Monitoring grond- en oppervlaktewaterkwaliteit Boetelerveld

Eindrapportage 2021-2024

Status: definitief



Monitoring grond- en oppervlaktewaterkwaliteit Boetelerveld

Eindrapportage 2021-2024

Status: definitief



B-WARE



Titel rapport:	Monitoring grond- en oppervlaktewaterkwaliteit Boetelerveld, eindrapportage 2021-2024
Status:	Definitief
Datum:	25 september 2025
Auteurs:	[redacted], [redacted], [redacted] & [redacted]
Rapportnummer:	RP-21.004.25.18
Projectnummer:	PR-21.004
Opdrachtgever:	Provincie Overijssel

Contactpersonen:

[redacted]
[redacted]@b-ware.eu

[redacted]
[redacted]

Tel: [redacted]
www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, 2025.

Inhoud

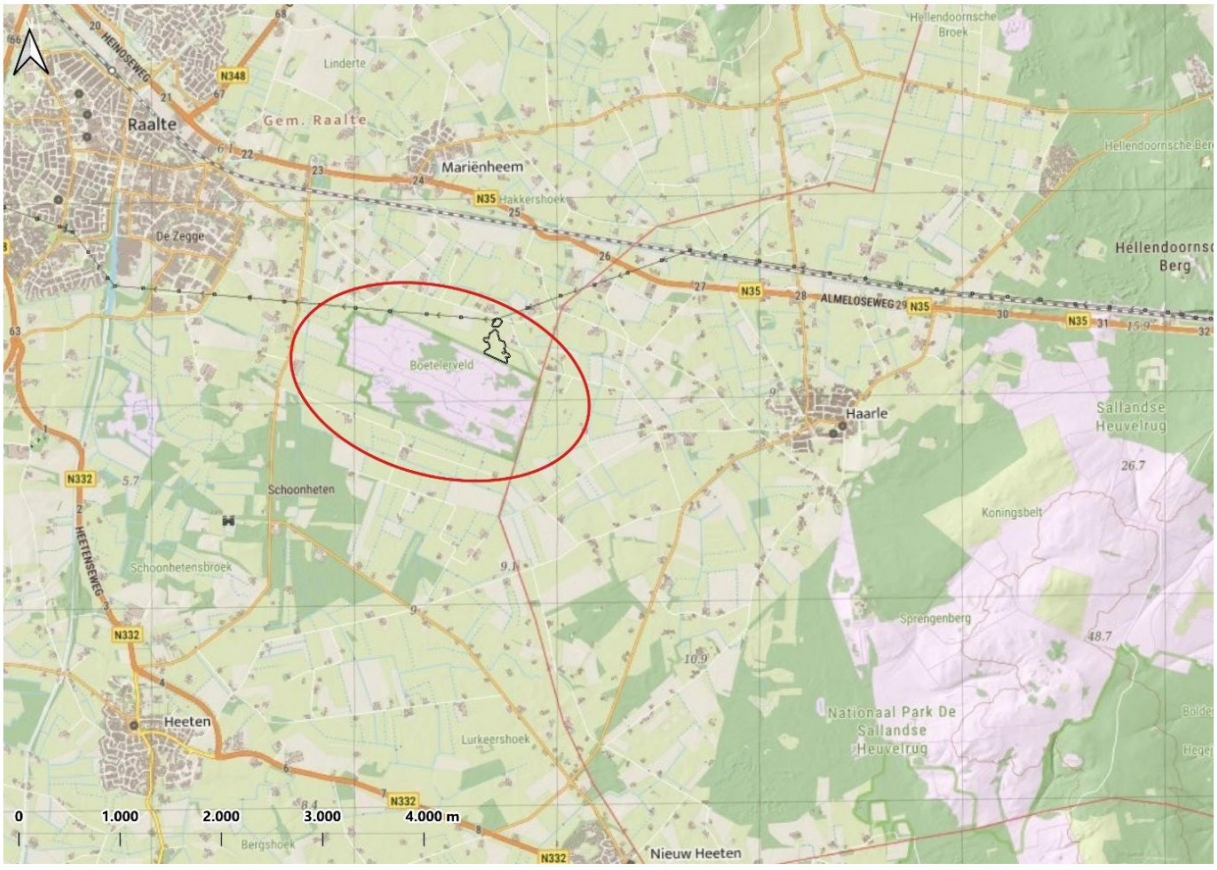
1	**Inleiding**	**1**
1.1	Aanleiding	1
1.2	Gebiedsbeschrijving	1
1.3	Onderzoeksvragen	6
1.4	Aanpak monitoring	6
1.5	Leeswijzer	7
2	**Materiaal en methoden**	**8**
2.1	Veldwerkzaamheden	8
2.2	Chemische analyse	13
3	**Resultaten**	**16**
3.1	Kwaliteit oppervlaktewater	16
3.2	Kwaliteit (water)bodem	25
3.3	Kwaliteit grondwater	37
3.4	Uitspoeling agrarische percelen	48
4	**Samenvatting en aanbevelingen**	**61**
4.1	Kwaliteit oppervlaktewater	61
4.2	Kwaliteit (water)bodem	62
4.3	Kwaliteit grondwater	63
4.4	Uitspoeling agrarische percelen	63
4.5	Aanbevelingen	64
5	**Literatuur**	**69**
6	**Bijlagen**	**71**
6.1	Bijlage 1: beschrijving bodemprofielen	71
6.2	Bijlage 2. Bodemchemie peilbuislocaties	82

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Boetelerveld is een Natura 2000-gebied ten zuidoosten van Raalte (Figuur 1). In en rond het Boetelerveld zijn in de periode 2020-2021 herstelmaatregelen uitgevoerd (Figuur 2). Deze maatregelen zijn van invloed op de hydrologische situatie in en rondom het gebied.

Op de percelen ten noorden van het Kleine Turfgat en ten oosten van het Grote Rietgat wordt een verschralingsbeheer (uitmijnen en/of maaien en afvoeren) uitgevoerd. Om soortenrijke natuurtypen tot ontwikkeling te kunnen laten komen en om de nitraat-, sulfaat- en fosfaatconcentraties van toestromend water vanuit de percelen naar het natuurgebied te reduceren, is dit (uitmijn)beheer noodzakelijk tot de gewenste omstandigheden zijn bereikt. De effecten van dit beheer worden jaarlijks gemonitord door middel van grond- en oppervlaktewaterkwaliteitsmetingen. In de twee tussenrapportages zijn de resultaten van deze monitoring in de periode 2021-2023 beschreven (Tomassen e.a., 2023; 2024). In deze eindrapportage zijn de resultaten van 2024, het laatste monitoringsjaar, toegevoegd.



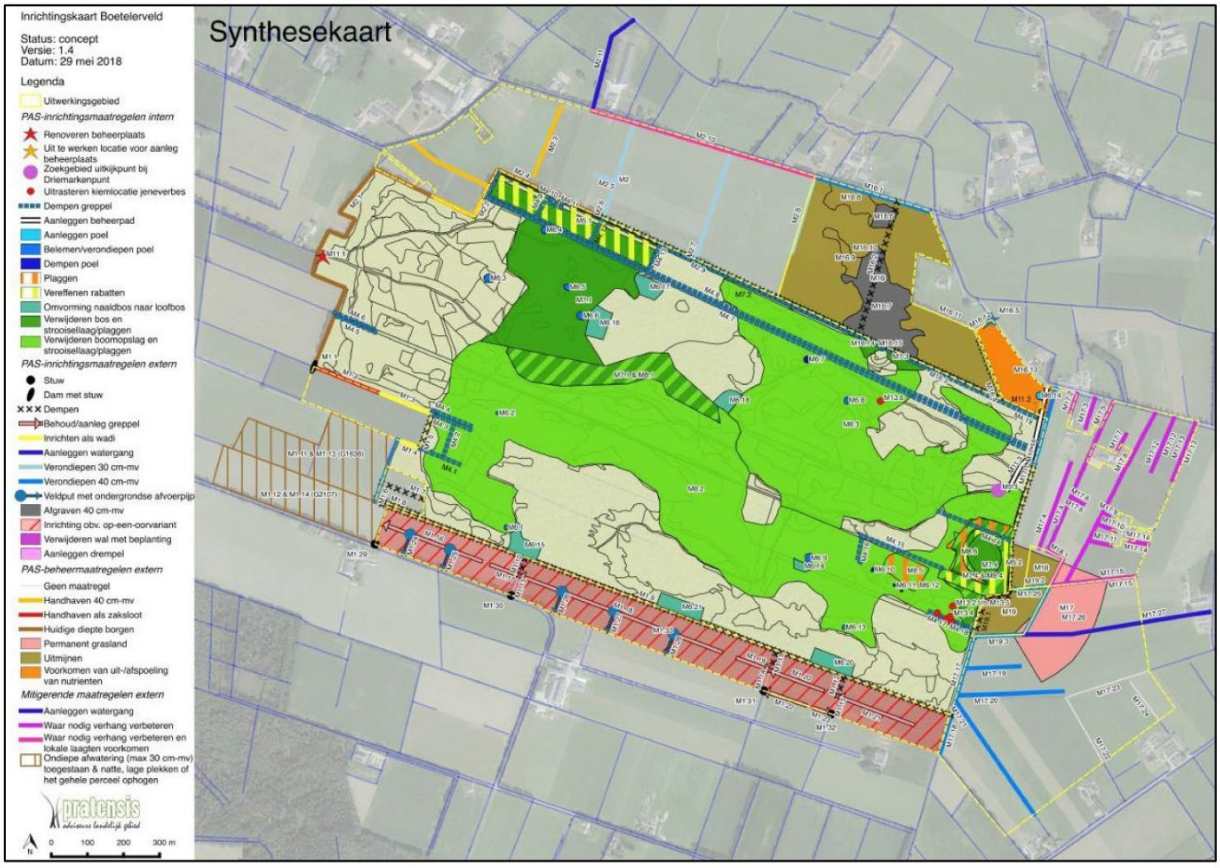
Figuur 1. *Natura 2000-gebied het Boetelerveld (rood omcirkeld) is gelegen tussen Raalte en Nationaal Park Sallandse heuvelrug (provincie Overijssel).*

1.2 Gebiedsbeschrijving

Het Boetelerveld (ca. 170 ha) is grotendeels eigendom van Landschap Overijssel en als geheel in beheer bij Landschap Overijssel. Het Boetelerveld is het laatste uitgestrekte natte heideterrein van Salland (Jansen, 2010). Het is aangewezen als Natura 2000-gebied vanwege het voorkomen van het habitattype vochtige heide (H4010A) over aanzienlijke oppervlakten (Figuur 3). Verder komen in het gebied habitattypen als zwakgebufferde vennen (H3130), blauwgraslanden (H6410), heischrale graslanden (H6230), jeneverbesstruwelen (H5130) en pioniergemeenschappen van snavelbiezen (H7150) voor

(Figuur 3; provincie Overijssel, 2016). Habitattypen als zwakgebufferde vennen, blauwgraslanden, heischrale graslanden en jeneverbesstruwelen zijn afhankelijk van meer of minder basenrijke omstandigheden. In dekzandlandschappen, zoals Salland, ontstaan zulke omstandigheden door toestroming van (matig) basenrijk grondwater (Jansen, 2010).

Om de Natura 2000-doelstellingen in het Boetelerveld te kunnen realiseren is verbetering van het grondwaterregime nodig. Deze verbetering is niet alleen haalbaar door het nemen van antiverdrogingsmaatregelen binnen het bestaande natuurgebied, maar er zijn ook maatregelen voor nodig buiten het Boetelerveld. Het gaat dan om het dempen en/of verondiepen van sloten (Figuur 2).



Figuur 2. *Synthesekaart met de herinrichtingsmaatregelen voor het Boetelerveld en directe omgeving. Bron: Pratensis (2018).*

1.2.1 Grote Rietgat

Het Grote Rietgat is een bijzonder ven, gelegen aan de oostzijde van het Boetelerveld (Figuur 1). Het ven is rond 2000 opgeschoond waarna een vrijwel complete soortensamenstelling van zwakgebufferde vennen tot ontwikkeling is gekomen. Vier associaties van zwakgebufferde vennen zijn er aanwezig: de Associatie van Waterpunge en Oeverkruid, de Associatie van Ongelijkbladig fonteinkruid, de Pilvaren-associatie en de Associatie van Vlottende bies (Jansen, 2010; Kieskamp & Jansen, 2017). Daarnaast zijn ook nog kranswieren gevonden. Het centrale deel van het ven is gedurende het gehele jaar waterhoudend, terwijl de oevers in de loop van het seizoen droogvallen (Figuur 4). In het Grote Rietgat treedt, samenhangend met de hoeveelheden neerslag, afwisselend inzijging en kwel op. In natte perioden functioneert het Grote Rietgat als een doorstroomven waarbij aan de oostelijke, bovenstroomse zijde grondwater uittreedt (kwelzijde) en aan de westelijke, benedenstroomse zijde (wegzijgzijde) water het ven verlaat (Jansen, 2010). De zwak gebufferde omstandigheden komen vermoedelijk tot stand dankzij de combinatie van periodieke kwel vanuit het freatische pakket (regionale

systeem) en de deklaag (lokaal systeem), in combinatie met het voorkomen van kalkrijke leemlagen (leemschol) op enige decimeters diepte (Jansen e.a., 2010).

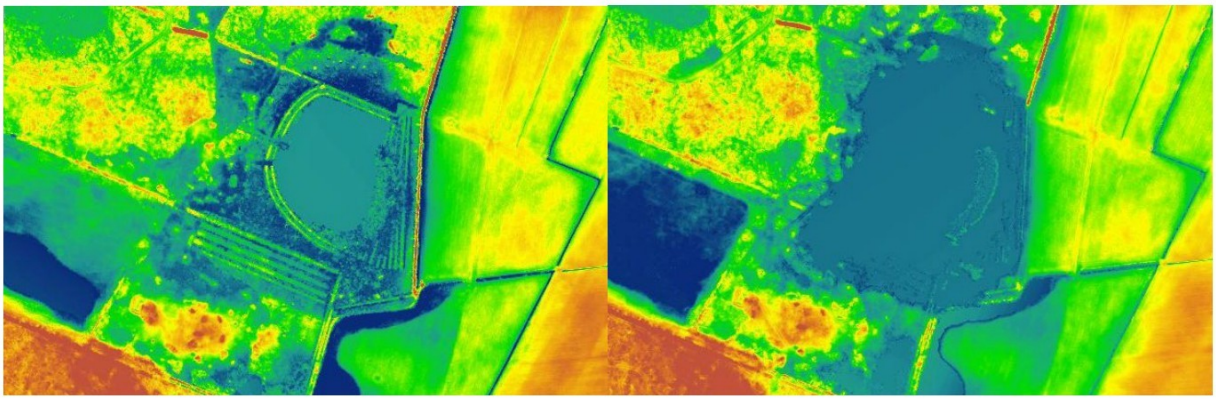


Figuur 3. *Habitattypenkaart van het Natura 2000-gebied het Boetelerveld. Het gebied is aangewezen voor de habitattypen zwakgebufferde vennen (H3130, inclusief zoekgebied ZGH3130), vochtige heiden (hogere zandgronden; H4010A), droge heiden (H4030), jeneverbesstruwelen (H5130), heischrale graslanden (H6230), blauwgraslanden (H6410) en pioniervegetaties met snavelbiezen (H7150). Op de kaart is de ligging van het Grote Rietgat en Kleine Turfgat aangegeven. Ten noorden van het natuurgebied is een nieuwe slenk gegraven om de invloed van gebufferd grondwater naar het Kleine Turfgat te vergroten. Bron habitattypenkaart: provincie Overijssel.*

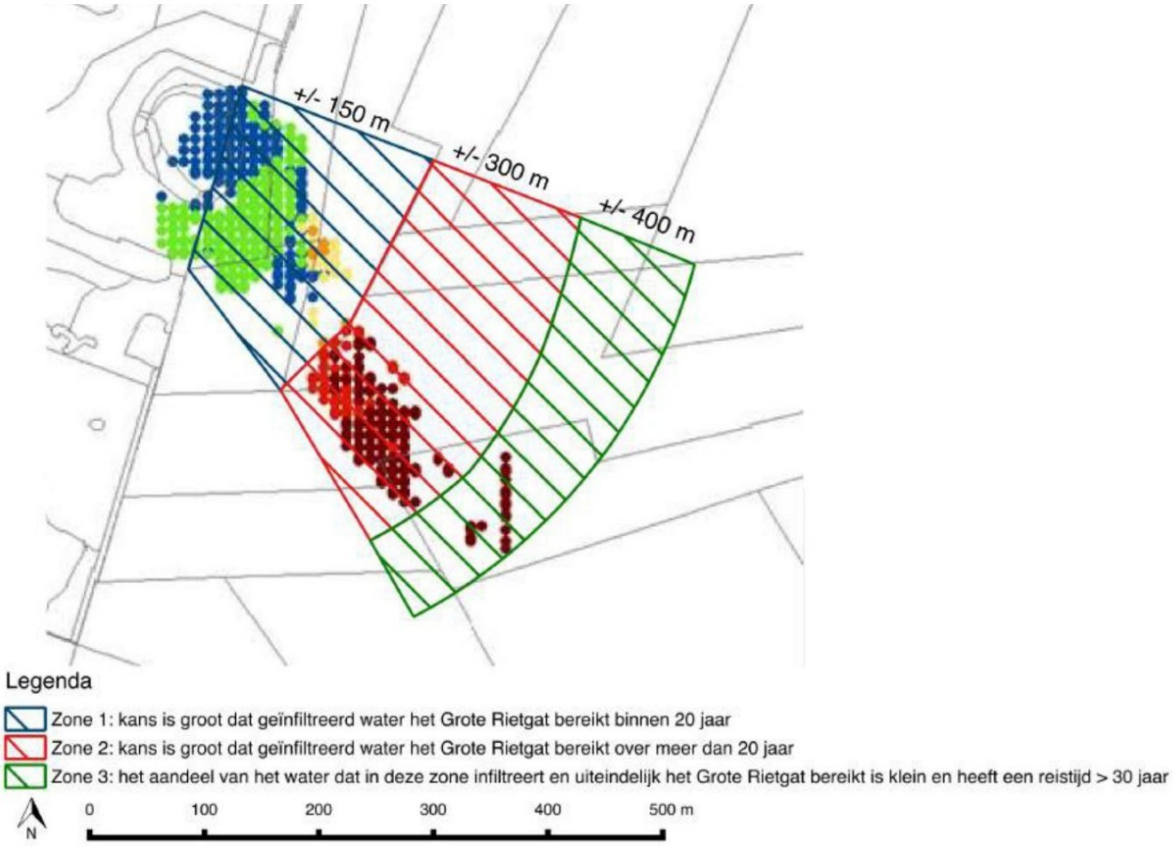


Figuur 4. *Impressie van het Grote Rietgat (links) en het Kleine Turfgat (rechts) in juni 2022. Foto's:* [redacted]

Rondom het Grote Rietgat zijn mogelijkheden voor de uitbreiding van blauwgraslanden en natte heiden (Kieskamp & Jansen, 2017). Om de invloed van grondwater te vergroten zijn in de zomer van 2021 hydrologische maatregelen uitgevoerd. Het rabattenbos in de directe omgeving van het Grote Rietgat is verwijderd, waarbij de rabatten in de greppels zijn geschoven, en de oostelijke grenssloot tussen het Grote Rietgat en de landbouwpercelen is gedempt (Figuur 2 en Figuur 5).



Figuur 5. *Hoogtekaart van het Grote Rietgat voor uitvoering van de hydrologische maatregelen (links; AHN3) en na uitvoering van de maatregelen (rechts, AHN4). Voor uitvoering van de maatregelen zijn de rabatten en sloten rondom het Grote Rietgat duidelijk zichtbaar.*

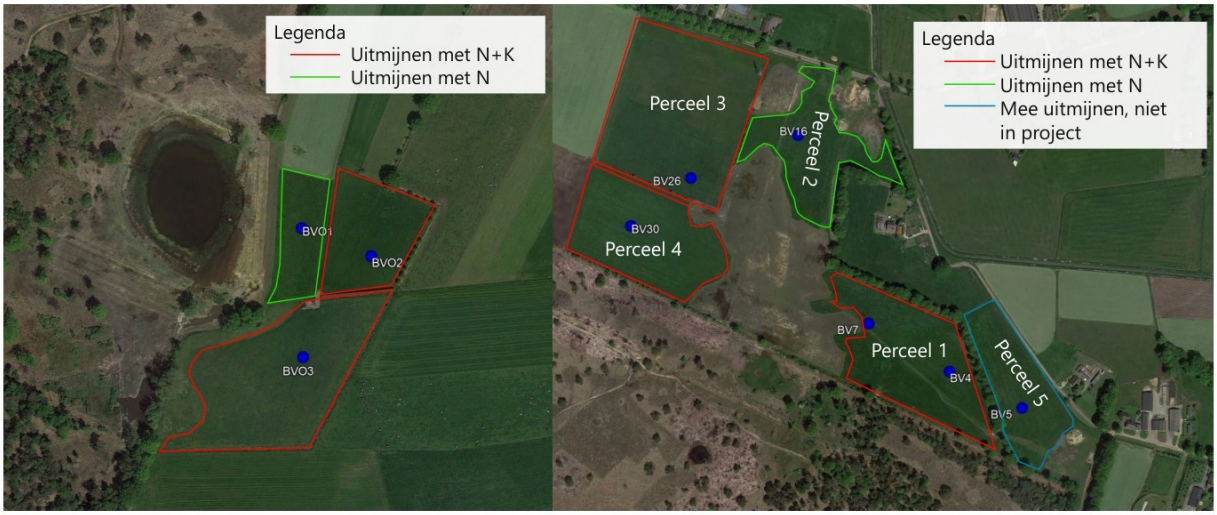


Figuur 6. *Verwacht intrekgebied van het Grote Rietgat met drie zones. Bron: van Bakel e.a. (2017).*

Het grondwater oostelijk van het Grote Rietgat, op de grens met het landbouwgebied, heeft als gevolg van bemesting, een verhoogde sulfaat- en chlorideconcentratie (Kieskamp & Jansen, 2017). Dit kan leiden tot een grotere voedselrijkdom van de bodem, hetgeen ongunstig is voor de ontwikkeling van

voedselarme natuurtypen zoals blauwgrasland. Nitraat dat vanuit de mest het grondwater bereikt, zorgt voor oxidatie van pyriet in de bodem waardoor zwavel in de vorm van sulfaat vrijkomt. Dit sulfaat kan in natte systemen resulteren in een versnelde afbraak van organisch materiaal (interne eutrofiering; Smolders e.a., 2006).

Om maatregelen tegen de toestroom van grondwater verrijkt met nutriënten, sulfaat en chloride te nemen is het belangrijk om rekening te houden met het intrekgebied (infiltratiezone) van het Grote Rietgat. Door van Bakel e.a. (2017) werden met een niet-stationair grondwatermodel stroombaanberekeningen uitgevoerd voor het bepalen van het intrekgebied. Op basis van de berekeningen en rekening houdend met de verschillende stromingsrichtingen werden drie zones onderscheiden (Figuur 6). In zone 1 en 2 is de kans groot dat geïnfiltreerd water het Grote Rietgat bereikt binnen 20 jaar (blauwe zone) of meer dan 20 jaar (rode zone). De percelen binnen deze zones worden vanaf 2022 uitgemijnd (Figuur 7) om het risico op uitspoeling van nutriënten en sulfaat richting het Grote Rietgat te reduceren. In zone 3 (groene arcering) is de kans dat het infiltrerende water uiteindelijk het Grote Rietgat bereikt klein (van Bakel e.a., 2017).



Figuur 7. *Luchtfoto's met de percelen oostelijk van het Grote Rietgat (links) en ten noorden van het Kleine Turfgat rondom de slenk (rechts) waar sinds 2022 een uitmijnbeheer wordt gevoerd. De percelen worden uitgemijnd met de bestaande zode in combinatie met stikstof- en kalibemesting (rode percelen) of alleen met stikstofbemesting (groene percelen). Bron: Louis Bolk Instituut.*

1.2.2 Kleine Turfgat

Het Kleine Turfgat is een komvormige laagte aan de noordzijde van het Boetelerveld (Figuur 1). De bovenrand van het Kleine Turfgat bevat nog soorten van het heischraal grasland en blauwgrasland (Jansen, 2010; Figuur 4). Tot in de jaren 90 van de vorige eeuw kwam ook de orchideeënrijke of parnassiarijke subassociatie voor met moeraswespenorchis, trilgras en parnassia. Deze subassociatie is afhankelijk van langdurige toestroming van basenrijk grondwater. De groeiplaats van het blauwgrasland rond het Kleine Turfgat lijkt zuurder te worden; niet alleen zijn genoemde basenminnende soorten van de orchideeënrijke subassociatie verdwenen, maar ook meer "basale" soorten zoals Spaanse ruiter, terwijl zuurminnende soorten als hennegras, zilverschoon en waternavel zijn toegenomen (Jansen, 2010). Ook sinds de recent (in 2020) uitgevoerde herstelmaatregelen lijkt de verzuring van het Kleine Turfgat door te zetten. Basenminnende soorten als moeraswerpenorchis en vleeskleurige orchis zijn in recente jaren verdwenen en in de laagstgelegen delen is sprake van een toename van egelboterbloem, knolrus en waternavel (veldobservaties Landschap Overijssel).

Goed ontwikkelde, door basenrijk grondwater gevoede plantengemeenschappen zijn in het Boetelerveld vrijwel geheel verdwenen (Jansen, 2010). Dat soorten van het heischraal grasland en blauwgrasland nog

alleen bij het Kleine Turfgat voorkomen is te danken aan de specifieke combinatie van een lage ligging met grote hoogteverschillen over korte afstand. Dankzij drukverschillen in dit lokale grondwatersysteem treedt aan de rand van deze 's winters overstroomde laagte ijzer- en basenrijk grondwater uit het watervoerend pakket uit (Jansen, 2010).

1.2.3 Slenk

In 2020 is ten noorden van het Kleine Turfgat een oude slenkenstructuur gereconstrueerd (Figuur 1). Deze slenkenstructuur is bedoeld om het uittreden van basenrijk water aan het maaiveld te bevorderen en daarmee de aanvoer van basenrijk water naar het Kleine Turfgat te vergroten (Kieskamp & Smeenge, 2017). Bij het herstel van de slenkenstructuur is de grond die eerder is opgebracht om de slenk te dempen weer verwijderd (Kieskamp & Smeenge, 2017).

Om af- en uitspoeling van voedingsstoffen vanuit de hogere ruggen naar de slenk, en ook het Kleine Turfgat, te voorkomen worden de aangrenzende landbouwpercelen uitgemijnd (Figuur 7). Dit wordt begeleid en gemonitord door het Louis Bolk Instituut en separaat gerapporteerd. Tussen de slenkenstructuur en het Kleine Turfgat ligt een tijdelijke drempel (grondwal) om aanvoer van nutriëntrijk oppervlaktewater richting het Kleine Turfgat tegen te houden. Op het moment dat de waterkwaliteit in het invloedgebied van het Kleine Turfgat voldoet aan de streefwaarden kan deze tijdelijke drempel tussen het Kleine Turfgat en de slenkenstructuur verwijderd worden. In de eerste winter na herstel van de slenk bleek de drempel lokaal niet hoog genoeg waardoor kortdurend water van de slenk naar het Kleine Turfgat kon stromen. In het voorjaar van 2021 is daarom een nieuw wallichaam aangelegd (mededeling Landschap Overijssel).

1.3 Onderzoeksvragen

Op basis van het uitgevoerde onderzoek wordt in deze rapportage een antwoord geven op de volgende vragen:

1. Wat is de kwaliteit van de (water)bodem in het Grote Rietgat, de slenk en het Kleine Turfgat: draagt de bodem in natte tijden bij aan een verslechtering van de oppervlaktewaterkwaliteit? Dat is belangrijk om te weten omdat anders wellicht de focus op de landbouwpercelen ligt terwijl een te voedselrijke (water)bodem ook een bron van nutriënten kan zijn;
2. Welke kwaliteit grondwater komt binnen aan de rand van het intrekgebied van het Grote Rietgat (belangrijk om te weten) en hoe is de grondwaterkwaliteit aan de rand van de slenk (focus op de oostzijde in verband met de grondwaterstroming van oost naar west) en het Kleine Turfgat?
3. Wat is de uitspoeling vanuit de landbouwpercelen (verschillende eigenaren/pachters, verschillend beheer) naar het grondwater: leidt dit tot een verbetering of verslechtering van de grondwaterkwaliteit?
4. Wat is de oppervlaktewaterkwaliteit in het Grote Rietgat, de sloot die landbouwwater afvangt aan de westzijde, het Kleine Turfgat en de slenk ten noorden hiervan (uiteindelijk mogelijk resulterend in het verbinden van de slenk en het Kleine Turfgat)?

1.4 Aanpak monitoring

Het onderzoek was primair gericht op het monitoren van de oppervlaktewaterkwaliteit in het Grote Rietgat en in de slenk (in vergelijking met het Kleine Turfgat). De oppervlaktewaterkwaliteit wordt vooral bepaald door het toestromende grondwater en de eventuele nalevering van nutriënten uit de (water)bodem. De grondwaterkwaliteit wordt beïnvloed door de eventuele uitspoeling van nutriënten uit de landbouwpercelen. Om een verbetering of verslechtering van de waterkwaliteit te kunnen verklaren werd de kwaliteit van het oppervlakte-, grondwater en van het uitspoelende water uit de

landbouwpercelen twee keer per jaar gemeten tussen november 2021 en november 2024. De meetmomenten waren in de maand november (piek uitspoeling nutriënten aan het begin van de natte periode) en begin april (einde natte periode, na eventuele eerste bemesting in maart). In totaal werden zeven meetrondes uitgevoerd: november 2021, april 2022, november 2022, april 2023, november 2023, april 2024 en november 2024. De (water)bodemchemie werd eenmalig gemeten bij aanvang van de monitoring (november 2021). Gedurende het onderzoek is besloten om vanaf 2022 een extra meetronde in de maand januari op te nemen voor het uitspoelende water uit de landbouwpercelen. Afhankelijk van de neerslaghoeveelheden in de herfst, bleek dat de meetronde in november te vroeg kon zijn.

