor de stationaire simulaties is gebruik gemaakt van de waarde van 'mesh2d\_taus' in de laatste tijdstap. Voor de (dynamische) historische simulatie is de maximale bodemschuifspanning verkregen via de statistische uitvoeroptie van D-HYDRO. Hiervoor is het maximum van het lopende gemiddelde (over 13 tijdstappen rondom het maximum) van de bodemschuifspanning bepaald. De bodemschuifspanning is voor elke simulatie met behulp van de [dfm\\_tools](#) geëxporteerd naar shapebestanden voor de locaties met waterdiepte groter dan 1 cm.

## 2.3 Bodemligging voor en na hoogwater 2021

Voor de BRL (BasisRivierbodemLigging) worden jaarlijks de meest recente lodingen, LiDAR (Light Detection And Ranging) en AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland) gegevens verwerkt naar een meest actuele bodem met brondata-kaart. Daarnaast is naar aanleiding van het hoogwater van juli 2021 voor de BRL een extra analyse uitgevoerd naar de effecten van de morfologische veranderingen op de rivierfuncties ([van der Deijl, 2022](#)). Voor deze analyse zijn specifiek een actuele bodem voor de situatie van het voorjaar 2021 en het najaar 2021 (na het hoogwater) gemaakt. Direct na het hoogwater zijn namelijk multibeam-peilingen op de Maas uitgevoerd. Voor de Gemeenschappelijke Maas zijn de trajecten rkm 23.9 - 24.6 en rkm 27.9 - 43.0 en de lokale bodem bij Roosteren gepeild in de periode 18 tot en met 29 juli. Echter was daarna de waterdiepte al te ver afgenomen om ook de rest van de gemeenschappelijke Maas in te meten. Om deze reden zijn er voor deze locaties geen bodemverschillen door het hoogwater beschikbaar. Daarnaast waren de hoogtes van het winterbed (gemeten met LiDAR) nog niet beschikbaar tijdens de BRL-analyse. Deze gegevens zijn ondertussen wel aangeleverd.

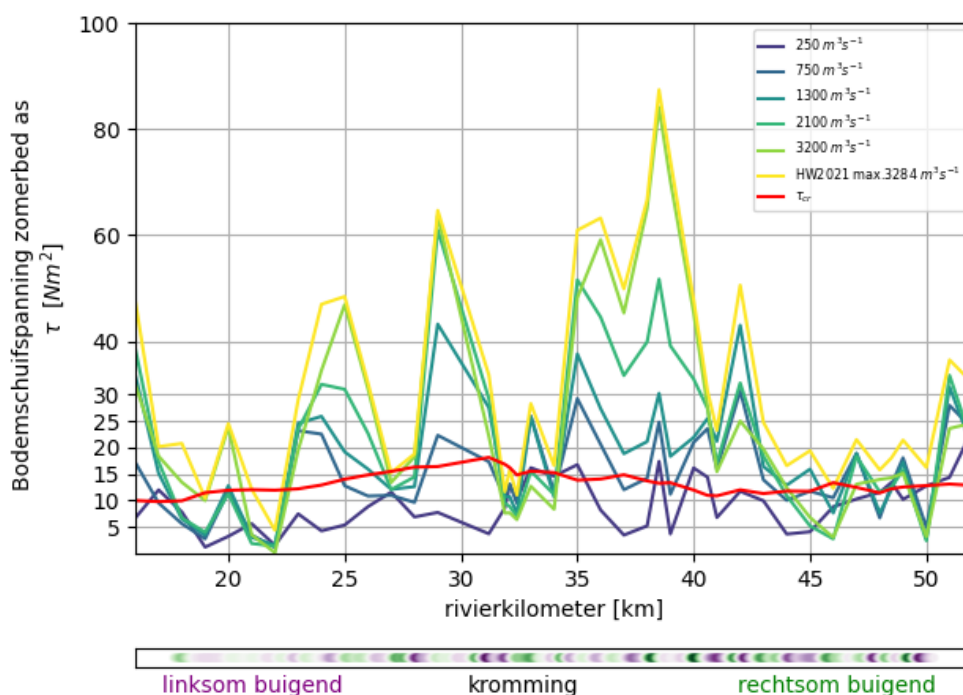
Voor de huidige analyse is voor de bodemligging voor het voorjaar van 2021 de bodem uit [van der Deijl \(2022\)](#) gebruikt. Voor de bodemligging na het hoogwater van juli 2021 is de BRL-bodem v2021 gebruikt welke verder is aangevuld met de aangeleverde LiDAR-data voor het winterbed. Vervolgens zijn de bodemverschillen bepaald door voorjaar2021 af te trekken van najaar2021. Indien er geen update van de bodem heeft plaatsgevonden is het bodemverschil precies gelijk aan 0.

