

## De Oude Bornse Beek



**Hydrologisch kwantitatief onderzoek binnen het  
Stroomgebied van de Oude Bornse Beek.**



# De oude Bornse beek

## Hydrologisch kwantitatief onderzoek binnen het stroomgebied van de oude Bornse beek.

### Colofon:

|                    |                                                                                                            |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Naam:              | Jarno Kroeze                                                                                               |
| Opleiding:         | Land en watermanagement                                                                                    |
| Afstudeerrichting: | Hydrologische modellering                                                                                  |
| Instituut:         | Hogeschool Van Hall Larenstein                                                                             |
| Opdracht:          | De oude Bornse beek<br>Hydrologisch kwantitatief onderzoek binnen het stroomgebied van de Oude Bornse Beek |
| Opdrachtgever:     | Waterschap Regge en Dinkel, Jeroen van der Scheer                                                          |
| Docent:            | Hogeschool Van Hall Larenstein, Bert Meijer                                                                |
| Plaats, datum:     | Almelo, 2 Juni 2010                                                                                        |
| Status:            | Eindversie                                                                                                 |

## Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport van Jarno Kroeze van het onderzoek dat is uitgevoerd bij het Waterschap Regge en Dinkel te Almelo.

Dit rapport is geschreven in het kader van mijn afstudeeropdracht van de opleiding Land en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein. De scriptie kan gezien worden als een theoretische onderbouwing van mijn afstudeeropdracht. Mijn afstudeeropdracht bestond uit het maken van een oppervlaktewatermodel en aan de hand van dit model uitspraken doen die gericht zijn op het verbeteren van de hydrologische situatie in het stroomgebied van de Oude Bornse Beek.

Tijdens mijn afstudeerstage heb ik hulp gekregen waarvoor ik een aantal mensen wil bedanken.

Allereerst dank ik het Waterschap Regge en Dinkel voor de geboden mogelijkheid om hier mijn afstudeerstage te doen. Alle medewerkers van het Waterschap Regge en Dinkel wil ik bedanken voor hun steun en advies tijdens mijn afstudeerperiode. In het bijzonder Erik Broeze, Nannie Otto, Sjon Monincx, Menno Rakhorst en Harmen van de Werfhorst.

Ook dank ik mijn examiner Bert Meijer voor zijn begeleiding en feedback tijdens mijn afstudeerstage.

Speciale dank gaat uit naar Jeroen van der Scheer, zonder zijn steun, kritische blik en vele kennis had ik deze afstudeerstage en afstudeerscriptie niet met hetzelfde resultaat afgerond.

Als laatste dank ik alle mensen die mij feedback hebben gegeven op mijn afstudeerscriptie. Door hun feedback is mijn afstudeerscriptie geworden wat het nu is en daar ben ik ze zeer dankbaar voor.

Almelo, juni 2010

Jarno Kroeze

## Samenvatting

Het waterschap Regge en Dinkel wil haar beheersgebied goed in beeld krijgen. Om het gebied goed in beeld te krijgen is het noodzakelijk dat het hydraulisch gemodelleerd wordt. Op dit moment moet het waterschap nog enkele deelgebieden modelleren, waaronder het stroomgebied van de Oude Bornse Beek. Om informatie over het gebied in te winnen, maatregelen door te rekenen en uitspraken te doen over het stroomgebied van de Oude Bornse Beek is een oppervlaktewatermodel nodig.

In het onderzoek wordt een antwoord gegeven op de volgende hoofdvraag:

Op welke manier kan het stroomgebied van de oude Bornse beek worden geschematiseerd in Sobek, met de volgende doelen: - Een gevoeligheidsanalyse van het model uitvoeren; gegevens verzamelen voor een Stroomgebied Actie Programma; maatregelen voor de Gammelkerbeek doorberekenen; een nieuw ontwerp voor de Deurningerbeek maken - ?

Om inzicht te verkrijgen in het gebied is een gebiedsanalyse gedaan. Het gebied werd vooral gevormd tijdens het Kwartair. Het agrarische gebruik heeft het landschap verder ontwikkeld. Het landgebruik bestaat vooral uit veeteelt en het grondgebruik is voornamelijk gras- en maïsteelt. In het gebied komen grote hoogteverschillen voor. Het gebied helt van het zuidoosten naar het noordwesten. Dit is voor de waterhuishouding in het gebied van groot belang, omdat het gebied in het zuidoostelijke deel bij Oldenzaal hoog ligt ten opzichte van de Loolee waar het gehele gebied afwatert.

Om een oppervlaktewatermodel te krijgen dat overeenkomt met de werkelijke situatie zijn een paar stappen doorlopen. In de eerste instantie zijn er bij de modelbouw keuzes gemaakt voor de vormgeving van het model. Bij deze keuzes voor de opbouw van het model is rekening gehouden met de uitkomsten die het waterschap Regge en Dinkel wil verkrijgen met het model. Op basis van de opdracht van het waterschap wordt gerekend met het 1D Flow Sobek pakket. Het model is gebouwd met gegevens die het waterschap beschikbaar heeft. Indien deze gegevens niet compleet of bekend waren zijn aannames gedaan. Als tweede stap is gekeken of het model de verwachte effecten laat zien, door een test met het model te draaien. Als laatste is het model gekalibreerd met behulp van gemeten gegevens. Met dit oppervlaktewatermodel kunnen Hydrologische uitspraken gedaan worden over het stroomgebied van de Oude Bornse Beek.

Aan de hand van het gekalibreerde model is een gevoeligheidsanalyse gedaan. Hierbij wordt geëxperimenteerd door de instelwaarden van het model te variëren. De gevoeligheidsanalyse brengt in beeld hoe de stroomsnelheid verandert ten opzichte van de begroeiingsgraad. Er zijn verschillende weerstandswaarden getest voor een afvoer van 1/100Q. Geconcludeerd kan worden dat het systeem weinig gevoelig is voor een hogere of lagere Km waarde. Daarnaast worden de profielen van de watergang veranderd van een cultuurtechnisch profiel naar een tweefasen profiel en een natuurlijk profiel. Geconcludeerd kan worden dat het systeem wel gevoelig is als er een ander profiel wordt gehanteerd voor de watergangen.

Met behulp van het oppervlaktewatermodel zijn ook kaarten gemaakt voor het Stroomgebied Actie Programma. In een Stroomgebiedactieprogramma wordt het beleid van het waterschap vertaald naar het operationele niveau, met het oog op de toekomst. Voor de stap zijn droogleggingkaarten en stroomsnelheidkaarten gemaakt op basis van leggerprofielen en werkelijk gemeten profielen. Daarnaast is een kaart gemaakt op basis van de ontwateringsdiepte en zijn kaarten gemaakt die het verschil laten zien in peil voor leggergegevens en werkelijk gemeten gegevens. Uit deze kaarten is geen conclusie getrokken, maar toelichting gegeven per kaart.

Het waterschap Regge en Dinkel heeft maatregelen bedacht om haar stroomgebied aan de Kaderrichtlijn Water (KRW) te laten voldoen. In dat kader heeft Royal Haskoning een nieuw ontwerp gemaakt voor de Gammelkerbeek. Het nieuwe ontwerp is getoetst met het oppervlaktewatermodel van Sobek. Geconcludeerd kan worden dat het ontwerp van Royal Haskoning in grote lijnen goed ontworpen is. Omdat het gebied erg helt, is wel van groot belang dat er steendammetjes worden geplaatst in de Gammelkerbeek.

In het kader van de KRW is een nieuw leggerprofiel ontwerpen voor de Deurningerbeek. Bij het ontwerp is rekening gehouden met verschillende randvoorwaarden die gesteld zijn voor de waterstanden, de stroomsnelheden, de klimaatopgave, de OGLG, de OGHG, nieuwe natuur en de

omgevingsvisie van de Provincie Overijssel. Het nieuwe ontwerp dat gemaakt is voldoet aan de randvoorwaarden die gesteld zijn. Echter bij sommige profielen is het wel nodig enkele aanpassingen te verrichten voordat deze aan de waterstanden en de stroomsnelheden voldoen.

## Inhoudsopgave

|                                                        |           |
|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Voorwoord.....</b>                                  | <b>3</b>  |
| <b>Samenvatting.....</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>Inhoudsopgave.....</b>                              | <b>6</b>  |
| <b>1. Inleiding.....</b>                               | <b>8</b>  |
| 1.1 <i>Aanleiding van het onderzoek.....</i>           | 8         |
| 1.2 <i>Probleembeschrijving.....</i>                   | 8         |
| 1.3 <i>Doelstelling .....</i>                          | 8         |
| 1.4 <i>Onderzoeksvragen .....</i>                      | 10        |
| 1.5 <i>Onderzoeksmethode .....</i>                     | 10        |
| <b>2. Gebiedsbeschrijving .....</b>                    | <b>11</b> |
| 2.1 <i>Ligging van het gebied .....</i>                | 11        |
| 2.2 <i>Ontstaan van het landschap .....</i>            | 11        |
| 2.3 <i>Landgebruik .....</i>                           | 12        |
| 2.4 <i>Hoogte.....</i>                                 | 12        |
| 2.5 <i>De waterhuishouding van het gebied .....</i>    | 13        |
| <b>3. Oppervlaktewatermodel Oude Bornse Beek.....</b>  | <b>14</b> |
| 3.1 <i>Keuze 1D Flow Module.....</i>                   | 14        |
| 3.2 <i>Opbouw Model.....</i>                           | 15        |
| 3.2.1 <i>Waterlopen en profielen .....</i>             | 15        |
| 3.2.2 <i>Kunstwerken.....</i>                          | 17        |
| 3.2.3 <i>Afwaterend oppervlak.....</i>                 | 18        |
| 3.3 <i>Model test .....</i>                            | 20        |
| 3.4 <i>Model kalibratie .....</i>                      | 20        |
| 3.5 <i>Logboek.....</i>                                | 22        |
| <b>4. De Gevoeligheidsanalyse.....</b>                 | <b>23</b> |
| 4.1 <i>Inleiding.....</i>                              | 23        |
| 4.2 <i>Strategie van de gevoeligheidsanalyse .....</i> | 23        |
| 4.3 <i>Resultaten Km waarde.....</i>                   | 25        |
| 4.4 <i>Conclusie Km waarden .....</i>                  | 26        |
| 4.5 <i>Resultaten Profielen .....</i>                  | 26        |
| 4.6 <i>Conclusie Profielen .....</i>                   | 26        |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. Stroomgebied Actie Programma.....</b>                            | <b>27</b> |
| 5.1 <i>Stroomgebied Actie Programma (STAP)</i> .....                   | 27        |
| 5.2 <i>Kaarten</i> .....                                               | 27        |
| 5.2.1 <i>Drooglegging</i> .....                                        | 27        |
| 5.2.2 <i>Stroomsnelheid</i> .....                                      | 28        |
| 5.2.3 <i>Profieldiepte</i> .....                                       | 29        |
| 5.3 <i>Conclusie</i> .....                                             | 30        |
| <b>6. Gammelkerbeek .....</b>                                          | <b>31</b> |
| 6.1 <i>Achtergrond van de herinrichting van de Gammelkerbeek</i> ..... | 31        |
| 6.2 <i>Definitief ontwerp voor de Gammelkerbeek</i> .....              | 31        |
| 6.3 <i>Resultaten ontwerp Gammelkerbeek</i> .....                      | 33        |
| 6.4 <i>Conclusie</i> .....                                             | 34        |
| <b>7. Nieuw Ontwerp Deurningerbeek .....</b>                           | <b>35</b> |
| 7.1 <i>Aanleiding nieuw ontwerp Deurningerbeek</i> .....               | 35        |
| 7.2 <i>Randvoorwaarden ontwerp Deurningerbeek</i> .....                | 35        |
| 7.2.1 <i>GLG en GHG</i> .....                                          | 35        |
| 7.2.2 <i>Zijwatergangen</i> .....                                      | 38        |
| 7.2.3 <i>Stroomsnelheid</i> .....                                      | 38        |
| 7.2.4 <i>De klimaatopgave</i> .....                                    | 39        |
| 7.2.5 <i>De taludhelling</i> .....                                     | 40        |
| 7.3 <i>Nieuw ontwerp Deurningerbeek</i> .....                          | 40        |
| 7.3.1 <i>Profielen</i> .....                                           | 40        |
| 7.4 <i>Conclusie</i> .....                                             | 42        |
| <b>8. Conclusie en aanbevelingen.....</b>                              | <b>43</b> |
| <b>9. Literatuurlijst .....</b>                                        | <b>44</b> |
| <b>Bijlagen .....</b>                                                  | <b>45</b> |

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding van het onderzoek

Waterschap Regge en Dinkel heeft een werkgebied van ongeveer 135.000 hectare (figuur 1.1 beheergebied WRD). Dit gebied is opgedeeld in verschillende deelgebieden. Door het hydraulisch modelleren van deze deelgebieden wil het waterschap Regge en Dinkel inzicht en kennis vergaren met betrekking tot het functioneren van het watersysteem ([www.wrd.nl](http://www.wrd.nl)).

De meeste gebieden van het waterschap Regge en Dinkel zijn al gemodelleerd. Echter er zijn nog een aantal stroomgebieden die nog niet gemodelleerd zijn.

Waaronder het stroomgebied van de oude Bornse beek. Het waterschap Regge en Dinkel is verantwoordelijk voor het onderhoud en beheer van het stroomgebied van de oude Bornse beek (figuur 1.2 Stroomgebied oude Bornse beek).



**Figuur 1.1 beheergebied WRD**

Daarnaast is de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) in december 2000 van kracht geworden. Deze richtlijn heeft tot doel het bereiken van een goede ecologische en chemische toestand in alle wateren in 2015. In 2015 wordt het waterschap afgetoetst of de wateren in de goede toestand verkeren ([www.krw.nl](http://www.krw.nl)). Het waterschap wil het stroomgebied van de Oude Bornse Beek ook aan deze richtlijn laten voldoen. Hiervoor zijn maatregelen bedacht. Deze maatregelen worden getoetst met het model, waardoor het waterschap de effecten van de maatregelen in het stroomgebied in beeld krijgt en een standpunt kan worden ingenomen over het al dan niet doorvoeren van de maatregelen.

## 1.2 Probleembeschrijving

Voor het stroomgebied van de oude Bornse beek zijn meerdere soorten informatie nodig die met een oppervlaktewatermodel berekend kunnen worden. Voor het stroomgebied van de oude Bornse beek is nog geen oppervlaktewatermodel beschikbaar. Het oppervlaktewatermodel wordt gebruikt om maatregelen door te rekenen en uitspraken te doen over het oppervlaktewater van het stroomgebied van de oude Bornse beek.

## 1.3 Doelstelling

### Gevoeligheidsanalyse

Met behulp van het oppervlaktewatermodel wordt een gevoeligheidsanalyse gemaakt van het stroomgebied de Oude Bornse Beek. Deze analyse is een onderzoek naar de invloed van variaties in modelparameters op de modeluitkomsten. De gevoeligheidsanalyse is met name belangrijk in situaties waarbij de parameters niet exact bepaald kunnen worden.

### Stroomgebied Actie Programma

Met behulp van het oppervlaktewatermodel worden de gegevens aangeleverd voor het maken van een Stroomgebied Actie Programma voor het stroomgebied van de oude Bornse beek.

Voor een Stap wordt een standaardset aan informatie gevraagd die door het maken van een stationair



oppervlaktewatermodel en het rekenen met een stationair model beschikbaar komt (Stroomgebiedactieplan Azelerbeek – Oelerbeek, 2008<sup>3</sup>; Stroomgebiedactieplan Poelsbeek – Markveldsche Beek 2009<sup>4</sup>).

De informatie die nodig is voor het maken van een Stap:

- De volgende kaarten op basis van leggergegevens en werkelijk gemeten gegevens:
  - Drooglegging  $\frac{1}{4}$  Q (met toelichting)
  - Drooglegging 2 Q (met toelichting)
- De volgende kaarten op basis van leggergegevens:
  - Drooglegging 1Q ( $K_m$  5)
  - Drooglegging 1Q ( $K_m$  25)
- Kaart “Quick-scan overdimensionering” op basis van ontwateringsdiepte
- De volgende kaarten op basis van werkelijk gemeten gegevens:
  - Berekende stroomsnelheid bij  $\frac{1}{4}$  Q
  - Berekende stroomsnelheid bij  $\frac{1}{100}$  Q
  - Berekende stroomsnelheid bij 1Q
- Kaarten die het verschil laat zien tussen de leggergegevens en de werkelijk gemeten gegevens:
  - Peilen bij  $\frac{1}{4}$  Q
  - Peilen bij 2Q

### **Gevoeligheidsanalyse**

Met behulp van het oppervlaktewatermodel wordt een gevoeligheidsanalyse gemaakt van het stroomgebied de Oude Bornse Beek. Deze analyse is een onderzoek naar de invloed van variaties in modelparameters op de modeluitkomsten. De gevoeligheidsanalyse is met name belangrijk in situaties waarbij de parameters niet exact bepaald kunnen worden. De keuze van de modelparameters is gedaan op basis van een interview met medewerkers van het Waterschap Regge en Dinkel.

### **De Gammelkerbeek**

Het waterschap heeft maatregelen bedacht om het stroomgebied van de oude Bornse beek aan de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) te laten voldoen.

Enkele van deze maatregelen zijn het verwijderen van stuwen bij de Gammelkerbeek, het aanleggen van retentiegebieden en natuurlijke stroken langs de watergang. De effecten van deze maatregelen worden berekend met het oppervlaktewatermodel. De volgende combinaties worden gemodelleerd en doorgerekend:

1. Het verwijderen van de stuwen in de Gammelkerbeek.
2. Het aanleggen van retentiegebieden.
3. Natuurlijke stroken langs de Gammelkerbeek.

### **Ontwerp Deurningerbeek**

Het waterschap wil een nieuw ontwerp voor de Deurningerbeek, zodat deze beek net als de Gammelkerbeek ook aan de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) voldoet.

Voor de Deurningerbeek wordt een nieuw ontwerp gemaakt van het leggerprofiel dat deze beek in de toekomst krijgt. Daarna wordt het nieuwe ontwerp getoetst met behulp van het oppervlaktewatermodel.

### **NBW - toetsing**

Binnen het waterschap is er behoefte om de NBW-toetsing uit te voeren. Gezien de termijn van de afstudeerperiode is hier geen ruimte voor. Om de NBW-toetsing uit te voeren is een neerslag/afvoer model nodig. Bij de modelbouw wordt hier wel rekening mee gehouden, zodat het waterschap het stationaire model kan uitbreiden met een neerslag/afvoer model.

### **Conclusies en aanbevelingen**

De gegevens die worden verzameld met dit onderzoek resulteren uiteindelijk in conclusies en aanbevelingen aan het waterschap Regge en Dinkel. Deze conclusies en aanbevelingen worden per onderdeel (Gevoeligheidsanalyse, Stroomgebied Actie Programma, de Gammelkerbeek en een nieuw ontwerp van de Deurningerbeek) beschreven.

## 1.4 Onderzoeksvragen

### Hoofdonderzoeksvraag

Op welke manier kan het stroomgebied van de oude Bornse beek worden geschematiseerd in Sobek, met de volgende doelen: - Een gevoeligheidsanalyse van het model uitvoeren; gegevens verzamelen voor een Stroomgebied Actie Programma; maatregelen voor de Gammelkerbeek doorberekenen; een nieuw ontwerp voor de Deurningerbeek maken - ?

### Subonderzoeksvragen

1. Hoe zit het stroomgebied de Oude Bornse Beek hydrologisch in elkaar?
2. Welk type model wordt gebruikt om het stroomgebied van de oude Bornse beek te modelleren?
3. Komt het model overeen met de meetgegevens van stroomgebied de oude Bornse beek (kalibratie)?
4. Hoe gevoelig is het model met betrekking tot de verschillende parameters?
5. Op welke manier worden gegevens aangeleverd voor het Stroomgebied Actie Programma?
6. Welke maatregelen binnen dit stroomgebied zijn interessant om te toetsen met behulp van het oppervlaktewatermodel van de oude Bornse beek?
7. Hoe worden deze maatregelen geschematiseerd in het oppervlaktewatermodel?
8. Welke effecten hebben de maatregelen op het watersysteem?
9. Op basis van welke randvoorwaarden kan een nieuw ontwerp worden gemaakt voor de Deurningerbeek?

## 1.5 Onderzoeksmethode

Om een antwoord te geven op de onderzoeksvragen zijn er verschillende stappen doorlopen. In de eerste instantie is er een korte inventarisatie gedaan naar het hydrologische systeem van de Oude Bornse Beek. Aan de hand van deze inventarisatie is er een hydrologisch oppervlaktewatermodel (Sobek) opgesteld voor het stroomgebied van de oude Bornse beek.

Het doel van dit model is om een gevoeligheidsanalyse van de verschillende modelparameters uit te voeren, de informatie voor een Stroomgebied Actie Programma aan te leveren, de effecten toetsen van ontworpen maatregelen voor de Gammelkerbeek en een nieuw ontwerp maken voor de Deurningerbeek.

Na de modelbouw wordt een eerste run gedraaid om te kijken of het model correct draait. Allereerst worden de gegevens die het waterschap beschikbaar heeft ingevoerd in het model. Deze zijn in een uitwisselingbestand klaargezet door de afdeling geoprocessing. De niet bekende parameters worden zo goed mogelijk ingevuld. Om de gemeten en berekende waterstanden en debieten overeen te laten komen wordt het model gekalibreerd. Bij het nagenoeg overeenkomen van het gemeten en berekende debiet, de waterstanden en een sluitende waterbalans is de kalibratie klaar.