Doordat op de percelen een verschillend beheer wordt gevoerd en/of verschillende pachters/eigenaren het beheer uitvoeren, was het van belang om de mate van uitspoeling uit de verschillende percelen te monitoren. Op deze manier kon de koppeling worden gelegd tussen het gevoerde beheer (begeleiding door het Louis Bolk Instituut) en de mate van uitspoeling van nutriënten, maar was het ook mogelijk om het beheer bij te sturen. Zowel bij de slenk als bij het Grote Rietgat werd tevens de grondwaterkwaliteit van de zone buiten de uitgemijnde percelen gemeten zodat de kwaliteit van het toestromende grondwater ook bekend is.

In deze rapportage worden de analyseresultaten van het uitgevoerde onderzoek uitgebreid beschreven. Hierbij wordt aangegeven of het (nieuwe) grondgebruik een knelpunt vormt voor de natuurkwaliteit (en moet worden aangepast) en of de wal/dijk tussen de slenk en het Kleine Turfgat kan worden verwijderd.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de toegepaste onderzoeksmethoden beschreven. De resultaten van de monitoring worden in hoofdstuk 3 gepresenteerd, gevolgd door een samenvatting van de resultaten van het onderzoek en de aanbevelingen in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 bevat een overzicht van de gebruikte literatuur en hoofdstuk 6 de bijlagen.

2 Materiaal en methoden

2.1 Veldwerkzaamheden

2.1.1 Waterkwaliteit

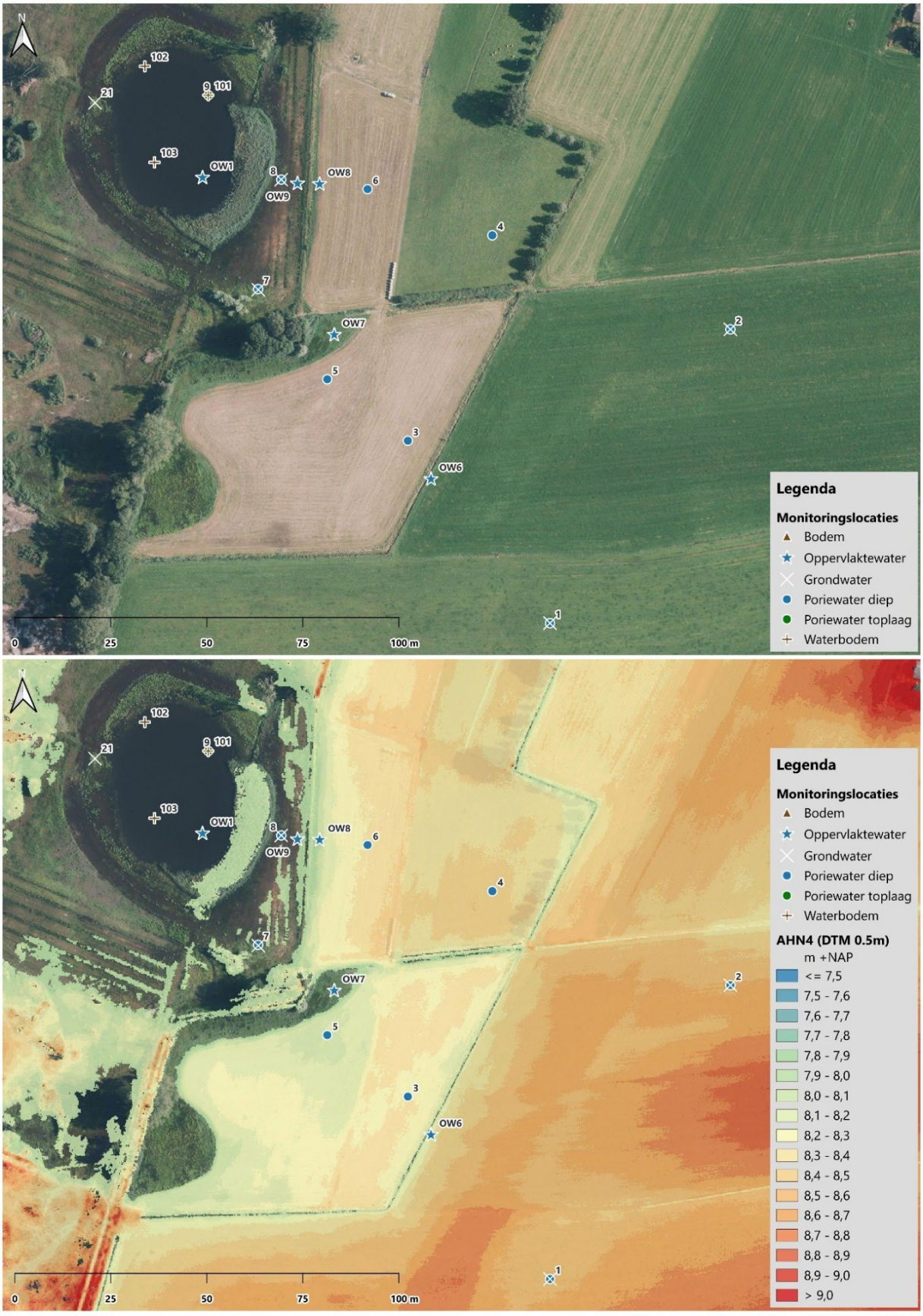
Grondwater

Op 4 en 5 oktober 2021 werden voor de monitoring van de grondwaterkwaliteit door ATKB 10 peilbuizen (filterdiepte ca. 150-200 cm-mv; Tabel 1) geplaatst. De boringen werden verricht met een Edelmanboor en de exacte boorlocaties, hoogte van het maaiveld en de hoogte van de bovenkant van de peilbuis werden ingemeten met een RTK-dGPS (Tabel 1). Het bodemprofiel werd beschreven volgens NEN 5104 (zie Bijlage 1 voor de profielbeschrijvingen). Tevens werd de actuele grondwaterstand genoteerd en indien waarneembaar in het profiel werd ook de GHG en GLG geschat op basis van hydromorfe kenmerken (Tabel 1). De peilbuizen werden afgewerkt met een straatpot zodat de buizen geen belemmering vormen voor het reguliere gebruik van de percelen (Figuur 10).

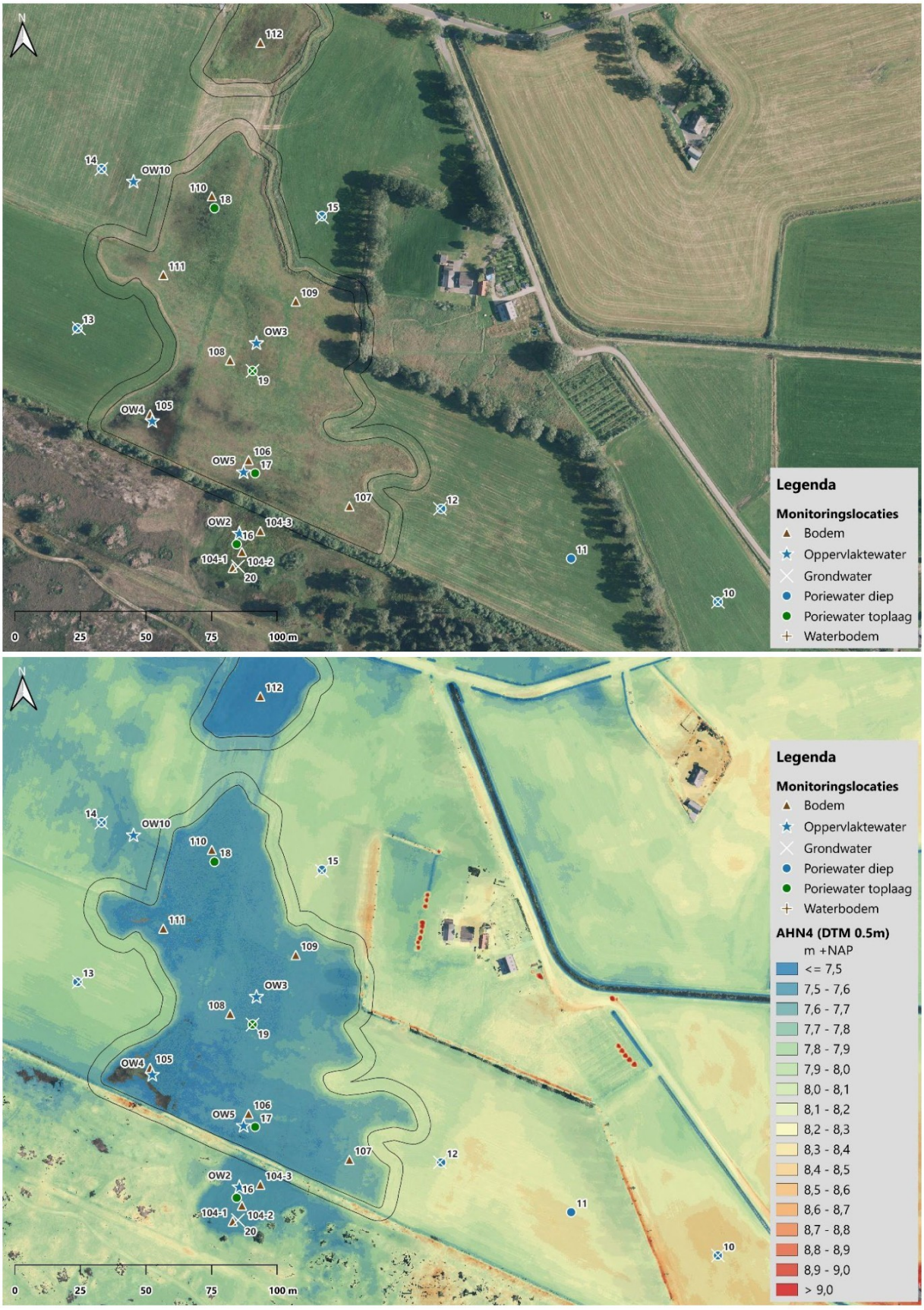
Tussen november 2021 en november 2024 werd de grondwaterkwaliteit gevolgd door twee keer per jaar (november en april) een grondwatermonster te verzamelen. Voor bemonstering werd de stijghoogte ten opzichte van maaiveld (bovenkant straatpot) gemeten. Bij de monstername werd vers toestromend grondwater opgevangen in een HDPE-pot van 250 ml. Naast de nieuw geplaatste peilbuizen werden ook twee bestaande peilbuizen bij het Kleine Turfgat bemonsterd (peilbuis 20 en 21; Tabel 1). Voor ligging van de peilbuizen zie Figuur 8 en Figuur 9.

Tabel 1. *Technische gegevens van de bemonsterde peilbuizen in het Boetelerveld. Gegeven zijn: datum plaatsing, coördinaten, maaiveldhoogte (MVH in m +NAP), bovenkant filter (BK_FILTER in m +NAP), filterdiepte (in cm-mv), actuele grondwaterstand (in cm-mv), gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG in cm-mv) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG in cm-mv). Peilbuis 20 (bij Kleine Turfgat; 27HG008F1) en 21 (bij Grote Rietgat; 27H117344) betreffen bestaande peilbuizen in het gebied. Voor de ligging van de peilbuizen zie Figuur 8 en Figuur 9.*

PEILBUIS	DATUM	X	Y	MVH_NAP	BK-FILTER_NAP	FILTER	GWS	GHG	GLG
1	5-10-2021	219924	485978	8,56	6,96	150-250	130	70	150
2	5-10-2021	220018	486131	8,59	6,96	150-250	120	80	150
7	4-10-2021	219774	486151	7,65	6,50	160-260	45	10	90
8	4-10-2021	219784	486209	7,53	6,55	150-250	30	0	70
10	4-10-2021	219802	486740	8,36	6,58	165-265	130	70	160
12	4-10-2021	219590	486811	8,11	6,02	195-295	120	80	160
13	4-10-2021	219317	486951	7,94	6,52	130-230	100	50	140
14	4-10-2021	219331	487069	7,65	6,37	120-220	90	40	120
15	4-10-2021	219500	487033	8,11	6,35	160-260	130	70	150
19	4-10-2021	219447	486916	7,22	6,24	240-340	50	30	90
20		219436	486767	7,66?					
21		219687	486249	7,48	7,28	20-200			



Figuur 8. *Overzicht van de ligging van monsterpunten in de omgeving van het Grote Rietgat op de luchtfoto (boven) en hoogtekaart (AHN4; onder).*



Figuur 9. *Overzicht van de ligging van monsterpunten in de omgeving van het Kleine Turfgat en de slenk op de luchtfoto (boven) en hoogtekaart (AHN4; onder).*

Tabel 2. *Coördinaten en bemonsteringsdiepte (in cm-mv) van de locaties waar poriewater (1 t/m 19) en oppervlaktewater (OW1 t/m OW10) werd verzameld. Voor de ligging van de locaties zie Figuur 8 en Figuur 9.*

LOCATIE	X	Y	DIEPTE	OMSCHRIJVING
1	219924	485978	65	Perceel in regulier agrarisch gebruik
2	220018	486131	65	Perceel in regulier agrarisch gebruik
3	219850	486073	65	Uitmijnperceel
4	219894	486180	65	Uitmijnperceel
5	219808	486105	65	Uitmijnperceel
6	219829	486204	65	Uitmijnperceel
7	219772	486152	65	Nabij Grote Rietgat
8	219784	486209	65	Nabij Grote Rietgat
9	219746	486253	15	Waterbodem Grote Rietgat
10	219802	486740	75	Perceel in regulier agrarisch gebruik
11	219690	486773	75	Uitmijnperceel
12	219591	486811	75	Uitmijnperceel
13	219313	486950	75	Uitmijnperceel
14	219332	487070	75	Uitmijnperceel
15	219500	487034	75	Uitmijnperceel
16	219435	486784	15	Kleine Turfgat, bij locatie 104-2
17	219449	486838	15	Slenk, zuidelijk deel
18	219418	487040	15	Slenk, noordelijk deel
19	219447	486916	15	Slenk, centrale deel
OW1	219743	486210		Grote Rietgat
OW2	219437	486792		Kleine Turfgat
OW3	219450	486937		Slenk, centrale deel
OW4	219371	486878		Slenk, bij bodemlocatie 105
OW5	219440	486839		Slenk, bij bodemlocatie 106
OW6	219862	486053		Landbouwsloot
OW7	219812	486128		Water op maaiveld bij locatie 5
OW8	219804	486207		Water op maaiveld bij locatie 6
OW9	219793	486207		Water op maaiveld bij locatie 8
OW10	219356	487060		Water op maaiveld bij locatie 14



Figuur 10. *Op de agrarische percelen werden de geplaatste peilbuizen afgewerkt met een straatpot en de keramische cups met een halve stoeptegel (links). Het poriewater werd bemonsterd door onder vacuüm met een injectiespuit water uit de bodem te onttrekken (links en rechts). Foto's:* [redacted]

Poriewater

Om de samenstelling van het poriewater te kunnen bepalen werden in oktober 2021 op 19 locaties keramische cups (lysimeters) geplaatst (Tabel 2). Voor ligging van de poriewaterlocaties zie Figuur 8 en Figuur 9. Op de agrarische percelen werd poriewater verzameld op 65-75 cm-mv en in het Boetelerveld op 15 cm diepte (wortelzone). Op de agrarische percelen werden de keramische cups afgewerkt met een stoeptegel zodat ze geen belemmering vormen voor het reguliere gebruik (Figuur 10). Tussen november 2021 en november 2024 werd de samenstelling van het poriewater gevolgd door twee keer per jaar (november en april) met een 60 ml injectiespuit onder vacuüm poriewater uit de bodem te onttrekken (Figuur 10). Vanwege de hoge waterstanden in november 2023 werd op locatie 5 hoger op de flank een tijdelijke keramische cup op vergelijkbare diepte geplaatst (XY-coördinaten: 219821-486106).

Oppervlaktewater

Tussen november 2021 en november 2024 werd de kwaliteit van het oppervlaktewater op drie locaties (OW1 t/m OW3; Tabel 2) gevolgd door twee keer per jaar (november en april) op 10 cm onder het wateroppervlak een watermonster te verzamelen in een luchtdicht afgesloten HDPE-pot van 500 ml. Afhankelijk van de aanwezigheid van oppervlaktewater werd regelmatig een extra oppervlaktewatermonster (OW4 t/m OW10) verzameld. Voor de ligging van de oppervlaktewaterlocaties zie Figuur 8 en Figuur 9. De watermonsters werden vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In paragraaf 2.2 worden de analysemethoden nader toegelicht.

2.1.2 Bodemchemie

Op de 10 locaties waar nieuwe peilbuizen werden geplaatst, werden op 5 oktober 2021 ook op drie diepten met een edelmanboor bodemmonsters verzameld. Daarbij werd de volgende bemonsteringsstrategie gehanteerd:

- Toplaag (0-20 cm-mv);
- Bodemlaag (20 cm dikte) net boven de GHG (variërend vanaf 35 tot 60 cm-mv);
- Bodemlaag (20 cm dikte) net boven de GLG (variërend vanaf 90 tot 140 cm-mv).

Tabel 3. *Datum bemonstering, coördinaten en bemonsteringsdiepte (in cm-mv) van de (water)bodemchemielocaties. Voor de ligging van de locaties zie Figuur 8 en Figuur 9.*

LOCATIE	DATUM	X	Y	DIEPTE	OMSCHRIJVING
SLIB1	18-8-2021	-	-	-	Slib vrijgekomen bij baggeren Grote Rietgat
SLIB2	18-8-2021	-	-	-	Slib vrijgekomen bij baggeren Grote Rietgat
101	19-10-2021	219746	486253	0-15	Grote Rietgat, slibbodem
102	19-10-2021	219713	486268	0-15	Grote Rietgat, leembodem
103	19-10-2021	219718	486218	0-15	Grote Rietgat, slib/leem
104-1	19-10-2021	219432	486766	0-15	Kleine Turfgat, flank met blauwe knoop en blauwe zegge
104-2	19-10-2021	219439	486778	0-15	Kleine Turfgat, venige laagte
104-3	19-10-2021	219453	486794	0-15	Kleine Turfgat, flank voor dijk (o.a. blauwe knoop)
105	19-10-2021	219369	486883	0-15	Slenk
106	19-10-2021	219444	486848	0-15	Slenk
107	19-10-2021	219521	486813	0-15	Slenk
108	19-10-2021	219430	486924	0-15	Slenk
109	19-10-2021	219480	486969	0-15	Slenk
110	19-10-2021	219416	487049	0-15	Slenk
111	19-10-2021	219379	486989	0-15	Slenk
112	19-10-2021	219453	487166	0-15	Slenk

Op 18 augustus 2021 werden, tijdens het opschonen van het Grote Rietgat, twee monsters van het verwijderde slib verzameld uit het depot (Tabel 3). Na afronding van de werkzaamheden werden op 19 oktober 2021 drie monsters verzameld van de nieuwe toplaag (0-15 cm) van de waterbodem van het Grote Rietgat. De waterbodem werd bemonsterd door met een zuigerboor in 3-5 steken een PP-emmertje (1 liter) te vullen en luchtdicht af te sluiten met een deksel.

Op 19 oktober 2021 werd tevens de toplaag van de bodem (0-15 cm) van het Kleine Turfgat en de slenk bemonsterd (Tabel 3).

De (water)bodemmonsters werden vervoerd naar het lab en bewaard bij 4°C tot verdere verwerking. In paragraaf 2.2 worden de analysemethoden nader toegelicht.

2.2 Chemische analyse

2.2.1 Watermonsters

De pH werd gemeten met een standaard $Ag/AgCl_2$-elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO_2 en HCO_3) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit (alleen oppervlaktewater) werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol/l zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van -20 ºC tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 ºC.

2.2.2 Bodemmonsters

Van de waterbodemmonsters werden de volgende variabelen bepaald:

- Samenstelling poriewater;
- Vochtpercentage, organische stofgehalte en bodemdichtheid;
- Totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide).

Van alle terrestrische bodemmonsters werden de volgende variabelen bepaald:

- Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid;
- Olsen-P extractie: een maat voor de concentratie plantenbeschikbaar P;
- Totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide);
- pH-zout en zoutuitwisselbare concentraties van o.a. fosfor, ammonium, nitraat en calcium.

Van de monsters van de toplaag van de bodem in de slenk werden aanvullend de volgende variabelen bepaald:

- IJzer en aluminium gebonden P, fosfaatverzadigingsgraad (oxalaatextractie).

Poriewater waterbodem

Voor het verzamelen van poriewater uit de waterbodem werd een gaatje geboord in de deksel van de emmer, waarna een bodemvochtbemonsteraar (Rhizon SMS 10 cm; Eijkelkamp Soil & Water) in het waterbodemmonster werd gestoken. De teflon buitenkant van deze Rhizon's bevat poriën met een doorsnede van ongeveer 0,15 µm. De Rhizons werden via een slangetje verbonden met een 60 ml injectiespuit, waarmee onderdruk kan worden aangebracht. Hiermee werd anaeroob poriewater uit de waterbodems onttrokken. Het verzamelde poriewater werd direct na verzamelen verder geanalyseerd.

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 48 uur bij 60 °C. Omdat de bakjes precies tot aan de rand werden afgevuld (volume = 40 ml) konden later ook de concentraties worden omgerekend naar mol per liter bodemvolume. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Olsen-extractie

Plantenbeschikbaar fosfaat werd met behulp van een Olsen-extractie (Olsen e.a.,1954) bepaald. Het principe van deze extractiemethode is dat natriumbicarbonaat ($NaHCO_3$) zorgt voor een daling van de concentratie opgeloste calciumionen via de vorming van onoplosbaar calciumcarbonaat ($CaCO_3$). Hierdoor stijgt de concentratie opgelost fosfaat. Natriumbicarbonaat brengt ook de labiele, voor planten snel beschikbare, proportie van de organische fractie in oplossing. Voor de Olsen-extractie werd aan 3 gram droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol/l natriumbicarbonaat ($NaHCO_3$) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van natronloog (NaOH). Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4 °C bewaard tot verdere analyse. De Olsen-P concentraties werden berekend in µmol per liter bodem.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3, 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2, 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestrueerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli Q water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4 °C bewaard voor verdere analyse. Concentraties van elementen werden berekend in µmol per liter bodem.

Zoutextractie (NaCl-extractie)

Bij een natriumchloride(zout)-extractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride. Met deze extractie kan onder andere de pH, ammonium- en nitraatbeschikbaarheid van de bodem bepaald worden. Daarnaast kan op basis van de aluminium/calcium-ratio een goede inschatting gemaakt worden van de buffercapaciteit van de bodem. Voor een zoutextractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml 0,2 mol/l natriumchloride (NaCl) toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. De elementenconcentraties werden berekend in µmol per liter bodem.

Oxalaatextractie

Met een oxalaatextractie kan de concentratie ijzer- en aluminiumgebonden fosfaat worden bepaald. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 2,5 gram droog materiaal en met 50 ml extractiemedium ($(COONH_4)_2.H_2O$: 0,12 mol/l en $H_2C_2O_4$: 0,12 mol/l) uitgeschud op een schudmachine (105 r.p.m). De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat werd niet-aangezuurd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Op basis van een oxalaatextract kan ook de fosfaatverzadigingsgraad (FVG; fractie van het ijzer en aluminium in de bodem dat fosfaat heeft gebonden) van de waterbodem worden berekend:

$$FVG = \frac{P\text{-}ox}{0{,}5 \times (Fe\text{-}ox + Al\text{-}ox)} \times 100\%$$

2.2.3 Elementenanalyse

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in bodemextracten en watermonsters werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; ARCOS MV of GREEN DUO, Spectro, Kleve, Duitsland). De concentraties nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van respectievelijk salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ ascorbinezuur. Chloride (Cl^-) werd colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na^+) en kalium (K^+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de monitoring van de oppervlakte-, porie- en grondwaterkwaliteit in de periode november 2021-2024 beschreven. De eerste meetperiode (november 2021 t/m april 2022) betreft de nulmeting (uitmijnbeheer is in voorjaar 2022 gestart), de metingen van de periode november 2022 t/m april 2023 geven een beeld van het eerste effectjaar, de metingen van november 2023 t/m april 2024 van het tweede effectjaar en de meting van november 2024 van het derde effectjaar. In de periode 2022-2024 werd ook in de maand januari de samenstelling van het poriewater uit de agrarische percelen bepaald.

De samenstelling van het water wordt beïnvloed door (biogeo)chemische processen. In een viertal kaders worden deze processen nader toegelicht. In het najaar van 2021 werden ook eenmalig (water)bodemmonsters geanalyseerd uit het Grote Rietgat, Kleine Turfgat en de slenk.

3.1 Kwaliteit oppervlaktewater

3.1.1 Grote Rietgat

In de zomer van 2021 werd het Grote Rietgat opgeschoond (Figuur 11) om mobilisatie van nutriënten uit de geaccumuleerde sliblaag te reduceren. De samenstelling van het oppervlaktewater werd tussen november 2021 en november 2024 tien keer bepaald (OW1 in Tabel 4). Vlak na opschoning (november 2021) werd een relatief hoge ammoniumconcentratie gemeten (93 µmol/l), mogelijk als verstoring door de baggerwerkzaamheden. In de periode 2022-2024 waren de ammoniumconcentraties namelijk fors lager (< 25 µmol/l). De concentratie reactief fosfaat in de waterlaag fluctueert (0,1-1,3 µmol/l), waarbij in de winterperiode de concentratie vaak het hoogste is (minder opname door (water)planten en/of algen). In januari 2024 werd de hoogste fosfaatconcentratie gemeten (1,3 µmol/l; Tabel 4), waarschijnlijk als gevolg van de langdurig hoge waterstanden in 2023 (zie later deze paragraaf). Zwakgebufferde vennen worden gekenmerkt door zeer lage concentraties reactief fosfaat in de waterlaag (< 0,2-0,3 µmol/l; Brouwer e.a., 1996).

Zowel in 2021, 2022 als 2023 werden in de maand november de hoogste nitraat- en sulfaatconcentraties gemeten (in 2023 wel lagere concentraties). Nitraat en sulfaat zijn mobiele ionen en kunnen aan het begin van de natte periode met het (grond)water vanuit de drooggevallen oevers en omgeving van het Grote Rietgat naar het ven spoelen. Ondanks de toename van de nitraat- en sulfaatconcentraties zijn deze, ook in november nog, relatief laag. In 2024 werd dit patroon niet waargenomen omdat de oevers en directe omgeving van het Grote Rietgat maar (zeer) beperkt zijn drooggevallen, waardoor er geen oxidatieprocessen in de toplaag van de bodem hebben plaatsgevonden.



Figuur 11. *In de zomer van 2021 werd het Grote Rietgat opgeschoond. Hierbij werd de geaccumuleerde sliblaag grotendeels verwijderd. Foto's:* [redacted]

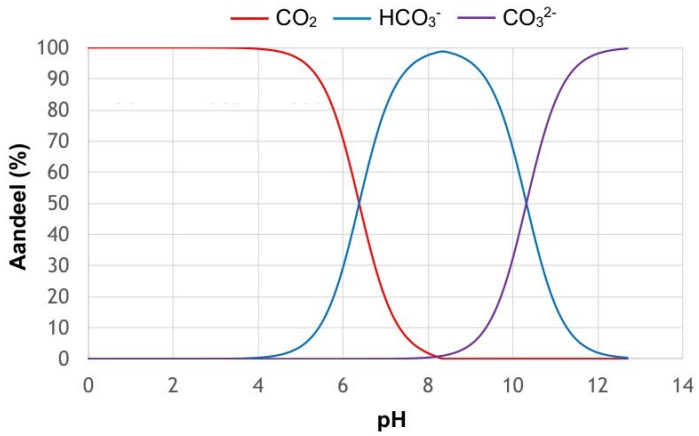
Kader 1: Anorganisch koolstof en zuurbuffering in water

Anorganisch koolstof in water

Koolstofdioxide (CO_2) uit de atmosfeer en carbonaten uit de bodem zijn de belangrijkste bronnen van anorganische koolstof (TIC) in het oppervlaktewater. Hoewel CO_2 zeer goed in water oplost is de beschikbaarheid voor waterplanten relatief klein omdat de diffusiesnelheid van CO_2 in water zeer laag is. Oppervlaktewater dat in evenwicht is met de atmosfeer bevat slechts 16 µmol CO_2/l. Ondiepe wateren ontvangen een groot deel van hun anorganische koolstof uit de bodem. Vooral wanneer er al CO_2 in het water aanwezig is lossen carbonaten uit de bodem op in het water (reactie 1). Naast het oplossen van carbonaten uit de bodem zijn de aanvoer van (bi)carbonaatrijk grond- en/of oppervlaktewater belangrijke bronnen van anorganisch koolstof.

(1) $CaCO_3 + CO_2 + H_2O \Rightarrow Ca^{2+} + 2HCO_3^-$

In het water kan anorganisch koolstof, afhankelijk van het koolzuurevenwicht (Figuur A), aanwezig zijn in de vorm van opgelost kooldioxide (CO_2), bicarbonaat (HCO_3^-) of carbonaat (CO_3^{2-}). In zure wateren (pH < 4,2) is al het anorganisch koolstof aanwezig als CO_2. Daarboven neemt het aandeel van bicarbonaat toe. Bij pH 8,2 is al het organisch koolstof aanwezig in de vorm van bicarbonaat en is er geen CO_2 meer aanwezig in het water.



Figuur A. *Het koolzuurevenwicht in water. Aandeel CO_2, bicarbonaat (HCO_3^-) en carbonaat (CO_3^{2-}) als functie van de pH.*

Bij aanvoer van extra bicarbonaat naar het oppervlaktewater zal, afhankelijk van de pH en de aanwezige concentratie CO_2 of carbonaat, een deel van het bicarbonaat omgezet worden in CO_2 of carbonaat. Daarnaast heeft de verhoging van de bicarbonaatconcentratie in het oppervlaktewater ook een effect op de pH: deze zal meer richting 8,2 verschuiven. In zuur water neemt de pH toe bij een toename van bicarbonaat, in water met een zeer hoge pH neemt de pH juist af. Door een toename van bicarbonaat in het water, is het water sterker gebufferd tegen verzuring.

Zuurbuffering in water

Het zuurbufferend vermogen in water wordt de alkaliniteit genoemd. Het bicarbonaat-buffersysteem vormt de belangrijkste bijdrage aan de buffercapaciteit in water. Bij het bicarbonaat-buffersysteem worden vrijgekomen protonen (H^+) geneutraliseerd onder vorming van koolzuur (H_2CO_3). Het koolzuur dissocieert grotendeels in CO_2 en water (reactie 2).

(2) $H^+ + HCO_3^- \Leftrightarrow H_2CO_3 \Leftrightarrow CO_2 + H_2O$

In dystrofe wateren met veel opgeloste humuszuren zorgt de binding van zuurionen aan de carboxylgroepen van humuszuren ook voor zuurbufferend vermogen. In ondiepe meren draagt buffering vanuit het sediment/waterbodem ook bij aan de buffering in de waterlaag. In diepe meren is het volume van de waterlaag ten opzichte van het oppervlak van de waterbodem zo groot dat buffering vanuit de waterbodem zeer beperkt is.

