



Vlaanderen
is wetenschap

22_020_1
WL rapporten

Debietmeting Beverentunnel

Rapportage uitgevoerde metingen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Debietmeting Beverentunnel

Rapportage uitgevoerde metingen

Vereecken, H.; Deckers, B.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2022
D/2022/3241/123

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vereecken, H.; Deckers, B. (2022). Debietmeting Beverentunnel: Rapportage uitgevoerde metingen. Versie 3.0. WL Rapporten, 22_020_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Agentschap Wegen en Verkeer Oost-Vlaanderen	Ref.:	WL2022R22_020_1
Trefwoorden (3-5):	Pompen - debiet - monitoring		
Kennisdomeinen:	Waterbouwkundige constructies > Pompen en turbines > In situ metingen Waterbeheer > Waterkwantiteit > Watersysteemkennis > In situ metingen		
Tekst (p.):	19	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vereecken, H.
------------	---------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Deckers, B.	Getekend door: Bart Deckers (Signature) Getekend op: 2022-06-02 12:14:50 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart Deckers</i>
Projectleider:	Vereecken, H.	Getekend door: Hans Vereecken (Signature) Getekend op: 2022-06-02 14:56:24 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Hans Vereecken</i>

Goedkeuring

Verantwoordelijke HIC:	Deschamps, M.	Getekend door: Maarten Deschamps (Sig) Getekend op: 2022-06-13 09:49:02 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Maarten Deschamps</i>
Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2022-06-02 14:37:15 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>



Abstract

Ter hoogte van de Beverentunnel vloeit het water vanop de inritten en vanuit de omliggende zone permanent af naar 3 pompkelders onder de tunnel, van waaruit het verpompt wordt naar de dokken op Linkeroever. Het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) heeft met behulp van Krohne ultrasone debietmeters de debieten gemeten die verpompt worden vanuit de verschillende kelders met de verschillende pompen. Daarnaast werd ook met behulp van divers de waterstand in de verschillende kelders elke minuut geregistreerd, van waaruit het toestromend volume kon berekend worden tijdens natte (piekafvoer) en droge dagen (basisafvoer). Via een dagelijkse uitdraai van de pompuren werd eveneens het toestromend volume per dag berekend.

De in dit rapport aangegeven waarden voor de basisafvoeren kunnen als representatief beschouwd worden. Voor de piekafvoeren zijn de berekende waarden eerder richtinggevend. De gevallen hoeveelheid neerslag was immers beperkt, waardoor van een echte piekafvoer geen sprake kan zijn.

Er wordt geadviseerd om de start- en stoptijd van elke pomp afzonderlijk te loggen, zodat de werkelijke verpompte volumes kunnen berekend worden op basis van de gemeten pompdebieten en de effectieve draaiuren per pomp. Dit zal uiteindelijk toch de beste benadering zijn om een piekafvoer te berekenen.

Inhoudstafel

Abstract	IV
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Plan van aanpak.....	4
2.1 Het meten van debieten die verpompt worden vanuit de verschillende kelders met de verschillende pompen	4
2.2 Het toevoerdebiet bepalen in de verschillende kelders en dit bij droog weer (basisafvoer) en nat weer (piekafvoer)	5
3 Resultaten.....	6
3.1 Het meten van debieten die verpompt worden vanuit de verschillende kelders met de verschillende pompen	6
3.1.1 Noordelijke pompput	6
3.1.2 Pompput midden.....	8
3.1.3 Zuidelijke pompput.....	9
3.2 Het toevoerdebiet bepalen in de verschillende kelders en dit bij droog weer (basisafvoer) en nat weer (piekafvoer)	11
3.2.1 Berekening op basis van draaiuren pompen	11
3.2.2 Berekening op basis van divermetingen	13
3.2.3 Samenvatting toevoerdebieten.....	18
4 Aanbevelingen.....	19

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Gemiddelde maximale debieten gemeten tijdens de testen van de verschillende pompen in de noordelijke pompput van de Beverentunnel.	7
Tabel 2 – Gemiddelde maximale debieten gemeten tijdens de testen van de verschillende pompen in de pompput midden van de Beverentunnel.	8
Tabel 3 – Gemiddelde maximale debieten gemeten tijdens de testen van de verschillende pompen in de zuidelijke pompput van de Beverentunnel.	10
Tabel 4 – Draaiuren per dag in de periode 17/03/2022 – 11/04/2022 van de verschillende pompen in de kelders van de Beverentunnel.....	11
Tabel 5 – Berekende basisafvoer en piekafvoer op basis van de draaiuren per dag en de gemeten maximale debieten van de verschillende pompen in de kelders van de Beverentunnel	12
Tabel 6 – Berekende basisafvoer en piekafvoer op basis van de gemeten waterpeilen en de stijgsnelheid voor 1 visueel bepaald event (Figuur 14 en 15) in de verschillende kelders van de Beverentunnel	16
Tabel 7 – Berekende piekafvoer op basis van de gemeten waterpeilen en de stijgsnelheid op 4/04/2022 in de verschillende kelders van de Beverentunnel. Stijgingen tijdens de piekdebieten zijn in geel gemarkeerd, het zijn de kortst durende.	17
Tabel 8 – Samenvattende tabel met berekende basis- en piekafvoeren en volumes via verschillende rekenmethodes	18

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Ligging Beverentunnel ten Westen van de Kallosluis, onder dokken Linkeroever	1
Figuur 2 – Zuidelijke pompput Beverentunnel (plan en foto) met detail vlottersysteem en buizenconstructie om water naar dokken te brengen.....	2
Figuur 3 – Krohne ultrasone debietmeter geklemd op de buizen waarin het water vanuit de pompkelders wordt getransporteerd.....	4
Figuur 4 – Divers opgehangen aan een inox kabel in de zuidelijke pompput. De divers hangen tot net boven de bodem van de kelder.....	5
Figuur 5 – Verloop gemeten debieten van de individuele pomptesten in de noordelijke pompput	6
Figuur 6 – Verloop gemeten debieten van de gecombineerde pomptesten in de noordelijke pompput.....	7
Figuur 7 – Verloop gemeten debieten van de individuele pomptesten in de pompput midden	8
Figuur 8 – Verloop gemeten debieten van de gecombineerde pomptesten in de pompput midden.....	8
Figuur 9 – Verloop gemeten debieten van de individuele pomptesten in de zuidelijke pompput.....	9
Figuur 10 – Verloop gemeten debieten van de gecombineerde pomptesten in de zuidelijke pompput.....	10
Figuur 11 – Grafiek van de gemeten neerslag in het meetstation Melsele in de periode 15/03/2022 – 14/04/2022 (Bron:Waterinfo)	12
Figuur 12 – Grafiek van de relatieve waterpeilen zoals gemeten door de verschillende divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel (m1: midden; z1: zuiden; n1: noorden)	13
Figuur 13 – Volume in functie van relatief waterpeil voor de 3 pompputten van de Beverentunnel, bepaald op basis van de ontwerpplannen	14
Figuur 14 – Grafiek van de relatieve waterpeilen zoals gemeten door de verschillende divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel (m1: midden; z1: zuiden; n1: noorden) op 28/03/2022 met aanduiding van de geselecteerde representatieve stijgingsmomenten per put	15
Figuur 15 – Grafiek van de relatieve waterpeilen zoals gemeten door de verschillende divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel (m1: midden; z1: zuiden; n1: noorden) op 4/04/2022 met aanduiding van de geselecteerde representatieve stijgingsmomenten per put tijdens een neerslagevent.....	15

