

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie die een analyse van de onderhoudstoestand ten behoeve van de bluswaternorm van de spoorloten langs de Betuweroute laat zien. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Waterschap Rivierenland, afdeling Weg,- en Waterbouw, team Baggeren. Met deze scriptie zal ik mijn laatste 30 studiepunten behalen en daardoor mijn studie Land- en Watermanagement, met specialisatie Grond, Weg en Waterbouw afronden. Deze opleiding heb ik gevolgd op Van Hall Larenstein te Velp.

Doordat ik in eerste instantie bij de afdeling Peilbeheer liep en dit helaas te weinig raakvlakken bleek te hebben met mijn specialisatie, ben ik iets later dan gepland begonnen bij de afdeling Baggeren. Samen met mijn eerste begeleider Vincent Struik zijn we bij verschillende afdelingen gaan informeren naar een nieuwe opdracht en uitgekomen bij Leon Boot die er voor open stond om mij gedurende het traject te begeleiden. Hierdoor heb ik alsnog bij het waterschap aan de slag kunnen gaan en ben ik erin geslaagd om mijn afstudeerscriptie hier te schrijven. Zowel Vincent Struik als Leon Boot wil ik dan ook erg bedanken. Verder wil ik alle medewerkers van Waterschap Rivierenland bedanken die mij op welke manier dan ook geholpen hebben. Tenslotte kon ik ook altijd terecht bij mijn begeleider van school, Ad Bot. Via deze weg wil ik daarom iedereen bedanken voor hun hulp!

Thijs Visschers

Samenvatting

Waterschap Rivierenland is verantwoordelijk voor het onderhoud van de spoor sloten die, hoofdzakelijk parallel, aan de Betuweroute liggen. In het Tracébesluit Betuweroute is een norm opgenomen waarin staat dat deze sloten in geval van calamiteiten voldoende bluswater moeten kunnen leveren voor de brandweer. Deze norm houdt in dat de brandweer gedurende 4 uur minimaal 6m^3 water per minuut uit de bluswatergangen moet kunnen onttrekken. Tevens heeft de pomp die door de brandweer gebruikt wordt ten tijde van onttrekking een minimale waterdiepte van 35 cm nodig. Met het huidige onderhoudsregime op het gebied van maaien en baggeren, is het onduidelijk of tegen het einde van de baggercyclus nog aan deze norm kan worden voldaan.

Om een advies te kunnen geven over de te nemen onderhoudsmaatregelen die getroffen moeten worden, zijn er twee representatieve peilgebieden gekozen waar het tracé door heen ligt. Bij de keuze is uitgegaan van de meest ongunstige omstandigheden; veel duikers, veel bochten, grote afstanden tot de inlaat en kleine inlaten. Vervolgens zijn beide peilgebieden gemodelleerd in het hydrologische modelleringsprogramma SOBEK, en is er uitgegaan van een winterpeil situatie. Tevens is de plaats van onttrekking op het, voor water, moeilijkst te bereikbare punt gemeten. De risico's als extreme droogte en ijsvorming zijn buiten beschouwing gelaten. Beide peilgebieden zijn eerst zonder bagger doorgerekend. Deze situatie bleek te voldoen. Vervolgens is er met een groeiende baggerlaag en verschillende sloot- en duikerwandruwheden gerekend.

Uit deze berekeningen is gebleken dat de doorstroming van de duikers een zeer belangrijke rol speelt. Doordat het water hoofdzakelijk van de aanvoer sloten via een duiker naar de bluswatergang moet komen is het erg belangrijk deze duikers schoon te houden. Door de grote hoeveelheid water in het gehele peilgebied is de hoeveelheid bagger in het gehele peilgebied niet zozeer van belang. De hoeveelheid bagger in de *bluswatergangen* is echter wel erg van invloed. In deze watergangen wordt de pomp gelegd en heeft men, bij voldoende toestroming vanuit de duikers, in rust situatie te maken met een minimale waterdiepte van 40 cm. Het wordt echter aangeraden door toevoeging van veiligheidsmarges in de praktijk een minimale waterdiepte van 45 cm aan te houden.

Vanwege de zeer fluctuerende baggeraanwas is het aan te raden om de duikers en de bluswatergangen één keer in de 5 jaar te peilen. Afhankelijk van de baggerhoogte in de bluswatergang wordt 30 cm bagger als maximale hoogte gezien.

De frequentie waarmee er momenteel gemaaid wordt lijkt voldoende te zijn. Berekeningen laten zien dat er bij minimale waterdiepte van $<35\text{cm}$ pas verschil is waar te nemen tussen het huidige maaibeeld en een nog beter maaibeeld. In dergelijke gevallen wordt eerder aangeraden te gaan baggeren in plaats van te maaien.

Het effect van gladdere wanden in de duikers geeft ook pas merkbare verschillen weer wanneer de waterdiepte $<35\text{cm}$ is. Voor deze situaties is het tevens verstandiger om te baggeren dan de wandweerstand te verbeteren.

H1.	Inleiding.....	4
1.1	Kader	4
1.2	Probleembeschrijving	5
1.3	Probleemstelling en deelvragen	6
1.4	Aanpak.....	7
1.5	Afbakening.....	7
1.6	Doelgroep	8
H2	Benamingen en functionele eisen	9
H3	Methodiek	11
3.1	Selectie peilgebieden.....	11
3.1.1	<i>Beschrijving peilgebied 1</i>	13
3.1.2	<i>Beschrijving peilgebied 2</i>	15
3.2	Modelbeschrijving zonder waterinlaat	16
3.2.1	<i>Schematisering</i>	16
3.2.2	<i>Peilgebied 1</i>	17
3.2.3	<i>Peilgebied 2</i>	18
3.3	Model met waterinlaat.....	19
3.4	Debiet gegevens	22
3.4.1	<i>Debiet gegevens peilgebied 1</i>	22
3.4.2	<i>Debiet gegevens peilgebied 2</i>	23
3.5	Bepaling wandruwheid in de watergangen	24
3.6	Bepaling wandruwheid in de duikers	29
H4	Model resultaten	30
4.1	Modelresultaten zonder water in,- en uitlaat vanuit andere peilgebieden.....	30
4.1.1	<i>Resultaten peilgebied 1</i>	30
4.1.2	<i>Resultaten peilgebied 2</i>	30
4.2	Model resultaten met water in,- en uitlaat vanuit andere peilgebieden	31
4.2.1	<i>Resultaten peilgebied 1</i>	32
4.2.2	<i>Resultaten peilgebied 2</i>	33
H 5	Onderhoud.....	40
5.1	Sloten ingedeeld in categorieën.....	40
5.2	Maaien.....	40
5.3	Bepaling baggeraanwas	42
5.4	Baggeren	44
H 6	Risico's.....	46
H 7	Conclusies	48

H8	Aanbevelingen	50
8.1	Aanbevelingen in de praktijk	50
8.2	Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek	51
H 9	Literatuurlijst	52
	Gevoerde gesprekken met:	53
	Aannames	54
	Verklarende woordenlijst.....	55

Bijlagen

Peilgebied 1:

Bijlage 1

Overzicht bluswatergangen inclusief deelgebieden

Bijlage 2

Overzicht maaifrequentie bluswatergangen

Bijlage 3

Bodemkaart (grond soorten)

Bijlage 4

Bodemkaart (hoogte ligging)

Peilgebied 2:

Bijlage 5

Overzicht bluswatergangen inclusief deelgebieden

Bijlage 6

Overzicht maaifrequentie bluswatergangen

Bijlage 7

Bodemkaart (grond soorten)

Bijlage 8

Bodemkaart (hoogte ligging)

Bijlage 9

Berekende waterpeilen

Bijlage 10

Profielgegevens

Bijlage 11

Foto impressie

Bijlage 12

Berekende debieten

Bijlage 13

Toetsing van de resultaten

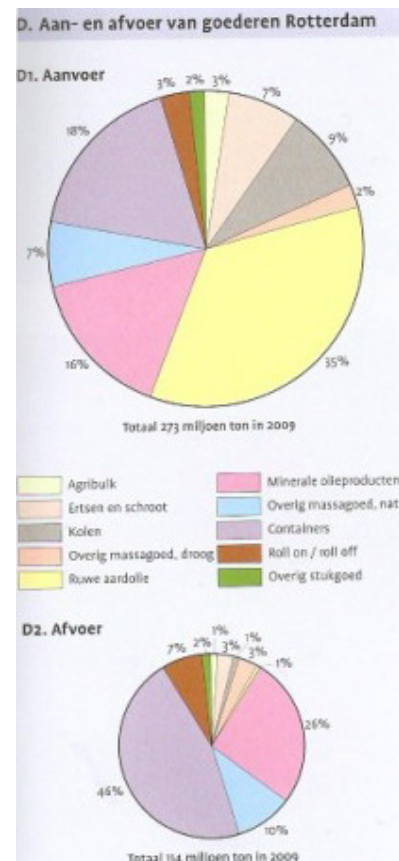
H1. Inleiding

De haven van Rotterdam is momenteel de 4 na grootste haven van de wereld en de grootste van Europa. Hierdoor is deze haven een zeer belangrijk knooppunt op het gebied van transport en distributie van goederen.

De belangrijkste (veelal brandgevaarlijke) goederen die in Rotterdam worden aan- en afgevoerd zijn kolen, ertsen / schroot, containers, minerale olie en ruwe olie. Deze grondstoffen en producten worden grotendeels vervoerd over de binnenvaartwegen (o.a. de Rijn, Amsterdam-Rijnkanaal, Waal), het Nederlands wegennet en het spoor. (Bron: Bosatlas van Nederland waterland, pg. 32-35)

Naar verwachting zal de betekenis van het goederenvervoer per spoor in combinatie met andere vervoermiddelen, vooral op middellange afstanden, de komende jaren verder toenemen. Een nieuwe, aparte route voor goederentransport was hard nodig omdat het bestaande spoornet steeds intensiever werd gebruikt voor passagiersvervoer. Tevens nam de verkeersdruk op de A15 steeds meer toe door het vrachtverkeer. Om deze reden is er een goederenspoorlijn, die van de Rotterdamse haven via Zevenaar naar Duitsland leidt, gerealiseerd. Dit scheelt tijd en geld. Tevens hoeven treinen met gevaarlijke stoffen niet langer meer door centra van dicht bevolkte steden te rijden

Omdat er veel brandgevaarlijke stoffen vervoerd worden zijn er zogeheten spoorsloten langs de Betuweroute aangelegd. Deze sloten moeten tijdens een calamiteit voor voldoende bluswater zorgen.



Afbeelding 1; Aan- en afvoer van goederen in de haven van Rotterdam

1.1 Kader

Waterschap Rivierenland (WSRL) is een organisatie die zorg draagt voor de kwalitatieve en kwantitatieve waterhuishouding van het Rivierengebied. Dit gebied, met een grootte van 201.000 hectare, begint bij de Duitse grens nabij Nijmegen en eindigt 91 kilometer verder richting het westen ter hoogte van rivier "de Noord" bij Alblasterdam. Op afbeelding 2 is de ligging van de Betuweroute te zien. De rode lijn tussen de twee zwarte strepen is de Betuweroute die in het beheersgebied van Waterschap Rivierenland ligt.



Afbeelding 2; Ligging van de Betuweroute met tussen de twee zwarte verticale strepen het beheersgebied van WSRL.

1.2 Probleembeschrijving

Eén van de kerntaken van Waterschap Rivierenland is het uitvoeren van (onderhouds-) baggerwerken binnen het beheersgebied van waterschap Rivierenland. Het ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft Prorail BV aangewezen als eindverantwoordelijke voor de Betuweroute. Prorail¹ heeft de beheer en onderhoudstaken die het maaien en baggeren aan de watergangen betreffen, overgedragen aan Keyrail², die vervolgens deze taak weer heeft overgedragen aan Waterschap Rivierenland. Deze spoorsloten liggen hoofdzakelijk parallel aan de Betuweroute. In het tracébesluit Betuweroute is een norm opgenomen waarin vermeld staat dat deze sloten voldoende bluswater moet kunnen leveren voor de brandweer in het geval van calamiteiten. waarvoor in het Tracébesluit Betuweroute een norm is opgenomen waarin staat dat deze sloten voldoende bluswater moet kunnen leveren voor de brandweer in geval van calamiteiten (voor specificatie zie H2). Om aan deze bluswaternorm van 100 liter per seconden gedurende 4 uur te kunnen voldoen moet er gezorgd worden voor voldoende en tijdig onderhoud aan de watergangen en duikers. Het is bij Waterschap Rivierenland echter onvoldoende duidelijk of er met het huidige onderhoudsbeleid kan worden voldaan aan deze norm.

¹ ProRail BV is de spoorinfrastructuurbeheerder van Nederland.

² Keyrail is de spoorinfrastructuurbeheerder die vanaf 1 januari 2007 verantwoordelijk is voor de exploitatie en de uitvoering van het beheer van de Betuweroute

1.3 Probleemstelling en deelvragen

Door Waterschap Rivierenland is een meerjarig baggerplan opgesteld waarin o.a. staat weergegeven welke watergangen in welk jaar worden geschoond. Dit meerjarig baggerplan is bedoeld voor alle hoofd (A-)watergangen in het gehele beheersgebied. Deze A-watergangen worden door het waterschap gebaggerd. Kleinere sloten (B-sloten) worden door percee-eigenaren zelf gebaggerd. Hier kijkt het waterschap streng op toe. In het meerjarig baggerplan staat dat de watergangen om de 15 jaar gebaggerd moeten worden. Probleem hierbij is echter dat men niet met zekerheid kan zeggen of de spoorsloten aan het eind van de periode van 15 jaar ook nog voldoen aan de bluswaternorm.

Door de groeiende baggeraanwas komt de slootbodem steeds hoger te liggen waardoor er uiteindelijk te weinig ruimte in de sloot overblijft om aan de gestelde norm te kunnen voldoen. Ook moet er rekening gehouden worden met het verschil in zomer- en winterpeil. Het winterpeil ligt in veel gevallen ten opzichte van het zomerpeil 20 cm lager.

Omdat Waterschap Rivierenland verantwoordelijk is voor het onderhoud van de sloten, moeten zij ervoor zorgen dat de sloten ten alle tijden, uitgezonderd van extreme situaties, aan de bluswaternorm voldoen. In hoofdstuk 5 "risico's" zijn extreme situaties beschreven waarbij van deze eis afgeweken mag worden. Om het onderzoek breder inzetbaar te maken wordt er tevens onderzocht wat voor invloed het heeft om de wandruwheid van de slootkanten en van de duikers, door bijvoorbeeld frequenter te maaien, te verkleinen. Hierdoor kan eventueel het baggeronderhoud uitgesteld worden.

Hoofdvraag:

Aan welke voorwaarden moet worden voldaan om te kunnen garanderen dat de spoorsloten voldoen aan de bluswaternorm?

Deelvragen:

- Voldoet het systeem zoals deze tijdens de uitvoeringsfase is gerealiseerd?
(Er wordt een controleberekening uitgevoerd waarbij getest wordt of de watergangen, zonder invloed van bagger, water aanvoer en andere factoren die invloed kunnen hebben op de berging, over voldoende water beschikken.)
- In hoeverre kunnen de eigenschappen en kenmerken van het watersysteem van invloed zijn op het behalen van de bluswaternorm?

(Er wordt onderzocht welke verschillende factoren een belemmering kunnen vormen, voorbeelden zijn inlaten, stuwen, smalle duikers en verschillende duiker wandruwheden.)
- Volstaat het huidige maaibeleid en wat is het effect van minder wandruwheid?

(vegetatie aan de slootkant zorgt voor een hogere wandruwheid waardoor de stroomsnelheid vermindert.)

- Welke minimale waterdiepte heeft het systeem nodig om aan de bluswaternorm te kunnen voldoen?
(baggeraanwas op de slootbodem en in de duikers in combinatie met een te handhaven streefpeil zorgt voor een steeds kleinere waterdiepte wat kan leiden tot het niet halen van de norm.)
- Welke maatregel is kosteneffectief het meest gunstig?
(een afweging van de best te nemen maatregel)

Doelstelling:

Het geven van een advies over de te nemen onderhoudsmaatregelen die getroffen moeten worden om te kunnen voldoen aan de bluswaternorm van 100l/s gedurende 4 uur.

1.4 Aanpak

Om twee peilgebieden uit te kiezen die representatief zijn voor de overige peilgebieden zijn er als eerste van alle peilgebieden die aan de Betuweroute grenzen twee peilgebieden geselecteerd. Deze peilgebieden voldoen aan vooraf opgestelde randvoorwaarden.

Voorbeelden hiervan zijn de breedte/lengte van de watergangen, de waterdiepte en het aantal duikers. Dit is gedaan om twee gebieden te kunnen selecteren die representatief zijn voor de moeilijke peilgebieden. Omdat er geen modellen beschikbaar waren zijn beide peilgebieden vervolgens gemodelleerd in SOBEK.

Deze modellering is in eerste instantie uitgevoerd binnen een situatie waarbij er geen water vanuit ander peilgebieden is in-, - en uitgelaten. Vervolgens zijn beide peilgebieden mét in-, - en uitlaat vanuit aangrenzende peilgebieden gemodelleerd. Dit onderscheid is gemaakt omdat er bij de realisatiefase geen inlaat is meegerekend om aan de norm te kunnen voldoen, terwijl dit in praktijk wel het geval is (zie H2).

Het model is daarna met verschillende berekende factoren als: baggeraanwas, slootkant en duiker wandruwheden gaan rekenen, waardoor de waterstanden bekend zijn geworden. Dit is eerst gebeurd bij de peilgebieden zonder in-, en uitlaat en vervolgens bij dezelfde peilgebieden met in-, en uitlaat. Door middel van een korte rekenkundige toetsing is nagegaan of de berekende situatie ook in praktijk daadwerkelijk mogelijk is. Tenslotte is er aan de hand van de resultaten een conclusie en een aanbeveling gemaakt.

1.5 Afbakening

Inhoudelijk

De berekeningen zijn gemaakt op de meest ongunstige locatie in de peilgebieden. Dit wil zeggen: een locatie waarvan werd verwacht dat deze het moeilijkst te bereiken is door het water. Per peilgebied is er één locatie getoetst. De situatie waarmee gerekend is, is een worst-case situatie waarbij er is uitgegaan van een winterpeil, dat het niet regent en dat er ook geen grondwatertoevoer is. Extreme situaties als stroomuitval en hevige regenval **zijn** buiten beschouwing gelaten. Hoofdstuk 5 gaat verder in op deze extreme situaties. Situaties waarbij er voor de landbouw of andere doeleinden water uit de sloten wordt onttrokken, zijn ook buiten beschouwing gelaten.

In geval van calamiteiten kan WSRL, met behulp van een noodverordening, het oppompen van water uit de omliggende sloten per direct verbieden.

Geomorfologisch

Baggeraanwas blijft een proces dat van veel factoren afhankelijk is: flora en fauna, weerssituaties, stroomsnelheid van het water en de geomorfologische situatie hebben allemaal invloed op de aanwas van bagger.

