

**Toepassing van LD-  
staalslakken voor de  
uitbreiding van golfbaan The  
Dutch in Spijk**





# **Toepassing van LD-staalslakken voor de uitbreiding van golfbaan The Dutch in Spijk**

**Beoordeling van risico's voor het oppervlaktewater en  
grondwater**

Leonard Osté  
Arjan Venmans  
Joost Delsman



## Titel

Toepassing van LD-staalslakken voor de uitbreiding van golfbaan The Dutch in Spijk

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Waterschap Rivierenland, TIEL	11204424-002	11204424-002-ZWS-0001	36

## Trefwoorden

LD-staalslakken, toepassen, bouwstof, besluit bodemkwaliteit, uitloging

## Samenvatting

In Spijk, net ten noorden van Gorinchem, ligt een golfbaan die wordt uitgebreid met een oppervlak van 48 hectare. Om de golfbaan af te schermen van Industrierrein Linge III te Gorinchem, de Betuweroute en de A15 legt de aannemer een 1160 meter lange geluidswal aan de zuidkant van het terrein. Deze ophoging wordt gerealiseerd met zogenaamde LD-staalslakken. Deze zijn gecertificeerd als bouwstof, maar monitoringsresultaten van het oppervlaktewater op en om het terrein waren voor Waterschap Rivierenland aanleiding om het werk in maart 2019 stil te leggen. De belangrijkste eigenschap die kan leiden tot ongewenste effecten is de hoge pH. Dat kan leiden tot directe schade en tot een verhoogde mobiliteit van sommige metalen. Bovendien leidt een hoge pH ook tot verhoging van ammoniakconcentraties en verhoging van DOC-concentraties.

Waterschap Rivierenland heeft zorgen over het gebruik van staalslakken op deze manier en heeft Deltares gevraagd om op basis van alle beschikbare informatie een risicobeoordeling uit te voeren. Daarbij worden de volgende aandachtspunten benoemd:

- Beschrijf de toestand en risico's
  - in de huidige situatie en
  - na afronding van de beoogde werkzaamheden
- Bepaal de risico's op de korte termijn (nu tot ca 1 jaar), de middellange termijn (ca. 1-10 jaar) en de lange termijn (ca. 10-100 jaar).
- Neem onzekerheden mee t.a.v.:
  - doorlatendheid van de afdeklaag en de slakken alsmede de geohydrologie van de ondergrond
  - het zettingsgedrag van de ophooglaag i.r.t. het grondwaterniveau
  - (natuurlijke) variatie in concentraties in het water van het (omliggende) gebied
- Beschrijf mogelijke risico's in geval van calamiteiten (ontstaan van wellen, verzakkingen, beschadiging van infrastructuur, e.d.).

In de huidige situatie is er direct contact tussen de slakken en het regenwater, maar ook tussen de slakken het kwelwater (zakking op het hoogste punt van de totale ophoging is ca. 3 meter waarmee de slakken – in elk geval in de toekomst – in het grondwater liggen). Bij de afwatering zijn 3 routes van belang: oppervlakkige afvoer (deze route is gereduceerd door kades), afvoer via oude drainbuizen (het is onbekend in hoeverre de drains overal zijn verwijderd) en afvoer onderlangs het pakket met staalslakken door kwelwater gemengd met infiltratiewater uit de slakken. De verwachting is niet dat er verspreiding over langere afstanden via dieper grondwater zal plaatsvinden.

Aangezien in dit gebied een flinke hoeveelheid water moet worden afgevoerd, kan het niet anders dan dat er metalen en carbonaat naar het oppervlaktewater worden getransporteerd. Dat geldt in elk geval voor: Al, Ba, Ca, CO<sub>3</sub>, Cr, K, Cu, Pb, Mo, Na, Pb, Sr en V. Bovendien leidt de hoge pH tot directe sterfte van veel organismen.

**Titel**

Toepassing van LD-staalslakken voor de uitbreiding van golfbaan The Dutch in Spijk

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Waterschap Rivierenland, TIEL	11204424-002	11204424-002-ZWS-0001	36

Voor de macro-elementen (Al, Ca, CO<sub>3</sub>, K, Na) zal dat niet zo'n probleem zijn, voor microverontreinigingen vallen vooral de vrachten van Ba, Sr en V op (allen veel groter dan 10 kg/jaar en normoverschrijdend in de plassen op het terrein). De concentraties in het oppervlakte worden uiteindelijk bepaald door verdunning, pH-buffering en binding van metalen aan de bodem (tijdens transport naar het oppervlaktewater) en aan sediment en zwevend stof (als de metalen het oppervlaktewater hebben bereikt).

Tijdens dit project heeft de aannemer aangegeven dat hij de eindsituatie anders wil realiseren dan in het eerdere plan. Dit gewijzigde plan (cf. Fugro, 2019a) is door Deltares gebruikt om te beoordelen. Het terrein wordt aan de zuidkant opgehoogd tot maximaal +9,6 meter +NAP (is 9,8 meter boven maaiveld) en loopt dan in ruim 100 meter af richting het noorden tot maaiveldniveau. Als de uitgangpunten voor toepassing van de staalslakken goed worden nageleefd ontstaat er in feite een geïsoleerd pakket staalslakken dat niet met regenwater en niet met kwelwater in contact staat, maar dat vraagt wel aanpassingen en betere uitwerking van de huidige plannen. Zo is er meer bewijs nodig dat korstvorming optreedt aan de bovenkant van de slakken, die leidt tot een ondoorlatende bovenlaag. Verder moet rekening gehouden worden met onzekerheid in de zakkingen, waardoor meer ophoogmateriaal nodig is en dient de capillair onderbrekende zandlaag geheel boven het grondwatervlakte te liggen. Dat laatste vraagt om een goed ontwateringsplan voor het gebied. Deltares heeft dit verwoord in een serie aanbevelingen, waarin de aannemer wordt gevraagd aanvullende informatie te overleggen.

**Referenties**

Oste, L, A. Venmans, J. Delsman, 2019. Toepassing van LD-staalslakken voor de uitbreiding van golfbaan The Dutch in Spijk. Deltares-rapport 11204424.

<b>Versie</b>	<b>Datum</b>	<b>Auteur</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Review</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Goedkeuring</b>	<b>Paraaf</b>
1.6	okt.2019	Leonard Osté Arjan Venmans Joost Delsman		Wouter van der Star		Gerard Blom	
<hr/>							
<hr/>							
<hr/>							

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding en aanpak</b>	<b>1</b>
1.1 Inleiding	1
1.2 Verzoek van Waterschap Rivierenland	4
1.3 Aanpak Deltares	4
1.4 Afbakening:	5
1.5 Leeswijzer	6
<b>2 Hergebruik van staalslakken</b>	<b>7</b>
2.1 Herkomst en eigenschappen van LD Staalslakken	7
2.1.1 Productie	7
2.1.2 Chemische eigenschappen	7
2.1.3 Fysische eigenschappen	7
2.1.4 Potentiele effecten van toepassen van LD-staalslakken in het milieu	9
2.2 Adviezen t.a.v. het toepassen van LD-staalslak	10
2.3 Uitgangspunten voor goed toepassen op deze locatie	11
<b>3 Huidige situatie</b>	<b>13</b>
3.1 Schematische weergave	13
3.2 Geohydrologie	13
3.3 Geotechniek	16
3.4 Waterkwaliteit	18
3.4.1 Gemeten concentraties. Zijn ze hoger of lager?	18
3.4.2 Overschrijden de verhoogde concentraties de waterkwaliteitsnorm?	21
3.4.3 Overzicht	22
3.5 Verontreinigingsvrachten	22
3.6 Conclusies voor de huidige situatie	23
<b>4 Eindsituatie</b>	<b>25</b>
4.1 Schematische weergave	25
4.2 Geohydrologie	26
4.3 Geotechniek	26
4.4 Waterkwaliteit	29
4.5 Verontreinigingsvrachten	29
4.6 Conclusies voor het ontwerp conform Fugro (2019a)	30
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>31</b>
5.1 Eindconclusies	31
5.2 Aanbevelingen	32
<b>6 Referenties</b>	<b>33</b>

## Bijlage(n)

<b>A Concentraties per hoofdcategorie per stof (na filtratie) inclusief vermelding van de waterkwaliteitsnorm</b>	<b>A-1</b>
---	------------





## 1 Inleiding en aanpak

### 1.1 Inleiding

In Spijk, net ten noorden van Gorinchem, ligt een 18 holes golfbaan ("The Dutch"). Deze baan wordt nu uitgebreid met een 9 holes baan (De Zuidbaan) met een oppervlak van 48 hectare. Figuur 1.1 geeft weer hoe het er ongeveer uit moet gaan zien<sup>1</sup>. Figuur 1.2 geeft de locatie weer. Het gaat om een poldergebied ten noorden van de Betuwelijn dat tot op heden een landbouwbestemming had.



Figuur 1.1 Een artist impression<sup>1</sup> van de uitbreiding van de golfbaan.

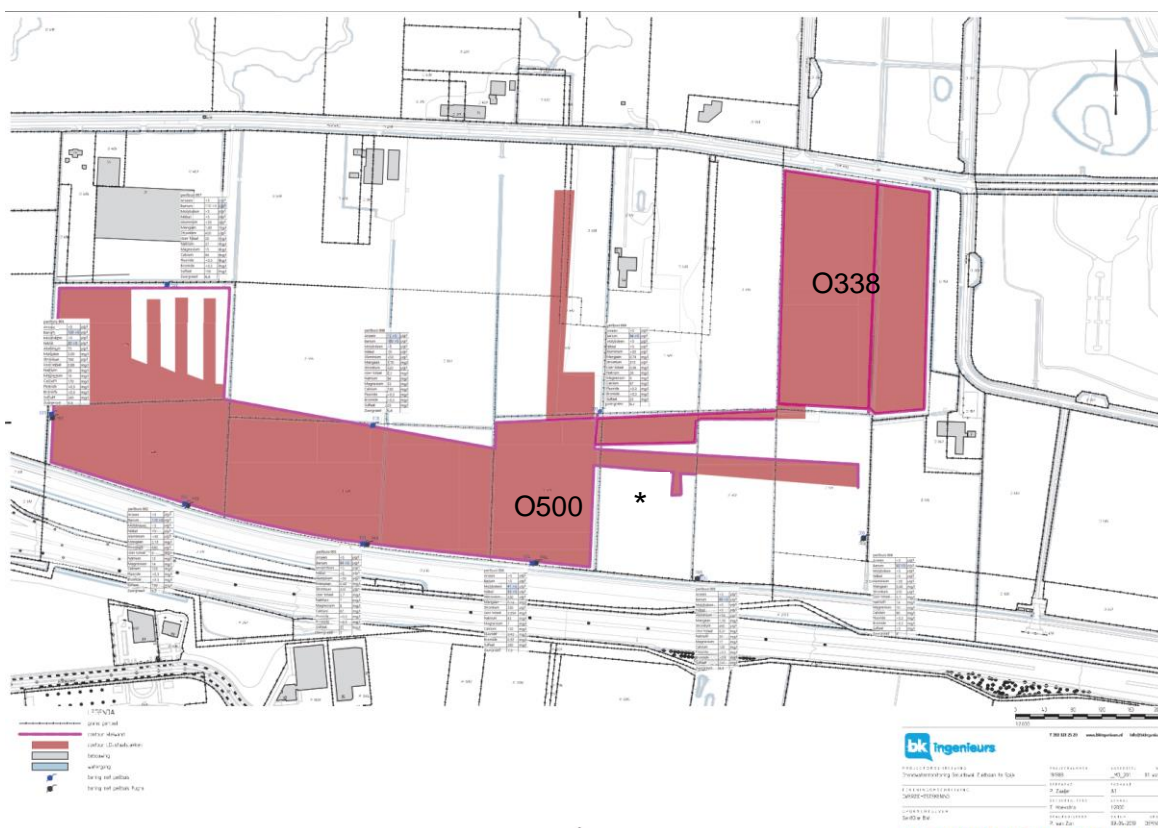


Figuur 1.2 Ligging van het terrein, met links onderin Gorinchem.

<sup>1</sup> <http://www.sentone.nl/projecten-the-dutchzuidbaan/>







Figuur 1.5 De locatie met daarin het gearceerde vlakken waar staalslakken zijn toegepast en de ligging van de kades. De asterisk geeft het lozingspunt van een oude drain weer (zie Figuur 3.3).

De totale ophoging in 2018 vindt plaats met LD-staalslakken over een breedte van ongeveer 120 meter. Deze zijn gecertificeerd als bouwstof (zie hoofdstuk 2) en worden op diverse plaatsen in Nederland toegepast.

Tijdens een reguliere controle vanuit de lucht op 20 februari 2019 werd geconstateerd dat de plassen op het terrein een opvallende kleur hadden (Figuur 1.6). Dat was voor Waterschap Rivierenland reden om poolshoogte gaan nemen. Naar aanleiding van de monitoringsresultaten van het waterschap op 22 maart 2019 heeft ODR in opdracht van de gemeente West Betuwe het werk stilgelegd. Stillegging is mondeling aangezegd op 22 maart 2019; schriftelijk op 25 maart 2019.



Figuur 1.6 Luchtfoto's van het werk op 20 februari 2019.

Inmiddels lopen er procedures over hervatting van het werk en heeft de aannemer een notitie opgesteld voor een gewijzigd plan. Daarin wordt eerst opgehoogd met grond, zodat de staalslakken boven het grondwater liggen. Daarbij moet rekening gehouden worden met de zakking van het pakket LD-staalslakken en grond. Het bovenste deel van de grond moet bestaan uit een laag grofkorrelig zand (zand voor zandbed) dat de capillaire opstijging van water uit de ondergrond in de staalslakken beperkt.

Waterschap Rivierenland heeft als bevoegd gezag voor het oppervlaktewater zorgen over het gebruik van staalslakken op deze manier en heeft Deltares gevraagd om op basis van alle beschikbare informatie een risicobeoordeling uit te voeren.

## 1.2 Verzoek van Waterschap Rivierenland

Waterschap Rivierenland verzoekt Deltares de risico's te beschrijven van het toepassen van staalslakken voor het oppervlaktewater en (ondiepe) grondwater op de locatie 'Uitbreiding golfbaan The Dutch in Spijk'.

Daarbij worden de volgende aandachtspunten benoemd:

- Beschrijf de toestand en risico's
  - in de huidige situatie en
  - na afronding van de beoogde werkzaamheden
- Bepaal de risico's op de korte termijn (nu tot ca 1 jaar), de middellange termijn (ca. 1-10 jaar) en de lange termijn (ca. 10-100 jaar).
- Neem onzekerheden mee t.a.v.:
  - doorlatendheid van de afdeklaag en de slakken alsmede de geohydrologie van de ondergrond
  - het zettingsgedrag van de ophooglaag i.r.t. het grondwaterniveau
  - (natuurlijke) variatie in concentraties in het water van het (omliggende) gebied
- Beschrijf mogelijke risico's in geval van calamiteiten (ontstaan van wellen, verzakkingen, beschadiging van infrastructuur, e.d.).

## 1.3 Aanpak Deltares

Waterschap Rivierenland had reeds een schematische figuur opgesteld, die de situatie op hoofdlijnen beschrijft. Deltares heeft die op enkele punten aangepast. Figuur 3.1 toont de situatieschets, waarbij het waterschap primair verantwoordelijk is voor de kwaliteit van het oppervlaktewaterkwantiteit en kwaliteit.

Deltares heeft de risico's op korte, middellange en lange termijn op 2 manieren geïnterpreteerd:

- Worden er stijgende trends gemeten of verwacht in grond- en oppervlaktewater op en nabij de locatie<sup>2</sup> ten opzichte van het omliggende gebied?
- Is te verwachten dat normen in het grond- en oppervlaktewater worden overschreden als gevolg van het toepassen van staalslakken?