De pH van het oppervlaktewater is hoog (pH: 7,0-8,8) en het water is sterk gebufferd (alkaliniteit: ca. 1200-4000 µeq/l; Tabel 4). In 2021 en 2022 werd de sterkste buffering van het oppervlaktewater gemeten in de maand november (alkaliniteit > 3000 µeq/l). In de natte jaren 2023 en 2024 was de buffering in het najaar aanmerkelijk lager (ca. 1700-1900 µeq/l; Tabel 4), waarschijnlijk als gevolg van de grote neerslaghoeveelheden (meer regenwaterinvloed).

Tabel 4. *Chemische samenstelling van het oppervlaktewater van het Grote Rietgat (OW1) en een landbouwsloot ten oosten van het Boetelerveld (OW6). Vanaf november 2023 werd op drie extra locaties (OW7 t/m OW9) nabij het Grote Rietgat water op maaiveld (indien aanwezig) bemonsterd. Alk. = alkaliniteit in µeq/l en EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 8.*

Datum	Code	Locatie	pH	Alk.	Turb.	EGV	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	PO_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	P	S
				µeq/l	NTU	µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
23-11-2021	OW1	Rietgat	7,50	3971	12	371	237	3070	11,4	93,0	0,1	476	76	353	4,4	1491	8,0	172	1,4	183
13-4-2022			8,24	1423	7	169	20	1469	0,8	4,8	0,8	290	87	278	2,8	694	9,4	129	2,6	87
21-6-2022			7,88	2471	14	106	76	2365	0,3	4,0	0,3	394	150	337	3,8	1170	4,6	142	1,0	86
23-11-2022			7,54	3062	11	336	223	3214	6,3	24,1	0,8	602	152	387	3,7	1633	6,0	205	1,4	276
4-4-2023			7,82	1718	8	246	63	1742	0,4	1,8	0,8	461	142	245	1,0	884	6,8	162	2,1	104
6-7-2023			8,83	2184	19	310	8	2088	0,3	2,9	0,3	547	130	505	9,2	1070	8,1	164	1,1	89
21-11-2023			7,32	1913	9	262	229	1994	2,4	1,5	0,6	417	130	388	4,0	975	11,5	165	1,2	118
23-1-2024			7,04	1182	.	155	220	1006	2,9	5,5	1,3	305	79	210	3,0	559	17,5	118	2,0	54
8-4-2024			7,34	1500	9	168	145	1307	3,9	1,3	0,4	238	82	105	1,0	601	14,7	111	0,9	41
18-11-2024			7,36	1678	18	185	181	1709	3,5	14,8	0,4	170	111	40	2,7	678	15,1	92	1,4	41
23-11-2022	OW6	Sloot	9,06	1671	67	349	4	1664	0,2	3,4	0,6	1327	124	1421	16,7	974	15,1	259	2,7	367
4-4-2023			7,68	3282	9	536	181	3572	0,1	1,7	1,5	1289	614	1166	1,7	1458	13,3	473	2,8	460
21-11-2023			6,71	1857	30	301	852	1801	56,8	27,2	18,1	517	604	535	26,7	600	30,4	347	32,5	247
8-4-2024			6,90	3654	14	473	954	3146	3,2	1,1	2,2	578	523	340	0,9	1414	39,8	417	6,4	347
18-11-2024			6,90	1395	64	182	364	1207	2,2	21,8	0,5	319	148	235	21,5	455	93,0	165	9,1	63
21-11-2023	OW7	nabij loc. 5	6,79	1838	34	311	676	1709	36,9	15,4	8,1	503	495	504	24,3	754	51,4	344	20,1	265
8-4-2024			7,49	2692	41	342	206	2655	2,6	3,5	1,1	421	255	226	1,2	1159	156,0	313	8,3	221
21-11-2023	OW8	nabij loc. 6	6,67	1205	51	132	595	1144	4,1	3,1	2,1	85	130	83	25,5	445	61,6	188	10,9	31
8-4-2024			6,84	1460	15	150	445	1289	2,5	2,0	1,7	132	139	47	1,1	471	126,0	191	13,1	15
21-11-2023	OW9	nabij loc. 8	7,29	1996	9	263	259	2082	2,9	1,3	0,7	415	130	384	4,2	950	11,8	163	1,2	117
18-11-2024			6,97	1317	14	141	280	1083	0,3	1,9	0,4	157	91	106	1,1	496	3,2	72	0,6	35

De hoge alkaliniteit van het Grote Rietgat past niet bij het voorkomen van soorten van zwakgebufferde vennen. Zwakgebufferde vennen worden namelijk gekenmerkt door een alkaliniteit van 200-500 µeq/l (Brouwer e.a., 2016). In oppervlaktewater wordt de buffercapaciteit vrijwel geheel bepaald door de hoeveelheid opgelost bicarbonaat (HCO_3^-) en carbonaat (CO_3^{2-}; zie ook kader 1). Bicarbonaat kan op verschillende manieren worden aangevoerd: uit een kalkhoudende ondergrond, door aanvoer van gebufferd grond- of oppervlaktewater of door anaerobe afbraak (Brouwer e.a., 2016). Aangezien een toename van de bicarbonaatconcentratie samengaat met een toename van de calciumconcentratie is interne generatie via anaerobe afbraak niet waarschijnlijk. Het Grote Rietgat is oorspronkelijk een doorstroomven (Jansen, 2010), zodat het calcium en bicarbonaat waarschijnlijk worden aangevoerd via het grondwater (voor de kwaliteit van het grondwater zie paragraaf 3.3).

De sterke mate van buffering van het oppervlaktewater van het Grote Rietgat is onverwacht en de vraag is of dit al langere tijd zo is of recent is toegenomen. In de zomer van 2021 zijn namelijk sloten in de directe omgeving van het Grote Rietgat gedempt om in het Boetelerveld de grondwaterinvloed te vergroten (Figuur 2). De oppervlaktewaterkwaliteit van het Grote Rietgat is in 2016 bij een aantal eerdere onderzoeken in beeld gebracht [redacted] e.a., 2025; Kieskamp & Jansen, 2016). In augustus/september 2016 was de alkaliniteit lager (ca. 1000-1500 µeq/l; Tabel 5), maar de waterlaag was wel matig gebufferd en niet zwak gebufferd. De nutriëntenconcentraties waren in 2016, voor baggeren, niet hoger dan in 2021-2023. Het is dus goed mogelijk dat door het dempen van de sloten de invloed van sterk gebufferd grondwater is toegenomen en het zwak tot matig gebufferde karakter van het Grote Rietgat is afgenomen.

Tabel 5. *Chemische samenstelling van het oppervlaktewater van het Grote Rietgat in augustus 2016. Alk. = alkaliniteit in µeq/l en EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Bron data:* [redacted] *e.a. (2025) en Kieskamp & Jansen (2016).*

Datum	Code	pH	Alk.	Turb.	EGV	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	PO_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	P	S
			µeq/l	NTU	µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
17-8-2016	OW	7,14	982	14	142	136	786	0,9	4,1	0,0	319	12	289	1,2	454	3,1	85	0,3	57
1-9-2016	OW1	7,17	1300		179	189	1159	0,3	4	0,1	339	27	337	2	623	6	100	0	76
	OW3	6,68	1500		198	696	1382	0,7	50	0,3	361	33	342	1	679	6	109	0	60
	OW4	7,47	1300		178	99	1213	0,7	9	0,3	346	32	349	2	614	6	98	0	71
	OW5	7,36	1300		185	134	1275	0,0	4	0,2	341	32	349	2	646	6	101	0	72



Figuur 12. *Op 4 april 2023 stond het waterpeil in het Grote Rietgat zeer hoog (linksboven). De drempel tussen het agrarische gebied en het Grote Rietgat was nog wel hoog genoeg (rechtsboven). Dit was echter niet altijd het geval. In zeer natte periodes (o.a. januari 2024; veldobservaties Landschap Overijssel) stroomde water over de wal richting het Grote Rietgat. Tijdens een veldbezoek op 6 juli 2023 werd duidelijk dat de oeverzone pas recent was drooggevallen (linksonder). Het hoge waterpeil tot ver in het voorjaar heeft ook geleid tot bloei van draadalgen welke na droogval de oever verstikken (rechtsonder). Foto's:* [redacted] *en* [redacted]

In zwakgebufferde vennen komen karakteristieke waterplanten, zoals duizendknoopfonteinkruid en oeverkruid, voor die alleen CO_2 als koolstofbron kunnen gebruiken. Soorten die alleen CO_2 kunnen gebruiken hebben in zachte wateren (max. 500-1000 µmol HCO_3^-/l) een competitief voordeel boven planten die ook bicarbonaat (HCO_3^-) kunnen gebruiken. Wanneer de bicarbonaatconcentratie toeneemt (> 1000 µmol HCO_3^-/l) verliezen deze soorten echter hun competitieve voordeel en worden ze verdrongen door meer algemene, bicarbonaat gebruikende waterplanten. In juni 2022 werden nog wel soorten van zwak gebufferd water aangetroffen, zoals stijve moerasweegbree, vlottende bies, duizendknoopfonteinkruid en pilvaren. Oeverkruid werd echter niet meer aangetroffen. In 2016 was oeverkruid nog wel aanwezig [redacted] e.a., 2025) en ook in 2019 (veldobservaties Landschap Overijssel). Zolang er voldoende CO_2 in het water aanwezig is, kunnen deze soorten zich mogelijk nog handhaven. Het is dan wel belangrijk dat de pH niet te hoog wordt. Bij een toename van de pH neemt het relatieve aandeel van anorganisch koolstof in de vorm van CO_2 namelijk af (zie kader 1). In april 2022,

juni 2022, april 2023 en juli 2023 waren de CO_2-concentraties (zeer) laag (< 100 µmol/l; Tabel 4) waardoor het voor CO_2-gebruikers lastig wordt om zich te handhaven onder de laagwaterlijn.

Tijdens het veldwerk op 4 april 2023 bleek dat het waterpeil van het Grote Rietgat zeer hoog was (Figuur 12). De aangrenzende agrarische percelen waren ook zeer nat, maar de opgeworpen grondwal zorgde ervoor dat er geen water vanuit het agrarisch gebied naar het Grote Rietgat kon stromen (Figuur 12). Tijdens een veldbezoek op 6 juli 2023 werd geconstateerd dat de oeverzone van het Grote Rietgat pas recentelijk was drooggevallen (Figuur 12). Vanwege de te hoge buffering van het oppervlaktewater is dit juist de zone waar soorten van zwakgebufferde vennen zich na droogval kunnen handhaven. Het hoge waterpeil tot ver in het voorjaar heeft, waarschijnlijk samen met eutrofiering door ganzen, ook geleid tot bloei van draadalgen (FLAB) die na droogval van de oever de kieming van soorten van zwakgebufferde vennen belemmerde (Figuur 12). Uit analyse van het oppervlaktewater blijkt dat het hoge waterpeil tot laat in het voorjaar niet heeft geleid tot interne eutrofiering (Tabel 4). In juli 2023 werden stijve moerasweegbree, vlottende bies, duizendknoopfonteinkruid nog wel aangetroffen op de drooggevallen oever, maar wel in lagere aantallen dan in 2022. Om deze soorten te behouden is het belangrijk dat er een mogelijkheid komt om bij een te hoog waterpeil in het voorjaar water af te laten. Te late droogval van de oeverzone zal waarschijnlijk resulteren in een verdere achteruitgang van de soorten van zwakgebufferde vennen en een hoogwaterpeil in zomer kan leiden tot algenbloei, rietsterfte en interne eutrofiering (Brouwer e.a., 2008). Het is belangrijk om te monitoren of soorten van zwakgebufferde vennen zich de komende jaren weten te handhaven in het Grote Rietgat.



Figuur 13. *Op 21 november 2023 stond het waterpeil van het Grote Rietgat zeer hoog (linksboven). De laagste delen van de tijdelijke grondwal tussen het agrarisch gebied en het Grote Rietgat stonden bijna onder water (rechtsboven). Op 18 november 2024 stond het waterpeil lager dan in het jaar ervoor (linksonder). Nabij locatie 8 werd in november 2024 massaal vlottende bies, een soort van zwak gebufferd water, aangetroffen (rechtsonder). Foto's:* [redacted] *en* [redacted]

Vanwege de vele regenval in het najaar van 2023 stond het waterpeil in november 2023 nog hoger dan in april 2023 en stonden de laagste delen van de tijdelijke grondwal tussen het Grote Rietgat en de

agrarische percelen bijna onder water (Figuur 13). In januari 2024 stroomde er uiteindelijk wel water over de grondwal (veldobservaties Landschap Overijssel). In november 2023 werd aan beide kanten van de grondwal een extra oppervlaktewatermonster genomen (OW8 en OW9 in Tabel 4). Het water op maaiveld van het agrarische perceel (OW8) was minder sterk gebufferd en vooral rijker aan fosfor (10,9 ten opzichte van 1,2 µmol P/l; Tabel 4). Door de natte omstandigheden wordt er door de reductie van ijzer (concentratie ijzer is ook hoger) fosfaat nageleverd vanuit de P-rijke (voormalige landbouw)bodem. Nabij locatie 5 werd ook water op maaiveld bemonsterd (OW7) en dit water was nog sterker verrijkt met fosfaat (20,1 µmol P/l; Tabel 4). In april 2024 werd op locatie OW7 en OW8 nogmaals het water op maaiveld bemonsterd en de P-concentraties waren nog altijd hoog (8,3-13,1 µmol/l). De hoge ijzerconcentraties (126-156 µmol/l) duiden weer op de reductie van ijzer in de toplaag van de bodem, waarbij het opgeloste gereduceerde ijzer wordt nageleverd naar het oppervlaktewater. Om eutrofiëring van het Grote Rietgat met fosfaat te voorkomen, is het belangrijk dat water vanuit het agrarische gebied niet over de tijdelijke grondwal kan afstromen naar het Grote Rietgat.

In november 2024 was het waterpeil van het Grote Rietgat lager dan in 2023 (Figuur 13). Nabij locatie 8 (Figuur 8) groeide massaal vlottende bies (Figuur 13), een kenmerkende oeversoort van zwak gebufferde wateren. Het oppervlaktewater op deze locatie (OW9) was matig gebufferd (alkaliniteit: 1317 µeq/l) en voedselarm (Tabel 4).

In het landbouwgebied ten oosten van het Grote Rietgat (Figuur 14) werd vanaf november 2022 de waterkwaliteit van een landbouwsloot tussen locatie 1 en 3 bemonsterd (OW6 in Figuur 8). In november 2022 waren in de sloot veel draadalgen (FLAB) aanwezig (Figuur 14). Door de fotosynthetische activiteit van de draadalgen was de pH zeer hoog (pH: 9,1; Tabel 4). Op de overige meetmomenten was de pH lager (6,7-7,7). Het slootwater is matig tot sterk gebufferd, waarbij de alkaliniteit in het voorjaar hoger is dan in het najaar (3282-3654 µeq/l ten opzichte van 1395-1857 µeq/l). In het voorjaar (april) wordt de sloot sterker gevoed door gebufferd grondwater dan in het najaar.



Figuur 14. *Impressie van de graslandpercelen ten oosten van het Grote Rietgat (links). In de sloot ten oosten van locatie 3 was in november 2022 veel draadalgen (FLAB) aanwezig (rechts). Foto:* [redacted] *en* [redacted]

Ondanks de aanwezigheid van draadalgen was het slootwater in november 2022 niet sterk geëutrofieerd, waarschijnlijk doordat de nutriënten al opgenomen waren door de draadalgen. In november 2023 was het slootwater wel verrijkt met stikstof en vooral fosfaat (PO_4: 18,1 µmol/l; Tabel 4), waarschijnlijk door de mobilisatie en uitspoeling van nutriënten uit de voedselrijke bodem van de percelen als gevolg van de hoge waterstanden. Ook in 2024 was het slootwater rijker aan fosfaat en ammonium.

3.1.2 Kleine Turfgat

Het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat (OW2) is voedselarm en zwak tot matig gebufferd (Tabel 6). In november 2022, na een droge zomer, was de alkaliniteit van het oppervlaktewater lager in vergelijking

tot de maand november na de natte zomers van 2021, 2023 en 2024 (ca. 250 µeq/l ten opzichte van 750-1000 µeq/l; Tabel 6). De calciumconcentratie varieerde in de periode november 2021 t/m november 2023 vrijwel niet (ca. 300-400 µmol/l). In januari en april 2024 was de calciumconcentratie lager (ca. 170-200 µmol/l) als gevolg van de toename van de invloed van regenwater (zie ook paragraaf 3.2.2).

Uitgezonderd november 2022, waren op alle meetmomenten calcium en bicarbonaat als dominerende ionen aanwezig. In november 2022 waren calcium en sulfaat de dominerende ionen. Het Kleine Turfgat valt iedere zomer langdurig droog, maar tijdens de droge zomer van 2022 zijn de waterstanden waarschijnlijk nog verder weggezakt. Bij droogval vinden er in de bodem verzurende oxidatieprocessen (zie ook kader 2) plaats, waardoor de pH afneemt en de sulfaatconcentratie toeneemt (Tabel 6). Dat de calciumconcentratie, in tegenstelling tot de bicarbonaatconcentratie, niet is afgenomen is het gevolg van de uitwisseling van calciumionen aan het bodemadsorptiecomplex met de geproduceerde protonen (zuurionen). Net als bij het Grote Rietgat stond het waterpeil in het Kleine Turfgat in november 2023 zeer hoog (Figuur 15). Door de toegenomen invloed van regenwater werden in januari en april 2024 niet alleen lagere calciumconcentraties gemeten, maar ook lagere bicarbonaatconcentraties (Tabel 6).

In november 2024 was het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat weer sterker gebufferd, maar ook rijker aan opgelost ijzer. Het ijzer is afkomstig uit de waterbodem (zie paragraaf 3.2.2).



Figuur 15. *Impressie van het Kleine Turfgat op 6 juli 2023 (links) en 21 november 2023 (rechts). Als gevolg van de vele regenval stond het waterpeil op 21 november 2023 heel hoog. Foto's:* [redacted]

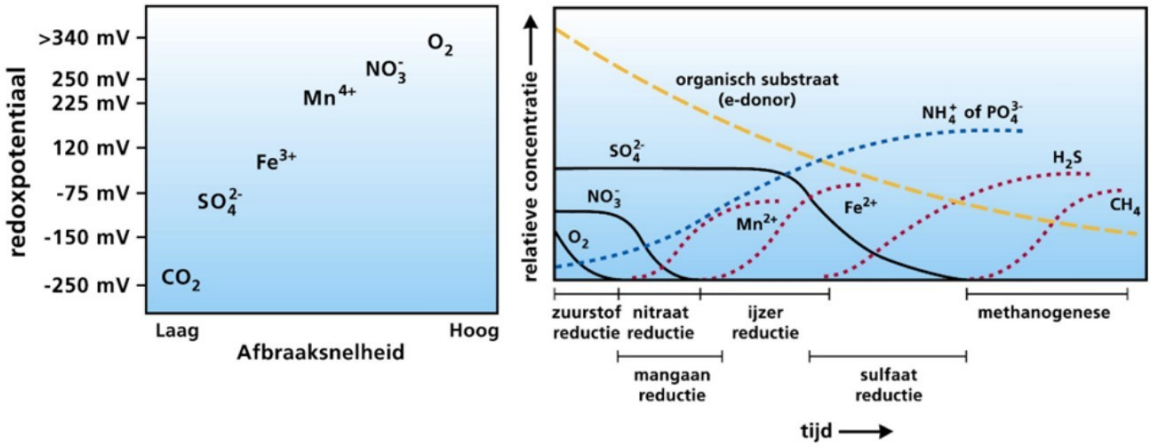
Tabel 6. *Chemische samenstelling van het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat (OW2). Alk. = alkaliniteit in µeq/l en EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locatie zie Figuur 9.*

Datum	Code	Locatie	pH	Alk.	Turb.	EGV	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	PO_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	P	S
				µeq/l	NTU	µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
23-11-2021	OW2	Turfgat	6,75	1053	10	104	287	669	0,0	3,2	0,2	216	10	121	4,2	433	41,1	44	1,5	51
13-4-2022			7,58	851	9	96	44	698	0,4	1,9	0,0	212	9	207	3,8	412	24,0	48	0,7	24
23-11-2022			5,57	246	9	116	631	97	2,3	9,4	0,4	279	0	79	3,8	406	3,8	52	2,1	421
4-4-2023			6,87	592	10	82	180	556	0,3	1,5	0,7	233	5	70	5,8	328	25,1	50	1,5	34
21-11-2023			6,81	753	11	102	225	608	2,5	1,1	0,4	198	19	171	8,2	377	23,9	64	1,0	49
23-1-2024			6,32	389	.	55	231	201	1,1	15,6	0,7	160	30	122	6,9	171	81,1	44	0,9	16
8-4-2024			6,74	566	17	55	137	312	3,6	1,4	0,2	101	14	48	7,0	199	47,3	35	0,6	11
18-11-2024			6,65	909	21	87	354	662	1,0	3,1	0,3	162	39	96	4,6	290	206,6	49	2,3	12

Kader 2: Redoxprocessen

Redoxprocessen spelen ook een belangrijke rol in ecosystemen. Veel omzettingen en afbraak van verbindingen zijn namelijk redoxreacties, waarbij altijd zowel een reductie- als oxidatiereactie plaatsvindt. Bij deze redoxreacties zijn micro-organismen zoals schimmels en bacteriën betrokken. Bij een redoxreactie vindt overdracht van elektronen plaats tussen een reductor (elektronendonor) en een oxidator (elektronenacceptor). Welke oxidator met welke reductor een reactie aangaat, hangt af van de mate waarin elektronen gebonden zijn. Zuurstof (O_2) is een zeer sterke oxidator en zal daarom, indien het aanwezig is, altijd als zodanig optreden. Dit betekent dat in bodems waarin zuurstof kan doordringen er onder invloed van zuurstof oxidatiereacties zullen optreden.

De diffusie van zuurstof in water verloopt 10.000 maal langzamer dan in lucht. Waterverzadigde bodems zijn hierdoor altijd zuurstofarm of zelfs volledig zuurstofloos (anaeroob). In afwezigheid van zuurstof is voor een redoxreactie de aanwezigheid van een alternatieve oxidator noodzakelijk. Achtereenvolgens zullen nitraat (NO_3^-), mangaan (Mn^{4+}), geoxideerd ijzer (Fe^{3+}), sulfaat (SO_4^{2-}) en koolstofdioxide (CO_2) als alternatieve oxidatoren optreden (Figuur A). De redoxpotentiaal Eh (uitgedrukt in mV), een maat voor de elektronenactiviteit, daalt naar mate de reacties moeilijker verlopen en de micro-organismen minder energie uit de reactie kunnen halen.



Figuur A. *Links: bij verschillende redoxpotentialen worden verschillende elementen gereduceerd bij de afbraak van organisch materiaal (naar Wienk e.a., 2000). Rechts: opeenvolgende redoxprocessen in waterverzadigde bodems (naar Mitsch & Gosselink 2000).*

Een belangrijke redoxreactie is de afbraak (oxidatie) van organisch materiaal. Organisch materiaal treedt hierbij als reductor (elektronendonor) op (reactie 1).

(1) $C_{organisch} + 2\ H_2O \Rightarrow CO_2 + 4\ H^+ + 4\ e^-$

Om deze reactie te laten verlopen moet er een oxidator beschikbaar zijn om de elektronen op te nemen. Wanneer er zuurstof aanwezig is, zal zuurstof de elektronen opnemen. Hierbij komt veel energie vrij, zodat de afbraak van organisch materiaal onder zuurstofrijke omstandigheden snel verloopt (Figuur A). Wanneer in een systeem een tekort aan zuurstof ontstaat, is de afbraak afhankelijk van de beschikbaarheid aan alternatieve oxidatoren. Nitraat, mangaan, geoxideerd ijzer, sulfaat en koolstofdioxide zullen hierbij achtereenvolgend de elektronen opnemen. De hoeveelheid energie die bij deze opeenvolgende reductieprocessen vrijkomt neemt af en daarmee ook de afbraaksnelheid van organisch materiaal (Figuur A).

In een waterverzadigde bodem raakt als eerste zuurstof op. Nitraat zal dan als alternatieve oxidator optreden. Het nitraat wordt hierbij gereduceerd tot stikstofgas (denitrificatie) of tot ammonium (ammonificatie). Nadat nitraat uitgeput raakt, zal mangaan worden gereduceerd en waarbij gereduceerd mangaan (Mn^{2+}) in oplossing gaat (Figuur A). Vervolgens worden ijzerhydroxiden in de bodem gereduceerd, waarbij gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) in oplossing gaat. In aanwezigheid van sulfaat zal er vervolgens sulfaatreductie optreden, waarbij sulfide vrijkomt. Tenslotte kan kooldioxide als alternatieve elektronendonor optreden, waarbij kooldioxide wordt gereduceerd tot methaan Figuur A). Bij al deze opeenvolgende reductieprocessen wordt organisch materiaal geoxideerd. Hierbij komt CO_2 vrij, maar ook ingebouwde nutriënten als ammonium en fosfaat (mineralisatie).

3.1.3 Slenk

In de recent gereconstrueerde slenkstructuur werd, afhankelijk van waar water aanwezig was, op drie locaties de kwaliteit van het oppervlaktewater bepaald (OW3 t/m OW5 in Tabel 7). In november 2021 was het oppervlaktewater centraal in de slenk sterk gebufferd (alkaliniteit: 2048 µeq/l). De zomer van 2021 was relatief nat en de hoge calcium- en bicarbonaatconcentraties in november 2021 duiden op aanrijking van het oppervlaktewater met grondwater. Het oppervlaktewater was wel wat verrijkt met ammonium, nitraat en fosfaat (Tabel 7). In april 2022 werd op alle drie locaties het oppervlaktewater bemonsterd. Het oppervlaktewater was zwak tot matig gebufferd (alkaliniteit 450-600 µmol/l) en voedselarm. Op locatie OW5 was het oppervlaktewater rijker aan fosfaat (PO_4: 1,5 µmol/l) dan op de andere locaties. OW5 ligt dicht bij de tijdelijke grondwal die voorkomt dat water uit de slenk naar het Kleine Turfgat kan stromen.

In november 2022 was het oppervlaktewater minder aangerijkt met grondwater (alkaliniteit 647 µeq/l en 183 µmol Ca/l) in vergelijking tot november 2021 (alkaliniteit 2048 µeq/l en 455 µmol Ca/l; Tabel 7). Als gevolg van de droge zomer was er in het najaar van 2022 dus minder toestroom van grondwater. In het natte najaar van 2023 (Figuur 16) was het oppervlaktewater weer meer aangerijkt met grondwater (alkaliniteit 1131 µeq/l en 314 µmol Ca/l; Tabel 7). In november 2024 stond er geen water op maaiveld in de slenk en was het lokaal slechts drassig.

Tabel 7. *Chemische samenstelling van het oppervlaktewater van de slenk (OW3 t/m OW5). Vanaf november 2023 werd op extra locatie OW10 water op maaiveld (indien aanwezig) bemonsterd. Alk. = alkaliniteit in µeq/l en EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 9.*

Datum	Code	Locatie	pH	Alk.	Turb.	EGV	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	PO_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	P	S
				µeq/l	NTU	µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
23-11-2021	OW3	Slenk	7,32	2048	7	144	142	1240	17,3	29,8	0,9	179	132	137	3,6	455	10,2	147	5,3	30
13-4-2022		centraal	7,55	458	12	508	30	440	0,3	2,4	0,4	116	51	63	7,7	147	3,3	74	1,8	10
23-11-2022			7,17	647	11	55	85	526	0,4	3,3	0,6	63	79	101	1,1	183	1,9	72	2,0	11
4-4-2023			9,05	645	6	73	1	510	0,3	1,7	1,6	116	175	56	4,2	168	3,4	86	1,8	9
21-11-2023			6,89	1131	11	127	300	971	2,7	4,1	2,7	108	243	107	5,0	314	12,5	156	6,7	48
23-1-2024			6,83	501	.	60	98	272	0,3	2,0	1,3	143	46	112	8,5	160	18,5	73	3,4	19
8-4-2024			6,43	470	17	70	290	320	3,6	1,8	1,5	219	78	123	5,1	161	76,0	75	7,8	18
13-4-2022	OW4	Slenk	7,11	599	8	57	73	390	0,3	3,4	0,2	122	49	35	13,3	157	2,5	100	1,8	14
8-4-2024			6,51	721	28	66	255	338	3,1	2,2	4,2	113	48	40	7,1	196	13,0	105	9,7	14
13-4-2022	OW5	Slenk	8,34	569	8	58	5	474	0,1	1,4	1,5	95	27	38	5,7	217	9,1	78	4,7	10
23-11-2022			6,84	670	10	66	203	581	0,3	2,2	5,0	60	114	59	1,3	196	1,7	87	9,1	34
4-4-2023			7,61	843	6	92	50	843	0,1	1,4	1,8	158	119	28	1,1	287	7,9	119	2,8	12
21-11-2023			6,69	1188	24	134	506	1035	2,4	4,8	2,7	138	205	121	12,8	370	33,6	167	8,7	55
8-4-2024			6,82	861	12	84	241	662	2,7	0,7	3,6	110	22	18	4,3	313	174,8	107	21,1	15
21-11-2023	OW10	nabij loc. 14	6,67	1561	21	154	663	1295	4,1	75,9	2,3	67	46	113	8,4	564	2,2	170	6,7	66
8-4-2024			6,69	833	20	96	312	632	3,3	49,4	13,2	120	111	54	9,7	354	17,4	104	30,6	28



Figuur 16. *Impressie van het voedselarme centrale deel van de slenk op 6 juli 2023 (links). Vanwege de vele regenval was op 21 november 2023 de slenk geheel gevuld met water (rechts). Foto's:* [redacted]

Uit de metingen blijkt ook dat onder natte condities de P-concentratie in het oppervlaktewater toeneemt als gevolg van P-nalevering uit de nog fosfaatrijke bodem (zie paragraaf 4.2.3). In natte perioden staan de aangrenzende landbouwpercelen in direct contact met de slenk en zal er ook vanuit deze percelen P-nalevering plaatsvinden. Deze P-nalevering wordt bevestigd door de analyse van het oppervlaktewater op locatie OW10 (Figuur 9). Op locatie OW10 was het oppervlaktewater in november 2023 en april 2024 verrijkt met fosfaat en ammonium (PO_4: 2,3-13,2 µmol/l en NH_4: 49-76 µmol/l; Tabel 7). Het oppervlaktewater in de slenk heeft hierdoor niet de gewenste kwaliteit.

