

Onderwerp:	Kwelberekeningen project Kraanbaan, Beneden-Leeuwen	Opgesteld door:	Rob Haenen
Uw referentie:	QVG00116	Telefoon:	06 3358 0491
Projectcode:	P02479	Email:	rob.haenen@burohoogstraat.nl
Datum:	07-09-2021		

Kwelberekeningen project Kraanbaan, Beneden-Leeuwen

1 Aanleiding en doel

Het gebied aan de buitendijkse zijde van de Waalbandijk in Beneden-Leeuwen, waar zich momenteel leegstaande industriële bebouwing (o.a. het voormalige pakhuis 'De Klef' met de karakteristieke Kraanbaan) en enkele voormalige boerderijen bevinden, wordt herontwikkeld. Om buitendijks te kunnen bouwen moet een aantoonbare waterstandsdeling worden gecreëerd. Om dit te bereiken moet in het gebied tussen circa 2.000 en 4.000 m³ grond worden afgegraven en afgevoerd. De gemeente West Maas en Waal heeft verzocht om aan te tonen of een afgraving van het gebied tot een verslechtering van de binnendijkse kwelsituatie leidt.

Hiertoe heeft Buro Hoogstraat in opdracht van Civil Management kwelberekeningen uitgevoerd. In dit memo worden de uitgangspunten en resultaten daarvan beschreven.

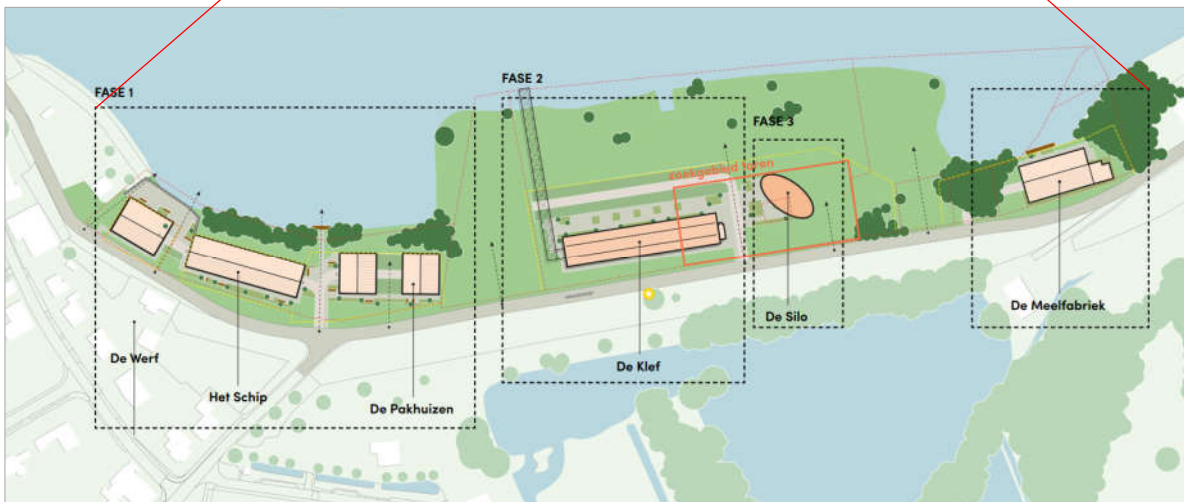
2 Basisinformatie

Dit memo is gebaseerd op de ervaring van Buro Hoogstraat met vergelijkbare projecten en op onderstaande bronnen:

- [1] De website www.google.nl/maps: luchtfoto's en straatoverzichten;
- [2] De website www.pdok.nl/viewer: actuele geo-informatie op kaarten;
- [3] De website www.dinoloket.nl: geowetenschappelijke gegevens over de ondergrond van Nederland;
- [4] De notitie "*Rivierkundige compensatie Kraanbaan*", project P0155.1, 9-12-2019, Agtersloot hydraulisch advies (pdf-bestand met 5 pagina's);
- [5] Het document "*Stedenbouwkundige uitgangspunten Kraanbaan Beneden-Leeuwen*", december 2020, Movares (pdf-bestand met 26 pagina's);
- [6] Het memo "*Beschouwing bodemaspecten en gewenste bodemkwaliteit – Planontwikkeling Kraanbaan Beneden-Leeuwen*", versie 20195433/M02/V01, 8-12-2020, Enviroplan Bodemsanering (pdf-bestand met 6 pagina's);
- [7] Het rapport "*Waterstructuur Project Kraanbaan te Beneden Leeuwen*", projectnummer 1321736, 11-12-2020, Syntraal, (pdf-bestand met 33 pagina's);
- [8] Het rapport "*Bestemmingsplan Beneden-Leeuwen, Kraanbaan, fase 1, 2 en 3 Gemeente West Maas en Waal Voorontwerp*", rapportnummer: P03125_2, 16-12-2020, BRO, (pdf-bestand met 55 pagina's);
- [9] De tekening "*Schetsontwerp Dwarsprofielen waterstandsdeling Project Kraanbaan, Beneden-Leeuwen, Huidige situatie*", tekeningnummer QVG00116-SO-DP-01-C04, 09-08-2021, Civil Management (pdf-bestand met 1 pagina);

3 Gegevens projectlocatie

In afbeelding 1 op de volgende pagina is de ligging van de projectlocatie weergegeven.