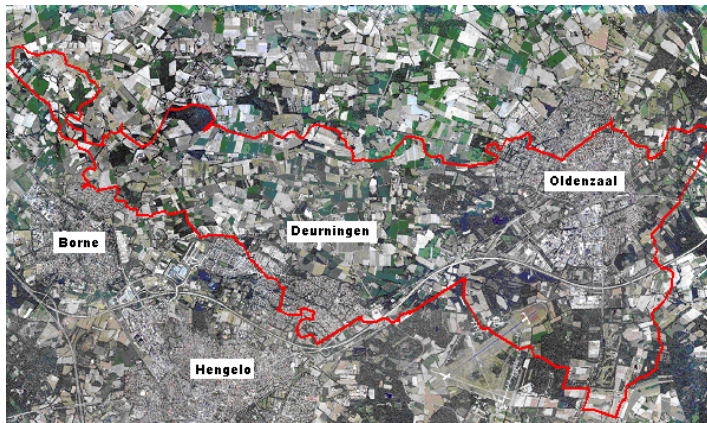
Na de kalibratie wordt een gevoeligheidsanalyse van de verschillende modelparameters uitgevoerd. Vervolgens wordt een standaardset aan informatie aangeleverd die gebruikt wordt voor het maken van een Stroomgebied Actie Programma voor de oude Bornse beek. Daarna worden de effecten van de maatregelen die ontworpen zijn door het waterschap voor de Gammelkerbeek getoetst en wordt een nieuw ontwerp voor de Deurningerbeek gemaakt.

Dit resulteert uiteindelijk in conclusies en aanbevelingen per onderdeel aan het waterschap Regge en Dinkel.

## 2. Gebiedsbeschrijving

### 2.1 Ligging van het gebied

Het stroomgebied van de Oude Bornse Beek is gelegen in Twente, Overijssel. Het omvat de stedelijke gebieden van Oldenzaal, Deurningen en een deel van Hengelo (figuur 2.1 Stroomgebied van de Oude Bornse Beek). Het totale stroomgebied van de Oude Bornse Beek is ongeveer 5400 hectare. Het stedelijk oppervlakte bedraagt ongeveer 545 hectare. Het stroomgebied van de Oude Bornse Beek wordt gevormd door de Oude Bornse Beek en de beken die hierop afwateren. Het gebied wordt in het noorden begrensd door de Gammelkerbeek. In het zuiden door de Deurningerbeek, de Slangenbeek en de Hasselerbeek en in westen watert het stroomgebied af op het Loolee. De oostgrens wordt gevormd door de stad Oldenzaal.



**Figuur 2.1 Stroomgebied van de Oude Bornse Beek**

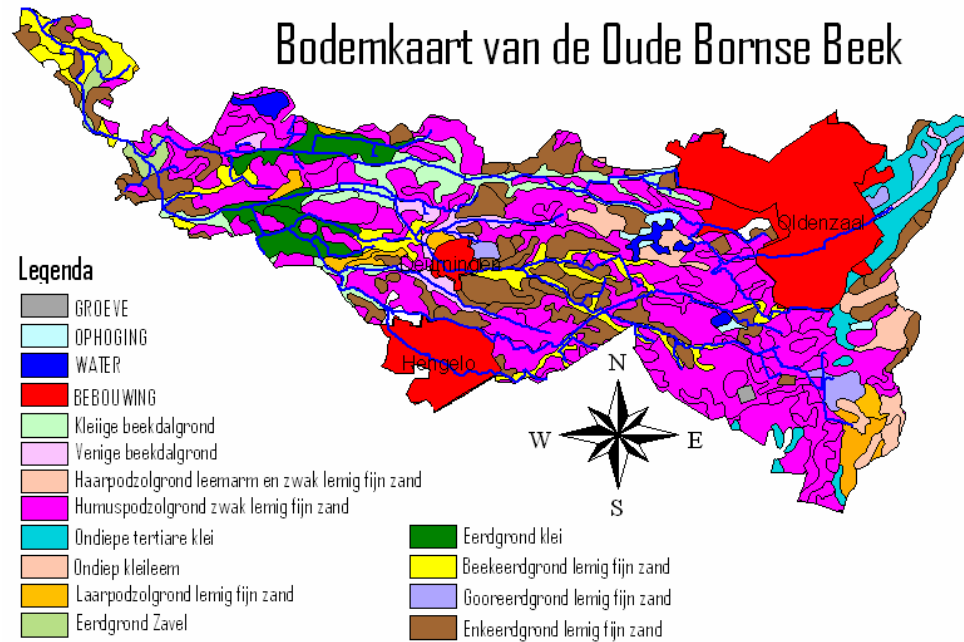
### 2.2 Ontstaan van het landschap

De ondiepe ondergrond van Twente is tijdens het Kwartair gevormd. De laatste twee ijstijden hebben veel invloed op het landschap gehad. Tijdens de voorlaatste ijstijd, het Saalien heeft het landschap vier hoge en een aantal lage stuwwallen gevormd. Toen de ijskap Twente bedekte is materiaal afgezet variërend van zeer fijn tot zeer grof (kleileem). De slecht doorlatende klei- en kleileemlagen werden tijdens warmere perioden diep ingesneden door smeltwaterbeken. De dalen die daarbij ontstonden werden opgevuld met erosiemateriaal.

Tijdens de laatste ijstijd, het Weichselien werd Nederland niet met ijs bedekt. De ondergrond was ook niet met ijs bedekt. Deze vorm veroorzaakte samen met optredende erosie en verstuiving het reliëf in het gebied. In de laatste periode van het Weichselien werd het klimaat droger en kreeg de wind steeds meer invloed. Er werd dekzand afgezet. Tegenwoordig bedekt het dekzand grote delen van het landoppervlak van Twente. De dikte van het huidige dekzandpakket bedraagt meer dan twee meter. Deze processen hebben een landschap gevormd met een eigen bodemgesteldheid (figuur 2.2 Bodemkaart van de Oude Bornse Beek), reliëf en waterhuishouding. Het grootste deel van het gebied bestaat uit humuspodzolgronden van zwak lemig fijn zand. Langs de beken komen verschillende gronden voor, grotendeels zijn dit kleiige gronden.

Het agrarische gebruik heeft het landschap verder ontwikkeld. De zo ontstane essen, droge en natte heidevelden, heideontginningen, broekbossen en beekdalen zijn nog

goed in het gebied herkenbaar (Integraal waterbeheersplan Twente, 1988<sup>5</sup> ; Waterschap Regge en Dinkel, 1998<sup>6</sup>).



**Figuur 2.2 Bodemkaart van de Oude Bornse Beek**

### 2.3 Landgebruik

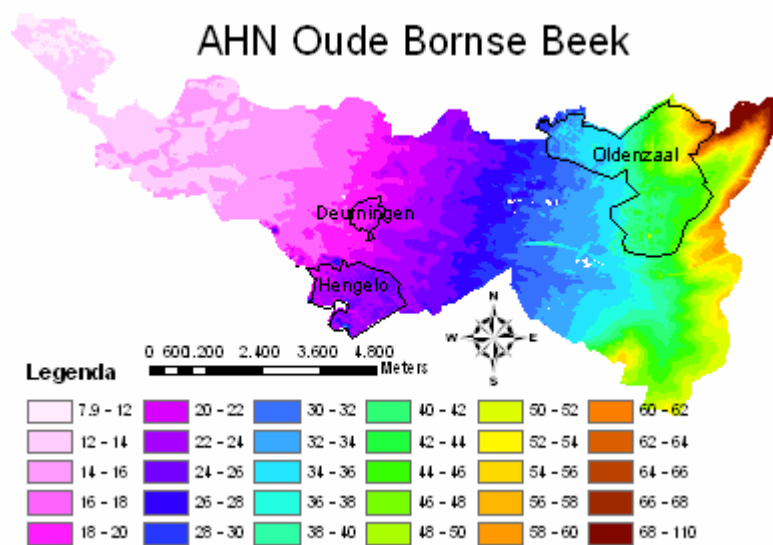
De belangrijkste vorm van landgebruik in het stroomgebied van de Oude Bornse Beek is veeteelt. Het grondgebruik bestaat voornamelijk uit grasland en maïsteelt.

### 2.4 Hoogte

Hoogtegegevens zijn in het hele plangebied beschikbaar door gebruik te maken van het Actueel Hoogtebestand (AHN). Het 5x5 m grid is gebruikt voor de hoogtekarte van het gebied. Voor enkele locaties is deze hoogtekarte niet representatief. Dit geldt onder andere voor huizen, sloten, boomgaarden, kassen, etc. Deze punten zijn niet uit het AHN bestand gefilterd.

In het plangebied komen grote verschillen in maaiveldhoogte voor (Figuur 2.3 AHN Oude Bornse Beek). Uit deze figuur blijkt dat het gebied helt van het zuidoosten naar het noordwesten. Het noordwestelijke deel van het stroomgebied van de oude Bornse beek ligt ongeveer tussen de 10 en 12 meter boven NAP, het zuidoostelijke deel ligt bij Oldenzaal en ligt ongeveer 68 en 70 meter boven

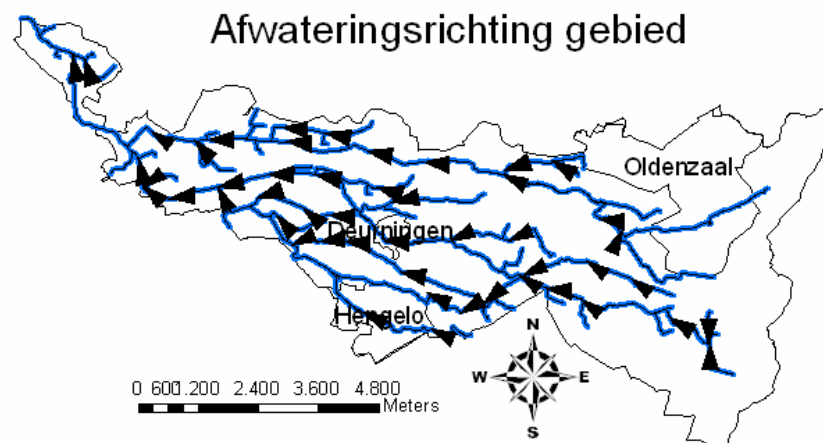
NAP. De hoofdstructuur van het landschap wordt gevormd door de van oost naar west liggende beekdalen.



**Figuur 2.3 AHN Oude Bornse Beek**

## 2.5 De waterhuishouding van het gebied

Het stroomgebied watert af op de Loolee in het noordwestelijke deel van het stroomgebied. De reden hiervoor is dat het gebied in het zuidoostelijke deel bij Oldenzaal hoog ligt ten opzichte van het noordwestelijke deel bij de Loolee (zie figuur 2.3 AHN Oude Bornse Beek). Voor de afwateringsrichting van het gebied zie onderstaande afbeelding (Figuur 2.4 Afwateringsrichting Oude Bornse Beek).



**Figuur 2.4 Afwateringsrichting Oude Bornse Beek**

### Peilbeheer

Bijna alle stuwen zijn vaste stuwen en hebben eenzelfde zomer- en winterpeil. Een aantal zijn voorzien van een vistrap of schotbalken. In het gebied zijn veel stuwen gesitueerd omdat het een erg hellend gebied is. In het gebied zitten in totaal 168 stuwen waarvan 141 vaste overlaten, 21 handmatige schotbalkstuwen, 3 handmatige kantelstuwen en twee regelbare stuwen.

### 3. Oppervlaktewatermodel Oude Bornse Beek

#### 3.1 Keuze 1D Flow Module

Voor de modelschematisatie van stroomgebied de Oude Bornse Beek is gebruik gemaakt van het oppervlaktewatermodel Sobek. Elk model is een versimpeling van de werkelijkheid. In het model is gebruik gemaakt van de 1D Flow module.

Deze keuze voor deze methode is gemaakt vanuit de opdracht van het Waterschap Regge en Dinkel en het Kwaliteitshandboek Hydrologie 1.0 van het waterschap Regge en Dinkel.

In dit handboek staan richtlijnen om stationair te rekenen en niet-stationair te rekenen. Bij twijfel wordt stationair gerekend, maar wordt bij de opzet van het model er rekening mee gehouden dat men het bestaande model om kan bouwen naar een niet-stationair model (Kwaliteitshandboek hydrologie 1.0, 2003<sup>7</sup>).

#### Gevoeligheidsanalyse

Met behulp van het model wordt een gevoeligheidsanalyse gemaakt van het Stroomgebied van de Oude Bornse Beek. Berekeningen voor de gevoeligheidsanalyse zullen worden uitgevoerd aan de hand van verschillende vegetatieniveaus en andere profielen voor de watergang. Voor de vegetatieniveaus worden verschillende Km (weerstand) waarden gebruikt voor een stationaire afvoer van 1/100 Q. Om de profielen te toetsen wordt een 2Q hoogwatersituatie doorgerekend om de drooglegging bij de verschillende profielen in beeld te brengen.

#### Stroomgebied Actie Programma

Voor een Stroomgebied Actie Programma (Stap) wordt een standaardset aan informatie gevraagd. Op basis van deze standaard set aan informatie wordt een constante afvoer op het model gemodelleerd. Dit zijn de standaard ontwerpsituaties die het waterschap hanteert (Tabel 3.1 standaard ontwerpsituaties) (Kwaliteitshandboek hydrologie 1.0, 2003<sup>7</sup>). Met behulp van het stationaire oppervlaktewatermodel worden gegevens aangeleverd voor het maken van een Stroomgebied Actie Programma voor het stroomgebied van de Oude Bornse Beek.

| Situatie                           | Frequentie van voorkomen                                          |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 2Q: Maximum waterafvoer            | Wordt 1 á 2 dagen per 50 tot 100 jaar bereikt of overschreden     |
| 1Q: Hoogwater afvoer               | Wordt 1 á 2 dagen per jaar bereikt of overschreden                |
| ¼Q: Gemiddelde 'voorjaar' situatie | Wordt ± 80 dagen per jaar bereikt of overschreden                 |
| 1/100Q: basisafvoer zomer          | Wordt gedurende ± 90% van de zomerperiode bereikt of overschreden |

**Tabel 3.1 Standaard ontwerpsituaties**

#### De Gammelkerbeek

In de Gammelkerbeek worden stuwen verwijderd (worden vispasseerbare steendammetjes). Om de effecten van deze maatregelen in beeld te krijgen wordt een piekafvoer gemodelleerd van 2Q en een gemiddelde voorjaars situatie van 1/4Q, zodat het effect wordt bekeken voor de piekafvoeren en de opstuwings bij 1/4Q van de vispasseerbare steendammetjes die geplaatst worden ter vervanging van de stuwen. Door berekeningen uit te voeren met het stationaire oppervlaktewatermodel kunnen uitspraken gedaan worden over de effecten van deze maatregel.

#### Ontwerp van de Deurningerbeek

Voor de Deurningerbeek wordt een nieuw legger profiel gemaakt. Dit profiel wordt vergeleken met het huidige profiel. Er wordt een nieuw profiel gemaakt op basis van de 1/100Q, de 1/4Q, 1Q en de 2Q situaties. Allereerst zijn randvoorwaarden opgesteld waar het nieuwe ontwerp aan moet voldoen.



Het model is opgebouwd met behulp van verschillende ‘nodes’ die in Sobek beschikbaar zijn. Aan deze nodes zijn gegevens toegevoegd met behulp van de Sobekstekker. Deze stekker koppelt gegevens die in Arcgis staan aan de nodes die in Sobek gebruikt worden.



\* De Flow - Connection Node wordt gebruikt om verbindingen te realiseren tussen verschillende afvoervakken (Een watergang wordt opgedeeld in meerdere afvoervakken, deze indeling is gemaakt op basis van gebiedskenmerken).

\* Een Flow - Boundary wordt gebruikt om randvoorwaarden voor het stroomgebied op te leggen, bij deze knoop stroomt het water het gebied uit. Door aan dit punt een peil op te geven wordt een randvoorwaarde opgesteld voor de boundary.

\* De Flow - Calculation Point is een node die berekeningen in het model uitvoert. Deze nodes rekenen onder andere waterstanden uit.

\* Met behulp van een Flow - Cross Section (dwarsprofielen) wordt vormgegeven aan de watergang. Met deze node kun je op meerdere manieren een profiel van een watergang maken.

\* De Flow - Weir (stuw) is een node waarmee een stuw wordt gemodelleerd evenals de Flow - Universal Weir (stuw). De eerste wordt gebruikt om een vaste stuw te modelleren en de tweede kan worden gebruikt bij een vaste stuw, maar ook bij een stuw met een 'ander' profiel.

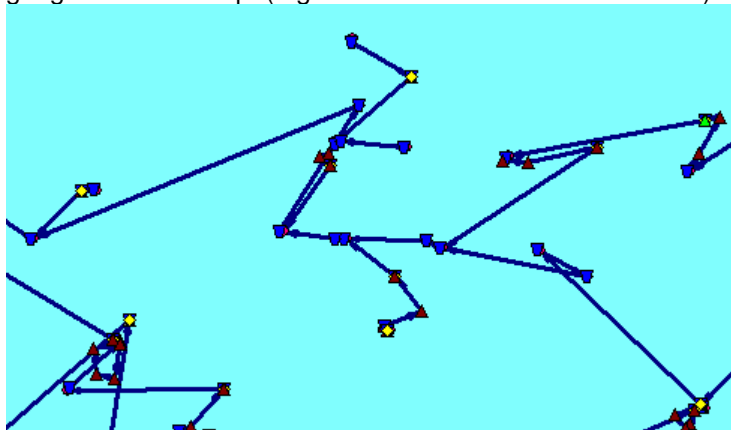
\* De Flow - Culvert (duiker) wordt gebruikt om een duiker te schematiseren.

\* De Flow – Reaches, dit is de verbinding tussen nodes.

Met behulp van deze nodes is een Sobek model geschematiseerd die overeenkomt met de werkelijke situatie. In de volgende paragrafen wordt verder ingegaan op de invulling van deze nodes en de ontbrekende.

De gegevens voor het model zijn gemaakt met behulp van de Sobek Stekker. Deze koppelt gegevens die in Arcgis staan aan de nodes die in Sobek gebruikt worden. Echter de Sobekstekker geeft

verkeerde locaties aan de nodes waardoor deze op dezelfde plek terecht komen, waardoor het model geografisch niet klopt (Figuur 3.2 Verkeerde locaties nodes).



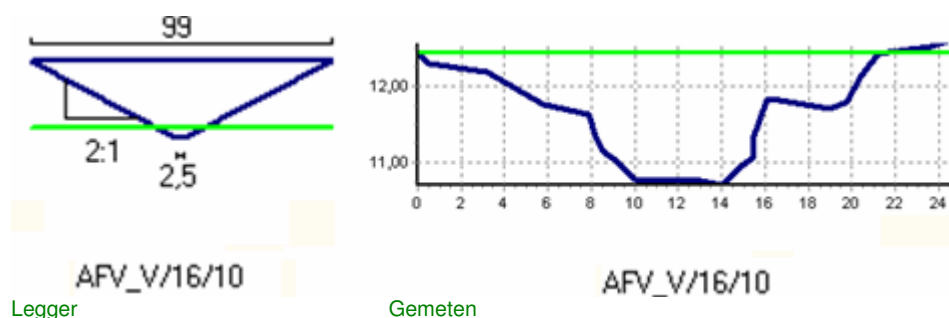
**Figuur 3.2 Verkeerde locaties nodes**

Om het model werkend te krijgen is gekozen voor de importeer optie in Sobek. Met behulp van de importeer optie is het mogelijk een shapefile bestand dat gemaakt is in Arcgis te importeren in Sobek. In Arcgis is een Shapefile gemaakt van de verschillende afwateringsvakken, zodat een geraamte ontstaat van alle watergangen die het stroomgebied van de Oude Bornse Beek heeft. Deze Shapefile is geïmporteerd in Sobek, zodat een netwerk ontstaat van verschillende afvoervakken. Elk afvoervak is een aparte tak (reach) met boven- en benedenstrooms een verbindingsknoop (Connection node).

### **Profielen van de waterlopen legger en gemeten**

Voor de Oude Bornse Beek zijn twee modellen gemaakt: De legger situatie en de gemeten situatie. De legger situatie is de juridisch vastgestelde afmeting voor de watergangen die het waterschap beheert. De gemeten situatie zijn de werkelijke gegevens zoals de watergangen buiten vertonen. Met behulp van Arcgis zijn x en y coördinaten toegevoegd aan deze knopen, zodat deze geïmporteerd kunnen worden in Sobek met de optie 'Add reach elements'. Voor de legger situatie is zowel aan het begin als aan het eind van een leidingsvak een profielknoop gelegd. Beide knopen verwijzen naar hetzelfde profiel, maar hebben meestal een verschillend bodemniveau, waardoor het verhang van het vak wordt meegenomen. Voor de gemeten profielen geldt door de regel om de ongeveer honderd meter een profiel.

In (Figuur 3.3 Legger profiel en gemeten profiel Oude Bornse Beek) zie je twee profielen, de linker toont de legger situatie en de rechter de gemeten situatie. Dit profiel is voor dezelfde watergang op hetzelfde punt. Het linkerprofiel is het leggerprofiel, een "strakke bak". Het rechter profiel is hoe het profiel zich buiten in de 'werkelijke' situatie ontwikkelt. Door zowel de legger als de gemeten profielen te schematiseren wordt berekend wat het verschil is tussen deze twee profielen.