Hoewel er zo representatief mogelijke gebieden zijn gekozen, blijft elke gebied uniek en kan er geen exacte berekening gemaakt worden betreffende de baggeraanwas. Om deze reden zijn hiervoor schattingen en aannames gebruikt die gebaseerd zijn op eerdere onderzoeken en een monitoringsprogramma van het Waterschap.

De omstandigheden in duikers zijn anders dan de omstandigheden in de watergangen. De stroomsnelheid is er sneller en er is een andere wandruwheid. Dit heeft gevolgen voor de hoeveelheid baggeraanwas. Deze verschilt echter per situatie. Om deze reden is er in duikers vanuit gegaan dat de baggeraanwas net zo snel groeit als in de watergangen.

1.6 Doelgroep

Deze scriptie kan interessant zijn voor waterschappen die met hun sloten moeten voldoen aan een minimale norm wat betreft waterkwantiteit. Dit onderzoek is in eerste instantie bedoeld voor, en in opdracht gedaan van, Waterschap Rivierenland. De partijen Prorail en Keyrail hebben geen onderhoudsplicht meer, maar dit neemt niet weg dat het voor deze twee partijen interessant is om meer kennis op te doen van de achterliggende theorie betreffende het baggeren van deze sloten. Tevens krijgt de brandweer middels dit onderzoek een duidelijker beeld van de toestand van de watergangen en of zij in geval van calamiteiten daadwerkelijk de hoeveelheid water kunnen onttrekken. Tenslotte geeft deze rapportage de docenten van Van Hall-Larenstein en externe deskundigen de gelegenheid om de uitgevoerde afstudeeropdracht te beoordelen.

H2 Benamingen en functionele eisen

De taak van Waterschap Rivierenland is om, door middel van onderhoudswerkzaamheden, te zorgen voor voldoende beschikbaar water tijdens calamiteiten langs de Betuweroute. Om dit te kunnen realiseren zijn er speciale “spoor sloten” aangelegd die grotendeels parallel aan het tracé liggen. Wanneer er al watergangen lagen zijn deze, indien nodig, vergroot en/of in verbinding gebracht met andere watergangen. Tevens zijn duikers, gemalen en kunstwerken betreft de grote of de techniek zo nodig aangepast.

Deze watergangen hebben verschillende functies gekregen. Zo zijn er watergangen die voor de aanvoer van het water moeten zorgen: de zogeheten aanvoerleiding. Deze *watergangen* liggen in het algemeen in verbinding met grote watergangen in het peilgebied.

Vervolgens zijn er sloten die het label: “primaire inzet brandweer” hebben gekregen (Deze worden in het vervolg 'blussloten' genoemd. Deze sloten liggen vaak parallel aan het tracé van waaruit het water met behulp van een pomp wordt onttrokken.

Op locaties waar geen ruimte is voor een watergang zijn er (gesloten) leidingen gelegd. Een blusleiding ligt vaak parallel aan het tracé en heeft punten van waaruit de brandweer water kan onttrekken.

Het diepriool zorgt in enkele gevallen voor de toevoer van het water naar de blusleiding. (Voor een overzicht van deze watergangen per peilgebied: zie bijlage 1 en 5). Bovenstaande watergangen zullen in zijn geheel als “spoor sloten” worden aangeduid.

A-watergangen; deze zorgen voor een aan-, en afvoer van water binnen een gebied. Deze watergangen zijn over het algemeen het grootst en zorgen voor de hoofd aan-, en afvoer van het water. Deze watergangen zijn in de meeste gevallen onderhoud van het Waterschap zelf en worden eens in de 12 – 15 jaar gebaggerd. Dit doet het Waterschap zelf, maar de eigenaren van de omliggende percelen hebben wel een ontvangstplicht. Dit betekent dat de bagger (tegen een vergoeding) verspreid wordt op het land van de eigenaar.

B- watergangen; deze zorgen voor de aan-, en afvoer van water tussen de percelen in. De aangrenzende grondeigenaren zijn verantwoordelijk voor het beheer van deze sloten. Elke jaar rond 1 november wordt middels de “schouw” door het waterschap, gecontroleerd of de watergangen voldoende geschoond zijn (slootkanten). Eens in de 12-15 jaar moeten ook deze sloten gebaggerd worden.

C-watergangen; deze wateren hebben geen functie in aan-, en afvoer van water en zijn er uitsluitend om extra ruimte aan water te kunnen geven (waterberging). Deze watergangen worden niet gebaggerd.

In veel gevallen is een aanvoerleiding een A-watergang en is een blussloot een B-watergang dit is echter niet in elk peilgebied het geval.

In het Tracébesluit Betuweroute is een norm opgenomen waarin staat dat bovenstaande sloten voldoende bluswater moeten kunnen leveren voor de brandweer in geval van calamiteiten. Deze norm houdt in dat de brandweer:

- 100 liter water per seconde gedurende 4 uur uit de watergang moet kunnen onttrekken.

Dit betekent dat er 6000 liter per minuut; 360.000 liter per uur en 1440 m³ liter water in 4 uur beschikbaar moet zijn.

Om deze hoeveelheid water echter te kunnen onttrekken hebben alle brandweercorpsen in de buurt van de Betuweroute de beschikbaarheid over een pomp (HSPpomp type 19, Brandweer Geldermalsen). Deze pomp heeft een:

- minimale waterdiepte nodig van 35 cm.

Deze waterdiepte is de uiterste waterdiepte, wat inhoudt dat wanneer het waterpeil bij onttrekking gaat dalen er nog steeds minimaal 35 cm waterdiepte aanwezig moet zijn.

Aan deze eis moet men zich houden omdat de bodemhoogte direct doorwerkt in de hoogteligging van de pomp en het beschikbare water boven de zuigmond.

De pomp moet van de bodem af liggen om zandinzuiging te voorkomen en voldoende watertoevoer van onder af mogelijk te maken. Omdat er met grote kracht water uit de sloot onttrokken wordt kan er bij een tekort aan water tijdens de onttrekking een soort trechter rondom de pomp ontstaan. Ook dit zorgt voor een kleine plaatselijke peildaling. Hoeveel deze plaatselijke peildaling is, is niet bekend bij de leverancier van de pomp.

Tevens is dit, mede in verband met het tijdsbestek, niet te berekenen en afhankelijk per situatie. Om deze reden wordt er een aanname voor een veiligheidsmarge van 5 cm gedaan.

Voorafgaand aan de realisatie is er door het ingenieursbureau Grontmij, met behulp van het hydrologisch modelleringsprogramma, berekend dat enkel de spoor sloten, waarbij er geen toevoer is vanuit andere aanliggende watergangen, over minimaal 70 cm waterdiepte moeten beschikken. Deze waterdiepte is berekend om aan de bovenstaande norm van 100l/s in 4 uur te kunnen voldoen.

In het jaar 2006 zijn er door Waterschap Rivierenland, in samenwerking met Prorail en de brandweer, twee praktijkoefeningen uitgevoerd. Tijdens de eerste oefening is getoetst of de aanwezige sluizen, inlaten, duikers en gemalen voldoende om de aanvoercapaciteit van het slotenstelsel op dit gebied te kunnen garanderen. Tevens is om eventuele misverstanden te voorkomen de communicatie tussen de brandweer en het waterschap getest.

De tweede oefening had als doel om te toetsen of de waterbeschikbaarheid van de spoor sloten in combinatie met de aangesloten watergangen voldoende was om aan de norm te kunnen voldoen. Deze oefening is op een willekeurige plek (in de buurt van Geldermalsen) uitgevoerd waarbij er 1,5 uur water onttrokken is (in plaats van de gestelde 4 uur).

De uitkomsten van deze oefeningen waren, op enkele verbeterpunten na, overwegend positief (zie besprekingsverslag; waterbeschikbaarheid). Echter zijn er bij deze oefeningen twee belangrijke factoren niet meegenomen:

- Winterpeil
- Baggeraanwas (er was net na de aanleg in 2006 nog weinig sprake van bagger)

Er is tijdens de oefening uitgegaan van een zomerpeil. Het zomerpeil ligt vaak 10 tot 20 cm hoger dan het winterpeil. Dit betekent extra berging in het slotenstelsel. Omdat er ten alle tijden aan de norm moet worden voldaan zou er dus getoetst moeten worden in de meest ongunstige situatie, namelijk: ten tijde van het winterpeil bij een grote baggeraanwas.

Omdat het in 2006 onderzochte peilgebied niet representatief is voor de rest van de peilgebieden is er besloten om twee andere peilgebieden te kiezen voor het model. Hierbij is er gekozen om twee representatieve peilgebieden te kiezen met de minst positieve eigenschappen, namelijk veel duikers of een kleine waterinlaat. Wanneer er blijkt dat de gekozen peilgebieden voldoende water kunnen leveren wordt er vanuit gegaan dat de overige peilgebieden zeker voldoen.

H3 Methodiek

3.1 Selectie peilgebieden

Om te onderzoeken in hoeverre de verschillende factoren hun invloed op de peilgebieden kunnen uitoefenen voordat deze gebieden niet meer aan de gestelde norm kunnen voldoen, is besloten om te kiezen voor twee representatieve peilgebieden. hiervoor is gekozen om de onderzoeksresultaten een zo breed mogelijke dekking te geven.

De keuze voor de twee peilgebieden die vervolgens gemodelleerd worden is gemaakt door middel van een gebiedsinventarisatie. Hierbij zijn alle 59 peilgebieden met behulp van kaartmateriaal bestudeerd en is er gesproken met de adviseur van de afdeling Peilbeheer en de overige peilbeheerders. Tevens zijn er gesprekken geweest met medewerkers die een nauwe samenwerking hebben met de rayonhoofden van de afdeling Beheer en Onderhoud. Uit deze gesprekken zijn de onderstaande, punten naar boven gekomen waarmee bij de keuze rekening gehouden is gehouden. De eerste twee punten worden hierbij als belangrijkste gezien.

- Grootte van de inlaatcapaciteit
- Aantal duikers (*dit is de meest kritieke factor, bruggetjes e.d. hoeven niet mee gerekend worden want die leveren geen knelpunten op*)
- Breedte van de sloten • Lengte van de sloten
- Ligging t.o.v. de inlaatsloot • Aantal bochten

Bij de selectie van de twee peilgebieden is er in eerste instantie gekeken naar de hoeveelheid werkelijk sloten. Er zijn grote stukken waar, door omstandigheden, geen sloten gegraven konden worden. Op deze locaties zijn er, vaak onder de grond, zogeheten blusleidingen aangelegd. Deze gesloten buizen worden voorzien van water. Invloeden als bagger en wandruwheid hebben minder tot geen invloed op deze manier van water toevoeren.

Tevens gaf de peilbeheerder aan dat er in het westen van het land, vergeleken met gebieden in het oosten van het land, erg veel sloten in de peilgebieden liggen. Dit houdt in dat zij beschikken over een grote waterbuffer, waardoor de bluswaternorm al snel gehaald wordt. De sloten in de gebieden richting het oosten van het land liggen verder uit elkaar waardoor hier eerder problemen worden verwacht. De peilbeheerder gaf om bovenstaande reden dan ook het advies om gebieden te kiezen die meer richting het midden en het oosten van het land liggen. Technisch gezien betekent dit 18 kilometer van de westelijke grens af.

Van de overgebleven peilgebieden zijn er twee soorten peilgebieden die erg veel voorkomen langs het tracé.

- Peilgebieden met een klein inlaatdebiet en met relatief weinig duikers.
- Peilgebieden die tegenovergesteld zijn van de eerste soort peilgebieden: gebieden met een grote inlaat en met relatief veel duikers.

Er is besloten om van beide peilgebieden één peilgebied uit te kiezen.

Om er voor te zorgen dat de uiteindelijke resultaten zoveel mogelijk dekkend zijn voor overige peilgebieden zijn voor beide bovenstaande opties de minst positieve uitgangssituaties gekozen.

De peilgebieden die in aanmerking zouden komen voor selectie zijn met elkaar vergeleken op basis van het aantal duikers en inlaat debiet. Hieruit is onderstaand overzicht ontstaan.

Hoeveelheid (duikers)	Betekenis
5 duikers of meer	veel
2 duikers of minder	weinig
Inlaat debiet (m ³ /s)	Betekenis
0,7 of meer	veel
0,6 of minder	weinig

De ingedeelde peilgebieden zijn hierna nogmaals met elkaar vergeleken waarna er een selectie is gemaakt van peilgebieden met de minst positieve eigenschappen (zo weinig mogelijke duikers en een zo klein mogelijke inlaat). De reden hiervoor is dat als het waterpeil in deze peilgebieden voldoende blijkt te zijn, dit ook zeer waarschijnlijk is voor de peilgebieden met gunstigere eigenschappen.

Bij de keuze van de peilgebieden is er gebruik gemaakt van het “actie protocol” (actie protocol Betuweroute). Dit protocol is door de peilbeheerders opgesteld om op deze manier duidelijk te maken wat er per peilgebied gedaan moet worden in geval van calamiteiten. Dit protocol is opgesteld aan de hand van ervaringen van de peilbeheerders en een test waarbij door de brandweer, op een willekeurige plek, water onttrokken is. In enkele gevallen staat er bij een peilgebied beschreven dat er (bij een calamiteit) actie ondernomen moet worden om de norm te kunnen halen. Dit kan zijn het extra openzetten van stuwen of het dichtmaken van uitlaten. Omdat deze enkele gevallen niet representatief zijn voor de overig peilgebieden, zijn deze peilgebieden buiten beschouwing gelaten.

Samengevat is er eerste gekeken naar de peilgebieden die 18 kilometer van het westen af liggen. Vervolgens zijn er de twee meest voorkomende soorten peilgebieden geselecteerd. De peilgebieden die extra actie nodig hebben in geval van calamiteiten zijn eruit gefilterd. Aan de hand van een onderscheid tussen “veel” en “weinig” zijn ten slotte van de twee soorten representatieve peilgebieden de twee kritiekste peilgebieden gekozen. Het peilgebied nabij Vuren (blauwe cirkel) heeft relatief veel duikers en een groot inlaat debiet. Het peilgebied nabij Ochten (groene cirkel) heeft weinig duikers en een klein inlaat debiet



Afbeelding 3; ligging van beide peilgebieden

3.1.1 Beschrijving peilgebied 1

Het tracé van de Betuweroute is aangeduid door middel van een kilometrering. Het eerste peilgebied betreft het gebied dat tussen kilometrering 31,5 en 34,5 ligt. Geografisch gezien ligt dit gebied in de Tielerwaard, iets ten oosten van Gorinchem, in de buurt van Vuren. Voor een duidelijke overzichtskaart wordt verwezen naar bijlage 1.

Het peilgebied heeft, net als elk ander peilgebied, een vastgesteld waterpeil. Voor dit gebied geldt een zomerpeil van 0,7m -NAP en een winterpeil van 0.9m -NAP.

Verder beschikt het peilgebied over 5,664 km² grond en ligt er 11.161 meter A-watergangen en 56.957 meter aan B-watergangen.

Langs de bruinegekleurde watergangen op bijlage 1 is te zien waar de brandweer zich opstelt in geval van calamiteiten. Deze opstelplaatsen is bij de realisatie door de brandweer bepaald. Bij de keuze van de opstelplaatsen is allereerst rekening gehouden met de bereikbaarheid van deze locatie. Om deze reden zijn er op veel plekken langs de A15 ingangen gecreëerd. Een voorbeeld hiervan staat weergegeven op de foto-impressie van bijlage 11. De snelweg A15 ligt tussen de Maasvlakte en het plaatsje Bemmelen bij Elst en ligt bijna in zijn geheel parallel aan de Betuweroute. Hierdoor is een groot gedeelte van de route te bereiken door middel van gecreëerde ingangen langs deze snelweg. De ingangen (opening in de vangrail) zijn vanaf de vluchtstrook te bereiken waarna er over de bluswatergang, door middel van een duiker, gereden/gelopen kan worden. Hierdoor kan de brandweer zich op het stuk terrein, tussen de watergang en het spoor opstellen.

In het zuidoostelijke gedeelte van het peilgebied is een afslag te zien van de A15. Op dit soort plekken en andere moeilijk te bereiken plaatsen kan het voorkomen dat de brandweer iets moet omrijden, en in dit geval de afslag moet nemen, om de spoorlijn vanaf de andere kant te benaderen. Tevens is er een klein gebied op de kaart te zien waar er geen spoorsloten liggen die bestemd zijn voor de brandweer. Voor dit soort gevallen is de eis gesteld dat, vanaf de opstelplaats, naar twee zijden, een afstand van 150 meter aan de primaire inzetzijde wordt bestreken (Waterbeschikbaarheid spoorsloten Betuweroute, oplossingen).

De reden hiervoor is dat de brandweer deze 150 meter kan dekken met de lengte van de brandslangen die zij gebruiken.

Op bijlage 3 is een grondsoortenkaart te vinden van peilgebied 1 (Gis, WSRL). Het gebied bestaat grotendeels uit lichte en zware klei. In het meest noordelijke puntje komt nog een dunne streep veen voor en een dunne streep zware zavel. Voor het tracé van de Betuweroute (aangegeven d.m.v. zwarte puntjes) geldt dat het tracé enkele malen afwisselt van lichte naar zware klei.

Omdat het water onder vrij verval naar de onttrekking moet stromen is het tevens van belang om te weten hoe de plaatselijke hoogtesituatie is. In normale toestand is het peil stabiel waarbij er bij een onttrekking peilverschil ontstaat en het water in beweging komt. Wanneer er water opgepompt wordt uit de bluswatergangen stroomt het water een andere richting op dan normaal. Dit moet echter, gezien het hoogteverloop van het gebied, wel mogelijk zijn.

Bijlage 4, waarop de hoogtekaart van dit peilgebied staat afgebeeld, geeft veel hoogteverschillen weer (Gis, WSRL). Over het algemeen is de range van hoogteverschillen niet erg groot: tussen de -0,5m en 1,0m +NAP.

Globaal is te zien dat een watergang startend in het oosten van het gebied en stromend richting het noordwesten wat dieper ligt de rest van het gebied. Verder is er nog net in de bovenste strook van de afbeelding een hoogteverschil te zien. Op deze plek stroomt de Linge langs het gebied. De dijk die langs deze rivier is gelegd zorgt daarom voor een variatie in hoogte.

In de gehele zuidelijke strook van het peilgebied is een hoogteverschil te zien. Dit is te wijten aan de A15 en de Betuweroute. Het gele gebied ten zuidoosten is een weergave van een verhoogde afslag.

Door de kleine hoogteverschillen en gelijkmatige ligging van het gebied in de buurt van de Betuweroute worden er in dit gebied geen problemen verwacht met betrekking tot de toestroming.

3.1.2 Beschrijving peilgebied 2

Peilgebied nummer 2 betreft het gebied tussen kilometrering 67,2 tot en met 68,9 en ligt geografisch gezien aan de westkant van Kesteren in de Neder Betuwe. Het gebied heeft een grootte van 2,612 km² en beschikt over 6.258 meter A-watergang en 16.730 meter B-watergang. De Betuweroute doorkruist echter maar een relatief klein stuk in het noorden van het peilgebied.

In bijlage 5 is een tekening te zien van het gehele peilgebied.