Afbeelding 1 Ligging projectlocatie (bronnen [2] en [5])

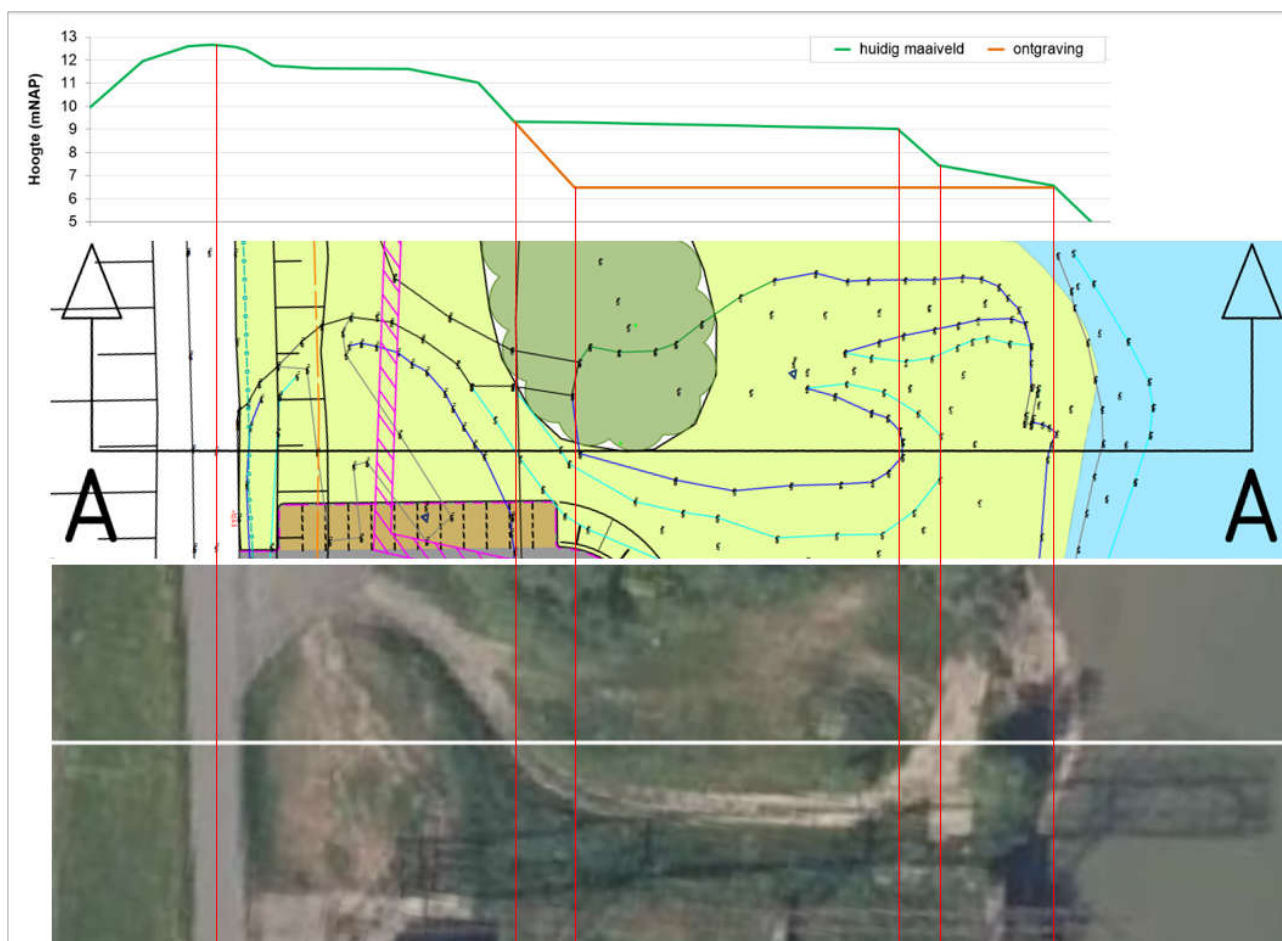
4 Ontgraving

Gepland is om in een gebied van circa 40 m x 55 m (zie afbeelding 2) gemiddeld circa 2,5 m grond te ontgraven.



Afbeelding 2 Ligging geplande ontgraving (bronnen [5] en [9])

In afbeelding 3 is een dwarsprofiel van de geplande ontgraving weergegeven.



Afbeelding 3 Dwarsprofiel geplande ontgraving (bronnen [2] en [9])

5 Geohydrologie

Op het Dinoloket (bron [1]) is voor de projectlocatie het in tabel 1 weergegeven geohydrologische profiel aangegeven.

Tabel 1 Geohydrologisch profiel op de projectlocatie (bron [3])