**Figuur 3.3 Legger profiel en gemeten profiel Oude Bornse Beek**

In het legger-model zijn 663 dwarsprofielen opgenomen op basis van leggergegevens, het gaat daarbij om de volgende gegevens:

- bodemhoogte boven (m+NAP)
- bodemhoogte beneden (m+NAP)
- bodembreedte (m)
- talud links (n horizontaal/ 1 verticaal)



- talud rechts (n horizontaal/ 1 verticaal)
- maaiveld

In het gemeten-model zijn 934 dwarsprofielen opgenomen op basis van gemeten gegevens. Voor de gemeten situatie is per profiel een maaiveldhoogte toegevoegd, uit het AHN (5x5 meter grid). Deze is toegevoegd om een check uit te voeren op de gemeten gegevens. Sommige gemeten profielen lagen met de bodem boven maaiveld, deze profielen zijn er met behulp van de check uitgefilterd.

### **Wandruwheid**

Het waterschap gebruikt voor de wandruwheid van waterlopen een Bos en Bijkerk waarde van 34. Dit is een standaard ruwheid die gehanteerd wordt voor waterlopen. Dit is de weerstand van een goed onderhouden watergang (Kwaliteitshandboek hydrologie 1.0, 2003<sup>7</sup>).

### **3.2.2 Kunstwerken**

Naast de waterlopen en de dwarsprofielen is in het model een aantal kunstwerken opgenomen. In Sobek is een optie 'Add reach elements', met deze optie biedt Sobek de mogelijkheid om kunstwerken toe te voegen aan het bestaande netwerk. Met behulp van deze optie zijn de kunstwerken (stuwen en duikers) ingeladen.

In Arcgis zijn nieuwe x en y coördinaten toegevoegd, zodat de geografische locaties van de nodes kloppen. De gegevens voor de nodes zijn verkregen door de Sobekstekker.

### **Duikers (culvert)**

In het model zijn 365 duikers opgenomen, per duiker zijn de volgende gegevens beschikbaar:

- Soort duiker (rond, rechthoek, muil, ellips)
- Breedte (m)
- Hoogte (m)
- Lengte (m)
- Hoogte binnenkant bovenzijde (m+NAP)
- Hoogte binnenkant benedenzijde (m+NAP)
- Hoogte bovenstrooms (m+NAP), bij lange duikers
- Hoogte benedenstrooms (m+NAP), bij lange duikers
- Materiaal (bijvoorbeeld beton, PVC)

Boven en benedenstrooms van de duikers zijn rekenpunten aangebracht, wat de stabiliteit van het model ten goede komt. Voor de Manning-waarde (wandruwheid) van de duikers is een standaardwaarde die het waterschap hanteert van strickler ks 70 genomen (Kwaliteitshandboek hydrologie 1.0, 2003<sup>7</sup>).

### **Stuwen (weir)**

In het model zijn 168 stuwen opgenomen. Per stuw zijn de volgende gegevens beschikbaar:

- soort stuw (bijvoorbeeld, stuw met klop, overlaat, handmatige stuw)
- streefpeil zomer (m+NAP)
- streefpeil winter (m+NAP)
- maximale kruinhoogte (m+NAP)
- minimale kruinhoogte (m+NAP)
- automatisch (ja/nee)
- kruinvorm (rechthoekig, trapezium)
- doorstroombreedte (m)
- kruinbreedte (m)

In Sobek is onderscheid gemaakt tussen stuwen (respectievelijk Weirs en Universal Weirs). In het model zijn 83 Universal Weirs en 85 Weirs opgenomen. De Universal Weirs worden gebruikt als de stuw een afwijkend profiel heeft ten opzichte van een overlaat waarbij de Weirs worden gebruikt. De ligging van de Weirs is veranderd met 5 meter, omdat ze dezelfde coördinaten hebben als de Connection nodes. Deze verplaatsing heeft geen invloed op de uitkomsten van het model.

In een aantal waterlopen bevinden zich vistrappen, deze bestaan uit veelal v-vormige stuwen. In veel modellen wordt de aanname gedaan dat de meest bovenstrooms gelegen profiel van de vistrap het

hydraulisch effect voldoende nauwkeurig weergeeft. Voor de volledigheid van dit model zijn alle stuwen van de vistrap gemodelleerd met behulp van Universal Weirs.

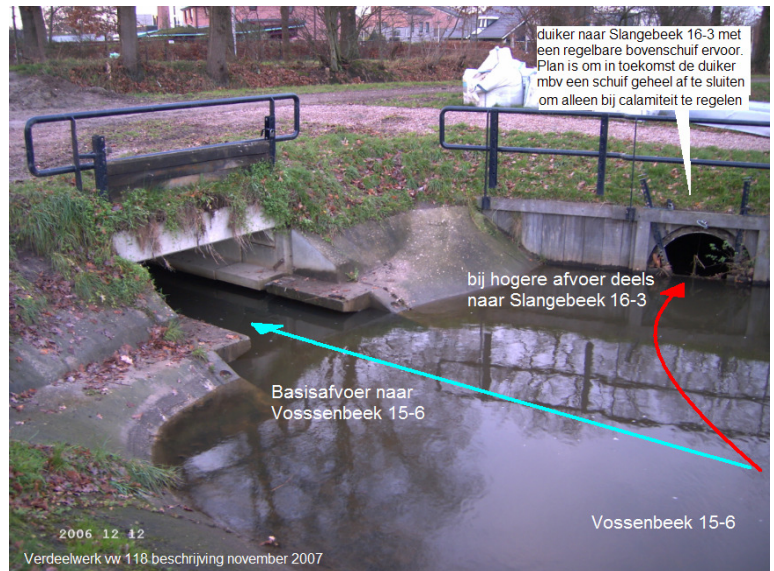
#### *Regelbare stuw*

In het stroomgebied van de Oude Bornse beek zijn twee regelbare stuwen in gebruik voor het sturen van een peil of het verdelen van water. Om de waterstanden en debieten goed te berekenen is het van belang deze stuw overeen te laten komen met de werkelijke situatie. Daarom wordt het zomerpeil gehanteerd bij stationaire situaties van  $1/100 Q$  en  $1/4Q$  en het winterpeil bij stationaire situaties van  $1Q$  en  $2Q$ .

#### **Verdeelwerken**

Verdeelwerken zorgen ervoor dat water wordt verdeeld over twee (of meer) waterlopen. In het stroomgebied van de Oude Bornse beek zijn twee verdeelwerken aanwezig. Verdeelwerk 118 Vossenbeek-Slangenbeek en Verdeelwerk 009 koppelleiding 20-13 en Deurningerbeek.

Bij verdeelwerk 118 Vossenbeek-Slangenbeek gaat de basisafvoer via de Vossenbeek, bij hogere afvoeren wordt de schuif naar de Slangenbeek open gedaan zodat het water door de duiker naar de Slangenbeek kan stromen (Figuur 3.4 Verdeelwerk Vossenbeek-Slangenbeek). In Sobek is dit geschematiseerd door de duiker af te sluiten bij stationaire afvoeren van  $1/100 Q$ ,  $1/4Q$  en  $1Q$  bij afvoeren van  $2Q$  wordt de duiker wel gebruikt en kan het water naar de Slangenbeek stromen. Op de plek waar het water uit het gebied stroomt is een Boundary node gemodelleerd. Als randvoorwaarde is het waterpeil bij de afvoeren  $1/100 Q$ ,  $1/4Q$ ,  $1Q$  en  $2Q$  van een bestaand model opgelegd.



**Figuur 3.4 Verdeelwerk Vossenbeek-Slangenbeek**

Bij verdeelwerk 009 koppelleiding 20-13 en Deurningerbeek gaat de basisafvoer naar de Deurningerbeek alleen bij hogere afvoeren wordt de afvoergolf afgevoerd naar de koppelleiding. In Sobek is dit geschematiseerd door een Boundary node te modelleren op de plak waar het water het gebied uitstroomt. Als randvoorwaarde is het waterpeil bij de afvoeren  $1/100 Q$ ,  $1/4Q$ ,  $1Q$  en  $2Q$  van een bestaand model opgelegd.

#### **Randvoorwaarden**

Het gehele model watert uiteindelijk af via de oude Bornse beek op het Loolee. In het model is dit opgenomen door benedenstrooms twee Boundary nodes te modelleren (randvoorwaarden). Deze nodes hebben een constante waterstand als randvoorwaarde gekregen. Als randvoorwaarde is eveneens het waterpeil van het Loolee bij de afvoeren  $1/100Q$ ,  $1/4Q$ ,  $1Q$  en  $2Q$  van een bestaand model opgelegd.

### **3.2.3 Afwaterend oppervlak**

De afvoerfactoren die in het gebied zijn gebruikt zijn gebaseerd op de bodemkaart en vertaald volgens de methode van het Cultuurtechnisch Vademecum. Voor een  $1Q$  situatie geldt in het stroomgebied

van de oude Bornse beek een afvoer van 0,82 liter per seconde per hectare. Dit getal is omgerekend voor de afvoeren van 1/100Q, 1/4Q en 2Q (Tabel 3.2 Afvoerfactoren van stationaire situaties).

| Q afvoerfactor | Liter per seconde per hectare (l/s/ha) |
|----------------|----------------------------------------|
| 1/100Q         | 0,0082                                 |
| 1/4Q           | 0,205                                  |
| 1Q             | 0,82                                   |
| 2Q             | 1,64                                   |

**Tabel 3.2 Afvoerfactoren van stationaire situaties**

Met behulp van de Lateral flow node is het mogelijk om afwaterend oppervlakte en een constant debiet aan de watergang toe te voegen. Ook is het mogelijk om in Sobek een debiet toe te voegen aan een afvoervak.

In dit model is gekozen voor de tweede optie; een debiet toe voegen aan een afvoervak, omdat zo niet het hele oppervlakte op 1 punt in de watergang erbij komt maar gelijkmatig wordt verdeeld over het hele afvoervak (Figuur 3.5 Formule gebruikt voor het debiet per meter per seconde).

Het berekende debiet van 0,00000988 m<sup>3</sup>/s/ha wordt toegevoegd aan de gehele tak. Met behulp van een formule in Excel zijn de waarden gemaakt en ingeladen in lateral.dat waardoor het model de berekende debieten over het gehele afvoervak verspreid.

**Formule gebruikt voor het debiet per meter per seconde**

Afvoerfactor: A (l/s/ha)

Oppervlak: O (ha)

Lengte vak: L (lengte in m)

$$M3/M/S = ((A/1000)*O)/L$$

Een voorbeeld voor afvoervak: AFV\_V/16010103/10

De afvoerfactor A is 0,0082 l/s/ha.

Het oppervlak O van dit vak is 33,48 hectare.

De lengte L van het vak is 677 m.

Formule:  $((0,0082/1000)*33,48)/677 = 0,00000988 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$

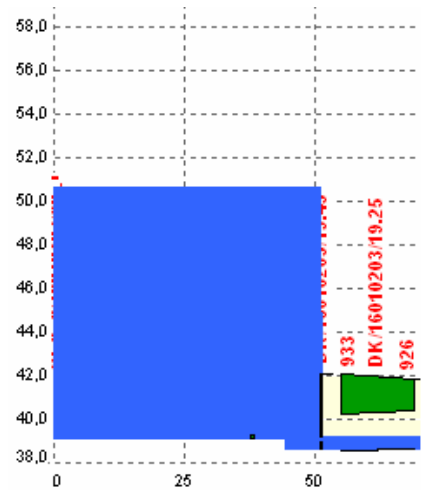


**Figuur 3.5 Formule gebruikt voor het debiet per meter per seconde**

### 3.3 Model test

Voor de modeltest dient er gekeken te worden of het model de verwachte gebeurtenissen laat zien. Hierdoor wordt aangetoond dat het model correct werkt. Het watersysteem van de Oude Bornse Beek is getest met een constante afvoerfactor van  $1/4Q$ . Deze hoeveelheid water mag in het model niet tot problemen leiden. In Sobek zijn de resultaten van deze test bekeken met behulp van meerdere Sideviews (een Sideview is een dwarsdoorsnede van de watergang).

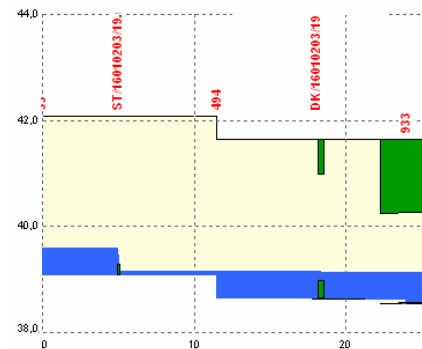
Doormiddel van de modeltest zijn verschillende correcties uitgevoerd voor kunstwerken die in het model gemodelleerd zijn. Deze kunstwerken waren niet goed gemodelleerd doordat er verkeerde gegevens in stonden. Dit kan onder andere de oorzaak zijn van foute gegevens die aangeleverd zijn.



**Figuur 3.6 Duiker die leidt tot opstuwing**

In figuur 3.6 is een Sideview gemaakt van een duiker in de Gammelkerbeek. Deze duiker veroorzaakt grote opstuwing in het model en leidt tot problemen bij een constante afvoer van  $1/4Q$ .

Deze duiker heeft een doorsnede van 200 mm terwijl omliggende duikers een doorsnede van ongeveer 2000 mm hebben. Deze duiker is aangepast in het model, zodat hij geen opstuwing meer veroorzaakt figuur 3.7.



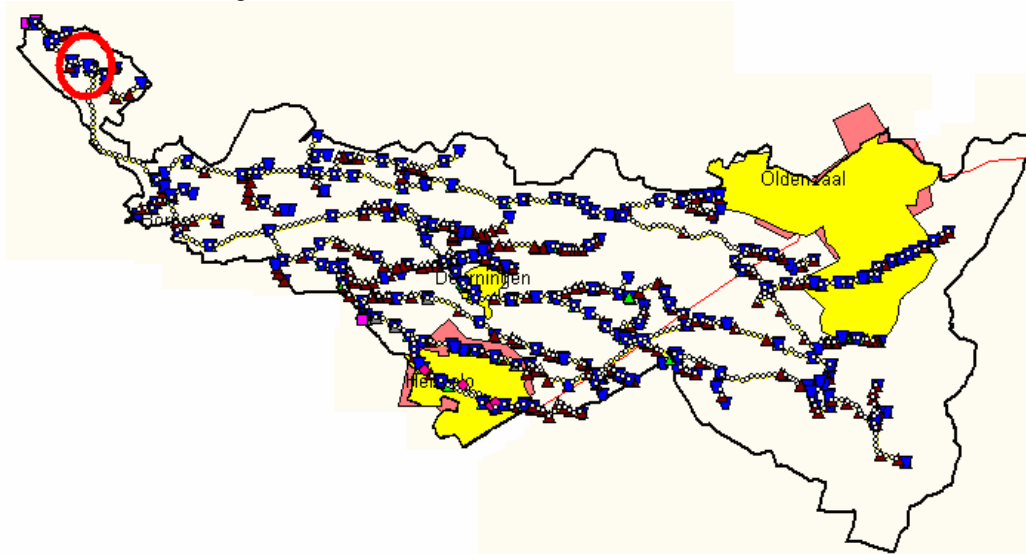
**Figuur 3.7 Aangepaste duiker leidt niet meer tot opstuwing**

### 3.4 Model kalibratie

Na de modeltest die inzicht heeft gegeven op de werking van het model is het model gekalibreerd. De output van het model is sterk afhankelijk van de gegevens die zorgen voor de input van de kunstwerken en dwarsprofielen. Het model kan geoptimaliseerd worden door het gericht aanpassen van kunstwerken en dwarsprofielen die op de watergangen zijn gemodelleerd. Met het kalibratieproces is geprobeerd het model zo goed mogelijk overeen te laten komen met de werkelijke situatie.

De meetgegevens van het waterschap Regge en Dinkel zijn gebruikt om het model te kalibreren. In het stroomgebied de Oude Bornse Beek is een meetpunt aanwezig. Dit meetpunt is de eerste stuw

van een vistrap (Figuur 3.8 Meetpunt van het stroomgebied de Oude Bornse Beek). Dit meetpunt meet debieten en waterstanden in de Oude Bornse Beek. De meetreeks is in de periode van 1-2-2001 tot en met 1-2-2010 gemeten.

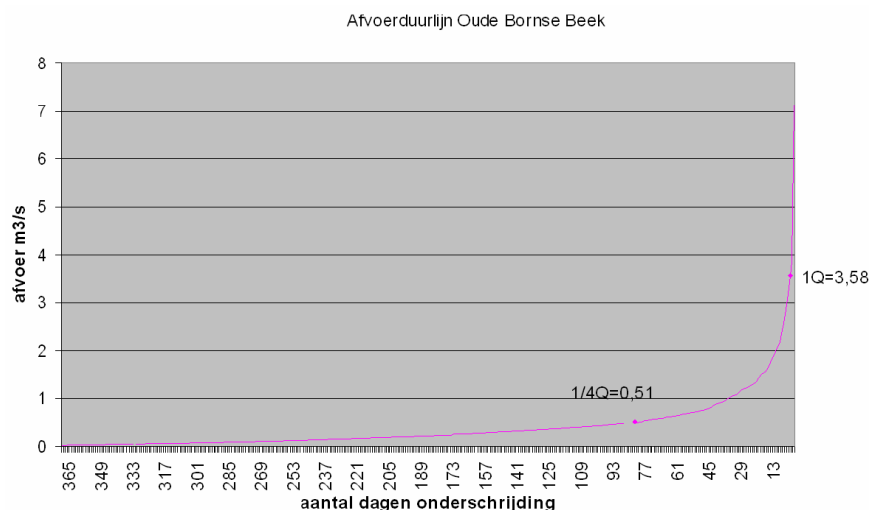


**Figuur 3.8 Meetpunt van het stroomgebied de Oude Bornse Beek (rode cirkel)**

### Debiet

Het model is gekalibreerd voor constante afvoeren van  $1/4Q$  (gemiddelde voorjaar situatie) en  $1Q$  (hoogwater afvoer). De afvoerfactoren die in het model zijn gebruikt zijn gebaseerd op de bodemkaart en vertaald volgens de methode van het Cultuurtechnisch Vademecum naar l/s/ha. Dit betekent voor een  $1/4Q$  situatie 0,205 liter per seconde per hectare en voor een  $1Q$  situatie 0,82 liter per seconde per hectare. Door ongeveer 3 dagen door te rekenen is het model constant geworden. Dit betekent voor de debieten dat het model dan een constant debiet afvoert. Dit debiet is vergeleken met de gemeten situatie.

De meetreeks is gebruikt om een afvoerduurlijn van het debiet te maken. In de afvoerduurlijn is een punt gemaakt van de  $1/4Q$  situatie (gemiddelde voorjaarsituatie) en de  $1Q$  (hoogwaterafvoer) situatie. De gemiddelde voorjaarsituatie  $1/4Q$  in de watergang van de Oude Bornse Beek heeft een gemeten debiet van 0,51 m<sup>3</sup>/s en de hoogwatersituatie een debiet van 3,87 m<sup>3</sup>/s. (Figuur 3.9 Afvoerduurlijn Oude Bornse Beek)



**Figuur 3.9 Afvoerduurlijn Oude Bornse Beek**

De berekende waarde met het model voor afvoerfactoren die zijn gebaseerd op de bodemkaart en vertaald volgens de methode van het Cultuurtechnisch Vademecum is voor  $1/4Q$  situatie 0,98m<sup>3</sup>/s en voor een  $1Q$  situatie 3,73 m<sup>3</sup>/s. De berekende waarden met het model voor een  $1Q$  situatie komen

nagenoeg overeen met de gemeten waarden, maar bij een 1/4Q situatie vallen de berekende waarden van het model hoger uit dan de gemeten waarden (Tabel 3.3 Model waarden en gemeten waarden).

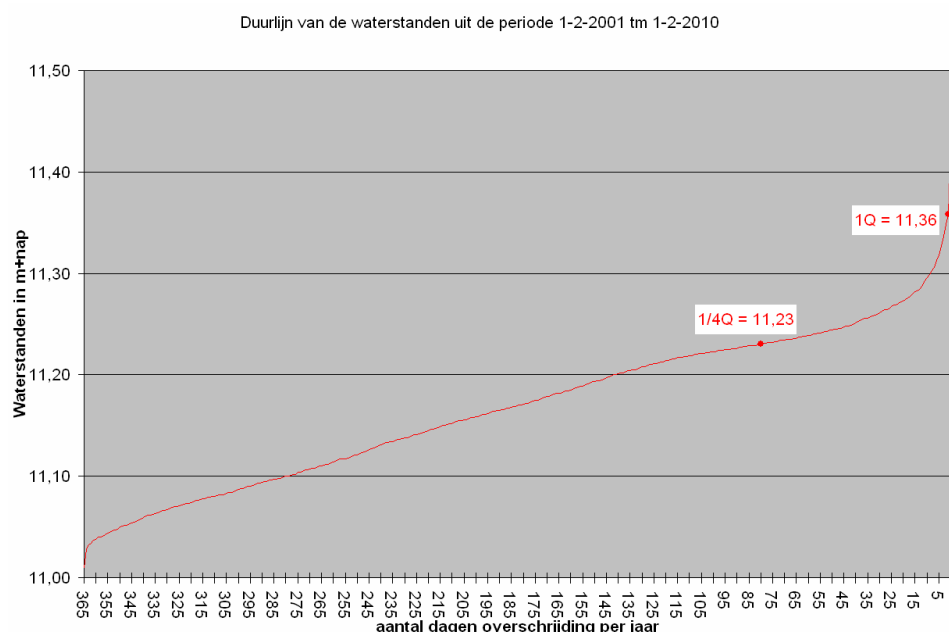
|      | Gemeten                | Model                  |
|------|------------------------|------------------------|
| 1/4Q | 0,51 m <sup>3</sup> /s | 0,98 m <sup>3</sup> /s |
| 1Q   | 3,87 m <sup>3</sup> /s | 3,73 m <sup>3</sup> /s |

**Tabel 3.3 Model waarden en gemeten waarden**

### Waterstanden

Daarnaast is de meetreeks gebruikt om een duurlijn van de waterstanden te maken. In de duurlijn is een punt gemaakt van zowel de 1/4Q situatie als de 1Q situatie. De gemiddelde voorjaars situatie 1/4Q in de watergang van de Oude Bornse Beek heeft een gemeten waterstand van 11.23m+NAP en de 1Q situatie een waterstand van 11.36 m+NAP.