1 Inleiding

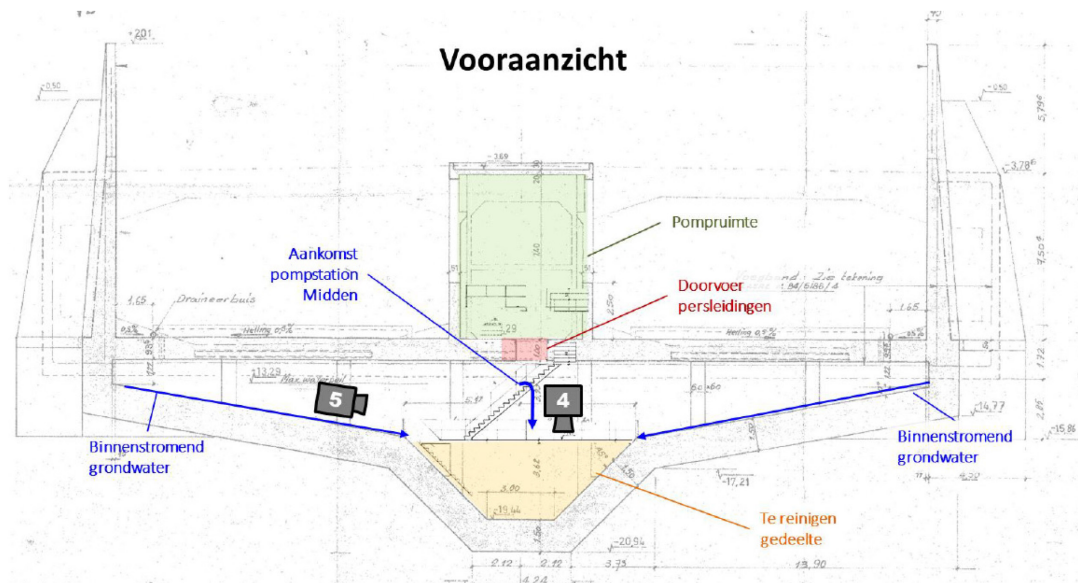
Ter hoogte van de Beverentunnel (Figuur 1) worden de inritten en de omliggende zone permanent gedraineerd. Het water vloeit af naar 3 pompkelders onder de tunnel van waaruit het verpompt wordt naar de dokken op Linkeroever.



Figuur 1 – Ligging Beverentunnel ten Westen van de Kallosluis, onder dokken Linkeroever

Pompkelder Midden bevat 2 pompen die het drainagewater verpompen via een buis naar pompkelder Zuid. Pompkelder Zuid bevat 6 pompen die via 2 buizen het water oppompen naar de dokken. Pompkelder Noord bevat tevens 6 pompen die via 2 buizen het water oppompen naar de dokken.

Figuur 2 toont een zicht op de zuidelijke kelder met in de rechterbenedenhoek het vlottersysteem om de pompen aan te sturen en in de linkerbovenhoek het buizensysteem waardoor het water verpompt wordt naar de dokken.



Figuur 2 – Zuidelijke pompput Beverentunnel (plan en foto) met detail vlottersysteem en buizenconstructie om water naar dokken te brengen

Door de draaiuren van de pompen te vermenigvuldigen met de maximale pompcapaciteit heeft Agentschap Wegen en Verkeer een inschatting van de verpompte debieten. Maar het is niet duidelijk of de pompen inderdaad hun maximale debiet halen. Het kennen van de juiste debieten is belangrijk voor de afijking van een grondwatermodel en voor de toekenning van de omgevingsvergunning.

Aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) werd gevraagd:

- De debieten te meten die verpompt worden vanuit de verschillende kelders met de verschillende pompen
- Het toevoerdebiet te bepalen in de verschillende kelders en dit bij droog weer (basisafvoer) en nat weer (piekafvoer)

2 Plan van aanpak

2.1 Het meten van debieten die verpompt worden vanuit de verschillende kelders met de verschillende pompen

Hiertoe worden Krohne ultrasone debietmeters geklemd op de buizen waarop de pompen zijn aangesloten (Figuur 3). Deze toestellen meten met behulp van ultrasone geluidsgolven via het principe van de looptijdmeting de stroomsnelheid op van het medium in de buizen, waaruit het debiet berekend wordt aan de hand van de buisafmetingen en eigenschappen (materiaal, dikte,...). De verschillende pompen worden manueel bediend op 15/03/2022, individueel en in groep, dit rekening houdend met de beschikbare watervoorraad in de kelders op dat moment.



Figuur 3 – Krohne ultrasone debietmeter geklemd op de buizen waarin het water vanuit de pompkelders wordt getransporteerd

2.2 Het toevoerdebiet bepalen in de verschillende kelders en dit bij droog weer (basisafvoer) en nat weer (piekafvoer)

Er wordt vanaf 16/03/2022 tot en met 11/04/2022 dagelijks een uitdraai van de pompuren gevraagd aan Agentschap Wegen en Verkeer. De pompen zijn zo ingesteld dat zij steeds op eenzelfde waterpeil aan- en ook terug afslaan. Op basis van de pompuren en de in 2.1 gemeten debieten kan dan het verpompte debiet bij benadering berekend worden over die dag. Dit zal leiden tot een gemiddeld toevoerdebiet per dag.

Als back-up worden tegelijk ook gedurende 30 dagen divers geïnstalleerd in de verschillende pompkelders die de waterstand elke minuut registreren. De installatie gebeurde op 15/03/2022 (Figuur 4). Op basis van de afmetingen van de pompkelders en de installatiehoogte van de divers kan uit de waterstandsmeting het volume toestromend water berekend worden tijdens natte en droge dagen.

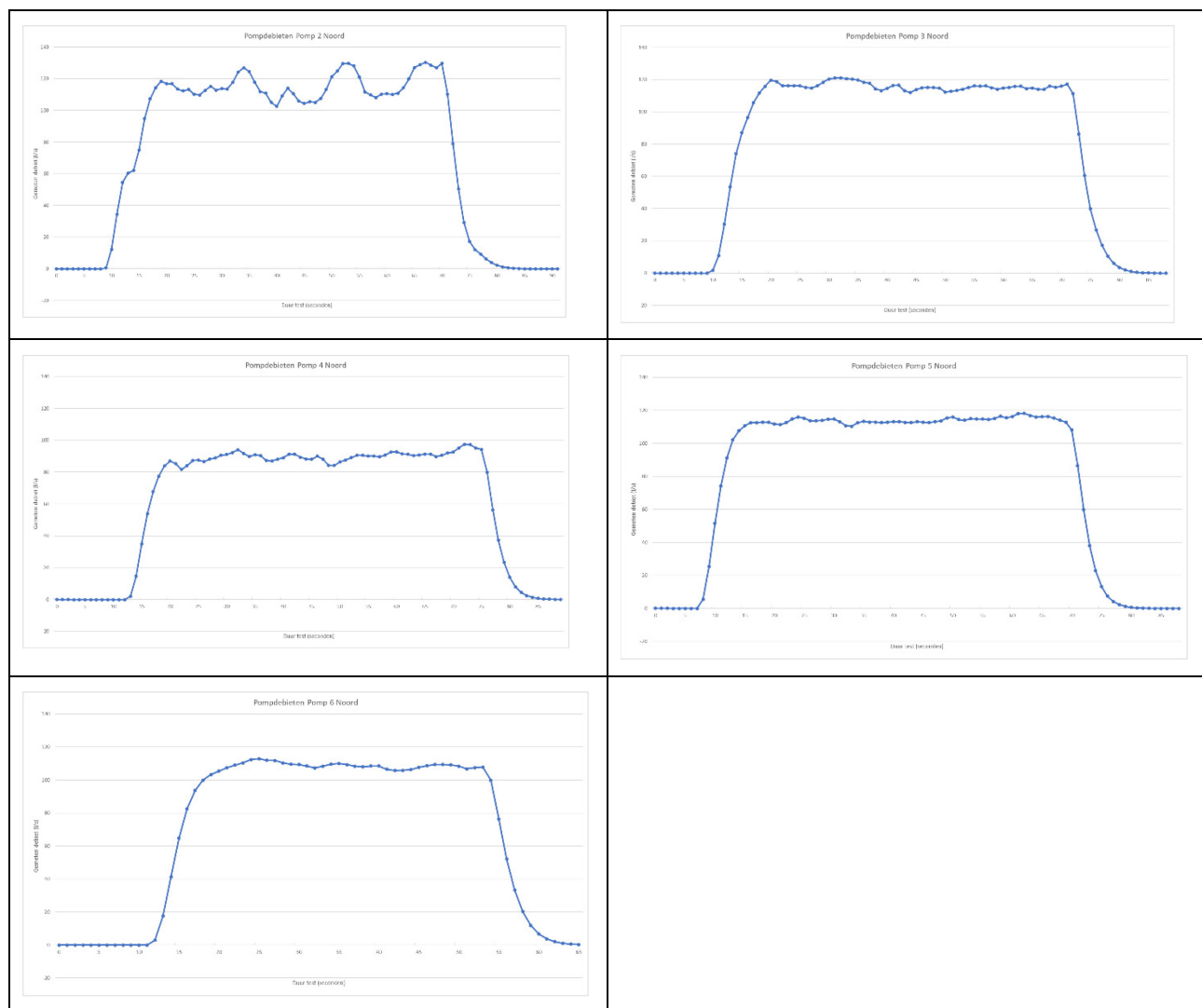


Figuur 4 – Divers opgehangen aan een inox kabel in de zuidelijke pompput.
De divers hangen tot net boven de bodem van de kelder