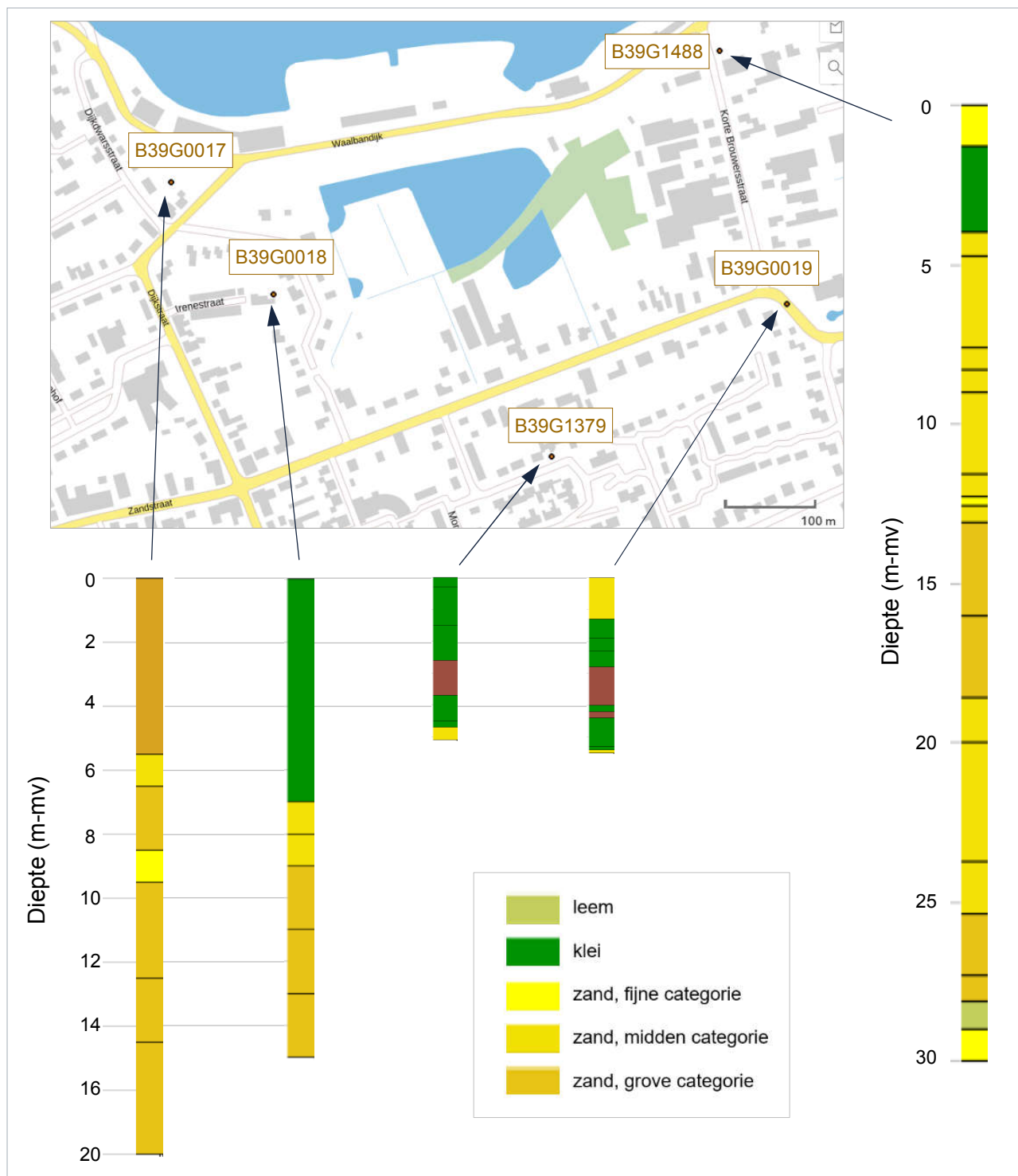
Diepte (m-mv)	Hydrogeologische eenheid	Lithogie	K_h -waarde (m/dag)	c-waarde (dagen)
0 - 4	Holocene afzettingen	Afwisseling van zandige klei, midden en fijn zand, klei en veen en een weinig grof zand	g.w.	g.w.
4 - 31	Formatie van Kreftenheye, 2 ^{de} en 3 ^{de} zandige eenheid	Midden en grof zand, met weinig zandige klei, fijn zand en grind en een spoor klei en veen	$50 \leq k_h < 100$	g.w.
31 - 38	Formatie van Peize en Waalre 2 ^{de} zandige eenheid	Midden en grof zand, met weinig zandige klei, fijn zand en grind en een spoor klei en veen	$25 \leq k_h < 50$	g.w.
38 - 45	Formatie van Waalre 2 ^{de} kleiige eenheid	Zandige klei, klei en midden zand, met weinig veen, fijn en grof zand en een spoor grind	g.w.	$100 \leq c < 500$

Watervoerend pakket

Waterremmend pakket

- 1) K_h -waarde = horizontale waterdoorlatendheid;
- 2) c-waarde = hydrologische weerstand tegen verticale grondwaterstroming;
- 3) g.w. = geen waarde vermeld;
- 4) Dit pakket is voor de kwelberekeningen als geohydrologische basis beschouwd.

In afbeelding 4 op de volgende pagina zijn vijf boorprofielen weergegeven van boringen die in de omgeving van het plangebied zijn uitgevoerd.



Afbeelding 4 Boorprofielen in omgeving plangebied (bron [3])

Uit afbeelding 4 blijkt dat bij 4 van de 5 boringen waterremmende lagen in de bovenste 5 m van de bodem voorkomen. Op basis van afbeelding 4 zijn voor de deklaag de in tabel 2 op de volgende pagina aangegeven c-waarden aangenomen (de c-waarde is een maat voor de hydrologische weerstand tegen verticale grondwaterstroming: hoe groter de c-waarde van de deklaag is, des te lager het kweldebiet is).

Tabel 2 Aangenomen c-waarden voor deklaag in omgeving plangebied (bron [3])

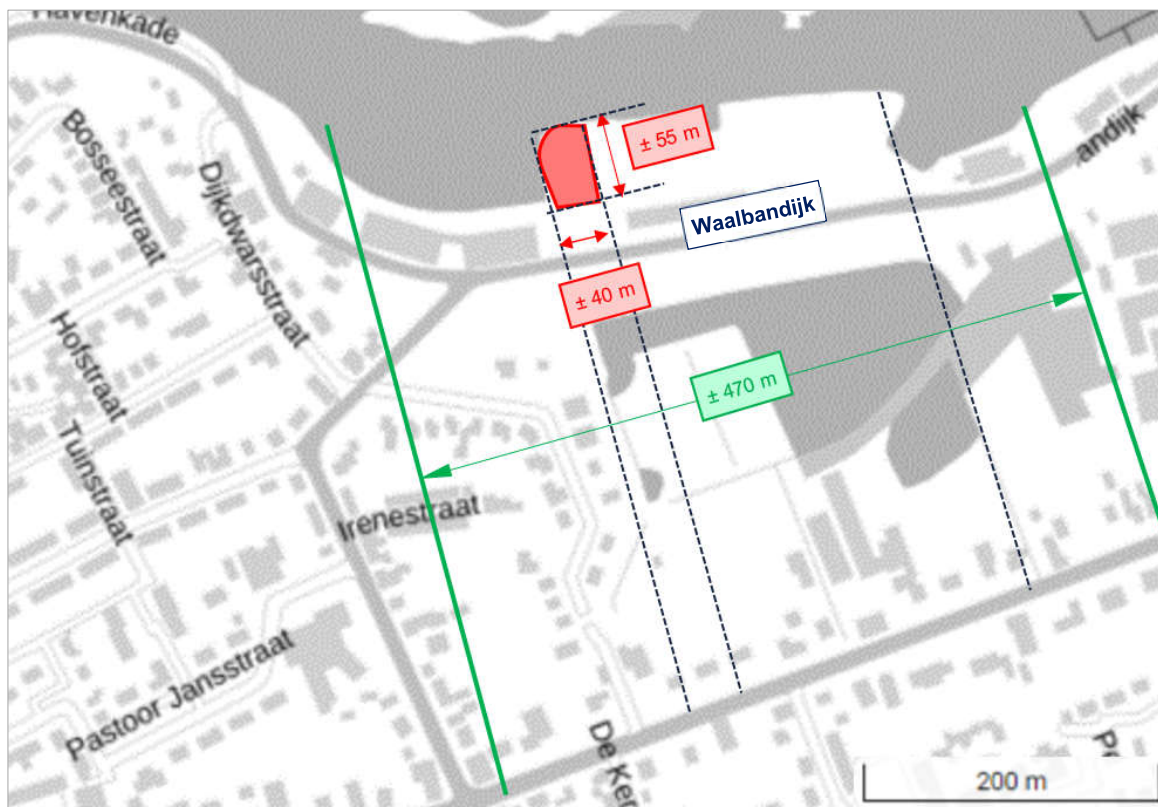
Boring	Dikte deklaag (m)	Samenstelling	c-waarde ¹⁾ (dagen)
B39G0017	0	Zand, grof	< 1
B39G0018	7,0	Klei, zandig	50 - 100
B39G1379	4,7	Klei en veen	100 - 200
B39G0019	4,0	Klei en sterk siltig zand	75 - 150
B39G1488	5,4	Klei, zand en veen	80 - 160