Op bijlage 5 is te zien is dat er in dit peilgebied gebruik wordt gemaakt van een aanvoeroute die haaks op de primaire inzet van de brandweer staat (bruingekleurde sloten). Door middel van een duiker met een diameter van 1000mm onder de A15 door worden de sloten voor de primaire inzet van de brandweer gevoed. Omdat er in dit gebied minder lange sloten aanwezig zijn, is er een buffer gecreëerd door de sloten ten opzicht van peilgebied 1 te verbreden. Zo heeft de aanvoersloot een bodembreedte van 3,45m.

Op de afbeelding van bijlage 5 is te zien dat de blussloten in het gehele tracé langs het spoor liggen. Hierdoor kunnen deze sloten vanaf één zijde bereikt worden. Omdat de sloten ook hier parallel langs de A15 liggen, is er een inrit gecreëerd die via de vluchtstrook van de A15 te bereiken is.

De grondlagen die te zien zijn in bijlage 7 (Gis, WSRL) zijn relatief gelijkmatige verdeeld en bestaan uit 3 verschillende grondsoorten. Het meest zuidelijke gedeelte bestaat uit lichte klei. Deze grondlaag bevindt zich een paar honderd meter van de aanvoersloot. De grondsoort waar de spoorsloten voornamelijk mee te maken hebben is zware zavel. Tenslotte bestaat het noordelijke gedeelte uit zware klei. Hoewel het peilgebied meer oostelijk ligt ten opzichte van peilgebied 1 komt ook hier veel klei voor.

Op de uitsnede van de hoogtekkaart van Nederland, weergegeven op bijlage 8 (Gis, WSRL), is te zien dat het grootste gedeelte van peilgebied 2 een hoogteligging heeft tussen de 4 en 6 meter. In het zuidoosten komt plaatselijk een hoger gelegen gebied voor. Dit verschil kan verklaard worden doordat er hier veel boomgaarden te vinden zijn. Hierdoor lijkt de algemene bodemhoogte hoger te liggen.

Enkele stippen verspreid over de zuidrand van het peilgebied geven dezelfde hoogtes weer. Deze kleine stippen zijn over het algemeen huizen of gebouwen. De streep die de noordkant van het peilgebied doorkruist kan worden toegeschreven aan zowel de A15 als de ligging van de Betuweroute. De hoogteligging van de spoorsloten is relatief gelijk. Door deze geringe hoogteverschillen wordt verwacht dat het water bij een onttrekking redelijk gemakkelijk naar de plaats van onttrekking kan stromen.

3.2 Modelbeschrijving zonder waterinlaat

3.2.1 Schematisering

Door het ingenieursbureau Grontmij – de Weger zijn voor het ontwerp van de spoorloten berekeningen uitgevoerd om de ontwerpen te toetsen aan de gestelde norm. Na de realisatie van alle spoorloten is door een 2^e ingenieursbureau een quickscan uitgevoerd. Tijdens deze scan is om de 500 meter de slootdiepte gepeild en is de conditie van de watergangen gecontroleerd. Aan de hand van deze metingen is de scope, voor het inmeten van de sloten, bepaald. Deze reikwijdte is bepaald omdat een watergang, door bochten en versmallingen, nooit 100% gelijk is. Op deze manier kan het voorkomen dat een profiel op een bepaalde locatie geldig is voor 100 meter, terwijl een ander profiel een afstand van bijvoorbeeld 800 meter kan dekken. Aan de hand van de lijst met reikwijdtes zijn de sloten opnieuw ingemeten. Vervolgens zijn de sloten die niet bleken te voldoen aan de eisen hergeprofileerd. Tenslotte zijn er in de aangepaste watergangen om de 200 meter metingen uitgevoerd, van waaruit revisietekeningen zijn gemaakt. Deze revisietekeningen zijn bij dit onderzoek gebruikt als uitgangspunt van het hydrologisch model. (Voor een overzicht zie bijlage 10)

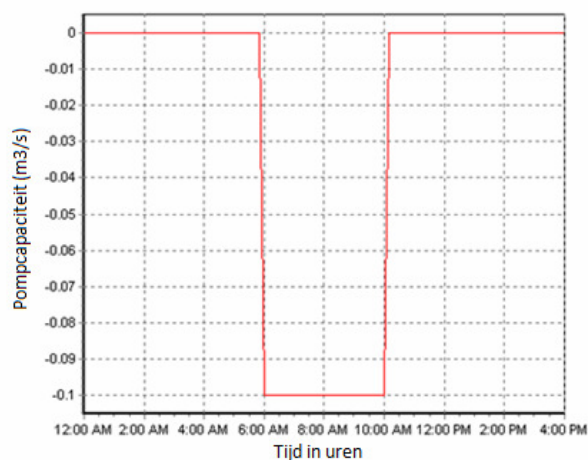
De situatie waar in deze paragraaf vanuit wordt gegaan is een situatie waarbij er geen in- en uitlaten in het peilgebied zijn meegerekend. Tevens zijn alleen de spoorloten meegenomen in de berekening en zijn aangrenzende sloten niet meegerekend. Er wordt op deze manier op dezelfde manier gerekend zoals Grontmij dat in de ontwerpfase deed.

Om te kunnen onderzoeken of de gestelde hoeveelheid water in 4 uur uit de sloten onttrokken kan worden, is de praktijksituatie geschematiseerd in een computermodel. In dit geval is er gewerkt met het modelleringsprogramma SOBEK. In dit programma kunnen situaties nagebootst worden die zoveel mogelijk overeenkomen met de werkelijke situatie. Factoren als hoogteligging, waterpeilen, dwarsdoorsneden van de sloten en duikers, inlaten, uitlaten en wandruwheden kunnen in dit programma worden ingevoerd.

Door een model te maken van de spoorloten in een peilgebied met de daar bijbehorende uitgangssituaties is de situatie, zoals die in de realiteit eruitziet, nagebootst. Vervolgens is er een locatie waar het water het minst gemakkelijk kan komen, gekozen om te onttrekken. (zie afbeelding 4 en 5)

Tenslotte zijn de 4 uur in tijdstappen verdeeld en is er geanalyseerd hoeveel het waterpeil zakt en waar en wanneer er knelpunten optreden.

In de naastgelegen grafiek is de pompcapaciteit te zien die gebruikt is bij de SOBEK berekeningen. Om het programma stabiel te laten verlopen is er gekozen voor een aanlooptijd van 6 uren. Na de actieperiode is er wederom een periode te zien van 6 uren.



Grafiek 1: weergave van de onttrekking, (SOBEK)

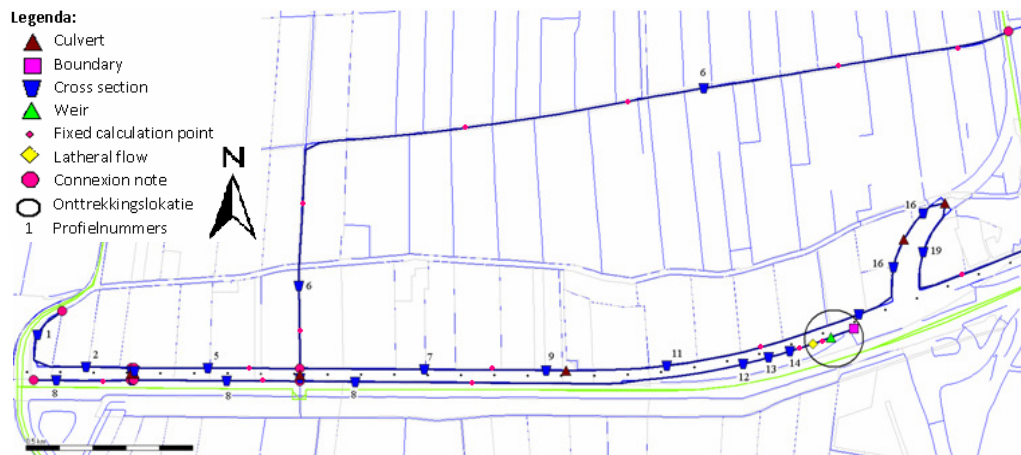
Wanneer er stuwen en gemalen in het model worden gebruikt, moet er vaak een groter tijdsbestek gekozen worden dan 6 uur omdat het model dan vaak in het begin wat instabieler is. Uit de grafiek is af te lezen dat om 6.00 uur de pomp begint te pompen en dat de capaciteit al snel op 100 liter per seconde zit ($0,1 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nadat er 4 uur lang met eenzelfde intensiteit gepompt is, is er 1440 m^3 uit de watergang onttrokken en kan de pomp uitgeschakeld worden.

In werkelijkheid kan een brand veel langer duren dan 4 uur, en ook het omgekeerde is uiteraard mogelijk. Er is in dit geval echter alleen doorgerekend of de gestelde norm gehaald kan worden.

3.2.2 Peilgebied 1

De onderstaande afbeelding geeft de geschematiseerde situatie weer van peilgebied 1. Omdat er geen modellen beschikbaar waren van de twee gekozen peilgebieden zijn de modellen met en zonder waterinlaat zelf ontworpen. De groene lijn is de rand van het peilgebied. De verschillende profielen zijn gelabeld met een nummer. De afmetingen van deze profielen met de daarbij behorende profielen staan weergegeven in bijlage 10.



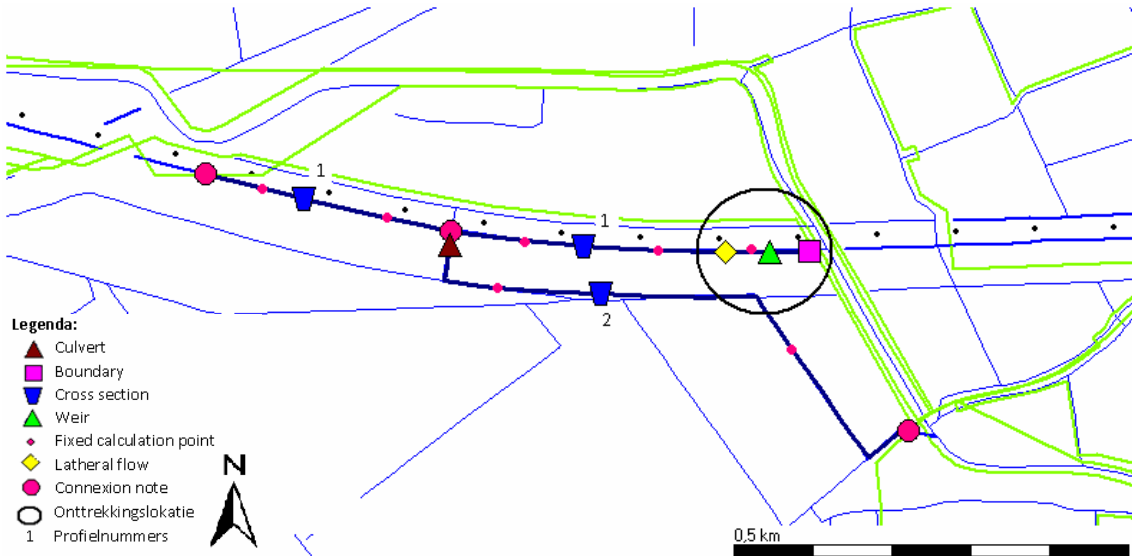
Afbeelding 4; Peilgebied zonder water in,- en uitlaat geschematiseerd in SOBEK

Op de afbeelding is duidelijk te zien dat in bovenstaande situatie alleen de spoorloten gemodelleerd zijn (dikke blauwe lijnen). De overige sloten die aangeduid zijn met een lichte blauwe kleur worden in dit model niet meegerekend.

Met de zwarte cirkel is de locatie weergegeven waar het water onttrokken wordt. Hierbij is er gekozen voor de meest ongunstige locatie waarvan verwacht wordt dat het water het meeste moeite heeft om deze plek te bereiken. De cijfers bij de trapezium vormige symbolen geven een dwarsdoorsnede aan en zijn weergegeven in bijlage 10.

3.2.3 Peilgebied 2

Onderstaande afbeelding geeft een weergave van peilgebied 2. Net als bij peilgebied 1 zijn hier alleen de dikke blauwe lijnen gemodelleerd en geeft de zwarte cirkel de onttrekkingslocatie aan.



Afbeelding 5; Peilgebied 2 zonder water in,- en uitlaat in SOBEK geschematiseerd

De groene lijnen geven net als bij peilgebied 1 de begrenzing van het peilgebied aan. Ook hier betekent de dikke blauwe lijn een spoorsloot en de lichtblauwe lijn een sloot die niet wordt meegerekend in dit model.

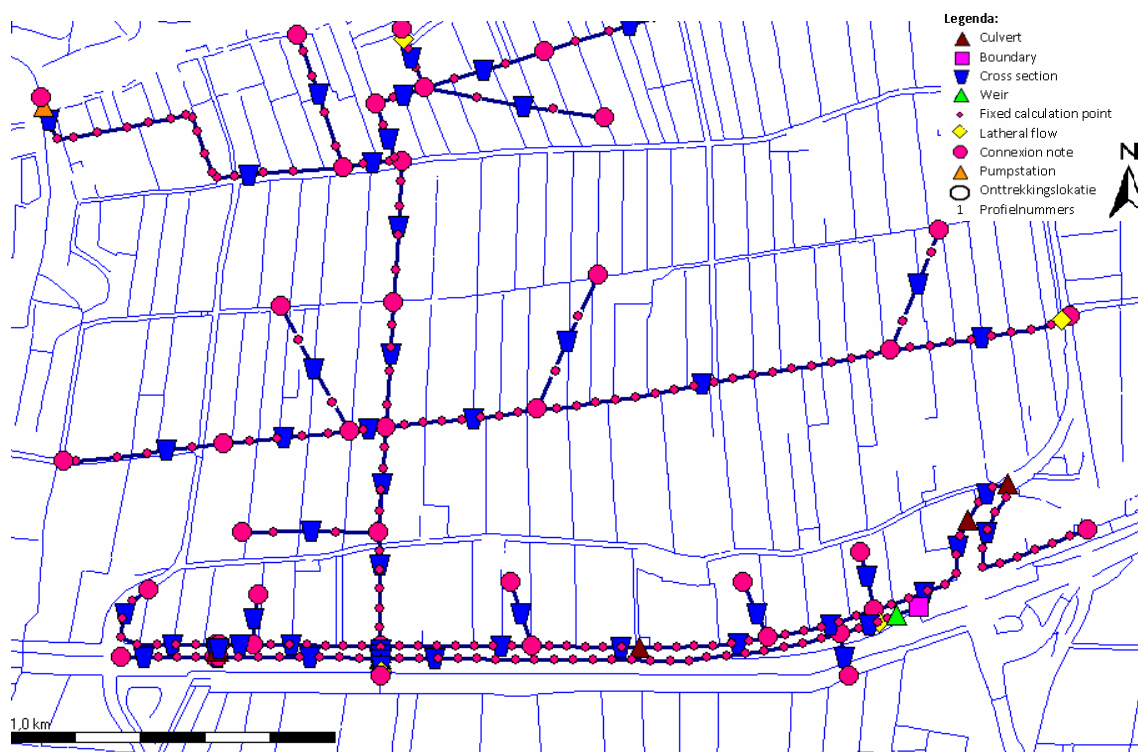
De cijfers geven de profielen aan die staan in bijlage 10. Wat opvalt is dat dit peilgebied minder slootlengte heeft dan peilgebied nummer 1. Om toch aan voldoende waterbuffer te komen is zoals vermeld in paragraaf 3.1.2 de bodembreedte verbreed.

3.3 Model met waterinlaat

Deze situatie is, in tegenstelling tot het 1^e model, zoveel mogelijk aan de werkelijkheid gerelateerd. Dit betekent dat er stuwen en gemalen in het model zijn toegevoegd. Wat betekent dat er een instroom en uitstroom van water is.

Tevens zijn in dit model alle A,- en B-watergangen van het hele peilgebied mee gemodelleerd. Dit in tegenstelling tot enkel de spoorsloten die zijn opgenomen in het 1^e model.

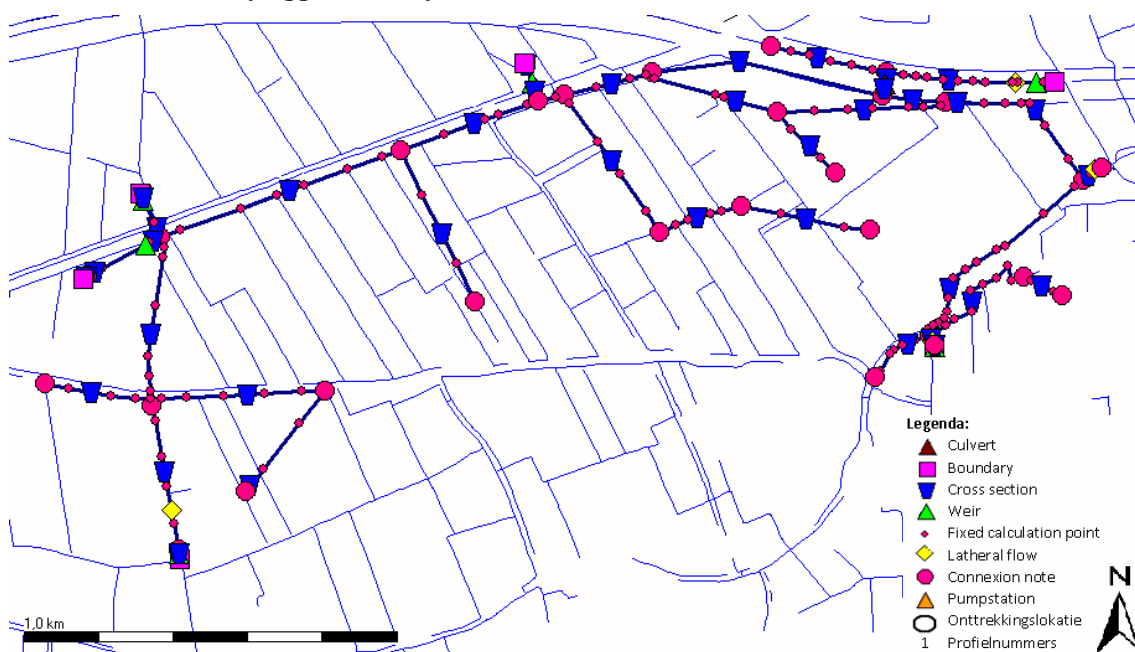
Of de hoeveelheid watertoevoer in een peilgebied voldoende was, is door Grontmij berekend aan de hand van de waterbuffer in de spoorsloten. In de praktijk staan deze spoorsloten in contact met ander watergangen en wordt er water in het peilgebied gelaten even als er water uit het peilgebied wordt gelaten. Omdat deze situatie in de praktijk voorkomt is er door middel van het eerste model een soort controle berekening uitgevoerd. Het model met waterinlaat wordt gebruikt om de verschillende soorten factoren (bagger, wandweerstand) op toe te passen. Op afbeeldingen 6 en 7 is te zien hoe beide peilgebieden in SOBEK zijn gemodelleerd.