3 Resultaten

3.1 Het meten van debieten die verpompt worden vanuit de verschillende kelders met de verschillende pompen

3.1.1 Noordelijke pompput

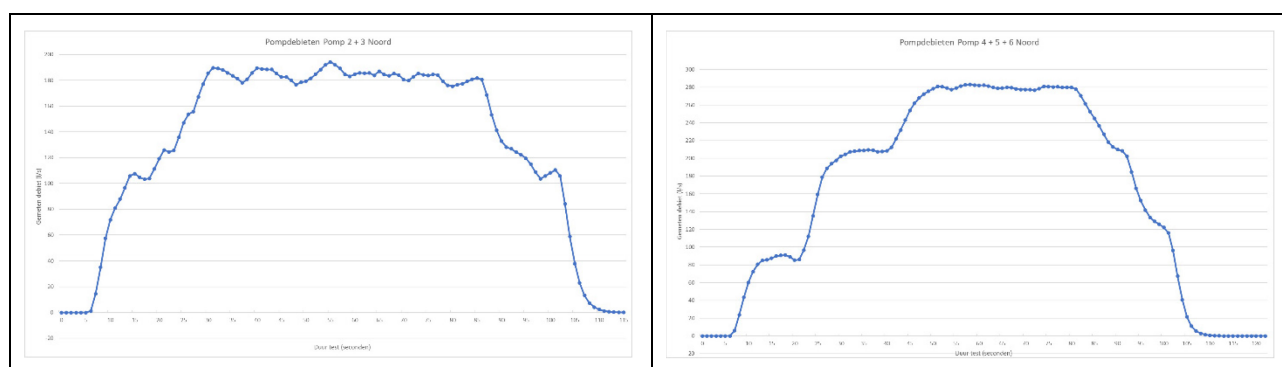


Figuur 5 – Verloop gemeten debieten van de individuele pomptesten in de noordelijke pompput

Figuur 5 toont het verloop van de verschillende gemeten pompdebieten van de noordelijke pompput bij de testen met de individuele pompen. Pomp 1 was buiten dienst, dus deze kon niet getest worden. De metingen zijn gestart bij het manueel aanschakelen van de pomp en zijn gestopt bij het terug op 0 vallen van de gemeten debieten.

We besluiten dat de pompen ongeveer 15-20 seconden nodig hebben om de maximale debiettoevoer doorheen de buizen te bereiken. Na het manueel stoppen duurt het ongeveer 10-15 seconden eer de stroming doorheen de buizen terug stilvalt. Bij de latere analyse van de verpompte debieten gedurende de dag zullen we dit tijdsverschil tussen opbouw en afbouw verwaarlozen.

Figuur 6 toont het verloop van de verschillende gemeten pompdebieten van de noordelijke pompput bij de testen met de gecombineerde pompen, waarbij met tussentijd van ongeveer 10 seconden de verschillende pompen manueel werden ingeschakeld.



Figuur 6 – Verloop gemeten debieten van de gecombineerde pomptesten in de noordelijke pompput

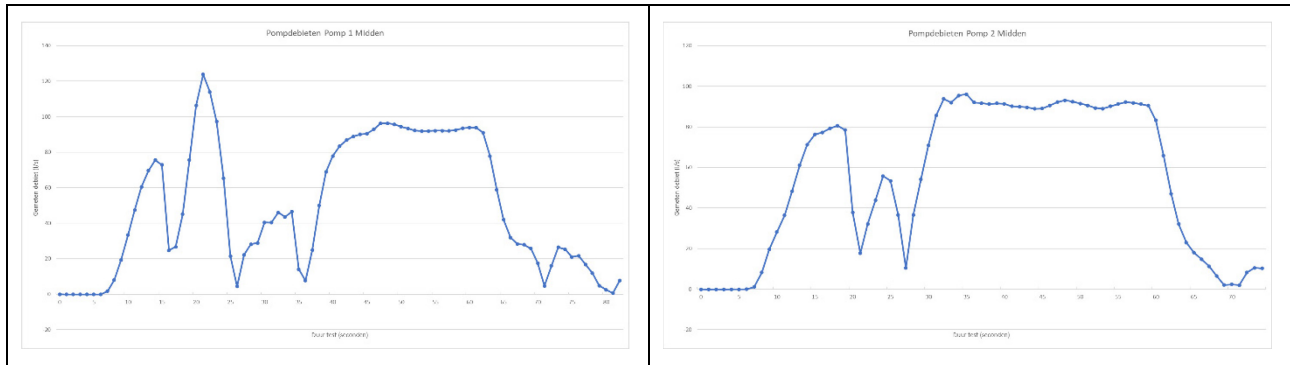
Op basis van visuele analyse van de grafieken werd het gemiddelde maximale debiet tijdens deze testen berekend. Tabel 1 toont de gemiddelde maximale debieten van de verschillende pompen van de noordelijke pompput, zowel individueel als in de geteste combinaties.

Tabel 1 – Gemiddelde maximale debieten gemeten tijdens de testen van de verschillende pompen in de noordelijke pompput van de Beverentunnel.

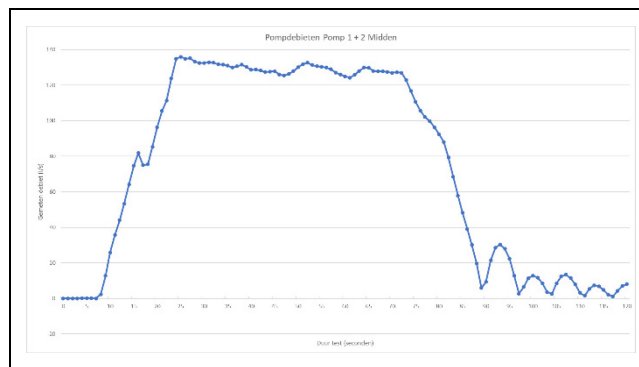
pomp(en)	gemiddeld maximaal debiet tijdens de test (l/s)
N2	116
N3	116
N4	90
N5	114
N6	109
N2+N3	184
N4+N5+N6	280

In de volgende alinea's 3.1.2 en 3.1.3 worden gelijkaardige resultaten getoond voor de andere pompputten, respectievelijk midden en zuid. In deze laatste put werd ook pomp 1 niet getest, omdat het fysiek onmogelijk was het debietmeettoestel daartoe op de juiste plaats te monteren.

3.1.2 Pompput midden



Figuur 7 – Verloop gemeten debieten van de individuele pomptesten in de pompput midden