1) c-waarde = hydrologische weerstand tegen verticale grondwaterstroming.

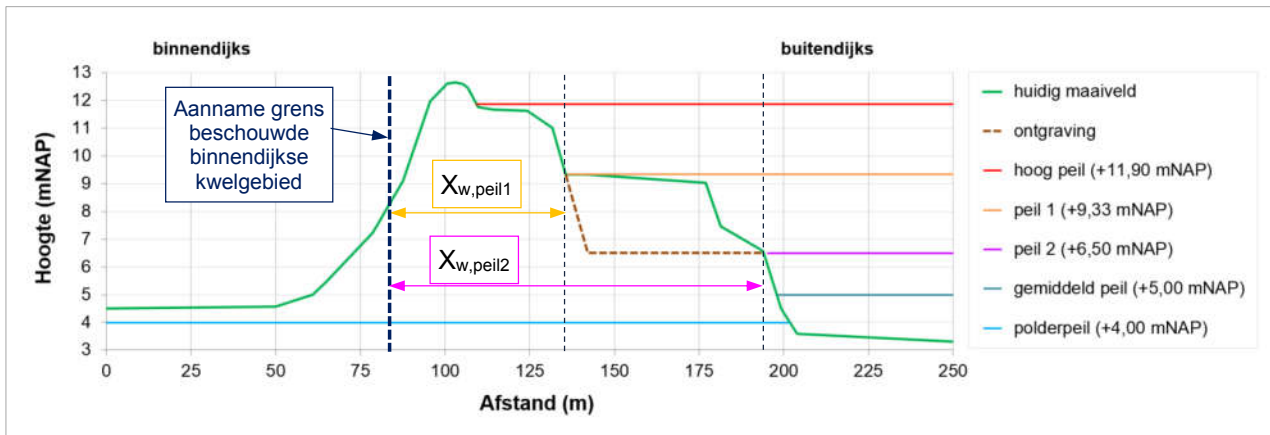
6 Kwelberekeningen

Op basis van de in de voorgaande hoofdstukken weergegeven informatie zijn kwelberekeningen uitgevoerd. De kwelberekeningen zijn gebaseerd op de formule van Mazure (zie bijlage 1 voor een toelichting). Bij de kwelberekeningen zijn onderstaande uitgangspunten en de in de afbeeldingen 5 en 6 weergegeven schematisaties aangehouden:

- beschouwd gebied : zie afbeelding 5;
- profiel huidig maaiveld en ontgraving : zie afbeelding 6;
- ontgraving : $L \times B \times D = 55 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ (zie afbeelding 5);
- hoog rivierpeil : +11,90 mNAP (zie afbeelding 6);
- gemiddeld rivierpeil : +5,00 mNAP (zie afbeelding 6);
- polderpeil : +4,00 mNAP (zie afbeelding 6);
- dikte watervoerend pakket : 38 m;
- K-waarde watervoerend pakket : 50 m/dag;
- afstand (x) tot buitendijkse waterlijn : zie afbeelding 5; deze afstand is afhankelijk van het rivierpeil;
- spreidingslengte (λ) : 200 (m).