Afbeelding 6; Peilgebied 1 inclusief water in,- en uitlaat in SOBEK geschematiseerd (rekenpuntjes van enkele watergangen zijn wel gemodelleerd maar op de afbeelding helaas weggevallen)

Het berekenen van de hoeveel m^3 water dat er in het gebied aanwezig is, is afhankelijk van veel factoren. Door kwelstromingen en verdamping kan dit getal steeds variëren. Een precieze berekening is dan ook zeer moeilijk te realiseren en past ook niet in het tijdsbestek van dit onderzoek. Er is er daarom voor gekozen om een worstcase scenario te berekenen waarbij er, logischerwijs, geen regen in het systeem wordt meegenomen. Tevens is er gerekend met winterpeil. In de periode dat dit peil geldt, is verdamping van mindere invloed dan in de zomer. Ook zijn kwelstromingen niet meegenomen in de berekening.

Om een inschatting te kunnen maken van de aanwezige hoeveelheid kubieke meters in een peilgebied is er gebruik gemaakt van GIS. Met behulp van dit geografisch informatiesysteem is precies na te gaan hoeveel meter aan A- en B-watergangen er in het gebied liggen. De C-watergangen zijn niet in dit programma meegenomen, omdat een C-sloot een erg kleine waterberging heeft. Deze watergangen staan niet allemaal met elkaar in verbinding. Over deze sloten zijn er tevens geen gegevens bekend. Om bovenstaande redenen is er besloten om alleen de A- en B-watergangen mee te nemen in de berekening. Omdat de A-watergangen in onderhoud zijn van het waterschap, zijn in elk gebied de profielen bekend. In een zogeheten legger is van elke A-watergang om de x aantal meters een profiel vastgelegd. Bij een uitgangssituatie van een schoon profiel, met de daarbij behorende afstanden en het waterniveau, kan vervolgens de totale hoeveelheid berging in de sloot worden berekend. (Legger; WSRL)



Afbeelding 7; Peilgebied 2 inclusief water in,- en uitlaat in SOBEK geschematiseerd

Van de A-watergangen zijn, zoals in bovenstaande alinea is gesteld, de profielen bekend. Ook de profielen van de spoorsloten zijn bekend. Deze profielen konden daarom nauwkeurig ingevoerd worden in SOBEK.

De profielen van de B- watergangen zijn echter niet allemaal bekend bij het waterschap. Deze B-watergangen moeten onderhouden worden door de aangrenzende perceeleigenaren. Het waterschap ziet hier op toe, maar heeft om deze reden niet de profielgegevens van alle watergangen. Om een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid waterbuffer dat er extra aanwezig is in deze sloten, is er een aanname gemaakt van een profiel dat het meeste overeenkomt met deze B-watergangen.

Na aanleiding van het vergelijken van verschillende B-watergang profielen die bekend zijn bij het waterschap, is er een gemiddeld profiel berekend (afd. hydrologie WSRL). Het profiel met een bodembreedte van 100cm, een waterdiepte van 50 cm en een taludfactor van 1: 1,5 is vervolgens gebruikt als standaardprofiel voor de B-watergangen. Bij een lengte van 1 meter bergt dit profiel 0,875 m³ water. Een rekensom van oppervlakte maal afstand levert tenslotte het aantal kubieke meters op waarmee verder gerekend kan worden.

In het SOBEK-model zijn alle A-watergangen, inclusief de profielen van de spoor sloten, gedimensioneerd. Dit is zeer nauwkeurig gedaan omdat deze per locatie kunnen verschillen en verantwoordelijk zijn voor een belangrijk gedeelte van het water.

In verband met de beperkte tijd enerzijds en de behoefte om een zo nauwkeurig mogelijke berekening te maken anderzijds, zijn beide peilgebieden ingedeeld in deelgebieden (zie bijlage 1 en 5). Elk deelgebied is gekozen aan de hand van de stroomrichtingen. Deze stroomrichtingen zijn medebepalend voor de tijd die het water nodig heeft om bij de onttrekkingslocatie te komen. Tevens is er bij de indeling van deze gebieden gelet op de afstand van de sloten ten opzichte van de onttrekkingslocatie. De omliggende sloten zullen eerder leeggetrokken worden dan sloten op grotere afstand. Om deze reden is er gekozen om meerdere B-watergangen te bundelen die verder weg liggen. Per deelgebied zijn deze watergangen in het model vervolgens als een soort 'bakje' aan een A-watergang toegevoegd met het aantal kubieke meter water dat er in dat gebied aanwezig is. Dit 'bakje' is in de vorm van een brede watergang gemodelleerd. Deze watergang heeft dezelfde lengte als het deelgebied. Dit is gedaan om de afstand die het water in praktijk zou moeten afleggen te ondervangen. Klein nadeel hierbij is dat er bij een bredere watergang minder last van weerstand is dan bij een smallere watergang. Tevens zijn er geen duikers mee genomen in deze berekening, met als gevolg dat de resultaten iets positiever uit kunnen vallen dan dat dat ze in werkelijkheid zijn. In de onderstaande tabellen is van elk deelgebied met behulp van GIS het precieze aantal meters B-watergang berekend.

Omdat van de spoor sloten wel profielen aanwezig zijn, is dit type sloot precies in SOBEK gemodelleerd en hoeft deze dus niet als 'bakje' aan het model worden toegevoegd. Bij het totaal aantal meters, onderaan de tabel, zijn deze sloten wel meegerekend. Omdat peilgebied 1 groter is dan peilgebied 2 zijn er hier meer deelgebieden gemaakt.

Deelgebied:	Aantal meters B-watergang	Inhoud in m ³ /s
Gebied 1	2032	1778
Gebied 2	2058	1800
Gebied 3	1401	1226
Gebied 4	2982	2609
Gebied 5	2480	2170
Gebied 6	11737	10270
Gebied 7	12003	10503
Gebied 8	8415	7363
Gebied 9	11290	9879

Totaal (inclusief spoor sloten die B-watergang zijn): 56957 47598

Tabel 1; overzicht gegevens B-watergangen Peilgebied 1

Deelgebied:	Aantal meters B-watergang	Inhoud in m ³ /s
Gebied 1	2660	2328
Gebied 2	595	521
Gebied 3	4690	4104
Gebied 4	5890	5154
Gebied 5	1951	1707

Totaal (inclusief spoor sloten die B-watergang zijn): 16731 14640
Tabel 2; overzicht gegevens B-watergangen peilgebied 2

3.4 Debiet gegevens

Bij Waterschap Rivierenland worden de in-, en uitlaten gereguleerd door middel van peilbeheer. Dit wil zeggen dat alle peilgebieden met elkaar in verbinding staan en het waterpeil in het ene peilgebied afhankelijk is van het peil uit het andere peilgebied. In dit onderzoek zijn er echter twee peilgebieden uit het geheel “geknipt”, waardoor regulering op peil moeilijk te realiseren is. Dit komt bijvoorbeeld doordat er uitlaten reageren op een fluctuerend peil van een naastgelegen gebied.

In enkele gevallen is er om deze reden gekozen om te werken met vaste uitlaat debieten. Dit geldt voor beide peilgebieden voor het gemaal.

Van de overige stuwen zijn de exacte afmetingen doorgevoerd in het model en berekend SOBEK zelf constant het debiet. Dit is tevens gedaan omdat het debiet in enkele gevallen afhankelijk is van de fluctuerende waterstand in het peilgebied (bijvoorbeeld bij een onvolkomen overlaat).

Voor alle in-, en uitlaten zijn aan de hand van de afmetingen debiet berekeningen gemaakt. Dit is in eerste instantie gedaan om de waterbalans in beide peilgebieden te controleren. Ten tweede is het een controle middel of het overeenkomt met de berekende waarden van SOBEK (dat is het geval).

3.4.1 Debiet gegevens peilgebied 1

Het gemaal “Broekse sluis” ligt in het meest noordwestelijke puntje van het peilgebied en voert het overtollige water af op de Linge. Dit gemaal bestaat uit 3 grote pompen die naar mate van peilstijging automatisch aanslaan. In geval van grote hevige buien zullen alle drie de pompen aanslaan en hebben de pompen samen een pompcapaciteit van $9 \text{ m}^3/\text{s}$. Omdat er in dit onderzoek uit wordt gegaan van een droge situatie en er een relatief langzame peilstijging gaat plaats vinden wordt er uitgegaan van één pomp die $3 \text{ m}^3/\text{s}$ kan onttrekken. Van de pompen is geen pompcurve aanwezig waardoor het niet precies in te vullen is wanneer de pomp zijn maximale capaciteit heeft bereikt. Om deze reden wordt er aangenomen dat de pomp in het model direct zijn maximale pompcapaciteit bereikt. Het geldende winterpeil voor dit peilgebied is 0,9m - NAP. Om te voorkomen dat bij minimale golfslag het gemaal aan-, en uitslaat, zit er een marge tussen het gehandhaafde winterpeil en het peil waarbij het gemaal aan moet slaan. Om deze reden is het gemaal ingesteld op een peil van 0,8 m – NAP. Wanneer het winterpeil stijgt, slaat het gemaal automatisch aan en pompt net zolang tot dat het water weer het juiste peil van 0,9m - NAP bereikt heeft. (Bijlage 1, letter A).

In dit peilgebied zorgen 4 omliggende stuwen (zie bijlage 1; letter B, C, E en F) voor een kleine inlaat. Omdat deze inlaat afhankelijk is van het peil in het aangrenzende peilgebied en ervan uit wordt gegaan dat dit peil gehandhaafd blijft, zorgen deze handmatige klepstuwen voor een constante inlaat. Door de inlaatcapaciteit te berekenen is aan het SOBEK model een debiet toegevoegd. Klep stuw F en C stonden echter bij de metingen zo ingesteld dat er op dat moment geen water ingelaten werd.

Van de grote volkomen overlaat die in het oostelijke gebied ligt (zie bijlage 1; letter D) is berekend dat er $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ water ingelaten wordt.

De uitkomsten van de gemaakte berekeningen zijn op onderstaand overzicht weergegeven. Voor een overzicht van de gemaakte berekeningen wordt doorverwezen naar bijlage 12.

Soort inlaat / uitlaat	Aanduiding op de tekeningLocatie	m ³ /s
Handmatige klepstuw (inlaat)	E	0,026
Handmatige klepstuw (inlaat)	F en C	0
Volkomen overlaat (inlaat)	D	0,78
Handmatige klepstuw (inlaat)	B	0,029
		0,835
		⁺ m ³ /s

Gemaal (uitlaat), getal A, ligt in het noordelijke gedeelte

3,0*

* dit gemaal gaat pas aan bij een waterpeil boven de 0,8m- NAP

Omdat het grote gemaal in dit gebied pas aanslaat bij een 0,8 m –NAP, pendelt de pomp van het gemaal en zal de balans in evenwicht zijn . In het model is ook gewerkt met

3.4.2 Debiet gegevens peilgebied 2

Net zoals peilgebied 1 heeft ook peilgebied 2 een gemaal. Het gemaal ligt in het zalm kleurige gebied (bijlage 5, getal B) en moet er voor zorgen dat het hogere naastliggende peilgebied voldoende watertoevoer krijgt. Het gemaal slaat automatisch aan wanneer het peil van het naastgelegen gebied te laag wordt. De pomp met een maximale capaciteit van 0,34 m³/s slaat telkens aan wanneer het peil te laag wordt en slaat weer uit wanneer het streefpeil bereikt is. In een grafiek die bijgehouden is door het telemetriesysteem van de afdeling peilbeheer (SCX), die het verloop van de pomp weergeeft, is te zien dat het gemaal ongeveer 50% van de tijd aan staat. Dit betekent dat er 0,17 m³/s water uit het gebied wordt onttrokken.

De vier uitlaten met de aanduiding: B, D, E en F in bijlage 5, zorgen voor een uitlaat van 0,68 m³water/s. De twee stuwen met de aanduiding A en C zorgen samen voor een inlaat van tevens 0,68 m³water/s. De bijbehorende berekeningen staan, net als die van peilgebied 1, in bijlage 12.

De tabel hieronder geeft kort weer hoeveel water er in en uit het gebied stroomt.

Soort inlaat / uitlaat	Aanduiding op de tekening	m ³ /s
Automatisch gemaal (uitlaat)	B	-0,17
Handmatige stuw (uitlaat)	E	-0,018
Onvolkomen overlaat (uitlaat)	D	-0,48
Handmatige stuw (uitlaat)	F	-0,014
Geautomatiseerde stuw (inlaat)	C	0,1
Geautomatiseerde stuw (inlaat)	A	0,58
		0,0
		⁺ m ³ /s

Het aantal kubieke meter water dat per seconde het gebied ingelaten wordt is: 0,58 + 0,1 = 0,68.

Het aantal kubieke meter water dat er per seconde uitgelaten wordt is: 0,48 + 0,018 + 0,014 + 0,17 = 0,68

De verhouding tussen in,- en uitlaten van het water dient in de normale situatie in balans te zijn, in dit geval is daar hier sprake van. (cultuurtechnisch vademecum)

3.5 Bepaling wandruwheid in de watergangen

De ruwheid van een slootkant heeft veel invloed op de stroomsnelheid van het water en de hoeveelheid waterberging in de sloot. Als er in geval van calamiteiten water opgepompt zou moeten worden is het van belang dat er voldoende toevoer is. Om deze reden is het van belangrijk om te weten hoeveel invloed wandruwheid heeft op de onttrekking, en of het misschien nodig is om de huidige wandruwheden van de sloten aan te passen.

In eerste instantie moet er bepaald worden met welke situatie men te maken heeft. Daarbij moet er onderscheid gemaakt worden tussen open en gesloten leidingen. Met een open leiding wordt bedoeld dat er een vrije waterspiegel (1 atmosfeer) aanwezig is. Om deze reden valt een gesloten leiding die niet geheel gevuld is ook onder de noemer open leiding.

Vervolgens moet er bij waterstromingen onderscheid gemaakt worden tussen beklede en aarden leidingen. In het geval van beklede leidingen (duikers) wordt er gebruik gemaakt van Chezy en in het geval van aarden leidingen gebruikt men Manning. (Bastiaansen, C. vloeistofmechanica/cultuurtechnisch vademecum)

Bij beklede kanalen speelt de wandruwheid een belangrijke rol terwijl bij aarden kanalen de mate van begroeiing belangrijk is. Nog een reden om voor de formule van Manning te kiezen is in dit geval dan ook omdat Manning bij de aarden kanalen meer onderzoek heeft gedaan naar de invloed van flora op de watergangen. Het verschil tussen beide formules is te verklaren door ze met elkaar te vergelijken.

De formule die bij Chezy wordt gebruikt is: $V = C * R_h^{0,5} * I^{0,5}$

met:

V = de gemiddelde snelheid [m/s]

C = de coëfficiënt van Chézy [$m^{1/2}/s$]

R_h = de hydraulische straal van een leiding [m]

I = het verhang van de energielijn [l]

Bij deze formule wordt met R (de hydraulische straal) tot de macht 0,5 berekend.

De formule die door Manning wordt toegepast: $V = K_M * R_h^{0,67} * I^{0,5}$

met:

K_M = Constante van Manning [$m^{1/3} * s^{-1}$]

Hier is te zien dat de straal $R^{(0,67)}$ steeds meer van invloed is wanneer deze groter wordt. Dit betekent dat wanneer er een grote watergang is, deze veel meer invloed heeft op het totale debiet dan wanneer er een kleine watergang is. Hierbij wordt er aangenomen dat de stroming in de watergangen uniform is.

Voor Chezy wordt de formule $C = V / R^{0.5} (I^{0.5})$ gebruikt. Deze formule is echter van toepassing wanneer het water in rust is. Wanneer er water onttrokken wordt treedt er hoogteverschil op en begint het water te stromen. Voor een nauwkeurigere berekening zou er dan de formule: $C = V / R^{0.5} (I^{0.5} + Fr (\Delta\alpha / \Delta f))$ gebruikt moeten worden

met:

Fr [-]

$\Delta\alpha$

Δf

Bij deze formule wordt het froude getal Fr meegenomen. Dit getal geeft een waarde waaruit herleid kan worden of het water stroomt of schiet. Tevens wordt het verschil in waterdiepte $\Delta\alpha / \Delta f$ meegenomen in de berekening. Omdat dit verschil in waterdiepte op elke locatie anders is (de bodem is niet overal gelijk), is deze formule niet in de berekening meegenomen. Er moet echter wel rekening mee gehouden worden dat hierdoor de berekende uitkomst in praktijk minder positief kan uitvallen.

Bepaling van Manning voor waterlopen

In het cultuurtechnisch Vademecum staan enkele methodes beschreven die men kan hanteren om de wandruwheid te bepalen. In de navolgende bladzijdes staan de verschillende methodes/handvatten beschreven.

Globaal zijn de wandruwheden onder te verdelen in een schema:

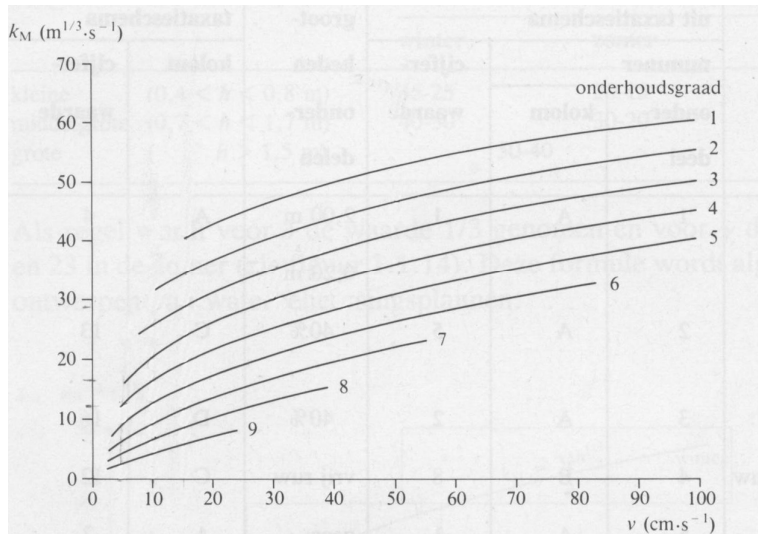
Toestand waterloop	Km-waarde in $m^{1/3} \cdot s^{-1}$
zeer schoon	45 - 30
schoon	35 - 20
licht begroeid	25 - 15
matig begroeid	20 - 10
vrij sterk begroeid	16-5
zeer sterk begroeid	< 10

Tabel 3; Km-waardes (cultuurtechnisch vademecum)

In 1985 is tabel 3 opgesteld door de *werkgroep Waterlopen*. Voor een zeer glad en regelmatig profiel moeten de hoogste waarden gebruikt worden. Voor een ruw, onregelmatig profiel moeten logischerwijs de laagste waarden gebruikt worden. Om echter nauwkeurigere waarden toe te passen moet de situatie specifiek bekeken worden.

Dhr. Bon heeft in 1967 een tabel gemaakt waarin verschillende onderdelen als waterbreedte, onderwatertalud en bodembedekking worden geclassificeerd. Door punten toe te kennen aan deze factoren kan er een gemiddelde bepaald worden. Dit gemiddelde geeft de onderhoudsgraad weer.

De onderhoudsgraad die berekend is moet samen met de stroomsnelheid (v) in onderstaand grafiek vergeleken worden om de uiteindelijke wandweerstand te bepalen.



