

## Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.

### Water & Maritime

Aan: Projectteam Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well  
Van: Danny Booij  
Datum: 5 juli 2024  
Kopie: n.v.t.  
Ons kenmerk: 20240705\_BJ1000\_W3420-3.5\_Kasteel stroomsnelheden\_C01  
Classificatie: -  
Gecontroleerd door Wiebe de Jong

**Onderwerp: Kasteel Well – Analyse stroomsnelheden**

---

## 1 Inleiding

Deze notitie maakt onderdeel uit van het Voorlopig Ontwerp Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, en is een bijlage bij het technisch ontwerp waterkering kasteel (VO) **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**ref 1]. In voorliggende notitie zijn de stroomsnelheden gepresenteerd waarmee rekening gehouden dient te worden in het ontwerp van de waterkeringen rondom Kasteel Well. Eveneens is de werkwijze aangegeven waarmee tot de stroomsnelheden is gekomen en zijn de resultaten geanalyseerd.

## 2 Werkwijze

Voor de bepaling van de stroomsnelheden rondom Kasteel Well is gebruik gemaakt van rivierkundige modelberekening met het tweedimensionaal waterbewegingsmodel WAQUA. Uitgangspunt voor deze berekeningen is het VO1 van de Groene Rivier, de Band en de waterkeringen.

De stroomsnelheden langs de waterkering zijn bepaald bij een maatgevende afvoer van 4.118 m<sup>3</sup>/s te Borgharen. Deze afvoer heeft een herhalingsjijd van eens in de 3.000 jaar.

### 2.1 Software

De GIS-applicatie Baseline is gebruikt om het ontwerp (VO1) te schematiseren en vervolgens is het 2D stromingsmodel WAQUA toegepast om deze schematisatie door te rekenen. De volgende softwareversies zijn gehanteerd:

- ArcGIS versie 10.6.1;
- Baseline versie 5.3.4;
- WAQUA-versie SIMONA2016.

### 2.2 Modelgebruik

#### 2.2.1 Baseline

##### Referentie

- Voor de Baseline referentieschematisatie is 'Baseline-Maas-beno17\_5-v1' uitgeleverd (mail door T. Visser d.d. 25-05-2023).
- Op verzoek van RWS-ZN is de referentieschematisatie uitgebreid met vier maatregelen die noodzakelijke verbeteringen en actualisaties van de referentieschematisatie bevatten:
  - ma\_mknov17\_a3, ma\_mpwel17\_b1, ma\_welldtb\_a1 en ma\_wellcor\_a1;
- Het kenmerk van deze nieuwe referentie is 'sys\_ggrw\_ref'.

#### Maatregel

- Voor het VO1 zijn drie Baseline-maatregelen gemaakt;
  - Voor de wijziging aan de waterkeringen en het realiseren van de brug in de N270 (het totaal aan ingrepen behorend bij de “systeemmaatregel”) is een Baseline-schematisatie gemaakt met het kenmerk ‘ma\_wellvo\_b1’;
  - Voor de inrichting van de Groene Rivier is een Baseline-schematisatie gemaakt met het kenmerk ‘ma\_wellgr\_b1’;
  - Voor de herontwikkeling van de Band is een Baseline-schematisatie gemaakt met het kenmerk ‘ma\_wellba\_b1’;
- De ontwerpen van de maatregelen zijn gebaseerd op de inrichtingskaart VO1 Groene Rivier en momenteel beschikbare 3D-modellen van de waterkeringen;
- De maatregelen zijn ingemixt op ‘sys\_ggrw\_ref’, de nieuwe variant, het VO1, heeft kenmerk: ‘sys\_ggrw\_vo\_a1’.