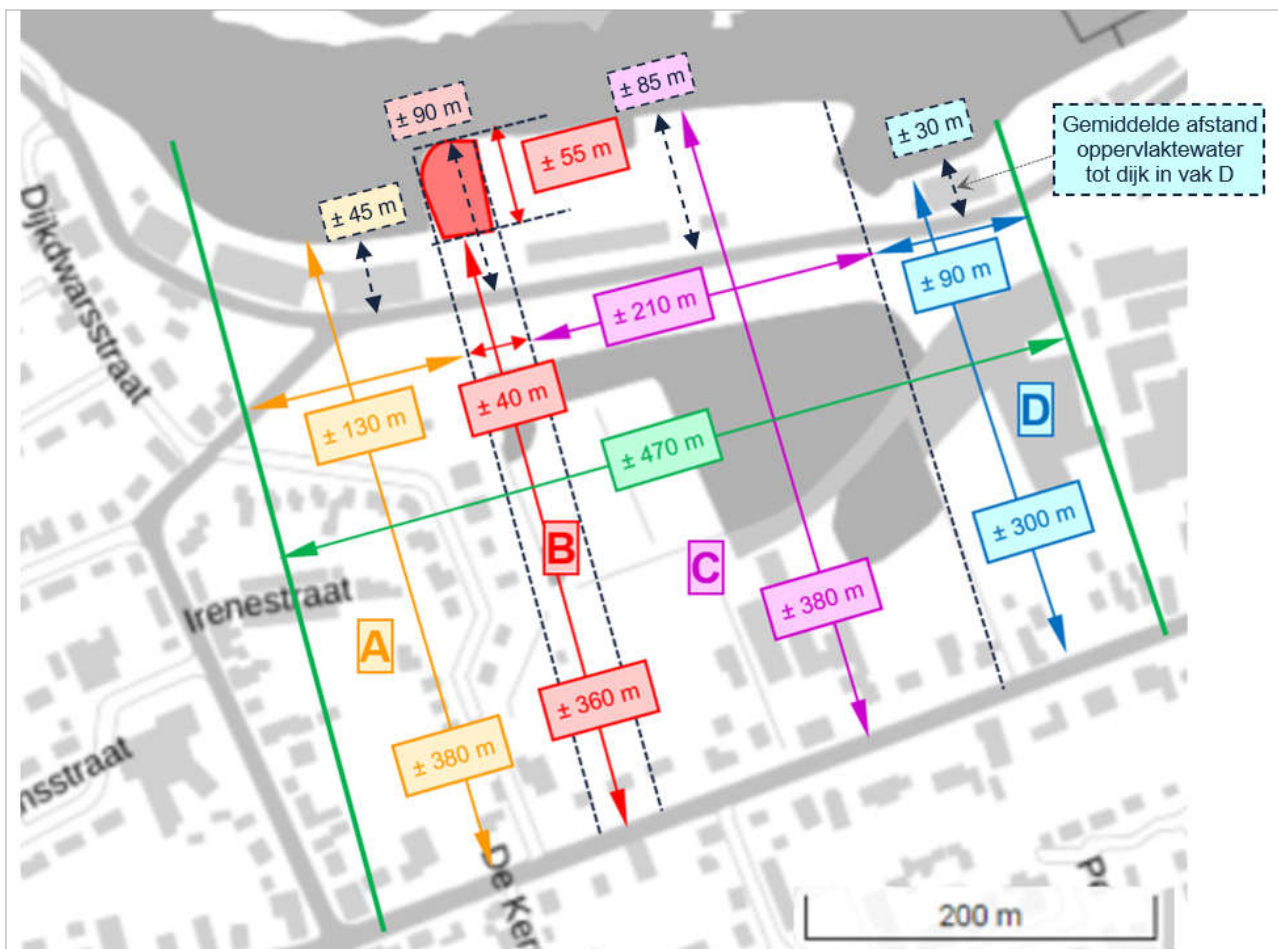


Afbeelding 5 Beschouwd gebied voor bepaling invloed buitendijkse ontgraving op binnendijkse kwelsituatie



Afbeelding 6 Bij de kwelberekeningen gehanteerde hoogtematen

In afbeelding 5 is te zien dat binnen het beschouwde gebied waarvoor de kwel is berekend, verschillende gebieden zijn te onderscheiden die op een verschillende afstand van de waterlijn liggen. Voor de kwelberekeningen is het beschouwde gebied onderverdeeld in de vier in afbeelding 7 weergegeven gebieden A t/m D.



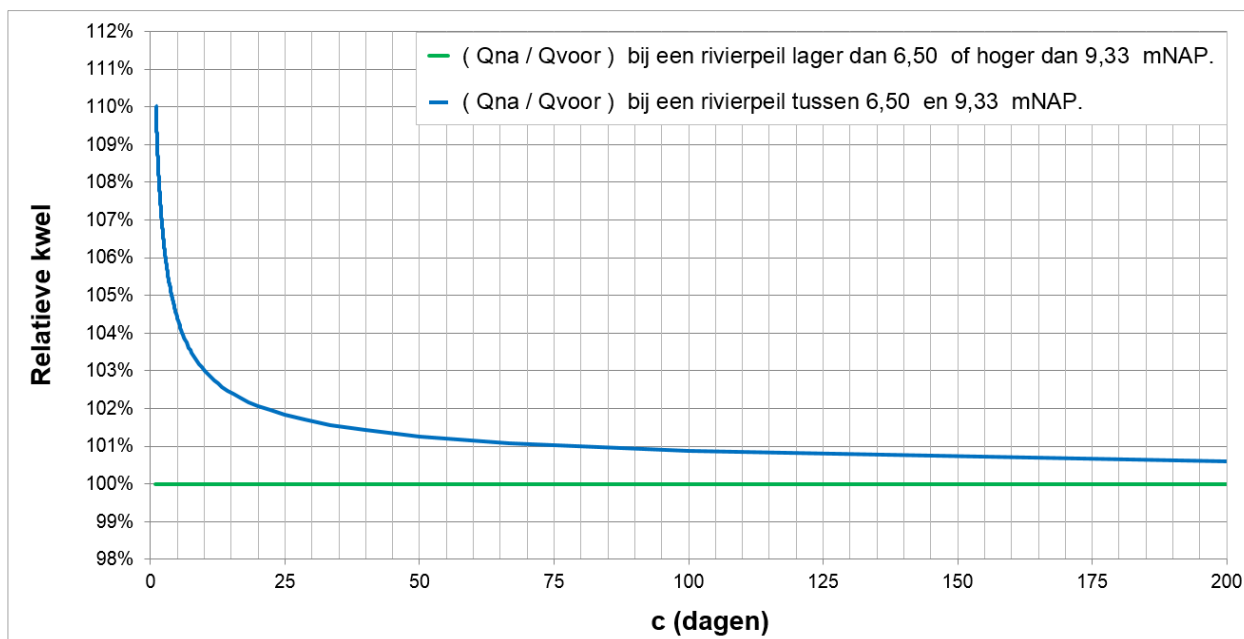
Afbeelding 7 Onderverdeling van het beschouwde binnendijkse gebied in vier deelgebieden (A t/m D) met verschillende afstanden tot de waterlijn, voor de bepaling van de invloed van een buitendijkse ontgraving op de kwel in het beschouwde binnendijkse gebied.