3.1.4 Samenvatting kwaliteit oppervlaktewater

Grote Rietgat

Het oppervlaktewater van het Grote Rietgat is relatief voedselarm (wel licht verhoogde fosfaatconcentraties). In november 2021, vlak na baggeren, werden hogere ammoniumconcentraties gemeten. De pH van het oppervlaktewater is hoog (pH: 7,5-8,2) en het water is sterk gebufferd (alkaliniteit: ca. 1400-4000 µeq/l). Gezien het voorkomen van soorten van zwakgebufferde vennen, zoals stijve moerasweegbree, vlottende bies, duizendknoopfonteinkruid en pilvaren, is dit onverwacht. Uit een vergelijking met gegevens uit 2016 blijkt dat de buffering van de waterlaag van het Grote Rietgat is toegenomen. Waarschijnlijk is door het verwijderen van het rabattenbos en het dempen van de grenssloot tussen het Grote Rietgat en de landbouwpercelen de invloed van sterk gebufferd grondwater toegenomen. Hierdoor is het zwak-matig gebufferde karakter van het Grote Rietgat verdwenen. De hoge waterstanden en het daardoor pas laat droogvallen van de oevers (in het groeiseizoen/zomer), de mogelijke instroom van voedselrijk water uit de (voormalige) landbouwpercelen (in natte tijden) en de aanwezige ganzen zijn punten van aandacht.

Kleine Turfgat

Het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat is voedselarm en zwak tot matig gebufferd. In vergelijking met de maand november na natte zomer van 2021, 2023 en 2024 was in november 2022 de alkaliniteit van het oppervlaktewater lager (ca. 250 ten opzichte van 750-1000 µeq/l). Als gevolg van de droge zomer van 2022 is het grondwater in het Kleine Turfgat waarschijnlijk verder weggezakt dan in andere jaren waardoor er meer verzurende oxidatieprocessen hebben plaatsgevonden.

Slenk

In november 2021 en november 2023 was het oppervlaktewater in de slenk sterk gebufferd (alkaliniteit: 1131-2048 µeq/l) door aanrijking met grondwater. Na de droge zomer van 2022 was het oppervlaktewater minder aangerijkt met grondwater. In natte perioden is het oppervlaktewater ook verrijkt fosfaat door P-nalevering uit de vaak nog voedselrijke bodem en waarschijnlijk vanuit de aangrenzende voedselrijke landbouwpercelen. Zolang in natte perioden de P-concentraties in het oppervlaktewater toenemen kan de tijdelijke grondwal tussen de slenk en het Kleine Turfgat nog niet verwijderd worden.

3.2 Kwaliteit (water)bodem

3.2.1 Grote Rietgat

Waterbodem

In de zomer van 2021 is het Grote Rietgat opgeschoond (Figuur 11). De dikke sliblaag werd hierbij grotendeels verwijderd. Er werden twee monsters (verzameld in het depot) van het verwijderde slib

geanalyseerd (Tabel 8). Het slib bevat 9,1-10,5% organisch materiaal en is matig verrijkt met fosfor (P: 4,7 mmol/l). Het slib is verder vrij rijk aan zwavel (S: 44-66 mmol/l; Tabel 8). Na baggeren bevat de waterbodem minder organische stof (6,2-8,0%), fosfor (P: 2,5-4,0) en zwavel (S: 17-53 mmol/l). De metingen bevestigen dat op locatie 101 en 103 het slib niet volledig is verwijderd (meer organische stof en zwavel).

Tabel 8. *Bodemchemische samenstelling (per liter versgewicht) van de vaste fractie van het slib en de waterbodem (0-15 cm) van het Grote Rietgat. V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem, OS = organisch stofpercentage. Totale concentraties zijn gegeven in mmol/l bodem.*

Datum	Code	Type	V	MV	OS	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	Fe/P	Fe/S	(Fe-S)/P	S/(Ca+Mg)
			%	kg/l	%	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mol/mol	mol/mol	mol/mol	mol/mol
18-8-2021	slib1	slib	54,0	0,6	10,5	154,1	260,8	96,3	22,1	31,5	2,7	4,7	65,7	3,1	0,3	20,3	1,5	6,5	0,22
18-8-2021	slib2	slib	53,6	0,6	9,1	228,6	174,9	84,5	24,9	26,0	2,1	4,7	43,6	4,5	0,3	17,8	1,9	8,6	0,22
19-10-2021	101	slib	53,4	0,7	8,0	142,2	47,7	64,9	10,1	23,9	0,6	3,7	52,8	11,2	0,3	17,5	1,2	3,3	0,74
19-10-2021	102	leem	39,9	0,9	6,2	221,4	39,8	44,5	12,5	26,4	0,5	2,5	16,8	15,5	0,2	17,8	2,7	11,1	0,25
19-10-2021	103	slib/leem	50,4	0,8	7,7	96,5	777,1	93,0	8,5	43,5	2,8	4,0	25,3	11,9	0,1	23,5	3,7	17,1	0,03

Poriewater

Voor de nalevering van fosfaat uit de waterbodem is vooral de verhouding tussen ijzer en fosfor in het poriewater belangrijk. IJzer zorgt namelijk voor de binding van fosfaat. Indien de waterlaag niet anaeroob wordt is het risico op fosfaatnalevering laag bij een Fe/P-ratio in het poriewater hoger dan 1. Uit de metingen bij aanvang van het onderzoek (augustus/oktober 2021) blijkt dat zowel in het verwijderde slib als de waterbodem de Fe/P-ratio gunstig is (> 14; Tabel 9), maar de ratio in de waterbodem is wel gunstiger dan in het slib. Ook de absolute P-concentratie in het slib is hoger dan in de waterbodem, zodat baggeren wel heeft geleid tot een reductie van de risico's op fosfaatnalevering. Baggeren zal, gezien de ammoniumconcentraties in het poriewater van het slib, vooral zorgen voor een afname van de nalevering van ammonium (Tabel 9). Gezien de ammoniumconcentraties is op locatie 101 en 103 meer slib achtergebleven dan op locatie 102 (hogere ammoniumconcentraties).

Tabel 9. *Chemische samenstelling van het poriewater uit het slib en de waterbodem van het Grote Rietgat (2021). Op locatie 9 werd het poriewater tweemaal per jaar bemonsterd tussen november 2021 en november 2024. EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm, TIC = totaal anorganisch koolstof. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 8.*

Datum	Locatie	Diepte	pH	EGV	TIC	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	P	S	Fe/P-ratio
		cm		µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
18-8-2021	slib1	0-15	7,47	442	3784	284	3499	1,9	220,8	481	54	532	1,1	1810	37,4	178	2,5	21,7	15,2
18-8-2021	slib2	0-15	7,15	477	4247	619	3628	0,4	242,6	472	63	453	1,2	1979	39,3	202	2,8	26,8	14,2
19-10-2021	101	0-15	6,68	519	6647	2240	4408	0,5	105,4	480	14	532	0,6	2207	136,8	321	0,7	263,8	193,4
19-10-2021	102	0-15	6,67	294	3075	1046	2030	0,5	42,8	463	27	608	7,1	1207	17,1	155	0,8	186,6	20,8
19-10-2021	103	0-15	6,94	604	5817	1256	4561	0,0	95,1	653	17	778	0,2	2694	62,1	266	0,6	690,8	100,7
23-11-2021	9	15	6,87	413	4391	1087	3304	1,4	36,0	417	5	563	0,1	1740	50,0	208	0,7	238,4	68,5
13-4-2022	9	15	6,64	284	2317	820	1496	4,1	153,3	494	72	708	7,3	892	12,1	260	6,6	279,7	1,8
21-6-2022	9	15	7,13	280	2977	452	2525	0,0	88,0	370	13	378	5,0	1164	41,8	127	1,4	4,1	29,8
23-11-2022	9	15	7,03	261	3246	599	2647	0,5	63,3	345	5	341	1,1	1196	41,8	137	4,8	16,6	8,8
4-4-2023	9	15	7,16	251	2335	334	2001	21,5	21,2	432	32	303	0,7	1005	32,7	135	3,9	86,4	8,4
21-11-2023	9	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8-4-2024	9	15	6,55	207	2473	1007	1466	5,7	150,0	295	31	237	6,3	673	16,7	118	1,7	24,0	9,9
18-11-2024	9	15	6,71	192	2478	798	1680	0,2	190,4	218	23	170	1,9	603	19,4	118	1,1	15,8	17,8

Tussen november 2021 en november 2024 werd in het Grote Rietgat op locatie 9 (Figuur 8) tweemaal per jaar de kwaliteit van het poriewater gemeten. De P-concentratie in het poriewater varieert van 0,7-6,6 µmol/l (Tabel 9), waarbij in april 2022, november 2022 en april 2023 de P-concentraties vrij hoog waren. De Fe/P-ratio van het poriewater is wel gunstig (> 1), zodat de P-nalevering laag zal zijn mits de waterlaag niet zuurstofarm (< 5-6 mg O_2/l) wordt. In april 2022 was niet alleen de concentratie P hoog, maar ook de concentratie ammonium (Tabel 9). Mogelijk was dit nog het gevolg van de recente baggerwerkzaamheden. De hogere sulfaatconcentraties duiden erop dat de waterbodem niet sterk

gereduceerd was op het moment van bemonstering. Vanaf juni 2022 zijn de sulfaatconcentraties in het poriewater fors lager wat duidt op sulfaatreductie. In november 2023 stond het waterpeil in het Grote Rietgat zo hoog dat het niet mogelijk was om poriewater te verzamelen. Zowel in april en november 2024 werden op locatie 9 hogere concentraties ammonium in het poriewater gemeten (Tabel 9 en Figuur 21). De fosfaat-, ijzer- en bicarbonaatconcentraties in het poriewater waren wel laag, dus het ammonium lijkt niet afkomstig te zijn van de (anaerobe) afbraak van organisch materiaal. In 2024 werd in het Grote Rietgat wel een nieuwe keramische cup omdat de oude cup niet bereikbaar was. Mogelijk is de cup op een locatie geplaats waar in de zomer van 2021 niet al het slib verwijderd is. Het slib dat destijds werd verwijderd, was namelijk rijk aan ammonium (Tabel 9).

3.2.2 Kleine Turfgat

Bodemchemie

Op drie locaties in het Kleine Turfgat werd de bodemchemie van de toplaag van de bodem bepaald. Locatie 104-1 betreft een locatie met blauwe knoop en blauwe zegge op de flank, locatie 104-2 de venige laagte en locatie 104-3 de flank voor de dijk (met o.a. blauwe knoop). De toplaag van de bodem is ijzerrijk (Fe-t: 102-221 mmol/l bodem) en goed gebufferd (Ca-t: 34-44 mmol/l en Ca-z: 15.000-19.500 µmol/l; Tabel 10 en Figuur 18). Blauwgrasland komt voor op goed gebufferde bodems met Ca-z concentraties van ca. 10.000-25.000 µmol/l (Ca-t veelal > 20 mmol/l; GRIP-database B-WARE). De indicatieve basenverzadiging van de bodem is ook hoog (97-98%; Tabel 10) en de pH-z is 4,2-4,4. De toplaag van de bodem in het Kleine Turfgat is dus voldoende gebufferd. Het is daarbij natuurlijk ook essentieel dat in de winterperiode basenrijk grondwater tot in de wortelzone komt ter compensatie van de zuurvorming tijdens de (essentiële) droogval van de toplaag in de zomerperiode en eventuele verzurende stikstofdepositie (NH_x).

Tabel 10. *Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) van de toplaag (0-15 cm) van de bodem van het Kleine Turfgat (locatie 104-1 t/m 104-3) en in de slenk (locatie 105 t/m 112) in oktober 2021. V = vochtpercentage, MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem, OS = organisch stofpercentage, Olsen-P = plantbeschikbaar fosfaat (µmol/l); -t = totale concentratie (mmol/l), -z = zoutuitwisselbare concentraties (µmol/l) en FVG – fosfaatverzadigingsgraad (%). M3/M5 = berekende verschralingsduur (jaren) via maaien en afvoeren tot een streefconcentratie van 300/500 µmol Olsen-P/l bodem (totaal-P > 3 mmol/l). Let op: voor het berekenen van de totale verschralingsduur op een bepaalde diepte moeten, in verband met de worteldiepte van planten, de verschralingsduren van een bodempakket van 25 cm bij elkaar worden opgeteld. De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:*

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	P-z	NO_3-z	FVG		Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	µmol/l	mmol/l	µmol/l	µmol/l	%		jaren	
<5	<150	<10	<4000	<20	<1	<50	<12,5		0	voldoende P-arm
6-10	150-250	10-20	4000-8000	20-50	1-5	50-100	12,5-25		<10	kansrijk voor verschraling d.m.v. maaien en afvoeren
10-25	250-400	20-30	8000-15000	50-100	5-10	100-200	25-40		10-40	matig kansrijk voor verschraling d.m.v. maaien en afvoeren
25-50	400-750	30-50	15000-25000	100-150	10-30	200-400	>40		40-80	kansrijk voor verschraling d.m.v. uitmijnen
>50	>750	50-80	25000-40000	150-300	30-50	400-800			80-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschraling d.m.v. uitmijnen
		>80	>40000	>300	50-100	800-1200			200-400	ongeschikt voor verschraling I
					>100	>1200			>400	ongeschikt voor verschraling II

Locatie	V	MV	OS	Olsen-P	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	P-t	S-t	pH-z	BV-z	NO_3-z	NH_4-z	Al-z	Ca-z	Fe-z	K-z	Mg-z	P-z	S-z	FVG	M3	M5
	%	kg/l	%	µmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l		%	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	%	jaar	jaar
104-1	33,6	0,83	10,5	362	282	34	221	2,7	8,7	4,5	8,3	4,3	98	4	30,8	147,2	18379	5,1	318	1143	0,9	215	2	4	0
104-2	59,9	0,49	22,7	792	230	44	102	3,3	10,3	7,9	18,8	4,4	98	4	232,9	96,2	19462	16,1	162	918	0,4	488	5	23	14
104-3	48,9	0,54	16,2	474	278	34	130	3,2	8,9	6,4	15,0	4,2	97	2	42,3	135,7	15094	98,1	161	1136	0,7	385	5	11	0
105	22,2	1,16	5,1	692	343	37	52	12,1	23,4	5,2	4,6	5,7	99	4	21,6	107,6	13191	11,8	2259	5760	0,9	180	16	10	7
106	19,9	1,42	2,8	2717	325	48	410	11,4	21,7	24,3	5,8	6,2	100	26	41,5	16,6	15675	2,9	2097	4705	11,3	254	32	100	93
107	14,6	1,29	1,9	1279	187	24	72	5,4	11,4	8,5	1,9	6,0	100	4	41,7	14,8	8220	2,8	879	2272	6,9	146	40	26	24
108	16,8	1,46	8,0	390	435	92	5581	13,9	40,8	81,3	4,4	6,0	100	18	12,9	9,8	23823	0,9	2990	7561	0,4	156	4	88	0
109	17,9	1,17	4,1	2708	235	31	80	6,8	16,2	17,5	5,3	5,8	100	24	74,7	14,1	10954	2,8	965	5744	16,5	142	49	68	67
110	21,4	1,18	5,0	2286	331	37	99	10,4	18,9	19,7	10,1	5,4	99	12	58,7	37,7	11790	3,9	812	3392	7,1	249	34	78	72
111	17,9	1,02	4,3	1746	201	38	39	7,6	14,3	12,9	5,7	6,4	100	18	37,6	10,1	10751	2,6	1351	3359	7,1	690	40	47	43
112	14,4	1,52	1,0	259	215	18	37	8,1	15,5	2,4	1,9	6,4	100	1	9,4	6,5	5012	2,2	918	1467	0,0	193	6	0	0



Figuur 17. *Ruimtelijke weergave van de fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P; boven) en fosfaatverzadigingsgraad (FVG in %; onder) van de toplaag van de bodem in het Kleine Turfgat (locatie 104-1 t/m 104-3) en de slenk (locatie 105 t/m 112).*

De fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P) ligt op de flanken in de range van blauwgrasland (200-500 µmol/l bodem), maar de venige laagte is rijker aan fosfaat (ca. 800 µmol Olsen-P/l bodem; Tabel 10 en Figuur 17). Ook de totale P-voorraad in de bodem is hier vrij hoog (7,9 mmol P/l bodem).

Op basis van de relatieve fosfaatbeschikbaarheid en de totale P-voorraad in de bodem kan de verschralingsduur tot een streefconcentratie van 500 µmol/l bodem (maximale streefconcentratie blauwgrasland onder ijzerrijke omstandigheden) berekend worden. Voor de venige laagte betreft de verschralingsduur ca. 25 jaar maaien en afvoeren (Tabel 10). Een Olsen-P concentratie van 800 µmol/l bodem ligt wel in het bereik van een vochtig hooiland of grote zeggenmoeras.



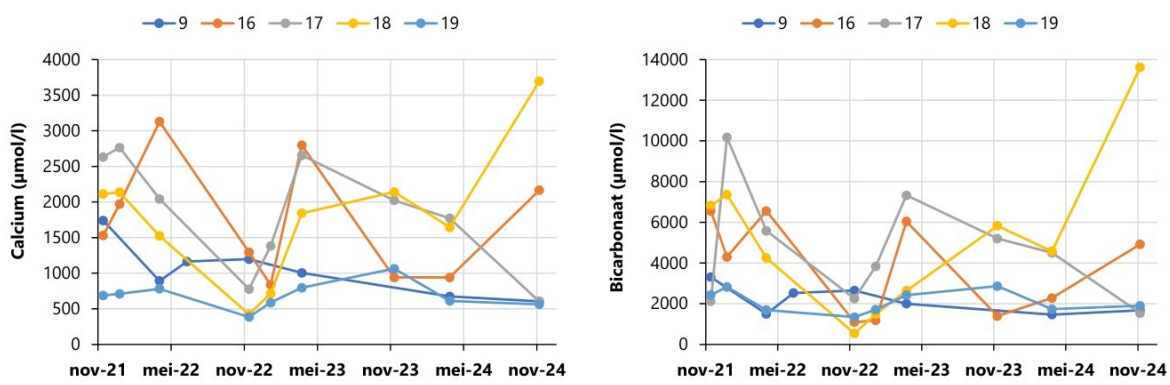
Figuur 18. *Ruimtelijke weergave van de concentratie uitwisselbaar calcium (Ca-z) in de toplaag van de bodem in het Kleine Turfgat (locatie 104-1 t/m 104-3) en de slenk (locatie 105 t/m 112).*

Poriewater

Naast de eenmalige bemonstering van de toplaag van de bodem werd op locatie 16 (midden in het Kleine Turfgat; Figuur 9) tweemaal per jaar de samenstelling van het poriewater gemeten tussen november 2021 en november 2024. Voor de ontwikkeling van blauwgrasland is het belangrijk dat het gebufferde grondwater in de winterperiode tot in de wortelzone komt. In de zomermaanden vindt als gevolg van verzuring van de toplaag uitspoeling van basische kationen (calcium, magnesium en kalium) plaats. In de winterperiode is het belangrijk dat het bodemadsorptiecomplex weer wordt opgeladen met basische kationen uit het toestromende grondwater.

Tussen november 2021 en april 2022 neemt de concentratie calcium in het poriewater geleidelijk toe tot ca. 3000 µmol/l (Figuur 19 en Tabel 11). Na de droge zomer van 2022 is in november 2022 de calciumconcentratie afgenomen tot ca. 1300 µmol/l. In januari 2023 is de calciumconcentratie nog verder afgenomen, een indicatie dat het gebufferde grondwater nog niet tot in de wortelzone reikt. In april 2023 was er wel weer sprake van de invloed van grondwater (ca. 2800 µmol Ca/l). Ondanks de hoge

waterstand was er in november 2023 en april 2024 (Figuur 15) nog geen duidelijke invloed van grondwater meetbaar in het poriewater (Figuur 19 en Tabel 11). Mogelijk werd als gevolg van het hoge oppervlaktewaterpeil het grondwater weggedrukt. In november 2024 was het poriewater wel weer aangerijkt met gebufferd grondwater (ca. 2200 µmol Ca/l; Figuur 19). Het waterpeil van het Kleine Turfgat stond in november 2024 lager dan in november 2023 (vergelijk Figuur 15 en Figuur 20).



Figuur 19. *Verloop van de concentratie calcium (links) en bicarbonaat (rechts) in het poriewater in de toplaag van de bodem (15 cm diepte) in het Grote Rietgat (locatie 9), het Kleine Turfgat (locatie 16) en de slenk (locatie 17 t/m 19). Voor ligging van de locaties zie Figuur 8 en Figuur 9.*



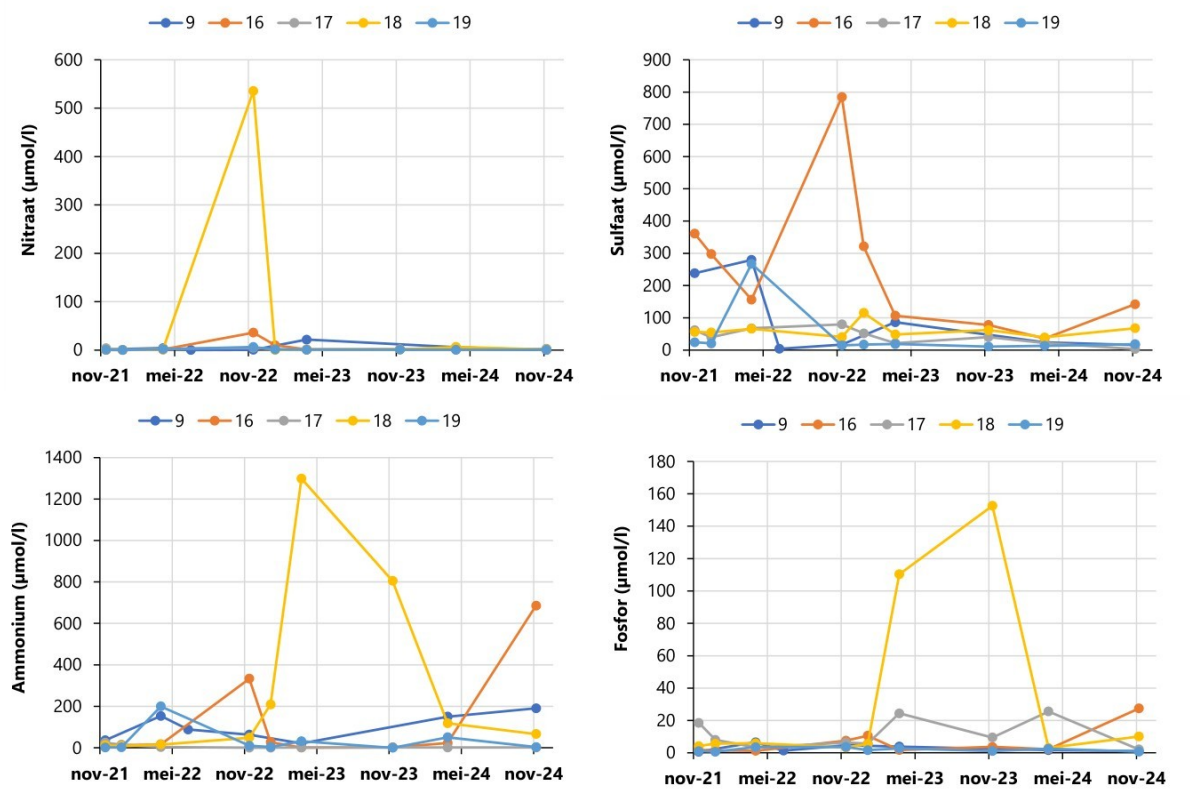
Figuur 20. *In november 2024 stond het waterpeil in het Kleine Turfgat veel lager dan in november 2023 (Figuur 15; links). In november 2024 werd in het Kleine Turfgat, net als bij het Grote Rietgat, vlottende bies aangetroffen. Foto's:* [redacted]

De nitraatconcentratie van het poriewater in de toplaag van de bodem in het Kleine Turfgat is laag (Figuur 21). De bodem op deze locatie (locatie 104-2 in Tabel 10) is vrij rijk aan organische stof (ca. 23%). Door de droogte in 2022 is er waarschijnlijk versneld organisch materiaal geoxideerd en daardoor is de concentratie ammonium en fosfor in november 2022 sterk toegenomen (Tabel 11 en Figuur 21). Daarnaast is er ook veel zwavel uit het veen gemobiliseerd. In 2023 waren de ammonium- en fosfaatconcentraties in het poriewater weer laag. In november 2024 werden echter weer zeer hoge ammonium- en fosfaatconcentraties in het poriewater gemeten (Tabel 11 en Figuur 21), waarschijnlijk als gevolg van de oxidatie van geaccumuleerd organisch materiaal.

Tabel 11. *Chemische samenstelling van het poriewater in de toplaag (15 cm) van de bodem in het Kleine Turfgat (locatie 16) en in de slenk (locatie 17 t/m 19). Het poriewater werd tussen november 2021 en november 2024 tweemaal per jaar bemonsterd in de maand november en april. In januari 2022 en januari 2023 werd een extra bemonstering van het poriewater uitgevoerd. EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm, TIC = totaal anorganisch koolstof. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 9.*

Datum	Locatie	Diepte	pH	EGV	TIC								Al	Ca	Fe	Mg	P	S	Fe/P-ratio
		cm		µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
23-11-2021	16	15	7,40	347	7189	631	6558	0,4	10,2	361	30	206	2,0	1530	429,6	68	1,8	361	234,7
3-1-2022	16	15	6,34	448	9073	4776	4297	0,1	11,8	385	12	326	1,5	1971	510,1	88	1,5	298	346,4
13-4-2022	16	15	6,53	615	11248	4694	6555	1,1	16,4	388	23	241	1,9	3128	1134,0	130	1,3	157	905,2
23-11-2022	16	15	6,89	.	1434	341	1092	36,0	333,4	410	66	459	3,2	1294	137,8	157	7,6	785	18,1
16-1-2023	16	15	5,90	278	4803	3622	1180	9,8	27,2	495	86	299	16,2	837	236,2	245	10,6	322	22,3
4-4-2023	16	15	6,62	547	9551	3504	6047	1,3	0,8	406	20	193	0,0	2798	1009,3	104	1,8	107	568,3
21-11-2023	16	15	5,63	191	9188	7795	1393	1,8	1,7	296	1	181	30,1	941	628,2	36	3,7	78	168,3
8-4-2024	16	15	6,49	225	4077	1798	2279	1,4	22,5	188	19	31	10,4	941	893,1	66	2,3	36	391,2
18-11-2024	16	15	6,79	.	6866	1945	4920	2,0	685,6	739	46	775	9,7	2164	1006,0	216	27,5	142	36,6
23-11-2021	17	15	6,46	738	3902	1785	2117	3,9	24,2	924	417	257	0,2	2631	29,3	902	18,5	62	1,6
3-1-2022	17	15	7,22	781	11644	1473	10171	0,7	14,8	872	450	73	0,3	2764	60,3	923	8,1	40	7,5
13-4-2022	17	15	6,69	313	8358	2773	5585	2,3	3,2	521	320	40	0,6	2043	2,1	620	3,4	68	0,6
23-11-2022	17	15	6,72	224	3283	1032	2252	4,6	0,5	376	197	95	0,9	776	1,5	239	6,4	80	0,2
16-1-2023	17	15	6,59	396	6221	2389	3831	1,3	0,5	534	284	43	1,2	1382	1,9	419	5,7	52	0,3
4-4-2023	17	15	6,73	680	10634	3309	7325	1,1	1,4	511	376	97	0,0	2656	270,2	877	24,4	22	11,1
21-11-2023	17	15	6,54	514	8805	3605	5200	1,4	1,3	335	249	56	3,1	2023	176,3	638	9,5	40	18,5
8-4-2024	17	15	6,56	442	7494	2994	4500	0,7	1,2	145	137	10	0,3	1771	195,1	553	25,6	22	7,6
18-11-2024	17	15	6,17	149	4022	2485	1536	2,6	1,5	14	6	13	1,6	602	8,2	149	2,1	3	3,9
23-11-2021	18	15	6,56	580	11335	4509	6826	0,8	12,4	385	115	27	3,2	2112	81,2	957	4,2	56	19,3
3-1-2022	18	15	6,64	588	11403	4044	7359	0,3	8,8	329	117	42	4,3	2137	386,6	935	5,7	55	67,9
13-4-2022	18	15	6,63	359	6663	2412	4251	0,9	15,3	261	105	42	4,8	1525	248,7	586	5,9	66	42,0
23-11-2022	18	15	6,08	148	1611	1074	537	535,6	48,4	194	139	122	7,4	424	3,8	108	3,3	41	1,1
16-1-2023	18	15	5,98	276	5218	3727	1491	0,3	209,1	260	365	409	12,8	715	5,9	173	5,5	116	1,1
4-4-2023	18	15	6,13	741	7383	4749	2634	0,9	1298,6	233	1014	135	6,8	1841	1161,2	663	110,3	48	10,5
21-11-2023	18	15	6,35	824	12053	6221	5833	1,2	804,8	243	1187	124	24,2	2140	1510,3	889	152,6	62	9,9
8-4-2024	18	15	6,64	466	7098	2525	4573	6,3	118,3	254	115	102	3,2	1646	78,1	666	3,1	39	25,4
18-11-2024	18	15	6,69	111	20379	6762	13618	1,3	66,3	160	197	159	13,8	3696	1784,8	1157	10,1	68	176,6
23-11-2021	19	15	6,74	221	3500	1072	2428	0,5	1,1	260	189	14	0,0	688	0,9	223	1,1	24	0,9
3-1-2022	19	15	6,68	229	4237	1412	2825	0,1	1,9	260	221	29	0,2	709	1,0	232	0,7	21	1,4
13-4-2022	19	15	7,03	287	2071	381	1690	1,9	199,7	346	243	634	0,5	780	16,5	364	3,6	267	4,6
23-11-2022	19	15	6,76	123	1908	566	1342	6,3	10,2	225	114	67	0,0	386	0,4	114	3,6	15	0,1
16-1-2023	19	15	6,64	188	2661	952	1709	1,3	3,9	257	151	71	1,2	586	16,8	159	1,7	17	9,9
4-4-2023	19	15	6,64	235	3743	1324	2420	0,7	31,6	215	211	80	0,0	796	108,6	269	2,8	19	39,1
21-11-2023	19	15	6,43	292	5412	2547	2865	1,0	0,0	171	199	86	1,3	1063	108,6	358	1,1	11	94,7
8-4-2024	19	15	6,69	194	2578	846	1732	0,6	50,4	121	126	47	0,0	610	110,1	211	2,6	13	42,4
18-11-2024	19	15	6,36	174	3885	1985	1900	0,6	3,1	72	100	40	1,1	563	93,7	178	0,8	18	117,5

Voor de droge zomer van 2022 was het poriewater rijk aan ijzer en was de Fe/P-ratio zeer gunstig (> 200; Tabel 11). Na de zomer van 2022 zijn de ijzerconcentraties sterk afgenomen en de P-concentraties toegenomen. De Fe/P-ratio is nog wel gunstig, zodat het risico op P-nalevering gering is. De fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat is in november 2022 iets toegenomen (0,4 µmol PO_4/l; Tabel 6), maar nog wel laag. Vanwege de natte omstandigheden werden in 2023 weer hogere ijzerconcentraties en Fe/P-ratio's in het poriewater gemeten (Tabel 11). Na de zomer van 2024 was het poriewater ijzerrijk, maar ook sterk verrijkt met ammonium en fosfaat. De Fe/P-ratio is nog wel gunstig, zodat de fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat in november 2024 laag was (0,3 µmol PO_4/l; Tabel 6).