Als eerste hebben we deze vragen beantwoord voor de huidige toestand. Waterschap Rivierenland heeft op diverse plaatsen op, nabij en in de omgeving van het terrein watermonsters genomen en deze geanalyseerd op macroparameters (zuurgraad, calcium, magnesium, sulfaat, etc.) en micro-elementen (metalen, anionen zoals fluoride en bromide).

---

<sup>2</sup> Primair wordt gekeken naar risico's in sloten om het gebied heen; sloten in het gebied, toekomstige waterpartijen op de golfbaan en naar risico's in het grondwater onder de staalslakken.

Het lijkt onwaarschijnlijk dat de staalslakken een bron zijn van organische verontreinigingen zoals PAK's en PCB, omdat staalslakken gevormd worden bij hoge temperaturen, waarbij organische stoffen vervluchtigen of omgezet worden. Ze zijn daarom niet meegenomen in de analyses.

Vervolgens hebben we Figuur 3.1 doorontwikkeld naar de eindsituatie. Op basis van een memo van Sent One (25 juni 2019) waarin een gewijzigde aanleg wordt beschreven, kent de eindsituatie eerst een ophoging met grond inclusief een halve meter capillair onderbrekende laag, vervolgens het pakket slakken en daarna de bovenafdekking. Voor die situatie is opnieuw een risicobeoordeling voor grond- en oppervlaktewater uitgevoerd.

Voor beide situaties (huidige en eindsituatie) is op basis van eerdergenoemde aandachtspunten kwalitatief aangegeven hoe de risico's veranderen, als de doorlatendheid van de ondergrond of de staalslakken varieert of als het zettingsgedrag groter of kleiner is dan aangenomen in de basisvariant.

#### 1.4 Afbakening:

Het doel van dit rapport is beschrijven van de huidige toestand en de nu beoogde eindsituatie. Oplossingsrichtingen om risico's te beperken dan wel te voorkomen vallen buiten de opdracht.

Deltares heeft de volgende informatiebronnen gebruikt:

- de analyses van de waterkwaliteit t/m 16 mei 2019 zoals geleverd door Waterschap Rivierenland (bestand 'WSRL Meetresultaten OppWater Gorinchem Golfbaan - tm16mei.xlsx'). Er is alleen gebruik gemaakt van de monsters die door Waterschap Rivierenland zelf zijn genomen en door Aquon zijn geanalyseerd.
- keuringsrapporten LD-slakken: analyserapport SYNLAB 12876090, versie: 1 & analyserapport SYNLAB 12940281, versie: 1.
- Sent One, 25 juni 2019. Memo over de aanleg van het werk. Memo-nr. TDZ.2019.56.04.
- Fugro, 2017. Geotechnisch onderzoek geluidswal The Dutch Haarweg te Spijk – grondonderzoek. 1016-0944-210, 5 april 2017.
- Fugro, 2017. Geotechnisch onderzoek en advies zetting en stabiliteit – geluidswal The Dutch. Rapport 1016-0944-000 versie 0.2, 29 juni 2017.
- Fugro, 2019. Geotechnisch advies zettingen (compensatielaag) – uitbreiding golfbaan The Dutch te Spijk. Rapport nummer 1016-0944-002 v1, 21 juni 2019.
- Fugro, 2019. Memo waterspanningen. Memo 1016—944-002.M02\_Waterspanningen, 17 april 2019.
- Pelt & Hooykaas Groep, 2013. Gebruik van LD-staalslak als ophoogmateriaal in zandvervangingsprojecten.
- Pelt & Hooykaas Groep, 2019. Productinformatieblad LD-staalslak 0/90, nummer LD63Z-190220.

Verder hebben we een korte scan uitgevoerd naar de doorlatendheid van pakketten met staalslakken.

Deltares gaat niet in op de (juridische) toelaatbaarheid van het toepassen van de staalslakken; ook over status van de 'illegale lozing' zal niets worden gezegd.

## 1.5 Leeswijzer

In de inleiding is een korte beschrijving gegeven van de situatie en het mogelijke probleem dat daardoor is veroorzaakt. Hoofdstuk 2 gaat eerst in op het materiaal dat is gebruikt als bouwstof: LD-staalslak geleverd door Pelt & Hooijkaas-IJmuiden B.V. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 de huidige situatie worden besproken. De beoordeling kent in alle gevallen 3 componenten: 1) de geohydrologie van de ondergrond en het werk, 2) de zetting en fysische eigenschappen van het werk en 3) de chemische effecten op de grond- en oppervlaktewater kwaliteit. Waar hoofdstuk 3 de huidige situatie beschrijft gaat hoofdstuk 4 in op de eindsituatie waarin de golfbaan is gerealiseerd.

## 2 Hergebruik van staalslakken

### 2.1 Herkomst en eigenschappen van LD Staalslakken

#### 2.1.1 Productie

LD staalslakken ontstaan bij Tata Steel bij de productie van staal door in een converter verontreinigingen te binden met behulp van een kalksteen en/of dolomiet en het inblazen van zuurstof in het gesmolten ruwijzer (Ministerie van IenM, 2017). Vanwege oververzadiging met kalk ontstaan kalkpitten in de slak. Het proces bij Tata Steel is erop gericht om de hoeveelheid vrije kalk in de LD-slakken zo laag mogelijk te houden. De slakken worden bij ca. 1600°C in pannen getapt, waarbij een fractie staal kan meekomen, maar de slakken worden om economische redenen ontijzerd.

#### 2.1.2 Chemische eigenschappen

Deltares heeft 2 keuringsrapporten van de LD-slakken ontvangen (SYNLAB, 2018 en 2019). Dit betreft resultaten van kolomproeven waarbij 10 x het gewicht van de kolom (10 liter/kg) wordt doorgespoeld, aangeduid met L/S=10 conform de norm voor niet-vormgegeven bouwstoffen (NEN7383). De resultaten geven aan dat de pH tijdens de proef daalt van 12,7 (L/S=1) naar 12,6 (L/S=10) en dat de elektrische geleidbaarheid (EC) daalt van 9,6 (L/S=1) naar 7,4 mS/cm (L/S=10). De enige metalen die boven de rapportagegrens worden gemeten zijn barium, kwik, molybdeen (Tabel 2.1). Ook chloride en sulfaat worden na L/S=10 boven de rapportagegrens gemeten. De overige stoffen (antimoon, arseen, cadmium, chroom, kobalt, koper, lood, nikkel, seleen, tin vanadium en zink) worden niet (tot het einde) boven de rapportagegrens gemeten. De meeste rapportagegrenzen liggen onder norm, maar dat geldt niet voor arseen, kobalt, lood, seleen en tin. Voor deze stoffen is het theoretisch mogelijk dat de uitspoelingsconcentraties hoger zijn dan de norm.

Tabel 2.1 Totale vracht die uitspoelt per kg LD-slak na 10 liter water en de gemiddelde concentratie die uit de kolom stroomt (SYNLAB, 2018).

Stof	Totaal uitgespoeld na L/S=10 (mg/kg)	Concentratie in fractie L/S=10 (µg/l)
Barium	3,39	338
Kwik	0,0004	0,0358
Molybdeen	0,014	1,4
Chloride	26,8	2,68
Sulfaat	6,55	0,66

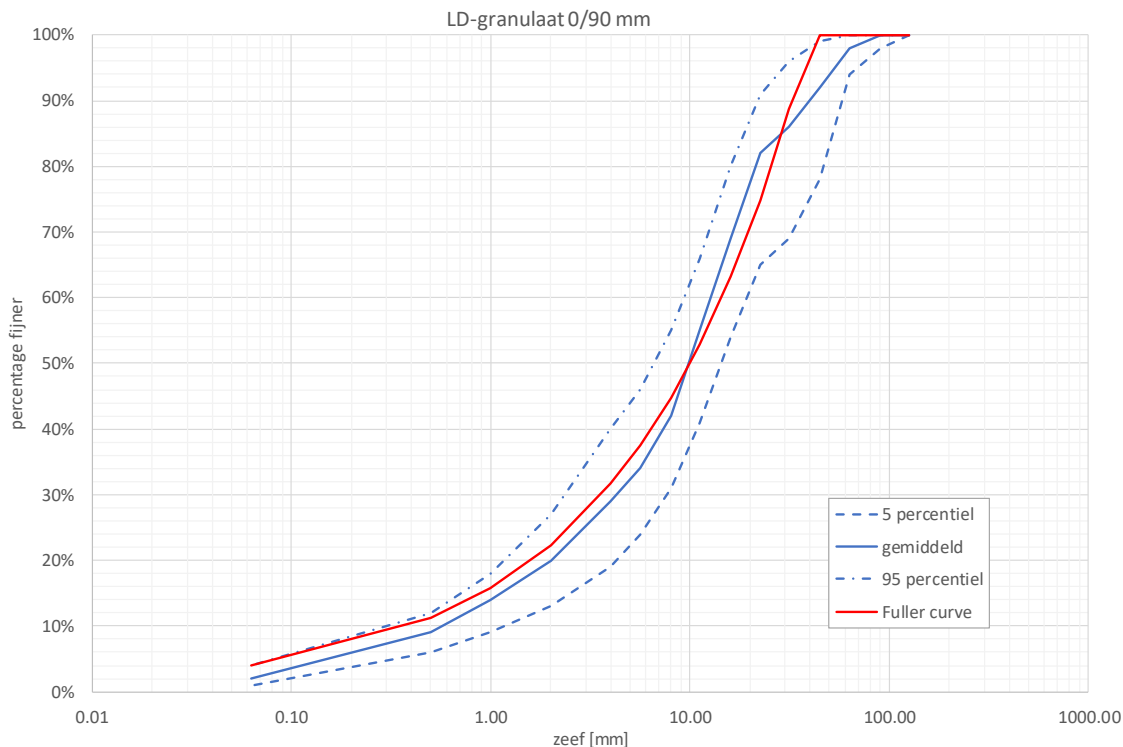
Uit deze resultaten is niet af te leiden in hoeverre deze vracht vooral wordt veroorzaakt in het begin van de proef, of dat het relatief constante uitspoeling betreft die lange tijd op een constant niveau kan blijven. Een kolomproef in 7 stappen (NEN7373) zou daarover uitsluitsel kunnen bieden.

Behalve een vracht die uit de kolom spoelt zijn er geen gehalten over de totale concentratie in de LD-slakken bekend.

#### 2.1.3 Fysische eigenschappen

De Pelt & Hooykaas Groep levert de LD-staalslakken in de sortering 0/90 mm.

Het productinformatieblad (Pelt en Hooykaas, 2019) beschrijft de eigenschappen voor toepassing in de civiele techniek en wegenbouw, waaronder korrelgrootteverdeling, korrelvorm, korreldichtheid en waterabsorptie.



Figuur 2.1 Korrelgrootteverdeling van de LD-staalslak 0/90 (Pelt en Hooykaas, 2019).

Figuur 2.1 geeft de korrelgrootteverdeling. Figuur 2.1 geeft ook de Fuller curve (Fuller en Thompson, 1907) die het best past bij de gemiddelde korrelgrootteverdeling. De Fuller curve is de korrelgrootteverdeling van bolvormige korrels waarbij het korrelskelet maximaal is gevuld, en de kleinere korrels precies passen in de holten tussen de grotere korrels. De Fuller curve geeft de curve waarbij een materiaal de maximale bulk dichtheid, de minimale porositeit en de minimale doorlatendheid heeft.

De gemiddelde korrelgrootteverdeling van de LD-staalslak ligt dicht bij de Fuller curve met een maximale korrelgrootte  $D$  van 40 mm. Voor de rest van de Fuller curve wordt het percentage deeltjes fijner dan korrelgrootte  $d$  gegeven door  $\sqrt{(d/D)} \cdot 100\%$ .

Tabel 2.2 geeft de overige eigenschappen volgens het productinformatieblad (Pelt en Hooykaas, 2019).

Tabel 2.2 Civieltechnische eigenschappen van de LD-staalslak 0/90 (Pelt en Hooykaas, 2019).

Eigenschap	Waarde
Vlakheidsindex EN 933-3	$\leq 20$
Gebroken en ronde korrels EN 933-5	Gebroken 90 % tot 100 % Rond 0 tot 3 %
Korreldichtheid gewogen	3,13 Mg/m <sup>3</sup>
Maximale droge dichtheid	2,37 Mg/m <sup>3</sup>
Optimaal vochtgehalte (voor maximale droge dichtheid)	4,9 % (op massabasis)



Waterabsorptie gewogen	2,9 % (m/m)
Weerstand tegen verbrijzeling EN 1097-2:1998	≤ 35

Tabel 2.3 geeft de overige eigenschappen volgens het de bouwstoffenkaart van RWS (2000).

Tabel 2.3 Overige civieltechnische eigenschappen van LD-staalslak (RWS, 2000).

Eigenschap	Waarde
Korrelvorm	Hoekig, scherp
Verhouding breedte/lengte	Gemiddeld > 0,5
Samendrukbaarheid	Nihil
Sterkte	
- Interne wrijvingshoek	45° tot 50°
- Cohesie	Nihil
Waterdoorlatendheid	Groot
Capillaire werking	> 0,30 m

Vanwege het lage gehalte aan fijne deeltjes (kleiner dan 63  $\mu\text{m}$ ) is de initiële doorlatendheid van de LD-staalslak relatief hoog. De doorlatendheid kan afnemen door de hydraulische binding als gevolg van de reactie van de vrije kalk in de LD-slak. De afname is des te groter naarmate er meer fijn materiaal en meer korrelcontacten in het materiaal zijn (Laboratorium voor Grondmechanica, 1985). Het gehalte fijn materiaal is laag. Naar verwachting is het aantal korrelcontacten relatief hoog, omdat de kleine korrels goed passen in de holten tussen de grote korrels.

Ook verbrijzeling van de LD-slak onder werkverkeer kan fijn materiaal produceren dat een hydraulische binding aangaat en de poriën afsluit. Hierdoor ontstaat verdichting en er lijkt ook korstvorming op te treden, zoals op een aantal plaatsen in het werk is geconstateerd. In de literatuur zijn geen metingen gevonden van de doorlatendheid van LD-slak na het optreden van hydraulische binding.

Het is dus onzeker hoeveel de doorlatendheid van de staalslakken in de ophoging zal afnemen. In de verdere beschouwing zal rekening worden gehouden met een scenario met een relatief hoge doorlatendheid en een scenario waarbij slecht doorlatende lagen voorkomen als gevolg van hydraulische binding.

#### 2.1.4 Potentiele effecten van toepassen van LD-staalslakken in het milieu

De belangrijkste eigenschap die direct of indirect kan leiden tot ongewenste effecten is de hoge pH. De pH is direct problematisch omdat een  $\text{pH} > 10$  bij veel organismen schade veroorzaakt (Robertson–Bryan, 2007). Daarbij komt dat een hoge pH ook bijdraagt aan ammonium (ammoniak) toxiciteit. Verder heeft de pH sterke invloed op de mobiliteit van metalen. Zowel bij hoge als bij lage pH worden bepaalde metalen mobiel waardoor ze kunnen uitspoelen. Ook als de totaalgehalten in de slakken en de onderliggende bodem laag zijn kunnen er toch relatief hoge concentraties uitspoelen. Tenslotte kan een hoge pH ook zorgen voor een verhoogde concentratie opgeloste organische stof (DOC). Als effect daarvan kunnen metalen die gebonden zijn aan (oploste) organische stof eveneens uitspoelen. Alle bovengenoemde effecten zullen 'uitdoven' zodra de pH in de bodem gebufferd wordt tot ongeveer neutrale pH. Eenmaal gemobiliseerde metalen zullen vermoedelijk ergens in het systeem weer worden gebonden. De vraag is echter hoe snel de buffering verloopt en hoe lang dat duurt?