Resultaten

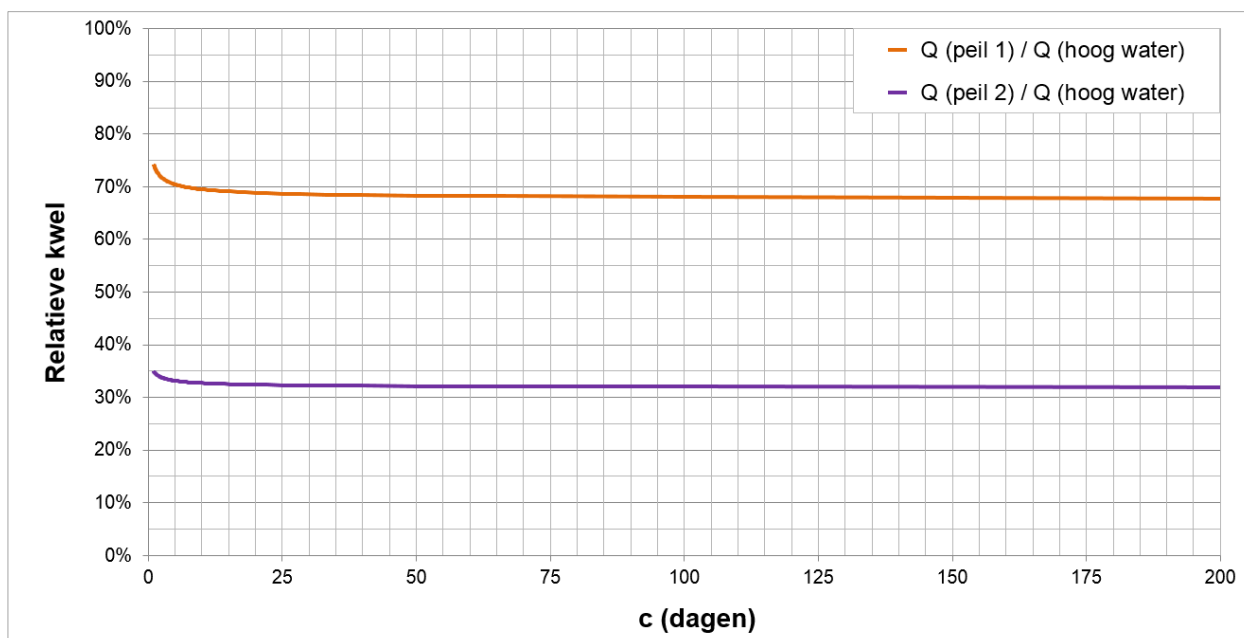
De buitendijkse ontgraving heeft alleen invloed op de binnendijkse kwel wanneer het rivierpeil zich tussen het laagste en hoogste peil van de ontgraving bevindt (de peilen 1 en 2 in afbeelding 6), omdat de afstand van de

waterlijn tot het beschouwde binnendijkse kwelgebied bij die peilen verschillend is voor de situatie vóór en na ontgraving (zie afbeelding 6, de afstand X_w).

Zoals uit bijlage 1 blijkt is het debiet van de binnendijkse kwel afhankelijk van de hydrologische weerstand (c) van de deklaag in het binnendijkse gebied en van de spreidingslengte (λ), die ook afhankelijk is van de weerstand. In verband met de onzekerheid in de waarde van c (zie tabel 2) zijn kwelberekeningen uitgevoerd voor verschillende c -waarden. De resultaten van de kwelberekeningen zijn weergegeven in de afbeeldingen 8 en 9.



Afbeelding 8 Relatieve kwel vóór en na ontgraving bij verschillende rivierpeilen en afhankelijk van de c -waarde van de deklaag.



Afbeelding 9 Relatieve kwel na ontgraving bij 2 rivierpeilen afhankelijk van de c -waarde van de deklaag

Uit tabel 2 kan worden afgeleid dat de hydrologische weerstand (c -waarde) van de deklaag minimaal 50 dagen bedraagt. Hiermee volgt uit afbeelding 8 dat door de buitendijkse ontgraving, bij een rivierpeil tussen +6,50 en +9,33 mNAP, de berekende kweltoename binnen het beschouwde gebied kleiner is dan 2% ten opzichte van de situatie vóór de ontgraving.

Uit afbeelding 9 blijkt dat na de buitendijkse ontgraving, binnen het beschouwde gebied een kwel is berekend van maximaal 68% van de berekende kwel bij hoog water (dit is bij een rivierpeil van +9,33 mNAP). Bij een rivierpeil van +6,50 mNAP is de berekende kwel binnen het beschouwde gebied na de buitendijkse ontgraving circa 32% van de kwel bij een hoog rivierpeil.

7 Conclusie

Op basis van de uitgevoerde kwelberekeningen kan worden geconcludeerd dat de geplande buitendijkse ontgraving geen effect op de binnendijkse kwelsituatie heeft.

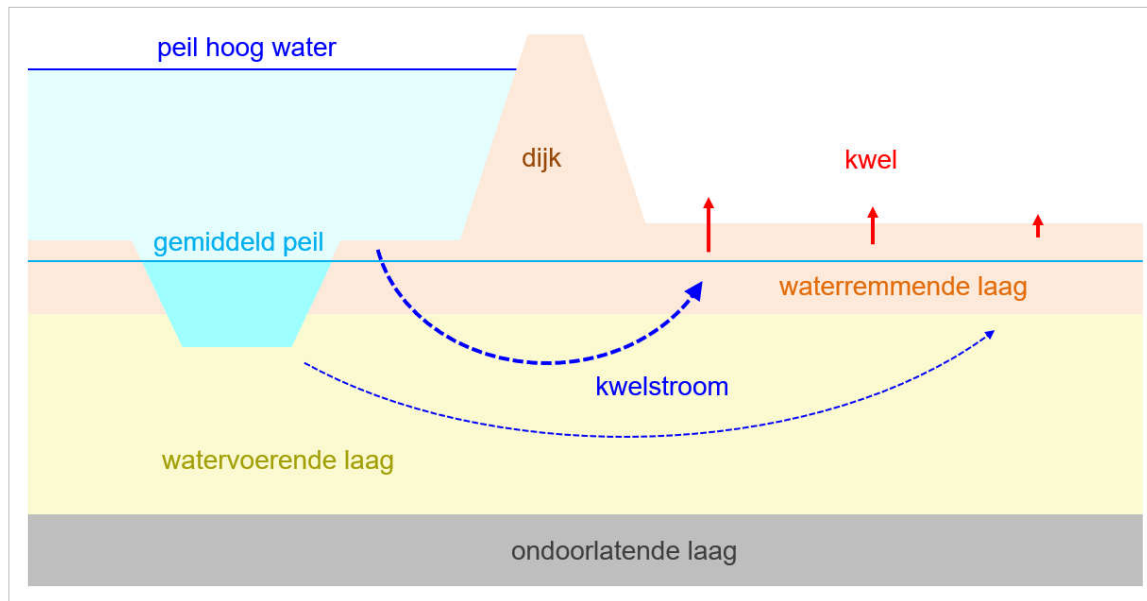
Bijlagen

- 1) Toelichting kwelberekeningen

Kwelberekeningen

Kwel

Het grondwaterpeil in de omgeving van een rivier wordt beïnvloed door het waterpeil van die rivier. Bij hoog water in de rivier neemt de waterdruk in de onderliggende bodemlagen toe. Hierdoor ontstaat in watervoerende lagen een geforceerde grondwaterstroming (kwelstroom) richting het land, haaks op de rivier (zie afbeelding 1). Doordat de waterdruk in de watervoerende laag toeneemt, komt het grondwater binnendijks, waar het freatische grondwaterpeil lager is dan het hoge waterpeil in de rivier, omhoog: kwel.