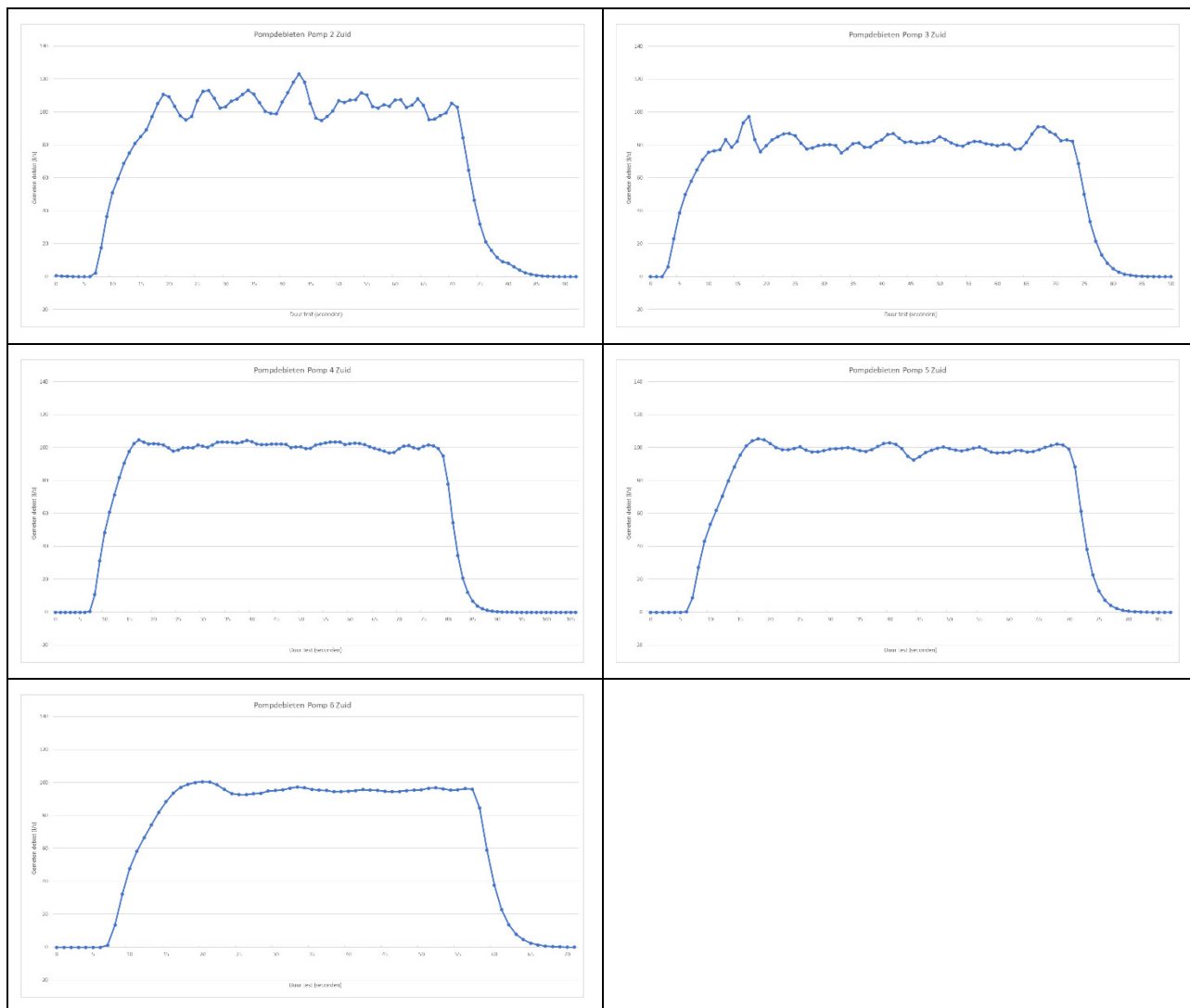


Figuur 8 – Verloop gemeten debieten van de gecombineerde pomptesten in de pompput midden

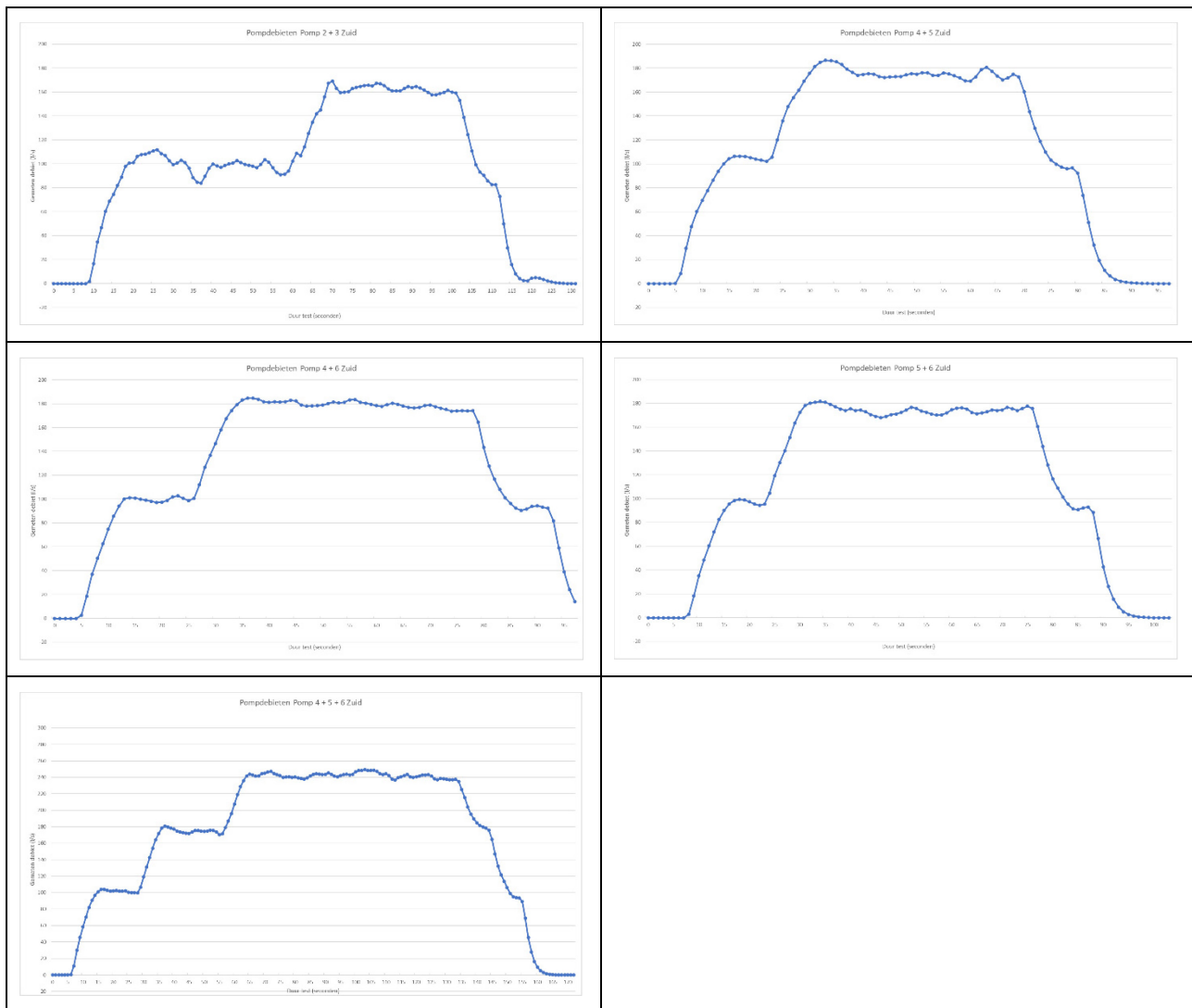
Tabel 2 – Gemiddelde maximale debieten gemeten tijdens de testen van de verschillende pompen in de pompput midden van de Beverentunnel.

pomp(en)	gemiddeld maximaal debiet tijdens de test (l/s)
M1	93
M2	91
M1+M2	129

3.1.3 Zuidelijke pompput



Figuur 9 – Verloop gemeten debieten van de individuele pomptesten in de zuidelijke pompput



Figuur 10 – Verloop gemeten debieten van de gecombineerde pomptesten in de zuidelijke pompput

Tabel 3 – Gemiddelde maximale debieten gemeten tijdens de testen van de verschillende pompen in de zuidelijke pompput van de Beverentunnel.

pomp(en)	gemiddeld maximaal debiet tijdens de test (l/s)
Z2	105
Z3	82
Z4	101
Z5	99
Z6	95
Z2+Z3	162
Z4+Z5	174
Z4+Z6	179
Z5+Z6	173
Z4+Z5+Z6	242