## 2.2 Adviezen t.a.v. het toepassen van LD-staalslak

Volgens [www.bodemrichtlijn.nl](http://www.bodemrichtlijn.nl)<sup>3</sup> mogen staalslakken gebruikt worden:

Staalslak worden gebruikt:

- in de waterbouw (RAW 52)
- als funderingslaag (RAW 28)
- als stabilisator (RAW 28)
- in ophogingen en aanvullingen (RAW 22)

De LD-staalslakken van Tata Steel worden (als niet-vormgegeven bouwstof) vermarkt via Pelt en Hooykaas, die daarvoor een NL-BSB productcertificaat (nummer K131133/01) hebben. Per afgebakende toepassing wordt een getekend certificaat afgegeven met aanduiding toepassingslocatie en geleverde hoeveelheid. Voor de locatie Spijk betreft dat de unieke nummers 19015 en 19016. Daardoor mag de bouwstof zonder 'melding' aan bevoegd gezag worden toegepast. Omdat het omgaan met de gevolgen van een pH-verandering door het toepassen van een bouwstof onderdeel uitmaakt van de zorgplicht, heeft Pelt en Hooykaas gebruiksinstructies opgesteld voor het gebruik van LD-staalslak als ophoogmateriaal in zandvervangingsprojecten (Pelt en Hooykaas, 2013). Ook wordt aangegeven dat de verhoogde pH na verloop van tijd zal verdwijnen door uitputting en carbonatatie, maar er wordt geen indicatie gegeven van de termijn waarop dit plaatsvindt.

In het productblad (Pelt en Hooykaas, 2019) zijn de 'toepassingswenken' uit het eerdere document (Pelt en Hooykaas, 2013) uitgebreid tot een concrete lijst met adviezen:

- Alleen toepassen op landbodems (LD-staalslak voor zandvervangings kan niet in oppervlaktewateren en op waterbodems worden toegepast).
- Niet toepassen in direct contact met grondwater. Voldoende afstand tot het grondwater en een capillair onderbrekende laag aan de onderzijde van de constructie:
  - onder de LD-staalslak een laag doorlatend zand aanbrengen (zand voor zandbed), met een dikte van tenminste 0,50 m;
  - de onderzijde van de LD-staalslak zo ontwerpen dat deze, na zetting, tenminste 0,50 m boven de hoogste grondwaterstand wordt toegepast. Omdat de hoogste grondwaterstand gedurende de levensduur van de constructie niet altijd is vast te stellen, c.q. te voorspellen, kan in zettingsgevoelige gebieden of gebieden met een relatief hoge grondwaterstand beter worden uitgegaan van het bestaande maaiveld;
  - geen grotere restzetting na aanbrengen dan 0,25 meter over 30 jaar;
  - geen kunstmatige verlaging van de stijghoogte van het grondwater via een drainage en/of een bemaling.
- Geen directe afstroming of uittreding van drainagewater op het oppervlaktewater.
- Voldoende (horizontale) afstand tot nabijgelegen oppervlaktewateren.
- LD-staalslakken bij voorkeur aanbrengen en verdichten bij droog weer. Om stofvorming te voorkomen dient er licht te worden gespreid.
- Geen lozing van onbehandeld drainagewater op het riool of oppervlaktewater (de pH kan bijvoorbeeld worden verlaagd door beluchten, inblazen van koolzuur of behandeling met zuur).
- Op taluds en op plaatsen waar in de gebruiksfase geen verharding of vergelijkbaar aanwezig is tenminste 1,0 meter doorlatend zand op de LD-staalslak aanbrengen (zand voor zandbed) om het regenwater effectief te kunnen afvoeren.

<sup>3</sup> <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/bodemassen-en-slakken/bouwstoffase-bodemassen-en105505/bouwstoffase-staalslak>

Op deze zandlaag een laag teelaarde aanbrengen met een dikte van tenminste 0,5 meter, afhankelijk van het type beplanting.

- De totale gronddekking – haaks gemeten op het oppervlak – bedraagt derhalve tenminste 1,5 meter.

Daarnaast wordt aangeraden om in overleg met bevoegd gezag na te gaan onder welke voorwaarden grootschalige toepassing van LD-staalslak voor zandvervanging in ophogingen en aanvullingen mogelijk is.

Zoals uit bovenstaande adviezen blijkt, wordt nadrukkelijk gewaarschuwd voor het pH-effect, maar wordt niets gezegd over metalen die onder die omstandigheden mobiel worden. In Pelt en Hooykaas (2013) wordt opgemerkt dat barium en vanadium 'maatgevend' zijn voor uitloging, maar dat het certificaat (K131133/01) garandeert dat de bouwstof aan de normen voldoet.

### 2.3 Uitgangspunten voor goed toepassen op deze locatie

Als de aanwijzingen van Pelt en Hooykaas (2019) worden opgevolgd, dient ophoging met op die locatie toepasbare grond plaats te vinden (op basis van een bodemkwaliteitskaart klasse landbouw/natuur) tot de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG)<sup>4</sup>. Daarboven op dient een schone capillair onderbrekende zandlaag (zand voor zandbed) aangebracht te worden, en daarop kunnen de staalslakken worden toegepast. Bij de ophoging tot de GHG moet rekening gehouden worden met de zakking van het pakket. De ophoging met toepasbare grond moet dus zodanig worden vormgegeven dat deze na zakking nog steeds op GHG-niveau komt.

Bovenop de laag met LD-slakken moet tenminste 1 meter doorlatend zand (zand voor zandbed) op de LD-staalslak worden aangebracht om het regenwater effectief te kunnen afvoeren. Op deze zandlaag een laag schone teelaarde aanbrengen met een dikte van tenminste 0,5 meter, afhankelijk van het type beplanting (Pelt en Hooykaas, 2019).

---

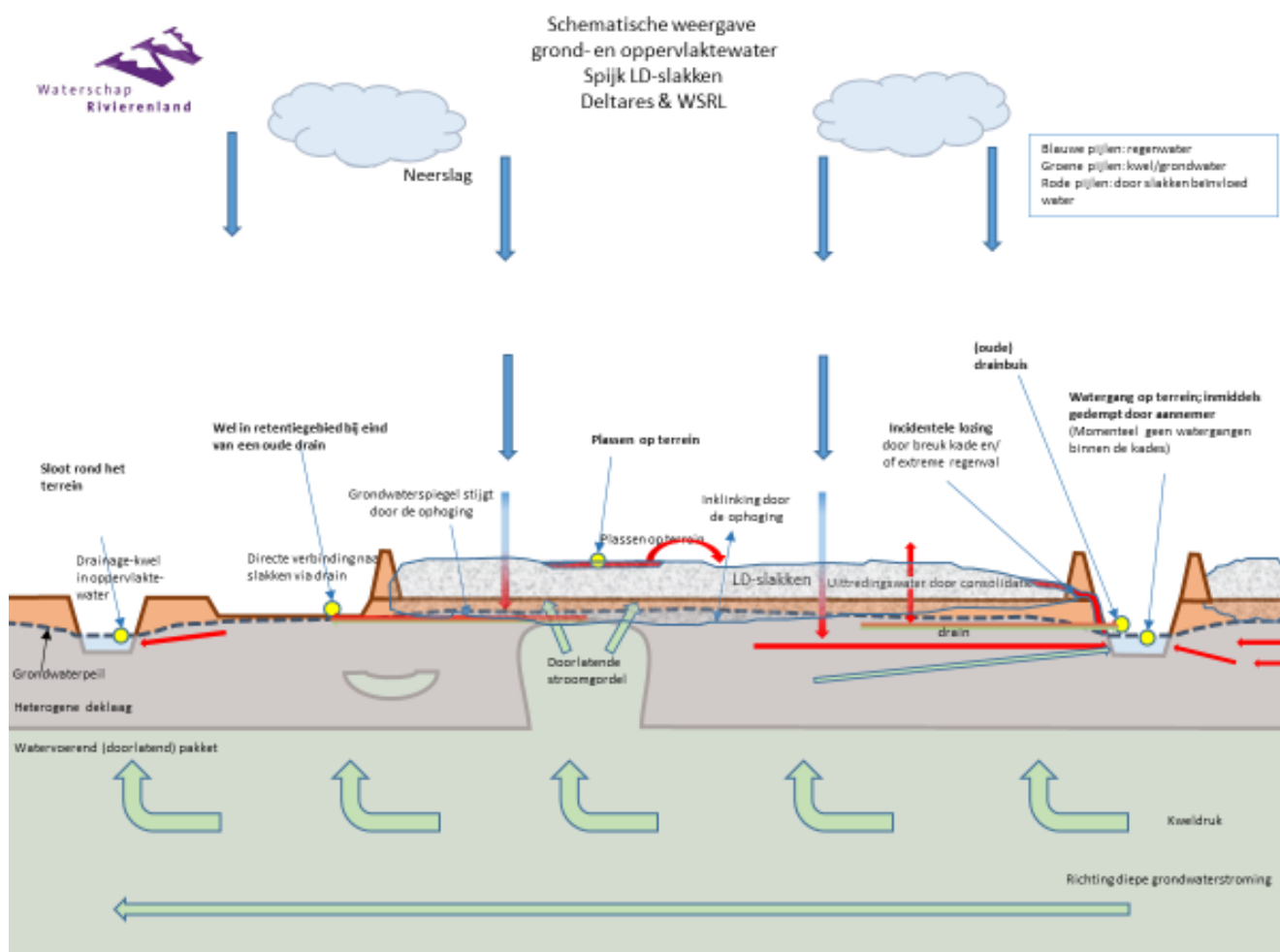
<sup>4</sup> Omdat de hoogste grondwaterstand gedurende de levensduur van de constructie niet altijd is vast te stellen, c.q. te voorspellen, kan in zettingsgevoelige gebieden of gebieden met een relatief hoge grondwaterstand beter worden uitgegaan van het bestaande maaiveld (Pelt en Hooykaas, 2019);



### 3 Huidige situatie

#### 3.1 Schematische weergave

Figuur 3.1 toont een schematische weergave van de situatie waarin de essentie is weergegeven: de ophoging, kades, sloten, waterstromen, drains, het afgegraven retentiegebied, etc.. *Het betreft geen dwarsdoorsnede op schaal.*

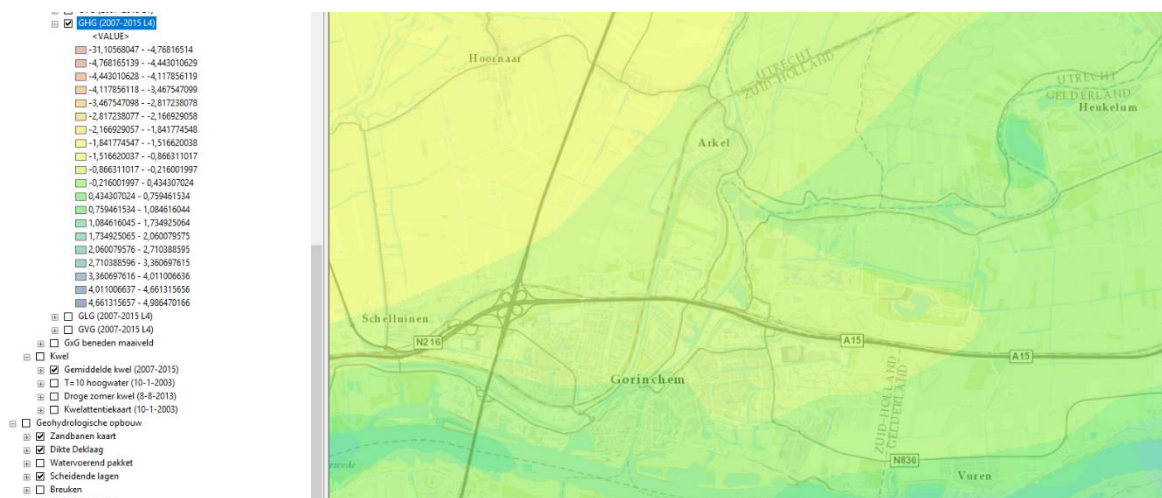


Figuur 3.1 Schematische weergave van de huidige situatie op het terrein. Rode pijlen betreft (mogelijk) door de slakken beïnvloed water, blauwe pijlen betreft regenwater, groen/blauwe pijlen betreft niet-beïnvloed grond/kwelwater. De gele stippen zijn de punten die voor het waterschap van belang zijn om risico's in kaart te brengen.

#### 3.2 Geohydrologie

Het gebied kenmerkt zich geohydrologisch door een ongeveer 9 m dikke Holocene deklaag, bovenop een Pleistoceen watervoerend pakket. De deklaag bestaat grotendeels uit kleiige en venige afzettingen. In het noorden van het projectgebied ligt een oude stroomgordel, deze kenmerkt zich door meer zandige afzettingen. Volgens het GeoTOP model is deze stroomgordel niet gefundeerd in het watervoerend pakket (ook in Figuur 3.1 ligt de stroomgordel onder het maaiveld). Het maaiveld ligt op ongeveer -0,2 m NAP, polderpeil is -1,1 m NAP.

Van origine was het projectgebied in agrarisch gebruik, voor akkerbouw en melkveehouderij. Perceelbreedte in het gebied was 150 m. Daarnaast waren de percelen waarschijnlijk gedraineerd met een drainafstand van 20 m (mond. comm. Omgevingsdienst Rivierenland & Actueel Hoogtebestand Nederland AHN3). Afgaande op het AHN3 lijkt daarnaast maaiveld drainage te zijn toegepast in het gebied. Het gebied kent een lichte kweldruk van minder dan 0,5 mm/d. Direct noordelijk van het projectgebied is sprake van lichte wegzijging (< 0,5 mm/d, Kwelkaart Spijk, Rivierenland). De regionale grondwaterstroming is naar het noordwesten gericht (Figuur 3.2). Ter plaatse van de stroomgordel kan de kwelintensiteit wat sterker zijn, de kwelkaart geeft hier evenwel geen aanwijzingen voor.



Figuur 3.2 Kaart met GHG-waarden. De lichte kleuren geven lagere GHG-waarden weer. Daaruit blijkt dat de grondwaterstroming naar het noordwesten is gericht.

Bij aanleg wordt het projectgebied zo'n 120 bij 1120 m, met de lange zijde in west-oostelijke richting. Het gebied is omgeven met sloten, inliggende sloten zijn verwijderd. Veel drainagebuizen zouden zijn verwijderd door de aannemer (pers. comm. Omgevingsdienst). Het is niet bekend waar precies en in welke mate.

Bij aanleg is een sterk doorlatende, capillair-scheidende laag voorzien, aangelegd boven GHG-niveau (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand). Modelberekeningen tonen het huidige GHG niveau dicht aan maaiveld, tot zo'n 0,2 m beneden maaiveld (Grondwaterstanden\_GHG.png). Gedurende de uitvoering gemeten grondwaterstanden liggen logischerwijs wat dieper, deze zijn gemeten rond de 0,2 tot 0,6 m beneden maaiveld. Bij gelijkblijvende grondwateraanvulling zal het verwijderen van drainage leiden tot een verhoging van de grondwaterstanden en daarmee de GHG. Indicatief is berekend wat verwijdering van buisdrainage en verandering van de slootafstand betekent voor de grondwaterstand. Met de beschreven kenmerken van de originele ontwatering is een grondwaterstand berekend bij een neerslagoverschot van 5 mm/d, als indicatief voor een natte GHG situatie. Met een kwel van 0,25 mm/d, en een doorlatendheid van de bodem van 0,2 m/d, is een grondwaterstand berekend van 0,2 m onder maaiveld. Dit komt goed overeen met de berekende GHG in het gebied. Vervolgens is gekeken wat het verwijderen van buisdrainage en veranderen van de slootafstand betekent voor de grondwaterstand in GHG situatie. Belangrijk hierbij is in hoeverre het neerslagoverschot na toepassing van de LD-staalslakken nog volledig de grond indringt, of dat korstvorming infiltratie verhindert. Over de doorlatendheid van de LD-staalslakken zijn slechts anekdotische aanwijzingen beschikbaar. Er zijn verschillende situaties beschouwd, bij alle is buisdrainage volledig verwijderd:

- Slootafstand 120 m (sloten aan randen projectgebied), gelijke grondwateraanvulling: GHG stijgt met 4 m (!) tot enkele meters boven het huidige maaiveld (dit water zal oppervlakkig worden afgevoerd).
- Slootafstand 40 m (sloten doorsnijden projectgebied), gelijke grondwateraanvulling: GHG stijgt met zo'n 20 cm tot net onder maaiveld.
- Slootafstand 120 m (sloten aan randen projectgebied), halvering grondwateraanvulling: GHG stijgt 2 m tot enkele meters boven het huidige maaiveld (dit water zal oppervlakkig worden afgevoerd).
- Slootafstand 40 m (sloten doorsnijden projectgebied), halvering grondwateraanvulling: GHG daalt met 20 cm ten opzichte van de uitgangssituatie.