Zoals eerder opgemerkt door Hermjan Barneveld zijn er grote verschillen ook specifiek op akkers waar het lijkt of LiDAR ook vegetatie bevat en niet goed is gefilterd. Ook zijn de bodemveranderingen in plassen en nevengeulen soms groot, maar dit kan ook komen door vergelijking met hele oude data.

## 3 Resultaten

### 3.1 Bodemschuifspanning

Op basis van verschillende D-HYDRO-berekeningen zijn de bodemschuifspanningen bepaald langs de Gemeenschappelijke Maas. Voor de verschillende stationaire afvoeren en het hoogwater van juli 2021 worden de maximale bodemschuifspanningen rondom de rivieras getoond in Figuur 3.1. Onderin deze figuur is ook de kromming van de rivier aangegeven met paarse kleuren voor linksom buigende trajecten en groene kleuren voor rechtsom buigende trajecten.



Figuur 3.1 Bodemschuifspanningen rondom de rivieras langs de Gemeenschappelijke Maas

#### 3.1.1 Stationaire sommen

Voor een stationaire afvoer van 250 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen (S\_250) ligt de schuifspanning voor het grootste deel van de Maas tussen 0 en 10 N/m<sup>2</sup>. Op enkele smallere delen en in bochten van de gemeenschappelijke Maas zijn hogere schuifspanningen aanwezig in de orde van 20 tot 30 N/m<sup>2</sup>.

Voor toenemende afvoer neemt de bodemschuifspanning op de meeste locaties toe. Uitzondering hierop zijn het traject van rkm 32-35 (bocht bij Meers) en de rivier bij rkm 42 (Grevenbricht) en rkm 47 (uitstroom Koeweide). Op deze trajecten neemt bij de hoogste afvoer S3200 de bodemschuifspanning in de hoofdgeul af ten opzichte van de een-na-hoogste afvoer S2100. Dit wordt veroorzaakt door een verschuiving van de stroming naar het winterbed langs de rechteroever. De maximale bodemschuifspanning tijdens de berekening van het hoogwater van 2021 laat echter wel een toename zien ten opzichte van de stationaire som S2100.

De twee-dimensionele kaarten voor de bodemschuifspanning op basis van de stationaire sommen zijn opgenomen in appendix A.1 t/m appendix A.5.

### 3.1.2 Hoogwater juli 2021

Tijdens het hoogwater van juli 2021 bedroeg de topafvoer 3310 m<sup>3</sup>/s bij St. Pieter ([van der Veen, 2021](#)) en 3284 m<sup>3</sup>/s bij Borgharen-dorp ([van der Veen, 2022](#)). De kaarten voor de maximale bodemschuifspanning tijdens dit hoogwater zijn zichtbaar in appendix A.6. Op de Bovenmaas is er rond rkm 8 een hogere schuifspanning zichtbaar in het zomerbed, maar verder is er voor de Bovenmaas geen significant verschil in schuifspanning zichtbaar tussen de simulatie voor het hoogwater en de stationaire afvoer van 3200 m<sup>3</sup>/s (appendix A.5).