### 2.2.2 WAQUA

- Voor zowel de berekeningen van de waterstandsaling m.b.t. de inspanningsverplichting is gebruik gemaakt van het deelmodel Waqua-Maas-beno17\_5\_20m\_km118\_155\_5-v1;
- Zowel de variant als de referentie zijn doorgerekend bij een afvoer van 4.118 m<sup>3</sup>/s te Borgharen. Betreffende afvoer heeft een herhalingsjijd van eens in de 3.000 jaar.
- De stroomsnelheden waarmee rekening dient gehouden te worden in het ontwerp van de waterkeringen rondom Kasteel Well zijn bepaald op basis van de variant (VO1).

### 2.3 Vertaling dieptegemiddelde naar werkelijke stroomsnelheden

De dieptegemiddelde stroomsnelheden die volgen uit de berekeningen met WAQUA zijn niet gelijk aan de werkelijke stroomsnelheden in het veld. Daarom wordt voor berekeningen aan bekledingen e.d. een turbulentie-factor  $k_t^2$  toegepast om een vertaling te maken van dieptegemiddeld naar reële stroomsnelheden. De kwalitatieve beschrijving uit The Rock Manual (Tabel 5.53) is hiervoor aangehouden, zie Tabel 1. Een indicatie van de werkelijke stroomsnelheid is dan bepaald door de dieptegemiddelde stroomsnelheid te vermenigvuldigen met  $k_t$  (dus niet  $k_t^2$  zoals in de tabel staat).

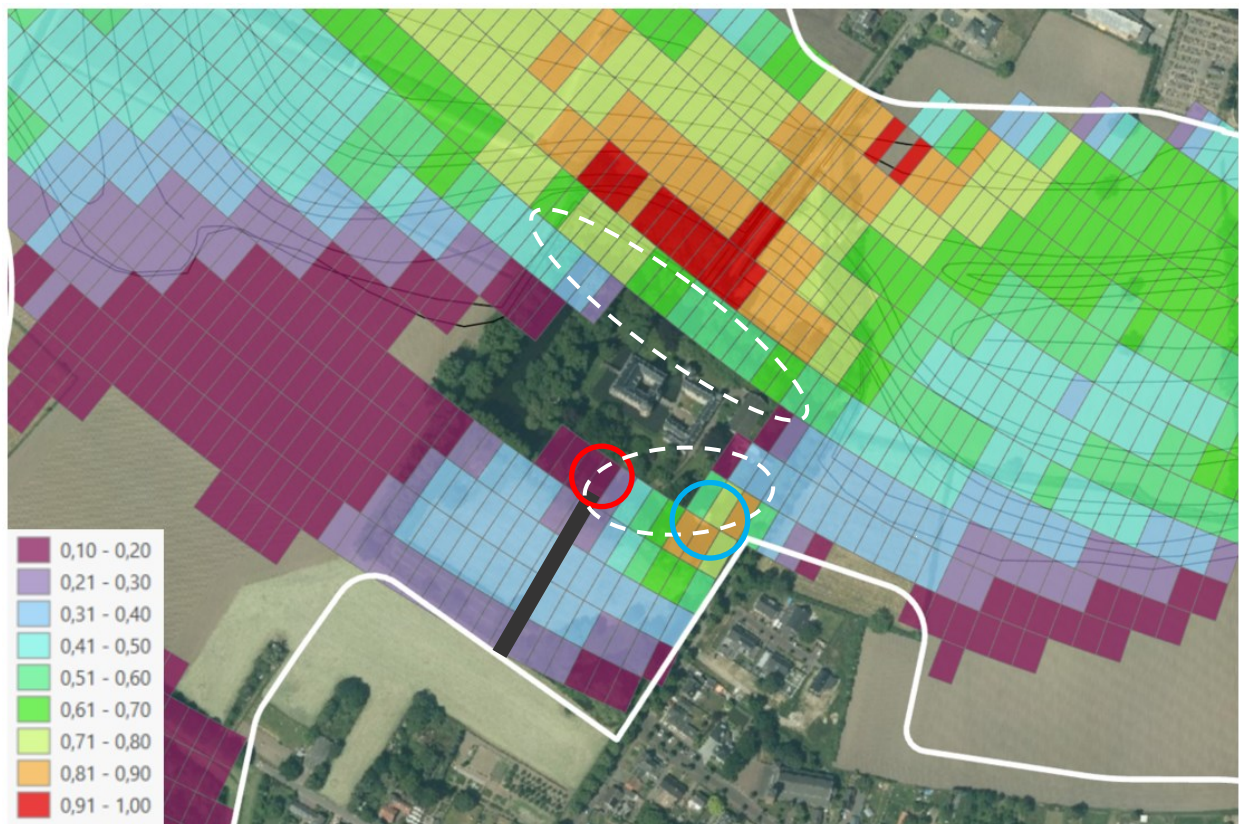
Tabel 1: Turbulentiefactoren uit Rock Manual (tabel 5.53) [ref 3].