De ontwatering van het projectgebied blijkt hiermee duidelijk een zorgpunt. Als de huidige GHG wordt gehanteerd als richtlijn voor het aanleggen van een sterk doorlatende laag, zal deze een deel van de tijd verzadigd zijn, en zijn capillair-doorbrekende functie niet vervullen. Berekeningen met een gedetailleerd grondwatermodel kunnen hier meer inzicht in geven. Infiltratieproeven (infiltrometer, sprinklerproeven) op het staalslak materiaal kunnen meer inzicht geven in de infiltratie-eigenschappen van het materiaal.

Wanneer de infiltratiecapaciteit van de LD-staalslakken niet sterk afneemt, zal een belangrijk deel van het neerslagoverschot door dit pakket infiltreren, in contact komen met het verzadigde grondwater, en vervolgens uitstromen naar de sloten in het gebied. Het risico op verdere verspreiding via het grondwater lijkt klein: het gebied is grotendeels een kwelgebied, en buiten het projectgebied sterk ontwaterd. De regionale grondwaterstroming is naar het noordwesten gericht; het risico voor het recreatiegebied Lingebos, dat zich ten noordoosten van het projectgebied bevindt, schatten we in als zeer laag.

Uitgaande van een projectareaal van  $120 \times 1120 = 134400 \text{ m}^2$  stroomt er op jaarbasis gemiddeld zo'n  $150 \text{ m}^3/\text{d}$  naar de sloten. Hiervan is ongeveer  $35 \text{ m}^3/\text{d}$  kwelwater, en  $115 \text{ m}^3/\text{d}$  neerslagoverschot. Hierbij is een verdampingsfactor van 0,9 aangehouden, als representatief voor braakliggend terrein met her en der opschietende vegetatie. De route van het neerslagoverschot is afhankelijk van de infiltratiecapaciteit van de LD-staalslakken. Bij een eventueel sterk afgenomen infiltratiecapaciteit zal een deel van de neerslag oppervlakkig afstromen, deels na plasvorming weer verdampen, en deels infiltreren en via het grondwater naar de sloten stromen. Contacttijden met het staalslak materiaal verschillen uiteraard voor deze routes. Onverzadigde percolatie door een pakket van een meter dikte kost gemiddeld ongeveer 150 dagen (Drecht, 1985). Reistijd via het grondwater naar de sloot ligt vervolgens in de orde van honderden dagen. Door scheurvorming in het pakket en preferente stroombanen kunnen reistijden sterk afnemen. Dit was bijvoorbeeld zichtbaar op locaties die een directe verbinding hadden met oude drains<sup>5</sup> (zie Figuur 3.3).

---

<sup>5</sup> Eerder is hier de term 'wel' voor gebruikt. Een wel is een duidelijk aanwijsbare plaats waar water uit de grond komt, meestal door waterdruk in de omgeving (bijvoorbeeld een rivier die hoger ligt dan het omringende land) en een stroombaan met verminderde weerstand. Als er namelijk geen stroombaan is, komt het water niet op een bepaalde locatie omhoog, maar diffuus in het hele gebied. In dat geval spreken we over kwel. De stroombaan wordt in dit geval veroorzaakt door oude drainbuizen onder de staalslakken die direct afwateren naar het retentiegebied. Dat valt niet onder het begrip 'wel'. Daarvoor gebruiken we de term 'drains'.





Figuur 3.3 Foto's genomen op 4 april 2019 van het infiltratiegebied nabij de opening van de drain die een directe verbinding geeft tussen de slakken en het gebied buiten de kades (locatie is weergegeven in Figuur 1.5 met een asterisk).

### 3.3 Geotechniek

Het geotechnische ontwerp voor de huidige ophoging is beschreven in het Fugro rapport (2017a). Het ontwerp is gebaseerd op het grondonderzoek (Fugro, 2017b). Het grondonderzoeksrapport bevat de resultaten van het grondonderzoek (2 boringen, 2 peilbuizen en 71 sonderingen) en laboratoriumonderzoek. Het ontwerprapport bevat berekeningen van zetting, stabiliteit en horizontale grondvervormingen en aanbevelingen voor uitvoering en monitoring.

In 2019 heeft Fugro een update van het geotechnisch ontwerp gemaakt voor toepassing van een compensatielaag (Fugro, 2019a). Het ontwerprapport bevat alleen berekeningen van de zetting en aanbevelingen voor uitvoering en monitoring. Stabiliteit en horizontale grondvervormingen worden niet opnieuw beschouwd.

De ontwerprapporten geven geen beschouwing van squeezing (zijdelings wegpersen van slappe grond bij ophogen). Gezien de slappe grondslag is de kans op squeezing aanwezig. Echter, squeezing zou al optreden bij het aanbrengen van de eerste meters ophoogmateriaal. Als dit niet is waargenomen is het minder waarschijnlijk dat squeezing bij verder ophogen nog optreedt. De in (Fugro 2019a) voorgestelde monitoring met piketten zou squeezing moeten kunnen signaleren.

Het grondonderzoek (Fugro 2017b) laat zien dat de ondergrond bestaat uit een pakket slappe klei- en veenlagen tot circa mv -9 m. De slappe lagen worden doorsneden door zandbanen en opvullingen van voormalige watergangen Spijk en Gorkum-Arkel. De diepte waarop zand wordt aangetroffen varieert daarom sterk. Het polderpeil is verondersteld op NAP -1,1 m; de grondwaterstand onder de ophoging is verondersteld op NAP -0,5 m. Het rapport veronderstelt dat de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket gelijk is aan polderpeil. Dat is niet correct; er is sprake van lichte kwel. Dit houdt in dat de korrelspanningen in de slappe lagen in werkelijkheid lager zijn dan berekend en de werkelijke zettingen mogelijk iets groter zijn dan berekend.



Voor de realisatie van de totale ophoging veronderstelt het ontwerprapport dat een grondverbetering wordt toegepast tot mv -0,6 m. Hierbij wordt de toplaag ontgraven en aangevuld met ophoogmateriaal. Ook is verondersteld dat er verticale drains worden toegepast om de zettingen te versnellen en sneller te kunnen ophogen. Het Fugro rapport over de compensatielaag (Fugro, 2019a) vermeldt dat de grondverbetering niet is toegepast. WSRL en ODR beschikken niet over informatie waaruit blijkt dat de verticale drains daadwerkelijk zijn geïnstalleerd.

De conclusies en aanbevelingen uit het initiële ontwerprapport (Fugro 2017a) zijn:

- Ten gevolge van ophoging en grondverbetering zal tot 30 jaar na aanleg een zetting optreden onder het hoogste deel van de totale ophoging op van 2,6 m tot 2,8 m<sup>6</sup>. Deze grote zettingen betekenen dat de LD-staalslakken in het grondwater zakken.
- Het talud van de ophoging aan de kant van de Betuweroute (helling 1:2) is stabiel in de eindsituatie indien een steunberm met een dikte van 1 m wordt toegepast ter plaatse van de onderhoudsstrook.
- De horizontale grondvervormingen ter plaatse van het spoor van de Betuweroute bedragen circa 0,05 m.
- Monitoring van zetting en stabiliteit wordt aangeraden. Deze monitoring dient te bestaan uit zakbaakmetingen HOH (hart op hart) 50 m, 6 waterspanningsmetingen en schouw van een rij perkoenpalen HOH 10 m.

In het initiële ontwerprapport (Fugro, 2017a) is niet specifiek gerekend met LD-staalslak als ophoogmateriaal. De gebruikte volumieke gewichten van het ophoogmateriaal zijn lager dan die van LD-staalslak. Ook is alleen gerekend met de hoeveelheid ophoogmateriaal die nodig is om vanaf het huidige maaiveldniveau op te hogen tot de streefhoogte van NAP +9.6 m. Er is geen rekening gehouden met het ophoogmateriaal dat nodig is om de toekomstige zettingen te compenseren. Om die reden zijn de berekende zettingen aan de lage kant.

In de update van de zettingsberekeningen (Fugro, 2019a) zijn wel reële volumegewichten van LD-staalslak gebruikt. Ook is gerekend met het ophoogmateriaal dat nodig is om de toekomstige zettingen te compenseren. De berekende zettingen zijn echter niet anders dan in het initiële rapport (Fugro, 2017a). Hoofdstuk 4.3 bevat een voorstel hoe verder om te gaan met het risico van te hoge zettingen.

Uit het Fugro rapport over de compensatielaag (Fugro, 2019a) blijkt dat er 9 zakbaken zijn geplaatst. Dit is aanzienlijk minder dan geadviseerd in het ontwerprapport (Fugro, 2017a); zakbaken HOH 50 m komt overeen met circa 90 zakbaken. Op dit moment beschikt Deltares alleen over een situatiekaart met 9 zakbaken. Deltares beschikt niet over meetgegevens; nodig zijn lijsten met zakbaaknummer, meetdatum, zetting en dikte van de ophoging op die datum.

Het memo (Fugro 2019b) beschrijft de metingen van de waterspanning. Het is moeilijk om de metingen en de conclusies te verifiëren. Het is niet duidelijk of de metingen wateroverspanningen zijn of stijghoogten, er is niet vermeld hoe groot de ophoging was, en de bepaling van interventie- en interventiewaarden is gebeurd met een ongeschikte methode.

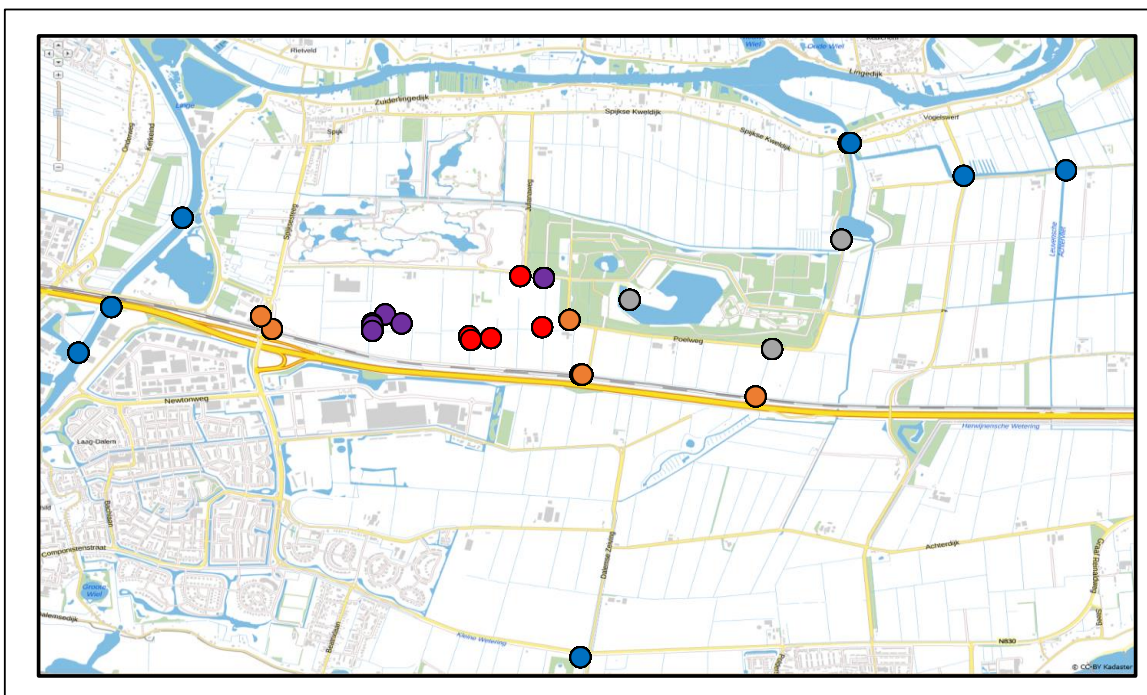
---

<sup>6</sup> Het hoofdstuk met de berekeningsresultaten noemt zettingen tussen 2,6 m en 2,8 m; de conclusie noemt zettingen tussen 2,4 m en 3,6 m.

### 3.4 Waterkwaliteit

#### 3.4.1 Gemeten concentraties. Zijn ze hoger of lager?

Waterschap Rivierenland heeft vanaf 22 februari 2019 monsters genomen op een aantal plaatsen in en rondom het terrein metingen uitgevoerd (Figuur 3.4 toont de locaties). Deltares heeft gebruik gemaakt van de metingen tot en met 16 mei, maar de monitoring is daarna voortgezet. Tussen 22 februari en 16 mei zijn op meeste meetlocaties 3 of 4 monsters genomen. Daarin zijn de volgende elementen geanalyseerd (in het totale watermonster en in een gefiltreerd watermonster): Al, As, Ba, Br, Ca, Cd, Cl, Cr, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, V en Zn. Daarnaast zijn macroparameters bepaald: HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, pH, elektrisch geleidingsvermogen, PO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> en temperatuur.



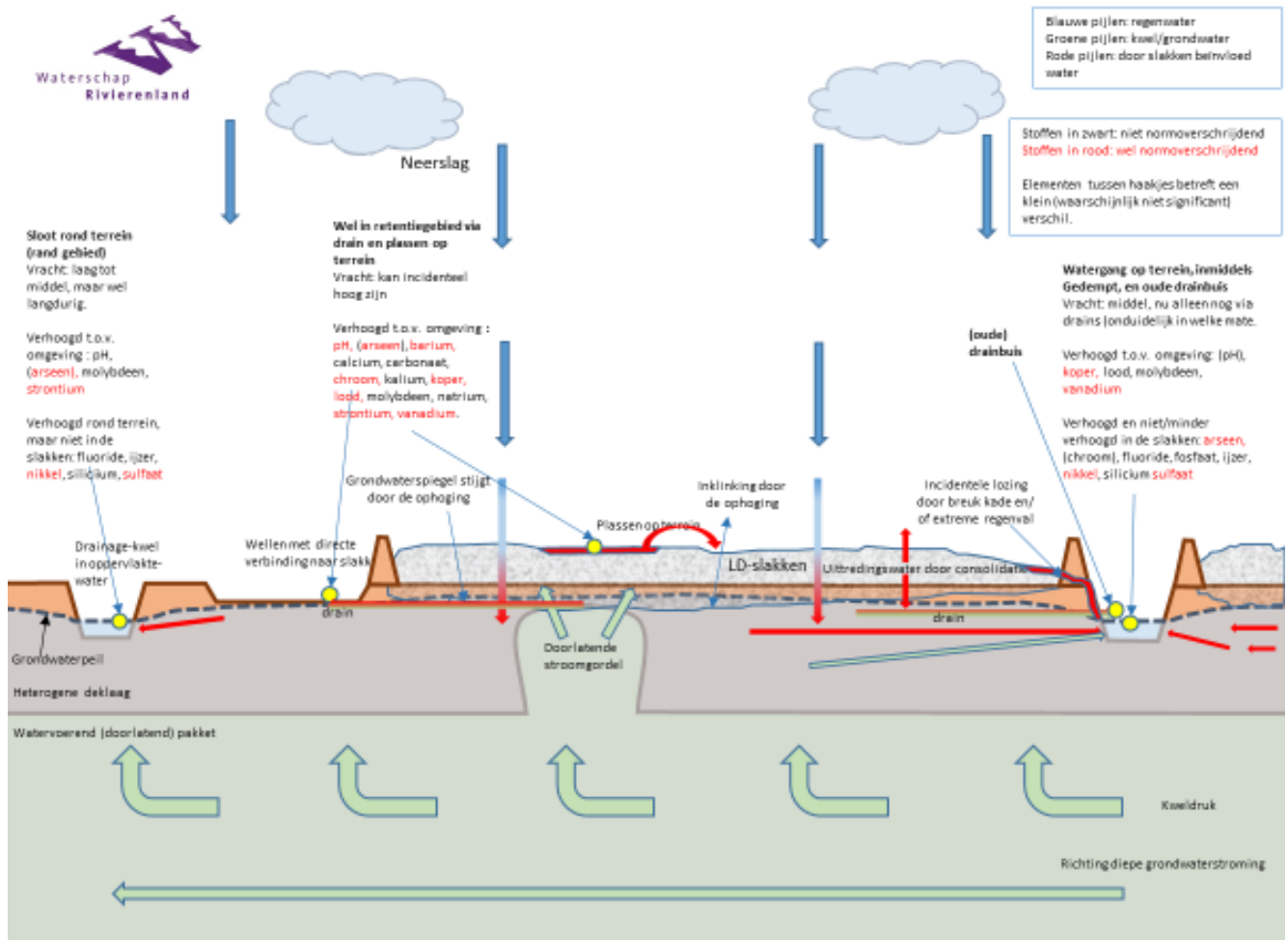
Figuur 3.4 Meetlocaties waar watermonsters zijn genomen (zie tekst hieronder voor verklaring van de kleuren)..