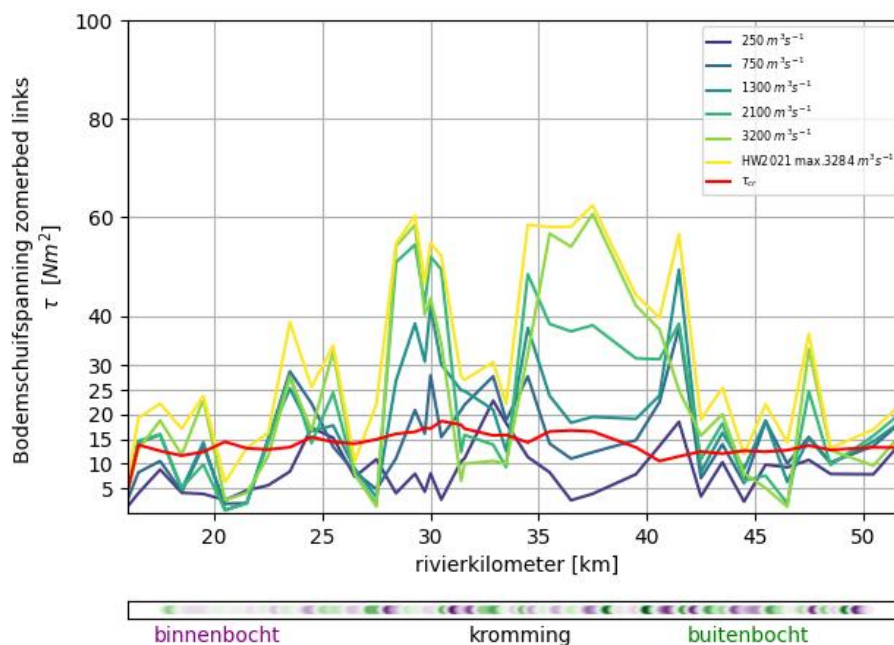
De maximale schuifspanning is rondom stuw Borgharen beduidend hoger in de schuifspanningskaarten voor het hoogwater dan in de kaarten van de stationaire afvoer van 3200 m<sup>3</sup>/s. Dit komt doordat de kaarten van het hoogwater de maximale schuifspanning tonen voor de gehele afvoergolf. De schuifspanning is rondom de stuw namelijk hoger in de aanloop naar het hoogwater, wanneer de stuw nog niet is gestreken.

Over de gehele Gemeenschappelijke Maas is zichtbaar dat de maximale schuifspanning tijdens het hoogwater van juli 2021 hoger is dan voor een stationaire afvoer S3200. Wel komen de locaties met hoge schuifspanningen overeen.

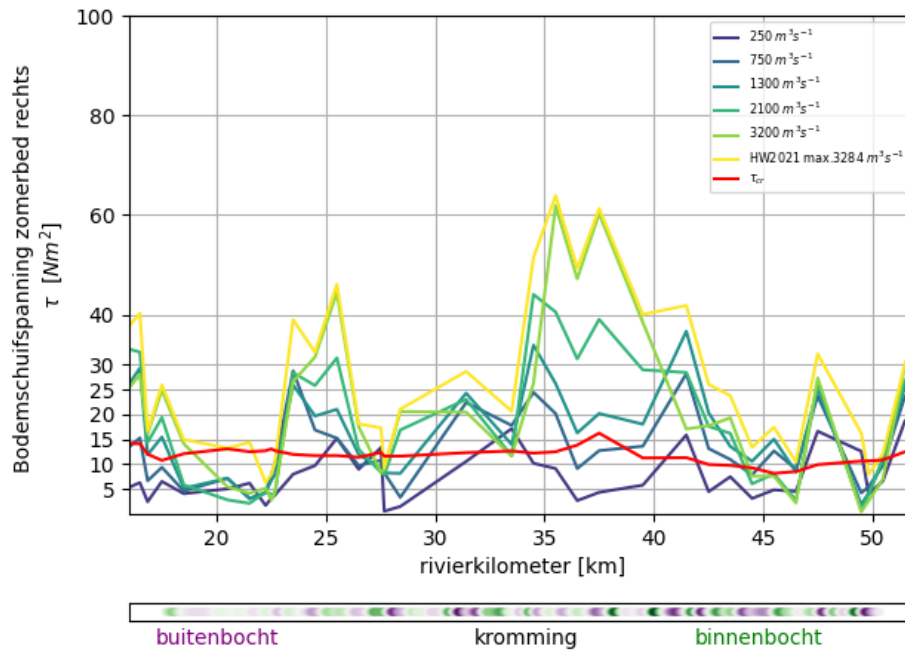
### 3.1.3 Verschil links en rechts van de rivieras

De grafieken met bodemschuifspanningen links en rechts van de rivieras staan in Figuur 3.2 en Figuur 3.3. De grootste verschillen tussen de bodemschuifspanning links en rechts zijn te zien bij rkm 16 (Borgharen), rkm 42 (Obbicht) en rkm 52 (Maaseik). Bij Borgharen, Obbicht en Maaseik is de bulk van de stroming langs de rechteroever, waardoor de schuifspanning daar hoger uitvalt. Bij Elsloo (rkm 28-32) zijn ook grote verschillen zichtbaar. Deze worden later besproken.