Figuur 21. *Verloop van de concentratie nitraat, sulfaat, ammonium en fosfor in het poriewater in de toplaag van de bodem (15 cm diepte) in het Grote Rietgat (locatie 9), het Kleine Turfgat (locatie 16) en de slenk (locatie 17 t/m 19). Voor ligging van de locaties zie Figuur 8 en Figuur 9.*

3.2.3 Slenk

Bodemchemie

In de gereconstrueerde slenk werd op 8 locaties de bodemchemie van de toplaag bepaald. De zandige/lemige toplaag (1-8% organisch materiaal) is lokaal nog (zeer) rijk aan fosfaat (259-2717 µmol Olsen-P/l; Tabel 10 en Figuur 17). De fosfaatverzadigingsgraad (FVG), de fractie van het ijzer en aluminium in de bodem dat fosfaat heeft gebonden, is een goede indicator voor het risico op fosfaatuitspoeling (en -nalevering). Als het deel van het bodemprofiel boven de GHG een fosfaatverzadigingsgraad (FVG) hoger dan 25% heeft, wordt de bodem als fosfaatverzadigd beoordeeld en bestaat de kans op uitspoelen van fosfaat (Schoumans, 2004; Schoumans e.a., 2008). Alleen op locatie 105, 108 en 112 in de slenk is de FVG lager dan 25%, op de overige locaties ligt de FVG tussen 32 en 49% (Figuur 17 en Tabel 10).

Locatie 106, nabij het Kleine Turfgat, is nog zeer rijk aan fosfaat (Olsen-P: 2717 µmol/l bodem, P-t: 24,3 mmol/l, P-z: 11,3 µmol/l bodem en FVG: 32%) en vormt daarmee een risico voor het Kleine Turfgat op het moment dat de tijdelijke drempel wordt verwijderd. De fosfaatrijkdom van de bodem op deze locatie verklaart ook de verhoogde fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater op locatie OW5 (Tabel 7). Op locatie 106 en 108 is de bodem in de slenk zeer/extreem ijzerrijk.

De voedselrijkdom van de bodem in de slenk vormt met name een risico voor de waterkwaliteit wanneer er in warmere periodes in het voorjaar of najaar water in de slenk staat. Dan kan P-mobilisatie en nalevering naar het oppervlaktewater plaatsvinden. Bij inundaties in de winterperiode is dit risico veel minder groot omdat redoxprocessen temperatuurafhankelijk zijn. Onder voedselrijke condities is de kans op verruiging ook groter waardoor de ontwikkeling van doelsoorten (als in het Kleine Turfgat) wordt beperkt. Naast jaarlijks maaien en afvoeren wordt de bodem in de slenk niet intensief verschraald, zodat

de slenkbodem nog lang voedselrijk zal blijven en een negatieve invloed zal hebben op de waterkwaliteit.

Om een beeld te krijgen van de stikstofbeschikbaarheid in de toplaag van de bodem zijn de concentraties nitraat en ammonium gemeten in het zoutextract. Nitraat is een mobiel ion en kan via af- en uitspoeling zorgen voor stikstofverrijking van het Kleine Turfgat op het moment dat de drempel wordt verwijderd. De nitraatconcentraties in het zoutextract zijn overal laag (≤ 25 µmol/l; Tabel 10). Lokaal zijn wel hogere ammoniumconcentraties gemeten, maar gezien de lage ammoniumconcentraties in het oppervlaktewater (Tabel 7) is de uitspoeling van ammonium gering.

Bij droogval van de bodem in de slenk kan door oxidatieprocessen (zie ook kader 2) sulfaat worden gemobiliseerd. In natte perioden kan het sulfaat dan uitspoelen richting het Kleine Turfgat. Net als nitraat kan sulfaat zorgen voor een versnelde afbraak van organisch materiaal in de bodem onder natte condities (interne eutrofiering; zie kader 3). Lokaal, vooral op locatie 111, zijn in de bodem van de slenk hogere sulfaatconcentraties gemeten in de toplaag van de bodem (Tabel 10 en Figuur 22). In de toplaag van de bodem van het Kleine Turfgat werden vaak nog hogere sulfaatconcentraties gemeten.



Figuur 22. *Ruimtelijke weergave van uitwisselbaar zwavel (S-z; onder) in de toplaag van de bodem in het Kleine Turfgat (locatie 104-1 t/m 104-3) en de slenk (locatie 105 t/m 112).*

Gezien de buffering van de toplaag van de bodem (Figuur 18) zou er onder voedselarme condities een gradiënt van blauwgrasland (oranje stippen), heischraal grasland (gele stippen) en natte heide (witte stippen) mogelijk zijn. Mogelijk is het volledig verwijderen van de voedselrijke toplaag echter niet overal mogelijk geweest omdat dit tot ontwatering van het Kleine Turfgat zou kunnen leiden. Dit is niet bekend. Indien het (hydrologisch) wel mogelijk is om de voedselrijke toplaag verder af te graven is aanvullend bodemonderzoek vereist.

Kader 3: Interne eutrofiering

Bij eutrofiering is er sprake van een verhoogde beschikbaarheid aan nutriënten. Bij externe eutrofiëring zijn de nutriënten afkomstig van buiten het systeem, zoals door landbouwmeststoffen en atmosferische depositie. Bij interne eutrofiëring treedt mobilisatie van nutriënten op die al in het systeem liggen opgeslagen. Vooral de beschikbaarheid van fosfor (P) wordt sterk beïnvloed door interne processen. In de bodem kan fosfor aanwezig zijn in een organische fractie, anorganische fractie of opgelost zijn in water in de vorm van fosfaat (PO_4^{3}). In de anorganische fractie is fosfaat gebonden aan ijzer (Fe), aluminium (Al) of calcium (Ca).

In kalkarme systemen is een belangrijk deel van de anorganische fosfaatfractie aanwezig in de vorm van aluminium- of ijzercomplexen of geadsorbeerd aan aluminium- en ijzer(hydr)oxiden. Het ijzergebonden fosfaat is gevoelig voor een daling van de redoxpotentiaal, omdat het geoxideerde ijzer (Fe^{3+}) hierbij gereduceerd wordt tot het veel beter oplosbare gereduceerde ijzer (Fe^{2+}). Dit betekent dat ijzergebonden fosfaat, naarmate een bodem bij (her)vernatting meer wordt gereduceerd, deels wordt gemobiliseerd. Niet alleen worden ijzerverbindingen gereduceerd, ook wordt er bij de reductieprocessen organische stof geconsumeerd en buffercapaciteit gegenereerd. Fosfaat dat gebonden zit aan aluminiumverbindingen en (calcium)carbonaten blijft wel gebonden omdat deze ongevoelig zijn voor veranderingen in redoxpotentiaal.

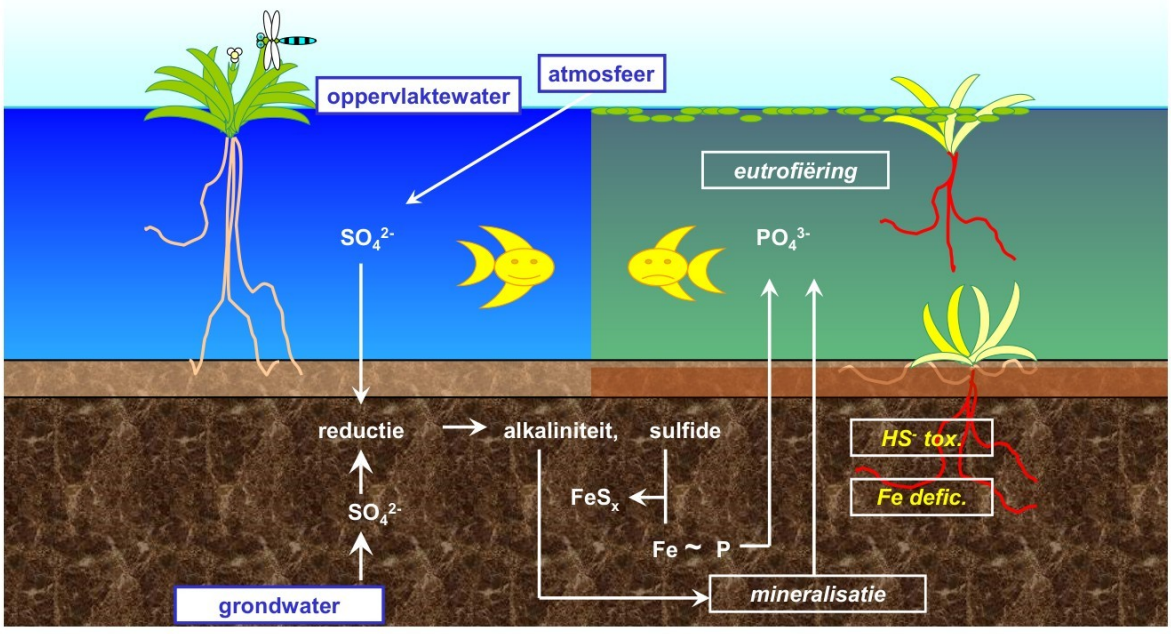
In systemen waar veel sulfaat wordt aangevoerd, zoals in sommige kwelgevoede gebieden, kan extra fosfaat worden gemobiliseerd. Onder anaerobe condities wordt sulfaat door sulfaatreducerende bacteriën gereduceerd tot waterstofsulfide (H_2S) wat kan ontwijken naar de atmosfeer (reactie 1) of tot sulfide (S^{2-}) dat kan oplossen in het bodemvocht (reactie 2).

(1) $4\ H_2 + SO_4^{2-} \Rightarrow H_2S + 2\ H_2O + OH^-$

(2) $SO_4^{2-} + H_2O + C_{organisch} \Rightarrow S^{2-} + H_2CO_3^- + CO_2$

Bij sulfaatreductie wordt tevens organisch materiaal afgebroken en (bi)carbonaat gevormd (interne alkalinisatie). Door de toename van de alkaliniteit ontstaat er een positieve terugkoppeling op de afbraak van organisch materiaal, waarbij behalve fosfaat ook ammonium vrijkomt.

Het gevormde sulfide kan reageren met gereduceerd ijzer tot ijzersulfiden. Wanneer in het systeem veel ijzergebonden fosfaten voorkomen kan op grote schaal fosfaatmobilisatie optreden. Wanneer er onvoldoende ijzer in de bodem aanwezig is om het gevormde sulfide te binden, kan het sulfide ophopen in het bodemvocht. Dit sulfide is extreem giftig voor vele wortelende waterplanten en voor in de bodem levende dieren (Figuur A).



Figuur A. *Sulfaatbelasting via het grond-, oppervlaktewater en/of atmosferische depositie resulteert, zeker in systemen met veel organisch materiaal, tot de extra mobilisatie van fosfaat. Bron: [redacted], RU.*

Poriewater

Op drie locaties in de slenk (locatie 17 t/m 19) werd tussen november 2021 en november 2024 tweemaal per jaar de samenstelling van het poriewater bepaald. Op locatie 17 en 18 is het poriewater sterker gebufferd dan op locatie 19 (Figuur 19). De mate van buffering op locatie 17 en 18 varieert sterk, waarbij de buffering van het poriewater het laagste was in november 2022 en daarna weer toeneemt. De afname van de buffering in november 2022 was het gevolg van de droge zomer van 2022. Tussen april en november 2024 is de buffering van het poriewater op locatie 18 (noordelijke deel slenk) sterk toegenomen, terwijl op locatie 17 (zuidelijke deel slenk) de buffering van het poriewater sterk is afgenomen (Figuur 19). Gezien de hoge(re) ammonium- en ijzerconcentraties in het poriewater op locatie 18 was deze locatie in november 2024 nog nat, terwijl de bodem op locatie 17 al was drooggevallen (Figuur 23). Zeer waarschijnlijk was er in november 2024 op locatie 18 invloed van gebufferd grondwater (toename calcium- en bicarbonaatconcentratie) waardoor de toplaag van de bodem nog nat en anaeroob was (hoge concentraties opgelost ijzer).

Als gevolg van de droge zomer van 2022 werd op locatie 18 in november 2022 een flinke toename van de nitraatconcentratie gemeten (Figuur 21). In januari 2023 is het nitraat weer verdwenen, maar is de concentratie ammonium toegenomen. Op het moment dat het natter wordt, wordt het nitraat gereduceerd tot stikstofgas (denitrificatie) en ammonium (ammonificatie). De ammoniumconcentratie was het hoogste in april 2023 (ca. 1300 µmol/l; Tabel 11 en Figuur 21) en is daarna geleidelijk weer afgenomen.



Figuur 23. *Impressie van de slenk in april 2024 (links) en november 2024 (rechts). Foto's:* [redacted]

In november 2021 was de P-concentratie in het poriewater op locatie 17 zeer hoog (ca. 18 µmol/l; Figuur 21). Op deze locatie werden in april en november 2022 hoge fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater gemeten (OW5; Tabel 4). De P-concentraties in het poriewater waren toen lager dan in november 2021 (Figuur 21), maar de Fe/P-ratio van het poriewater was wel ongunstig (Fe/P-ratio < 1; Tabel 11). Ook in 2023 werden op locatie 17 hogere P-concentraties in het poriewater gemeten, [redacted] wel bij een gunstige Fe/P-ratio (>10; Tabel 11). De slechte waterkwaliteit op locatie 17 is dus het gevolg van nalevering uit de nog fosfaatrijke bodem. Gezien de nog aanwezige P-voorraad in de bodem (2717 µmol Olsen-P/l en 24,3 mmol P-totaal/l; locatie 106 in Tabel 10) is de verwachting dat de bodem onder natte omstandigheden nog lang P kan naleveren. Gezien de nabijheid van het Kleine Turfgat is het belangrijk om de waterkwaliteit op deze locatie te monitoren.

In 2023 werden er voor het eerst zeer hoge P-concentraties gemeten in het poriewater op locatie 18 (ca. 110-150 µmol P; Figuur 21 en Tabel 11). Gezien de nog aanwezige P-voorraad in de bodem (2286 µmol Olsen-P/l en 19,7 mmol P-totaal/l; locatie 110 in Tabel 10), in combinatie met de hoge fosfaatverzadigingsgraad (34 %), is ook hier de verwachting dat de bodem nog lang P (en ammonium) kan naleveren onder zeer natte omstandigheden. In 2024 werden op deze locatie lagere P-concentraties in het poriewater gemeten (Figuur 21).

3.2.4 Samenvatting kwaliteit (water)bodem

Grote Rietgat

Door baggeren van het Grote Rietgat zijn de concentraties organische stof, fosfor en zwavel in de waterbodem afgenomen. Door baggeren zijn vooral de absolute P-concentraties in het poriewater afgenomen. Baggeren zal, gezien de hoge ammoniumconcentraties die werden gemeten in het poriewater van het slib, daarnaast ook hebben bijgedragen aan een afname van de nalevering van ammonium uit de waterbodem. Na het baggeren varieerden de P-concentratie in het poriewater waarbij in april 2022, november 2022 en april 2023 de P-concentraties vrij hoog waren. De Fe/P-ratio van het poriewater is echter wel telkens gunstig (> 1), zodat het risico op fosfaatnalevering laag is mits de waterlaag niet anaeroob wordt. In 2024 werd een toename van de ammoniumconcentratie in het poriewater gemeten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de plaatsing van een nieuwe keramische cup (oude onbereikbaar) op een locatie waar in de zomer van 2021 mogelijk niet al het stikstofrijke slib verwijderd is. Gezien de lage nutriëntenconcentraties van de waterlaag is zowel de externe als interne nutriëntenbelasting op het Grote Rietgat niet groot.

Kleine Turfgat

De toplaag van de bodem van het Kleine Turfgat is ijzerrijk (Fe-t: 102-221 mmol/l bodem) en goed gebufferd (Ca-t: 34-44 mmol/l, Ca-z: 15.000-19.500 µmol/l en indicatieve basenverzadiging 97-98%). De toplaag van de bodem is voldoende gebufferd voor blauwgrasland, waarbij het wel essentieel is dat in de winterperiode basenrijk grondwater tot in de wortelzone komt. De fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P) ligt op de flanken in de range van blauwgrasland (200-500 µmol/l bodem), maar de venige laagte is te rijk aan fosfaat (ca. 800 µmol Olsen-P/l bodem en 7,9 mmol P/l bodem).

Voor de droge zomer van 2022 en in het voorjaar van 2023 was het poriewater in de toplaag van de bodem goed gebufferd. Tijdens de droge zomer van 2022 is de buffering afgenomen en is er waarschijnlijk versneld organisch materiaal geoxideerd waardoor de concentraties ammonium, fosfor en zwavel in het poriewater zijn toegenomen. De Fe/P-ratio van het poriewater is wel gunstig, zodat het risico op P-nalevering uit de bodem gering is. De lage buffering van het poriewater in de winter van 2023-2024 heeft mogelijk te maken met de hoge waterstand in het Kleine Turfgat waardoor het grondwater weggedrukt werd.

Slenk

De toplaag van de bodem in de slenk is lokaal nog (zeer) rijk aan fosfaat (259-2717 µmol Olsen-P/l en FVG 32-49%). Locatie 106, nabij het Kleine Turfgat, is nog zeer rijk aan fosfaat (Olsen-P: 2717 µmol/l bodem, P-t: 24,3 mmol/l, P-z: 11,3 µmol/l bodem en FVG: 32%). De Fe/P-ratio van het poriewater is op deze locatie vaak ook ongunstig (Fe/P-ratio < 1) waardoor er sprake zal zijn van fosfaatnalevering. De slechte waterkwaliteit in dit deel van de slenk is dus het gevolg van nalevering uit de nog fosfaatrijke bodem. In 2023 werden er voor het eerst ook (zeer) hoge P-concentraties gemeten in het poriewater op locatie 18, een indicatie dat de voedselrijke bodem in de slenk (en waarschijnlijk ook de aangrenzende voedselrijke percelen) onder natte omstandigheden voor problemen kan gaan zorgen.

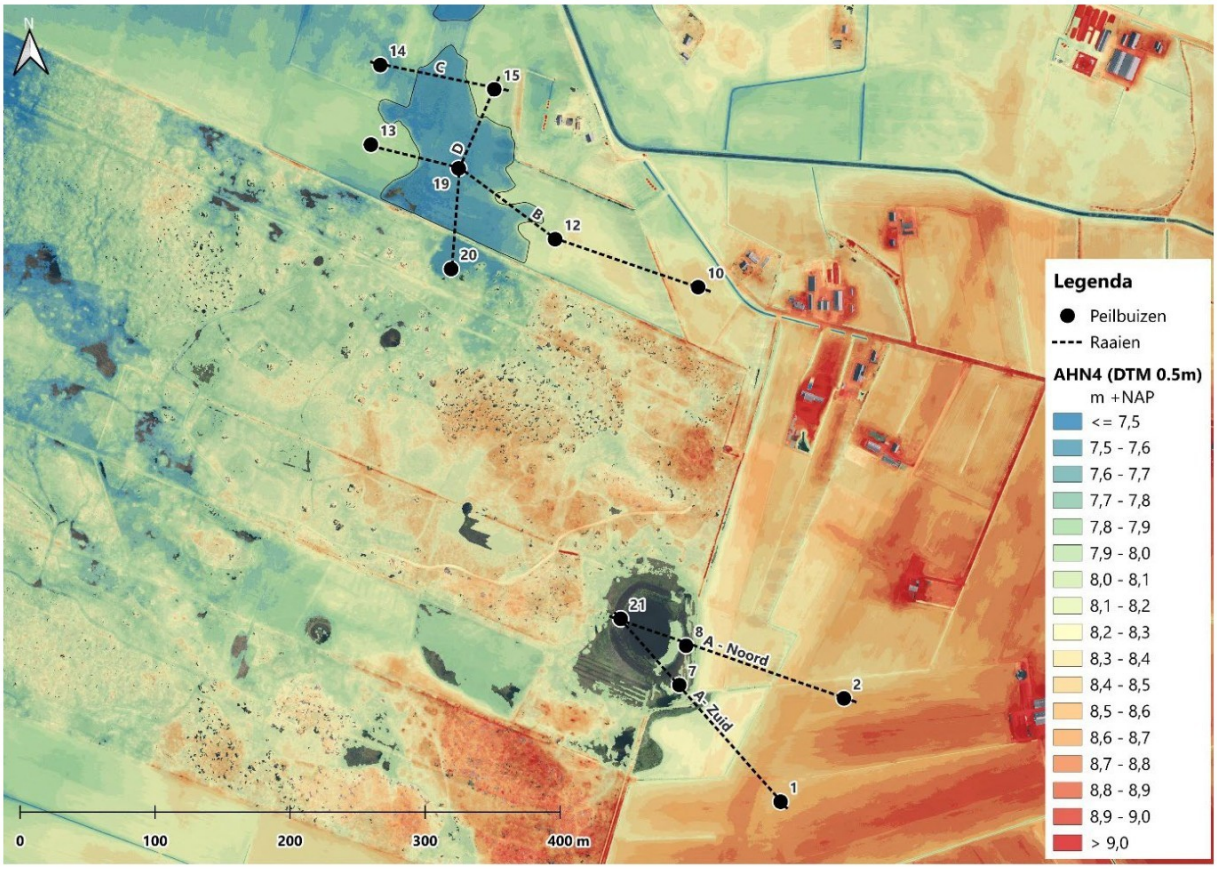
De stikstofbeschikbaarheid in de toplaag van de bodem is over het algemeen laag. Lokaal werden wel hogere sulfaatconcentraties gemeten, maar op de meeste locaties wel lager dan in de toplaag van de bodem van het Kleine Turfgat.

3.3 Kwaliteit grondwater

Voor het monitoren van de grondwaterkwaliteit werden 10 nieuwe peilbuizen geplaatst met een filter van ca. 150 tot 250 cm-mv (Tabel 1). Bij het plaatsen van de peilbuizen werden ook op verschillende diepten bodemmonsters verzameld. De analysedata van deze monsters zijn opgenomen in Bijlage 2. Tussen november 2021 en november 2024 werden de geplaatste peilbuizen jaarlijks bemonsterd in april en november. Daarnaast werd ook grondwater bemonsterd uit zowel een bestaande peilbuis bij het Kleine Turfgat (PB20; 27HG008F1) als Grote Rietgat (PB21; 27H117344). Voor monstername werd ook de stijghoogte van het grondwater ten opzichte van maaiveld gemeten.

3.3.1 Stijghoogten grondwater

Het Boetelerveld ontvangt vooral grondwater vanuit oostelijke richting (Jansen, 2010). Hierbij zijn grote delen overwegend infiltratiegebied en alleen een smalle strook grenzend aan het Grote Rietgat ontvangt grondwater uit het oostelijk gelegen landbouwgebied (van Bakel e.a., 2017). Dit wordt bevestigd door de stijghoogten in de nieuw geplaatste peilbuizen. In raai A ten oosten van het Grote Rietgat (Figuur 24) stroomt zowel in het noordelijke als zuidelijke deel het grondwater richting het Grote Rietgat (Figuur 25). In raai B oostelijk van de slenk stroomt het grondwater richting de slenk, maar ook vanuit westelijke richting (PB13) lijkt enige toestroom van grondwater mogelijk te zijn alhoewel het hoogteverschil gering is (Figuur 25). In het noordelijke deel van de slenk (raai C) stroomt het grondwater zoals verwacht ook in westelijke richting.



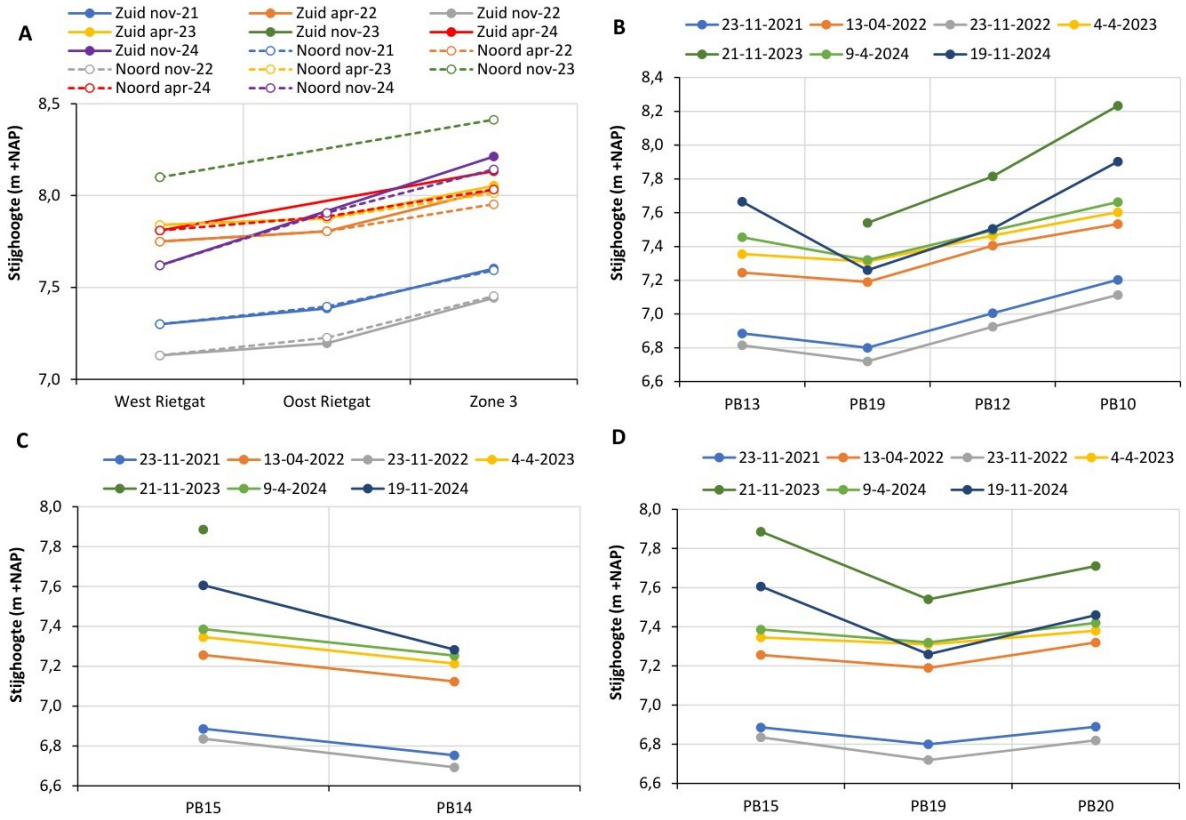
Figuur 24. *Overzicht van de bemonsterde peilbuizen in de omgeving van het Grote Rietgat en het Kleine Turfgat. De peilbuizen zijn gelegen in vijf raaien: A-Noord, A-Zuid, B, C en D.*

Raai D betreft een raai vanuit het noorden via de slenk richting het Kleine Turfgat (Figuur 24). Op basis van deze beperkte metingen lijkt het grondwater zowel vanuit het noorden als het zuiden richting de

slenk te stromen. Of de slenk drainerend werkt op het Kleine Turfgat is met deze metingen niet vast te stellen, aangezien er in het Boetelerveld ondiepe leemlagen (< 50 cm-mv) aanwezig zijn die de grondwaterstanden sterk beïnvloeden (van Bakel e.a., 2017). Het inrichtingsplan van de slenk is zo opgesteld dat de aanleg van de slenk niet zal leiden tot verdroging van het Kleine Turfgat (Kieskamp & Smeenge, 2017).

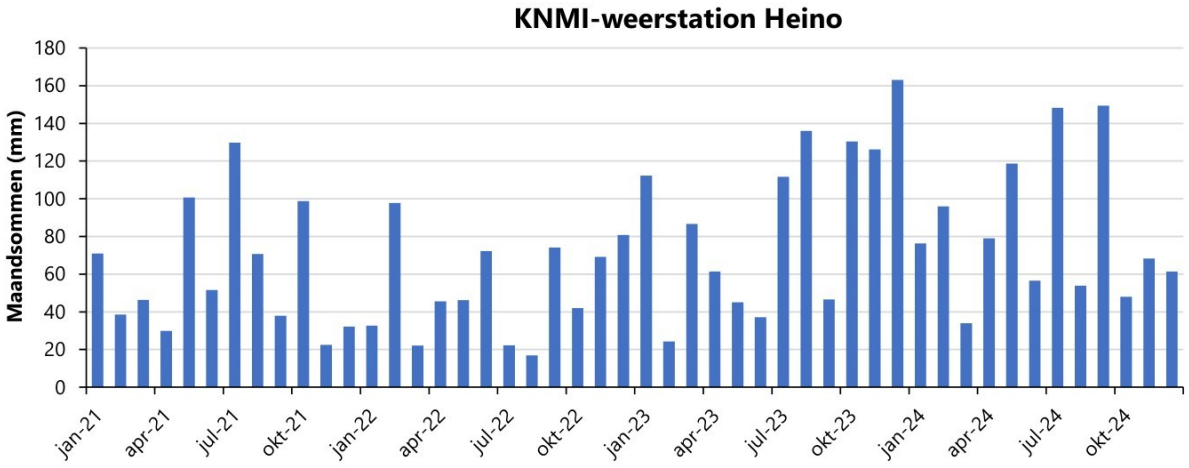
Uit de peilbuismetingen blijkt dat de stijghoogte van het grondwater in april 2022 en april 2023 hoger was dan in november 2021 en november 2022. Als gevolg van de droge zomer van 2022 was in november 2022 het grondwater dieper weggezakt dan in november 2021 (Figuur 25). Verder blijkt dat de grondwaterstanden in november 2023 veel hoger waren dan in november 2021 en november 2022, maar ook hoger dan in april 2022 en april 2023. Doordat op locatie 1, 7, 8, 13 en 14 de peilbuizen in november 2023 onder water stonden, ontbreken hiervan de stijghoogten. Op locatie 10 en 15 was de stijghoogte in november 2023 als gevolg van de extreme regenval (Figuur 26) zelfs ruim 1 m hoger dan in november 2021 en 2022 (Figuur 25).