Grafiek 2; bepaling onderhoudsgraad AHV stroomsnelheden (cultuurtechnisch vademecum)

Nadeel van deze berekening is dat er erg veel nadruk gelegd wordt op de stroomsnelheid. De reden dat er van een stroomsnelheid lastig uit te gaan is, is dat het water in dit onderzoek bij onttrekking pas echt in beweging komt maar in normale situaties alleen erg langzaam stroomt. Hierdoor zijn praktijkmetingen voor een stroomsnelheid zonder onttrekking niet representatief. Er is met SOBEK wel een stroomsnelheid te berekenen. Echter, omdat bij deze berekening uitgegaan wordt van een vooraf ingevoerde K Manning is ook van deze manier afgezien. Tevens is de stroomsnelheid in de buurt van de onttrekking weer hoger dan een stukje verder op. Om deze redenen is er gekozen voor een formule die minder afhankelijk is van de stroomsnelheid.

Om een nauwkeurigere waarde toe te kennen aan een waterloop hebben de Bos en Bijkerk (1963) twee formules opgesteld die een indicatie geven van de te verwachten wandruwheid. De enige twee factoren die bekend moeten zijn, zijn de waterdiepte van de desbetreffende sloot en of het zomer of winter betreft. Deze formule wordt algemeen gehanteerd bij het ontwerpen van waterbeheersingplannen en zo ook bij Waterschap Rivierenland.

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

k_M = wandruwheid (m^{1/3}*s⁻¹)

h = waterdiepte (m)

γ en δ = coëfficiënten

voor een schone, onbegroeide waterloop (winterpeil) geldt hierbij:

γ = 34

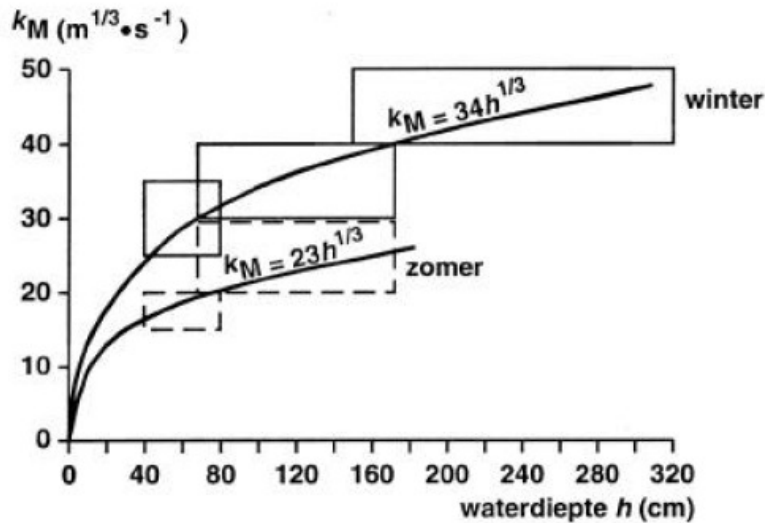
δ = 1/3

Voor een begroeide waterloop (zomerpeil) geldt hierbij:

γ = 23

δ = 1/3

Grafiek 3 geeft een weergave van het verloop van de K Manning bij bepaalde waterdiepte.



Grafiek 3; Relatie tussen wandruwheid K_M en waterdiepte (h).

De spoorsloten langs de Betuweroute variëren gemiddeld in waterdiepte tussen de 70 cm en 110 cm. Tevens wordt het onderzoek uitgevoerd tijdens de winter omdat er immers uitgegaan wordt van een winterpeil.

Omdat er tussen de profielen in een waterloop veel (kleine) verschillen in waterhoogtes zijn, is ervoor gekozen om verschillende hoogtes te bundelen. In het overzicht op de volgende bladzijde is te zien dat er 4 categorieën gemaakt zijn. De meest voorkomende waterdiepte (zonder bagger) ligt tussen de 75 en 85 cm daarom is er gekozen voor een marge van 70-90 cm. Enkele watergangen die ongeveer 1 meter diep zijn. Vandaar dat er ook gerekend wordt met een waterdiepte van 1 meter bij een marge van 90 – 110 cm.

Wanneer er echter bagger in het systeem komt, worden de waterdieptes minder hoog. Omdat juist een verminderde waterdiepte erg van invloed is op de wandweerstand, zijn er nog twee categorieën bij gemaakt van 35-50 cm en 50-70 cm. Deze categorieën zijn bepaald aan de hand van revisietekeningen van de spoorsloten. (revisietekeningen WSRL)

In de praktijk wordt er op dit moment, door het huidige maaibeleid, gezorgd voor een “schoon” profiel. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat dit staat voor ongeveer 33 Km (Waterbeschikbaarheid spoorloten Betuweroute). Om echter na te kunnen gaan of het nut heeft om de watergangen nog beter te onderhouden worden de complete peilgebieden ook doorberekend met een zeer schoon profiel. Hiervoor wordt een factor γ gekozen van 10 eenheden hoger dan voor een schoon profiel geldt.

Tevens wordt er ook gerekend met een γ coëfficiënt van een factor 10 lager (γ 20) dan voor een schoon profiel geldt. Dit is om te controleren of het nut heeft om de watergangen zo vaak te maaien als dat het huidige maaibeleid voorschrijft.

	Licht begroeid profiel	Schoon profiel	Zeer schoon profiel
h in aantal cm	Km-waarde in $m^{1/3} * s^{-1}$	Km-waarde in $m^{1/3} * s^{-1}$	Km-waarde in $m^{1/3} * s^{-1}$
35-50	16	26	36
50-70	20	30	40
70-90	21	32	42
90-110	23	34	44

Kanttekening die gemaakt moet worden bij deze berekeningen is dat er in alle situaties uit wordt gegaan van een uniforme stroming (blz. 26) met een vlakke bodem. Dit wil zeggen: een bodem waarbij er geen zandophopingen en/of gaten aanwezig zijn die het stromingsproces negatief kunnen beïnvloeden.

Dit is echter in de praktijk niet zo, waardoor de uiteindelijke resultaten van het model iets minder positief uitvallen. De berekeningen worden echter uitgevoerd tijdens winterpeil. Gedurende het winterpeil (november tot eind maart) is er echter erg weinig begroeiing aanwezig. Om extra zekerheid in te bouwen is er daarom ook gekozen om te rekenen met een licht begroeid profiel

3.6 *Bepaling wandruwheid in de duikers*

Behalve de slootkanten hebben ook de duikers een bepaalde wandruwheidsfactor. Omdat er bij duikers sprake is van beklede leidingen en niet van aarden wanden, wordt er gebruik gemaakt van de formule van Chezy.

Met:

$$C = 18 * \log (12R / k)$$

C: coëfficiënt van Chezy ($m^{1/2} * s^{-1}$)

R: hydraulische straal van de open leiding (m)

K: wandruwheid (m)

Enkele K-waarden voor beton zijn:

* goed afgewerkt: 0,5 – 1,0 mm; * onafgewerkt: 2-5 mm; * oud beton: 5-10 mm

In de twee peilgebieden komen twee soorten ronde duikers voor met de diameters van 800 en 1000 mm. Voor beide diameters wordt een berekening gemaakt. Omdat in de praktijk de duikers vaak half gevuld zijn wordt er bij de berekening van het nat oppervlak en de natte omtrek een half gevulde buis gebruikt.

$$R = A_{\text{nat}} / O_{\text{nat}}$$

A nat = nat oppervlak

O nat = natte omtrek

Bij een buis van 800mm en de bijbehorende K-waarde voor goed afgewerkt beton (1,0 mm) geldt:

$$18 * \log (12 * 0,2 / 0,001) = 61 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$$

(Ven te Chow, cultuurtechnisch vademecum)

Voor een buis van 1000 mm met dezelfde K-waarde geldt:

$$18 * \log (12 * 0,25 / 0,001) = 63 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$$

In het bovenstaande geval is er uitgegaan van de laagste K-waarde die geldt voor goed afgewerkt beton. Omdat het beton in de praktijk na verloop van tijd poreuzer wordt, is er tevens een berekening gemaakt met onafgewerkt beton (2 mm).

In deze toestand heeft een buis van 800mm een wandruwheid van:

$$18 * \log (12 * 0,2 / 0,002) = 55 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$$

De wandruwheid voor een buis met 1000mm doorsnede levert:

$$18 * \log (12 * 0,25 / 0,002) = 57 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$$

Omdat de stroomsnelheid in duikers ter plaatse iets groter is dan de stroomsnelheid in de watergangen wordt verwacht dat de baggeraanwas hier kleiner is dan in de watergangen. Bij de berekeningen wordt hier geen verschil in gemaakt en is de baggeraanwas dus overal gelijk.

H4 Model resultaten

4.1 Modelresultaten zonder water in,- en uitlaat vanuit andere peilgebieden

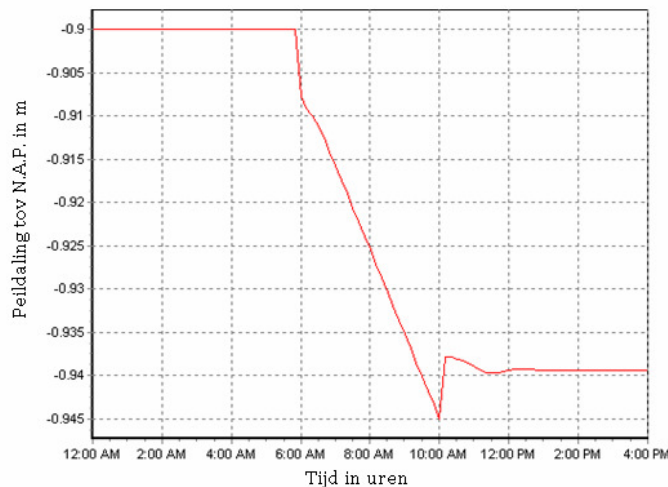
Bij de navolgende resultaten is er enkel een situatie gemodelleerd waarbij er water in de spoorsloten aanwezig is. In dit model is er geen sprake van watertoevoer vanuit andere aanliggende sloten. Tevens wordt er geen water het gebied in,- of uitgelaten. (Zie paragraaf 3.2)

4.1.1 Resultaten peilgebied 1

Het winterpeil van peilgebied 1 staat vastgesteld op 0,9m -NAP.

In de onderstaande grafiek is te zien dat er gedurende een periode van 4 uur (6:00AM – 10:00AM) water wordt onttrokken. Het gevolg hiervan is een waterpeildaling tot 0,945m – NAP (4,5 cm).

Het waterpeil stijgt echter na enkele minuten weer met een halve centimeter, tot 0,94m - NAP. Een verklaring voor deze peilstijging kan zijn dat het water niet snel genoeg de onttrekking kon bereiken. Het vullen van de onttrekkingstrechter wordt hier als oorzaak van gezien.



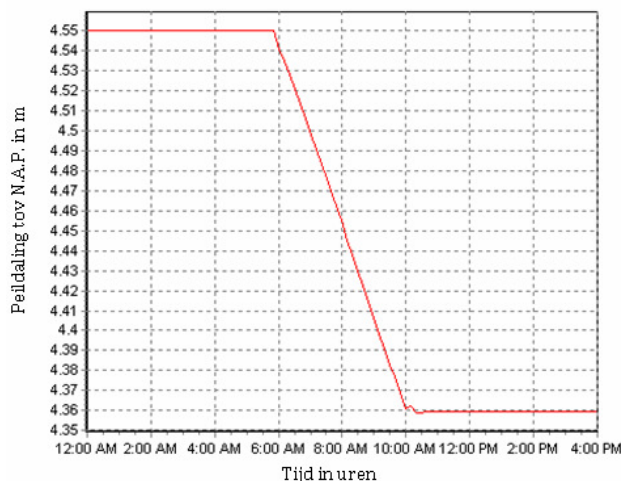
Grafiek 4; weergave van de peildaling (SOBEK)

4.1.2 Resultaten peilgebied 2

In peilgebied 2 staat het winterpeil ingesteld op 4,55 m +NAP (zie grafiek 4). Gedurende de onttrekking die in de grafiek start om 6:00 AM en eindigt om 10:00 AM, is een lineaire peildaling te zien. De onttrekking heeft duidelijk meer invloed op het waterpeil van het tweede peilgebied dan bij het andere peilgebied. Het waterpeil daalt hier tot 4,36 m +NAP, wat een daling is van bijna 20 centimeter.

Een verklaring voor deze grote peildaling vergeleken met peilgebied 1, kan zijn dat de totale lengte aan spoorloten kleiner is in het tweede peilgebied. Hierdoor is er in totaliteit minder buffer aanwezig, met als gevolg dat er bij een onttrekking grotere verschillen zijn waar te nemen.

De peildaling loopt, op een kleine storing op het einde van de onttrekking na, zeer gelijkmatig. Ook deze storing is waarschijnlijk het aanvullen van de onttrekkingstrechter.



Grafiek 5; weergave van de peildaling (SOBEK)

Uit grafiek 4 en 5 is af te leiden dat de peildaling nogal verschilt per peilgebied (van 6 cm in peilgebied 1 tot bijna 20 cm in peilgebied 2). Bij deze controleberekening, die op dezelfde manier is uitgevoerd als het ingenieursbureau dat heeft gedaan ten tijde van het ontwerpproces, is uitgegaan van een schoon profiel (zonder bagger).

Wanneer er zich slib vormt in de watergangen, is er minder buffer aanwezig waardoor het peil meer zou gaan dalen.

In bijlage 10 is te zien dat de waterdiepte van beide peilgebieden in het begin, in rust 80 cm is, wat meer is dan de benodigde 70 cm. Volgens Grontmij is er dan ook voldoende buffer aanwezig. Zoals echter in hoofdstuk 2 beschreven is, dient er te allen tijde minimaal 35 cm waterdiepte aanwezig te zijn in...

- In peilgebied 1 daalt het peil 4,5 cm; $80 - 4,5 \text{ cm} = 75,5 \text{ cm}$ waterdiepte.
- In peilgebied 2 daalt het peil 20 cm; $80 - 20 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$ waterdiepte.

Beide peilgebieden voldoen dus aan de eis van 35cm waterdiepte.

In de praktijk beperkt de toevoer van het water zich echter niet tot de spoorloten maar vormen de aangrenzende watergangen ook een belangrijke toevoer. Tevens is er aan,- en afvoer van water uit de naastgelegen peilgebieden. Door middel van stuwen en gemalen kan het waterpeil gereguleerd worden.

4.2 Model resultaten met water in,- en uitlaat vanuit andere peilgebieden

Bij de resultaten in deze paragraaf is er een situatie gemodelleerd waarbij alle A,- en B-watergangen van het peilgebied met elkaar in verbinding staan. Tevens wordt het water door middel van stuwen en gemalen het gebied in,- en uitgelaten. (Zie paragraaf 3.3 afb 6 en 7)

4.2.1 Resultaten peilgebied 1

Het model dat gebruikt is voor de berekeningen staat weergegeven in paragraaf 3.2.1. Op afbeelding 4 is te zien dat er gekozen is om de onttrekking op het uiterste puntje van de B-watgang ten zuidoosten van het peilgebied te plaatsen. Deze locatie ligt het verste van de grotere watgangen en de inlaat af. Tevens zijn er vanaf de aanvoeroute veel duikers aanwezig die de doorstroming kunnen belemmeren.

In tabel 4 en 5 staan de waterhoogtes weergegeven, die berekend zijn na invoer van verschillende factoren zoals baggeraanwas en (sloot)wandruwheden.

Bij de eerste onttrekking is er uitgegaan van de situatie zoals deze op de revisietekeningen staat weergegeven. Hierbij is er geen bagger aanwezig. In deze situatie is er gerekend met een Kmanning voor de slootwanden tussen de 32 en $34 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$. Dit verschil is afhankelijk van de diepte van de sloot (zie hoofdstuk 3.5).

De Chezy-waarde van de wanden in de duikers is in deze situatie 55 of $57 \text{ m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$. Deze waarde valt in de categorie “goed afgewerkt beton”.

Het verschil in waarde hangt af van de diameter van de duiker (zie hoofdstuk 2.6). Een hogere Chezy-waarde betekent minder wandweerstand dan een lagere waarde. Logischerwijs heeft een grotere duiker (1000mm) een hogere Chezy-waarde dan een kleinere duiker (800mm).

In het model zijn situaties doorgerekend met een oplopende baggerlaag. Startend vanaf 0 cm en eindigend bij een baggerdikte van 50 cm. In Bijlage 9 is door middel van een grafiek het verloop van het waterpeil weergegeven voor de verschillende situaties. Omdat er in situaties waarbij er zich geen watertekorten voordoen niks verandert hoeft te worden is er pas wanneer er een watertekort dreigt te ontstaan, gerekend met verschillende Kmanning- en Chezy-waardes.

In tabel 4 zijn de resultaten van deze grafieken weergegeven. Uit de tabel kan afgelezen worden dat er tot een baggerlaag van 30 cm in het systeem geen enkel probleem te zien is. De waterdiepte blijft na aftrek van de bagger en de peildaling in het uiterste geval 47 cm.

Pas wanneer er 40 cm bagger in het systeem is, dreigen er problemen te ontstaan. Er blijft dan een waterdiepte over van 31 cm. Wanneer de duiker wordt schoongemaakt scheelt dit behoorlijk in de peildaling. De doorstroming wordt hierdoor aanzienlijk verbeterd, wat ten goede komt aan de peilstijging.

Bij de volgende situatie is er voor gekozen om ook de bluswatgangen te baggeren. De overige watgangen zitten dan nog vol met bagger. Voor deze situatie is gekozen omdat er alleen in een bluswatgang een brandweerpomp wordt gelegd. Omdat er dan extra buffer in de watgang aanwezig is zakt het peil nog maar 1 cm. Hierdoor blijft er een waterdiepte over van 79 cm.

Bij een baggerlaag van 50 cm in het systeem mag het water geen centimeter verder dalen omdat dan niet meer aan de minimale waterdiepte wordt voldaan. In een standaardsituatie (hoge slootwandruwheid, hoge duikerwandruwheid en in de duiker evenveel bagger als in de watgang zie tabel 4) daalt het peil echter zover dat er nog maar 7cm waterdiepte overblijft, waardoor deze situatie af wordt gekeurd.

Omdat bij een baggerdikte van 50 cm de grootste verschillen zijn waar te nemen is besloten om voor deze situatie verschillende wandruwheden door te rekenen.

In de eerste vergelijking (grijze kleur, tab 4) wordt het effect van een verminderde/lage wandweerstand in de duiker zichtbaar. Het waterpeil daalt echter nog steeds even veel (28 cm) waardoor deze maatregel weinig effectief is.