Er is geen binnen-buitenbochteeffect zichtbaar in de waarden voor de bodemschuifspanningen links of rechts van de rivieras. Het zijn met name de locaties met nevengeulen in bochten waar de grootste verschillen ontstaan tussen de bodemschuifspanning van de zones links en rechts van de rivieras.



Figuur 3.2 Bodemschuifspanningen links van de rivieras langs de Gemeenschappelijke Maas



Figuur 3.3 Bodemschuifspanningen rechts van de rivieras langs de Gemeenschappelijke Maas

### 3.2 Mobiliteit sediment

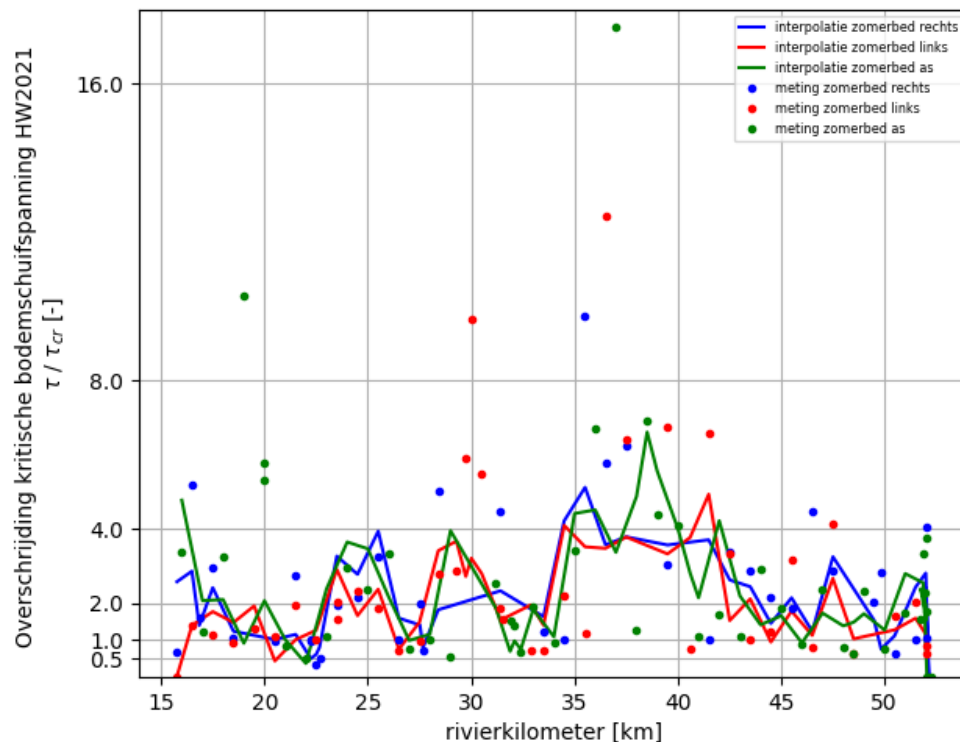
Figuur 3.1 toont de kritische bodemschuifspanning (in rood) in combinatie met de bodemschuifspanningen voor de verschillende afvoeren. Wanneer de bodemschuifspanning wordt vergeleken met de kritische bodemschuifspanning, is te zien wanneer het bodemmateriaal mobiel is. Figuur 3.1 toont aan dat voor afvoeren tussen 250 m<sup>3</sup>/s en 750 m<sup>3</sup>/s op de meeste locaties het bodemmateriaal in beweging komt, omdat de bodemschuifspanning dan groter is dan de kritische bodemschuifspanning. De locaties bij rkm 22 (net benedenstrooms van Itteren), rkm 27 (benedenstrooms van Geulle aan de Maas), rkm 33 (bocht bij Meers) en rkm 46 (Koeweide) zijn uitzonderingen waar de bodemschuifspanning rondom de rivieras niet groter is dan de kritische bodemschuifspanning. Dit komt doordat een groot deel van de stroming over het winterbed voert.