3.2 Het toevoerdebiet bepalen in de verschillende kelders en dit bij droog weer (basisafvoer) en nat weer (piekafvoer)

3.2.1 Berekening op basis van draaiuren pompen

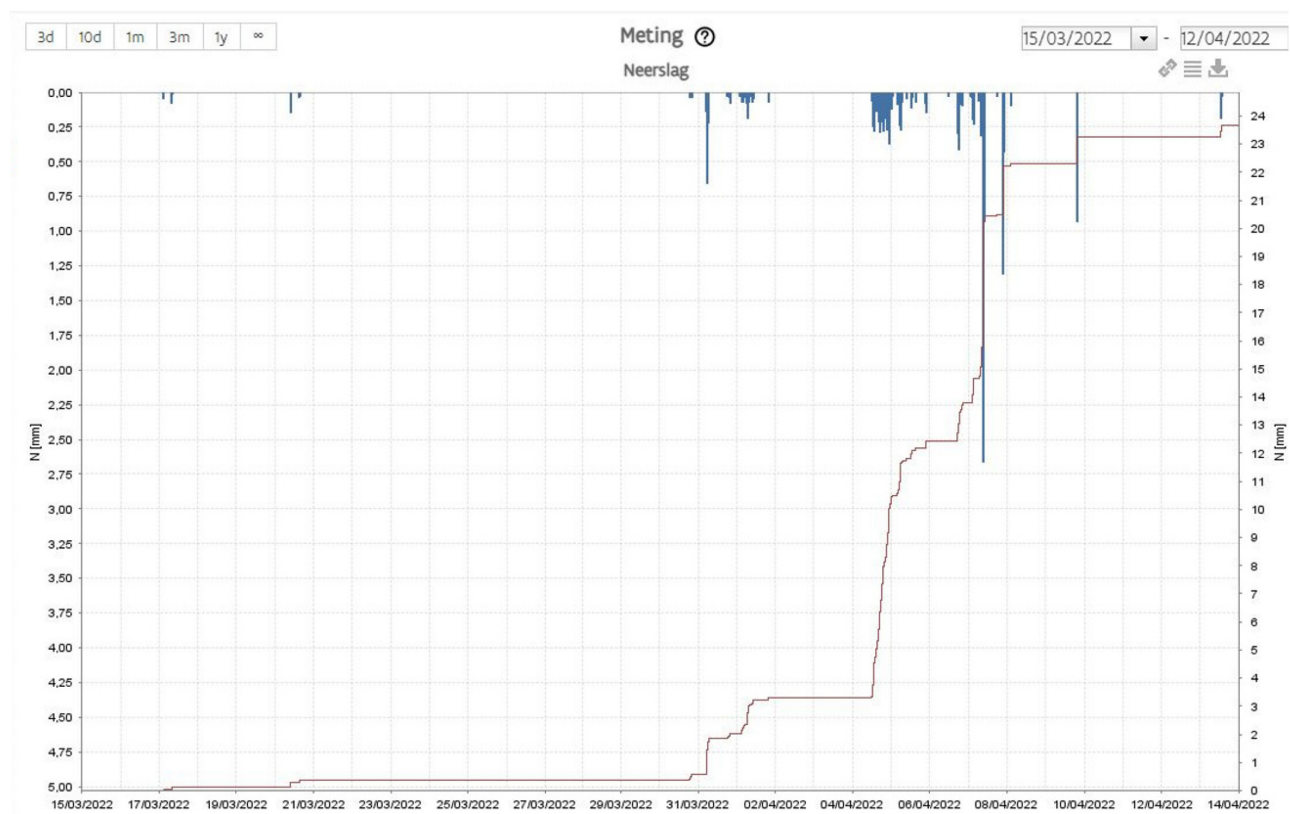
Tabel 4 toont het aantal draaiuren per dag van de verschillende pompen in de periode 17/03/2022 tot en met 11/04/2022. Gedurende de ganse periode heerste een normaal pompregime (reguliere werking). Enkel op 7/4/2022 (geel gemarkeerde lijn) werden op vraag de kelders op een zo laag mogelijk peil geplaatst om te evalueren wat de debietstoevoer zou zijn tijdens een regenbui die die dag voorspeld was, doch mager uitviel. Uit de meetreeks van de divermetingen (zie 3.2.2) kunnen we afleiden dat tijdens de ganse periode er per put telkens maximaal 1 pomp tegelijk actief was. Hierdoor kunnen we met de draaiuren en de individueel geteste pompdebieten een goede inschatting maken van de basisafvoer.

Tabel 4 – Draaiuren per dag in de periode 17/03/2022 – 11/04/2022 van de verschillende pompen in de kelders van de Beverentunnel

regime		MIDDEN_1	MIDDEN_2	NOORD_1	NOORD_2	NOORD_3	NOORD_4	NOORD_5	NOORD_6	ZUID_1	ZUID_2	ZUID_3	ZUID_4	ZUID_5	ZUID_6
	Dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag	u/dag
normaal	16/03/2022														
normaal	17/03/2022	0:20	0:14	0:00	0:50	0:27	0:22	0:24	0:25	0:37	0:45	0:59	0:47	0:54	0:39
normaal	18/03/2022	0:19	0:20	0:00	0:44	0:26	0:48	0:24	0:25	0:39	0:48	0:57	0:36	0:42	0:51
normaal	19/03/2022	0:14	0:13	0:00	0:45	0:26	0:23	0:23	0:25	0:40	0:36	0:42	0:47	0:52	0:52
normaal	20/03/2022	0:19	0:13	0:00	0:51	0:27	0:48	0:25	0:26	0:54	0:38	1:01	0:44	0:41	0:39
normaal	21/03/2022	0:20	0:21	0:00	0:51	0:26	0:36	0:30	0:32	0:54	0:36	0:47	0:39	0:58	0:52
normaal	22/03/2022	0:21	0:12	0:00	0:50	0:20	0:40	0:25	0:26	0:36	0:38	1:12	0:47	0:40	0:39
normaal	23/03/2022	0:19	0:14	0:00	0:51	0:26	0:26	0:23	0:24	0:53	0:37	0:43	0:36	0:57	0:53
normaal	24/03/2022	0:19	0:20	0:00	0:59	0:27	0:31	0:24	0:32	0:42	0:48	0:56	0:47	0:53	0:39
normaal	25/03/2022	0:13	0:16	0:00	0:44	0:26	0:30	0:22	0:25	0:52	0:48	0:48	0:35	0:40	0:52
normaal	26/03/2022	0:19	0:13	0:00	1:04	0:28	0:32	0:24	0:24	0:39	0:36	1:00	0:45	0:57	0:39
normaal	27/03/2022	0:14	0:20	0:00	0:51	0:27	0:40	0:24	0:26	0:56	0:36	0:45	0:35	0:48	0:52
normaal	28/03/2022	0:19	0:13	0:00	0:50	0:26	0:30	0:18	0:25	0:45	0:48	1:02	0:48	0:42	0:39
normaal	29/03/2022	0:20	0:20	0:00	1:03	0:35	0:32	0:23	0:26	0:56	0:37	0:50	0:36	0:59	0:53
normaal	30/03/2022	0:13	0:21	0:00	0:53	0:26	0:39	0:29	0:38	0:40	0:49	1:03	0:47	0:47	0:39
normaal	31/03/2022	0:16	0:13	0:00	0:51	0:27	0:23	0:23	0:25	0:47	0:36	0:45	0:35	0:45	0:53
normaal	1/04/2022	0:13	0:14	0:00	1:04	0:26	0:31	0:29	0:22	0:56	0:48	1:02	0:35	0:42	0:39
normaal	2/04/2022	0:20	0:13	0:00	0:52	0:27	0:30	0:23	0:29	0:39	0:36	0:48	0:48	0:58	0:51
normaal	3/04/2022	0:20	0:20	0:00	0:45	0:26	0:30	0:23	0:25	0:47	0:48	1:01	0:35	0:45	0:39
normaal	4/04/2022	0:13	0:20	0:00	1:21	0:36	0:42	0:31	0:27	0:41	0:37	0:44	0:55	0:48	0:53
normaal	5/04/2022	0:20	0:20	0:00	1:08	0:35	0:39	0:23	0:31	0:47	0:49	0:54	0:53	0:50	0:41
normaal	6/04/2022	0:19	0:14	0:00	1:00	0:34	0:39	0:29	0:28	0:47	0:56	0:39	0:38	0:37	1:01
manueel/normaal	7/04/2022	0:14	0:27	0:00	1:11	1:20	0:37	0:25	0:32	0:36	0:41	0:59	1:30	0:41	0:42
normaal	8/04/2022	0:13	0:14	0:00	0:45	0:33	0:32	0:23	0:25	0:43	0:36	0:43	0:47	0:52	0:52
normaal	9/04/2022	0:14	0:19	0:00	0:58	0:25	0:38	0:29	0:25	0:54	0:47	1:00	0:36	0:41	0:38
normaal	10/04/2022	0:19	0:14	0:00	0:43	0:33	0:35	0:24	0:25	0:39	0:36	0:50	0:42	0:59	0:51
normaal	11/04/2022	0:19	0:20	0:00	0:51	0:26	0:30	0:23	0:25	0:56	0:48	0:48	0:36	0:47	0:40

Om de basisafvoer en de piekafvoer te bepalen houden we ook rekening met de neerslag die tijdens de periode 17/03/2022 – 11/04/2022 is gevallen. Figuur 11 toont de grafiek van de neerslagmeter te Melsele, het dichtstbijzijnde meetstation. Op basis van deze grafiek wordt gekozen voor de volgende dagen om de beide afvoeren te berekenen:

- Basisafvoer: 28/03/2022
- Piekafvoer: het heeft nauwelijks geregend in deze periode dus een echte piekafvoer kon niet bepaald worden. Om alvast een idee te hebben van de verhoogde afvoer in functie van de hoeveelheid neerslag wordt gekozen voor 4/04/2022. Die dag viel vanaf de middag tot middernacht ongeveer 7 mm neerslag.