Afbeelding 1: Schematische weergave kwelstroming onder een dijk bij hoog water

Het volume aan kwelwater dat per tijdseenheid in een bepaald gebied op een afstand x van de waterlijn omhoog komt (het kweldebiet), is afhankelijk van (zie afbeelding 2 op de volgende pagina):

- het verschil tussen het waterpeil in de rivier en het freatische grondwaterpeil (φ_0): hoe groter dit verschil, des te hoger het kweldebiet;
- de afstand (x) tot de waterlijn: hoe kleiner de afstand, des te hoger het kweldebiet;
- de dikte (D) en waterdoorlatendheid (K) van de watervoerende laag: hoe groter het produkt KD , des te hoger het kweldebiet;
- de hydrologische weerstand ($c = D'/K_v$) van de waterremmende laag: hoe kleiner de hydrologische weerstand, des te hoger het kweldebiet.

Kwelberekeningen

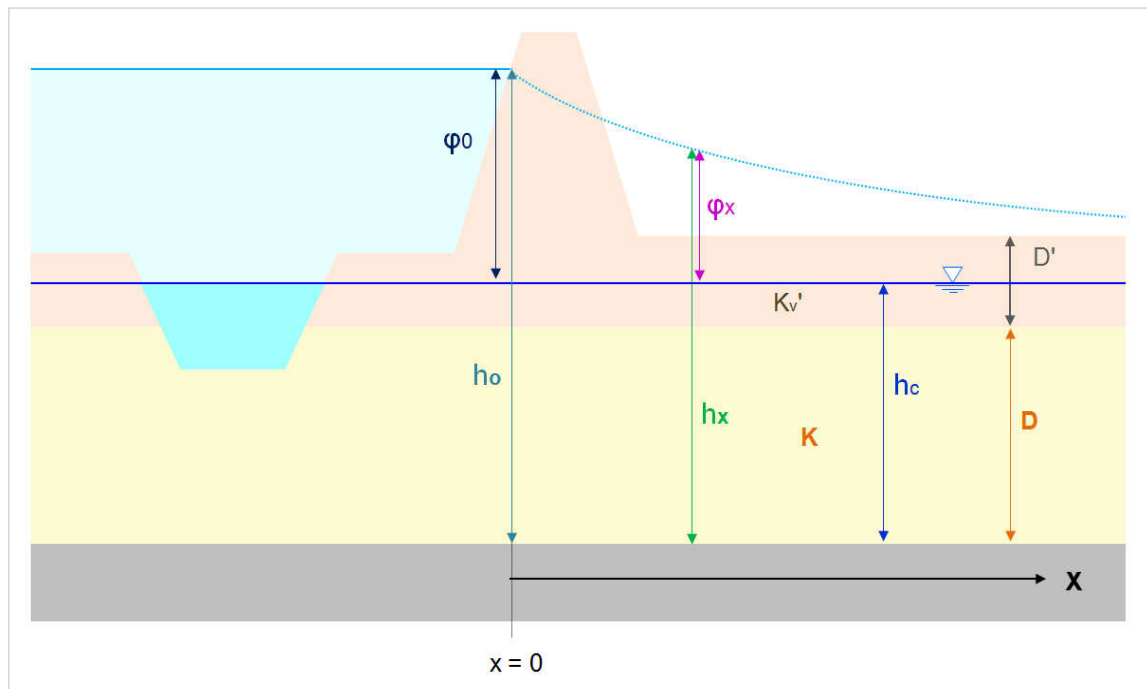
De stijghoogte (φ_x) in de watervoerende laag neemt exponentieel af met toenemende afstand (x) tot de waterlijn. In afbeelding 2 is het verloop van de stijghoogte weergegeven met een blauwe stippellijn.

Met de formule van Mazure kan worden berekend hoeveel kwel in een bepaald gebied gaat optreden bij een hoog waterpeil van een rivier. De formule van Mazure luidt (zie ook afbeelding 2):

$$(1) \quad \varphi(x) = \varphi_0 * e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (\text{m}) \quad \text{met} \quad \lambda = \sqrt{K D c} \quad (\text{m})$$

Hierin is

- x : afstand tot de waterlijn (m);
- λ : spreidingslengte (m);
- φ_0 : verschil tussen het rivierpeil en het binnendijkse freatische grondwaterpeil (m);
- K : de waterdoorlatendheid van de watervoerende laag (m/dag);
- D : de dikte van de watervoerende laag (m);
- c : de hydrologische weerstand van de waterremmende laag (m).



Afbeelding 2: Visualisatie van de parameters die het kweldebiet bepalen en het verloop van de stijghoogte (ϕ_x) binnendijs (waterlijn in $x = 0$).

De hydrologische weerstand van de waterremmende laag wordt gegeven door:

$$(2) \quad c = \frac{D'}{K_v'} \quad (\text{dagen})$$

Hierin is D' : de dikte van de waterremmende laag (m).
 K_v' : de verticale waterdoorlatendheid van de waterremmende laag (m/dag).