Figuur 3.4 toont voor de zones in het zomerbed de verhouding tussen de maximale bodemschuifspanning tijdens het hoogwater en de kritische schuifspanning, zoals bepaald aan de hand van de korrelverdelingen. In het figuur zijn zowel de geïnterpoleerde (lijnen) en individuele gemeten (punten) resultaten zichtbaar. Wanneer de waarde groter is dan één, kan het materiaal in beweging worden gebracht. De lijnen in de figuur tonen aan dat langs de rivier gezien de mobiliteit van het sediment in de verschillende zomerbedzones over het algemeen vergelijkbaar is.

Tussen rkm 24 en 25 (bovenstrooms van Geulle aan de Maas) is de maximale overschrijding aan de rechterzijde van het zomerbed groter dan aan de linkerzijde. Net bovenstrooms van Urmond (rkm 38) is een locatie waar lokaal waarschijnlijk fijner materiaal beschikbaar is.



Ook bij Elsloo (rkm 28-32) is er verschil te zien tussen de linker- en rechteroever, maar dit lijkt een kwestie van interpolatie van de modelresultaten naar de meetpunten te zijn, waardoor de indruk gewekt wordt dat de rechteroever een lagere overschrijding van de kritische bodemschuifspanning geeft. In werkelijkheid is dit waarschijnlijk toch het geval, aangezien er een bodembescherming is aangebracht in de buitenbocht bij Elsloo. Deze informatie is echter niet specifiek opgenomen in de interpolatie.



Figuur 3.4 Overschrijding van de kritische schuifspanning voor het hoogwater 2021 en uitgesplitst naar links van, rondom en rechts van de rivieras.

Aangezien is uitgegaan van de geometrisch gemiddelde diameter, is de kritische bodemschuifspanning een indicatie van de bewegelijkheid. Er is geen rekening gehouden met het feit dat fijnere fracties uit de toplaag van de bodem sneller in beweging kunnen komen dan wat de kritische bodemschuifspanning voor de geometrisch gemiddelde diameter van de toplaag impliceert. Doordat het sediment gemengd is zijn er echter ook *hiding-exposure*-effecten aanwezig waardoor fijn sediment minder snel in beweging komt en grof sediment mogelijk juist eerder. Daarnaast is er ook geen informatie over afpleistering opgenomen. Hierdoor zou het bodemmateriaal juist pas bij een hogere kritische schuifspanning in beweging komen dan de geometrisch gemiddelde diameter impliceert.

Ruimtelijke kaarten van de kritische schuifspanning en de overschrijding van de kritische schuifspanning zijn opgenomen in appendix A.7 t/m A.13.

### 3.3 Morfologische veranderingen

In appendix B zijn de kaarten met de bodemverandering voor de periode van het hoogwater van juli 2021 zichtbaar. Zoals in paragraaf 2.3 al is vermeld was het door de te kleine waterdiepte niet mogelijk om na het hoogwater de gehele Gemeenschappelijke Maas met multibeam in te meten. Om deze reden is het niet mogelijk om over de gehele Maas de verschillen in de bodemhoogte door het hoogwater van juli 2021 te bepalen. Bij de locaties waar de korrelsamenstelling is gemeten (rkm 16 – 53) is enkel in rkm 16-17, 24 – 25, 28 – 43 goed in kaart gebracht wat de bodemveranderingen zijn.

Op diverse locaties zijn zeer grote verschillen in bodemhoogte ontstaan. De legenda toont verschillen die groter zijn dan -2 m (donker rood) en +2 m (donker blauw). Deze verschillen lopen lokaal op tot meer dan -10 m.

Binnen het traject waar de bodemsamenstelling is gemeten zijn verschillende bodemveranderingen zichtbaar. In de volgende opsomming wordt de bodemverandering genoemd, met daarbij een vergelijking van de overschrijding van de kritische schuifspanning (c.f. Figuur 3.4).