Figuur 11 – Grafiek van de gemeten neerslag in het meetstation Melsele in de periode 15/03/2022 – 14/04/2022 (Bron:Waterinfo)

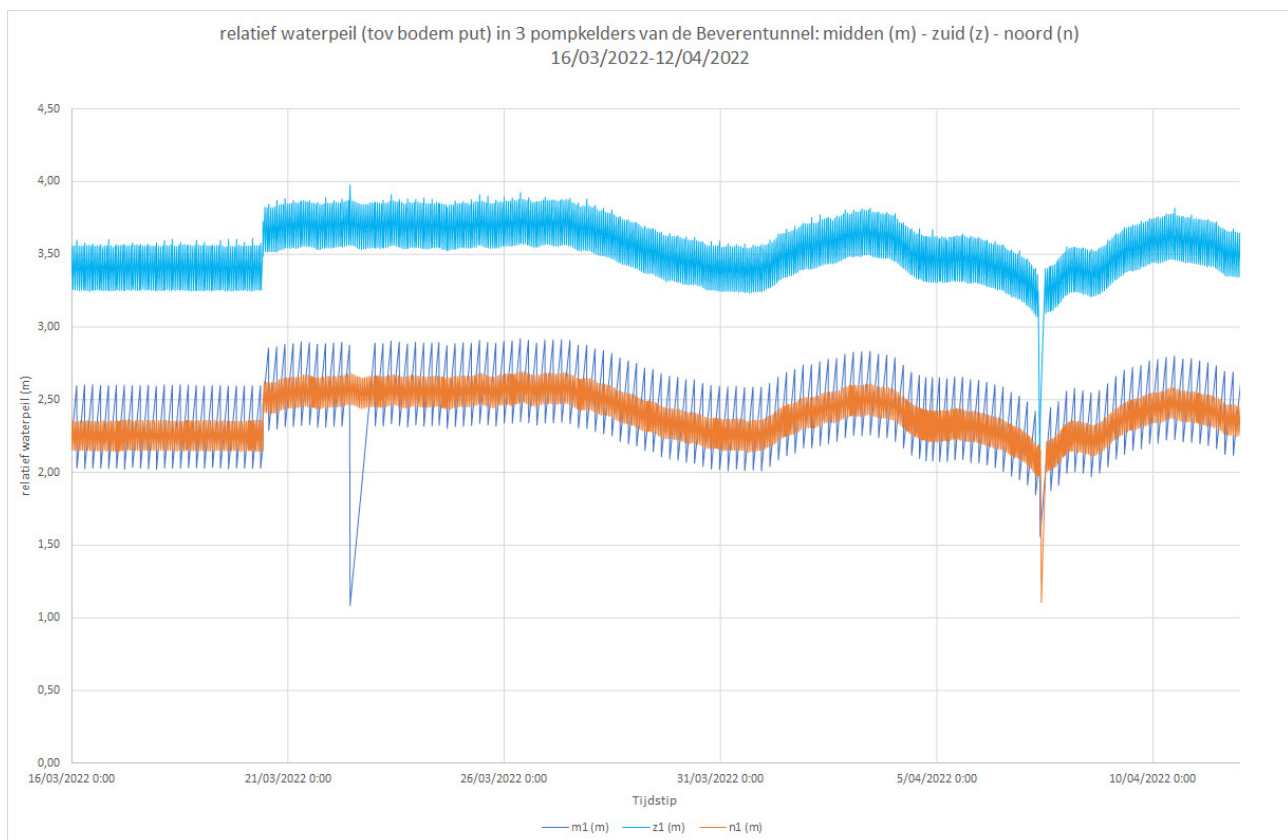
De beide afvoeren berekend op basis van de draaiuren en de gemeten debieten tijdens de test worden hieronder in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5 – Berekende basisafvoer en piekafvoer op basis van de draaiuren per dag en de gemeten maximale debieten van de verschillende pompen in de kelders van de Beverentunnel

BASISAFVOER															
regime 28/03/2022	MIDDEN_1	MIDDEN_2	NOORD_1	NOORD_2	NOORD_3	NOORD_4	NOORD_5	NOORD_6	ZUID_1	ZUID_2	ZUID_3	ZUID_4	ZUID_5	ZUID_6	
gemiddeld maximaal debiet (l/s)	93	91	0	116	116	90	114	109	100	105	82	101	99	95	
draaiminuten/dag	19	13	0	50	26	30	18	25	45	48	62	48	42	39	
verpomp volume (l)	106020	70980	0	348000	180960	162000	123120	163500	270000	302400	305040	290880	249480	222300	
verpompt volume (m³)	106	71	0	348	181	162	123	164	270	302	305	291	249	222	
	tot. midden	tot. noord	tot. zuid												
verpompt volume (m³)	177	978	1640												
toestromend volume (m³)	177	978	1463												
PIEKAFVOER															
regime 04/04/2022	MIDDEN_1	MIDDEN_2	NOORD_1	NOORD_2	NOORD_3	NOORD_4	NOORD_5	NOORD_6	ZUID_1	ZUID_2	ZUID_3	ZUID_4	ZUID_5	ZUID_6	
gemiddeld maximaal debiet (l/s)	93	91	0	116	116	90	114	109	100	105	82	101	99	95	
draaiminuten/dag	13	20	0	81	36	42	31	27	41	37	44	55	48	53	
verpomp volume (l)	72540	109200	0	563760	250560	226800	212040	176580	246000	233100	216480	333300	285120	302100	
verpompt volume (m³)	73	109	0	564	251	227	212	177	246	233	216	333	285	302	
	tot. midden	tot. noord	tot. zuid												
verpompt volume (m³)	182	1430	1616												
toestromend volume (m³)	182	1430	1434												

3.2.2 Berekening op basis van divermetingen

Figuur 12 toont de waterpeilen relatief ten opzichte van de bodem van de putten zoals gemeten door de divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel voor de periode 16/03/2022 tot 12/04/2022. De divermetingen werden gecompenseerd met lokaal in de tunnel gemeten luchtdrukwaarden, doch deze zijn door een technisch defect van de gebruikte barodiver enkel beschikbaar tot 20/03/2022. Daarna werd een meetreeks van luchtdrukken genomen van het dichtbij gelegen meteostation Melsele. Het valt op dat deze laatste compensatie niet afdoende is, en dat dus de luchtdruk in de tunnel zelf een zeer eigen karakter heeft. Op 22/03/2022 en op 7/04/2022 werden manueel pompen opgestart, wat de grotere sprongen in de grafieken verklaart.