Wanneer het waterpeil van de rivier hoger is dan het peil van het binnendijsse freatische grondwater ontstaat er een verschil in waterdruk boven en onder de waterremmende laag. Hierdoor ontstaat door de waterremmende laag een omhooggerichte grondwaterstroming (kwel). Op afstand x van de waterlijn is de grootte van de snelheid van de kwelstroom:

$$(3) \quad v(x) = \frac{\phi_x}{c} \quad (\text{m/dag})$$

Het debiet van de kwelstroom op afstand x van de waterlijn is:

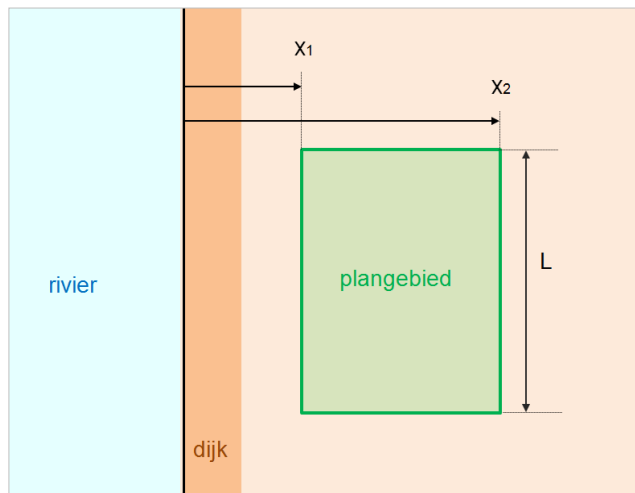
$$(4) \quad Q(x) = v(x) * A \quad (\text{m}^3/\text{dag})$$

Hierin is A het (horizontale) grondoppervlak (in m^2) waar een gemiddelde kwelflux $v(x)$ doorheen gaat.

De kwelstroom die binnendijs optreedt is afhankelijk van de afstand x tot de waterlijn: hoe dichterbij de dijk, des te meer kwel. Het totale kweldebiet in een bepaald binnendijs gebied kan worden berekend met (zie afbeelding 3):

$$(5) \quad Q_{\text{tot}} = L * \int_{x_1}^{x_2} \frac{\phi_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}}{c} dx \quad (\text{m}^3/\text{dag})$$

Hierin is L : de lengte van het beschouwde gebied evenwijdig aan de dijk (m);
 $x_{1,2}$: de loodrechte afstanden van de grenzen van het gebied tot de waterlijn (m).



Afbeelding 3: Schematische voorstelling ligging plangebied voor kwelberekening

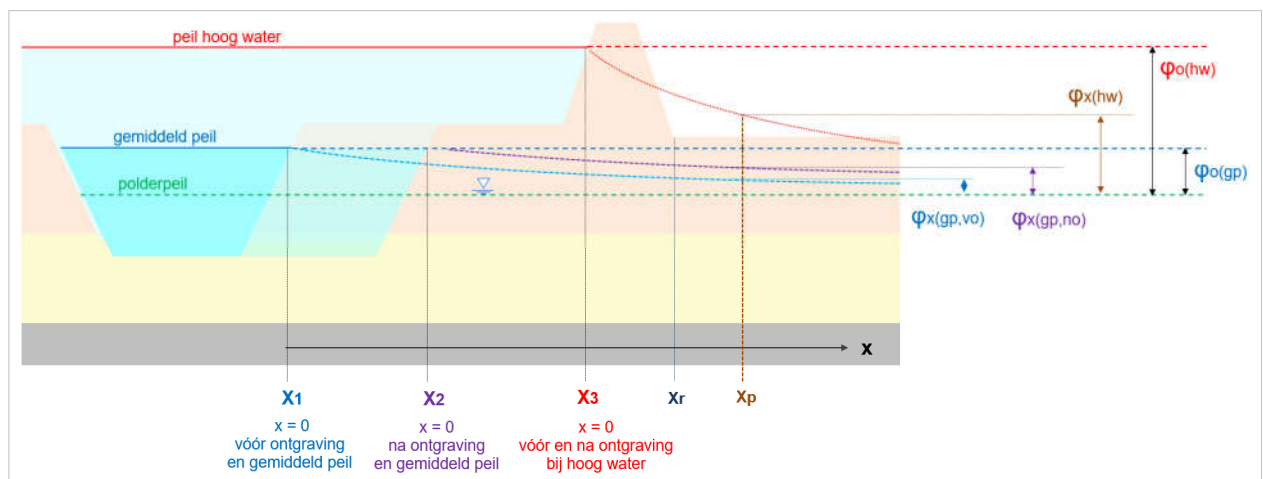
Uit vergelijking 5 volgt voor de totale kwel in het in afbeelding 3 weergegeven plangebied:

$$(6) \quad Q_{\text{tot}} = L * \frac{\phi_o \lambda}{c} \left[e^{-\frac{x_1}{\lambda}} - e^{-\frac{x_2}{\lambda}} \right] \quad (\text{m}^3/\text{dag})$$

Ontgraving buitendijks

Een buitendijkse ontgraving heeft weinig invloed op de kwel binnendijks. Alleen bij een rivierpeil tussen de binnendijkse freatische grondwaterstand (polderpeil) en het buitendijkse maaiveld kan de kwel binnendijks enigszins toenemen, doordat de waterlijn na ontgraving dichterbij het binnendijkse referentiepoint (x_r aan de teen van de dijk) ligt: de afstand $x_r - x_2$ (zie afbeelding 4) is kleiner dan $x_r - x_1$. Bij een gemiddeld peil is de stijghoogte binnendijks na ontgraving ($\phi_{x(gp,no)}$) iets groter dan vóór ontgraving ($\phi_{x(gp,vo)}$).

Na ontgraving zal hoog water niet tot meer kwel binnendijks leiden, omdat de waterlijn bij hoog water, vóór en na ontgraving op het zelfde punt ligt (bij punt x_3 in afbeelding 4). Bij hoog water is de stijghoogte binnendijks ($\phi_{x(hw)}$) significant groter dan de stijghoogte bij een gemiddeld peil na ontgraving ($\phi_{x(gp,no)}$).



$\phi_o(hw)$	=	verschil tussen hoogwater peil en polderpeil
$\phi_o(gp)$	=	verschil tussen gemiddeld peil en polderpeil
$\phi_x(hw)$	=	stijghoogte op plaats X_p binnendijks bij hoog water
$\phi_x(gp,vo)$	=	stijghoogte op plaats X_p binnendijks bij gemiddeld peil vóór ontgraving
$\phi_x(gp,no)$	=	stijghoogte op plaats X_p binnendijks bij gemiddeld peil na ontgraving

Afbeelding 4: Schematische voorstelling invloed buitendijkse ontgraving op kwel