In april 2024 waren de grondwaterstanden redelijk vergelijkbaar met de standen in april 2023 (Figuur 25). In november 2024 stond het grondwater fors hoger dan in november 2021 en november 2022, maar niet zo hoog als in november 2023.



Figuur 25. *Stijghoogte van het grondwater in raai A ten oosten van het Grote Rietgat (Zone 3 (= PB1 en PB2) betreft buitenste zone van het intrekgebied volgens Figuur 6) en raai B, C en D bij de slenk en het Kleine Turfgat. Voor ligging van de raaien zie Figuur 24.*

In de volgende paragrafen wordt de kwaliteit van het grondwater besproken. In Tabel 12 en Tabel 13 wordt de chemische samenstelling van het grondwater gegeven. De concentraties bicarbonaat, nitraat en sulfaat worden in Figuur 27 t/m Figuur 29 ook ruimtelijk weergegeven.



Figuur 26. *Maandsommen (in mm) van de neerslag van januari 2021 t/m december 2024 voor KNMI-weerstation Heino (hemelsbreed ca. 9 km van het Boetelerveld). Bron data: KNMI.*

3.3.2 Grote Rietgat

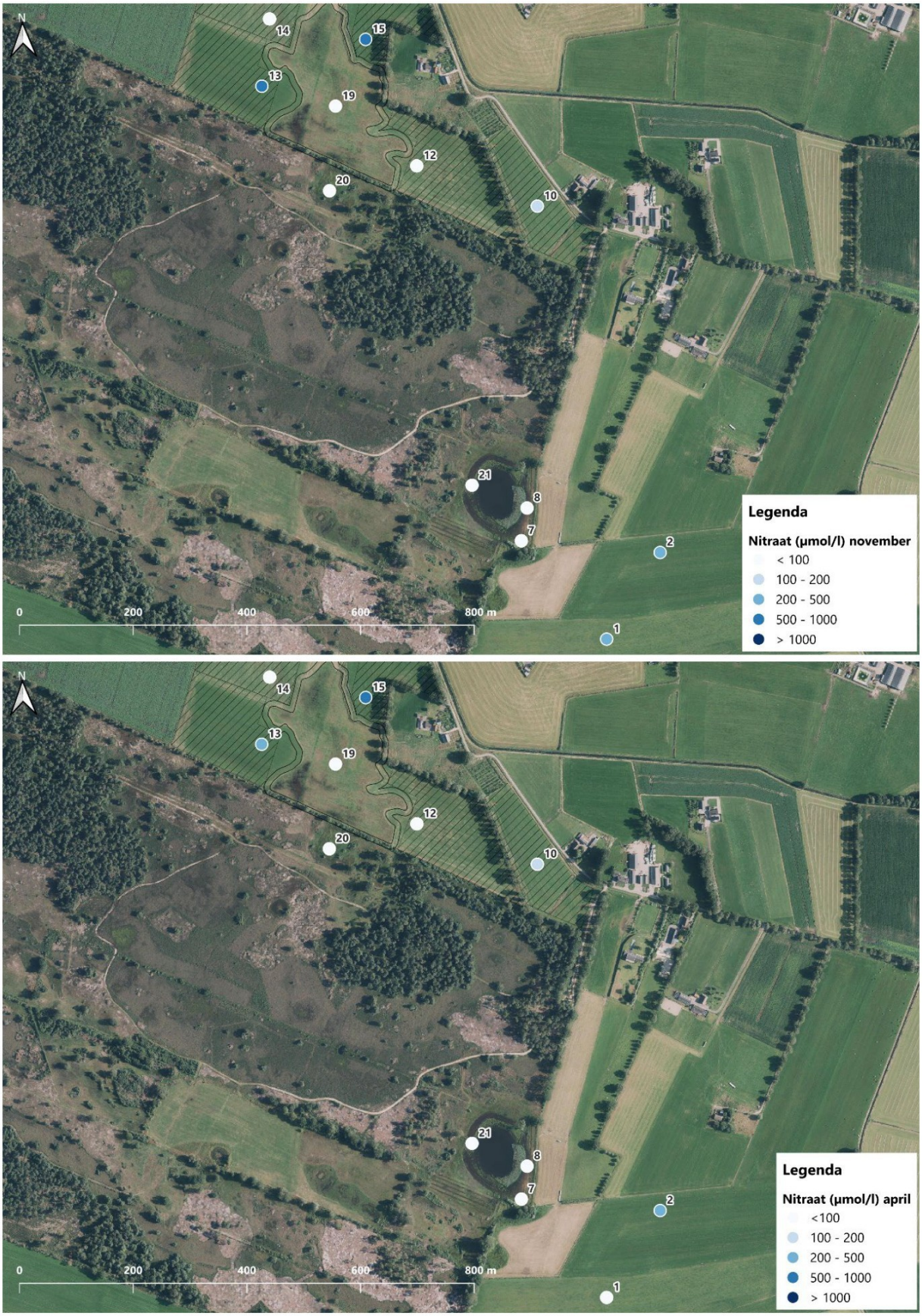
Het Grote Rietgat wordt gevoed vanuit het oosten, waar peilbuizen 7 en 8 staan (Figuur 24). Het grondwater (filterdiepte ca. 150-250 cm-mv) is sterk gebufferd (ca. 3600-7800 mmol HCO_3^-/l en 1600-3500 mmol Ca^{2+}/l; Tabel 12 en Figuur 27). Het grondwater ten oosten van het Grote Rietgat is dus sterk aangerijkt met basen en de toestroom van dit basenrijk grondwater zorgt voor de hoge alkaliniteit van het oppervlaktewater van het Grote Rietgat (zie paragraaf 3.1.1). Het Grote Rietgat is in principe een doorstroomven en het water verlaat aan de westzijde, ter hoogte van peilbuis 21, het ven. Het grondwater aan de westzijde is minder sterk gebufferd dan aan de oostzijde van het Grote Rietgat (Tabel 12 en Figuur 27).

Er zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd waarbij de grondwaterkwaliteit in het landbouwgebied oostelijk van het Grote Rietgat in beeld is gebracht. In oktober 2014 was het grondwater (ca. 180 cm-mv) gemiddeld genomen minder sterk gebufferd en aangerijkt met basen (alkaliniteit: 1300 µeq/l en calcium: 600 µmol/l; [redacted], 2014). Dit wordt bevestigd door grondwateranalyses (150-200 cm-mv) in 2014-2015 waarbij een gemiddelde alkaliniteit van 2000 µeq/l en 750 µmol Ca/l gemeten werd [redacted] e.a., 2016). In september 2017 was het grondwater wat sterker gebufferd met een alkaliniteit van 4200 µeq/l en 2000 µmol Ca/l [redacted] & Smolders, 2017). Ondanks dat de grondwaterkwaliteit op verschillende locaties werd gemeten en vaak maar eenmalig, is er een trend zichtbaar dat de buffercapaciteit van het grondwater is toegenomen.

Voor het behoud van de natuurwaarden van het Grote Rietgat is een belangrijke onderzoeksvraag in hoeverre het toestromende grondwater verontreinigd is met nitraat en sulfaat. Het grondwater op zowel locatie 7 als 8 is arm aan nitraat (< 5 µmol/l; Tabel 12 en Figuur 28), dus er zijn geen aanwijzingen voor verrijking van het Grote Rietgat met stikstof via het grondwater. Het toestromende grondwater is wel periodiek matig aangerijkt met sulfaat (tot ca. 600 µmol/l; Tabel 12 en Figuur 29). In het uitstromende grondwater zit vaak minder sulfaat, waarschijnlijk omdat het sulfaat ter hoogte van het Grote Rietgat gereduceerd wordt tot sulfide en aan ijzer gebonden wordt in de bodem. Bij de eerdere onderzoeken naar de grondwaterkwaliteit in het landbouwgebied werden sulfaatconcentraties van ca. 300-400 µmol/l gemeten [redacted], 2014; [redacted] e.a., 2016; [redacted] & Smolders, 2017). Dit zijn ook de concentraties die vanaf 2023 overwegend werden gemeten.



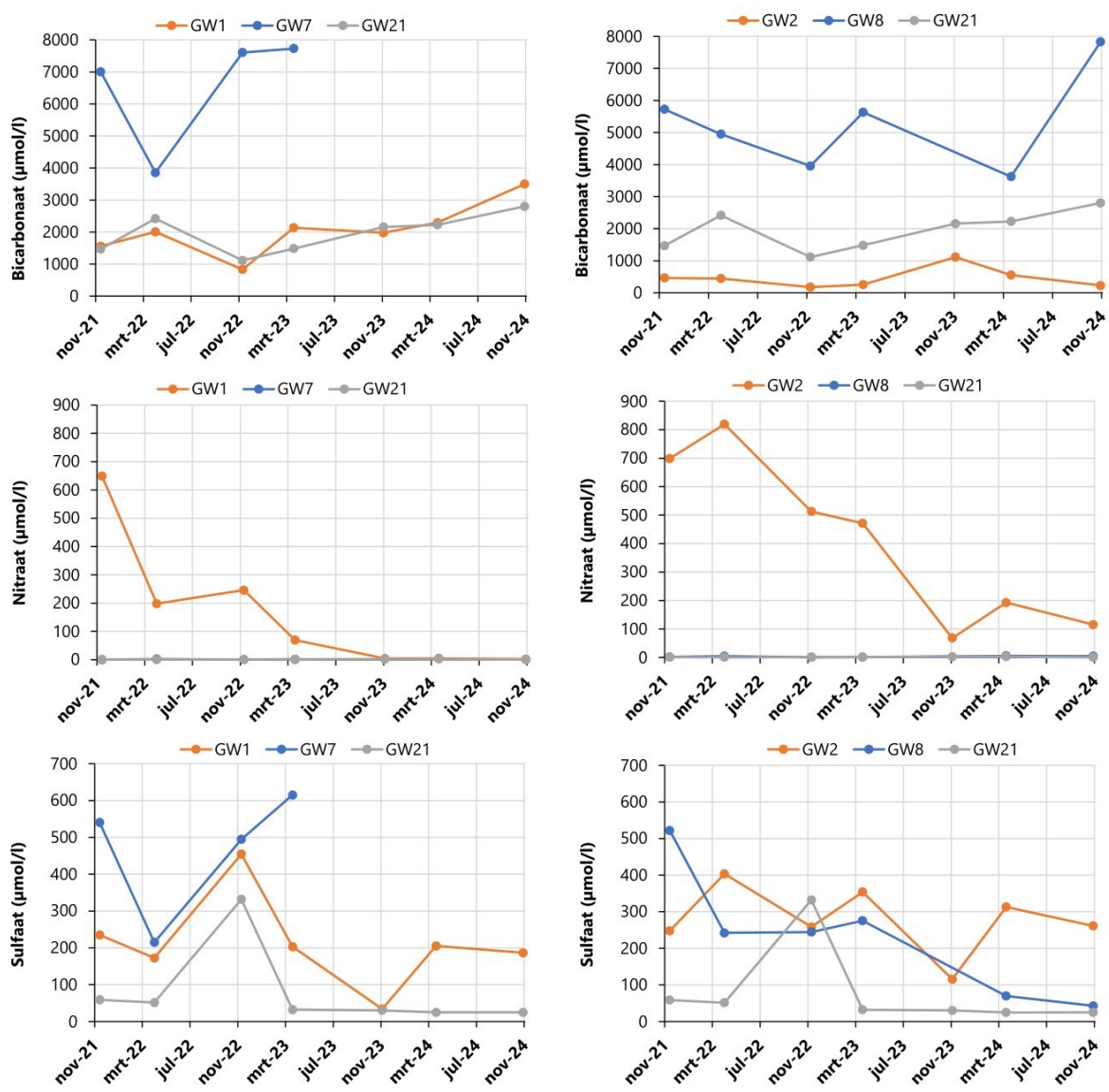
Figuur 27. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde bicarbonaatconcentratie in het grondwater in de maand november (boven; n = 4) en april (onder; n = 3).*



Figuur 28. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde nitraatconcentratie in het grondwater in de maand november (boven; n = 4) en april (onder; n = 3).*



Figuur 29. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde sulfaatconcentratie (gemeten als totaal zwavel) in het grondwater in de maand november (boven; n = 4) en april (onder; n = 3).*



Figuur 30. *Verloop van de concentratie bicarbonaat (boven), nitraat (midden) en sulfaat (onder) in het grondwater van de peilbuizenraai A zuidoostelijk (links) en noordoostelijk (rechts) van het Grote Rietgat. Van locatie 7 ontbreken meetgegevens vanaf november 2023. Locatie 21 betreft het grondwater aan de westelijke zijde van het Grote Rietgat. Voor ligging van de peilbuizen zie Figuur 24.*

Wanneer wat breder naar het inzijggebied gekeken wordt, dan blijkt dat het grondwater ter hoogte van locatie 1 en 2 (locaties buiten de uitmijnzone, gelegen in zone 3 van Figuur 6) wel rijk is aan nitraat (Figuur 30). Opvallend is dat de nitraatconcentraties in het grondwater tussen november 2021 en november 2023 sterk afnemen, van ca. 600-800 µmol/l naar minder dan 100 µmol/l (Figuur 30). Deze afname kan niet toegeschreven worden aan het uitmijnbeheer, aangezien locatie 1 en 2 buiten de uitmijnzone liggen. De sulfaatbelasting van het grondwater neemt niet toe, dus het lijkt er niet op dat nitraat in het grondwater gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem oxideert. Hierbij wordt het nitraat gedenitrificeerd tot stikstofgas en ontstaat sulfaat (zie ook kader 4). Op locatie 1 werden in 2024 nog altijd zeer lage nitraatconcentraties gemeten in het grondwater, maar op locatie 2 nam de nitraatconcentratie weer licht toe (Figuur 30).

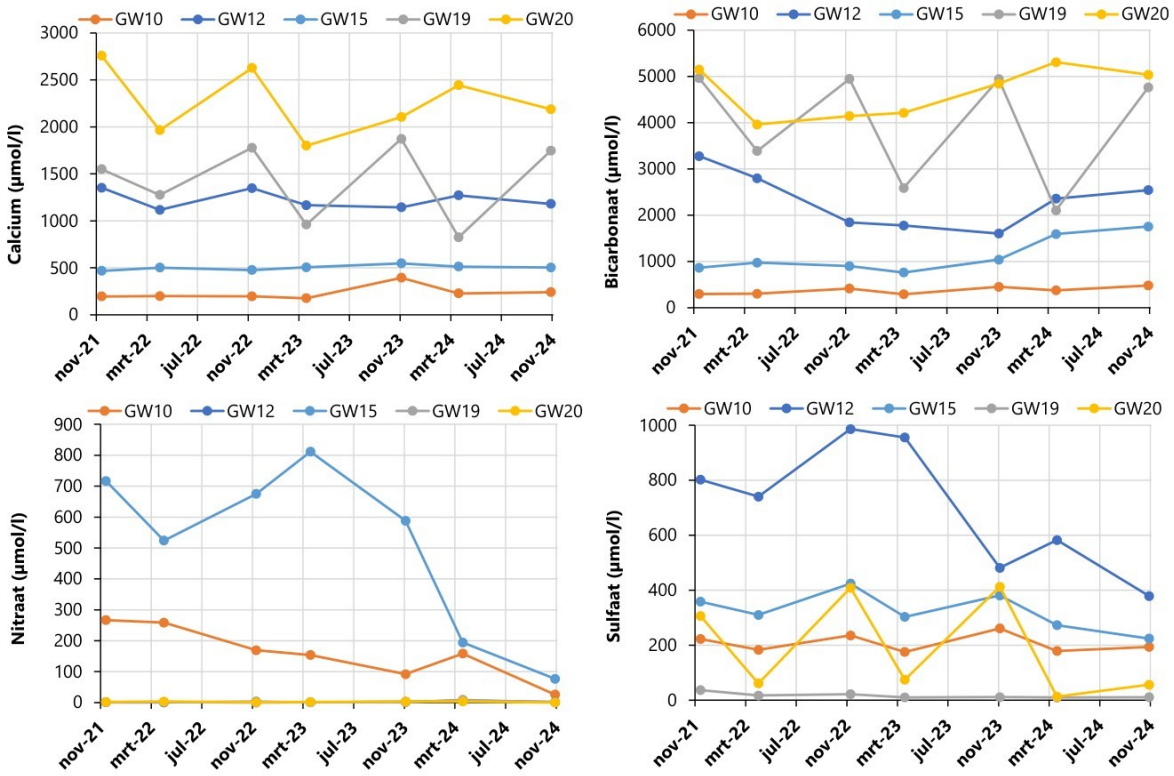
In de zuidelijke raai (GW1 en GW7) zijn de sulfaatconcentraties dichter bij het Grote Rietgat vaak hoger dan in zone 3 (Figuur 30). Mogelijk zijn de hogere sulfaatconcentraties hier wel het gevolg van de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem door nitraat. Vanaf november 2023 ontbreken de grondwateranalyses van locatie 7 omdat de peilbuis eerst onder water stond en daarna bleek te zijn verdwenen.

Tabel 12. *Chemische samenstelling van het grondwater in de omgeving van het Grote Rietgat. Peilbuis 7 en 8 konden in november 2023 vanwege de hoge waterstand niet bemonsterd worden. Peilbuis 7 bleek daarna verdwenen te zijn. EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm, TIC = totaal anorganisch koolstof. De concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 8.*

Datum	PB	pH	EGV	TIC	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Fe/P
			µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
23-11-2021	1	6,24	400	3716	2159	1557	649,1	8,4	963	568	965	38,8	694	8,7	579	0,4	1,9	235	43,9	4,6
13-4-2022	1	6,42	27	3854	1847	2007	198,1	176,2	601	216	340	44,4	538	12,8	554	2,3	15,8	173	75,5	0,8
23-11-2022	1	5,77	333	4216	3385	831	245,7	1,7	1184	438	1156	19,0	510	5,3	386	0,6	1,3	455	168,1	3,9
4-4-2023	1	6,34	339	4502	2367	2135	69,7	68,2	915	217	571	33,2	707	12,4	710	3,5	8,8	203	53,0	1,4
21-11-2023	1	6,72	230	2894	916	1978	4,1	38,9	352	648	269	41,9	329	17,3	369	6,3	31,1	34	53,0	0,6
8-4-2024	1	6,19	437	5882	3587	2295	4,5	97,1	833	378	890	13,9	713	150,0	787	14,1	16,4	205	97,9	9,1
18-11-2024	1	6,29	481	7831	4333	3498	2,2	30,5	1175	381	658	32,7	878	19,1	898	3,1	7,8	187	56,9	2,4
23-11-2021	2	5,93	325	1780	1315	465	698,6	0,9	907	247	452	14,8	519	1,4	239	8,9	0,5	248	210,1	2,7
13-4-2022	2	5,60	247	3166	2718	448	819,2	0,3	818	176	423	11,8	434	1,9	213	7,0	0,5	403	222,2	4,2
23-11-2022	2	5,11	182	3521	3343	178	512,5	1,0	558	182	381	12,5	322	1,5	149	4,8	0,6	258	227,8	2,3
4-4-2023	2	5,36	243	2905	2650	254	471,2	0,5	787	207	497	11,4	416	2,1	222	7,4	0,9	354	204,4	2,3
21-11-2023	2	5,87	177	4771	3655	1117	67,8	1,2	796	119	165	28,6	299	15,1	173	3,0	4,1	115	147,9	3,6
8-4-2024	2	5,63	246	3695	3142	554	192,6	0,8	591	108	445	10,0	432	5,5	289	15,7	1,0	313	186,9	5,3
18-11-2024	2	5,23	184	3497	3269	228	115,3	0,9	543	148	440	10,6	247	2,3	118	4,6	0,9	261	246,4	2,6
23-11-2021	7	7,10	771	8363	1357	7007	0,1	9,2	1103	43	928	0,7	3182	66,4	376	8,2	2,3	541	288,5	28,6
13-4-2022	7	7,19	393	4461	607	3854	2,5	33,4	505	97	516	0,6	1725	41,9	286	2,7	2,9	215	71,2	14,6
23-11-2022	7	6,91	724	9868	2260	7608	0,6	14,5	1027	33	723	0,0	3554	69,3	422	10,6	3,2	495	279,2	21,9
4-4-2023	7	6,94	791	9887	2154	7733	1,5	6,8	1026	30	658	0,0	3518	158,6	437	10,4	3,8	615	295,5	41,9
21-11-2023	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8-4-2024	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
18-11-2024	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23-11-2021	8	6,96	684	7258	1528	5730	1,6	13,4	963	25	913	1,6	2866	148,1	244	10,3	4,4	522	357,5	33,6
13-4-2022	8	7,17	493	5763	811	4953	4,4	23,5	523	102	575	0,5	2409	23,6	326	8,5	2,5	242	130,2	9,5
23-11-2022	8	6,96	371	5011	1055	3956	0,5	14,4	418	13	264	1,3	2003	153,7	147	11,3	4,7	245	383,0	32,7
4-4-2023	8	6,96	581	7122	1488	5633	0,9	11,0	708	90	492	0,0	2641	59,8	291	14,1	2,0	275	192,6	29,3
21-11-2023	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8-4-2024	8	7,14	388	4256	630	3626	5,3	17,1	345	98	238	0,0	1605	22,5	262	5,4	1,8	70	61,6	12,2
18-11-2024	8	6,58	758	12843	5010	7833	4,3	20,9	339	18	132	6,7	3538	804,1	303	23,4	11,2	43	472,4	71,9
23-11-2021	21	6,20	209	3685	2215	1470	1,0	1,6	298	7	468	25,9	838	71,4	124	6,2	2,4	59	85,5	29,3
13-4-2022	21	6,43	258	4610	2191	2419	0,8	1,1	348	48	389	6,1	1170	50,2	207	2,5	1,1	51	37,4	45,7
23-11-2022	21	6,15	213	3044	1927	1117	0,8	0,7	322	0	570	16,2	883	63,9	121	4,7	1,3	332	88,0	48,2
4-4-2023	21	6,16	214	3943	2458	1485	1,6	1,2	431	10	376	11,2	830	64,7	138	4,2	0,8	32	61,8	80,8
21-11-2023	21	5,94	277	8135	5975	2160	2,3	0,2	283	2	522	9,4	1145	89,0	159	7,5	0,9	30	112,7	98,4
8-4-2024	21	6,28	294	5055	2829	2226	2,5	1,0	268	79	208	5,2	1122	51,3	236	1,4	0,7	25	61,3	78,7
18-11-2024	21	6,50	281	4944	2141	2803	0,3	0,5	282	18	144	30,8	1155	90,5	163	12,5	1,2	25	104,6	76,8

3.3.3 Kleine Turfgat en slenk

Om het uittreden van basenrijk water aan het maaiveld te bevorderen is direct noordelijk van het Kleine Turfgat een oude slenkenstructuur hersteld (Kieskamp & Smeenge, 2017). De bedoeling is dat uiteindelijk dit uittredende basenrijk grondwater via de slenk zorgt voor extra aanvoer van basen naar het Kleine Turfgat. Aangezien de slenk is gegraven in voormalig agrarisch gebied is tijdelijk een grondwal aangelegd tussen de slenk en het Kleine Turfgat. Pas op het moment dat het uittredende water in de slenk voedselarm is, zal de grondwal worden verwijderd.



Figuur 31. *Verloop van de concentratie calcium, bicarbonaat, nitraat en sulfaat van het grondwater in de peilbuizenraai B vanuit oostelijke richting naar de slenk (locatie 10, 12 en 15). Locatie 19 ligt in de slenk en locatie 20 betreft het grondwater bij het Kleine Turfgat. Voor ligging van de peilbuizen zie Figuur 24.*

De slenk wordt voornamelijk gevoed vanuit oostelijke richting (peilbuis 10, 12 en 15; Figuur 25). Op locatie 10 (geen uitmijnbeheer) en locatie 15 is het grondwater zwak gebufferd en relatief rijk aan nitraat (Figuur 31). Gedurende de monitoringsperiode neemt de nitraatconcentratie in het grondwater op locatie 10 en 15 geleidelijk af (november 2024: < 100 µmol/l). In de raai met locatie 10 en 12 (raai B in Figuur 24) neemt op de flank van de slenk (locatie 12) de aanrijking van het grondwater met basen toe, verdwijnt het nitraat en neemt de sulfaatconcentratie sterk toe. Zeer waarschijnlijk oxideert het nitraat onderweg naar de slenk gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem. Door denitrificatie verdwijnt dan het nitraat en wordt sulfaat gemobiliseerd (zie kader 4). De ammoniumconcentratie in het grondwater is op locatie 12 in de maand november van 2021 en 2022 verhoogd (Tabel 13). Dit duidt erop dat een deel van het uitgespoelde nitraat niet volledig wordt gereduceerd tot stikstofgas (N_2), maar ook deels tot gereduceerd stikstof in de vorm van ammonium (NH_4^+; zie ook kader 4). In november 2023 werd deze toename van ammonium in het grondwater niet waargenomen, maar wel een beperkte toename in april 2024 (Tabel 13).

Het grondwater ter hoogte van de slenk en het Kleine Turfgat (locatie 19 en 20) is het sterkst gebufferd (ca. 2000-5000 µmol HCO_3/l; Figuur 31), waarbij op de flank van het Kleine Turfgat (GW20) het grondwater altijd goed gebufferd is (> 4000 µmol/l). Centraal in de slenk fluctueert de buffering van het grondwater sterk met een lagere buffering in april en een hogere buffering in november (Figuur 31).

Het grondwater is verder voedselarm (zowel stikstof als fosfor), maar op locatie 20 in november wel licht verrijkt met sulfaat. Uittreden van dit gebufferde grondwater tot in maaiveld is gunstig voor het behoud van blauwgrasland in het Kleine Turfgat. Op locaties in de slenk waar de bodem voedselarm is, zoals op locatie 108 en 112 (Figuur 17), biedt dit onder de juiste hydrologische omstandigheden ook kansen voor de uitbreiding van blauwgrasland (grote delen van de slenk zijn helaas te voedselrijk).

Kader 4: Gevolgen nitraatuitspoeling

Stikstof (N) komt in de bodem voor in organische (bijv. aminozuren en eiwitten) en anorganische verbindingen, zoals ammonium (NH_4^+), nitraat (NO_3^-) of nitriet (NO_2^-). Ammonium wordt goed gebonden aan het bodemadsorptiecomplex en is daarom een stuk minder mobiel dan nitraat en nitriet, welke makkelijker uitspoelen. Door mineralisatie wordt stikstof in organisch materiaal vrijgemaakt in de vorm van ammonium. Ammonium kan door nitrificerende bacteriën worden omgezet in nitraat (nitrificatie; reactie 1; een redoxreactie). Hierbij wordt H^+ gevormd dat bij onvoldoende buffercapaciteit in een systeem tot verzuring kan leiden. Bij een lage pH (pH < 4,5) wordt de nitrificatie geremd en zal stikstof in de vorm van ammonium accumuleren.

(1) $NH_4^+ + 2\ O_2 \Rightarrow NO_3^- + 2\ H^+ + H_2O$

Bij afwezigheid van zuurstof kan nitraat optreden als oxidator en vindt nitraatreductie plaats. Het meest voorkomend is denitrificatie waarbij nitraat wordt omgezet in stikstofgas (N_2; reactie 2). Daarnaast kan ook dissimilatieve nitraatreductie optreden waarbij nitraat wordt omgezet tot ammonium (reactie 3).

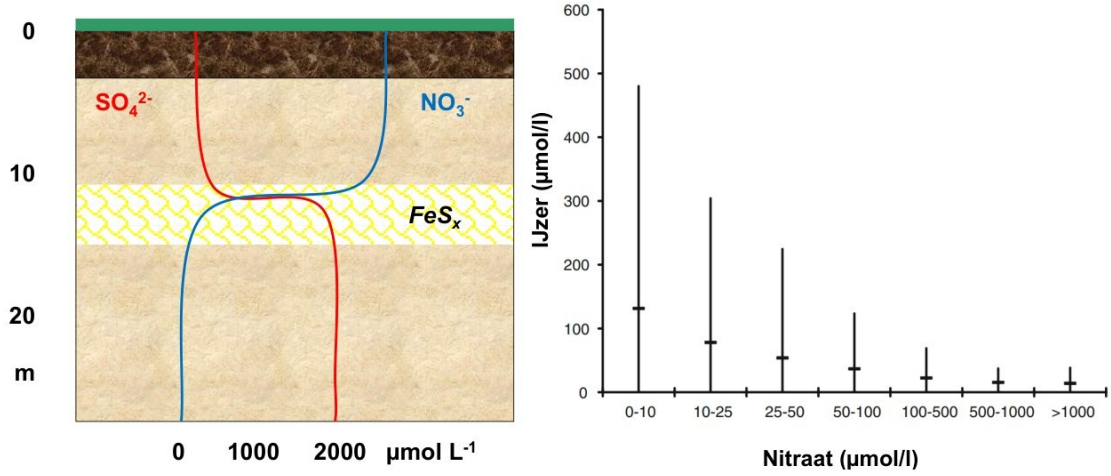
(2) $4\ NO_3^- + 4\ C_{organisch} \Rightarrow 2\ N_2 + 4\ HCO_3^- + H_2CO_3 + 2\ H_2O$

(3) $NO_3^- + 2\ C_{organisch} + H^+ + 2H_2O \Rightarrow NH_4^+ + 2\ CO_2 + OH^-$

Bij denitrificatie wordt netto buffercapaciteit gegenereerd want behalve stikstofgas (N_2) wordt er ook (bi)carbonaat gevormd (reactie 2). De buffercapaciteit in een systeem kan hierdoor toenemen (interne alkalinisatie). Behalve dat er bij dit proces organische stof geconsumeerd wordt, is het dus ook mogelijk dat door verhoogde bicarbonaatconcentraties en verhoogde pH-waarden versnelde decompositie en mineralisatie optreedt.