Om uit deze metingen een beeld van de situatie te destilleren zijn de meetpunten in 5 categorieën in gedeeld:

1. Water op het terrein (plassen en kortsluitstroming): rood
2. Sloten op het terrein: paars
3. Sloten om het terrein (rand gebied): oranje
4. Sloten in de omgeving (ref): grijs
5. Sloten buiten het peilvak van de golfbaan (ref. buiten peilvak): blauw

Daarnaast zijn kentallen verzameld voor het hele gebied van Waterschap Rivierenland, maar die sluiten aan bij de referenties (categorieën 4 en 5). In dit rapport is er geen specifieke vergelijking gemaakt met deze kentallen.

Figuur 3.5 geeft een overzicht van welke elementen op welke type locaties verhoogd zijn gemeten en of er sprake is van hogere concentratie dan de KRW-normen.

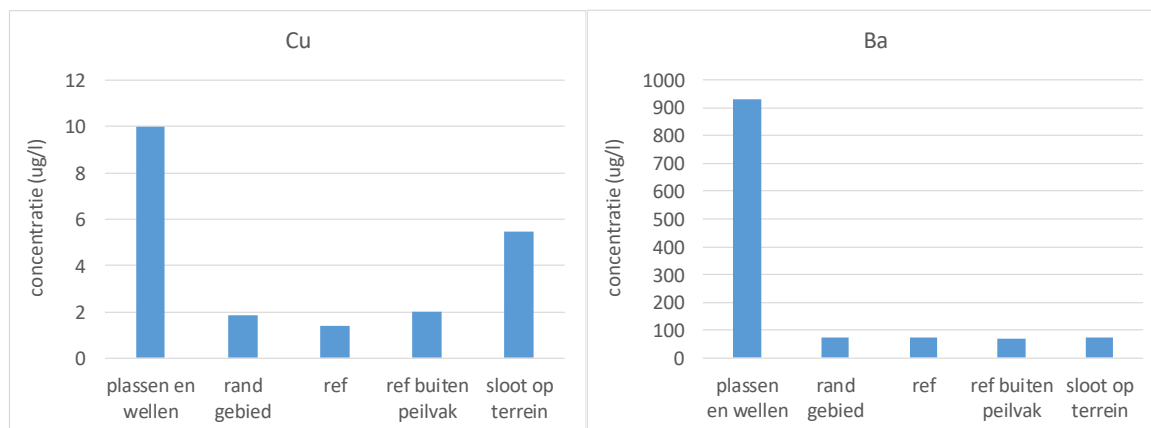


Figuur 3.5 Schematische weergave van de gemeten concentraties in de huidige situatie.

Wat opvalt in deze metingen in en rondom de uitbreiding van de golfbaan is dat de pH hoog is in de plassen op het terrein waar LD-slakken zijn toegepast en op de locaties waar via oude drainbuizen sprake is van een directe verbinding met de slakken. In de meeste gevallen zijn de plassen bemonsterd vlak na regenbuien en zal verdamping (wat leidt tot concentratie van metalen en pH) een kleine rol spelen. Zodra het water in een sloot komt, zorgen verdunning en buffering al vrij snel voor normale pH-waarden rond de 8. Ook de monsters op de oude parkeerplaats hebben nog een pH boven de 12, maar er blijken ook recent nog staalslakken op de parkeerplaats te zijn toegepast (pers. Communicatie Ronald Gylstra, WSRL) dus daar is niet met zekerheid uit af te leiden dat de pH langdurig hoog blijft. Een langdurig pH effect van staalslakken werd wel gevonden in Engels onderzoek, waar de pH in drainagewater uit staalslakken ca. 50 jaar een pH van gemiddeld bijna 11 bleef houden (Riley en Mayes, 2015).

De hoge pH heeft effect op de mobiliteit van metalen, meestal omdat metalen dan voorkomen in een oplosbare hydroxidevorm, bijvoorbeeld aluminaat ( $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ), en/of omdat de binding aan grond sterk afneemt. Als de pH in een sloot vervolgens weer daalt naar ca. 8, zullen dergelijke metalen weer beter binden of weer in een onoplosbare neerslag worden omgezet. Ze zijn dan echter wel getransporteerd naar het oppervlaktewatersysteem en kunnen langzaam oplossen of als verontreiniging gebonden aan zwevend stof worden getransporteerd.

Per element is een grafiek gemaakt van de concentraties in de verschillende categorieën (bijlage A). Figuur 3.6 toont een tweetal elementen met een gemiddelde concentratie voor de hoofdcategorieën. Zowel koper als barium geeft sterk verhoogde gehalten in de plassen op het terrein en locaties via kortsluitstroming net buiten het terrein, maar voor koper zien we een aflopende reeks van plassen/drains → sloot op terrein → rand gebied → referentie, terwijl voor barium alleen de plassen en drains verhoogd zijn.



Figuur 3.6 Gemeten koper- en bariumconcentraties na filtratie in en rondom het terrein.

Er is echter meer variatie dan bovenstaande grafieken laten zien. Tabel 3.1 toont de vijf categorieën.

Tabel 3.1 Patronen in concentraties op het terrein en in de omgeving voor gemeten elementen.

Concentratie in water op het terrein t.o.v. referentie (gefiltreerde monsters).	elementen
Alleen verhoogd in plassen en drains (hoge pH)	Al, Ba*, Ca, Cr, K, Na, Sr, CO <sub>3</sub> , V
Geleidelijk van hoog naar laag (plassen/drains → sloot op terrein → rand gebied → referentie)	Cu, Pb, Mo*
Vooral verhoogd in de sloot op terrein (en in mindere mate rand gebied)	Ni, Fe, As, PO <sub>4</sub> , SO <sub>4</sub>
Verlaagd in plassen en drains (hoge pH)	Cl, Mg, Mn, Si, HCO <sub>3</sub>
Vergelijkbaar	Sb, Cd, Zn, Br, F

\* Ba en Mo werden ook gemeten in de kolomproef (Synlab, 2018). De concentraties in de kolomproef na L/S=10 lagen ongeveer een factor 3 lager dan de gemeten concentraties in het veld.

Stoffen met een sterke verhoging in de plassen en drains, maar zonder verhoging in het oppervlaktewater (ook niet in de sloot op het terrein) zijn sterk gerelateerd aan de pH. Ze lijken sterk gemobiliseerd te worden bij hoge pH. Voor een aantal stoffen is dat ook wel bekend, bijvoorbeeld aluminium. Deze stof vormt bij hoge pH de oplosbare vorm Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>. Voor barium is er waarschijnlijk sprake van een ander mechanisme: barium vormt een neerslagreactie met SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, maar dit is in de slakken niet aanwezig (zie bijlage A). In de sloot op het terrein is voldoende SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> om bariumsulfaat te vormen.

Een ander opvallend element in deze groep is vanadium. Dit wordt alleen in hoge concentratie gemeten in plassen op het oude parkeerterrein, niet in de plassen op vers toegepaste staalslak.

De volgende groep betreft metalen die niet alleen verhoogde concentraties in de plassen/drains laten zien, maar ook in de sloot op het terrein en zelfs een lichte verhoging in de sloten aan de rand. De derde groep is bijzonder. Dit zijn stoffen die in de plassen en drains slechts in lage concentraties worden aangetroffen, maar wel verhoogd in de sloot op het terrein. Dit lijken vooral anionen (arsenaat, fosfaat, sulfaat), maar ook nikkel en in mindere mate ijzer zijn onderdeel van deze groep. Voor de anionen lijkt er sprake van een indirect effect: ze spoelen niet uit de slakken zelf, maar worden op weg naar de sloot gemobiliseerd door het eluaat uit de slakken. Verder is er een groep stoffen die juist heel weinig voorkomt ten opzichte van concentraties in oppervlaktewater en als laatste een groep stoffen die geen duidelijk verschil geeft.

Als Tabel 3.1 wordt vergeleken met Tabel 2.1 valt op dat barium en molybdeen inderdaad gemeten worden in het eluaat van de kolomproef en in de plassen op het terrein. De overige stoffen in Tabel 3.1 die verhoogd zijn in plassen en drains (Al, Ca, Cr, K, Cu, Pb, Na, Sr, V) zijn in de kolomproef niet bepaald (Al, Ca, K, Na, Sr) of zijn niet gemeten boven de rapportagegrens (Cr, Cu, Pb, V). Voor Pb ligt de rapportagegrens in de kolomproef ( $<5 \mu\text{g/l}$ ) ruim boven de veldmetingen (tot  $1,2 \mu\text{g/l}$ ), maar voor Cu, Pb en V liggen de concentraties in de plassen en drains ruim hoger dan is gemeten in de kolomproef. Voor V is het opvallend dat er in de kolomproef niet boven de rapportagegrens ( $<2 \mu\text{g/l}$ ) is gemeten, terwijl Pelt en Hooykaas (2013) zelf schrijft: "Zoals bekend logen alle bouwstoffen in iets meer of mindere mate uit. Zo ook LD-staalslak, waarbij Ba en V maatgevend zijn". In de plassen op het terrein wordt regelmatig tussen 10 en  $25 \mu\text{g/l}$  vanadium gemeten, behalve 1 meting op het oude parkeerterrein die  $1100 \mu\text{g/l}$  geeft.

Kwik is niet gemeten door Waterschap Rivierenland op de veldlocaties, terwijl het wel gedetecteerd is in het eluaat in de kolomproef (Synlab, 2018):  $0,04 \mu\text{g/l}$ ). Aangezien kwik een KRW-probleemstof<sup>7</sup> is met een zeer lage norm (jaargemiddelde norm =  $7 \times 10^{-5} \mu\text{g/l}$ ), zou uitspoeling van kwik uit de staalslakken heel onwenselijk zijn.

#### 3.4.2 Overschrijden de verhoogde concentraties de waterkwaliteitsnorm<sup>8</sup>?

In bijlage A is per element ook de waterkwaliteitsnorm weergegeven in de grafiek. Voor een flink aantal elementen die doorgaans in hoge concentraties voorkomen (macro-ionen) zijn geen normen: Ca,  $\text{CO}_3^{2-}$ , K, Mg, Na, en Si. Dan zijn er enkele stoffen waarvoor de norm hoger ligt dan de gemeten concentraties: Cl, F, Fe, Mn, Mo. Voor As geldt dat de stof zowel in de slakken als in de referentie overschrijdt. Ni en  $\text{SO}_4$  overschrijden de norm in de sloot op het terrein en de randen, maar niet in de plassen/drains en ook niet in de referenties. Tenslotte is er een groep stoffen die in de plassen/drains leidt tot overschrijding: Al (factor 16), Ba (factor 10), Cr (factor 1,7), Cu (factor 4,5), Pb (factor 1,04), Sr (factor 37<sup>9</sup>) en V (factor 85). Voor Cu en V wordt ook een verhoging waargenomen in de sloot op het terrein die boven de norm ligt.

<sup>7</sup> Een Kaderrichtlijn water-probleemstof is een stof die in Nederland de norm overschrijdt. Voor kwik, een prioritaire stof, geldt dat de norm in bijna alle Nederlandse waterlichamen wordt overschreden.

<sup>8</sup> In eerste instantie zijn de wettelijk KRW-normen weergegeven (prioritaire stoffen met een Europese norm en specifieke verontreinigende stoffen met een Nederlandse norm). Als deze niet beschikbaar waren is een MTR weergegeven dat door RIVM is afgeleid, maar niet wettelijk is vastgesteld.

<sup>9</sup> Sr overschrijdt ook de norm in alle overige locaties met een factor 3.

### 3.4.3 Overzicht

Figuur 3.5 is in principe gelijk aan Figuur 3.1, maar toont de risico's van individuele stoffen op de verschillende punten: op het terrein, in sloten op het terrein en in de direct omliggende sloten. Hierin is te zien dat ook in de sloten rond het gebied (links in Figuur 3.5) enkele stoffen licht verhoogd zijn. Daarbij zijn ook enkele stoffen die in de slakken zelf niet voorkomen, maar wellicht gemobiliseerd worden door de hoge pH of het hoge geleidingsvermogen.

### 3.5 Verontreinigingsvrachten

Er stroomt op jaarbasis gemiddeld zo'n 150 m<sup>3</sup>/d naar de sloten. Hiervan is ongeveer 35 m<sup>3</sup>/d kwelwater, en 115 m<sup>3</sup>/d neerslagoverschot. Als we aannemen dat in de huidige situatie 125 m<sup>3</sup>/dag in aanraking komt met de LD-slakken en dat de concentraties in de plassen (en de wel) indicatief zijn voor het water dat uit de slakken stroomt, leidt dat tot de vrachten in Tabel 3.2. Deze concentraties zullen in begin (eerste jaar/jaren) lager zijn vanwege binding aan het zand en de grond en kunnen op lange termijn (>10 jaar) weer dalen vanwege uitputting van de mobiele gehalten aan metalen in de staalslakken.

Tabel 3.2 Metaalvrachten die het gebied verlaten als gevolg van contact met de staalslakken. Uitgangspunt is dat 125 m<sup>3</sup>/d in contact komt met de staalslakken en dat concentraties dan gelijk zijn aan die van plassen en drains bij pH 12,6. Er is alleen gerekend voor de microverontreinigingen (incl. Al en Fe) die verhoogd voorkomen in de slakken en die verhoogd voorkomen in de sloot op het terrein.

stof	Concentratie (µg/l)	Vracht (kg/jaar)
Aluminium (Al)	826	37,7
Arseen, (As)	1,7	0,076
Barium (Ba)	931	42,5
Chroom (Cr)	5,8	0,26
IJzer (Fe)	0,027	0,001
Koper (Cu)	10	0,46
Molybdeen (Mo)	3,3	0,15
Lood (Pb)	1,3	0,057
Nikkel (Ni)	2,2	0,10
Strontium (Sr)	6168	281
Vanadium (V)	378	17,2

Bovenstaande vrachten tonen een worstcase scenario, vooral vanwege de pH-verandering die optreedt. Dat heeft grote consequenties voor in elk geval aluminium (wordt Al(OH)<sub>3</sub>) en barium (wordt in natuurlijk milieu, bij voldoende sulfaat, grotendeels bariumsulfaat), maar ook adsorptie is meestal groter bij neutrale pH's. Dit zijn echter wel effecten die pas optreden als het water uit de staalslakken is. De vraag is dan hoeveel buffercapaciteit er zit tijdens transport van de slakken naar de watergang. In de kortsluitstroming via de drainbuis was die buffercapaciteit nihil (zie Figuur 3.1). In de sloot op het terrein en in een andere oude drainbuis, die vrij afwaterde in een sloot, lagen de gemeten pH en ook de metaalconcentraties al dichtbij de referentie. In Tabel 3.2 wordt ook aangenomen dat de concentraties langdurig vergelijkbaar blijven met de concentraties in de plassen. De kolomproef geeft in elk geval voor Ba en Mo na L/S=10 lagere concentraties, m.a.w.: de plassen geven mogelijk piekconcentraties die indicatief zijn voor de beginperiode, maar die na verloop van tijd dalen.