| Beschrijving                                                    | $k_t^2$ (–) |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| Uniforme stroming (turbulentieniveau = 10%)                     | 1,0         |
| Verhoogde turbulentie in buitenbocht (turbulentieniveau = ~20%) | 1,5         |
| Hoge turbulentie in scherpe bocht (turbulentieniveau = ~30%)    | 2,0         |
| Zeer hoge turbulentie of watersprong (turbulentieniveau > 30%)  | >2,0        |
| Schroefstraal                                                   | 5,2         |

Afhankelijk van de locatie is een inschatting gemaakt van deze factor. Voor het kasteel wordt overal de volgende turbulentiefactor aangehouden:  $k_t^2 = 1,5$ . Op één locatie wordt een andere factor gebruikt; bij de zuidoostelijke hoek (het smalste punt tussen de dijk en het kasteel) wordt  $k_t^2 = 2,5$  gebruikt (vanwege de mogelijkheid van een watersprong waarbij zeer hoge turbulentie aanwezig kan zijn).

## 3 Resultaat

Figuur 3-1 toont de dieptegemiddelde stroomsnelheden rondom het Kasteel Well bij een afvoer van 4.118 m<sup>3</sup>/s bij het VO1.



Figuur 3-1: Dieptegemiddelde stroomsnelheden bij afvoer van 4.118 m<sup>3</sup>/s bij het VO1 (stroomsnelheden < 0,1 m/s zijn niet weergegeven). Witte lijn toont de locatie van de waterkering uit het VO1. Zwarte lijn geeft locatie van ontsluitingsdijk weer.

De figuur toont stroomsnelheden tot 0,7 m/s langs de kade aan de noordzijde van het kasteel en stroomsnelheden tot 0,9 m/s aan de zuidzijde van het kasteel, zie wit gestreepte cirkels in Figuur 3-1. Deze dieptegemiddelde (WAQUA) stroomsnelheden gecombineerd met de turbulentiefactor leiden tot in schatting van de werkelijke stroomsnelheden op deze locaties van;

- Noordzijde kasteel:  $0,7 \text{ m/s} * \sqrt{1,5} \approx 0,9 \text{ m/s}$
- Zuidzijde kasteel:  $0,9 \text{ m/s} * \sqrt{2,5} \approx 1,4 \text{ m/s}$