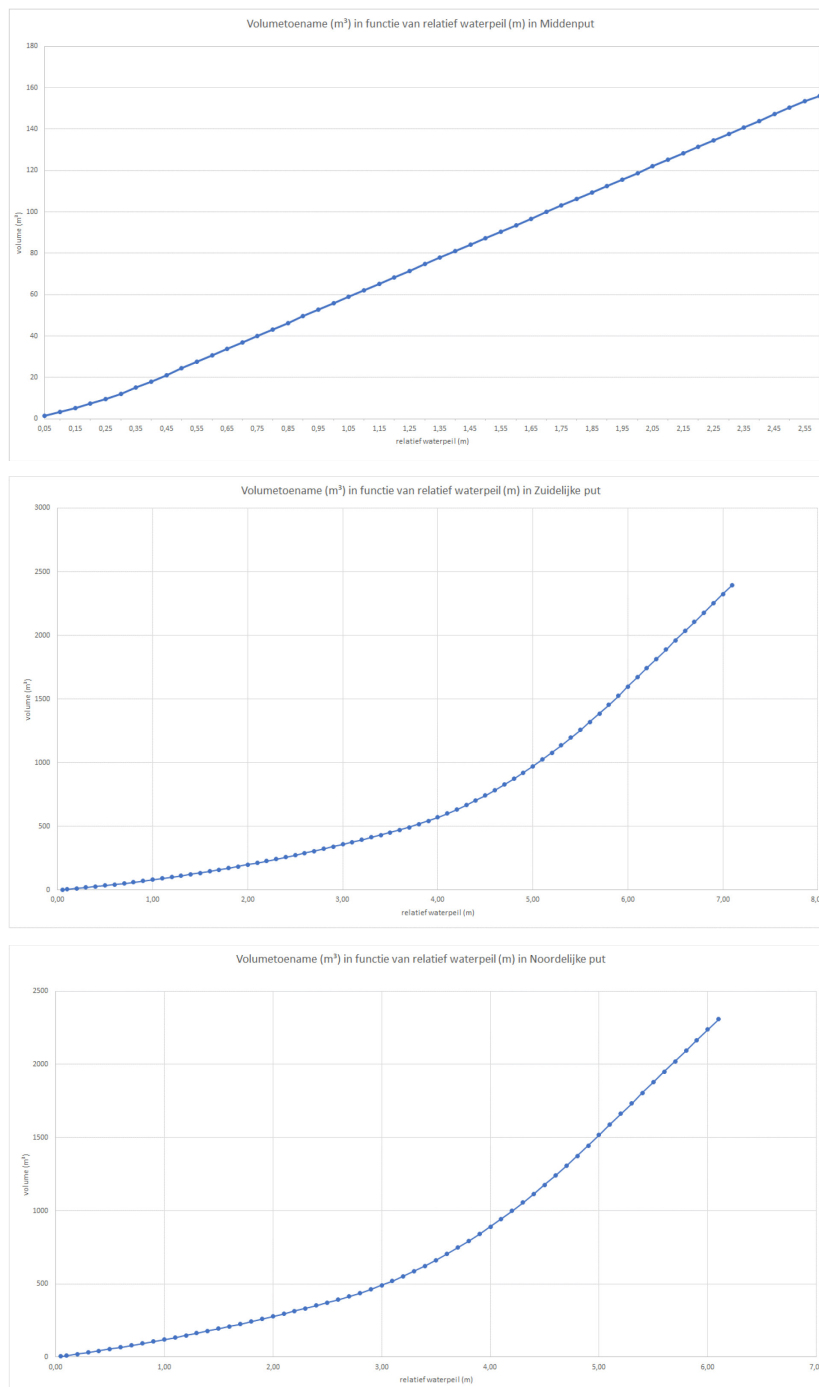


Figuur 12 – Grafiek van de relatieve waterpeilen zoals gemeten door de verschillende divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel (m1: midden; z1: zuiden; n1: noorden)

We merken in bovenstaande figuur dat de pompen steeds afslaan op hetzelfde waterpeil, wat logisch is. Gezien de luchtdrukcompensatie enkel in de eerste dagen goed verlopen is, kan dit afslagpeil als volgt vastgelegd worden voor de verschillende putten:

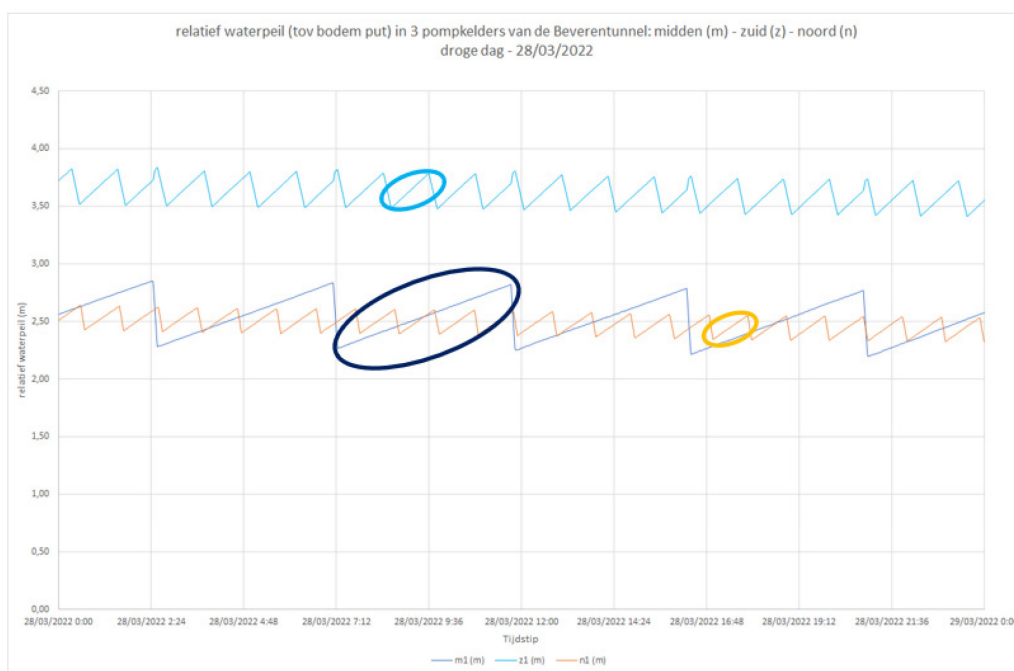
- Midden: 2,03 m boven de bodem
- Zuid: 3,25 m boven de bodem
- Noord: 2,15 m boven de bodem

Figuur 13 toont de volumetoename per put bij stijgende waterstanden, gemeten vanaf de bodem van de verschillende putten. Deze figuur is opgemaakt op basis van de beschikbaar gestelde ontwerpplannen van de verschillende putten.

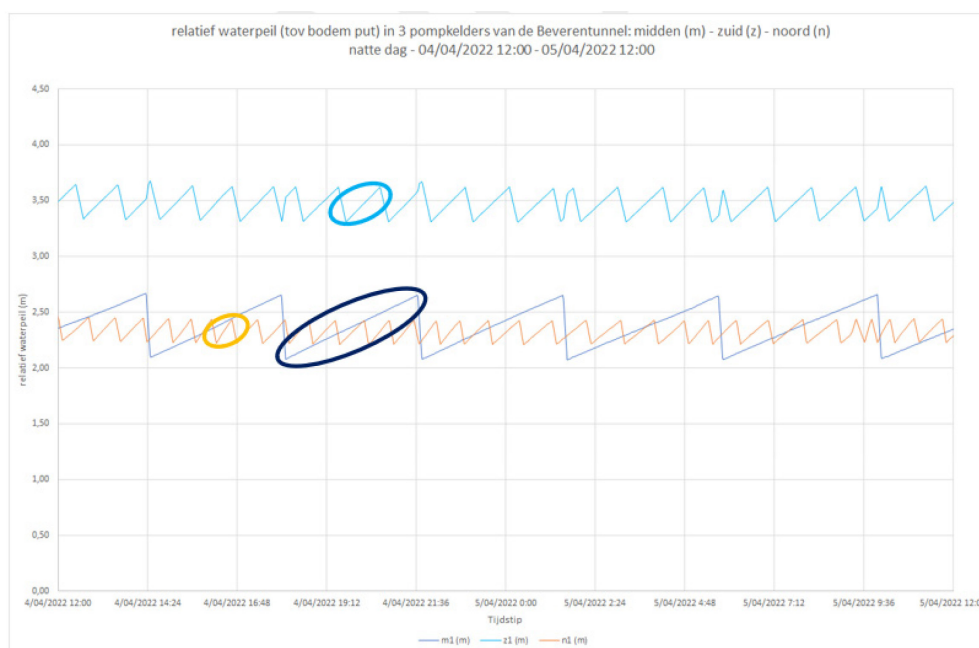


Figuur 13 – Volume in functie van relatief waterpeil voor de 3 pompputten van de Beverentunnel, bepaald op basis van de ontwerpplannen

Op basis van de stijgsnelheid van het water tussen de pompmomenten in kan dan voor de verschillende putten het toestromend volume en dus ook debiet bepaald worden. Dit kan dan richtinggevend per dag als een toestromend volume worden herrekend en we doen dit voor een droge dag (28/03/2022) en een nattere dag (4/04/2022) door in te zoomen op 1 specifiek stijgingsmoment gedurende die dag dat we visueel als representatief beschouwen (Figuur 14 en 15). Voor de zuidelijke put nemen we een moment waarop geen water vanuit de middenput wordt toegevoegd.