De reistijden geven aan dat het zeker een jaar duurt voordat regenwater via de slakken en het grondwater in het oppervlaktewater uitspoelt, maar door consolidatie en regen tijdens de werkzaamheden, mag verwacht worden dat er in de huidige situatie ook uitspoeling plaatsvindt.

Hoe erg zijn deze vrachten voor het oppervlaktewatersysteem? Het stofgedrag (binding aan sediment/zwevend stof en neerslag) en het transport bepalen welke invloed deze vrachten hebben op het watersysteem. Daarvoor is het echter nodig om het effect van de vrachten op een groter schaalniveau te beoordelen (polder/waterlichaam). De waterbalans die voor de KRW is gemaakt, kan hiervoor behulpzaam zijn. In eerste instantie zou gekeken kunnen worden tot welke concentraties de vrachten kunnen leiden in het polderwater en stroomafwaarts naar de Linge onder de aanname dat er geen sedimentatie plaatsvindt. Aangezien er in het gebied sprake is van lichte kwel zal het water dat door de staalslakken percoleert mengen met kwelwater en uiteindelijk afwateren in de poldersloten. Hoe dik deze mengzone is, hebben we niet berekend. De kans dat deze mengzone kan leiden tot verspreiding naar dieper grondwater is in dit gebied zeer klein.

### **3.6 Conclusies voor de huidige situatie**

De ontwatering van het projectgebied is een zorgpunt. In de huidige situatie (nog zonder afdekking) is er direct contact tussen de slakken en het regenwater, maar ook tussen de slakken het kwelwater (zakking op het hoogste punt van de totale ophoging is ca. 3 meter waarmee de slakken, ook bij minder ophoging, in het grondwater zakken). Aangezien in dit gebied een flinke hoeveelheid water moet worden afgevoerd, kan het niet anders dan dat er een vracht metalen naar het oppervlaktewater wordt getransporteerd. Dat geldt in elk geval voor: Al, Ba, Ca, CO<sub>3</sub>, Cr, K, Cu, Pb, Mo, Na, Pb, Sr en V. Voor de macro-elementen (Al, Ca, CO<sub>3</sub>, K, Na) zal dat niet zo'n probleem zijn, voor microverontreinigingen vallen vooral de vrachten van Ba, Sr en V op (allen veel groter dan 10 kg/jaar en normoverschrijdend).





## 4 Eindsituatie

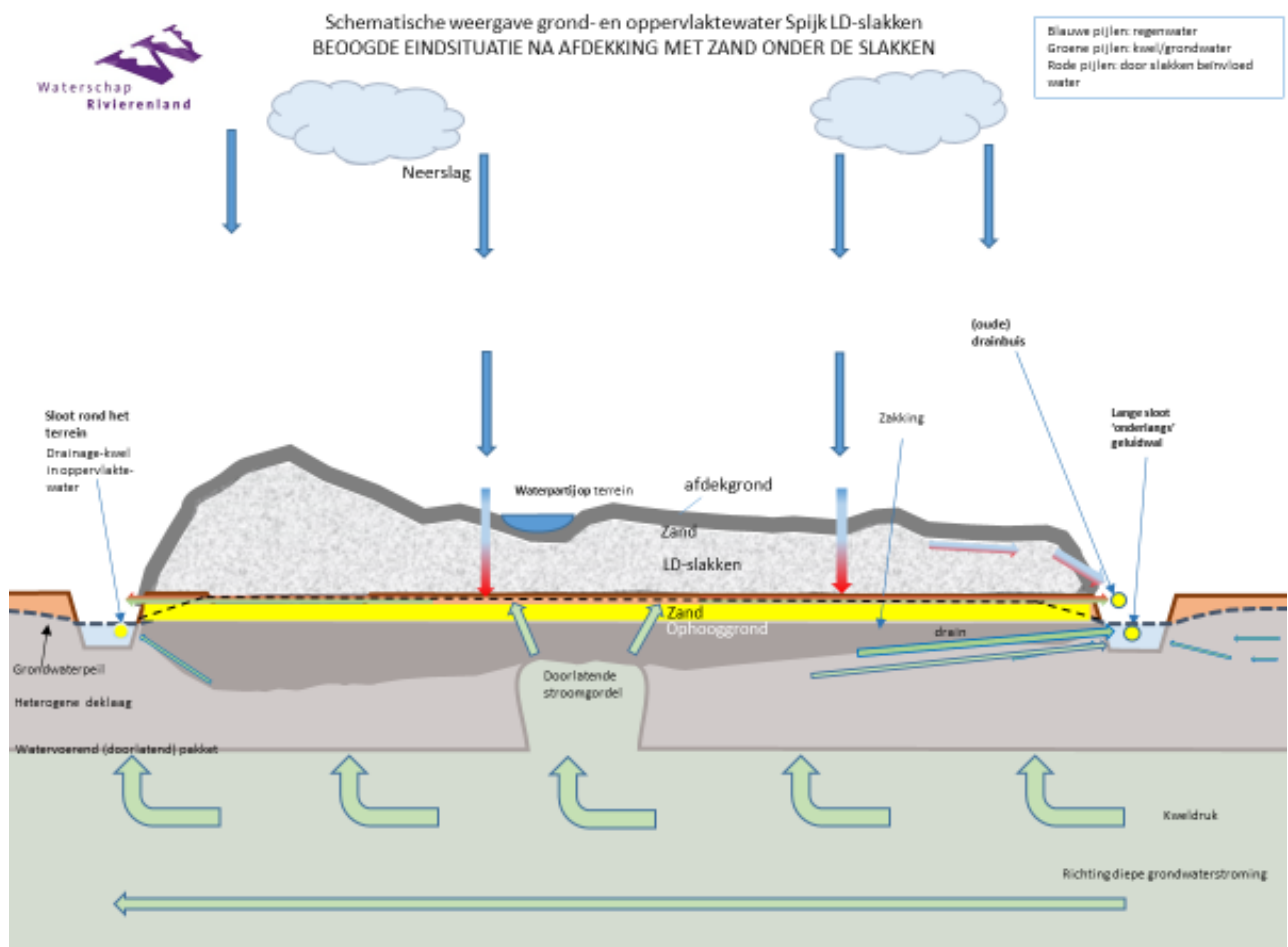
### 4.1 Schematische weergave

Het geotechnisch ontwerp van de ophoging met compensatielaag is beschreven in het meest recente Fugro rapport (Fugro, 2019a). Het ontwerprapport bevat berekeningen van zetting, bepaling van de dikte van de compensatielaag en aanbevelingen voor uitvoering en monitoring.

Het rapport veronderstelt de volgende bouwfasering:

- 1 Aanbrengen grondverbetering tot mv -1,0 m.
- 2 Aanbrengen compensatielaag bestaande uit niet-samendrukbare 'constructieve grond' (GBT, klasse 'Wonen en Industrie'). De bovenste 0,5 m van de compensatielaag dient te bestaan uit materiaal dat de capillaire opstijging vanuit de ondergrond onderbreekt.
- 3 Aanbrengen LD-staalslakken.
- 4 Aanbrengen afdeklag van 1 m.

Dat leidt tot de situatie in Figuur 4.1. In de loop van dit hoofdstuk zal duidelijk worden hoe we tot dit schema zijn gekomen.



Figuur 4.1 Schematische weergave van de beoogde eindsituatie zoals beschreven in het Fugro-rapport (2019).

Rode pijlen betreft (mogelijk) door de slakken beïnvloed water, blauwe pijlen betreft regenwater, groen pijlen betreft niet-beïnvloed grond/kwelwater. De gele stippen zijn de punten die voor het waterschap van belang zijn om risico's in kaart te brengen.

## 4.2 Geohydrologie

In de eindsituatie is een deel van het terrein opgehoogd tot maximaal +9,6 meter +NAP (is 9,8 meter boven maaiveld) en is een van zuid naar noord hellend reliëf aangebracht.

Het neerslagoverschot infiltreert door de boven op de laag LD-staalslakken opgebrachte laag teelaarde, en percoleert verticaal door de opgebrachte teelaarde naar beneden. Bij duidelijke weerstand tegen verticale stroming, zoals wellicht aanwezig bij de overgang naar de onderliggende laag LD-staalslakken, wordt de verticale stroming geremd. Er kan dan verzadiging optreden (schijn-grondwaterspiegel) en een deel van het grondwater zal zijdelings afstromen. Percolatie naar de onderliggende laag LD-staalslakken vindt daarnaast ook plaats, gelimiteerd door de infiltratiecapaciteit van het pakket LD-staalslakken. De infiltratiecapaciteit van de laag LD-staalslakken is vooralsnog onduidelijk. Recent heeft Pelt en Hooykaas aangegeven dat zij uit de ervaringen met andere projecten met LD-staalslak aannemen dat door contact met water een korst van 5-6 cm dik calciumcarbonaat wordt gevormd aan de buitenzijde van de staalslakken. Hierdoor wordt het materiaal ondoorlatend voor water (e-mail Ingrid van der Burgh, 19 juli 2019). In dat geval is ook de pH op het bovenvlak van de slakken waarschijnlijk lager. Dit is niet onrealistisch, maar er bestaat ook geen degelijke onderbouwing voor. Hoe lang duurt dat? Vormt zo'n korst zich ook als er grond bovenop ligt? In welke mate wordt het regenwater dat over de slakken afwatert toch beïnvloed door de staalslakken?

Het neerslagoverschot vindt uiteindelijk zijn weg naar de omliggende sloten. Het deel dat percoleert door het pakket LD-staalslakken komt uiteindelijk in het onderliggende verzadigde grondwater, en wordt vanaf daar afgevoerd richting de omliggende sloten. Het deel dat niet in het pakket infiltreert zal zijdelings afstromen door de goed doorlatende zandlaag, in noordelijke richting. Afhankelijk van de infiltratiecapaciteit van de LD-staalslakken, en de ontwatering van het lager gelegen deel van het terrein, kan in het lager gelegen deel wateroverlast ontstaan. Het zijdelings afstromende grondwater komt hier immers samen. Problemen kunnen voorkomen worden door een sloot aan te leggen direct aan de voet van de ophoging, gecombineerd met goed werkende drainage in de lagere delen van de ophoging. Deze sloot is in de artist impression (Figuur 1.1) opgenomen.

Het deel van het neerslagoverschot dat wordt beïnvloed door de LD-staalslakken is sterk afhankelijk van de infiltratiecapaciteit van het pakket LD-staalslakken. De infiltratiecapaciteit dient volgens verkennende berekeningen zeer laag (ordegrootte  $10^{-4}$  m/d, zware ongerijpte klei) te zijn om significante beïnvloeding van het naar het grondwater percolerende neerslagoverschot te voorkomen.

## 4.3 Geotechniek

In het initiële rapport (Fugro, 2017a) zijn de zettingen berekend voor het tijdstip 30 jaar na begin van de aanleg van de totale ophoging. Er is alleen gerekend met de hoeveelheid ophoogmateriaal die nodig is om vanaf het huidige maaiveldniveau op te hogen tot de streefhoogte van NAP +9.6 m. Er is geen rekening gehouden met het ophoogmateriaal dat nodig is om de toekomstige zettingen te compenseren.

Het initiële rapport (Fugro, 2017a) veronderstelt dat de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket gelijk is aan polderpeil. Dat is niet correct; er is sprake van lichte kwel. Dit houdt in dat de korrelspanningen in de slappe lagen in werkelijkheid lager zijn dan berekend en de werkelijke zettingen iets groter zouden zijn dan berekend.

In het initiële rapport (Fugro, 2017a) is gerekend met de volumieke gewichten van het ophoogmateriaal van 2,1 ton/m<sup>3</sup> boven water respectievelijk 2,2 t/m<sup>3</sup> onder water.

In de update van het rapport (Fugro, 2019a) is in de zettingsberekeningen gerekend met de volumieke gewichten van de staalslakken van  $2,4 \text{ ton/m}^3$  boven water respectievelijk  $2,4 \text{ t/m}^3$  onder water. Deze waarden zijn reëel voor LD-staalslak gezien de gegevens in het productblad (Pelt & Hooykaas Groep, 2019). De vermelde waarden door Pelt en Hooykaas (2013) van  $2,8$  à  $2,9 \text{ t/m}^3$  in de zijn fysisch onwaarschijnlijk en te hoog.

De berekening met de reële volumegegewichten van LD-staalslak in de update van het rapport (Fugro, 2019a) levert een extra belasting op ten opzichte van de initiële berekeningen (Fugro, 2017a) in de orde van  $30 \text{ kN/m}^2$ . Ook wordt in de update van het rapport (Fugro, 2019a) wél gerekend met het ophoogmateriaal dat nodig is om de toekomstige zettingen te compenseren. Ook dit levert een extra belasting op in de orde van  $30 \text{ kN/m}^2$ . Echter, de berekende zettingen na 30 jaar zijn in de update van het rapport (Fugro, 2019a) hetzelfde als in het initiële rapport (Fugro, 2017a), namelijk  $2,6 \text{ m}$  tot  $2,8 \text{ m}$ . Dit is onwaarschijnlijk; waarschijnlijk zullen de zettingen met de correcte belasting circa  $0,3 \text{ m}$  groter zijn.

Daarnaast is het uitgangspunt voor het ontwerp van de laag voor de capillaire breking niet correct. Het rapport veronderstelt dat deze laag in het grondwater mag zakken. Echter, de laag zal alleen correct werken als het niveau van de grondwaterstand plus de capillaire opstijging van het materiaal in de laag lager is dan het niveau van de bovenkant van de laag. Het rapport noemt een 'zandbed' als voorbeeld van het materiaal voor de laag voor de capillaire breking. Als hiermee wordt bedoeld een grof 'zand voor zandbed' dan zal de capillaire opstijging in de orde zijn van  $0,5 \text{ m}$ . Dit houdt in dat de onderkant van de laag net het grondwater mag raken, en er niet in mag zakken.

Het polderpeil is verondersteld op NAP  $-1,1 \text{ m}$ ; de grondwaterstand onder de ophoging is verondersteld op NAP  $-0,5 \text{ m}$ . Deze waarde is echter representatief voor de huidige situatie met drainage naar de sloten. Op het moment dat de ophoging is aangebracht is de laag voor capillaire breking de enige drainageweg. De grondwaterstand onder de ophoging is dan gelijk aan het niveau van de onderkant deze laag. Voorwaarde is wel dat de onderkant van de laag voor capillaire breking boven polderpeil ligt, en dat de laag voldoende drainerende capaciteit heeft. Alle veronderstellingen dienen in een integrale berekening te worden geverifieerd, conform de overwegingen in paragraaf 3.2.

De juiste volgorde van de integrale berekening is:

1. Er is een duidelijk ontwerp
2. Maken van een hydrologische berekening voor de situatie gedurende de aanleg en na 50 jaar, om de grondwaterstanden in de ondergrond, de laag voor capillaire breking en de ophoging van LD-staalslakken te bepalen.
3. De hydrologische berekening moet worden afgestemd op de zettingsberekening, omdat deze de niveaus van het oorspronkelijk maaiveld, de laag voor capillaire breking en de ophoging van LD-staalslakken bepaalt.
4. Maken van een berekening van de stabiliteit en het effect van horizontale grondvervormingen op de Betuwelijn op basis van de berekende grondwaterstanden en niveaus van de lagen

Het rapport (Fugro, 2019a) meldt dat de onzekerheid van de berekende zettingen  $30\%$  bedraagt. Deze onzekerheid wordt niet in de berekening van de dikte van de compensatielaag betrokken.