Tevens is er berekend wat het effect is van een beter maaibeleid aan de slootwanden (olijfgroene kleur tab 4). De slootwanden worden met elkaar vergeleken door verschil te maken tussen een lage, hoge en extra hoge slootwandruwheid. Momenteel worden de slootkanten al 3x per jaar gemaaid. In de vergelijking wordt berekend of dit de juiste maaifrequentie is. Hiervoor zijn er berekeningen gemaakt met een hogere wandruwheid (minder vaak maaien) en een lagere wandruwheid (vaker maaien)

Wanneer er alleen aanpassingen aan de wandruwheid worden toegepast, is het verschil wederom erg klein. Het effect van een lagere slootwandruwheid blijkt 1 cm peildaling verschil te maken

Wanneer echter het verschil in waterdiepte wordt berekend bij een vieze en een schone duiker (roze kleur) is er een groot verschil waar te nemen in peildaling. Dit verschil bedraagt maar liefst 17 cm. De schone duiker zorgt ervoor dat er weer water kan toestromen naar de onttrekking wat direct zichtbaar is in de grafiek en tabel.

De overige vergelijkingen (blauw, groen en rood) geven het verschil weer tussen een vieze en een schone duiker met een lage en extra hoge slootweerstand en een lage wandweerstand in de duiker. Deze verschillen zijn echter erg klein (maximaal 2 cm).



Afbeelding 8; Voorbeeld van een brandweeroefening waarbij d.m.v. een pomp water uit de sloot wordt onttrokken.

4.2.2 Resultaten peilgebied 2

Het tweede peilgebied heeft vergeleken met peilgebied nummer 1 minder duikers. Bij dit peilgebied is ervoor gekozen om de onttrekking in het meest noordoostelijk stuk van het gebied te plaatsen. Voor deze onttrekkinglocatie is gekozen omdat het water van het noordoostelijk gedeelte naar het zuidwestelijk gedeelte stroomt. Het is realistisch om te veronderstellen dat de onttrekkinglocatie hierdoor moeilijk aan zijn water kan komen.

Voor peilgebied 2 is er van dezelfde voorwaarden uitgegaan als bij peilgebied 1. Het winterstreefpeil ligt op 4,55m + NAP. Dit peil wordt vanaf ongeveer 1 december gehaald. Voor deze datum is er sprake van een overgang van zomer naar winterpeil.

In het begin van het eerste tijdsdeel (Bijlage 9 vanaf grafiek 16) is te zien dat het peil omhoog schiet en daarna weer snel naar beneden zakt. Dit betekent dat het model, door de toevoeging van meerdere stuwen, in het begin wat instabiel is waardoor ervoor gekozen is om met een langer tijdsbestek te rekenen. In de grafiek is een langere aanlooperperiode te zien, er blijft echter een onttrekking van 4 uur plaats vinden

Wanneer het water wordt opgepompt zakt het peil vrijwel meteen 1 centimeter. De resterende tijd zakt het peil geleidelijk naar het diepste punt van 4,524 m +NAP. Duidelijk is af te lezen dat hierna de onttrekking stopt en het peil naar boven schiet. Na verloop van tijd stijgt het peil weer geleidelijk tot zijn streefwaarde. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het waterpeil met 0 cm bagger in het systeem geen enkel probleem heeft met deze onttrekking.

In tabel 5 zijn wederom de baggerdiktes en waterdieptes weergegeven. De eerste 30 cm bagger zorgen niet voor problemen. Bij 30 cm bagger is er ten tijde van de onttrekking nog 46 cm waterdiepte over.

Pas wanneer er 40 cm bagger in het systeem aanwezig is, kunnen er zich problemen voordoen. De waterdiepte is in deze situatie 34 cm en wordt als een risicovolle waterstand gezien. Als de duikers worden doorgespoten zorgt dit voor 4 cm minder peildaling.

Dit zou in feite al voldoende zijn voor de hoeveelheid water in de watergangen en de minimale waterdiepte voor de pomp van de brandweer. Wanneer de watergang wordt geschoond blijft er echter een waterdiepte van 79 cm over.

Ook in dit peilgebied zijn de grootste verschillen waar te nemen bij een baggerlaag van 50 cm. De minimale waterdiepte zit bij 0 cm peildaling al aan zijn limiet ($85-50 = 35\text{cm}$). Ten tijde van onttrekken daalt het peil echter nog 16 cm, waardoor het eindpeil op 19 cm uitkomt.

In de eerste vergelijking (grijze kleur, tab 5) is het effect van een verminderde/lage wandweerstand in de duiker doorgerekend. Het waterpeil daalt echter een ruime centimeter minder (28 cm) waardoor deze maatregel erg kan weg weinig effectief is.

Tevens is er doorgerekend wat het effect is van een beter maaibeleid aan de slootwanden (olijfgroene kleur tab 5). Bij deze vergelijking zijn wederom de slootwanden met elkaar vergeleken door verschil te maken tussen een lage, hoge en extra hoge slootwandruwheid. Het verschil tussen de lage en de extra hoge slootwandruwheid zijn hier het duidelijkst waar te nemen: 1,8 cm.

Het verschil is echter ook in dit peilgebied erg klein wanneer er alleen aanpassingen aan de wandruwheid worden toegepast. Het effect van een lagere slootwandruwheid blijkt 1 cm verschil te maken.

Wanneer het verschil in waterdiepte wordt berekend bij een vieze en schone duiker (roze kleur) is er een groot verschil waar te nemen. Dit verschil bedraagt 7 cm.

De andere drie vergelijkingen (blauw, groen en rood) geven het verschil weer tussen een vieze en een schone duiker met een lage en extra hoge slootweerstand en een lage wandweerstand in de duiker. Deze verschillen schommelen tussen de 6 cm en 8 cm. Een groot verschil met de roze kleur is er dus niet waar te nemen.

Dikte baggerlaag (cm)	Opmerking	Peildaling tov streefpeil (m)	Waterdiepte begin situatie (m)*	Waterdiepte tijdens onttrekking (m)	Uiteindelijke waterdiepte tijdens onttrekking (m) min veiligheidsmarge
0	Standaard situatie	0,008	0,85	0,84	0,79
10	Standaard situatie	0,010	0,75	0,74	0,69
20	Standaard situatie	0,016	0,65	0,63	0,58
30	Standaard situatie	0,033	0,55	0,52	0,47
40	Standaard situatie	0,090	0,45	0,36	0,31
40	Schone duiker hoge ww sloot, hoge ww duiker	0,030	0,45	0,42	0,37
40	Schone duiker, extra hoge ww	0,035	0,45	0,42	0,37
40	Schone duiker, bluswatergang zonder bagger	0,014	0,85	0,84	0,79
40	Schone duiker, bluswatergang zonder bagger, extra hoge ww	0,025	0,85	0,83	0,78
50	Standaard situatie	0,280	0,35	0,07	0,02
50	Vieze duiker, hoge ww sloot, lage ww duiker	0,280	0,35	0,07	0,02
50	Schone duiker hoge ww sloot, hoge ww duiker,	0,110	0,35	0,24	0,19
50	Schone duiker hoge ww sloot, lage ww duiker	0,110	0,35	0,24	0,19
50	Schone duiker lage ww sloot, hoge ww duiker,	0,105	0,35	0,25	0,20
50	Vieze duiker, lage ww sloot, hoge ww duiker,	0,270	0,35	0,08	0,03
50	Schone duiker hoge ww sloot, extra hoge ww duiker,	0,115	0,35	0,24	0,19
50	Vieze duiker extra hoge ww sloot, extra hoge ww duiker,	0,280	0,35	0,07	0,02

Standaard situatie Hoge slootwandruwheid, hoge duikerwandruwheid en in de duiker evenveel bagger als in de watergang

* Uitgaande van een standaard situatie met een gem. waterdiepte van 85cm

ww Wandweerstand

7 Heeft tijdens de onttrekking te weinig waterdiepte (<35 cm)

Uiteindelijke waterdiepte Waterdiepte min veiligheidsmarge (5cm)



verschil verminderde wandruwheid in een vieze duiker

verschil extra maaien slootkanten; vieze duiker

verschil vieze duiker schone duiker

verschil vieze duiker schone duiker met lage wandweerstand duiker

verschil vieze duiker schone duiker met lage slootwandweerstand

verschil vieze duiker schone duiker met extra hoge slootwandweerstand

Tabel 4 resultaten peildalingen peilgebied 1

Baggerlaag (cm)	Opmerking	Peildaling tov streefpeil (m)	Waterdiepte begin situatie (m)*	Waterdiepte tijdens onttrekking (m)	Uiteindelijke waterdiepte tijdens onttrekking (m) min veiligheidsmarge
0	Standaard situatie	0,026	0,85	0,82	0,77
10	Standaard situatie	0,028	0,75	0,72	0,67
20	Standaard situatie	0,030	0,65	0,62	0,57
30	Standaard situatie	0,040	0,55	0,51	0,46
40	Standaard situatie	0,065	0,45	0,39	0,34
40	Schone duiker, hoge ww sloot, hoge ww duiker	0,018	0,45	0,43	0,38
40	Schone duiker, extra hoge ww	0,020	0,45	0,43	0,38
40	Schone duiker, bluswatergang zonder bagger	0,012	0,85	0,84	0,79
40	Schone duiker, bluswatergang zonder bagger, extra hoge ww	0,016	0,85	0,83	0,78
50	Standaard situatie	0,160	0,35	0,19	0,16
50	Vieze duiker hoge ww sloot, lage ww duiker,	0,148	0,35	0,20	0,15
50	Schone duiker hoge ww sloot, hoge ww duiker,	0,023	0,35	0,33	0,28
50	Schone duiker hoge ww sloot, lage ww duiker,	0,023	0,35	0,33	0,28
50	Schone duiker lage ww sloot, hoge ww duiker,	0,017	0,35	0,33	0,28
50	Vieze duiker, lage ww sloot, hoge ww duiker,	0,150	0,35	0,20	0,15
50	Schone duiker extra hoge ww sloot, hoge ww duiker,	0,020	0,35	0,33	0,28
50	Vieze duiker extra hoge ww sloot, hogeww duiker,	0,168	0,35	0,18	0,13

Standaard situatie Hoge slootwandruwheid, hoge duikerwandruwheid en in de duiker evenveel bagger als in de watergang

* Uitgaande van een standaard situatie met een gem. waterdiepte van 85cm

ww Wandweerstand

7 Voldoet niet aan de door Grontmij berekende min. beginwaarde van 0,70m en heeft tijdens de onttrekking te weinig waterdiepte (<35 cm)

Uiteindelijke waterdiepte Waterdiepte min veiligheidsmarge (5cm)



verschil verminderde wandruwheid in een vieze duiker

verschil extra maaien slootkanten; vieze duiker

verschil vieze duiker schone duiker

verschil vieze duiker schone duiker met lage wandweerstand duiker

verschil vieze duiker schone duiker met lage slootwandweerstand

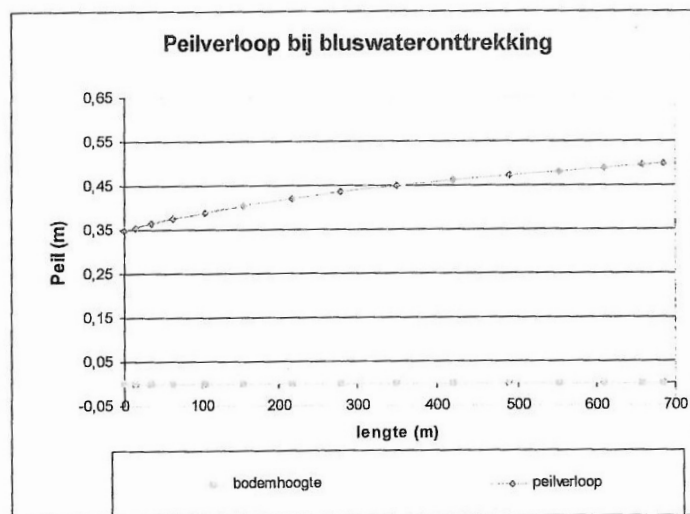
verschil vieze duiker schone duiker met extra hoge slootwandweerstand

Tabel 5 resultaten peildalingen peilgebied 2

5.3

5.4 4.3 Toetsing van de resultaten

De waterdiepte voor de spoorsloten in rust bedraagt in bijna alle situaties 70 cm of meer. Door het oppompen van water daalt het in de buurt van de pomp (onttrekkingspunt). Vervolgens zou water toe gaan stromen om het tekort aan te vullen en stelt zich een verval in (verschil in waterstanden). De pompen van de brandweer kunnen nog functioneren bij een waterdiepte van 35cm . Als er voldoende water beschikbaar is, is de daling, als die er al zou zijn, zeer beperkt. Indien er onvoldoende water beschikbaar is, kan het tekort niet worden aangevuld en moet er rekening gehouden worden met een grotere peildaling waardoor de sloot uiteindelijk wordt “drooggetrokken”. Bij bijvoorbeeld 10cm bagger zal er rekening moeten worden gehouden met een waterdiepte ter plaatse van het onttrekkingspunt en tijdens de onttrekking van 0,35m boven het slibniveau, dat is 45cm boven de vaste bodem. In SOBEK wordt er echter geen rekening gehouden met het plaatselijk dalen van het waterpeil rond de pomp (de zogenaamde entreeweerstand). Om veiligheidsoverwegingen wordt er voor deze peildaling een marge van 5 cm aangenomen, waardoor er in de beginsituatie minimaal 40 cm waterdiepte moet zijn.



Grafiek 6; peilverloop bij bluswateronttrekking

Ten tijde van de ontwerpfase zijn met behulp van SOBEK enkele berekeningen gemaakt om te analyseren of de sloten aan de gestelde eisen zouden kunnen voldoen. In dit geval is er gebruik gemaakt van een standaardspoorsloot in zomersituatie van 700 meter lengte met een diepte van 0,70m. Door toedoen van een baggerlaag van 5 cm bedroeg de overgebleven waterdiepte 0,65m. De toestroming was in dit geval naar één zijde. Uit deze denkbeeldige sloot is vervolgens voor 1,11 uur 400 m³ water onttrokken, i.p.v. 4 uur lang 1440m³ water. In bovenstaande tabel is een onttrekkingscurve te zien die is ontstaan bij invoering van de beschreven situatie.

Ook voor de 2 gekozen peilgebieden in dit rapport is er berekend of er een onttrekkingscurve ontstaat. In dit geval is dat gedaan met SOBEK. Van een onttrekkingscurve is echter in beide peilgebieden nauwelijks sprake. Dit verschijnsel is te verklaren doordat er in dit geval gerekend is met al het beschikbare water dat aanwezig is in het gehele peilgebied. Bij de onttrekkingscurve die is waar te nemen op grafiek nr. 30 is gerekend met een veel kleiner debiet (sloot van 700 meter met een diepte van 0,7 meter). De nieuwe berekende situaties beschikken over een veel grotere buffer en hebben te maken met een watertoevoer, waardoor een onttrekkingscurve vrijwel niet waar te nemen is.

Een duidelijk voorbeeld is dat wanneer je met een rietje uit een klein kopje water slurpt, er plaatselijk peilverschil waar te nemen is. Als je echter met hetzelfde rietje water uit een emmer zuigt is dit niet waarneembaar.

SOBEK kan op elk punt van de watergang, waar een rekenpuntje geplaatst is, een grafiek met peildaling/stijging laten zien. Door het peilverloop op een rekenpunt vlak bij de onttrekking te bekijken is de peildaling waar te nemen. Wanneer de waterdiepte ten tijde van de onttrekking op meer dan 35 cm blijft, komt de pomp niet droog te staan en kan de vereiste onttrekking gegarandeerd worden.

De vraag of het water gaat schieten is in feite al af te leiden uit de geringe peilverschillen. Bij een dergelijk peilverschil stroomt het water nog en is er van schieten geen sprake. In onderstaande berekening is deze constatering verder uitgewerkt.

Om te berekenen of water gaat schieten is het Froudegetal berekend. Het Froudegetal geeft het effect van de zwaartekracht weer ten opzichte van de interne krachten als turbulentie en druk ten opzichte van de snelheidshoogte. Water zou blijven stromen zolang het energieverhang niet te groot wordt. Bij een groter wordend energieverhang zal het water harder gaan stromen totdat er uiteindelijk een grenstoestand optreedt tussen stromen en schieten. Deze grenstoestand treedt op bij het Froudegetal = 1.

De berekende waarde voor het froude getal bedraagt 0,049 (voor uitwerkingen zie bijlage 13)

$0,049 < 1,0$ dus stroomt het water en zal het niet gaan schieten.

In werkelijkheid is er in de beginsituatie een gemiddelde waterdiepte van 85 cm aanwezig waardoor de stroomsnelheid kleiner wordt en het werkelijke froudegetal nog kleiner zal zijn. In geval van de situatie waarbij er water wordt in- en uitgelaten, is er een veel grotere waterbuffer aanwezig dan 1440 m³, waardoor het froudegetal ook kleiner wordt.

Onttrekking bij een baggerlaag van 40 cm

Wanneer er wordt uitgegaan van een gemiddelde waterdiepte van 85 cm in de bluswatergangen waterdiepte van 36 cm over. In dit geval bedraagt het froudegetal 0,16. Wat tevens betekent dat het water niet is er bij een baggerdikte van 40 cm en een peildaling van 9 cm (Bijlage 9 grafiek 5) een zal gaan schieten.

H 5 Onderhoud

In dit hoofdstuk worden de huidige onderhoudsfrequenties en benodigde frequenties nader bekeken.

5.1 Sloten ingedeeld in categorieën

In de 59 peilgebieden die grenzen aan de Betuweroute zijn tal van verschillende watergangen aanwezig. De bodembreedte kan van ongeveer 0,5 meter oplopen tot 3,5 meter. Voor de taludfactor wordt over het algemeen 1 : 1,5 genomen. In enkele situaties komt een taludfactor van 1:1 voor. De waterdieptes hebben over het algemeen een grotere variatie: De B-watergangen variëren tussen de 0,5 en 1,0 meter.

Bij A-watergangen echter kunnen de waterdieptes oplopen tot meer dan 1,5 meter. Om de watergangen in te delen naar mate van afmetingen en daar vervolgens een plan voor op te stellen is hierdoor te onnauwkeurig. Bovendien staat de watertoevoer in verbinding met omliggende sloten waardoor het moeilijk is om conclusies te binden aan bepaalde afmetingen van een watergang. Er wordt daarom een indeling gemaakt naar de functie van de watergang en niet de afmeting.

Functie watergang	Mate van belang	Mate van onderhoud*
Bluswatergang	++	+++
Aanvoerleiding	+	++
Diepriool	-	n.v.t.
Blusleiding	++	n.v.t.
A-watergang	+	+
B-watergang	+/-	-/+
C-watergang	-	-

*Onder onderhoud wordt baggeren en maaien verstaan.

** Verklaring functies watergang zie begrippenlijst en H2

Tabel 6; Watergangen ingedeeld naar mate van belang

In de bovenstaande tabel is er te zien dat er één watergang uitspringt die erg van belang is en daarom ook veel onderhoud vraagt. Het betreft hier de bluswatergang, gevolgd door de blusleiding. Deze (gesloten) leidingen staan echter niet in verbinding met andere watergangen, waardoor er geen bagger in gevormd kan worden. Van maaien is op deze locaties ook geen sprake. De aanvoerleidingen zijn, gevolgd door de A-watergangen, daarop volgend het meest van belang

5.2 Maaien

Het hoofddoel (het gewenste eindbeeld) van de spoorsloten langs de Betuweroute is in eerste instantie om voldoende water te kunnen leveren ten tijde van calamiteiten. De watervoerende capaciteit van de sloten heeft de meeste prioriteit. Er zijn wel watergangen die door WSRL ecologisch beheerd worden, maar deze liggen niet in het doorstroomgebied.