Zonder menselijke invloed zijn de nitraatconcentraties in het grondwater zelden hoger dan 25 µmol/l. Als gevolg van bemesting en atmosferische stikstofdepositie zijn de nitraatconcentraties in het freatisch grondwater (sterk) toegenomen. Nitraatverontreiniging wordt tot op grote diepte (in de Pleistocene zandgebieden tot minimaal 15 m-mv) gevonden in infiltratiegebieden in agrarisch gebruik, en in mindere mate onder (naald)bossen. Deze laatste vangen veel droge en natte stikstofdepositie in de vorm van ammonium en nitraat. Het ammonium wordt in de bosbodems genitrificeerd tot nitraat en kan uitspoelen naar het grondwater.

In de ondergrond kan nitraat uit het water verdwijnen door anaerobe denitrificatie waarbij het nitraat reageert met organisch materiaal, sideriet ($FeCO_3$) of pyriet (FeS_2). Hierbij wordt het nitraat omgevormd tot stikstofgas en verdwijnt uit het grondwater. Indien het nitraat reageert met pyriet zal er een toename van sulfaat in het grondwater plaatsvinden (Figuur A links). Nitraat kan ook opgelost gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) in het grondwater oxideren. Nitraat wordt hierbij gedenitrificeerd tot stikstofgas en het opgeloste ijzer wordt geoxideerd en slaat neer in de bodem als ijzer(hydr)oxide. Nitraatrijk grondwater is door dit proces vrijwel altijd arm aan ijzer (Figuur A rechts).



Figuur A. *Links: uitspoeling van nitraat kan resulteren in sulfaatbelasting van het grondwater. Rechts: als gevolg van nitraatuitspoeling nemen de concentraties opgelost ijzer in het grondwater af.*

Tabel 13. *Chemische samenstelling van het grondwater in de omgeving van het Kleine Turfgat en de slenk. EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm, TIC = totaal anorganisch koolstof. De concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 9.*

Datum	PB	pH	EGV	TIC	CO_2	HCO_3	NO_3	NH_4	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Fe/P
			µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
23-11-2021	10	5,74	150	1594	1298	296	266,6	3,1	564	234	106	190,1	195	9,7	165	0,4	6,6	223	101,9	1,5
13-4-2022	10	5,53	132	2444	2141	304	258,6	2,6	493	195	58	167,2	198	8,1	160	0,5	2,5	183	82,0	3,2
23-11-2022	10	5,66	134	2624	2209	415	169,4	3,0	547	232	118	165,4	196	10,4	150	0,4	3,7	236	104,6	2,8
4-4-2023	10	5,50	121	2540	2248	292	153,8	2,2	493	188	49	161,8	175	9,0	146	0,3	2,0	176	79,0	4,6
21-11-2023	10	5,71	137	2567	2116	451	91,8	1,8	174	38	72	127,3	394	9,2	296	2,2	4,2	261	78,4	2,2
8-4-2024	10	5,51	126	3188	2813	375	158,5	0,7	223	134	44	108,7	228	7,0	204	0,4	2,0	179	71,9	3,5
18-11-2024	10	5,55	127	3721	3240	481	25,9	2,5	180	146	65	91,8	241	6,8	206	0,4	2,1	194	83,1	3,2
23-11-2021	12	6,11	501	9405	6128	3276	0,8	212,2	1177	567	99	55,4	1352	6,4	437	60,0	4,3	802	49,8	1,5
13-4-2022	12	6,02	412	9312	6514	2798	0,6	47,5	1019	404	35	57,1	1116	7,8	695	29,3	1,7	741	51,7	4,5
23-11-2022	12	5,63	493	12354	10510	1844	2,8	307,2	1306	422	680	58,1	1348	7,6	461	54,5	2,9	986	83,8	2,6
4-4-2023	12	6,03	414	5736	3959	1777	0,9	52,9	824	437	18	46,8	1166	4,1	615	35,7	1,8	956	53,1	2,2
21-11-2023	12	5,95	288	5898	4295	1603	2,5	2,7	160	62	48	44,8	1144	11,3	444	28,5	3,2	481	123,7	3,5
8-4-2024	12	6,00	411	7986	5628	2357	5,9	96,0	422	248	25	40,1	1271	23,1	634	30,3	1,5	583	54,6	15,2
18-11-2024	12	5,91	411	10115	7572	2543	1,8	12,6	390	305	42	36,9	1180	11,4	707	16,5	1,4	379	51,4	8,0
23-11-2021	13	5,96	736	3718	2696	1023	1310,1	0,9	1283	421	1301	55,3	1849	6,2	893	0,6	3,9	1631	51,1	1,6
13-4-2022	13	6,11	510	4969	3238	1731	469,2	2,6	1166	424	712	75,3	1392	4,3	663	0,4	1,3	1062	45,2	3,4
23-11-2022	13	5,75	665	3550	2882	668	1526,2	1,9	1207	461	1325	28,4	1766	2,0	922	0,8	0,7	1537	61,9	2,8
4-4-2023	13	6,09	415	4503	2985	1517	221,6	1,7	1123	516	94	105,2	1001	7,1	545	0,2	1,8	872	43,4	4,1
21-11-2023	13	6,11	360	5086	3319	1766	131,3	1,5	764	430	101	82,3	906	8,6	487	1,0	2,0	608	54,6	4,4
8-4-2024	13	6,11	345	4928	3216	1712	76,2	0,4	713	334	18	117,8	851	7,9	453	0,6	1,7	532	54,2	4,7
18-11-2024	13	6,03	377	7257	5016	2241	5,7	1,3	668	409	39	54,1	912	3,4	490	0,7	1,0	523	51,2	3,4
23-11-2021	14	6,07	77	2039	1372	667	59,8	1,6	60	28	15	42,3	295	5,7	75	2,0	2,4	120	62,0	2,4
13-4-2022	14	5,67	69	2738	2291	447	27,8	1,4	23	19	11	64,5	314	3,6	61	2,2	1,0	102	49,9	3,6
23-11-2022	14	5,47	66	2271	2022	248	8,9	1,2	64	16	115	44,9	277	3,5	63	3,2	0,9	136	97,4	3,9
4-4-2023	14	5,88	134	3619	2751	868	0,7	17,3	121	36	37	40,9	576	53,3	127	9,4	1,6	108	31,3	33,9
21-11-2023	14	6,36	220	3965	2030	1935	6,2	31,4	29	18	77	96,5	1101	13,1	187	9,7	11,7	99	80,0	1,1
8-4-2024	14	5,54	257	4035	3527	508	4,5	328,9	156	110	55	40,5	856	149,2	234	52,0	6,0	26	39,9	24,9
18-11-2024	14	5,68	161	6316	5267	1049	3,0	121,9	85	58	105	38,9	485	86,7	117	36,8	2,2	32	72,8	39,2
23-11-2021	15	6,12	353	2452	1587	865	716,7	3,3	1203	903	263	170,2	467	11,6	321	0,1	3,7	358	41,5	3,1
13-4-2022	15	6,14	293	2679	1705	974	524,1	3,3	944	684	153	261,5	501	14,4	353	0,1	2,7	310	42,1	5,2
23-11-2022	15	5,87	354	3811	2911	900	675,0	2,4	1178	861	481	106,4	476	14,3	346	0,1	1,9	424	57,8	7,3
4-4-2023	15	6,16	315	2044	1282	762	811,4	2,5	1010	748	56	216,3	505	15,8	409	0,0	2,5	303	40,9	6,3
21-11-2023	15	6,14	321	2877	1837	1040	588,1	1,8	795	709	123	191,5	548	15,2	450	0,1	2,4	381	49,6	6,2
8-4-2024	15	6,18	279	4115	2523	1592	194,1	3,9	453	509	50	154,4	513	12,5	463	0,0	2,1	273	45,5	5,9
18-11-2024	15	6,13	280	4911	3156	1755	76,7	1,9	416	580	56	85,1	502	7,4	459	0,0	1,2	224	42,4	6,0
23-11-2021	19	7,11	423	5883	922	4962	1,6	2,6	308	398	68	1,1	1550	3,3	391	2,3	1,1	36	177,4	3,0
13-4-2022	19	7,40	297	3713	326	3387	2,0	7,0	162	242	170	3,5	1275	5,9	288	1,5	0,5	17	201,7	11,4
23-11-2022	19	7,09	410	5926	980	4946	0,1	3,4	251	335	170	2,0	1777	7,0	420	3,4	0,8	22	232,9	8,2
4-4-2023	19	7,32	246	2885	298	2588	1,4	1,1	196	231	60	0,4	959	10,4	238	1,3	0,7	10	195,1	14,0
21-11-2023	19	6,94	454	6324	1383	4941	1,0	3,4	194	298	66	0,4	1872	20,8	460	3,6	0,9	11	309,6	22,5
8-4-2024	19	7,01	217	2600	495	2105	8,6	12,9	109	143	20	2,0	825	26,3	201	1,9	1,0	10	257,0	26,6
18-11-2024	19	6,91	444	6185	1424	4761	0,6	41,7	106	200	36	1,3	1746	60,5	421	5,2	0,9	11	341,7	64,0
23-11-2021	20	7,03	781	6299	1150	5149	1,9	29,4	1816	47	2513	9,3	2756	96,0	169	7,6	2,5	306	261,6	38,0
13-4-2022	20	7,10	387	4720	760	3960	3,1	2,9	425	28	392	2,0	1964	27,8	105	4,0	1,7	61	280,8	16,7
23-11-2022	20	7,13	695	4891	749	4143	1,3	4,0	1974	23	2317	4,9	2628	81,3	160	6,1	4,3	409	297,0	18,8
4-4-2023	20	7,49	405	4538	328	4210	2,1	1,0	535	42	212	0,0	1799	27,7	233	3,9	0,9	74	93,0	30,1
21-11-2023	20	7,27	567	5476	634	4842	3,3	52,8	1410	17	770	0,9	2105	23,9	125	5,6	6,6	413	201,2	3,6
8-4-2024	20	7,17	511	6173	866	5306	3,6	79,1	241	51	54	0,0	2444	117,0	205	9,2	5,0	12	142,6	23,5
18-11-2024	20	7,08	482	6056	1021	5035	0,3	15,1	373	15	107	1,0	2188	56,1	121	10,3	3,5	56	246,5	16,2

3.3.4 Samenvatting kwaliteit grondwater

Grote Rietgat

Het Grote Rietgat wordt gevoed vanuit het oosten met sterk gebufferd (ca. 3600-7600 µmol HCO_3^-/l en 1600-3500 µmol Ca^{2+}/l) grondwater. De toestroom van basenrijk grondwater zorgt voor de hoge alkaliniteit van het oppervlaktewater van het Grote Rietgat. Uit een vergelijking met de oudere grondwaterkwaliteitgegevens (2014-2017) lijkt er een trend aanwezig dat de buffercapaciteit van het grondwater is toegenomen.

Het toestromende grondwater in de directe omgeving van het Grote Rietgat is arm aan nitraat (< 5 µmol/l), dus er zijn geen aanwijzingen voor verrijking met stikstof via het grondwater. Het toestromende grondwater is periodiek wel aangerijkt met sulfaat (tot ca. 600 µmol/l). Vanaf 2023 zijn de sulfaatconcentraties overwegend maximaal 300-400 µmol/l en daarmee beperkt verrijkt. Het sulfaat wordt mogelijk gemobiliseerd door nitraatuitspoeling vanuit de agrarische omgeving. Dit sulfaat kan, op termijn, via interne eutrofiëring resulteren in een verslechtering van de waterkwaliteit wanneer aan ijzer gebonden fosfaat wordt gemobiliseerd.

Kleine Turfgat en Slenk

Op grotere afstand van de slenk, maar ook op locatie 15, is het grondwater zwak gebufferd en relatief rijk aan nitraat. Op de flank van de slenk neemt de aanrijking van het grondwater met basen toe, verdwijnt het nitraat en neemt de sulfaatconcentratie sterk toe. Zeer waarschijnlijk oxideert het nitraat onderweg naar de slenk gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem, waarbij sulfaat wordt gemobiliseerd.

Het grondwater is ter hoogte van de slenk en het Kleine Turfgat het sterkst gebufferd (2000-5000 µmol HCO_3/l). Het grondwater is verder voedselarm (zowel stikstof als fosfor) en licht verrijkt met sulfaat. Uittreden van dit gebufferde grondwater tot in maaiveld is gunstig voor het behoud van blauwgrasland in het Kleine Turfgat. Op locaties in de slenk waar de bodem voedselarm is biedt dit onder de juiste hydrologische omstandigheden ook kansen voor de uitbreiding van blauwgrasland.

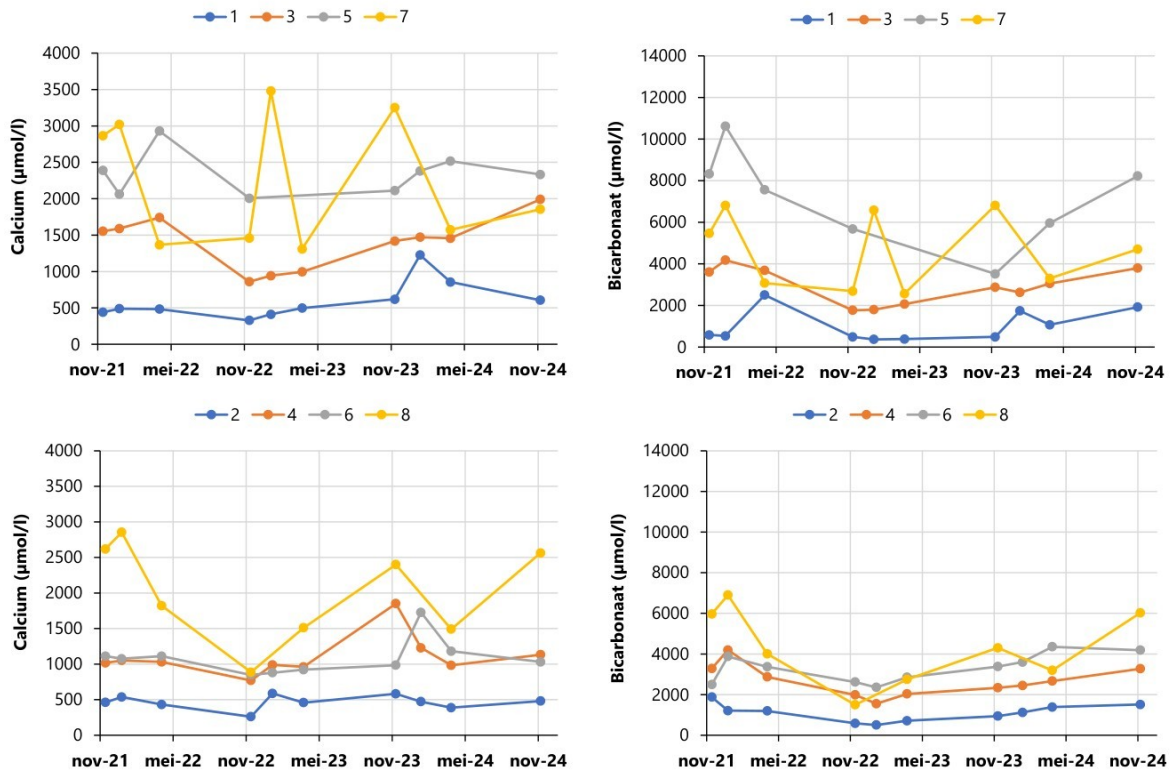
3.4 Uitspoeling agrarische percelen

Om de uitspoeling van nutriënten uit de landbouwpercelen in beeld te brengen werden op 14 locaties keramische cups geplaatst op 65 of 75 cm onder maaiveld voor de bemonstering van het poriewater (Figuur 8 en Figuur 9). De samenstelling van het poriewater werd bepaald in de maanden november en april (Tabel 14 en Tabel 15). Aangezien de uitspoeling van nutriënten aan de start van de natte periode in een vrij kort tijdsbestek kan plaatsvinden, werd in de jaren 2022 t/m 2024 het poriewater extra bemonsterd in de maand januari. In de grafieken met het verloop van de concentraties calcium, bicarbonaat, nitraat en sulfaat in het poriewater (Figuur 32, Figuur 34 en Figuur 37) wordt voor de y-as dezelfde schaal gebruikt om de locaties goed te kunnen vergelijken.

3.4.1 Grote Rietgat

Uit de analyses van de poriewaterlocaties in de twee raaien ten oosten van het Boetelerveld blijkt dat het poriewater op 65-75 cm onder maaiveld vaak al sterk gebufferd is (Figuur 32). Zowel de calcium- als bicarbonaatconcentratie neemt toe in de richting van het Boetelerveld. Calcium en bicarbonaat tonen ook vergelijkbare fluctuaties in de tijd, een indicatie dat er geen sprake is van interne alkalinisatie waarbij alleen bicarbonaat wordt gegenereerd. In Figuur 33 wordt de gemiddelde bicarbonaatconcentratie in november, januari en april ruimtelijk weergegeven. Hieruit blijkt dat de buffering van het poriewater toeneemt richting het Grote Rietgat.

De poriewateranalyses moeten duidelijkheid geven over de mate van uitspoeling van nitraat en sulfaat vanuit de agrarische percelen naar het grondwater. Om uitspoeling te voorkomen worden de percelen grenzend aan het Boetelerveld vanaf 2021 uitgemijnd met de bestaande graszode. De percelen met locatie 1 en 2 zijn in regulier agrarisch gebruik, de percelen met locatie 3 t/m 6 worden uitgemijnd en locatie 7 en 8 liggen aan de rand van het Grote Rietgat.



Figuur 32. *Verloop van de concentratie calcium (links) en bicarbonaat (rechts) in het poriewater in de raai zuidoostelijk (boven) en noordoostelijk (onder) van het Grote Rietgat. Voor ligging van de locaties zie Figuur 8.*



Figuur 33. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde bicarbonaatconcentratie in het poriewater in november (kleine stippen; n = 4), januari (middelgrote stippen; n = 3; ontbreekt voor locatie 9) en april (grote stippen; n = 3).*

Tabel 14. *Chemische samenstelling van het poriewater op 65 of 75 cm diepte van de agrarische percelen rondom het Grote Rietgat (locatie 1 t/m 8). Het poriewater tweemaal per jaar bemonsterd in de maand november en april. In de periode 2022 t/m 2024 werd een extra bemonstering van het poriewater in januari uitgevoerd. EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm, TIC = totaal anorganisch koolstof. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 8.*

Datum	Locatie	Diepte	pH	EGV	TIC									Ca	Fe	Mg	P	S	Fe/P-ratio
		cm		µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
23-11-2021	1	65	6,25	333	1373	789	584	746,4	5,6	957	473	1139	9,7	441	2,7	311	0,7	226	3,6
3-1-2022	1	65	6,13	339	1494	960	535	745,4	1,1	992	516	1070	15,3	489	2,2	341	0,9	287	2,4
13-4-2022	1	65	6,14	301	6875	4375	2500	474,6	2,9	970	438	741	22,2	485	4,4	318	0,7	342	6,3
23-11-2022	1	65	6,57	200	806	318	489	241,9	7,8	741	336	328	23,2	329	14,4	194	3,5	243	4,1
16-1-2023	1	65	6,24	290	887	517	370	413,4	2,0	917	416	605	24,2	412	31,8	258	2,1	265	14,9
4-4-2023	1	65	6,43	347	733	348	385	550,8	2,3	1083	486	1302	19,5	498	6,2	357	1,1	268	5,5
21-11-2023	1	65	5,94	427	1822	1335	487	709,7	1,4	1110	530	1726	16,3	619	7,7	465	1,3	304	6,0
23-1-2024	1	65	6,36	705	3588	1850	1738	290,1	335,9	1241	620	3143	14,3	1227	421,6	871	8,7	717	48,5
8-4-2024	1	65	5,89	618	4357	3288	1069	565,3	4,7	1716	532	2041	26,3	856	8,9	713	1,8	721	4,8
18-11-2024	1	65	5,93	438	7370	5449	1920	2,9	21,1	1485	464	1019	28,9	607	80,7	462	3,2	430	24,9
23-11-2021	2	65	6,18	243	4898	3019	1879	152,6	4,1	722	191	349	8,4	462	1,6	291	1,6	339	1,0
3-1-2022	2	65	5,94	257	4565	3355	1210	164,6	0,5	688	185	402	12,0	538	1,3	340	1,0	397	1,3
13-4-2022	2	65	6,10	216	3507	2309	1198	82,5	3,4	656	177	339	18,4	433	5,0	258	2,4	256	2,1
23-11-2022	2	65	6,97	.	740	153	588	9,4	76,9	662	239	360	10,7	261	21,3	154	12,4	355	1,7
16-1-2023	2	65	5,94	301	1901	1394	506	202,5	2,2	895	171	1010	34,8	588	4,8	341	1,7	309	2,8
4-4-2023	2	65	5,97	237	2547	1835	712	13,1	2,4	820	176	800	30,6	459	15,6	288	2,3	232	6,6
21-11-2023	2	65	5,86	296	4100	3156	944	42,9	1,9	874	178	932	27,4	583	4,2	364	1,5	261	2,8
23-1-2024	2	65	5,97	236	4062	2937	1125	0,2	2,7	641	128	331	27,6	472	11,7	306	2,1	209	5,5
8-4-2024	2	65	5,96	211	5058	3669	1389	9,4	1,2	651	125	139	31,5	388	18,2	243	2,0	169	9,1
18-11-2024	2	65	5,82	256	7020	5507	1513	0,1	2,6	746	135	418	27,4	482	15,2	306	1,5	121	9,8
23-11-2021	3	65	6,53	367	6166	2552	3614	26,8	3,5	105	72	27	0,0	1554	0,4	347	1,1	121	0,4
3-1-2022	3	65	6,55	362	7005	2825	4179	16,0	2,9	118	70	16	0,5	1590	0,5	354	0,8	117	0,6
13-4-2022	3	65	6,59	457	5985	2302	3683	3,1	454,1	419	290	156	15,6	1742	286,1	462	13,6	1085	21,1
23-11-2022	3	65	6,78	227	2477	706	1770	317,8	248,0	173	41	66	34,2	860	50,0	171	30,6	230	1,6
16-1-2023	3	65	6,67	233	2719	922	1798	41,3	0,4	165	28	37	4,5	943	4,1	181	2,1	213	1,9
4-4-2023	3	65	6,66	230	3142	1080	2062	1,9	1,0	386	37	179	4,3	995	21,9	227	2,2	197	10,1
21-11-2023	3	65	6,47	333	5233	2361	2872	38,6	0,4	126	64	48	0,8	1419	6,4	324	1,6	285	4,1
23-1-2024	3	65	6,54	323	4442	1814	2628	20,2	2,8	115	51	31	0,0	1471	7,8	346	1,3	282	6,2
8-4-2024	3	65	6,53	349	5234	2178	3056	4,6	5,6	109	49	21	0,0	1456	42,8	342	5,7	277	7,5
18-11-2024	3	65	6,38	484	7608	3813	3796	19,5	1,7	109	62	26	0,8	1991	17,7	458	2,4	287	7,4
23-11-2021	4	65	6,38	347	6620	3337	3284	155,3	5,0	658	55	38	0,1	1016	1,6	450	2,9	274	0,6
3-1-2022	4	65	6,67	418	6340	2149	4191	163,1	79,9	797	154	102	0,9	1052	96,7	503	23,5	284	4,1
13-4-2022	4	65	6,31	329	6229	3357	2871	151,4	7,4	615	72	108	0,2	1031	1,4	447	6,5	291	0,2
23-11-2022	4	65	6,96	259	2515	528	1987	48,0	53,6	616	55	40	1,3	770	47,9	325	7,7	391	6,2
16-1-2023	4	65	6,52	352	2683	1132	1552	534,9	1,6	746	54	31	0,6	990	15,6	407	4,9	589	3,2
4-4-2023	4	65	6,44	326	3806	1774	2032	325,3	1,2	697	54	66	0,0	961	0,7	425	3,2	503	0,2
21-11-2023	4	65	6,21	577	5838	3499	2339	880,3	0,6	718	100	53	0,0	1851	1,6	802	2,7	1335	0,6
23-1-2024	4	65	6,22	346	6009	3558	2451	26,2	2,6	346	62	17	8,9	1229	9,1	524	6,7	421	1,3
8-4-2024	4	65	6,31	299	5845	3178	2668	4,7	0,6	332	52	3	0,0	983	4,7	428	3,0	206	1,6
18-11-2024	4	65	6,16	351	8753	5480	3272	1,0	0,1	289	43	0	1,9	1133	2,4	495	2,4	349	1,0
23-11-2021	5	65	6,53	799	14215	5892	8323	4,3	345,4	298	531	79	0,0	2389	2218,1	524	4,7	66	476,1
3-1-2022	5	65	6,85	958	14253	3632	10621	0,3	488,7	2312	616	257	7,6	2062	1372,3	426	9,8	120	139,9
13-4-2022	5	65	6,59	827	12205	4648	7557	6,6	135,8	1961	263	641	0,2	2931	1424,5	721	19,0	259	74,9
23-11-2022	5	65	6,69	560	8480	2801	5680	6,8	535,0	285	604	77	3,6	2006	912,1	546	5,5	310	166,0
16-1-2023	5	65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4-4-2023	5	65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
21-11-2023	5	65	6,22	513	8585	5069	3516	1,6	27,8	106	12	53	0,0	2112	0,7	731	2,8	970	0,2
23-1-2024	5	65	.	.	.	.	.	2,1	92,4	305	76	39	1,8	2382	211,9	577	2,5	1213	83,2
8-4-2024	5	65	6,45	619	11109	5152	5957	6,7	95,5	214	125	22	0,0	2516	903,4	569	2,3	109	399,1
18-11-2024	5	65	6,66	799	12530	4306	8224	3,9	469,9	335	552	159	9,2	2333	1254,2	635	1,8	128	688,7
23-11-2021	6	65	6,24	470	5984	3493	2490	204,1	0,2	854	474	486	0,8	1111	1,8	575	2,1	470	0,9
3-1-2022	6	65	6,56	445	6483	2604	3879	192,2	0,4	841	451	318	0,7	1075	1,1	552	1,3	461	0,8
13-4-2022	6	65	6,53	919	5758	2390	3368	269,3	2,9	781	401	90	0,8	1112	2,6	553	1,6	465	1,6
23-11-2022	6	65	6,93	349	3368	749	2620	40,2	0,1	843	349	183	0,6	849	8,4	431	1,4	480	6,1
16-1-2023	6	65	6,67	385	3561	1205	2355	184,5	0,7	941	393	112	0,4	880	1,5	430	1,1	502	1,3
4-4-2023	6	65	6,66	393	4344	1490	2853	234,1	1,2	976	417	67	0,0	923	0,3	484	0,8	484	0,4
21-11-2023	6	65	6,40	404	6659	3280	3380	244,7	0,3	835	403	48	0,3	984	1,5	506	1,6	293	0,9
23-1-2024	6	65	6,44	502	6736	3139	3597	0,9	127,3	382	309	103	2,7	1728	118,6	690	12,9	126	9,2
8-4-2024	6	65	6,37	460	8822	4466	4355	2,5	17,5	707	361	8	1,9	1181	138,4	581	5,5	183	25,0
18-11-2024	6	65	6,30	419	9270	5082	4188	0,3	8,6	649	384	25	1,4	1031	7,0	528	1,4	122	5,1

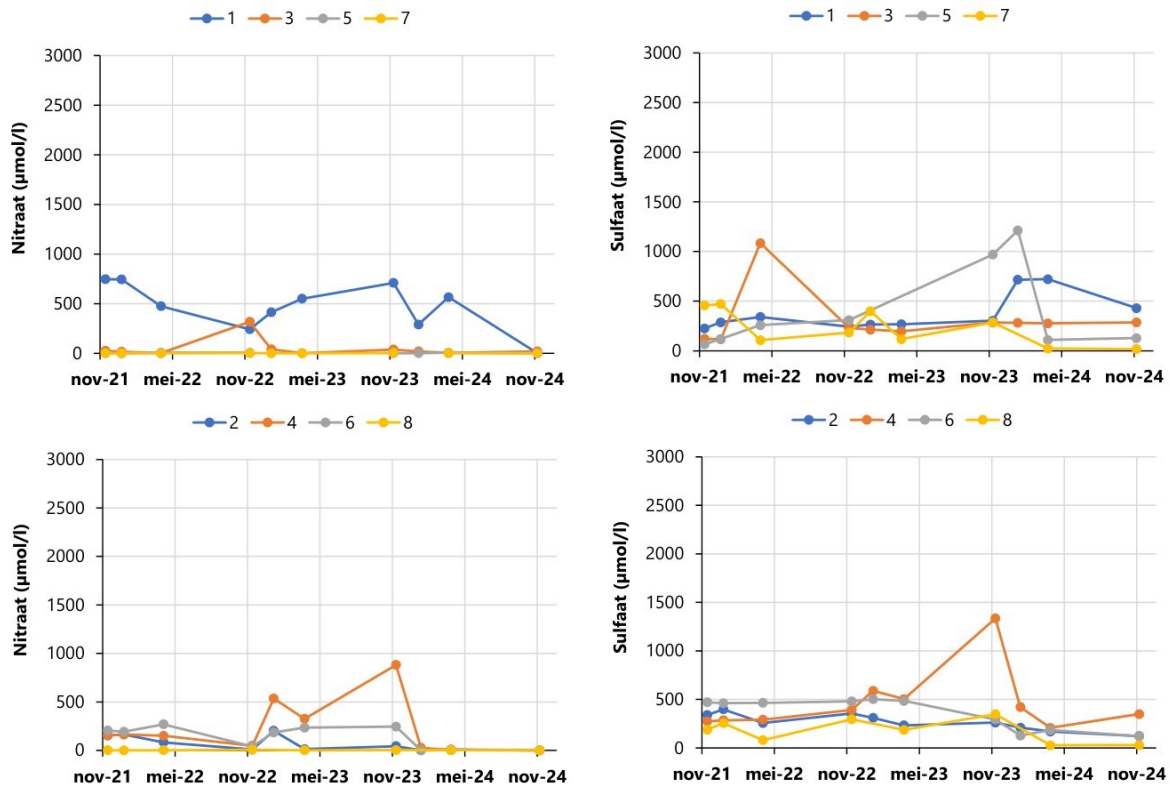
Vervolg Tabel 14.