Wij bevelen aan om het ontwerp van de compensatielaag en de laag voor capillaire breking uit te voeren volgens de aanwijzingen die paragrafen 3.9.1 en 3.9.3 van de Regeling Bodemkwaliteit (Ministerie van VROM, 2008) geeft voor het ontwerp van ophogingen met IBC<sup>10</sup> materialen. Het doel van de aanwijzingen is om de IBC materialen droog te houden ten opzichte van het grondwater. Hoewel de aanwijzingen formeel niet van toepassing zijn op LD-staalslakken, geven de aanwijzingen wel een 'best practice'.

De uitgangspunten van de aanwijzingen zijn:

- Het werk wordt ontworpen op de eindzetting die wordt berekend voor een periode van vijftig jaar, vermeerderd met een onzekerheidsmarge van 30% van de berekende zetting.
- De restzetting die optreedt na het gereedkomen van een werk dat met een IBC-bouwstof is gerealiseerd, is na vijftig jaar maximaal 0,5 meter. Deze waarde vertegenwoordigt de zetting van de onderliggende lagen.
- Indien de grondwaterstand op de toepassingslocatie voor de duur van het werk wordt gekenmerkt door een aantoonbaar beheerst regime van een oppervlaktewaterlichaam, wordt het daarbij horende grondwaterpeil, vermeerderd met een onzekerheidsmarge van 0,20 meter, aangehouden als het ontwerppeil van het grondwater. Het op de toepassingslocatie te verwachten grondwaterpeil wordt onderbouwd door middel van een grondwatermodellering.
- Bij de vaststelling van het ontwerppeil van het grondwater wordt rekening gehouden met mogelijk optredende wateroverlast die is gebaseerd op de kans dat deze zich eenmaal in de maximaal honderd jaar voordoet, gelet op de verwachte klimaatontwikkeling tot vijftig jaar na afronding van het werk.
- De onderzijde van de bouwstof wordt op een zodanige wijze aangelegd, dat deze na de eindzetting + 30% onzekerheidsmarge, ten minste 0,50 meter boven het ontwerppeil van het grondwater ligt en er geen contact is met het grondwater als gevolg van capillaire opstijging uit het grondwater.

Voor het overige bevelen wij aan:

- Een integraal ontwerp te maken van hydrologie, zettingen, stabiliteit en het effect van horizontale grondvervormingen op de Betuwelijn zoals hiervoor aangegeven.
- De afwatering van de laag voor capillaire breking nader te dimensioneren (toe te passen materiaal, afschot, toepassing drainagebuizen).
- Het op te stellen uitvoeringsplan van de aannemer te toetsen op conformiteit met het integrale ontwerp.
- Aan te dringen op de inrichting van een goede monitoring met zakbaken, piketten en waterspanningsmeters in de slappe lagen:
  - Inmeting van niveau van onderkant van de huidige ophoging; hiermee kan de tot nu toe opgetreden zetting worden bepaald. Dit is nodig voor een goede prognose van de toekomstige zettingen.
  - Plaatsing van veel meer zakbaken voor monitoring; deze zo vroeg mogelijk plaatsen en inmeten voor een goede prognose van de toekomstige zettingen.
  - Plaatsen van piketten voor controle op squeezing.
  - Plaatsen van hellingmeetbuizen voor bepaling van de horizontale grondvervormingen in de omgeving van de Betuwespoorlijn, in overleg met ProRail.

---

<sup>10</sup> IBC staat voor *Isoleren, Beheersen, Controleren*. Deze aanpak is uitgewerkt voor stortplaatsen.

- Bepaling van waarschuwings- en interventiewaarden voor de waterspanningen in de slappe lagen. De bepaling dient niet te gebeuren met D-Settlement maar met software die waterspanningen als gevolg van schuifspanningen kan berekenen, zoals bijvoorbeeld PLAXIS.
- Bepaling van waarschuwings- en interventiewaarden voor zettingen, horizontale grondvervormingen en waarnemingen aan piketten.

#### 4.4 Waterkwaliteit

Hoewel de concentratie in het eluaat van de kolomproef lager liggen dan in de plassen en drains op het terrein, is er geen aanleiding om te veronderstellen dat de verhoogde elementconcentraties uit de staalslakken een korte termijneffect zijn. Riley en Wayer (2015) zien een zeer langzame afname van calcium (ca. 30% in 50 jaar), maar andere stoffen hebben zij niet gerapporteerd. Derhalve nemen we aan dat de uitspoelingsconcentraties uit de LD-slakken de eerste 10 jaar constant zijn en daarna langzaam dalen. Voor de periode 10-100 jaar nemen we aan dat de concentraties gemiddeld 30% lager zijn.

Een belangrijke wijziging ten opzichte van de huidige situatie is dat er een flinke laag ophooggrond zal worden gebruikt onder de staalslakken. De aannemer is van plan om hiervoor klasse industrie grond te gebruiken. Dit is toegestaan omdat het gaat om een grootschalige bodemtoepassing (geluidswal), waarin de toepassingseisen niet afhankelijk zijn van de ontvangende bodem. Hiermee kunnen gehalten worden toegepast, die vele malen hoger zijn dan de oorspronkelijke bodemkwaliteit, maar dat hangt sterk af van de gebruikte partijen. In het kader van de zorgplicht zou de initiatiefnemer wel inzichtelijk moeten maken dat de combinatie van klasse industrie en staalslakken gezamenlijk niet leidt tot sterkere milieueffecten vergelijken met situaties waarin deze afzonderlijk van elkaar worden toegepast. Hoever de zorgplicht in dit geval rijkt, valt buiten de reikwijdte van dit rapport (zie paragraaf 1.4).

#### 4.5 Verontreinigingsvrachten

De eindsituatie is vooral van belang voor de lange termijn, omdat de komende jaren nog wordt gewerkt op de locatie, waarbij geen sprake is van bovenafdichting. De berekende verontreinigingsvrachten in paragraaf 3.5 zijn een worst case berekening. In het huidige ontwerp (niet voldoende ophoging en aan de bovenkant geen afdichting) blijft de situatie ongeveer gelijk. In het geval, zoals de firma Pelt en Hooykaas (zie 4.2) aangeeft door korstvorming, minimale infiltratie van het regenwater meer is, dan blijft er in het meest recente ontwerp nog wel beïnvloeding van kwelwater. In dat geval wordt aangenomen dat het kwelwater (35 m<sup>3</sup>/dag) onderlangs de slakken afwatert naar de sloten in en om de golfbaan. Tabel 4.1 toont twee berekeningen: een variant waarin 10 m<sup>3</sup>/dag (gelijk aan de aanname in paragraaf 3.5) wordt beïnvloed door de slakken en dat de rest via drains of iets diepere lagen wordt afgevoerd (zie groene pijlen richting sloot in Figuur 4.1) en een variant waarin alle 35 m<sup>3</sup>/dag wordt beïnvloed door de slakken. Voor de concentraties is een afname van 30% ten opzichte Tabel 3.2. De tweede variant is een worst case scenario.

Indien het ontwerp zodanig wordt uitgevoerd dat de LD-slakken ook aan de onderkant droog blijven (hoog genoeg en een capillair onderbrekende zandlaag), zal de uitspoeling naar het oppervlaktewater verwaarloosbaar worden.

Tabel 4.1 Metaalvrachten die op lange termijn (10-100 jaar) het gebied verlaten uitgaande van een ondoorlatende calciumcarbonaatkorst. Uitgangspunt is dat 15 of 35 m<sup>3</sup>/d (kwelflux) in contact komt met de staalslakken en dat concentraties dan gelijk zijn aan die van plassen en drains bij pH 12,6. Er is alleen gerekend voor de microverontreinigingen (incl. Al en Fe) die verhoogd voorkomen in plassen/drains en die verhoogd voorkomen in de sloot op het terrein.

stof	Concentratie (µg/l)	Vracht bij 10 m <sup>3</sup> /dag beïnvloed (kg/jaar)	Vracht bij 35 m <sup>3</sup> /dag beïnvloed (kg/jaar)
Aluminium (Al)	578	2,11	10,6
Arseen, (As)	1,19	0,004	0,021
Barium (Ba)	652	2,38	11,9
Chroom (Cr)	4,06	0,01	0,073
IJzer (Fe)	0,019	0,00	0
Koper (Cu)	7	0,03	0,13
Molybdeen (Mo)	2,31	0,01	0,04
Lood (Pb)	0,91	0,003	0,016
Nikkel (Ni)	1,54	0,01	0,029
Strontium (Sr)	4318	15,76	78,8
Vanadium (V)	265	0,97	4,8

#### 4.6 Conclusies voor het ontwerp conform Fugro (2019a)

Belangrijkste conclusie is dat het huidige ontwerp (Fugro, 2019a) geen garantie geeft dat de staalslakken hoog genoeg liggen om contact met kwelwater te voorkomen. De berekende zetting is 2,6 tot 2,8 m; dit is te laag. Wij bevelen aan om het ontwerp van de compensatielaag en de laag voor capillaire breking uit te voeren volgens de aanwijzingen die paragrafen 3.9.1 en 3.9.3 van de Regeling Bodemkwaliteit (Ministerie van VROM, 2008).

Voor de locatie is een goed ontwateringsplan nodig, waarin de wijzigingen in hoogte en doorlatendheid zijn meegenomen. De bovenafdichting, die infiltratie van regenwater door de slakken moet voorkomen/reduceren, is in het huidige ontwerp niet overtuigend onderbouwd. Er is een betere onderbouwing nodig van de veronderstelling dat korstvorming in combinatie met zand en teelaarde leidt tot bovenafdichting. Als dat onvoldoende effectief blijkt te zijn zou aanleg van slecht doorlatende laag op de slakken een optie kunnen zijn.

Als het ontwerp een goede bovenafdichting krijgt kan de uitspoeling bijna met een factor 20 afnemen. Indien ook gezorgd wordt dat aan de onderkant geen contact is met (kwel)water wordt de uitspoeling verwaarloosbaar. Het is niet overtuigend bewezen dat de korstvorming van de staalslakken leidt tot een goede bovenafdichting (vergelijkbaar met zware ongerijpte klei).

Voor een nadere berekening van de verontreinigingen die uitspoelen is een gedetailleerder plan nodig. Als het uitgangspunt echter is dat de slakken niet meer in contact staan met regen- en kwelwater, zal de uitspoeling verwaarloosbaar zijn.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Eindconclusies

In de huidige situatie is er direct contact tussen de slakken en het regenwater, maar ook tussen de slakken het kwelwater (zakking op het hoogste punt van de totale ophoging is ca. 3 meter waarmee de slakken – in elk geval in de toekomst – in het grondwater liggen). Bij de afwatering zijn 3 routes van belang: oppervlakkig afvoer (deze route is gereduceerd door kades), afvoer via oude drainbuizen (het is onbekend in hoeverre de drains overal zijn verwijderd) en afvoer onderlangs het pakket met staalslakken door kwelwater gemengd met infiltratiewater uit de slakken. De verwachting is niet dat er verspreiding over langere afstanden via dieper grondwater zal plaatsvinden.

Aangezien in dit gebied een flinke hoeveelheid water moet worden afgevoerd, kan het niet anders dan dat er metalen uit de staalslakken naar het oppervlaktewater worden getransporteerd. Het (onverdunde) uitspoelingswater is vanwege de hoge pH en opgeloste metalen direct giftig voor nagenoeg alle organismen. In het natuurlijk systeem zal de pH worden gebufferd en neemt de toxiciteit af, maar sommige metalen kunnen in oplossing blijven. Op basis van metingen komen Al, Ba, Ca, CO<sub>3</sub>, Cr, K, Cu, Mo, Na, Pb, Sr en V verhoogd voor in de slakken. Voor de macro-elementen (Al, Ca, CO<sub>3</sub>, K, Na) zal dat niet zo'n probleem zijn, voor microverontreinigingen vallen vooral de vrachten van Ba, Sr en V op (allen veel groter dan 10 kg/jaar en normoverschrijdend in de plassen op het terrein). De concentraties in het oppervlaktewater worden uiteindelijk bepaald door verdunning, pH-buffering en binding van metalen aan de bodem (tijdens transport naar het oppervlaktewater) en aan sediment en zwevend stof (als de metalen het oppervlaktewater hebben bereikt).

Het Fugro-rapport waarin het meest recente ontwerp wordt beschreven (Fugro, 2019a) roept diverse vragen op. Uiteindelijk worden dezelfde zettingen voorspeld als in het eerdere rapport (Fugro, 2017a), namelijk 2,6 tot 2,8 m, ondanks wijzigingen in de berekening (andere dichtheid slakken en meer ophoogmateriaal ter compensatie van toekomstige zettingen). Deltares schat in dat de zetting ca. 0,3 meter groter zou moeten zijn. Deltares adviseert te rekenen met de volumegewichten van de LD-staalslakken gegeven in gebruiksinstructie van Pelt & Hooykaas (2013). Ook moet rekening gehouden worden met de 30% onzekerheid van deze berekeningen. Verder lijkt er veel minder intensief gemonitord te worden met zakkaken dan Fugro (2019a) heeft geadviseerd.

In dit gebied is de waterafvoer een zorgpunt, onafhankelijk van de doorlatendheid van de staalslakken. Er is echter geen goed ontwateringsplan opgesteld.

De doorlatendheid van het staalslakkenpakket is onduidelijk. In principe bestaat het materiaal uit relatief grofkorrelig materiaal dat goed doorlatend is. Dat carbonatie optreedt is waarschijnlijk, maar in hoeverre dat tot een sterk ondoorlatende korst leidt staat niet vast, ook niet hoe lang dat duurt en of het onder alle omstandigheden (met teelaarde er op) plaatsvindt.

Indien de doorlatendheid aan de bovenkant van de slakken minimaal is, neemt de vracht naar het oppervlaktewater met ca. 75% af. Als ook gezorgd wordt dat de onderkant van het pakket droogt blijft zal het effect van de slakken op de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit tot een minimum gereduceerd worden.

## 5.2 Aanbevelingen

Voor de periode tijdens het werk moet het contact tussen de staalslakken en regen of kwelwater geminimaliseerd worden. Maatregelen moeten dus gericht zijn op het minimaliseren van de drie, in de conclusies genoemde, routes: oppervlakkig, drains en kwel. De goede inspectie van de kades, het opsporen van drains en geohydrologische ingrepen met peil behoren tot de mogelijkheden, al moeten de kosten en de baten van alle inspanningen wel tegen elkaar worden afgewogen.

Indien water op het terrein moet worden afgevoerd moet eerst de pH worden verlaagd en worden aangetoond dat het water ook geen verontreinigingen boven de lokale achtergrondconcentratie. Aandachtspunt daarbij is zwevend stof, met mogelijk hoge metaalgehalten, dat na pH-verlaging in het water zit.

De uitloogtesten van de staalslakken indiceren uitspoeling van kwik, een belangrijke probleemstof voor de Kaderrichtlijn water. Uit de metingen is niet vast te stellen of er sprake is van meetbare uitloging van kwik. Indien de lopende monitoring wordt voortgezet wordt aanbevolen kwik daarin mee te nemen. Verder dient kwik te worden meegenomen in het pakket waarin moet worden aangetoond dat lozingswater schoon is.

Voor de eindsituatie adviseert Deltares om de aannemer te verzoeken de volgende aanvullende informatie ter toetsing te overleggen. Het doel van de aanvullende informatie is om de uitbreiding aantoonbaar zo aan te leggen dat de milieubelasting en andere effecten op de omgeving acceptabel zijn.