De berekende waterstanden met het model is voor een 1/4Q situatie 11.28 m+NAP en voor een 1Q situatie 11.37 m+NAP. De berekende waarden met het model voor een 1Q situatie komen nagenoeg overeen met de gemeten waarden (Figuur 3.10 Duurlijn van de gemeten waterstanden van de Oude Bornse Beek). Echter bij de 1/4Q situatie vallen de berekende waarden in het model wederom hoger uit.



**Figuur 3.10 Duurlijn van de gemeten waterstanden van de Oude Bornse Beek**

Waarschijnlijk zit er een fout in de meetgegevens aangeleverd door het waterschap Regge en Dinkel. De meetreeks heeft een debiet van 3.87 voor de 1Q situatie. Je kan aannemen dat een 1/4Q situatie ongeveer 25% van de 1Q situatie is (0.97m<sup>3</sup>/s). Echter in de meetreeks is dit niet het geval, het debiet voor 1/4Q valt ongeveer de helft lager uit. Bij de waterstanden is dit ook het geval, 1/4Q klopt niet, de waarden vallen hoger uit. Bij deze meetreeks worden vraagtekens gesteld, daarom is in overleg met het waterschap besloten verder te rekenen met de afvoerfactoren gebaseerd op de bodemkaart en vertaald volgens de methode van het Cultuurtechnisch Vademecum. Wel raad ik aan om de meetreeks te valideren, maar dat valt buiten het kader van deze opdracht. Met de methode die nu gebruikt wordt, wordt het best haalbare resultaat met het model bereikt. Met dit model kunnen betrouwbare uitspraken worden gedaan over de verschillende situaties die met behulp van het model berekend worden. Het model is niet gevalideerd omdat het model werkt met constante afvoeren.

### 3.5 Logboek

Tijdens de modelbouw, modeltest en modelkalibratie zijn ontbrekende gegevens en 'rare waarden' van modelparameters gewijzigd. Deze wijzigingen zijn met behulp van foto's, interpolaties en waarden in de directe omgeving doorgevoerd. Van deze wijzigingen is een logboek bijgehouden conform het handboek Good Modelling Practice (Bijlage 1 Logboek) (Good Modelling Practice, 1900<sup>8</sup>).



## 4. De Gevoeligheidsanalyse

### 4.1 Inleiding

De gevoeligheidsanalyse is een belangrijk hulpmiddel bij de studie van wiskundige modellen. Bij de gevoeligheidsanalyse wordt met het model geëxperimenteerd door de instelwaarden van de modelparameters, beginvoorwaarden, etc. te variëren. Aan de hand van deze variaties worden de uitkomsten van het model met elkaar vergeleken voor deze verschillende situaties (Gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse, 1990<sup>9</sup>; Maaßen of niet, 2006<sup>10</sup>). Op deze wijze kan men:

- Inzicht verkrijgen in de complexiteit en het gedrag van het model. Dit kan onder andere nuttig zijn als uitkomsten van het model met elkaar vergeleken worden.
- Een idee krijgen van de gevoelige componenten (bijvoorbeeld parameters en beginvoorwaarden in het model).

### 4.2 Strategie van de gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met behulp van het 1D Flow model van de Oude Bornse beek. De gevoeligheidsanalyse brengt in beeld wat de stroomsnelheid is ten opzichte van de begroeiingsgraad voor de constante afvoer 1/100Q. Daarnaast worden de profielen van de watergang veranderd van een cultuurtechnisch profiel naar een tweefasen profiel en een natuurlijk profiel. De keuze van deze modelparameters is gemaakt op basis van een interview met medewerkers van het Waterschap Regge en Dinkel.

#### Km waarden

Met behulp van het model wordt in beeld gebracht hoe de stroomsnelheid van het model verandert bij verschillende ruwheidfactoren.

Er is voor gekozen om de begroeiingsgraad (ruwheidfactor) in Sobek door te rekenen met de methode van De Bos en Bijkerk. In De Bos en Bijkerk is de ruwheid afhankelijk van de waterstand. Dit geeft een representatieve waarde voor de werkelijkheid, omdat in de praktijk de ruwheid ook afhankelijk is van de waterdiepte.

De door De Bos en Bijkerk opgestelde formules geven een richtlijn van de te verwachten Km waarden. De formules houden rekening met de begroeiingsgraad van de watergangen. Dit blijkt uit de onderstaande formule (Cultuurtechnische vereniging, 1998<sup>11</sup>):

$$k_M = \gamma * h^\delta$$

Waarin:

|                      |   |               |                        |
|----------------------|---|---------------|------------------------|
| $k_M$                | = | wandruwheid   | ( $m^{1/3} * s^{-1}$ ) |
| $h$                  | = | waterdiepte   | (m)                    |
| $\gamma$ en $\delta$ | = | coëfficiënten |                        |

Voor de afvoer wordt 1/100Q gehanteerd, omdat deze afvoer gemiddeld de meeste dagen in het jaar voorkomt (wordt ongeveer 90% van het jaar bereikt of overschreden). Voor de ruwheid worden zeven scenario's doorgerekend met verschillende ruwheidwaarden (km). In de onderstaande tabel 4.1 wordt aangegeven welke waarden van Km worden gebruikt en welke begroeiing van de waterloop daarbij hoort. De ruwheid wordt toegepast voor het hele stroomgebied van de Oude Bornse Beek.

| Waarde van Km | Mate van begroeiing           |
|---------------|-------------------------------|
| 5             | Extreme begroeiing            |
| 10            |                               |
| 15            |                               |
| 20            | Matige begroeiing             |
| 25            |                               |
| 30            |                               |
| 35            | Niet of nauwelijks begroeiing |

**Tabel 4.1 Km waarden en mate van begroeiing**

Door verschillende ruwheidswaarden te hanteren voor een afvoerfactor van 1/100Q kunnen uitspraken gedaan worden over de gevoeligheid van het systeem met betrekking tot een grote of een lage begroeiingsfactor in vergelijking met de stroomsnelheid. Om dit goed in beeld te brengen worden



stroomsnelheidskaarten gemaakt van de verschillende kM waarden bij een constante afvoer van 1/100Q.

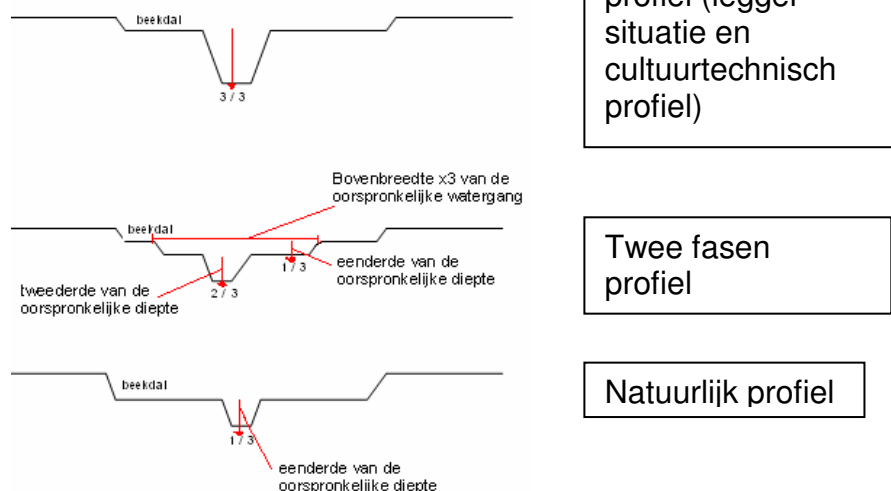
### Profielen van de watergang

Met behulp van het model wordt in beeld gebracht hoe het model reageert op verschillende profielen van de watergangen. Dit is gedaan door verschillende profielen te hanteren voor de watergangen, namelijk een cultuurtechnisch profiel (bestaande legger), een twee fasen profiel en een natuurlijk profiel.

De profielen worden als volgt gedefinieerd (Figuur 4.1 Definitie van de profielen). Het cultuurtechnisch profiel is de bestaande leggersituatie (de oorspronkelijke watergang). Bij het tweefasen profiel wordt de diepte van de sloot met 1/3 van de oorspronkelijke watergang verminderd en wordt de breedte van de watergang met 1/3 verminderd ten opzichte van de oorspronkelijke watergang. Daarentegen wordt de bovenkant wordt 2x de breedte van de oorspronkelijke watergang, zodat een deel van het beekdal watergang wordt.

Bij het natuurlijk profiel wordt de breedte van de watergang 1/3 kleiner dan de oorspronkelijke watergang en de diepte wordt ook verminderd met 2/3 van de oorspronkelijke watergang, zodat een klein bakje overblijft. Het water krijgt de ruimte om gebruik te maken van de beekdalen, zodat deze kunnen inunderen.

#### Een overzicht van de profielen:



**Figuur 4.1 Definitie van de profielen**

Voor het oorspronkelijke profiel, het tweefasen profiel en voor het natuurlijk profiel wordt een 2Q situatie doorgerekend om te kijken hoeveel ruimte het water nodig heeft voor extreme situaties. Door verschillende profielen te hanteren voor een constante afvoer van 2Q kunnen uitspraken gedaan worden over de gevoeligheid van het systeem met betrekking tot het cultuurtechnisch profiel, het tweefasen profiel en het natuurlijk profiel. Om dit goed in beeld te brengen worden droogleggingskaarten gemaakt van de verschillende profielen bij een constante afvoer van 2Q.

### **Situaties die worden doorgerekend**

De volgende situaties worden met behulp van het 1D flow model berekend:

Km:

- Oorspronkelijke profiel, Km5, 1/100Q
- Oorspronkelijke profiel, Km10, 1/100Q
- Oorspronkelijke profiel, Km15, 1/100Q
- Oorspronkelijke profiel, Km20, 1/100Q
- Oorspronkelijke profiel, Km25, 1/100Q
- Oorspronkelijke profiel, Km30, 1/100Q
- Oorspronkelijke profiel, Km35, 1/100Q

Profiel:

- Oorspronkelijk profiel, 2Q
- Tweefasen profiel, 2Q
- Natuurlijk profiel, 2Q

### **Stroomsnelheid**

Het waterschap heeft haar beheersgebied ingedeeld in verschillende soorten watergangen. De Deurningerbeek en Gammelkerbeek vallen onder de R5 watergangen. Bij het waterschap worden normen gehanteerd over de stroomsnelheid die een watergang minimaal zou moeten halen bij een stationaire situatie van 1/100Q. Voor een R5 watergang is de minimale stroomsnelheid 10 cm/s. (Kaart 2: Waterlopenkaart Waterbeheerplan, 2010<sup>12</sup>; Stroomgebiedactieplan Azelerbeek – Oelerbeek, 2008<sup>3</sup>)

In de kaarten die gemaakt zijn van de verschillende situaties wordt 10 cm/s als leidraad aangehouden. Alle waarden beneden de 10 cm/s zijn groen of geel gekleurd en worden bestempeld als 'niet goed' alle waarden boven de 10 cm/s zijn licht of donker blauw gekleurd en worden bestempeld als 'goed'. Dit geldt alleen voor de hoofdwatgang en niet voor de zijwatergangen die de Deurningerbeek en de Gammelkerbeek kennen, omdat deze watergangen niet bestempeld worden als R5 watergangen. Er worden alleen uitspraken gedaan over de Deurningerbeek en de Gammelkerbeek, omdat deze informatie voor de gevoeligheidsanalyse voldoende is.

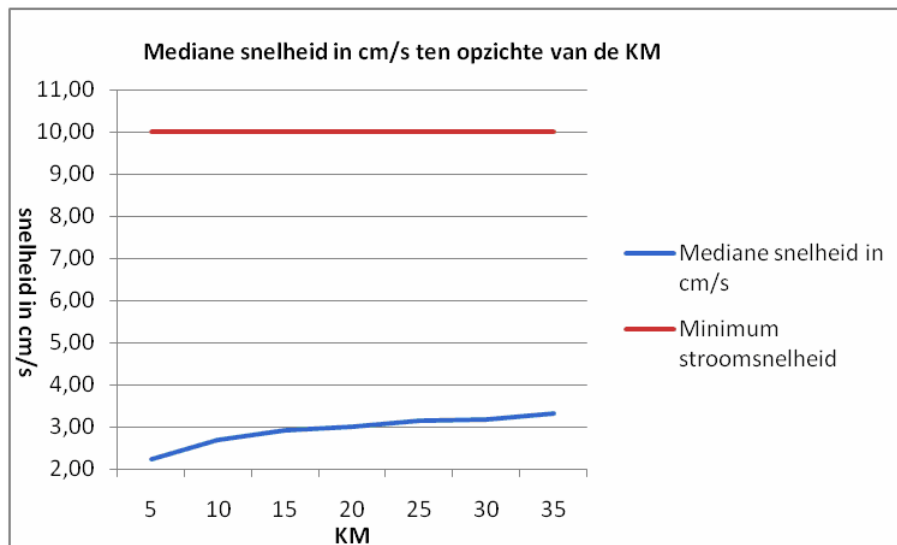
### **4.3 Resultaten Km waarde**

Met behulp van het model zijn berekeningen uitgevoerd voor de gevoeligheidsanalyse van de modelparameters. Voor de gevoeligheidsanalyse is in het model gerekend met verschillende Km waarden voor een stationaire afvoer van 1/100Q (zie paragraaf 4.2 situaties die worden doorgerekend).

De verschillen in de stroomsnelheden van de berekende situaties zijn minimaal. Er is voor gekozen om alleen de kaarten van 1/100Q met een Km van 5 en een Km van 35 in de bijlage van het rapport te plaatsen omdat de verschillen in stroomsnelheid tussen de overige kaarten minimaal zijn als de Km waarde met telkens 5 omhoog of omlaag gaat. Bij een ruwheidswaarde Km 5 wordt de minimale stroomsnelheid van 10 cm/s niet gehaald, veel waterlopen zijn geel (bijlage 2 Kaart A). Als er niet of nauwelijks vegetatie aanwezig is in de waterloop (weerstandswaarde Km 35) wordt de minimale stroomsnelheid van 10 cm/s nog niet gehaald, echter de stroomsnelheid is wel hoger dan bij de Km 5 situatie (bijlage 2 Kaart A).

Om in beeld te krijgen dat de stroomsnelheid nauwelijks veranderd voor verschillende Km waarden die zijn doorberekend voor de stationaire afvoersituatie van 1/100Q is een grafiek gemaakt van de mediane snelheid (Grafiek 4.1 Mediane snelheid in cm/s ten opzichte van de Km). In de grafiek is de berekende mediane snelheid in cm/s weggezet tegenover de verschillende Km waarden.

De gemiddelde mediane snelheid is veel lager dan de snelheid die minimaal gehaald zou moeten worden.



Grafiek 4.1 Mediane snelheid in cm/s ten opzichte van de Km

#### 4.4 Conclusie Km waarden

Geconcludeerd kan worden dat het systeem weinig gevoelig is voor een hogere of lager wandweerstand (Km waarde) in de watergangen. Het verschil is niet of nauwelijks zichtbaar als de Km waarde met 5 verandert ten opzichte van een andere wandweerstand, daarentegen is het verschil redelijk zichtbaar als een Km waarde van 5 vergeleken wordt met een Km waarde van 35.

Wordt de stroomsnelheid weggezet tegenover de doelstellingen die gehanteerd worden voor 1/100Q bij een R5 watergang kan met concluderen dat de doelwaarde van 10 cm/s niet gehaald wordt.

Voor het systeem betekent dit dat bij een wandweerstand van Km 5 tot en met Km 35 de waterlopen grotendeels niet voldoen aan de minimale stroomsnelheid.

#### 4.5 Resultaten Profielen

Met behulp van het model is in beeld gebracht hoe het model reageert op verschillende profielen.

Voor de gevoeligheidsanalyse is in het model gerekend met een cultuurtechnisch profiel, een tweefasen profiel en een natuurlijk profiel voor een stationaire afvoer van 2 Q (zie paragraaf 4.2 situaties die worden doorgerekend). Voor al deze verschillende situaties zijn kaarten gemaakt die de drooglegging weergeven. De drooglegging van het leggerprofiel, het tweefasen profiel en het natuurlijk profiel is onderling vergeleken.

Het kaartbeeld van de 2Q situatie met leggerafmetingen (Bijlage 2 Kaart B) toont de drooglegging in de hoogwatersituatie. In de beekdalen die benedenstrooms liggen valt op dat daar een geringe drooglegging is. Enkele van deze beekdalen inunderen bij een hoogwatersituatie.

Het kaartbeeld van de 2Q situatie met het tweefasen profiel (Bijlage 2 Kaart C) toont ongeveer dezelfde drooglegging als de leggerafmetingen. Echter de plekken die bij de leggerafmetingen een geringe drooglegging toonden inunderen als gevolg van een tweefasen profiel. Het kaartbeeld van de 2Q situatie met het natuurlijk profiel toont andere uitkomsten (Bijlage 2 Kaart D). Het benedenstrooms deel van het gebied toont een geringe drooglegging en inundeert op veel plekken. De punten die in de kaarten staan worden toegelicht in de bijlage (Bijlage 2 analyse van de punten).

#### 4.6 Conclusie Profielen

Geconcludeerd kan worden dat het systeem wel gevoelig is als er een ander profiel wordt gehanteerd voor de watergangen. Het verschil tussen de leggerafmetingen en het tweefasen profiel is niet zo groot. Echter het natuurlijk profiel geeft hele andere uitkomsten en veel inundatie in het gebied. De oorzaak van de inundatie is dat het water de ruimte krijgt en in de beekdalen stroomt. De mogelijkheid is aanwezig om andere profielen in het gebied te hanteren. Hiervoor moet echter nader onderzoek worden verricht.

## 5. Stroomgebied Actie Programma

### 5.1 Stroomgebied Actie Programma (STAP)

Stroomgebiedactieprogramma's maken deel uit van de interne planstructuur van het waterschap. In een STAP wordt het beleid van het waterschap vertaald naar het operationele niveau, met het oog op ontwikkelingen in de toekomst. (Stroomgebiedactieplan Azelerbeek – Oelerbeek, 2008<sup>3</sup>)

Een stap, dat een planperiode van 10 jaar bestrijkt kent de volgende stappen:

- het beschrijven van de gewenste waterhuishoudkundige situatie.
- het beschrijven van de huishoudkundige situatie.
- het vaststellen van knelpunten in de huidige waterhuishoudkundige situatie.
- het benoemen, prioriteren en calculeren van maatregelen.

Met behulp van het oppervlaktewatermodel zijn kaarten gemaakt voor het Stroomgebied Actie Programma van de oude Bornse beek (Paragraaf 1.3 Doelstellingen stroomgebied actie programma).

### 5.2 Kaarten

In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven op de kaarten die met behulp van het Oppervlaktewatermodel en Arcview berekend zijn. Het Sobek model berekent waterpeilen op puntniveau. Met Arcview (gis-pakket) zijn deze punten geïnterpoleerd tot een gebiedsdekkend vlak. Dit vlak is afgetrokken van het AHN-grid 5x5 m. Het resultaat is een droogleggingskaart.

#### 5.2.1 Drooglegging

Het verschil tussen de maaiveldhoogte en het oppervlaktewaterpeil wordt de drooglegging genoemd. Droogleggingskaarten geven indicaties van hoe nat en droog gebieden zijn.

Er zijn droogleggingskaarten gemaakt voor de onderstaande situaties:

- De gemiddelde voorjaarssituatie (de zogenoemde 1/4Q situatie)
- De hoogwatersituatie (de zogenoemde 2Q situatie)
- De gemiddelde jaarlijkse situatie met Km 5 en Km 25 (de zogenoemde 1Q situatie)

De punten die in de kaarten staan worden toegelicht in de bijlage, dit geldt voor de leggerprofielen en voor de gemeten profielen (Bijlage 3 analyse van de punten).

#### *De gemiddelde voorjaarssituatie*

Het kaartbeeld van de 1/4Q situatie met leggerafmetingen (Bijlage 3 Kaart A) weerspiegelt de lokale hoogteverschillen in het landschap. In verschillende gebiedsgedeelten varieert de drooglegging in de voorjaarssituatie van kleiner dan 80 tot meer dan 180 op een korte afstand. De overwegende drooglegging bedraagt meer dan 80 cm, dit was vroeger de ontwerpmaat voor landbouwgebied. Er zijn wel enkele landbouwgebieden aanwijsbaar en beboste gebieden met een geringe drooglegging voor de 1/4Q situatie.

Wat opvalt is dat bos vaak inundeert. Het kan ook zo zijn dat deze percelen natte percelen zijn en daardoor bebost gebied zijn geworden. De drooglegging van de leggerafmetingen is vergeleken met de drooglegging voor de gemeten profielen (Bijlage 3 Kaart B). Er zijn geen grote verschillen aanwijsbaar tussen de leggersituatie en de gemeten situatie voor een constante afvoer van 1/4Q.