Aan verschillende soorten watergangen zijn door Keyrail verschillende onderhoudstaken toegekend. brandweer zich over het algemeen opstelt (blussloten).

De extensief binnenspoorsloten liggen over het algemeen parallel aan deze sloten. De overige twee soorten sloten zorgen Onderstaande tabel geeft een overzicht weer van verschillende sloten met bijbehorende frequentie waarin gemaaid dient te worden. De intensief binnenspoor sloten zijn de sloten waar de voor de aanvoer van het water. Deze sloten liggen in het algemeen wat verder van het tracé af.

In Bijlage 2 en 5 is een weergave te zien tot welke categorie de spoorsloten die in de gekozen peilgebieden liggen behoren.

Type sloot	Onderhoud, per jaar	
Intensief binnenspoor	4x	(3x per jaar schonen, 1x per jaar verdiepend onderhoud*)
Intensief buitenspoor	3-4x	(3x per jaar schonen, 1x per 6-7 jaar verdiepend onderhoud*)
Extensief binnenspoor	2-3x	(2x per jaar schonen, 1x per 13 jaar verdiepend onderhoud*)
Extensief buitenspoor	2-3x	(2x per jaar schonen, 1x per 13 jaar verdiepend onderhoud*)

* Onder verdiepend onderhoud wordt verstaan dat de slootbodem weer wordt glad getrokken.

Er wordt hierbij een klein laagje (+/- 1 cm) bagger meegenomen.

Tabel 7: De door Keyrail gemaakte typering met onderhoudsfrequentie

In de modellen die gemaakt zijn in SOBEK is er gerekend met verschillende wandruwheden (Zie hoofdstuk 3.5). Hierdoor kon geanalyseerd worden of het maaibeeld aan te passen. Als uitgangssituatie is daarbij een Kmanning van 32 – 34 genomen. Deze Kmanning is afhankelijk van de diepte van de sloot. Bij een diepe sloot heeft het water immers naar verhouding minder wandweerstand dan bij een ondiepe sloot. Tevens zijn er situaties doorgerekend met een Kmanningwaarde van 40 – 44 en 20 – 23. Deze Kmanning waarden zijn toe te kennen aan respectievelijk zeer schone en goed onderhouden watergangen en licht begroeide watergangen. Afbeelding 9 geeft een indicatie van een zeer schone watergang.

Opvallend is dat pas wanneer er erg kleine waterdieptes overblijven, het verschil in wandweerstand zichtbaar werd (tab 4 en 5). Dit gebeurde voornamelijk in situaties wanneer er meer dan 50 cm bagger in systeem aanwezig was. In deze situaties moet er veel water door een relatief klein bakje stromen, waardoor de wandweerstand meer invloed heeft op de stroomsnelheid. Het verschil tussen een lage en extra hoge wandweerstand levert maar 1-2 cm peildaling verschil op, waardoor (wat betekent dat) er in situaties met meer water diepte minder wandweerstand wordt onder vonden en dus minder peildaling.



Afbeelding 9; sloot waarbij watervoerende capaciteit centraal staat.

De spoorsloten worden vaker gemaaid dan de andere sloten. Tevens verandert de wandweerstand in de winter nauwelijks. Tegen het begin van de lente begint de vegetatie weer te groeien waardoor er meer invloed op de stroomsnelheid wordt uitgeoefend.

Echter gaat het waterpeil begin april van winterpeil naar zomerpeil, wat tussen de 10 en 20 cm waterdiepte kan schelen.

Dit levert een grotere waterdiepte op, met als gevolg dat de spoorsloot minder last heeft van wandruwheden. Door de geringe verschillen uit de berekende modellen is op te maken dat het huidige maaibeeld voldoet en de kanten niet vaker gemaaid hoeven te worden.

5.3 Bepaling baggeraanwas

Om een aanbeveling te kunnen doen over de te hanteren baggerfrequentie, moet de baggeraanwas bepaald worden. Hiervoor is gekozen omdat de baggeraanwas in een gebied nooit exact hetzelfde is. Tevens stijgt de baggeraanwas in een sloot nooit lineair: de eerste aantal jaren groeit de baggeraanwas vele malen sneller dan in latere perioden. Een reden hiervoor is dat door de aangroeiende baggerlaag de stroomsnelheid van de sloot verandert. De snelheid van het water wordt hoger waardoor het de bagger minder snel bezinkt. In het bijzonder voor de bluswatergangen geldt een zeer lage stroomsnelheid, dit omdat het vaak kleinere watergangen zijn en regelmatig “doodlopend” zijn.

Duidelijke vaste waarden die gehanteerd worden voor de jaarlijkse baggeraanwas zijn er niet. Veel wordt op gevoel gedaan en aan de hand van voorgaande metingen, revisies en monteringen. Globaal wordt er echter door de projectleiders van de afdeling Baggeren en de beheerders van team Peilbeheer uitgegaan van een jaarlijkse baggeraanwas tussen de 2 en 4 cm (interne baggermetingen).

Deze diktes kunnen onderbouwd worden door de gehanteerde hoogte in baggeraanwas van waterschap Rivierenland. Deze waarden staan beschreven in onderstaande tabel die gebaseerd is op gemiddelde baggeraanwasmetingen van A,- en B-watergangen die voorgaande jaren, verspreid over het beheersgebied, zijn opgedaan. Op basis van de gehanteerde cijfers in tabel 8, worden vergoedingen uitgekeerd aan eigenaren die de bagger op hun land krijgen.

Bovenbreedte (m)	Onderbreedte (m)	Hoogte (m)	Hoeveelheid bagger (m3)	Gem. jaarlijkse bagger (m)
2	1	0,33	0,5	0,02
3	2,05	0,32	0,8	0,02
4	3,16	0,28	1	0,02
5	4,07	0,31	1,4	0,02
6	5,02	0,33	1,8	0,02
7	5,93	0,36	2,3	0,02
9	7,67	0,44	3,7	0,03
12	10,68	0,44	5	0,03

Tabel 8; berekening van de jaarlijkse gemiddelde baggeraanwas afgeleid van metingen van WSRL (intern WSRL)

Uit dit overzicht kan geconcludeerd worden dat de gemiddelde jaarlijkse baggeraanwas 2 cm is bij de kleinere sloten. De blussloten behoren ook tot deze categorie. Wanneer de sloten groter worden wordt een aanwas van 3 cm aangehouden.

Afgelopen zomer (2011) zijn er door medewerkers van het Waterschap door het gehele gebied metingen gedaan.

De bluswatergangen van peilgebied 1 en 2 zijn daarbij ook aan bod gekomen. Sinds de realisatie van de bluswatergangen (2006) zijn zij niet meer gebaggerd, waardoor uit onderstaande metingen een gemiddelde bepaald kon worden.

De waarden die bekend zijn geworden onder het kopje “waterpeil tot baggerlaag” zijn ten tijde van het zomerpeil gemeten. Dit betekent dat het peil, ten opzichte van het winterpeil, ongeveer 20 cm minder waterdiepte heeft. Omdat het in dit geval om de baggerdikte gaat en niet om de waterdiepte maakt het verschil tussen winter,- en zomerpeil niets uit. De metingen van de onderstaande tabellen zijn allemaal uitgevoerd bij bluswatergangen.

Kilometrering	Bagger	Waterpeil
nummer	dikte (m)	tot baggerlaag (m)
31,6	0,34	0,64
32,0	0,41	0,67
32,6	0,27	0,58
33,0	0,51	0,63
33,6	0,53	0,40
34,0	0,65	0,28
34,3	?	?

Tabel 9: Baggermetingen peilgebied 1 (intern WSRL)

Kilometrering	Bagger	Waterpeil
nummer	dikte (m)	tot bagger (m)
67,6	0,15	0,69
67,9	?	niet gemeten
68,1	?	niet gemeten
68,3	0,17	0,77

Tabel 10: Baggermetingen peilgebied 2 (intern WSRL)

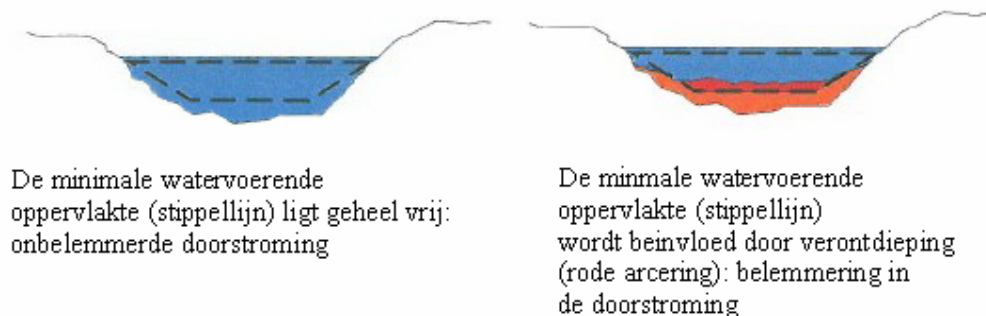
Er zijn erg grote verschillen te waar te nemen tussen tabel 9 en 10. De baggerdiktes lopen uiteen van 15 cm in peilgebied 2 tot wel 65 cm in peilgebied 1. Dit resulteert in een jaarlijkse gemiddelde aanwas van:

- pg1: 9 cm per jaar
- pg2: 3 cm per jaar

Door deze grote verschillen is het lastige om gemiddelde baggerdiktes van de gebieden samen te nemen. Ervaringen van projectleiders en gehanteerde tabellen door WSRL hebben geleerd een gemiddelde baggeraanwas van 2-4 cm per jaar aan te houden, terwijl metingen uitschieters tot 9cm per jaar laten zien. Een advies over de hoeveelheid bagger dat jaarlijks aangroeit is moeilijk te geven. Om deze reden moet er uitgegaan worden van baggerdiktes. Er valt echter op te merken dat peilgebied 1 erg veel bagger in de watergangen heeft en hierdoor als knelpunt moet worden gezien.

5.4 Baggeren

Voor het onderhouden van de watergangen worden alle sloten eens in de 12-15 jaar gebaggerd. Dit houdt in dat er jaarlijks enkele peilgebieden worden gebaggerd. Bij een groeiende baggerlaag kan er in veel gevallen niet worden voldaan aan de minimale watervoerende oppervlakte (zie afbeelding 10). Wanneer er gebaggerd wordt, wordt de baggerlaag verwijderd waardoor de watervoerende oppervlakte bereikt kan worden.



Afbeelding 10; weergave minimale watervoerende oppervlakte

Het slib dat op de bodem ligt kan echter ook tot bepaalde mate verontreinigd zijn. Bij het baggeren van de watergangen moet het slib daarom altijd gecontroleerd worden op eventuele verontreiniging. Aan de hand van deze controle wordt bepaald wat er met het slib gedaan moet worden.

Wanneer de baggerkwaliteit goedgekeurd is, kan, indien daar lokaal ruimte voor is, de bagger verspreid worden op de aangrenzende percelen. Als het slib wordt afgekeurd moet deze worden verwijderd en afgevoerd.

Afhankelijk van de mate en het soort van de verontreiniging wordt bepaald wat er met het slib moet gebeuren. Verontreinigd slib kan diverse oorzaken hebben. Een voorbeeld is verontreiniging als gevolg van een lozing van fabrieken of verontreiniging als gevolg van een tijd waarin het riool nog afwaterde op de sloten en de industrie nog vrij mocht lozen op de watergangen. Bij het baggeren van dit soort slib moet extra zorgvuldig om worden gegaan om het milieu in en om de sloot geen extra schade toe te brengen.

In de praktijk komt het soms ook voor dat er niet gebaggerd wordt uit kwantitatieve maatregelen maar juist om de kwaliteit van de sloot te verbeteren. Door de watergang hier te verdiepen worden er betere voorwaarden voor flora en fauna gecreëerd.

Het water in de onderzochte peilgebieden heeft, zoals al eerder beschreven is in H6.2, de watervoerende capaciteit de eerst prioriteit. Dit betekent dat er alles aan gedaan moet worden om te kunnen voldoen aan de gestelde norm.

In ondiepere watergangen vindt er op de bodem veel plantengroei plaats.

Dit zorgt voor een verminderde buffer en hindert het water wanneer het snel naar de onttrekking moet stromen. In een contract dat is opgesteld tussen Keyrail en het Waterschap is daarom vastgelegd dat er eenmaal per jaar verdiepend onderhoud plaats vindt in de intensieve binnensporen.

Wanneer dit verdiepend onderhoud wordt uitgevoerd, wordt de plantengroei verwijderd en worden hobbels op de bodem glad gestreken. Het is verstandig om bij elk verdiepend onderhoud één centimeter bagger mee te nemen.

Per baggerbeurt is dit erg weinig. Wanneer er echter jaarlijks één cm bagger wordt verwijderd betekent dit op een baggercyclus 15 cm.

Voor de overige watergangen die vallen onder de label “intensief binnenspoor” en géén blussloot zijn (zie bijlage 2 en 5), is ook in het contract vastgesteld dat deze elk jaar geschoond moeten worden. Dit is aan te raden om aan de gestelde hoeveelheid waterbuffer te kunnen voldoen. Er is echter geen minimale waterdiepte vereist in deze watergangen. Uit de berekeningen is gebleken dat, om aan de norm te kunnen voldoen, het ook niet per se nodig is om deze watergangen elk jaar schoon te vegen.

De overige watergangen met de functie 'intensief buitenspoor' zijn vaak aanvoerleidingen. Deze watergangen zijn wel degelijk van belang voor de aanvoer van het water maar behoeven geen minimale waterdiepte. Uit het model is gebleken dat een onderhoudsbeurt van eens in de 15 jaar voldoende is voor deze sloten. Voor blussloten met de functie “intensief” is het verstandig om tussen de baggercyclus 1-2 keer controle peilmetingen uit te voeren.

Voor de watergangen met het label “extensief” is eens in de 15 jaar maaien voldoende.

H 6 Risico's

Als het vriest en er een laag ijs op de watergang ontstaat, heeft dit gevolgen voor het hydraulisch functioneren. Het water ondervindt meer weerstand en er is minder water aanwezig, waardoor het beschikbare water over een grotere afstand moet toestromen. Bij strenge/langdurige vorst vriezen kunstwerken dicht, waardoor peilbeheersing tijdelijk niet meer mogelijk is.

Voor een ijsdikte tot aan 10 cm worden, daar waar van toepassing en mogelijk is, maatregelen genomen om de bluswatervoorziening op peil te houden. Bij een ijsdikte van 15 cm wordt de beschikbaarheid en de toestroomcapaciteit beperkt en op meerdere locaties kleiner gemaakt dan de gestelde eis. Deze laagdiktes zijn echter moeilijk te meten omdat ijsvorming sterk afhankelijk is van de kwel, stroming, warme water en de waterdiepte. Bovenstaande factoren komen erg verspreid over het gebied voor, waardoor de beschikbaarheid op elke locatie kan verschillen. Hierdoor kan er geen rekening gehouden worden met deze omstandigheden.

Voor de koude periode is een gradering opgesteld, van waaruit kritische grenzen zijn bepaald. Bij overschrijding van deze grenzen is er sprake van overmacht en hoeft niet te worden voldaan aan de gestelde norm.

Bij extreme droogte is er simpelweg te weinig water beschikbaar. De grens voor de droge periode is bepaald op de overgang naar de door de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling gedefinieerde fase, 'feitelijk watertekort en warmte'. De LCW kijkt naar de hoeveelheid water per sector, maar ook naar de juiste waterkwaliteit voor de bestemming ervan.

Deze commissie wordt bij elkaar geroepen:

- Zodra de rivierafvoeren bij de grens van de Rijn (bij Lobith) en de Maas (bij Maastricht-Sint Pieter) onder een bepaalde waarde komen.
- Als er bovenregionale watertekortproblemen ontstaan zonder dat aan de eerste twee criteria bij Lobith en/of Eijsden wordt voldaan.

(bron: Waterbeschikbaarheid spoorsloten Betuweroute, oplossingen en Rijkswaterstaat)

Een andere factor is de telecommunicatie. Veel stuwen en gemalen zijn geautomatiseerd, waarbij er vaak gebruik wordt gemaakt van peilniveaumeters. De gemeten gegevens worden per sms doorgestuurd naar de peilbeheerders op kantoor waarna, door in te bellen in het systeem (sluis of gemaal), aanpassingen kunnen worden doorgevoerd.

Bij storingen in het telecommunicatiesysteem moet men naar de kunstwerken toe om wijzigingen door te geven. In geval van stroomstoringen kunnen er geen elektronische wijzigingen doorgevoerd worden, waardoor men dus genooddakt is om naar het object toe te gaan en deze met de hand te bedienen. Bij stroomstoringen en problemen met het telecommunicatiesysteem is er dus wel aan voldoende water te komen, maar dit brengt meer tijd met zich mee. Deze gevallen staan in het contract omschreven als "overmacht". In deze situatie hoeft er niet voldaan te worden aan de bluswaternorm. Echter moet er in deze gevallen wel alles aan gedaan worden om het probleem zo snel mogelijk op te lossen.

Aan de hand van de gemiddelde baggeraanwas wordt bepaald wanneer de watergangen moeten worden gebaggerd. Tevens worden de baggerlagen steekproefsgewijs gemeten. Aan de hand van deze metingen wordt bepaald hoeveel er gebaggerd dient te worden. Omdat bagger nooit precies verdeeld ligt, kan het voorkomen dat er ophopingen ontstaan.

Als een dergelijk ophoping net voor of na een duiker voorkomt zorgt dit voor een opstuwning waardoor het water moeilijker bij de onttrekking kan komen.

Tenslotte zijn er nog de uitzonderlijke gevallen. Hierbij kan er onderscheid gemaakt worden tussen geplande en ongeplande werkzaamheden. Geplande werkzaamheden kunnen situaties opleveren waarbij een streefpeil niet meer gehandhaafd kan worden. In deze gevallen is het noodzakelijk dat peilbeheerders op de hoogte zijn van deze werkzaamheden waardoor zij hierop kunnen anticiperen. Overige ongeplande incidenten kunnen zeer divers zijn: van vandalisme tot stroomuitval en van een ongeluk op de A15 tot het overdrijven van een gifwolk. In deze gevallen moet er alert gereageerd worden wat extra inzet vergt van het Waterschap en de brandweer.

(Waterbeschikbaarheid spoorsloten Betuweroute)

H 7 Conclusies

In dit hoofdstuk zullen de hoofdvraag en deelvragen uitgebreid beantwoord worden. Eerst zullen de deelvragen beantwoord worden, om zo tot een goed antwoord op de hoofdvraag te komen.

Hoofdvraag:

Aan welke voorwaarden moet worden voldaan om te kunnen garanderen dat de spoor sloten voldoen aan de bluswater norm?

Deelvragen:

Voldoet het systeem zoals deze tijdens de uitvoeringsfase is gerealiseerd?