- Rkm 17 – meer dan 1 m aanzanding (Borgharen)
- Een afnemende bodemschuifspanning past bij de aanzanding bij rkm 17.
- Rkm 24 – tot 2 m aanzanding (Geulle aan de Maas)
- De aanzanding lijkt niet overeen te komen met de verandering in bodemschuifspanning.
- Rkm 25 – tot 2 m erosie (Geulle aan de Maas)
- De erosie lijkt niet overeen te komen met de verandering in bodemschuifspanning.
- Rkm 28-29.4 – tot 2 m aanzanding (Stein)
- Aanzanding lijkt niet overeen te komen
- Rkm 29.4-31 – afwisselend erosie en sedimentatie langs de linker zijde (naast bodembescherming)
- Niet duidelijk aan de hand van de 2D bodemschuifspanning
- Rkm 31 – tot 5 m aanzanding (Meers)
- Duidelijke afname in de bodemschuifspanning zichtbaar
- Rkm 33-34 – stabiele bodem (Maasband)
- Rondom criterium voor begin van beweging, niet duidelijk zichtbaar.
- Rkm 34.6 erosiekuil ongeveer 7 m diep
- Sterke toename in de bodemschuifspanning zichtbaar
- Rkm 34-36 aanzanding (Maasband)
- Geen duidelijke trend zichtbaar uit de bodemschuifspanningen
- Rkm 36 twee erosiekuilen ongeveer 3 en 4 m diep
- Toename van de bodemschuifspanning
- Rkm 36.5-38 tot 5 m aanzanding
- Niet duidelijk op basis van de bodemschuifspanning
- Rkm 37 diverse erosiekuilen met een diepte van ongeveer 4 tot 11 m
- Lokale toename van de bodemschuifspanning langs de rivieras
- Rkm 38.7 erosiekuil ongeveer 13 m diep
- Lokale toename van de bodemschuifspanning langs de rivieras
- Rkm 39 meer dan 5 m aanzanding
- Langs rivieras sterke afname van de bodemschuifspanning
- Rkm 39.2-40.5 tot 50 cm erosie
- Komt niet overeen met de bodemschuifspanning
- Rkm 40.5-41.7 stabiel
- Relatief constante bodemschuifspanning
- Rkm 41.8 tot 1 m erosie
- Niet direct duidelijk uit de bodemschuifspanning
- Rkm 42-43 aanzanding rechterzijde
- Komt overeen met afnamen in de bodemschuifspanning

Verschillende grote bodemveranderingen zijn ontstaan na het hoogwater van 2021. De langsvanverandering in de maximale overschrijding van de kritische bodemschuifspanning komt op enkele locaties overeen met de bodemverandering, maar op verschillende locaties ook niet.

## 4 Conclusies

### 4.1 Bodemschuifspanningen

- Voor toenemende afvoer neemt de bodemschuifspanning op de meeste locaties toe
- Parallel aan aangetakte nevengeulen en plassen is de bodemschuifspanning relatief laag vergeleken met andere locaties in het zomerbed. Dit wordt veroorzaakt door de stroming die bij hogere afvoeren meer via het winterbed loopt.
- Er is geen binnen-buitenbochteffect zichtbaar voor de waarden van de bodemschuifspanningen links of rechts van de rivieras.
- Ter hoogte van aangetakte nevengeulen ontstaan de grootste verschillen tussen de schuifspanning links en rechts van de rivieras.
- De grootste verschillen tussen de bodemschuifspanning links en rechts zijn te zien bij rkm 16 (Borgharen), rkm 42 (Obbicht) en rkm 52 (Maaseik). Bij Borgharen, Obbicht en Maaseik is de bulk van de stroming langs de rechteroever, waardoor de schuifspanning daar hoger uitvalt.

### 4.2 Kritische bodemschuifspanningen

- De sedimentmonsters in de Gemeenschappelijke Maas zijn ruimtelijk geïnterpoleerd om een geometrisch gemiddelde korreldiameter te bepalen.
- Op basis van de geometrisch gemiddelde korreldiameter is een gebiedsdekkend beeld van de kritische bodemschuifspanning bepaald.
- Uit de vergelijking met de metingen blijkt dat tussen 250 en 750 m<sup>3</sup>/s op de meeste locaties de kritische bodemschuifspanning wordt overschreden, en bodemmateriaal in beweging is gebracht.
- Voor de interpolatie van het sediment is niet specifiek rekening gehouden met de rol van vaste lagen en de beschikbaarheid van fijne zanden (cf. [van der Deijl \(2022\)](#)).

### 4.3 Bodemveranderingen

- Er zijn grote bodemveranderingen ontstaan tijdens het hoogwater van juli 2021.
- De langsverandering in de maximale overschrijding van de kritische bodemschuifspanning komt op enkele locaties overeen met de bodemverandering, maar op veel locaties ook niet.
- Lokaal spelen gebrek aan data en ook vegetatie en oude peilingen een te grote rol in de bodemverschilkaarten.

## 5 Referenties

ENW (2021). Hoogwater 2021 Feiten en Duiding. Rapport, Expertise Netwerk Waterveiligheid.