#### *De hoogwatersituatie*

Het kaartbeeld van de 2Q situatie met leggerafmetingen (Bijlage 3 Kaart C) toont de drooglegging in de hoogwatersituatie. De punten die in de kaart weergegeven staan zijn dezelfde punten als voor de 1/4Q situatie (paragraaf 5.2.1 de gemiddelde voorjaarssituatie). In de beekdalen die lager in het gebied liggen valt op dat daar een geringe drooglegging is, dit zijn de paarse vlekken op de kaart. Enkele van deze beekdalen inunderen bij een hoogwatersituatie dit zijn de blauwe vlakken op de kaart. De oorzaak dat deze beekdalen inunderen bij een 2Q situatie is dat het peil hoger is dan het nabijgelegen maaiveld, waardoor water op het maaiveld stroomt.

Het kaartbeeld van de 2Q situatie met gemeten profielen (Bijlage 3 Kaart D) geeft iets andere uitkomsten dan de leggerprofielen. Op de kaart staan eveneens dezelfde punten als voor de 1/4Q situatie bij de gemeten profielen (paragraaf 5.2.1 de gemiddelde voorjaarssituatie). De kaart met de gemeten profielen geeft meer inundatie in de beekdalen dan de kaart met de leggerafmetingen. De

oorzaak hiervan is dat de gemeten profielen veel smaller en steiler zijn dan de leggerprofielen, waardoor er niet zoveel water door de waterloop kan.

Beide kaarten zijn vergeleken met Kaart 4 uit het waterbeheerplan 'De retentiecompensatiekaart'. Deze kaart geeft de benodigde ruimte voor water weer, voor nu en in de toekomst. Als deze ruimte verloren gaat door, door bijvoorbeeld stedelijke uitbreiding dan moet de ruimte worden gecompenseerd, om te voorkomen dat wateroverlast optreedt. De kaarten die gemaakt zijn met het model vertonen dezelfde inundaties als Retentiecompensatiekaart van het waterschap Regge en Dinkel (Kaart 5: Retentiecompensatiekaart waterbeheerplan, 2010<sup>13</sup>).

### **De gemiddelde jaarlijkse situatie met Km 5 en Km 25**

Met behulp van het model zijn twee droogleggingkaarten gemaakt voor een 1Q situatie. Bij de ene situatie wordt uitgegaan van waterlopen die geheel begroeid zijn en een weerstandswaarde van Km 5 hebben. Bij de andere situatie wordt uitgegaan van waterlopen die niet geheel begroeid zijn, maar ook niet helemaal schoon zijn en een weerstandswaarde van Km 25 hebben.

Om wateroverlastrisico's bij een hogere vullingsgraad van het profiel uit te sluiten zijn de volgende criteria gesteld:

- Geen inundatie bij een afvoer van 1Q bij een redelijke vullingsgraad met vegetatie van het natte profiel (Km 25)
- Geen inundatie bij een afvoer van 1Q bij een hoge vullingsgraad met vegetatie van het natte profiel (Km5)

Het kaartbeeld voor een 1Q op basis van de leggerafmetingen met een weerstandswaarde van Km 25 toont nauwelijks inundatie (Bijlage 3 Kaart E). Wat opvalt is dat op sommige plekken de drooglegging gering is.

Het kaartbeeld voor een 1Q situatie op basis van de leggerafmetingen met een weerstandswaarde van Km 5 (Bijlage 3 Kaart F) toont daarentegen veel inundatie ten opzichte van de kaart met een weerstandswaarde van Km 25. Doordat de waterlopen dicht begroeid zijn stroomt het water eerder op het maaiveld dan gewenst is.

De onderhoudsfrequentie kan wel wat omlaag in het midden gedeelte van het stroomgebied, daar is een overwegende drooglegging van meer dan 80 cm. Dit geldt niet voor het benedenstrooms deel van het gebied en niet voor de watergang bovenstrooms in het gebied bij Oldenzaal, dat erg gevoelig is voor onderhoud en bij een Km5 inundeert.

### **5.2.2 Stroomsnelheid**

Het waterschap heeft haar beheersgebied ingedeeld in verschillende soorten watertypen (figuur 5.1 Watertypen in de Oude Bornse Beek). De Deurningerbeek en Gammelkerbeek vallen grotendeels onder de R5 watergangen. Bij het waterschap worden normen gehanteerd over de stroomsnelheid die een watergang minimaal zou moeten halen en maximaal zou mogen halen.

Voor de van nature aanwezige waterlopen gelden de volgende doelwaarden voor de minimum stroomsnelheid:

R3 watergangen >15 cm/s bij 1/4Q

R4 watergangen > 15 cm/s bij 1/100Q

R5 watergangen >10 cm/s bij 1/100Q

Voor de maximale stroomsnelheid gelden de voldoende doelwaarden:

R3 watergangen < 70 cm/s bij 1Q

R4 watergangen < 70 cm/s bij 1Q

R5 watergangen < 60 cm/s bij 1Q

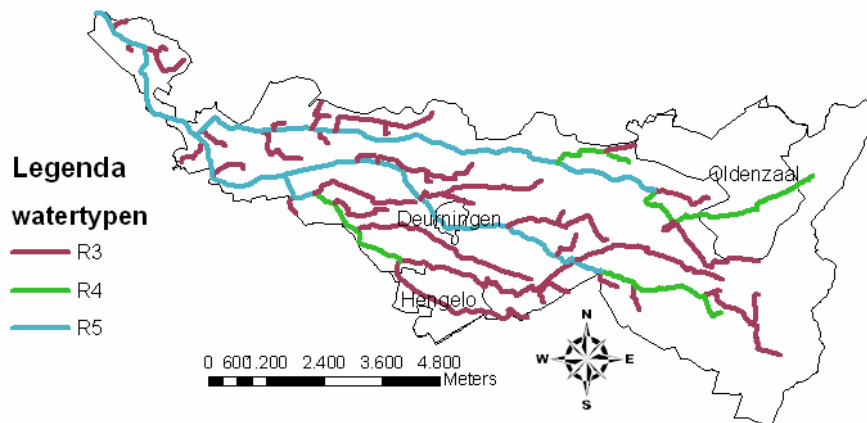
(Kaart 2: Waterlopenkaart Waterbeheerplan, 2010<sup>12</sup>; Stroomgebiedactieplan Azelerbeek – Oelerbeek, 2008<sup>3</sup>)

Er zijn verschillende kaarten gemaakt om de stroomsnelheid te vergelijken met de doelwaarden voor stationaire afvoersituaties:

- 1/100Q (Bijlage 3 Kaart G).
- 1/4Q (Bijlage 3 Kaart H).
- 1Q (Bijlage 3 Kaart i)

De minimale stroomsnelheid wordt bijna nergens gehaald, de snelheden blijven wel onder de maximaal toelaatbare snelheid.

## Watertypen in de Oude Bornse Beek



**Figuur 5.1 Watertypen in de Oude Bornse Beek**

### 5.2.3 Profieldiepte

De legger bestaat uit ontworpen waterlopen die in verschillende tijdspannen gemaakt zijn. De kaart in de bijlage geeft een beeld van de ontwateringsdiepte van de leggerwaterlopen (Bijlage 3 Kaart j). Uit deze informatie is te bepalen waar de waterlopen, ten aanzien van de ontwateringsdiepte, mogelijk zijn overgedimensioneerd. De eventueel grote ontwateringsdiepte kan nodig zijn om een bovenstrooms laag liggend perceel te ontwateren.

De waterlopen benedenstrooms in het Stroomgebied de Oude Bornse Beek hebben een ontwateringsdiepte die grotendeels tussen de 100 en de 120 cm ligt terwijl de waterlopen in het bovenstrooms deel van het gebied een ontwateringsdiepte hebben die grotendeels hoger is dan 140 cm.

De afmetingen van de werkelijke, op dit moment in het veld aanwezige profielen, kunnen afwijken van de leggermaten. Om in beeld te brengen wat het verschil is tussen de legger en de gemeten profielen zijn de berekende peilen van de gemeten profielen afgetrokken van de berekende peilen van de legger profielen. De peilen zijn berekend voor de stationaire afvoersituaties bij 1/4Q en 2Q.

De verschillen tussen de legger en gemeten bij een afvoersituatie van 1/4Q situatie zijn over het algemeen minder dan 10 cm (Bijlage 3 Kaart K). Alleen in het bovenstrooms deel van het stroomgebied zijn enkele waterlopen geel gekleurd, dit komt doordat de waterloop smaller is bij de gemeten situatie dan bij de legger situatie.

De verschillen tussen de legger en gemeten bij een afvoersituatie van 2Q verschilt over het algemeen niet zoveel met de situatie van 1/4Q (Bijlage 3 Kaart L). Alleen in het bovenstrooms deel van het stroomgebied zijn meerdere waterlopen geel en oranje gekleurd, dit komt doordat de waterloop smaller is bij de gemeten situatie dan bij de legger situatie. Het bovenstrooms gebied bij Oldenzaal is rood gekleurd doordat de bodem van de gemeten profielen hoger ligt dan de bodem van de leggerprofielen.

### 5.3 Conclusie

#### Drooglegging

Er zijn geen grote verschillen aanwijsbaar voor de drooglegging tussen de leggersituatie en de gemeten situatie voor een constante afvoer van  $1/4Q$ . De legger is een goede weergave van de werkelijkheid. Bij  $2Q$  wordt in de gemeten situatie meer inundaties berekend. De oorzaak is dat de gemeten profielen veel smaller en steiler zijn dan de leggerprofielen, waardoor er niet zoveel water door de watergang kan.

De onderhoudsfrequentie kan omlaag in het midden gedeelte van het stroomgebied. Dit geldt niet voor het benedenstrooms deel van het gebied en ook niet voor de watergang bovenstrooms in het gebied bij Oldenzaal, dat erg gevoelig is voor onderhoud.

#### Stroomsnelheid

Voor de verschillende typen watergangen kan geconcludeerd worden dat de stroomsnelheid in die watergangen bijna nergens wordt gehaald.

#### Profiel diepte

Met betrekking tot de quick-scan overdimensionering kan geconcludeerd worden dat de verschillen tussen de gemeten en leggerprofielen erg klein en lokaal zijn.



## 6. Gammelkerbeek

### 6.1 Achtergrond van de herinrichting van de Gammelkerbeek

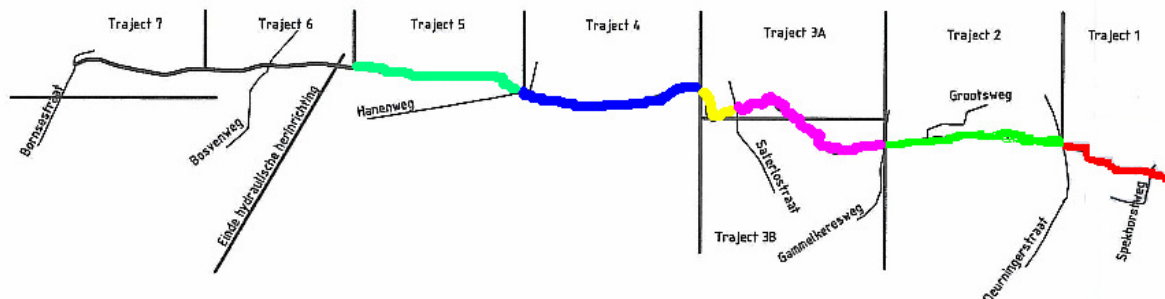
Het Waterschap heeft maatregelen bedacht om het stroomgebied van de Oude Bornse Beek aan de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) te laten voldoen. In dat kader wordt de Gammelkerbeek tussen Oldenzaal en Borne ingrijpend aangepakt. Doel van de herinrichting van de Gammelkerbeek is tegengaan van verdroging en natuurherstel van de omliggende beek en omliggend gebied. Daarvoor is een Definitief Ontwerp ontwikkeld door Royal Haskoning.

Kenmerkend voor de herinrichting van de Gammelkerbeek is dat een veertiental stuwen zullen worden verwijderd en dat de beekbodem overwegend hoger komt te liggen. Omdat de beek relatief steil is over een groot deel van het nieuw in te richten traject, betekent dit dat maatregelen nodig zijn om sterke erosie te voorkomen. Deze maatregelen zijn ontwikkeld in de vorm van steendammetjes, zodat het verhang niet te groot wordt (Herinrichting Gammelkerbeek, 2009<sup>14</sup>). Ook worden retentiegebieden aangelegd en worden langs de beek natuurlijke stroken ingericht. Deze zijn niet gemodelleerd met het model omdat dit niet van invloed is. Retentiegebieden zijn niet van invloed, omdat het model stationair is en de natuurlijke stroken langs de watergang raken de watergang hydraulisch gezien niet, waardoor dit geen invloed heeft op de watergang.

### 6.2 Definitief ontwerp voor de Gammelkerbeek

De Gammelkerbeek is opgedeeld in vijf deeltrajecten waar hydraulische en morfologische aanpassingen relevant zijn, in figuur 6.1 worden de trajecten weergegeven doormiddel van de verschillende kleuren. De vijf deeltrajecten zijn:

1. Bovenstrooms van de Deurningerstraat (rood).
2. Tussen Deurningerstraat en Gammelkeresweg (groen).
3. Gammelkerbroek 3A (paars).  
Gammelkerbroek 3B (geel).
4. Tussen Gammelkerbroek en oostelijke Hanenweg (blauw).
5. Tussen oostelijke Hanenweg en Westelijke Hanenweg (licht groen)

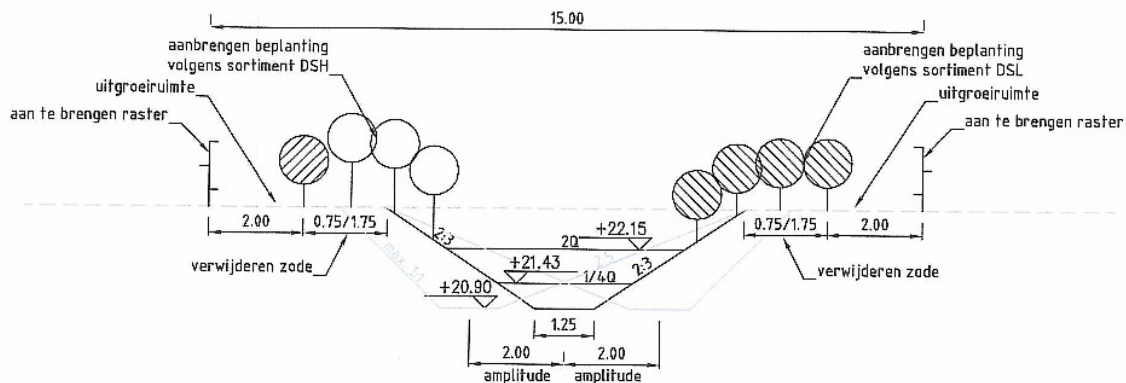


**Figuur 6.1 Gammelkerbeek opgedeeld in 5 deeltrajecten**

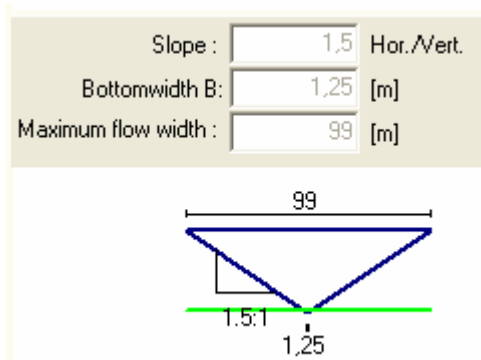
In het rapport wordt alleen van traject 1 het profiel beschreven om een beeld te krijgen. De overige profielen worden niet beschreven maar zijn wel in Sobek gebruikt om het profiel van de Gammelkerbeek te testen.

Voor traject 1 (bovenstrooms van de Deurningerstraat) is het volgende ontwerp gemaakt door Royal Haskoning voor een deel van de watergang van de Gammelkerbeek (Figuur 6.2 profiel deeltraject 1

ontwerp Royal Haskoning) Dit ontwerp is als volgt in het model opgenomen (Figuur 6.3 profiel deeltraject 1 gemodelleerd in Sobek).



**Figuur 6.2 Profiel deeltraject 1 ontwerp Royal Haskoning**

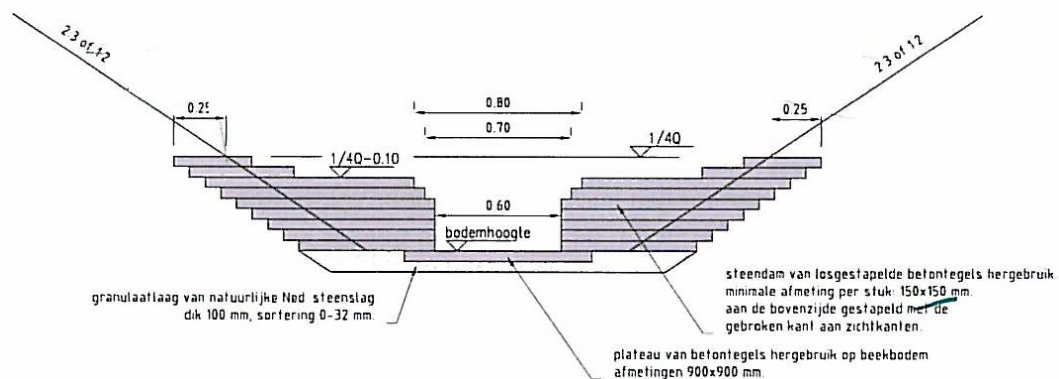


**Figuur 6.3 Profiel deeltraject 1 gemodelleerd in Sobek**

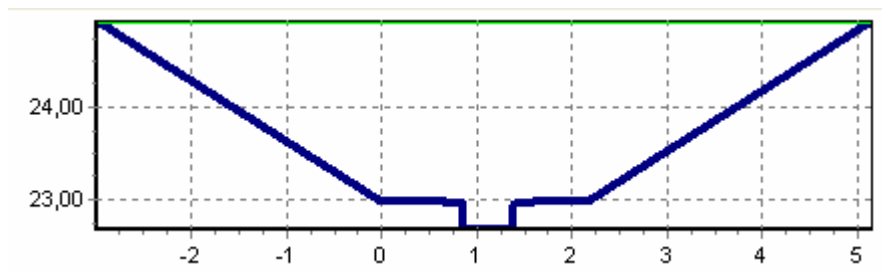
Het in te richten gebied van de Gammelkerbeek kent veel verhang. Om de functie van de verwijderde stuwen op te vangen is een ontwerp van een steendam gemaakt door Royal Haskoning (Figuur 6.4 ontwerp steendam door Royal Haskoning), zodat de stroomsnelheid in de beek niet te groot wordt. Het ontwerp van de steendam is ook in het model opgenomen (Figuur 6.5 steendam gemodelleerd in Sobek). Echter er is afgeweken van het bestaande ontwerp van de steendammetjes door Royal Haskoning. Bij het bestaande ontwerp wordt de hoogte van het brede gedeelte ontworpen op de 1/4Q situatie. In de praktijk is dit lastig te realiseren, omdat elk dammetje dan anders is. Er is gekozen om eenzelfde profiel voor de dammetjes te maken. Voor het brede gedeelte betekent dit dat hij ongeveer op 30 cm van de bodem is ontworpen, dit is afgeleid uit een gemiddelde van alle dammetjes die Royal Haskoning ontworpen heeft. Het gemiddelde wijkt niet veel af van de bestaande dammetjes maar vereenvoudigd de uitvoering.

#### detail steendam

traject 1, 2 en 4  
dwarsdoorsnede B-B"  
schaal 1:20



**Figuur 6.4 Ontwerp steendam door Royal Haskoning**



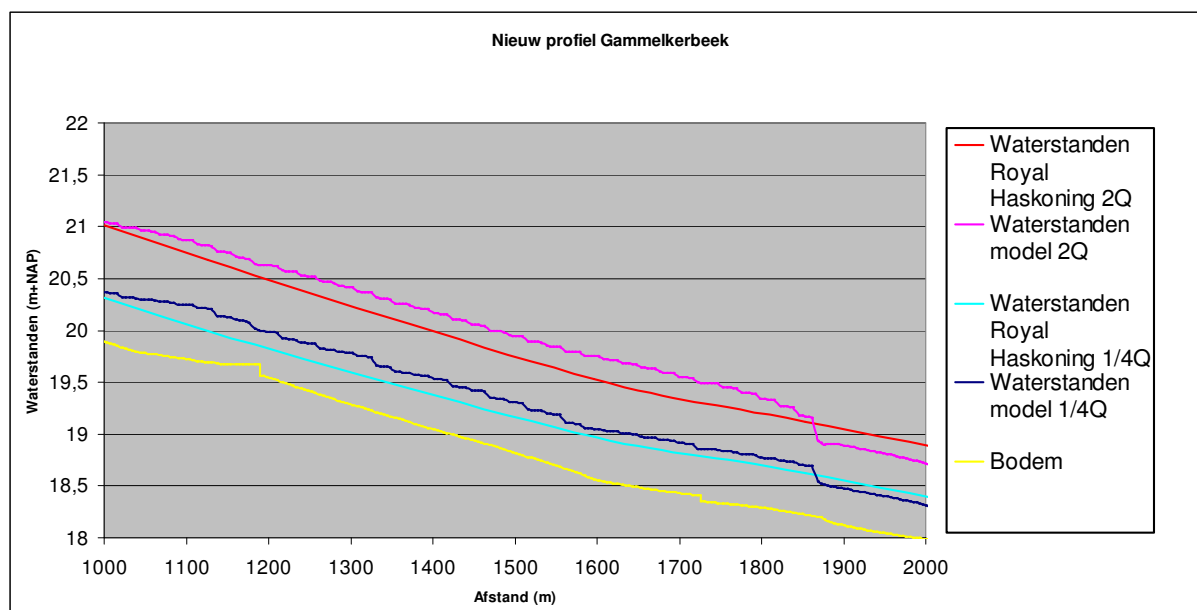
**Figuur 6.5 Steendam Gemodelleerd in Sobek**

### 6.3 Resultaten ontwerp Gammelkerbeek

Met behulp van het model zijn waterstanden berekend voor een 1/4Q situatie en een 2Q situatie voor het nieuwe ontwerp voor de Gammelkerbeek. Deze waterstanden zijn vergeleken met de berekende waterstanden van Royal Haskoning.