Figuur 14 – Grafiek van de relatieve waterpeilen zoals gemeten door de verschillende divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel (m1: midden; z1: zuiden; n1: noorden) op 28/03/2022 met aanduiding van de geselecteerde representatieve stijgingsmomenten per put



Figuur 15 – Grafiek van de relatieve waterpeilen zoals gemeten door de verschillende divers in de 3 pompputten van de Beverentunnel (m1: midden; z1: zuiden; n1: noorden) op 4/04/2022 met aanduiding van de geselecteerde representatieve stijgingsmomenten per put tijdens een neerslagevent

Het toestromend volume per seconde tijdens de omcirkelde events in figuur 13 en 14 en de hiermee omgerekende volumes per dag worden hieronder in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6 – Berekende basisafvoer en piekafvoer op basis van de gemeten waterpeilen en de stijgsnelheid voor 1 visueel bepaald event (Figuur 14 en 15) in de verschillende kelders van de Beverentunnel

BASISAFVOER			
regime 28/03/2022	MIDDEN	ZUID	NOORD
waterpeil stop pomp (m)	2,27	3,48	2,34
herrekend waterpeil stop pomp (m) (*)	2,03	3,25	2,15
volume water put stop pomp (afgerond tot op 1 m ³)	121	404	305
tijdstip stop daling (uu:mm)	7:14	8:38	16:58
waterpeil start pomp (m)	2,82	3,78	2,55
herrekend waterpeil start pomp (m) (*)	2,58	3,55	2,36
volume water put start pomp (afgerond tot op 1 m ³)	155	462	345
tijdstip start daling (uu:mm)	11:44	9:36	17:52
duur stijging (uu:mm)	4:30	0:58	0:54
duur stijging (s)	16200	3480	3240
toestromend debiet (l/s)	2,10	16,67	12,35
toestromend volume/dag (m³)	181	1440	1067
PIEKAFVOER			
regime 04/04/2022	MIDDEN	ZUID	NOORD
waterpeil stop pomp (m)	2,08	3,31	2,22
herrekend waterpeil stop pomp (m) (*)	2,03	3,25	2,15
volume water put stop pomp (afgerond tot op 1 m ³)	121	404	305
tijdstip stop daling (uu:mm)	18:06	19:43	16:15
waterpeil start pomp (m)	2,65	3,62	2,43
herrekend waterpeil start pomp (m) (*)	2,6	3,56	2,36
volume water put start pomp (afgerond tot op 1 m ³)	157	464	345
tijdstip start daling (uu:mm)	21:38	20:38	16:40
duur stijging (uu:mm)	3:32	0:55	0:25
duur stijging (s)	12720	3300	1500
toestromend debiet (l/s)	2,83	18,18	26,67
toestromend volume/dag (m³)	245	1571	2304
(*) gesteld dat luchtdrukcompensatie correct gebeurde en uitgaande van zelfde afslagpeil pompen			

De berekende debieten en volumes van 28/03/2022 kunnen als representatief beschouwd worden voor de basisafvoer. De berekende cijfers voor 4/04/2022 zijn richtinggevend vermits maar op 1 stijgingsmoment werd ingezoomd en dit vervolgens als totaal volume voor de ganse dag werd doorgerekend.

Aanvullend wordt hieronder nog een detailberekening gemaakt voor de ganse dag van 04/04/2022. Telkens worden per put het aantal stijgingen (met telkens een vaste volumetoename zoals bepaald in tabel 6) en de duur van deze stijgingen berekend. Hieruit wordt dan het gemiddelde toestromend debiet voor die dag berekend, evenals het op die dag opgetreden piekdebiet (snelste stijging van de divermeetreeks). Tabel 7 toont de aldus berekende waarden.

Tabel 7 – Berekende piekafvoer op basis van de gemeten waterpeilen en de stijgsnelheid op 4/04/2022 in de verschillende kelders van de Beverentunnel. Stijgingen tijdens de piekdebieten zijn in geel gemarkeerd, het zijn de kortst durende.

PIEKAFVOER 4/04/2022	volgnr.stijging	MIDDEN	ZUID	NOORD
toestromend volume tussen pompbeurten (m ³)		36	60	40
duur stijgingen (min)	1	268	44*	56
	2	264	60	57
	3	254	56	56
	4	210	60	56
	5	212	48*	56
	6		59	47
	7		59	13
	8		60	22
	9		43*	31
	10		59	39
	11		57	44
	12		55	49
	13		39*	50
	14		52	42
	15		51	35
	16		54	36
	17		22*	35
	18		56	29
	19		55	25
	20		53*	25
	21		55	33
	22			36
	23			31
	24			36
	25			40
	26			33
	27			32
	28			27
	29			31
	30			38
totaal toestromend volume/dag (m ³) in putten tussen volledige pompbeurten door		180	1260	1200
totaal toestromend volume/dag (m ³) per put afzonderlijk tussen volledige pompbeurten door		180	1080	1200
totale duur stijging (min)		1208	1097	1140
totale duur stijging (seconden)		72480	65820	68400
gemiddeld toestromend debiet (l/s) per put afzonderlijk tussen volledige pompbeurten door		2,48	16,41	17,54
omgerekend toestromend volume/dag (m³)		215	1418	1516
piekdebet (l/s) per put afzonderlijk obv de kortste stijgingsduur		2,86	19,61	51,28
* stijging beïnvloed door verpompt water vanuit middenput				

3.2.3 Samenvatting toevoerdebieten

Hieronder in tabel 8 worden alle berekende cijfers omtrent toevoerdebieten en volumes nog eens samenvattend weergegeven voor een droge dag (basisafvoer) en voor een nattere dag (piekafvoer), dit zowel op basis van de pompuren en de gemeten pompdebieten, als afgeleid uit de divermetingen en de duur van de stijgingsmomenten in de verschillende putten.

De aangegeven waarden voor de basisafvoeren kunnen als representatief beschouwd worden.

Voor de piekafvoeren zijn dit eerder richtinggevend getallen. De gevallen hoeveelheid neerslag op 4/04/2022 was van de grootteorde van 7 mm op 12 uur tijd. Intensere neerslagevents hebben in de periode van de metingen niet plaatsgevonden.

Tabel 8 – Samenvattende tabel met berekende basis- en piekafvoeren en volumes via verschillende rekenmethodes

	Methode draaiuren pompen			Methode <u>divermetingen</u> (1 representatief stijgingsmoment)			Methode <u>divermetingen</u> (alle stijgingen op 4/04/2022 – enkel <u>piekafvoerbepaling</u>)		
	M	Z	N	M	Z	N	M	Z	N
BASISAFVOER – volume (m³/dag)	177	1463	978	181	1440	1067	-	-	-
PIEKAFVOER – volume (m³/dag)	182	1434	1430	245	1571	2304	215	1418	1516
	Methode <u>divermetingen</u> (1 representatief stijgingsmoment)			Methode <u>divermetingen</u> (kortste stijgingsmoment op 4/04/2022 – enkel <u>piekafvoerbepaling</u>)			Methode <u>divermetingen</u> (alle stijgingen op 4/04/2022 – enkel <u>piekafvoerbepaling</u>)		
	M	Z	N	M	Z	N	M	Z	N
<u>BASISdebiet (l/s)</u>	2,10	16,67	12,35	-	-	-	-	-	-
<u>PIEKdebiet (l/s)</u>	2,83	18,18	26,67	2,86	19,61	51,28	2,48	16,41	17,54

4 Aanbevelingen

De in dit rapport berekende cijfers omtrent piekafvoeren zijn richtinggevend om diverse redenen:

- Beperkte hoeveelheid neerslagevents gedurende deze meetcampagne
- Grootste neerslagevent ongeveer 7mm op 12u.
- Beperkte reactie zuidelijke toevoer op neerslagevent: toevallig of systematisch zo?
- Er hebben tijdens deze periode geen 2 pompen per put tegelijk gewerkt

Wanneer tijdens winterperiodes de bodem verzadigd is en daar bovenop langdurig regen valt (meerdere tientallen mm op aantal dagen) of wanneer tijdens zomeronweders op korte tijd een aanzienlijke hoeveelheid neerslag valt (meerdere tientallen mm op 1 dag) zal deze piekafvoer waarde wellicht nog hoger liggen. Daarom zou het nuttig zijn om de start- en stoptijd van elke pomp afzonderlijk te loggen, zodat de werkelijke verpompte volumes kunnen berekend worden op basis van de gemeten pompdebieten en de effectieve draaiuren per pomp. Dit zal bij gezamenlijke werking van de pompen uiteindelijk toch de beste benadering zijn.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be