Rijkswaterstaat & Deltares (2023). Factsheet zesde-generatie modelschematisaties. D-Flow FM 2D Maas. Versie 2023-v1 In te zien op: <https://iplo.nl/thema/water/applicaties-modellen/modelschematisaties/rivieren/>

Van der Deijl, E.C. (2022). Basisrivierbodemplugging analyse Grensmaas hoogwater juli 2021. Deltares rapport 11206792-009-ZWS-0002 v1.0 dd. 20-07-2022

Van der Deijl, E.C. (2023a). Aanpassing Basisrivierbodemplugging eisen en actualisatie rivierbodemplugging 2021. Deltares rapport 11208036-021-ZWS-0006 v1.0 dd. 14-02-2023

Van der Deijl, E.C. (2023b). Validatie hoogwater Maas juli 2021. Deltares rapport 11208053-002-ZWS-0006 v1 dd. 05-07.2023

Van der Veen, R. (2021). Topafvoeren hoogwater Maas juli 2021 – RWS informatie. Rura-Arnhem-rapport P210910R, versie 2.0 d.d. 16-12-2021

Van der Veen, R. (2022). Analyse hoogwater Maas juli 2021 – (metingen -verwachtingen). Rura-Arnhem-rapport P211015R, versie 2.3 d.d. 16-03-2022

Van Rijn, L.C. (1984). Sediment transport, Part I: bed load transport. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.110, No.10, pp.1431-1456

# A Kaarten bodemschuifspanning

## A.1 Bodemschuifspanning S\_250 (geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:  
Appendix\_A.1\_Bodemschuifspanning\_S\_250.pdf

Beschikbaar als shape:  
shapes\S\_250\total\_shear\_stress.shp

## A.2 Bodemschuifspanning S\_750 (geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:  
Appendix\_A.2\_Bodemschuifspanning\_S\_750.pdf

Beschikbaar als shape:  
shapes\S\_750\total\_shear\_stress.shp

## A.3 Bodemschuifspanning S1300 (geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:  
Appendix\_A.3\_Bodemschuifspanning\_S1300.pdf

Beschikbaar als shape:  
shapes\S1300\total\_shear\_stress.shp

## A.4 Bodemschuifspanning S2100 (geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:  
Appendix\_A.4\_Bodemschuifspanning\_S2100.pdf

Beschikbaar als shape:  
shapes\S2100\total\_shear\_stress.shp

## A.5 Bodemschuifspanning S3200 (geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:  
Appendix\_A.5\_Bodemschuifspanning\_S3200.pdf

Beschikbaar als shape:  
shapes\S3200\total\_shear\_stress.shp

## A.6 Bodemschuifspanning HW2021 (geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:  
Appendix\_A.6\_Bodemschuifspanning\_hist20210701\_20210801.pdf

Beschikbaar als shape:  
shapes\hist\_20210701\_20210801\total\_shear\_stress.shp

## A.7 Kritische bodemschuifspanning (op basis van najaar 2023 kor)

Opgeleverd als losse pdf:

Appendix\_A.7\_Kritische\_bodemschuifspanning.pdf

Beschikbaar als shapes:

shapes\kritische\_schuifspanning\kritische\_schuifspanning.shp

shapes\kritische\_schuifspanning\kritische\_schuifspanning\_metingen.shp

## A.8 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S\_250.pdf

Appendix A.8 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S\_250.pdf

## A.9 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S\_750.pdf

Appendix\_A.9 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S\_750.pdf

## A.10 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S1300.pdf

Appendix\_A.10 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S1300.pdf

## A.11 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S2100.pdf

Appendix\_A.11 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S2100.pdf

## A.12 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S3200.pdf

Appendix\_A.12 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_S3200.pdf

## A.13 Overschrijding kritische bodemschuifspanning HW2021

Appendix\_A.13 Overschrijding kritische bodemschuifspanning\_hist20210701\_20210801.pdf

## B Bodemontwikkeling hoogwater 2021 (geometrie najaar minus geometrie voorjaar 2021)

Opgeleverd als losse pdf:

Appendix B.1\_Bodemontwikkeling\_hoogwater\_2021.pdf



Deltares is an independent institute for applied research in the field of water and subsurface. Throughout the world, we work on smart solutions for people, environment and society.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)