Voor de vergelijking van de waterstanden is ervoor gekozen een lengteprofiel te maken in Excel. In het model zijn veel meer gegevens verkregen ten opzichte van de beschikbare gegevens die berekend zijn door Royal Haskoning. De gegevens van Royal Haskoning zijn geïnterpoleerd in Excel. Dit is gedaan om een vloeiende lijn te krijgen ten opzichte van de gegevens die met het model berekend zijn (Bijlage 4 Grafiek A).

In de grafiek is in een oogopslag te zien dat de berekende waterstanden van Royal Haskoning grotendeels overeenkomen met de waterstanden die het model berekend heeft voor zowel de 1/4Q situatie als de 2Q situatie. Echter als dieper op de lijnen van een deeltraject wordt ingezoomd valt te zien dat de steendammetjes in het model wel zijn gemodelleerd en in het model van Royal Haskoning niet (figuur 6.6 Nieuw profiel Gammelkerbeek). In de grafiek is duidelijk te zien dat de roze (waterstanden model 2Q) en de donkerblauwe (waterstanden model 1/4Q) lijn niet zo strak zijn als de rode lijn (waterstanden Royal Haskoning 2Q) en de lichtblauwe (waterstanden Royal Haskoning 1/4Q) die Royal Haskoning berekend heeft.



**Figuur 6.6 Nieuw profiel Gammelkerbeek**

#### 6.4 Conclusie

Uit de resultaten wordt geconcludeerd dat het ontwerp van Royal Haskoning in grote lijnen goed is. De modelresultaten komen nagenoeg overeen met de berekende waterstanden van Royal Haskoning. Echter Royal Haskoning heeft geen steendammetjes gemodelleerd in het model. Deze steendammetjes zijn wel van betekenis voor de Gammelkerbeek, gezien het verhang van het gebied. Volgens Royal Haskoning moeten de steendammetjes tijdens uitvoering op de juiste plek gelegd worden. Het advies is de steendammetjes al in het ontwerp mee te nemen, omdat de plek van de steendammetjes van 'groot' belang is voor de Gammelkerbeek om erosie te voorkomen.

## 7. Nieuw Ontwerp Deurningerbeek

### 7.1 Aanleiding nieuw ontwerp Deurningerbeek

Het Waterschap heeft als streven het gehele stroomgebied aan de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) te laten voldoen. In dat kader wordt een nieuw legger profiel voor de Deurningerbeek ontworpen.

Om een nieuw ontwerp te maken is vooraf nagedacht met welke randvoorwaarden het ontwerp gemaakt wordt. Er zijn randvoorwaarden opgesteld waarbij gekeken is naar:

- De grondwatersituatie van het gebied.
- De maximale en minimale stroomsnelheid aan de hand van het type watergang.
- De klimaatopgave, volgens het waterbeheerplan van het Waterschap Regge en Dinkel.

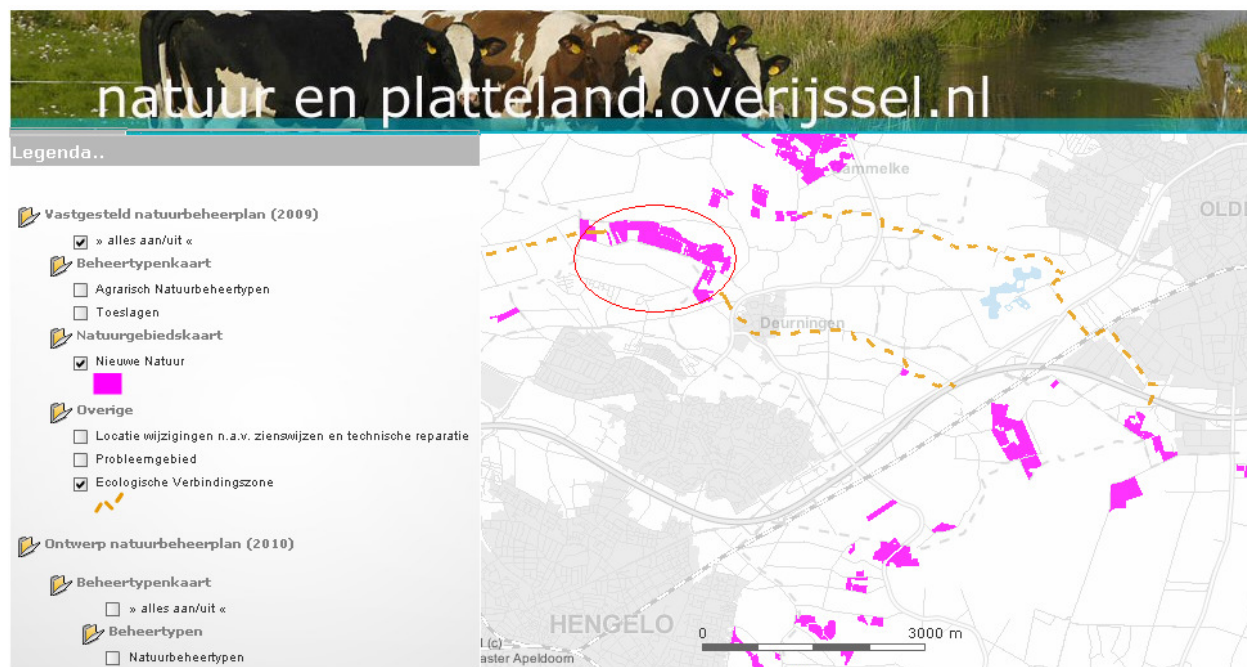
In de volgende paragraaf worden de randvoorwaarden opgesteld voor het nieuwe ontwerp van de Deurningerbeek. Hierbij is als literatuur het voorbeeldenboek Waternood gebruikt (Voorbeeldenboek Waternood, 2005<sup>15</sup>).

### 7.2 Randvoorwaarden ontwerp Deurningerbeek

#### 7.2.1 GLG en GHG

Een van deze randvoorwaarden is opgesteld voor de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De GLG is vergeleken met de optimale gemiddelde laagste grondwaterstand (OGLG). Om de optimale GLG voor het gebied in beeld te brengen is gebruik gemaakt van Instrumentarium Waternood ontwikkeld door STOWA.

Dit programma biedt de mogelijkheid om bij het ontwerpen van oppervlaktewatersystemen rekening te houden met de optimale situatie voor de grondwaterstand (Instrumentarium Waternood, 2002<sup>16</sup>). Hiervoor is de bodemkaart van het gebied nodig (deelparagraaf 2.2 figuur 2.1 bodemkaart van de Oude Bornse Beek) en de landgebruikerskaart (LGN).



**Figuur 7.1 Nieuwe natuur Deurningerbeek**

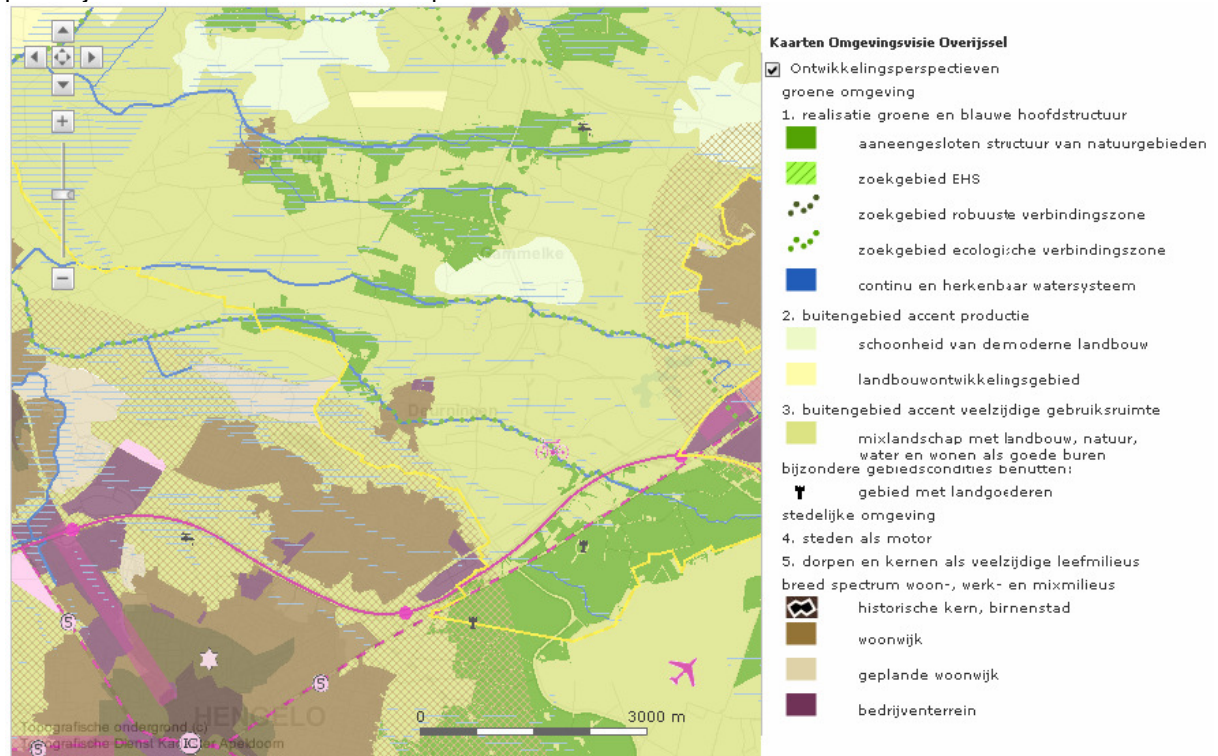
Voor de landgebruikerskaart is ook informatie vergaard op de website van de provincie Overijssel. Het omcirkelde gebied is begrensd als nieuwe natuur. De oranje gestippelde lijn betekent een ecologische verbindingszone, deze lijn loopt over de Deurningerbeek (Figuur 7.1 Nieuwe natuur Deurningerbeek) (<http://gisopenbaar.overijssel.nl/website/groenloket/groenloket.html>, 2010<sup>17</sup>).

Daarnaast is gekeken naar de omgevingsvisie van de provincie Overijssel, het meest



voorkomende rondom de Deurningerbeek is mixlandschap. Dit is een landschap waarin landbouw, natuur, water en wonen als goede buren van elkaar fungeren (Figuur 7.2 Omgevingsvisie Provincie Overijssel). (<http://gisopenbaar.overijssel.nl/website/omgevingsvisie/omgevingsvisie.html>, 2010<sup>18</sup>).

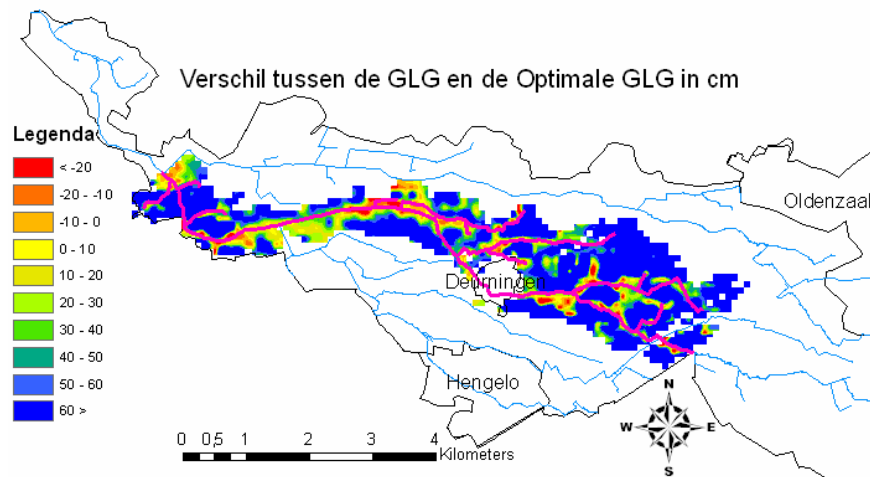
Vanuit deze achtergronden en in overleg met het waterschap is ervoor gekozen de landgebruikerskaart als grasland in te vullen, dit is niet optimaal, maar het is een middenweg die goed past bij de definitie van mixlandschap.



**Figuur 7.2 Omgevingsvisie Provincie Overijssel**

Met behulp van het programma Waternood instrumentarium zijn de OGLG en de OGHG van het gebied rondom de Deurningerbeek berekend.

### Verskil tussen de GLG en de optimale GLG



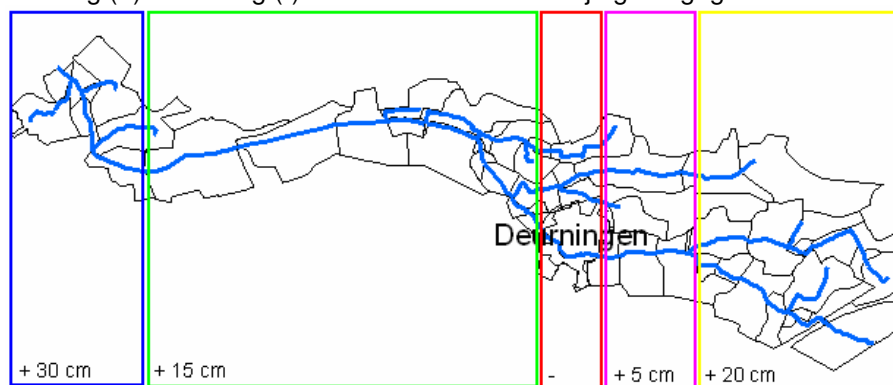
**Figuur 7.3 Verskil tussen de GLG en de Optimale GLG**

De OGLG is afgetrokken van de GLG. Als hier een positief getal uitkomt, betekent dit voor het stroomgebied dat de GLG te laag is ten opzichte van OGLG. Als er een negatief getal uitkomt betekent dit dat de GLG te hoog is ten opzichte van OGLG (Figuur 7.3 Verskil tussen de GLG en de Optimale GLG in cm).

In de figuur is zichtbaar dat de GLG buiten de beekdalen te laag is en in de beekdalen op sommige punten ook te laag is. De kleuren die oranje en rood in de kaart zijn hebben een te hoge grondwaterstand ten opzichte van de optimale situatie, dit komt bijna niet voor. Over het algemeen kan gezegd worden dat de GLG in het gebied te laag is.

De GLG kan beïnvloed worden door de peilen in de zomer te veranderen om dichterbij de OGLG te komen betekent dit dat de waterstanden bij een 1/100Q afvoer hoger moeten zijn dan op dit moment het geval is.

In onderstaande figuur (Figuur 7.4 Randvoorwaarden GLG) is het gebied opgedeeld in verschillende vakken met behulp van kleuren. Per kleur wordt aangegeven wat de randvoorwaarden zijn ten opzichte van de huidige GLG situatie. De getallen in de figuur geven aan of de grondwaterstand omhoog (+) of omlaag (-) moet. In het rode vak zijn geen gegevens bekend van de GLG.



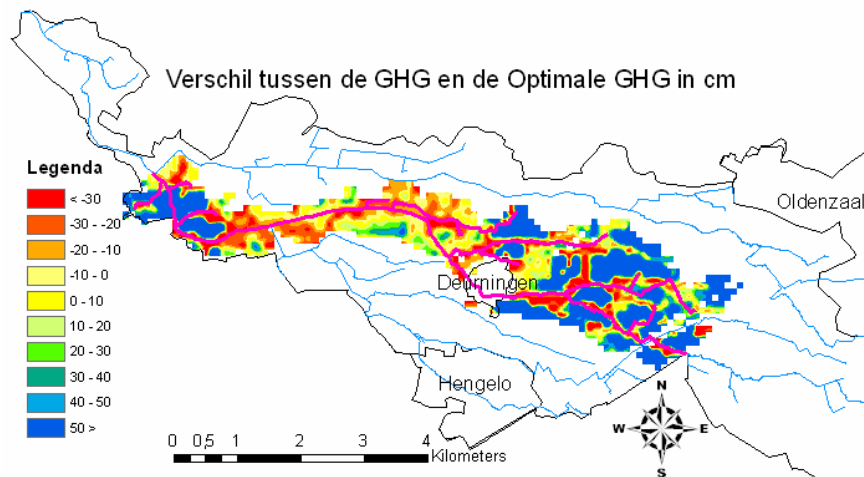
**Figuur 7.4 Randvoorwaarden GLG**

### Verskil tussen de GHG en de optimale GHG

De GHG is vergeleken met de optimale gemiddelde hoogste grondwaterstand (OGHG). Hiervoor is eveneens het Instrumentarium Waterlood gebruikt. De OGHG is afgetrokken van de GHG. Als hier een positief getal uitkomt, betekent dit voor het stroomgebied dat de GHG te laag is ten opzichte van



de OGHG. Als er een negatief getal uitkomt betekent dit dat de GHG te hoog is ten opzichte van de OGHG (Figuur 7.5 Verskil tussen de GHG en de Optimale GHG).

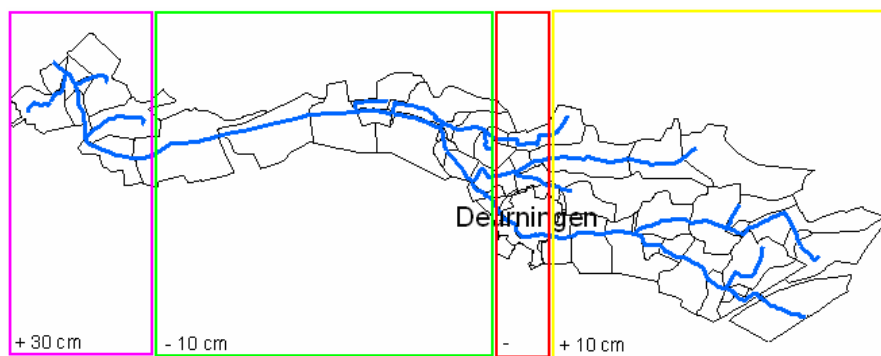


**Figuur 7.5 Verskil tussen de GHG en de Optimale GHG**

In de figuur is zichtbaar dat de GHG in de beekdalen te hoog is en buiten de beekdalen te laag. De kleuren die oranje en rood in de kaart zijn hebben een te hoge GHG ten opzichte van de optimale situatie. Over het algemeen kan gezegd worden dat de GHG in het gebied te hoog is.

De GHG kan beïnvloed worden door de peilen in de zomer en winter aan te passen, aanpassingen van het 1/4Q peil. Om dichterbij de OGHG te komen betekent dit dat de waterstanden bij een 1/4Q afvoer lager moeten zijn dan op dit moment het geval is. Deze verlaging wordt doorgevoerd om de GHG dichterbij de OGHG te brengen.

Het gebied is net zoals bij de GLG opgedeeld in verschillende vakken met behulp van kleuren. Per kleur wordt aangegeven wat de randvoorwaarden zijn ten opzichte van de huidige GHG situatie. De getallen in de figuur geven aan of de grondwaterstand omhoog (+) of omlaag (-) moet. In het rode vak zijn geen gegevens bekend van de GHG (Figuur 7.6 Randvoorwaarden GHG).



**Figuur 7.6 Randvoorwaarden GHG**

## 7.2.2 Zijwatergangen

Bij het opstellen van de randvoorwaarden is alleen gekeken naar de hoofdwatgang. Bij het nieuwe ontwerp van de Deurningerbeek, wordt rekening gehouden met de zijwatergangen, maar er wordt geen nieuw ontwerp gemaakt voor de zijwatergangen alleen voor de hoofdwatgang.

## 7.2.3 Stroomsnelheid

Het waterschap heeft haar beheersgebied ingedeeld in verschillende typen watergangen, deze typering is een KRW-indeling (Figuur 5.1 Watertypen in de Oude Bornse Beek). De Deurningerbeek valt onder de R5 watergangen. Een R5 is een langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand.

Bij het waterschap worden doelwaarden gehanteerd over de stroomsnelheid die een watergang minimaal en zou moeten halen en maximaal zou mogen halen. Deze doelwaarden zijn meegenomen als randvoorwaarden voor het nieuwe ontwerp van de Deurningerbeek:

Voor de van nature aanwezige waterloop geldt de volgende doelwaarde voor de minimale stroomsnelheid:

R5 watergangen >10 cm/s bij 1/100Q

Voor de maximale stroomsnelheid geldt de voldoende doelwaarde:

R5 watergangen < 70 cm/s bij 1Q voor een houtwalbeek

Uit de resultaten van de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de stroomsnelheden die op dit moment gehaald worden voor de Deurningerbeek te laag zijn (paragraaf 5.2.2 Stroomsnelheid). Voor het ontwerp betekent dit dat de stroomsnelheid bij 1/100Q verhoogd moet worden. Dit kan gedaan worden door de stuwen in de Deurningerbeek te verwijderen.

In de omgevingsvisie (Figuur 7.2 Omgevingsvisie Provincie Overijssel) is te zien dat de Deurningerbeek in de toekomst fungeert als een ecologische verbindingszone, de Deurningerbeek kan bestempeld worden als een houtwalbeek, wat betekent dat de maximale stroomsnelheid geen 60 cm/s is maar 70 cm/s voor een 1Q situatie.

De stroomsnelheid bij 1Q is op dit moment goed, want de doelwaarde van maximaal 70cm/s wordt niet overschreden. Echter de stroomsnelheid bij 1Q blijft een aandachtspunt voor het ontwerp, omdat de stroomsnelheid omhoog gaat door het verwijderen van de stuwen.