- Een goed ontwateringsplan voor de projectlocatie, rekening houdend met verschillende scenario's voor infiltratiecapaciteit LD-staalslakken en evt. maatregelen voor bovenafdichting (bijvoorbeeld het aanbrengen afdichtende kleilaag). Hierbij moet ook worden aangetoond dat er geen oude drains meer aanwezig zijn, die voor 'kortsluitstroming' kunnen zorgen.
- Onderzoek naar infiltratiecapaciteit van de LD-staalslakken, zowel braakliggend, als begraven onder een laag teelaarde.
- Een technische detaillering van het ophoogplan (toe te passen materialen, afschot, drainage incl. evt. behandeling indien drainage water direct in het oppervlaktewater terechtkomt).
- Een integraal ontwerp voor hydrologie, zettingen, stabiliteit en het effect van horizontale grondvervormingen op de Betuwelijn, zoals aangegeven in paragraaf 4.3.
- Een uitvoeringsplan dat consistent is met het integrale ontwerp.
- Er dient een betere geotechnische monitoring met zakbaken, piketten, hellingmeetbuizen en waterspanningsmeters te worden ingericht. Waarschuwings- en interventiewaarden dienen te worden bepaald met daarvoor geschikte methoden. Daarvoor is het nodig om een plan op te stellen dat door bevoegd gezag wordt goedgekeurd.
- In principe wordt er vanuit gegaan dat er een verwaarloosbare hoeveelheid water uit het pakket staalslakken uitloogt, waarmee er geen milieurisico is. Om te toetsen of dit in de praktijk goed uitwerkt, dient een milieukundig monitoringplan te worden opgesteld, waarin eventuele 'lekstromen' worden gedetecteerd. Mogelijke monitoringsoptie zijn: peilbuizen in het bovenste grondwater, net onder de laag voor capillaire breking, drainagewater, poriewater nabij de sloot en eventuele waterpartijen of plassen op het terrein.
- Aantonen dat de combinatie van klasse industrie grond en staalslakken gezamenlijk niet leidt tot sterkere milieueffecten vergelijken met situaties waarin deze afzonderlijk van elkaar worden toegepast.



## 6 Referenties

Fugro, (2017a). Geotechnisch onderzoek en advies zetting en stabiliteit – geluidswal The Dutch. 1016-0944-000 versie 0.2, 29 juni 2017.

Fugro, (2017b). Geotechnisch onderzoek geluidswal The Dutch Haarweg te Spijk – grondonderzoek. 1016-0944-210, 5 april 2017.

Fugro, 2019a. Geotechnisch advies zettingen (compensatielaag) – uitbreiding golfbaan The Dutch te Spijk. 1016-0944-002 versie 1, 21 juni 2019.

Fugro, 2019b. Memo waterspanningen. Memo 1016—944-002.M02\_Waterspanningen, 17 april 2019.

Fuller, W. B., and Thompson, S. E., (1907). The Laws of Proportioning Concrete. Trans. ASCE, Vol. 59, 1907, pp. 67-143.

Laboratorium voor Grondmechanica, 1985. Alternatief filtermateriaal. Rapport CO-272550/18. Ministerie van IenM, 2017, Rechtsoordeel LD-Staalslak

Pelt en Hooykaas, 2013. Gebruik van LD staalslak als ophoogmateriaal in zandvervangingsprojecten. Documentnummer N13.01c/17 juli 2013.

Pelt & Hooykaas Groep, 2019. Productinformatieblad LD-staalslak 0/90. LD63Z-190220.

Regeling Bodemkwaliteit, 2018. <https://wetten.overheid.nl/BWBR0023085/2018-11-30> Geraadpleegd 13 juli 2019.

Rijkswaterstaat, 2000. Bouwstoffenkaart LD-slakken(mengsel) / ELO slak. Kaart 13.

Riley, A.L. en W.M. Mayes, 2015. Long-term evolution of highly alkaline steel slag drainage Waters. Environ Monit Assess (2015) 187-463. DOI 10.1007/s10661-015-4693-1.

Robertson – Bryan, 2007. pH Requirements of Freshwater Aquatic Life. Technical Memorandum.

[https://www.waterboards.ca.gov/centralvalley/water\\_issues/basin\\_plans/ph\\_turbidity/ph\\_turbidity\\_04phreq.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/centralvalley/water_issues/basin_plans/ph_turbidity/ph_turbidity_04phreq.pdf)

Sent One, 25 juni 2019. Indicatief aanlegproces geluidswal betreffende grond en bouwstoffen. Memo TDZ.2019.56.04.

SYNLAB, 2018. Analyse resultaten van het laboratoriumonderzoek ten behoeve van uw project LD63Z-180703Mk138. SYNLAB rapport 12876090, versie 1.

SYNLAB, 2019. Analyse resultaten van het laboratoriumonderzoek ten behoeve van uw project LD63Z-181219Mk252. SYNLAB rapport 12940281, versie 1.

Van der Sloot, H.A., A. van zomeren, D.S. de Nie en J.C.L. Meeussen, 2007. pH en redox effecten van bouwmaterialen. ECN-E--07-093.

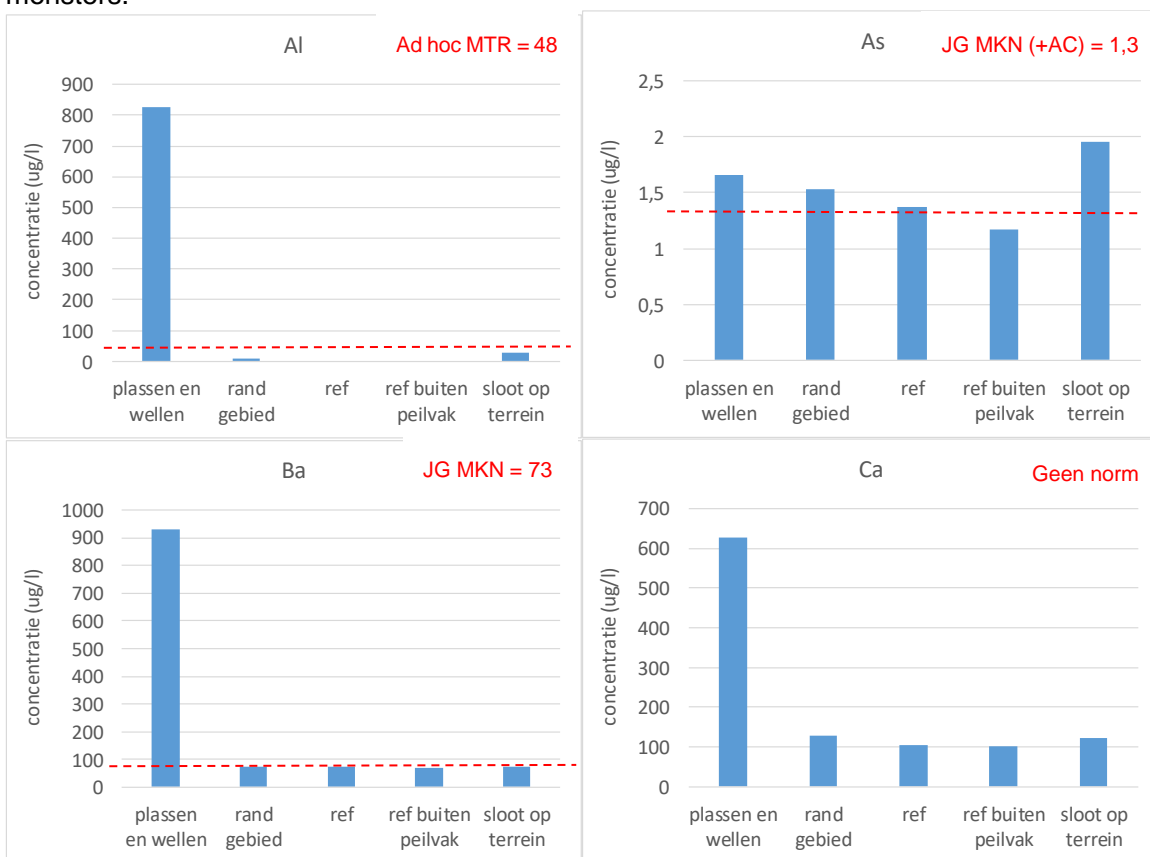


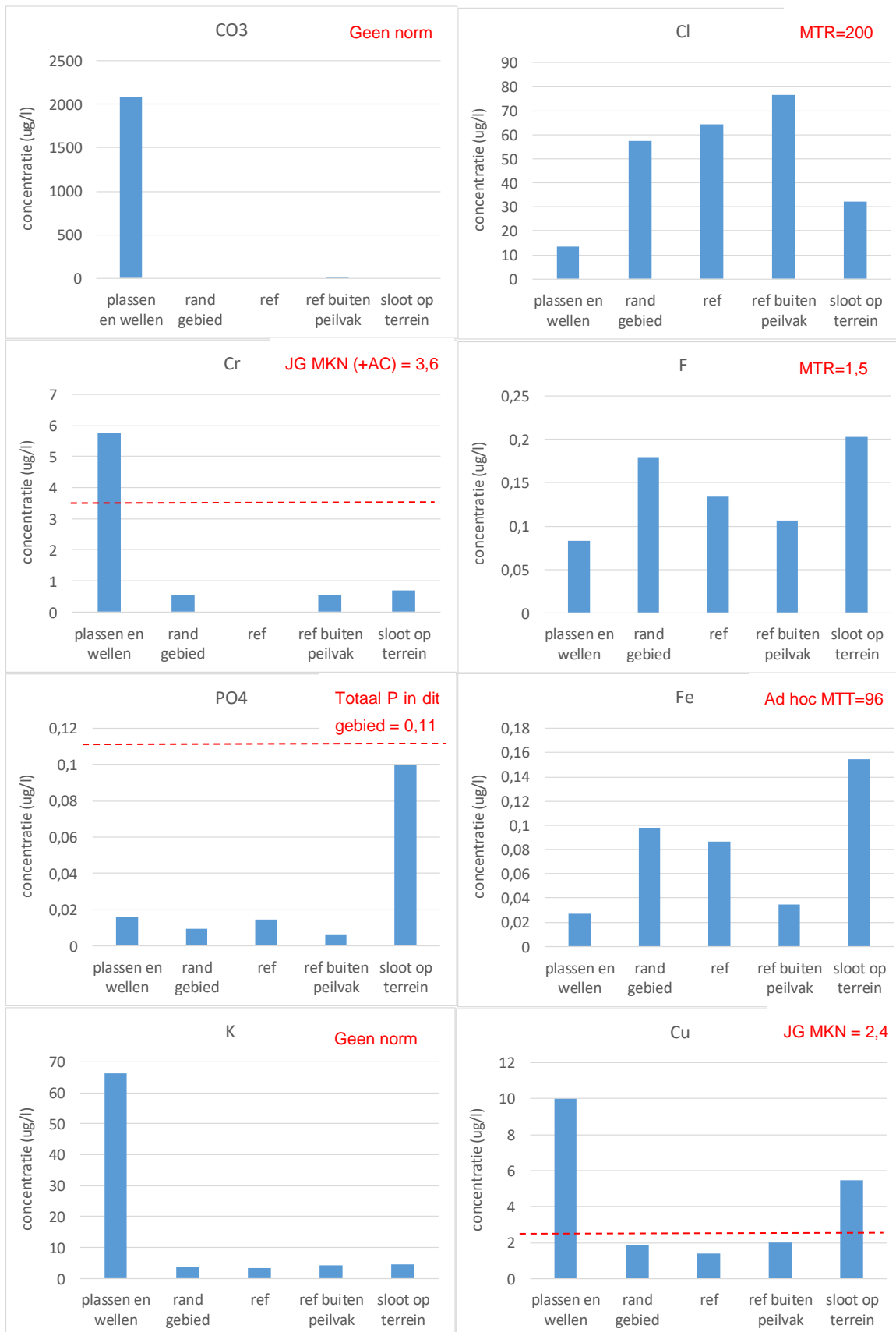
## A Concentraties per hoofdcategorie per stof (na filtratie) inclusief vermelding van de waterkwaliteitsnorm

Gemiddelde concentraties van metalen op 5 categorieën locaties:

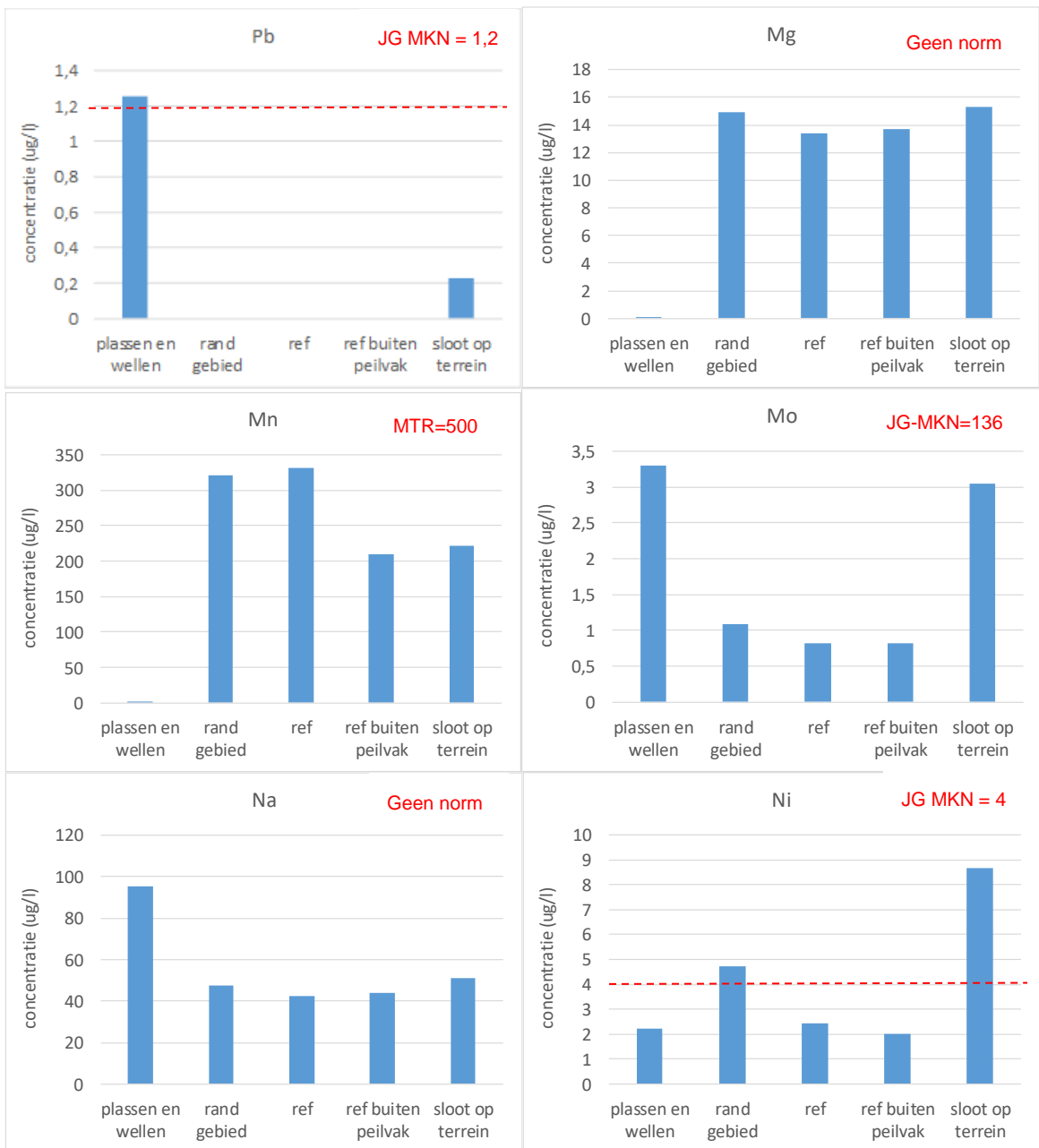
1. Water op het terrein (plassen en kortsluitstroming)
2. Sloten op het terrein (sloot op terrein)
3. Sloten om het terrein (rand gebied)
4. Sloten in de omgeving (ref)
5. Sloten buiten het peilvak van de golfbaan (ref. buiten peilvak)

De gestippelde lijn is de norm in ug/l. Tenzij anders vermeld, gaat het hier om de gefiltreerde monsters.





Voor Ni, Cu, Pb en Zn geen BLM toegepast



Voor Ni, Cu, Pb en Zn geen BLM toegepast