De beginsituatie, zoals deze is aangegeven op de revisietekeningen die gemaakt zijn, voldoet in principe om aan de gestelde norm te kunnen voldoen. Er is namelijk meer dan voldoende waterbuffer aanwezig. Echter zijn er spoor sloten in rust die niet voldoen aan de door Grontmij gestelde vereiste waterdiepte van 70 cm. Uit de gemaakte berekeningen in dit rapport blijkt echter dat er met minder waterdiepte ook aan de norm kan worden voldaan.

In hoeverre kunnen de eigenschappen en kenmerken van het watersysteem van invloed zijn op het behalen van de bluswater norm?

De kunstwerken die momenteel aanwezig zijn in beide peilgebieden maken functioneren voldoende om aan de gestelde bluswater norm te kunnen blijven voldoen. De inlaten laten voldoende water binnen wanneer zij in de reguliere stand staan en het is tevens mogelijk om de drempelhoogte tijdelijk te verlagen om zo meer water in te kunnen laten. Of dit echter snel genoeg effect heeft op de onttrekking hangt af van de hoeveelheid aanwezige waterbuffer van het peilgebied en de afstand tot de onttrekking.

In principe zijn ook de duikers met een diameter tussen de 800 en 1000 mm ruim genoeg. Wanneer er slib in het peilgebied ontstaat, heeft dit gevolgen voor de hoeveelheid buffer in de sloot, maar voornamelijk voor de doorstroming van het water. De duikers krijgen na verloop van tijd een steeds nauwere doorgang waardoor de doorstroming problemen kan ondervinden.

Tevens is er gekeken naar het effect van verminderde wandruwheid in de duikers. Deze is nihil te noemen. Hoe beperkter de doorstroombijzorg is (>40cm slib), hoe meer hinder het water ondervindt. Het effect van een verminderde wandruwheid is echter zeer beperkt

Volstaat het huidige maaibeeld en wat is effect van minder wandweerstand?

Met Keyrail zijn afspraken gemaakt om alle spoor sloten frequenter te onderhouden dan de reguliere A- en B – watergangen. De maaifrequentie wordt aangepast aan het belang van de betreffende sloot. (zie tabel 7 en bijlage 2 en 6). Uit het onderzoek kan geconcludeerd worden dat deze sloten al erg goed worden onderhouden. Pas wanneer er zeer veel bagger aanwezig is in de watergangen en het doorstroomoppervlak verkleind wordt, is er een klein verschil in peildaling waar te nemen bij een verminderde wandruwheid. De berekening heeft wel plaatsgevonden in de winterperiode, wat betekent dat er vrij weinig groei plaats vindt. In de zomerperiode is er meer sprake van groei, maar in dit geval is het waterpeil wel 15-20 cm hoger.

Welke minimale waterdiepte heeft het systeem nodig om aan de bluswaternorm te kunnen voldoen?

Voor de pomp is er tijdens de onttrekking een minimale waterdiepte van 35 cm nodig. Wanneer de plaatselijke peildaling die ontstaat door de pomp (+/-5cm) hierbij op wordt geteld moet er in de rustsituatie minimaal 40cm waterdiepte aanwezig zijn. Door de fluctuerende waterpeilen en het grote verschil in baggeraanwas is het verstandig om een extra marge aan te houden.

Welke maatregel is kosteneffectief het meest gunstig?

Gebleken is dat een frequenter maaibeleid en een verminderde wandruwheid in de duikers een nihil effect hebben. Wanneer er (te) veel bagger in de watergangen zit is er een klein verschil waar te nemen tussen in waterpeilhoogte. Echter maakt dit niet het verschil tussen het wel of niet halen van de bluswaternorm. Gebleken is namelijk dat te veel bagger in het systeem de meeste problemen veroorzaakt. Op tijd baggeren is dus noodzaak. Hierbij zijn de duikers van groot belang, omdat zij zorgen voor de hoofdaanvoer van het water. Ten tweede is het van belang dat de bluswatergangen te allen tijde minimaal 40 cm waterdiepte hebben. Wanneer deze twee maatregelen worden uitgevoerd is het niet nodig om de kunstwerken en/of watergangen aan te passen of om een andere maaibeleid toe te passen.

Directe maatregelen

- Baggerlaag in de duikers controleren die verantwoordelijk zijn voor de hoofdaanvoer van het bluswater.
- Peilgebied 1 meenemen in het eerstvolgende baggerprogramma.

Indirecte maatregelen zijn:

- Eenmaal per 15 jaar alle sloten baggeren.
- Bij maximaal 30 cm bagger in de duiker; deze schoon maken.

Om te kunnen garanderen dat Waterschap Rivierenland te allen tijde aan de bluswaternorm kan voldoen, moeten de duikers met een diameter van 800-1000mm die in verbinding staan met de “bluswatergangen”, bij maximaal 30 cm bagger geschoond worden. Tevens dienen de bluswatergangen te allen tijde een minimale waterdiepte van 40 cm te hebben.
--

H8 **Aanbevelingen**

In dit rapport is onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van de bluswaternorm van 100 liter per minuut gedurende 4 uur. Dit onderzoek is uitgevoerd onder verschillende wandruwheden en baggerlagen in het watersysteem. Er is hierbij uitgegaan van een standaardsituatie waarbij het streefpeil in evenwicht is. Dit wil zeggen dat er in een normale situatie evenveel water in het gebied stroomt als dat er uitstroomt. Op basis van deze situatie zijn er conclusies getrokken. Omdat geen enkele situatie hetzelfde is, is het echter raadzaam om de onder aanbevelingen gemelde alinea's op te volgen.

8.1 *Aanbevelingen in de praktijk*

In dit onderzoek is er gewerkt met K Manning en Chezy. Om deze formules te kunnen hanteren moet er voldaan worden aan bepaalde voorwaarde (bijvoorbeeld een gladde bodem en uniforme stroming). In de praktijk kan er nooit 100% aan deze voorwaarden voldaan worden waardoor het verstandig is om per formule 1 cm veiligheidsmarge aan te nemen. Tenslotte als laatste marge een hoogte van 3 cm nemend komt de waterhoogte waar men op moet gaan letten op 45cm.

In paragraaf 6.3 is duidelijk geworden dat er grote fluctuaties mogelijk zijn betreffende de baggeraanwas in verschillende gebieden. Het is dus moeilijk om te bepalen binnen welk tijdsbestek een spoorloot gebaggerd zou moeten worden. Wanneer de bluswatergangen geheel gebaggerd zijn (uitgaande van 85cm waterdiepte) mag er maximaal 40 cm bagger in de duikers zitten. Wanneer er, door bijvoorbeeld slib, minder waterdiepte overblijft, loopt dit getal sterk terug en is het verstandig om maximaal 30 cm slib te laten aangroeien in de duikers. Door de fluctuaties is het verstandig is het om met name de duikers en de bluswatergangen elke 5 jaar in te peilen.

Hoewel beide modellen zijn afgeleid van de werkelijke situatie is het model nooit voor 100% betrouwbaar. In praktijk verandert de situatie voortdurend en de formules die gebruikt zijn komen erg dicht bij de realiteit, maar kunnen nooit 100% garanderen dat de uitkomsten kloppen. Om deze reden is het verstandig om de berekende waarden te controleren met een praktijkoefening.

Elk jaar dient tevens een verdiepingsslag uitgevoerd te worden. Tijdens deze slag wordt de vegetatie van de bodem gehaald en worden oneffenheden gladgestreken. Het is verstandig om tijdens deze slag één centimeter bagger mee te pakken. Eén centimeter is erg weinig waardoor het makkelijk verspreidbaar is. Tevens bespaart dit in een baggercyclus 15 cm.

Wanneer er door achterstallig onderhoud of andere oorzaken te weinig water aanwezig is, zouden kunstwerken die water uit het gebied laten stromen uitgezet kunnen worden. Inlaten zouden geheel opengezet worden. Ten tijde van calamiteiten mag er van het streefpeil afgeweken worden waardoor een tijdelijke peilstijging geoorloofd is.

Tevens is het verstandig om de duikers in alle gevallen een vrije doorgang te verstrekken. Wanneer dit door bijvoorbeeld ratten vallen voor de duiker niet mogelijk is, is het aan te raden om hier een duidelijk overzicht te hebben zodat dit in geval van een calamiteit verholpen kan worden.

Gezien de peilingen van peilgebied 1 wordt er aangeraden om de blussloten mee te nemen in het aanstaande baggerprogramma. De baggerwaarden komen lokaal boven de 40-50 cm waardoor er een grote kans bestaat dat de norm niet meer gehaald kan worden. De baggerhoogtes van peilgebied 2 liggen tussen de 10 en de 15 cm. Dit is niet verontrustend en kan dus nog een lange periode mee.

Neem alle watergangen (zowel A als B) die de functie bluswatergang of aanvoerleiding hebben op in het MJBP en behandel ze betreft het onderhoud als "A" watergang

8.2 Aanbevelingen voor toekomstig onderzoek

Op enkele locaties is de baggeraanwas zo hoog dat er tijdens de onttrekking niet voldoende waterdiepte overblijft. De stuwen kunnen echter, in geval van calamiteiten, ook verder open gezet worden waardoor het peil tijdelijk versneld naar zomerpeil kan worden verzet. In het actieprotocol, dat samengesteld is door de peilbeheerders, staat per peilgebied genoteerd op welke manier dit het snelste kan. Het is echter per peilgebied verschillend hoe lang het duurt voordat deze verandering effect heeft op de plaats van onttrekking. In de toekomst zou er per peilgebied onderzocht kunnen worden hoe lang het duurt voordat veranderingen in het systeem effect hebben op het stijgen van het waterpeil ter plaatse van de meest ongunstige locatie. Tenslotte kan er dan per peilgebied berekend worden of het noodzakelijk is om vaker te baggeren of dat men met een verhoogd waterpeil ook kan voldoen aan beide normen.

Voordat tot actie over wordt gegaan om de spoorloten bij maximaal 45 cm te baggeren is het verstandig om meerdere gebieden te onderzoeken. Omdat er twee representatieve peilgebieden zijn onderzocht, bestaat er peilgebieden waarin de omstandigheden nog ongunstiger zijn.

In het model zijn de watergangen precies zo gemodelleerd zoals zij op de revisietekeningen zijn getekend. Na verloop van tijd zien deze profielen er niet meer zo perfect uit als dat ze getekend zijn. Door baggerwerkzaamheden vervagen de strakke lijnen en op enkele stukken zouden bijvoorbeeld taluds ingezakt kunnen zijn. Deze effecten veranderen het doorstroomprofiel waardoor de werkelijke peilhoogtes kunnen verschillen. Door te rekenen met een bepaalde veiligheidsmarge kan hier in de toekomst rekening mee gehouden worden.

Het is opvallend dat er erg veel mensen kennis hebben van dit project. Echter is het opvallend dat veel mensen er wel iets vanaf weten maar niet helemaal precies. Tevens zijn de gegevens van verschillende contactpersonen niet meer actueel of blijkt de betreffende persoon reeds geen contactpersoon meer te zijn.

Door bovenstaande punten is het een hele zoektocht om de benodigde informatie boven water te krijgen.

Ook financieel gezien zijn er betreffende dit onderwerp nog erg veel onduidelijkheden tussen de afdeling Baggeren en de afdeling Beheer en Onderhoud (maaien) en Keyrail/Prorail. Er wordt daarom aangeraden om per organisatie één contactpersoon te benoemen.

H 9 Literatuurlijst

Actieprotocol Peilbeheer Betuweroute, 3^e versie
Geraadpleegd in februari 2012; [Intern Waterschap Rivierenland](#)

Bastiaansen, C. (2004) Vloeistofmechanica,
Geraadpleegd in februari 2012; HAS Den Bosch

Besprekingsverslag betreft waterbeschikbaarheid (oktober 2006)
referentienummer: 130-141-1323-'06
geraadpleegd in dec 2011, [Intern Waterschap Rivierenland](#)

Bosatlas van Nederland waterland pg. 32-35 (2011),
Geraadpleegd in februari 2012

Geografisch Informatie Systeem
geraadpleegd in feb-mei 2011, [Intern Waterschap Rivierenland](#)

Jaarplan team baggeren (2011); geraadpleegd in december 2011
[Intern Waterschap Rivierenland](#).

Leeuwen, W. van (2007). Waterbeschikbaarheid spoorloten Betuweroute
Geraadpleegd in december 2011, [Intern Waterschap Rivierenland](#)

Nieuwe leggegevens waterbeheer
Geraadpleegd in februari 2012; [Intern Waterschap Rivierenland](#)

Rivisietekeningen
Geraadpleegd in januari 2012, [Intern Waterschap Rivierenland](#)

Toegepaste vloeistofmechanica; [Koning, P. De, Nortier \(1996\) I.W.](#)
Geraadpleegd in maart 2012

Cultuurtechnisch vademecum pag. 786,789 (1988).
Geraadpleegd in januari 2012
<http://www.debaksestroom.nl/wp-content/uploads/CV-voorwoord-deel-IV-en-deel-V.pdf>

Meerjarenbaggerprogramma (2010); geraadpleegd in december 2011
[http://www.waterschaprivierenland.nl/digitaal_loket/regelgeving/meerjarenbaggerprogramma_\(mjbpp\)_2010](http://www.waterschaprivierenland.nl/digitaal_loket/regelgeving/meerjarenbaggerprogramma_(mjbpp)_2010)

Rijksoverheid: De Betuweroute; geraadpleegd in november 2011.
<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/goederenvervoer-per-spoor/betuweroute>

Rijksoverheid: Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling,
geraadpleegd in januari 2012.
<http://www.rws.nl/water/veiligheid/watermanagement/landelijkecoördinatiecommissies/lcw>

Gevoerde gesprekken met:

Waterschap Rivierenland:

- | | |
|-----------------------|-------------------------------------|
| • Leon Boot; | <i>Projectleider baggeren</i> |
| • Laurens Pompe; | <i>Teamleider Rayon Tielerwaard</i> |
| • Vincent Struik; | <i>Adviseur peilbeheer</i> |
| • Cornelië Peels; | <i>Teamleider baggeren</i> |
| • Hilde Ketelaar | <i>Hydroloog</i> |
| • Ton Sijnen | <i>Projectleider geodata</i> |
| • Jonathan Lekkerkerk | <i>Hydroloog</i> |

Grontmij Arnhem:

- | | |
|------------------|------------------|
| • Ron Buitelaar; | <i>Hydroloog</i> |
|------------------|------------------|

Aannames

Er wordt uitgegaan van het geldend winterpeil. Plaatselijke fluctuaties die ontstaan zijn door verdamping, regen en andere soorten van onttrekking en afvoer worden niet meegenomen in de berekening

De pomp heeft gedurende de onttrekking een plaatselijk peildaling rondom de onttrekking. Deze peildaling is zeer plaatselijk en verschilt per type pomp. Om deze reden is de daling ook niet waar te nemen in SOBEK. Omdat deze peildaling niet bekend is, is er een aanname gedaan van 5 cm.

Bij een onttrekking wordt er uitgegaan van een pomp die direct zijn maximale capaciteit bereikt waardoor er geen aanlooptijd nodig is. Hier is voor gekozen omdat er van veel pompen geen pompcurve aanwezig is

Voor B-watgangen die niet tot de spoorsloten worden gerekend is een standaardprofiel gekozen. Dit profiel is afgeleid van andere B-watgangen en heeft de volgende afmetingen: bodembreedte van 1 meter, een taludfactor van 1:1,5 en een waterdiepte van 50 cm.

Voor de K Manning van de duikers is uitgegaan van een goed afgewerkte schone en rechte duiker. Er wordt in deze situatie gerekend met de hoogste en de laagste geldende K-waarde.

Omdat bagger niet altijd precies op de bodem blijft liggen, (maar ook tegen de randen aan) is er 10% van de baggerhoogte bij de geldende baggerhoogte opgeteld. Op deze manier wordt de hoeveelheid bagger dat in de hoeken van de bodem en talud ligt, toch meegenomen.

Voor de afvoercoëfficiënt die gebruikt is bij de debietberekeningen van de stuwen is 1,7 gebruikt. Deze kan variëren van 1,7 tot 2,0. In het algemeen wordt 1,7 als uitgangspunt genomen. Tevens is, voor een veilige marge, ook een zo laag mogelijke coëfficiënt aangehouden.

De baggerdikte in de duikers is even hoog genomen als de bagger die aanwezig is in de watgangen.

De pompcapaciteit van het gemaal in peilgebied 1 is geschat op 3 m^3 water/s. Dit gemaal bestaat uit drie pompen die naar mate van de hoeveelheid wateroverlast, na elkaar aanslaan. Omdat in dit onderzoek uit is gegaan van een droge situatie, kan het gemaal het met één pomp reden en wordt de maximale pompcapaciteit van 9 m^3 water/s gedeeld door drie.

Het gemaal in peilgebied 2 is bedoeld om water op te pompen richting het naastliggende gebied. In de pompkarakteristiek van dit gemaal is te zien dat hij met een maximale pompcapaciteit van $0,34\text{ m}^3$ water/s continu aan-, en uitslaat. Om een constante uitlaat toe te voegen aan het SOBEK-model is ervoor gekozen om een continue uitlaat te nemen van $0,17\text{ m}^3$ water/s.

Verklarende woordenlijst

- **Legger** Dit is een, door het algemeen bestuur vastgesteld, technisch beheerregister, waarin essentiële informatie over waterkeringen is vastgelegd. Hierin staan de waterkeringen naar vorm, richting en afmetingen waaraan zij minimaal moeten voldoen. Tevens staan ook de keurbegrenzings aangegeven, wat betekent dat de kern- en beschermingszone en buitenbeschermingszone zijn vastgelegd. Ook de onderhoudsplichtigen en de gegevens die nodig zijn voor de handhaving zijn hierin vastgelegd.

Het beheerregister wordt niet vastgesteld, maar bevat naast de *werkelijke* situatie (richting, vorm, afmeting en constructie) aanvullende informatie die relevant is voor een adequaat beheer van de waterkering, zoals de ligging van kabels en leidingen, onderhoudsbeheervakken en invloedslijnen.

- **Scope** Sloten hebben verschillende profielen. Als er vervolgens peilingen in deze sloten worden verricht is het vooraf niet bekend voor welk afstand de peiling geldt. Door de scope (reikwijdte) te bepalen kan er een nauwkeurigere inschatting gemaakt worden voor wat betreft de huidige sloot bodemhoogte. Op deze manier is ook de hoeveelheid bagger in de watergangen nauwkeuriger te bepalen.
- **Revisie gegevens.** Dit zijn afmetingen die net na de realisatie van de watergangen ingemeten zijn. hiervoor is gekozen omdat het in praktijk altijd kan voorkomen dat er onvoorzien situaties anders lopen dan verwacht.
- **Intensief binnenspoor** (benaming Keyrail);
Gebied rond de Betuweroute dat een intensieve onderhoudsfrequentie behoeft.
- **Intensief buitenspoor** (benaming Keyrail);
Gebied verder weg van de Betuweroute dat een intensieve onderhoudsfrequentie behoeft.
- **Extensief binnenspoor** (benaming Keyrail);
Gebied rond de Betuweroute dat een extensieve onderhoudsfrequentie behoeft.
- **Extensief buitenspoor** (benaming Keyrail);
Gebied verder weg van de Betuweroute dat een extensieve onderhoudsfrequentie be