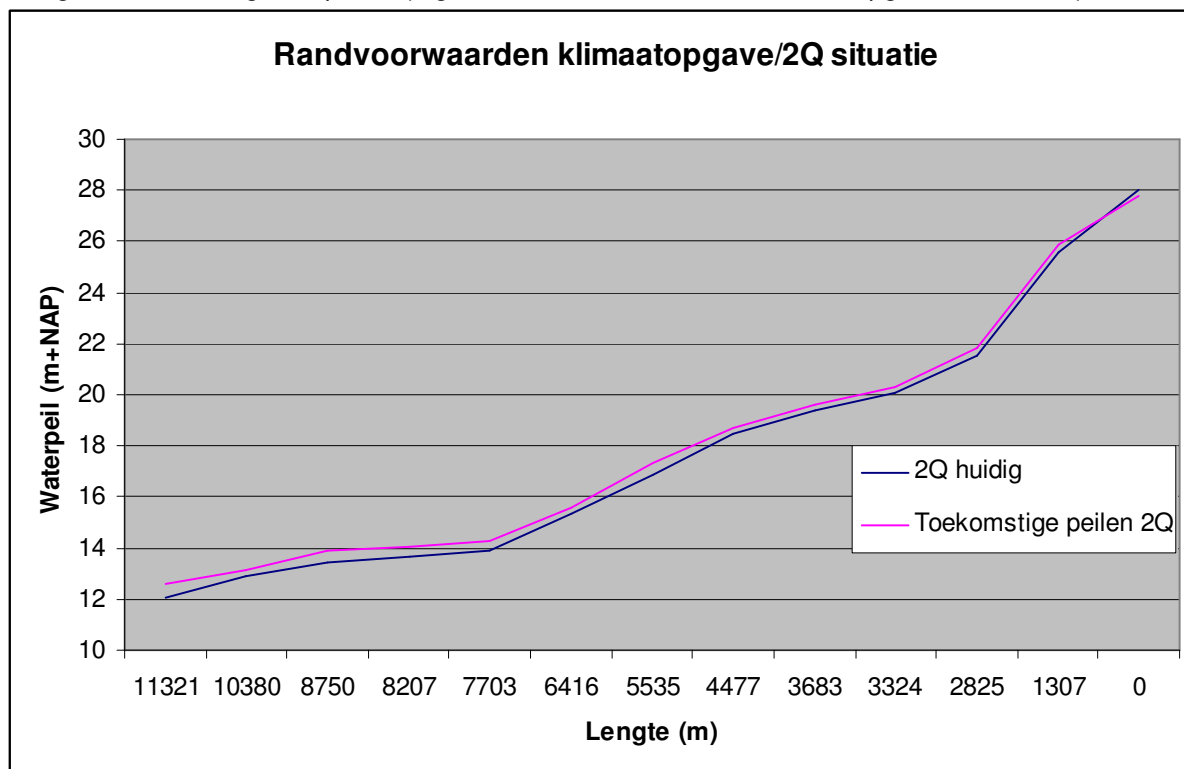
## 7.2.4 De klimaatopgave

Volgens de afspraken in het Nationaal Bestuursakkoord Water heeft waterschap Regge en Dinkel beleid geformuleerd met betrekking tot de gevolgen van klimaatverandering. Als gevolg van klimaatverandering worden vaker extremere situaties verwacht. Vanaf 2015 zullen daarom klimaatopvang gebieden worden ingericht. Hiermee wordt voorkomen dat de klimaatverandering laaggelegen gebieden belast. Kaart 5 van het waterbeheerplan geeft aan dat rondom de Deurningerbeek ruimte moet worden ingericht die het water neemt bij gewijzigd klimaat eens in de 100 jaar (Figuur 7.7 ruimte die het water inneemt bij een gewijzigd klimaat) (Kaart 5: Informatiekaart Klimaatopgave, 2010<sup>13</sup>).



**Figuur 7.7 Ruimte die het water inneemt bij een gewijzigd klimaat**

Met behulp van de AHN hoogtekaart is gekeken hoe hoog het water mag komen te staan bij een 2Q situatie, zodat het water daadwerkelijk deze ruimte neemt. In onderstaand lengteprofiel staan de huidige en toekomstige 2Q peilen (Figuur 7.8 Randvoorwaarden Klimaatopgave/2Q situatie).



**Figuur 7.8 Randvoorwaarden Klimaatopgave/2Q situatie**

### 7.2.5 De taludhelling

De taludhelling wordt aangepast aan de situatie ter plekke in de watergang, waarbij rekening wordt gehouden met de overige randvoorwaarden. De taludhelling is daarom niet opgenomen als een randvoorwaarde voor het nieuwe ontwerp.

## 7.3 Nieuw ontwerp Deurningerbeek

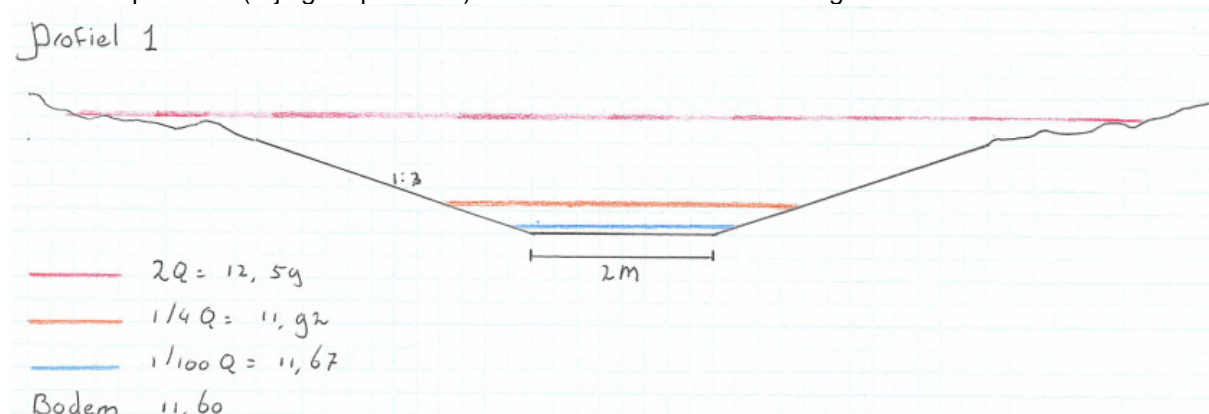
Om de profielen te berekenen zijn de randvoorwaarden voor de waterstanden van de stationaire situaties 1/100Q, 1/4Q en 2Q in een lengteprofiel gezet (Bijlage 5 grafiek A). Het lengteprofiel is ruwweg opgedeeld in drie delen, aangegeven met de zwarte lijnen. Deze drie delen hebben elk een ander verhang. Het verhang van de verschillende trajecten staat links bovenaan in de figuur, de hoogtes staan erboven.

Deze drie trajecten zijn vervolgens opgedeeld in zes trajecten. Dit is gedaan omdat het debiet sterk varieert. Dit komt doordat zijwatergangen in de Deurningerbeek stromen, waardoor het debiet van de Deurningerbeek stijgt. De verschillende debieten die zijn gebruikt voor de 1/100Q, 1/4Q, 1Q en 2Q zijn verkregen uit de modelberekeningen. De verschillende debieten staan in de figuur per traject beschreven. Vervolgens zijn evenwichtsprofielen ontworpen met behulp van de formule van Manning (User's Manual Profile, 1991<sup>19</sup>). De berekende waterstand bij 1/100Q wordt afgetrokken van het gewenste peil, waar dan de bodemhoogte uit volgt.

### 7.3.1 Profielen

Er zijn 13 profielen ontworpen voor de Deurningerbeek, omdat de watergang is onderverdeeld in 13 onderscheiden trajecten. In bijlage 5 kaart A staan punten in de grafieklijn weergegeven met nummers

erbij, deze nummers zijn ook de nummers/namen van de profielen die zijn ontwikkeld. In bijlage 5 staan alle profielen (Bijlage 5 profielen). Profiel 1 wordt hier nader toegelicht.



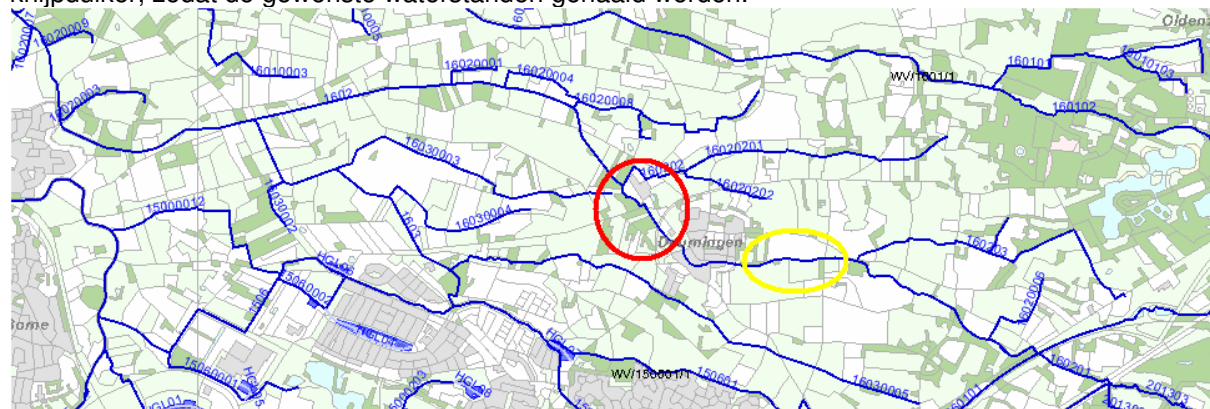
**Figuur 7.9 Profiel 1**

In het bovenstaande profiel 1 (Figuur 7.9 profiel 1) is een strakke bak getekend, daarboven kom je in het beekdal. De blauwe lijn is de waterstand (11,67m+NAP) bij 1/100Q, de oranje lijn is de waterstand (11,92m+NAP bij 1/4Q en de rode lijn is de waterstand (12,59m+NAP) bij 2Q. De taludhelling van de watergang is 1:3, de bodembreedte 2 m en de bodemhoogte is 11,60m+NAP.

Bij dit profiel staat het beekdal onder water bij 2Q vanwege de klimaatopgave. Voor sommige andere dwarsprofielen blijft 2Q binnen het bakje. De overige profielen zijn op dezelfde manier vormgegeven, waar in de klimaatopgave geen ruimte is voor inundatie blijft de 2Q situatie binnen het bakje en stroomt niet in het beekdal.

De profielen waarbij het water gebruik maakt van het beekdal zijn ontworpen aan de hand van figuur 7.7. Bij de groen gekleurde delen in de kaart inundeert het water in het beekdal, de overige

Bij profiel 7 en 9 worden de randvoorwaarden van de nieuwe waterstanden niet gehaald, het peil op dit punt is meer dan 20 cm lager dan de doelwaarde (Figuur 7.10 Waterstanden die niet worden gehaald). Profiel 7 is rood omcirkeld in de figuur en profiel 9 is geel omcirkeld. Het profiel alleen is niet voldoende om te knippen, hier moet nog iets extra's gebeuren. Dit is mogelijk in de vorm van een knijpduiker, zodat de gewenste waterstanden gehaald worden.



**Figuur 7.10 Waterstanden die niet worden gehaald**

Voor de profielen 10, 11, 12 en 13 is de stroomsnelheid te hoog bij 1Q, in de figuur rood omcirkeld (Figuur 7.11 Stroomsnelheden die te hoog zijn). Dit wordt veroorzaakt door het grote verhang. Er is gedacht aan meandering van de watergang. Bij meandering laat je de beek meer kronkelen waardoor het water een langere weg aflegt en het verhang afneemt. De watergang moet daarvoor twee keer zo lang worden, dit is niet realistisch. Om de stroomsnelheid toch binnen de

perken te houden zijn aanpassingen in de watergang nodig die de stroomsnelheid dempen. Hierbij kan gedacht worden aan steendammetjes. Ook is het mogelijk een combinatie te maken van meandering en steendammetjes waardoor het aantal dammetjes geminimaliseerd kan worden.



**Figuur 7.11 Stroomsnelheden die te hoog zijn**

#### **7.4 Conclusie**

Het nieuwe ontwerp voldoet aan de randvoorwaarden die gesteld zijn. Het peil wordt gehaald voor zowel de 1/100Q, 1/4Q en 2Q situatie. Bij sommige profielen is het nodig om knijpduikers te plaatsen om het 2Q peil te halen en daarmee de wateropgave. De minimale stroomsnelheid voor 1/100Q voldoet ook aan de gestelde randvoorwaarden. De maximale stroomsnelheid bij 1Q is getoetst en is bij sommige profielen te hoog, hiervoor moeten extra maatregelen worden verricht die ervoor zorgen dat de stroomsnelheid gedempt wordt. Gedacht kan worden aan meandering en steendammetjes. Het profiel is een eerste ontwerp dat nog gedetailleerd moet worden, voor lokale omstandigheden waarvoor verschillende gebiedsprocessen nodig zijn: terreininventarisaties, gesprekken met grondeigenaren, etc.

## 8. Conclusie en aanbevelingen

### \* Oppervlaktewatermodel

Het model is een betrouwbaar model van zowel de legger- als gemeten situatie waarmee goede hydrologische uitspraken gedaan kunnen worden over het stroomgebied van de Oude Bornse Beek.

### \* De gevoeligheidsanalyse

Het systeem is weinig gevoelig voor een hogere of lagere Km waarde van de watergang. De minimale stroomsnelheid wordt niet gehaald bij een Km 5 maar ook niet bij een Km 35.

Wel is het systeem gevoelig voor andere profielen van de watergang. In het gebied zijn mogelijkheden aanwezig om een ander profiel te hanteren, hiervoor dient nader onderzoek te worden verricht.

### \* Stroomgebied Actie Programma

Er zijn geen grote verschillen in drooglegging tussen de leggersituatie en de gemeten situatie voor een afvoer van 1/4Q. De legger is dus een goede weergave van de werkelijkheid. Bij 2Q worden in de gemeten situatie meer inundaties berekend.

Met betrekking tot de quick-scan overdimensionering kan geconcludeerd worden dat de verschillen tussen de gemeten en leggerprofielen erg klein en lokaal zijn.

De onderhoudsfrequentie kan omlaag in het midden gedeelte van het stroomgebied. Dit geldt niet voor het benedenstrooms deel van het gebied en ook niet voor de watergang bovenstrooms in het gebied bij Oldenzaal, dat erg gevoelig is voor onderhoud.

Voor de verschillende typen watergangen kan geconcludeerd worden dat de stroomsnelheid in die watergangen bijna nergens wordt gehaald.

### \* De Gammelkerbeek

Het ontwerp van Royal Haskoning is in grote lijnen goed. De modelresultaten komen nagenoeg overeen met de berekende waterstanden van Royal Haskoning. Volgens Royal Haskoning moeten de steendammetjes tijdens uitvoering op de juiste plek gelegd worden. Het advies is de locatie van de steendammetjes al in het ontwerp te bepalen, omdat de plek van de steendammetjes van 'groot' belang is voor een goed functioneren.

### \* Nieuw Ontwerp Deurningerbeek

Het nieuwe ontwerp voldoet aan de randvoorwaarden door een nieuw dwarsprofiel en waar nodig knijpduikers, meandering en steendammetjes. Het profiel is een eerste ontwerp dat nog verder gedetailleerd moet worden voor locale omstandigheden.



## 9. Literatuurlijst

- <sup>1</sup>[http://www.wrd.nl/waterschap\\_regge\\_en/gebied](http://www.wrd.nl/waterschap_regge_en/gebied)
- <sup>2</sup><http://www.helpdeskwater.nl/wetgeving-beleid/kaderrichtlijn-water/>
- <sup>3</sup>(Stroomgebiedactieplan Azelerbeek – Oelerbeek, 2008) Stroomgebiedactieplan Azelerbeek – Oelerbeek 2008-2015, Afdeling beleid en beheer watersysteem
- <sup>4</sup>(Stroomgebiedactieplan Poelsbeek – Markveldsche Beek 2009<sup>13</sup>) Stroomgebiedactieplan Poelsbeek/Markveldsche Beek 2009-2019 tweede concept, Afdeling beleid en beheer watersystemen
- <sup>5</sup>(Integraal waterbeheersplan Twente, 1988) Universitaire beroepsopleiding milieukunde, D.P. As, R. Cleef, J.M.H. Demon, M. de Maare, C. Reijnga, P. van Rooy
- <sup>6</sup>(Waterschap Regge en Dinkel, 1998) Een visie voor het jaar 2020, F.R. Goossensens, G. de Groot, T.J. de Jong, M.J. van der Vlist
- <sup>7</sup>(Kwaliteitshandboek hydrologie 1.0, 2003) Kwaliteitshandboek voor de hydrologie, J. van der Scheer
- <sup>8</sup>(Good Modelling Practice, 1900) Good Modelling Practice, vloeiend modelleren in het waterbeheer, STOWA-RIZA
- <sup>9</sup>(Gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse, 1990) Gevoeligheidsanalyse en onzekerheidsanalyse een inventarisatie van ideeën, methoden en technieken, P.H.M. Janssen, W. Slob, J. Rotmans
- <sup>10</sup>(Maaien of niet, 2006) Effect van de flora en faunawet op het peilbeheer, Wilgert Veldman
- <sup>11</sup>(Cultuurtechnische vereniging, 1998) Cultuurtechnisch vademecum
- <sup>12</sup>(Kaart 2: Waterlopenkaart Waterbeheerplan, 2010) Waterbeheerplan waterschap Regge en Dinkel 2010-2015
- <sup>13</sup>(Kaart 5: Informatiekaart Klimaatopgave, 2010) Waterbeheerplan waterschap Regge en Dinkel 2010-2015
- <sup>14</sup>(Herinrichting Gammelkerbeek, 2009) Herinrichting Gammelkerbeek definitief ontwerp, Royal Haskoning
- <sup>15</sup>(Voorbeeldenboek Waternood, 2005) Voorbeeldenboek Waternood, H. Huijskes, H. Geerlink, L. de Groot
- <sup>16</sup>(Instrumentarium Waternood, 2002) Instrumentarium Waternood, handleiding versie 1.0, stichting toegepast onderzoek waterbeheer STOWA
- <sup>17</sup>(<http://gisopenbaar.overijssel.nl/website/groenloket/groenloket.html>, 2010)
- <sup>18</sup>(<http://gisopenbaar.overijssel.nl/website/omgevingsvisie/omgevingsvisie.html>, 2010)
- <sup>19</sup>(User's Manuel Profile, 1991) User's Manuel Profile, TU delft, H. Herbermann, W. Schuurmans



## Bijlagen

## Bijlage 1

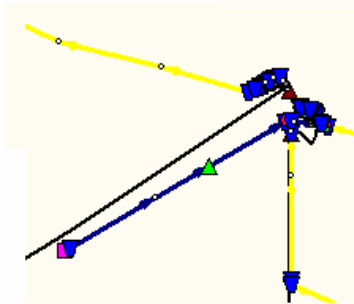
\* Logboek

## Logboek

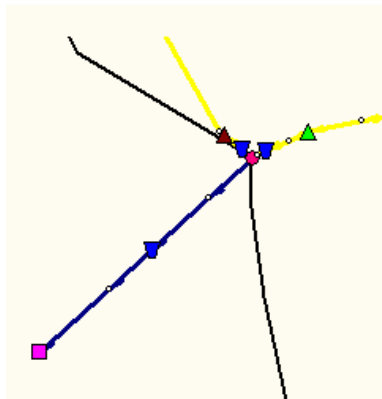
In dit Logboek zijn de wijzigingen van modelparameters om het model beter te laten functioneren bijgehouden. Per onderdeel staan de wijzigingen puntsgewijs opgesomd.

## Watergangen

In het model zijn de verdeelwerken niet meegenomen door de Sobek stekker, deze watergangen zijn wel gemodelleerd in het model.



Verdeelwerk 009 koppelleiding 20-13 en Deurningerbeek



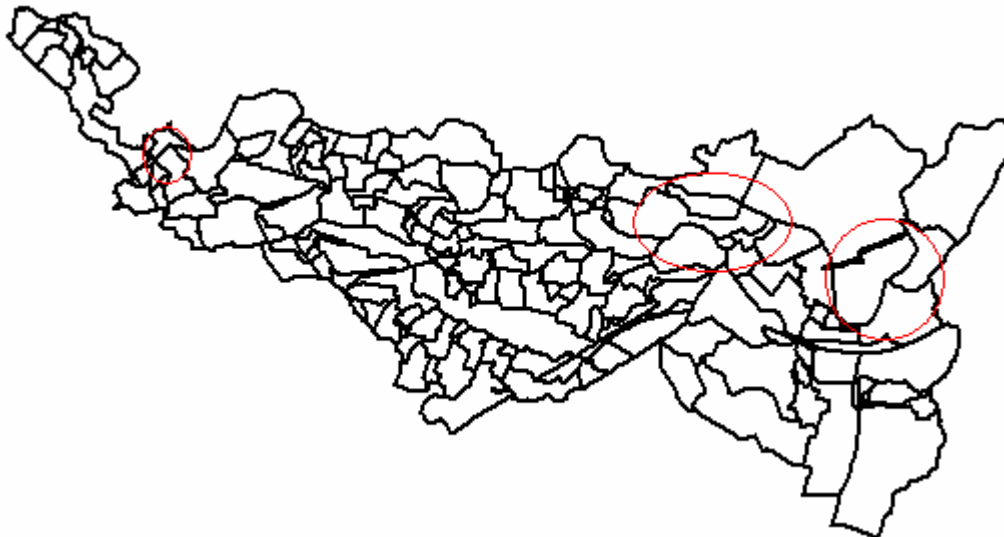
Verdeelwerk 118 Vossenbeek-Slangenbeek

## Afwateringseenheden

In het model zijn de afwateringseenheden aangepast, doordat deze niet kloppend waren. De volgende plaatjes geven aan welke afwateringseenheden zijn aangepast. De rode punten in de oude afwateringseenheden geven aan wat veranderd is.