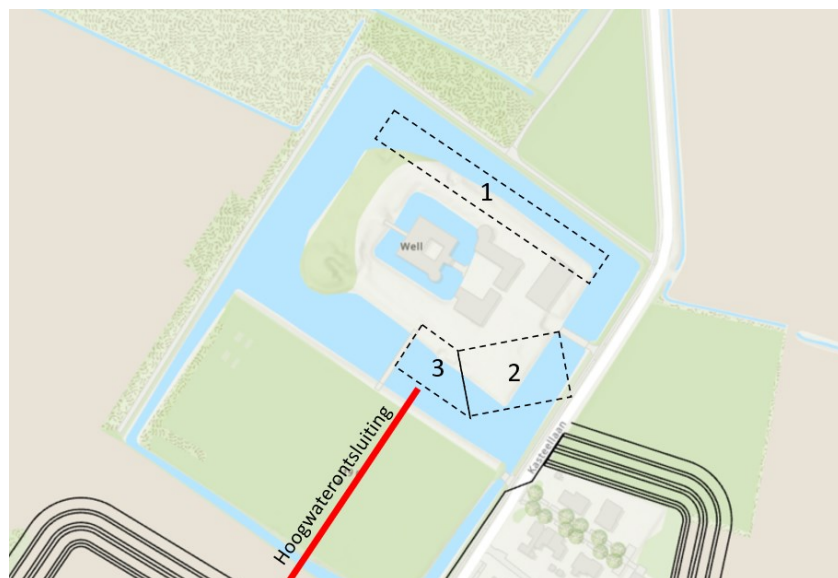
#### Watersprong

Aan de zuidzijde van het kasteel (zie blauwe cirkel in Figuur 3-1) treedt waarschijnlijk in werkelijkheid een zogenaamde watersprong op van ca. 8 cm bij een maatgevende afvoer van 4.118 m<sup>3</sup>/s. Een dergelijk event kan met een model als WAQUA niet goed worden gemodelleerd (WAQUA onderschat stroomsnelheden). Met een eenvoudig analytische berekening kan de werkelijke stroomsnelheid benaderd worden ( $\Delta h = u^2/2g$ ). Deze benadering leidt tot een stroomsnelheid van 1,3 m/s (excl. turbulentie) en 2,0 m/s (incl. turbulentie). Vanwege de smalle doorgang is het waarschijnlijk dat op deze locatie veel turbulentie optreedt. Wij adviseren daarom om op deze locatie (zuidzijde kasteel) uit te gaan van stroomsnelheden tussen 1,4 – 2,0 m/s.

Eveneens zou het mogelijk kunnen zijn dat een watersprong ontstaat van enkele centimeters (max. 2 à 3) in de opening tussen het kasteel en de hoogwaterontsluiting ten zuiden van het kasteel (zie rode cirkel in Figuur 3-1). Ook hier kan de eenvoudig analytische berekening worden gebruikt. Deze benadering leidt tot een stroomsnelheid van 0,8 m/s (excl. turbulentie) en 1,2 m/s (incl. turbulentie). Het is niet onwaarschijnlijk dat er stroomsnelheden van deze orde grootte (tussen 0,8 – 1,2 m/s) optreden in de regionen voor en achter deze opening (over lengte van minimaal ca. 30 meter).

## 4 Conclusie

Uit de analyses in voorgaande hoofdstukken volgt dat er drie aandachtslocaties zijn rondom Kasteel Well waar erosie door hoge stroomsnelheden zou kunnen optreden, zie Figuur 3-1. Deze locaties zijn respectievelijk de gehele noordflank, de zuidelijke hoek vanaf de huidige brug tot aan de hoogwaterontsluiting en de regio rondom de brug in de hoogwaterontsluiting. Per locatie toont Tabel 2 de maximale stroomsnelheid waarmee rekening gehouden dient te worden in het ontwerp van de waterkeringen rondom Kasteel Well.



Figuur 2: Aandachtslocaties rondom Kasteel Well met hoge stroomsnelheden.

Tabel 2: Maximale stroomsnelheid per aandachtslocatie (figuur 2).

| Locatie | Maximale stroomsnelheid (m/s) |
|---------|-------------------------------|
| 1       | 0,9                           |
| 2       | 1,4 - 2,0                     |
| 3       | 0,8 - 1,2                     |

## 5 Referenties

- ref 1. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkering kasteel VO, BJ1000\_W3410-3.
- ref 2. Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen, TUN BJ1000\_W3210-2\_WPB TUN VO.
- ref 3. CIRIA; CUR; CETMEF, The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition), London: C683, CIRIA, 2007.