Nieuwe afwateringseenheden



Oude afwateringseenheden

### Stuwen

De volgende stuwen zijn aangepast in het model:

- ST/1602/46.09  
Bodembreedte aangepast naar 2
- ST/1602/36.35  
Bodembreedte aangepast naar 3
- ST/1602/51.96  
Bodembreedte aangepast naar 2.5.
- ST/1602/90.03  
Bodembreedte aangepast naar 3.
- ST/16030005/11.65  
Bodembreedte aangepast naar 1.2
- ST/15060101/23.17  
Duiker en stuw in 1 gemodelleerd, duiker verwijderd
- ST/16010203/21.11  
Duiker en stuw in 1 gemodelleerd, duiker verwijderd
- ST/15060101/23.17  
Ander profiel
- ST/160102/27.33  
Winterpeil aangehouden
- ST/1506/42.53  
Winterpeil aangehouden
- ST/1506/36.26  
Bodembreedte aangepast naar 2.3.

Veranderingen die nog moeten worden doorgevoerd:

- ST/16010203/19.50  
Breedte naar 2.5

### Duikers

- DK/16010203/19.25  
Ander dwarsprofiel
- DK/1506/25.12  
Ander dwarsprofiel
- DK/HGL06/1.66  
Ander dwarsprofiel
- DK/1506/22.76  
Ander dwarsprofiel
- DK/150602/7.76  
Ander dwarsprofiel

- DK/16010206/7.61  
Ander dwarsprofiel
- DK/20130306/0.91  
Ander dwarsprofiel
- DK/160101/12.04  
Aangepast, lag onder de bodem
- DK/16010103/6.02  
Aangepast, lag onder de bodem
- DK/201360/32.96  
Aangepast, lag onder de bodem
- DK/16010003/8.63  
Invert level aangepast
- DK/16010003/18.77  
End level aangepast
- DK/16010003/18.76  
Invert level aangepast
- Duikers samengevoegd, doordat deze duikers allemaal op dezelfde plek gesitueerd waren doordat ze boven elkaar lagen. Deze zijn tot 1 duiker samengevoegd die met behulp van berekeningen dezelfde weerstand en oppervlakte heeft als de overige duikers. Voor de lengte van de duiker is de gemiddelde lengte van alle duikers gehanteerd. Deze veranderingen zijn in overleg met het waterschap doorgevoerd. De volgende duikers zijn samengevoegd tot 1 nieuwe duiker:
  - DK/160102/27.01 en DK/160102/27.02 dit is geworden DK/160102/27.02
  - DK/16010206/7.59, DK/16010206/7.60, DK/16010206/7.61, DK/16010206/7.80 en DK/16010206/7.81 dit is geworden DK/16010206/7.61.

Veranderingen die nog moeten worden doorgevoerd:

- DK/20130306/2.26  
Dwarsprofiel groter naar 300

### Afvoervak

- AFV\_V/16010103/10down  
Waarden kloppend gemaakt met omgeving
- Om de stedelijke afvoer ook mee te nemen in het model is aan sommige afvoervakken extra oppervlakte toegevoegd hieronder staan beschreven welke afvoervakken dat zijn en hoeveel oppervlakte erbij is gekomen.
  - AFV\_V/16010206/10 108 ha erbij
  - AFV\_V/16010203/20 35 ha erbij
  - AFV\_V/16010203/10 tot AFV\_V/16010203/150 175 ha erbij
  - AFV\_V/16010202/10 tot AFV\_V/16010202/70 188 ha erbij
  - AFV\_V/160101/05 tot AFV\_V/160101/30 75 ha erbij
  - AFV\_V/16030005 14 ha erbij
  - AFV\_V/1602/97 tot AFV\_V/1602/120 10 ha erbij
  - AFV\_V/16020202/10 tot AFV\_V/16020202/40 8 ha erbij
  - AFV\_V/160202/10 tot AFV\_V/160202/20 6 ha erbij
  - AFV\_V/1601/190 4,5 ha erbij

## Bijlage 2

- \* Analyse van de punten in de kaart.
- \* Kaart A, Stroomsnelheden gevoeligheidsanalyse voor Km 5 en Km 35.
- \* Kaart B, Drooglegging 2Q op basis van de leggerafmetingen.
- \* Kaart C, Drooglegging 2Q op basis van het tweefasen profiel.
- \* Kaart D, Drooglegging 2Q op basis van het natuurlijk profiel.



## Analyse van de punten in de kaart

In de kaart staan zijn verschillende punten weergegeven met getallen. Dit zijn bijzondere punten in de drooglegging die hieronder per punt verder worden toegelicht.

- 1: Recreatiepark het Hulsbeek, de blauwe vlekken in de kaart zijn de vijvers die bij dit park horen.
- 2: Perceel kan goed afwateren op het benedenstrooms deel van de waterloop, het programma heeft de verkeerde peilen geïnterpoleerd, waardoor een blauwe vlek op de kaart ontstaat.
- 3: AHN minder betrouwbaar in stedelijk gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 4: Dit deel van de beek behoort tot een park. In het park krijgt de beek meer ruimte, waardoor de blauwe plekken ontstaan op de kaart.
- 5: De bodemhoogte van de profielen ligt 15 cm lager als het maaiveld en kan dus niet voldoende drooglegging bieden, dit verklaart de blauwe kleur op de kaart.
- 6: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 7: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 8: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 9: Geen fout in de hoogtekkaart, perceel heeft nauwelijks drooglegging, dit verklaart de blauwe kleur op de kaart.
- 10: Perceel kan goed afwateren op het benedenstrooms deel van de waterloop, het programma heeft de verkeerde peilen geïnterpoleerd, waardoor een blauwe vlek op de kaart ontstaat.
- 11: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 12: Perceel kan goed afwateren op het benedenstrooms deel van de waterloop, het programma heeft de verkeerde peilen geïnterpoleerd, waardoor een blauwe vlek op de kaart ontstaat.
- 13: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.



## Bijlage 3

- \* Analyse van de punten in de kaart.
- \* Kaart A, Drooglegging 1/4Q op basis van de leggerafmetingen.
- \* Kaart B, Drooglegging 1/4Q op basis van de gemeten profielen.
- \* Kaart C, Drooglegging 2Q op basis van de leggerafmetingen.
- \* Kaart D, Drooglegging 2Q op basis van de gemeten profielen.
- \* Kaart E, Drooglegging 1Q Km 25 op basis van de leggerafmetingen.
- \* Kaart F, Drooglegging 1Q Km 5 op basis van de leggerafmetingen.
- \* Kaart G, Stroomsnelheid 1/100Q op basis van de gemeten profielen.
- \* Kaart H, Stroomsnelheid 1/4Q op basis van de gemeten profielen.
- \* Kaart i, Stroomsnelheid 1Q op basis van de gemeten profielen.
- \* Kaart j, Ontwateringsdiepte (in cm) leggerwaterlopen volgens leggermaat.
- \* Kaart K, Verschil peil legger – gemeten (cm) bij een stationaire afvoer van 1/4Q
- \* Kaart L, Verschil peil legger – gemeten (cm) bij een stationaire afvoer van 2Q



## Analyse van de punten in de kaart

In de kaart staan zijn verschillende punten weergegeven met getallen. Dit zijn bijzondere punten in de drooglegging die hieronder per punt verder worden toegelicht.

- 1: Recreatiepark het Hulsbeek, de blauwe vlekken in de kaart zijn de vijvers die bij dit park horen.
- 2: Perceel kan goed afwateren op het benedenstrooms deel van de waterloop, het programma heeft de verkeerde peilen geïnterpoleerd, waardoor een blauwe vlek op de kaart ontstaat.
- 3: AHN minder betrouwbaar in stedelijk gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 4: Dit deel van de beek behoort tot een park. In het park krijgt de beek meer ruimte, waardoor de blauwe plekken ontstaan op de kaart.
- 5: De bodemhoogte van de profielen ligt 15 cm lager als het maaiveld en kan dus niet voldoende drooglegging bieden, dit verklaart de blauwe kleur op de kaart.
- 6: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 7: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 8: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 9: Geen fout in de hoogtekkaart, perceel heeft nauwelijks drooglegging, dit verklaart de blauwe kleur op de kaart.
- 10: Perceel kan goed afwateren op het benedenstrooms deel van de waterloop, het programma heeft de verkeerde peilen geïnterpoleerd, waardoor een blauwe vlek op de kaart ontstaat.
- 11: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.
- 12: Perceel kan goed afwateren op het benedenstrooms deel van de waterloop, het programma heeft de verkeerde peilen geïnterpoleerd, waardoor een blauwe vlek op de kaart ontstaat.
- 13: AHN minder betrouwbaar in bebost gebied, deze blauwe punten kunnen genegeerd worden.

In de modelberekeningen van de gemeten situatie zijn enkele gemeten profielen verkeerd, waardoor blauwe vlekken in de kaart ontstaan. Deze zijn aangegeven met de rode getallen in de kaart. Dit beïnvloedt niet de overige uitkomsten van het model.

- 1: Er is maar een profiel gemeten voor deze watergang, deze ligt aan het begin van de watergang, waardoor de bodem voor de rest van de watergang te hoog is en boven maaiveld ligt. Dit is de reden van de blauwe vlek op de kaart.
- 2: Er is maar een profiel gemeten voor deze watergang, deze ligt aan het begin van de watergang, waardoor de bodem voor de rest van de watergang te hoog is en boven maaiveld ligt. Dit is de reden van de blauwe vlek op de kaart. Daarnaast is het AHN minder betrouwbaar in bebost gebied.



## Bijlage 4

\* Grafiek A, Nieuw profiel Gammelkerbeek





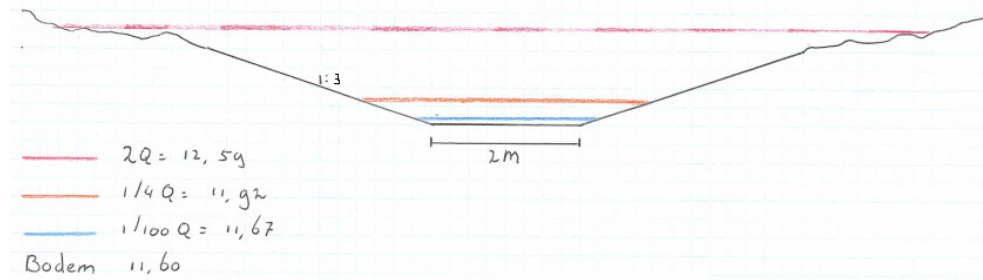
## Bijlage 5

- \* Grafiek A, Randvoorwaarden voor de waterstanden
- \* Nieuwe profielen Deurningerbeek

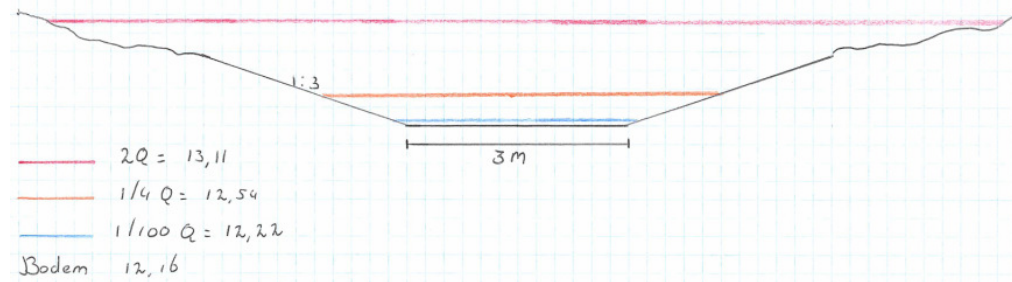


## Nieuwe profielen Deurningerbeek

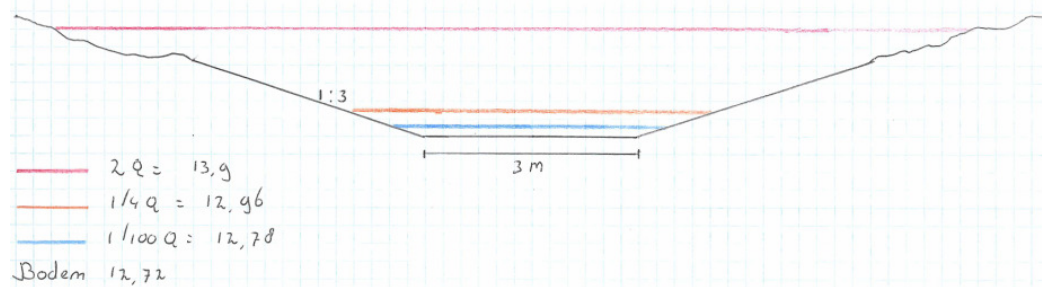
Profiel 1



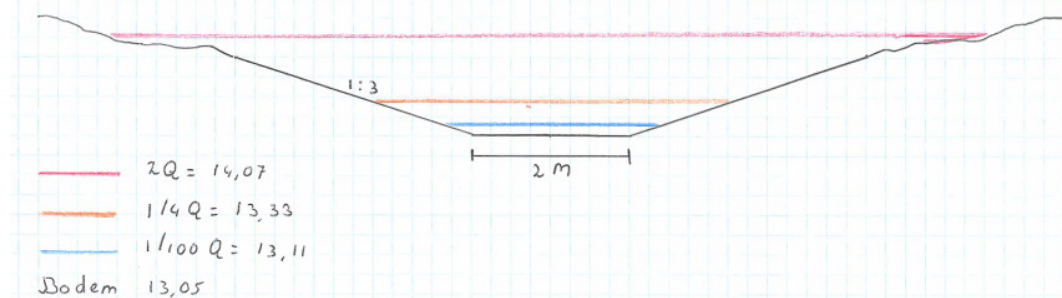
Profiel 2



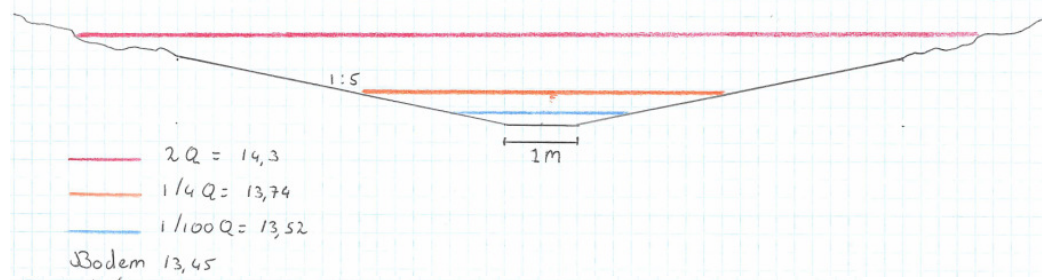
Profiel 3



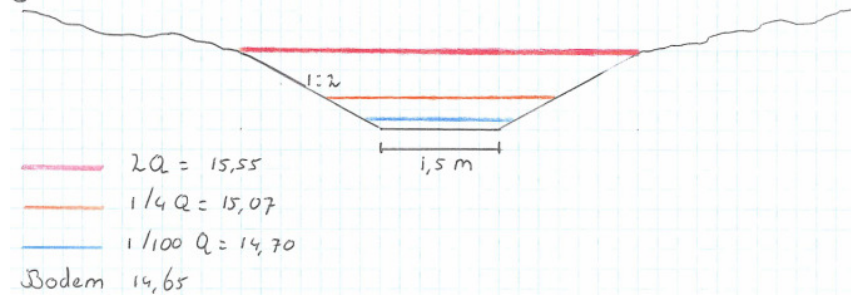
Profiel 4



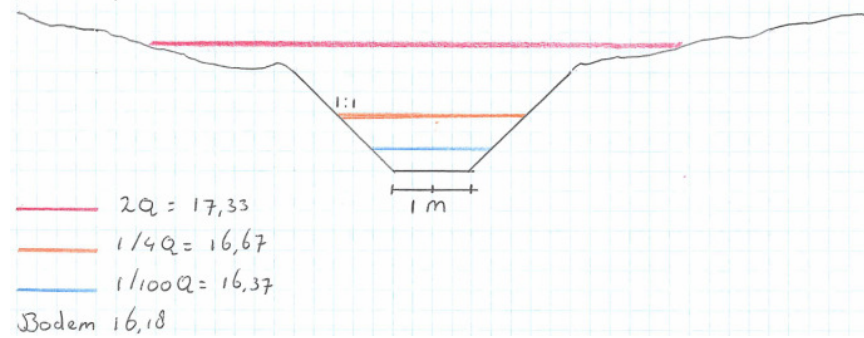
Profiel 5



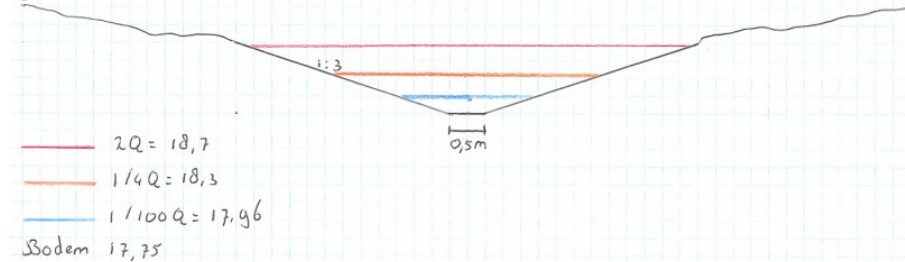
Profiel 6



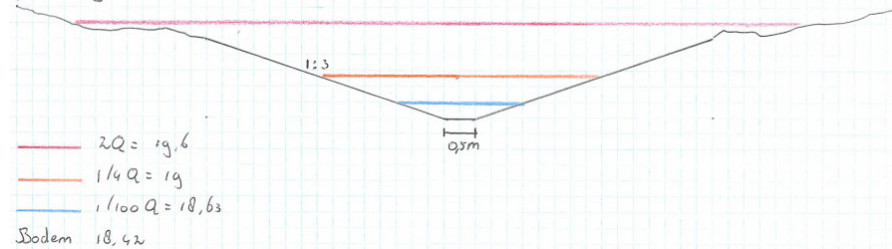
Profiel 7



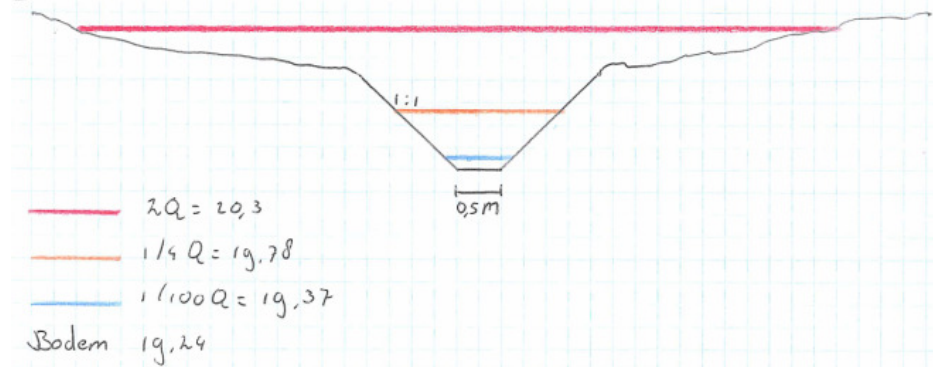
Profiel 8



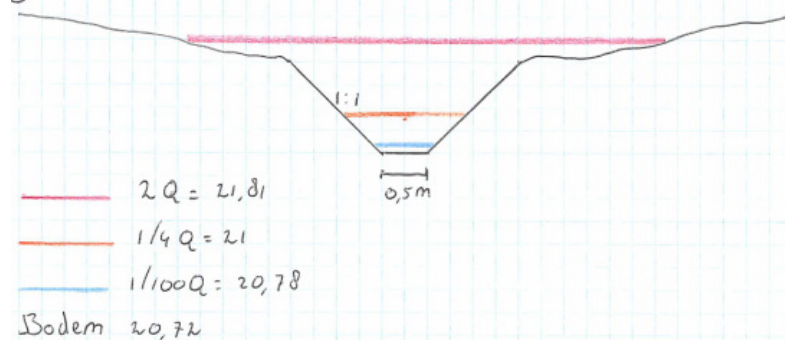
Profiel 9



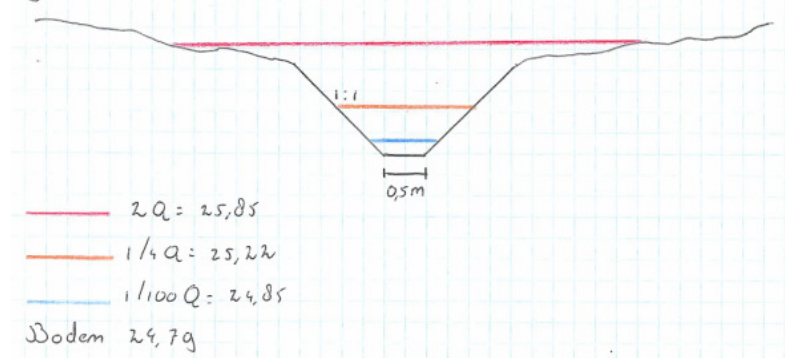
Profiel 10



Profiel 11



Profiel 12



Profiel 13