Datum	Locatie	Diepte	pH	EGV	TIC									Ca	Fe	Mg	P	S	Fe/P-ratio
		cm		µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
23-11-2021	7	65	6,54	715	9306	3841	5464	0,2	9,0	1056	38	1063	0,0	2866	2,9	346	1,6	458	1,8
3-1-2022	7	65	6,78	734	9543	2731	6813	0,3	13,3	1151	27	978	0,8	3021	16,2	367	1,2	472	13,6
13-4-2022	7	65	6,85	308	4122	1049	3073	0,1	7,7	527	34	388	0,3	1367	11,4	158	0,7	108	17,0
23-11-2022	7	65	6,62	316	4261	1572	2689	3,1	1,7	430	12	449	1,0	1460	1,1	154	1,8	184	0,6
16-1-2023	7	65	6,76	797	9363	2786	6577	0,8	0,7	1194	18	859	0,0	3481	16,7	394	0,7	399	22,9
4-4-2023	7	65	6,93	306	3289	724	2565	1,0	1,6	490	29	311	0,0	1310	21,2	165	0,5	118	42,7
21-11-2023	7	65	6,68	747	10254	3444	6809	3,1	0,6	881	10	766	4,9	3252	495,7	366	1,7	286	299,8
23-1-2024	7	65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8-4-2024	7	65	6,71	350	4853	1554	3300	1,6	0,6	374	13	109	0,0	1573	377,1	160	1,4	24	266,0
18-11-2024	7	65	6,69	436	7006	2303	4703	0,0	0,2	233	12	88	6,6	1856	763,8	216	7,5	16	102,1
23-11-2021	8	65	6,65	605	9164	3197	5967	1,8	42,3	936	8	590	0,0	2618	308,2	253	1,3	187	243,5
3-1-2022	8	65	6,80	700	9516	2617	6899	0,9	40,2	960	8	885	1,1	2853	527,6	269	2,2	256	239,6
13-4-2022	8	65	6,72	366	5835	1824	4010	1,9	27,0	500	22	427	0,7	1821	336,1	161	4,0	80	83,7
23-11-2022	8	65	6,52	235	2589	1092	1497	6,7	221,3	301	31	308	3,9	887	43,0	140	2,5	295	16,9
16-1-2023	8	65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
4-4-2023	8	65	6,49	333	4907	2161	2746	1,4	1,2	401	33	208	0,0	1512	67,1	188	0,7	186	94,4
21-11-2023	8	65	6,49	499	7630	3330	4300	3,0	0,8	407	2	323	9,5	2400	577,4	233	2,2	347	264,5
23-1-2024	8	65	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
8-4-2024	8	65	6,51	345	5576	2383	3193	2,5	0,4	308	21	169	0,0	1492	33,1	170	0,3	27	97,6
18-11-2024	8	65	6,61	550	9605	3585	6020	0,1	1,5	187	0	50	8,4	2562	631,6	238	1,6	28	392,8

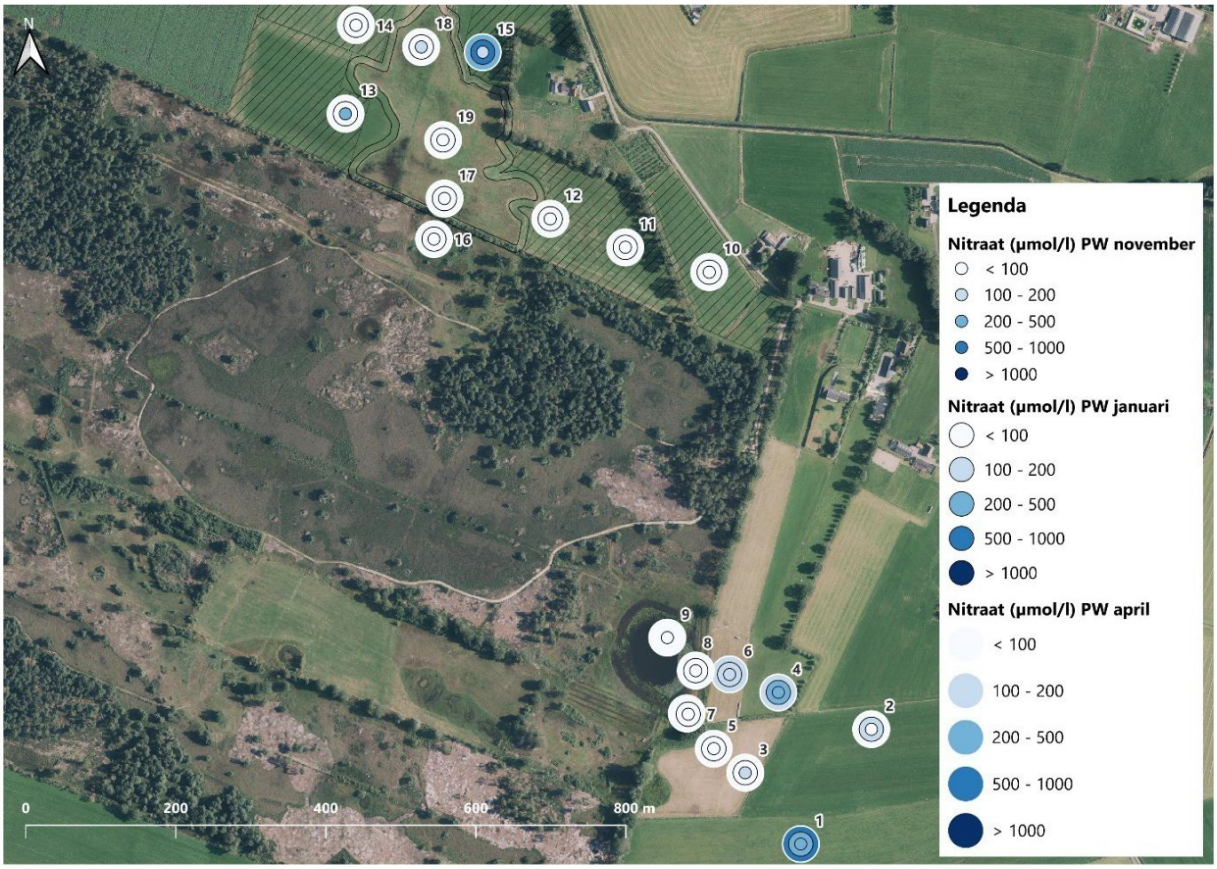
Zuidelijke raai

In de zuidelijke raai (locatie 1 – 3 – 5 – 7) is op locatie 1 (agrarisch gebruik) de nitraatconcentratie het hoogste (750 µmol/l) in november 2021 en neemt daarna geleidelijk af tot en met november 2022 (Figuur 34). Vanwege de zeer droge zomer van 2022 was het in november 2022 waarschijnlijk nog te droog voor uitspoeling van nitraat. Vanaf januari 2023 neemt de nitraatconcentratie in het poriewater weer geleidelijk toe tot ca. 700 µmol/l in november 2023 (Figuur 34). In november 2024 werd op locatie 1 vrijwel geen nitraat in het poriewater gemeten. In het uitmijnperceel met locatie 3 is de nitraatconcentratie laag, uitgezonderd een piek (ca. 300 µmol/l) in november 2022. Op locatie 5 en 7 is het poriewater arm aan nitraat (Figuur 34). In Figuur 35 wordt de gemiddelde nitraatconcentratie in november, januari en april ruimtelijk weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat ook op locatie 1 de nitraatconcentratie in het poriewater het hoogste is en dat in de zuidelijke raai lage nitraatconcentraties zijn gemeten op korte afstand van het Grote Rietgat.

Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties in het poriewater relatief laag (< 500 µmol/l). Alleen op locatie 3 werd in april 2022 een hogere sulfaatconcentratie gemeten en op locatie 5 in november 2023 (beide ca. 1000 µmol/l; Figuur 34 en Figuur 36). Het sulfaat is waarschijnlijk gemobiliseerd door de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem als gevolg van nitraatuitspoeling (zie ook kader 4). In november 2023 werd vanwege de te hoge waterstanden op locatie 5 een nieuwe keramische cup hoger op de flank geplaatst en dit kan de verklaring zijn voor afwijkende sulfaatconcentratie. Op locatie 1 werden in 2024 (vooral in januari en april) hogere sulfaatconcentraties in het poriewater gemeten dan in de periode november 2021-2023 (Figuur 34). De reden voor deze toename is niet duidelijk.



Figuur 34. *Verloop van de concentratie nitraat (links) en sulfaat (rechts) in het poriewater in de raai zuidoostelijk (boven) en noordoostelijk (onder) van het Grote Rietgat. Voor ligging van de locaties zie Figuur 8.*



Figuur 35. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde nitraatconcentratie in het poriewater in november (kleine stippen; n = 4), januari (middelgrote stippen; n = 3; ontbreekt voor locatie 9) en april (grote stippen; n = 3).*



Figuur 36. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde sulfaatconcentratie in het poriewater in november (kleine stippen; n = 4), januari (middelgrote stippen; n = 3; ontbreekt voor locatie 9) en april (grote stippen; n = 3).*

Noordelijke raai

In de noordelijke raai (locatie 2 – 4 – 6 – 8) werd op locatie 2 een lagere nitraatconcentratie gemeten dan op locatie 1 in de zuidelijke raai (Figuur 35 en Figuur 34). Op locatie 4 en 6 (uitmijnpercelen) werden daarentegen hogere nitraatconcentraties gemeten dan op locatie 3 en 5. Locatie 5 betreft een lager gelegen, nattere locatie waar nitraat waarschijnlijk is verdwenen door denitrificatie of ammonificatie. Op deze locatie zijn de concentraties ammonium in het poriewater vaak ook hoger (zie Tabel 14). Op locatie 5 werd in januari 2022 ook een hogere bicarbonaatconcentratie gemeten zonder een toename van calcium (Figuur 32). Dit duidt op interne alkalinisering door reductieprocessen zoals denitrificatie (zie kader 2 en 3). In deze noordelijke raai werd ook pas in januari 2023 uitspoeling van nitraat gemeten (Figuur 35 en Figuur 34). Op locatie 4 werden in november 2023 niet alleen hoge nitraatconcentraties, maar ook hoge sulfaatconcentraties in het poriewater gemeten (Figuur 34 en Figuur 36). Het sulfaat kan uitspoelen als gevolg van oxidatieprocessen in de toplaag van de bodem onder invloed van droogval van de bodem of door de uitspoeling van nitraat.

3.4.2 Kleine Turfgat en slenk

In het gebied ten noorden van het Kleine Turfgat werd de samenstelling van het poriewater gemeten in een raai oostelijk van de slenk (locatie 10 – 11 – 12) en in de overige percelen direct grenzend aan de slenk (locatie 13, 14 en 15; Figuur 9 en Tabel 15).

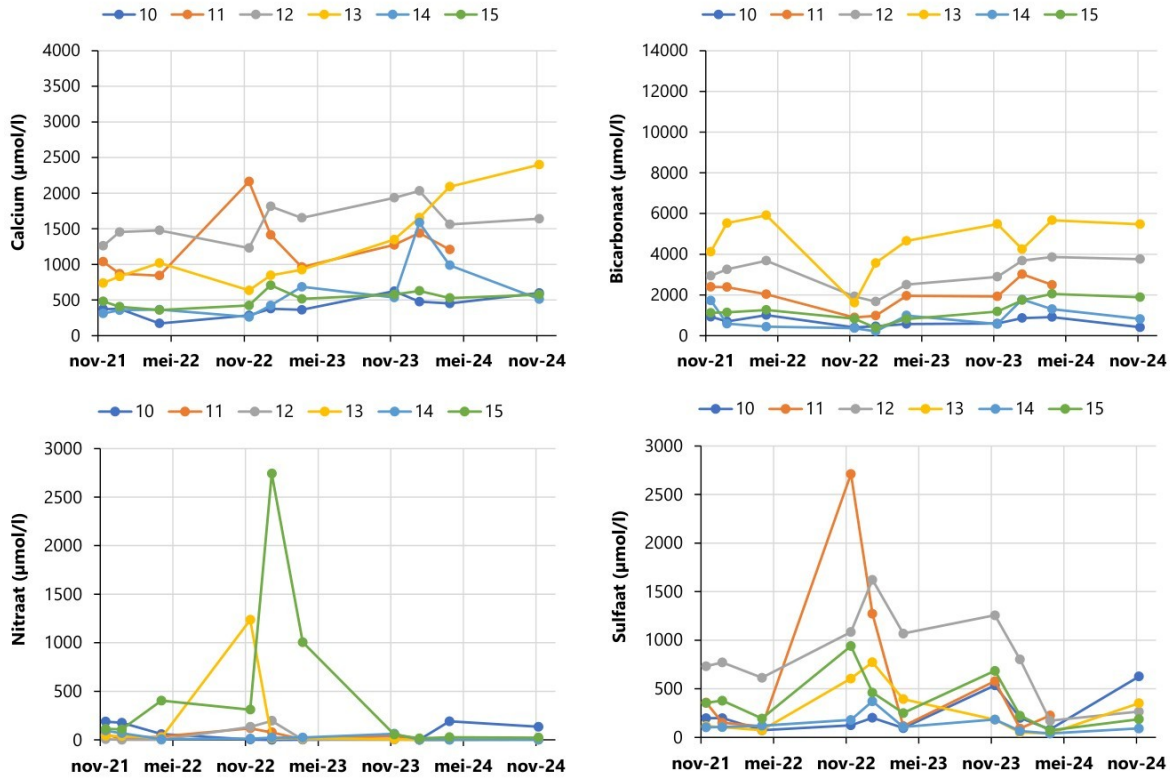
Tabel 15. *Chemische samenstelling van het poriewater op 65 of 75 cm diepte van de agrarische percelen rondom de slenk (locatie 10 t/m 15). Het poriewater tweemaal per jaar bemonsterd in de maand november en april. In de periode 2022 t/m 2024 werd een extra bemonstering van het poriewater in januari uitgevoerd. EGV = elektrische geleidbaarheid in µS/cm, TIC = totaal anorganisch koolstof. De overige concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in µmol/l. Voor ligging van de locaties zie Figuur 9.*

Datum	Locatie	Diepte	pH	EGV	TIC									Ca	Fe	Mg	P	S	Fe/P-ratio
		cm		µS/cm	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	mol/mol
23-11-2021	10	75	6,15	163	2501	1574	927	187,4	260,0	286	46	105	60,9	372	6,9	244	5,2	197	1,3
3-1-2022	10	75	6,10	140	2052	1351	701	175,7	14,4	244	42	45	70,5	378	7,1	253	3,0	198	2,4
13-4-2022	10	75	6,22	121	2475	1463	1012	58,5	13,8	531	128	45	59,9	172	3,9	109	2,5	73	1,6
23-11-2022	10	75	6,24	87	949	549	400	4,1	7,4	215	12	111	88,8	284	7,6	162	3,2	124	2,4
16-1-2023	10	75	5,86	129	1995	1534	461	0,0	2,2	247	20	64	102,8	378	8,0	229	4,0	201	2,0
4-4-2023	10	75	5,81	101	2734	2160	575	1,3	2,1	121	17	77	111,8	363	4,6	250	2,3	96	2,0
21-11-2023	10	75	5,75	200	3178	2582	596	8,6	1,9	84	15	85	64,5	625	12,1	457	4,1	535	2,9
23-1-2024	10	75	5,81	145	4098	3235	863	1,5	24,1	52	37	171	72,0	477	35,1	352	7,8	200	4,5
8-4-2024	10	75	5,86	146	3944	3029	915	190,2	7,4	54	12	48	66,3	453	10,8	329	3,6	81	3,0
18-11-2024	10	75	5,64	221	2709	2296	413	134,1	0,7	100	20	34	40,2	599	2,3	424	1,3	627	1,7
23-11-2021	11	75	6,33	322	5122	2726	2396	59,1	3,5	623	234	50	27,1	1038	4,1	390	1,7	358	2,4
3-1-2022	11	75	6,44	233	4498	2112	2386	7,3	4,5	277	139	30	32,2	869	3,6	331	2,0	150	1,8
13-4-2022	11	75	6,38	223	4102	2067	2035	33,6	20,3	190	86	21	29,7	843	5,7	307	3,7	112	1,6
23-11-2022	11	75	6,39	604	1779	886	894	118,9	9,5	598	324	55	24,7	2164	6,7	909	3,9	2712	1,7
16-1-2023	11	75	6,26	402	2300	1316	984	76,8	1,9	435	144	25	41,4	1416	7,5	528	2,6	1273	2,9
4-4-2023	11	75	6,28	229	4422	2465	1958	5,6	2,1	185	89	19	41,0	963	8,5	392	3,3	115	2,6
21-11-2023	11	75	6,24	331	4617	2690	1927	41,4	1,5	144	139	52	33,9	1273	5,1	509	3,0	578	1,7
23-1-2024	11	75	6,24	339	7197	4177	3019	0,4	102,5	74	65	67	45,1	1440	66,3	597	5,0	92	13,2
8-4-2024	11	75	6,25	311	5902	3403	2500	4,2	30,5	102	40	23	34,0	1208	42,1	477	3,0	224	13,8
18-11-2024	11	75	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
23-11-2021	12	75	6,17	413	7734	4792	2942	5,4	27,3	861	170	44	16,4	1261	11,1	487	1,5	733	7,4
3-1-2022	12	75	6,20	447	8165	4907	3257	0,8	18,2	881	164	40	25,3	1454	32,8	523	2,6	771	12,8
13-4-2022	12	75	6,20	424	9340	5660	3680	0,8	20,2	752	164	2	27,0	1478	47,9	562	2,7	614	17,9
23-11-2022	12	75	6,40	404	3769	1841	1928	132,9	29,7	835	275	35	21,8	1229	18,0	525	5,0	1085	3,6
16-1-2023	12	75	6,06	557	5157	3482	1675	195,5	1,9	919	222	2	35,5	1816	132,7	646	8,3	1623	15,9
4-4-2023	12	75	6,11	479	7255	4746	2508	1,4	2,5	977	260	10	31,6	1654	88,3	639	3,0	1069	29,7
21-11-2023	12	75	6,03	544	9348	6457	2891	2,1	2,5	759	189	34	21,5	1934	101,9	688	4,4	1256	22,9
23-1-2024	12	75	6,21	599	9150	5464	3686	0,2	575,7	391	143	34	31,9	2032	498,8	712	10,6	802	47,0
8-4-2024	12	75	6,18	422	10076	6216	3860	1,7	102,9	333	131	0	25,1	1562	226,5	539	8,4	171	26,9
18-11-2024	12	75	6,11	458	10822	7063	3759	3,1	94,2	285	117	50	23,4	1640	136,2	552	2,1	265	63,6
23-11-2021	13	75	6,40	446	8128	4003	4125	41,6	6,8	598	850	19	17,1	739	3,4	1002	1,5	116	2,2
3-1-2022	13	75	6,55	482	9270	3739	5531	38,7	7,2	565	729	31	40,5	831	6,0	1231	5,7	105	1,1
13-4-2022	13	75	6,53	314	10083	4168	5915	22,2	5,7	313	449	0	17,8	1020	2,9	1512	3,1	72	0,9
23-11-2022	13	75	6,41	401	3149	1533	1616	1236,3	70,2	770	575	30	23,0	636	8,5	709	26,6	605	0,3
16-1-2023	13	75	6,48	441	6395	2824	3572	14,4	1,6	508	552	12	46,6	846	22,7	1227	30,9	773	0,7
4-4-2023	13	75	6,47	449	8447	3792	4655	16,8	1,1	384	483	2	46,6	925	9,9	1500	17,8	393	0,6
21-11-2023	13	75	6,40	581	10707	5224	5483	6,0	1,7	301	352	28	14,5	1348	7,5	1887	3,0	183	2,5
23-1-2024	13	75	6,54	448	7184	2937	4246	0,1	69,0	70	101	44	10,0	1656	141,8	872	4,8	50	29,7
8-4-2024	13	75	6,52	555	9787	4117	5671	1,4	6,6	71	85	8	10,7	2091	27,4	1075	3,9	40	6,9
18-11-2024	13	75	6,32	626	11734	6258	5476	3,0	0,4	63	81	61	13,3	2400	1,3	1079	1,1	352	1,2
23-11-2021	14	75	6,71	79	2544	816	1729	95,4	11,5	46	41	14	24,7	312	1,0	48	1,0	103	0,9
3-1-2022	14	75	5,73	90	3223	2636	587	68,7	8,3	43	18	34	45,2	358	4,1	47	2,8	106	1,5
13-4-2022	14	75	5,58	78	3266	2822	443	7,0	5,3	19	22	0	118,7	365	8,6	47	9,1	119	0,9
23-11-2022	14	75	6,13	68	1029	659	370	12,0	2,8	39	15	52	32,2	263	17,7	42	5,0	179	3,5
16-1-2023	14	75	5,68	124	1270	1060	210	22,6	0,8	188	24	19	30,0	424	1,7	57	0,7	371	2,3
4-4-2023	14	75	5,82	150	4655	3663	993	23,6	1,1	82	46	2	26,5	686	5,2	109	2,5	108	2,1
21-11-2023	14	75	5,72	128	3185	2617	569	62,6	0,8	43	21	48	23,1	535	2,9	70	1,3	183	2,3
23-1-2024	14	75	5,91	350	7022	5248	1774	0,1	103,2	77	51	128	33,6	1587	418,7	247	10,1	64	41,3
8-4-2024	14	75	5,77	229	6694	5392	1302	0,7	89,3	85	34	12	28,5	988	412,5	109	11,1	39	37,2
18-11-2024	14	75	5,58	149	6091	5267	823	0,6	13,8	57	1	215	63,7	514	69,1	87	8,6	91	8,1
23-11-2021	15	75	6,34	260	2368	1242	1125	113,5	5,3	1044	341	65	77,9	483	2,8	384	2,1	354	1,4
3-1-2022	15	75	6,38	253	2284	1142	1142	106,7	5,2	1039	446	62	75,8	406	2,6	338	2,9	378	0,9
13-4-2022	15	75	6,36	226	2612	1345	1267	403,8	8,2	745	396	9	68,1	360	2,3	320	4,0	193	0,6
23-11-2022	15	75	6,60	245	1331	499	832	310,9	82,9	878	525	103	102,6	424	4,7	296	23,1	940	0,2
16-1-2023	15	75	6,07	531	1176	793	383	2741,5	1,6	1428	621	36	39,1	709	1,2	773	2,7	461	0,5
4-4-2023	15	75	6,17	286	2152	1335	818	1005,4	2,6	806	504	50	68,8	517	1,3	583	2,3	250	0,5
21-11-2023	15	75	6,12	309	3380	2194	1187	54,1	2,2	793	383	111	58,2	578	1,4	658	1,5	684	0,9
23-1-2024	15	75	6,12	257	4962	3220	1742	15,6	0,1	145	147	65	59,0	628	3,7	796	2,4	223	1,6
8-4-2024	15	75	6,24	234	4919	2866	2053	26,8	0,5	197	191	34	53,8	529	4,0	664	1,5	71	2,6
18-11-2024	15	75	6,15	252	5135	3246	1890	22,8	0,6	164	160	43	48,6	576	1,1	716	1,0	186	1,1

In de raai oostelijk van de slenk neemt de buffering van het poriewater richting de slenk toe (Figuur 37 en Figuur 33). Op locatie 11 neemt in november 2022 alleen de calciumconcentratie toe. Het calcium is waarschijnlijk afkomstig van verzuring in de toplaag van de bodem. In kalkarmere bodems worden zuurionen uitgewisseld met calcium dat gebonden is aan het bodemadsorptiecomplex, waarna het calcium kan uitspoelen naar diepere bodemlagen. De sulfaatpiek op locatie 11 in november 2022 bevestigt dat er waarschijnlijk sprake is van verzuring als gevolg van de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem. Bij dit proces wordt sulfaat gemobiliseerd.

Rondom de slenk is het opvallend dat het poriewater op locatie 13 relatief rijk is aan bicarbonaat in vergelijking tot calcium (Figuur 37). Dit duidt weer op reductieprocessen waarbij bicarbonaat wordt gegenereerd (interne alkalinisatie). De afname in bicarbonaat in november 2022 valt samen met een piek in nitraat (Figuur 39). Op deze locatie is waarschijnlijk sprake van een flinke nitraatuitspoeling, waarbij het nitraat in natte perioden wordt gedenitrificeerd. Hierbij wordt alkaliniteit gegenereerd. Op locatie 13 werd tussen november 2021 en november 2024 een geleidelijke toename van de calciumconcentratie in het poriewater waargenomen tot 2400 µmol/l (Figuur 37 en Tabel 15). De calciumconcentratie van grondwater op locatie 13 is in deze periode niet toegenomen en is ook lager (ca. 850-1850 µmol/l; Tabel 13) dan in het poriewater. De toename in het poriewater lijkt dus niet het gevolg van een toegenomen invloed van grondwater. Uit bodemanalyses die werden uitgevoerd in het kader van de uitmijnmonitoring bleek wel dat de bodem op deze locaties het rijkst was aan calcium.

In januari 2023 werd meer dan 2500 µmol/l nitraat gemeten op locatie 15 (Figuur 37 en Figuur 35). Voorafgaand aan deze nitraatpiek werd in november 2022 op deze locatie een sulfaatpiek gemeten.



Figuur 37. *Verloop van de concentratie calcium (linksboven), bicarbonaat (rechtsboven), nitraat (linksonder) en sulfaat (rechtsonder) in het poriewater in de raai oostelijk van de slenk en de locaties rondom de slenk. Voor ligging van de locaties zie Figuur 9.*

3.4.3 Koppeling porie- en grondwaterkwaliteit

Uit de monitoring van de samenstelling van het poriewater op 65-75 cm diepte in de agrarische percelen blijkt dat er een duidelijke seizoensvariatie aanwezig is. Ook de invloed van de zeer droge zomer van 2022 is duidelijk zichtbaar. Ten eerste doordat de invloed van oxidatieprocessen is toegenomen (hogere nitraat- en sulfaatconcentraties), maar ook dat er pas later in het najaar uitspoeling plaatsvindt. Zonder de extra meetronde in januari 2023 hadden we geen beeld gekregen van de mate van uitspoeling aan het begin van de natte periode.

Voor de koppeling van de samenstelling van het grondwater en de uitspoeling van nutriënten uit de agrarische percelen wordt in Figuur 38 t/m Figuur 40 de gemiddelde grond- en poriewaterkwaliteit in november en april ruimtelijk weergegeven. Het grondwater is in januari 2022, 2023 en 2024 niet bemonsterd, dus het is voor de januari-meting niet mogelijk om de kwaliteit van het grond- en poriewater te koppelen. Doordat voor het ruimtelijke beeld gemiddelde concentraties in april en november zijn gebruikt, worden hiermee geen veranderingen in de tijd duidelijk. Voor trends in de tijd zie de grafieken in de voorgaande paragrafen.

Buffering

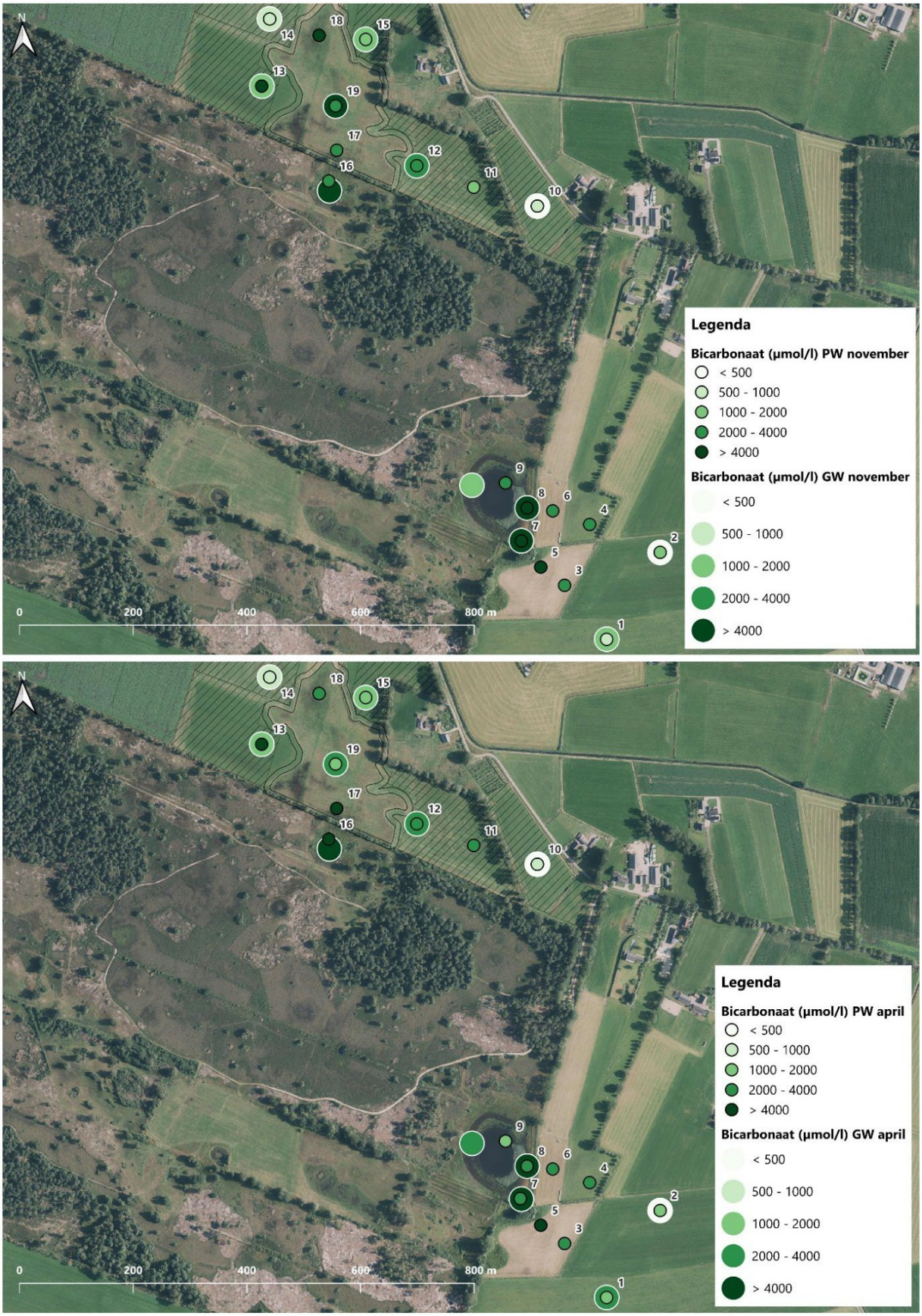
Ten oosten van het Grote Rietgat is de buffering van het poriewater (65-75 cm-mv) en grondwater (150-250 cm-mv) redelijk vergelijkbaar (Figuur 38). Op de hoger gelegen locaties (locatie 1 en 2) is het porie- en grondwater minder gebufferd dan op de lagergelegen locaties. In het Kleine Turfgat en de slenk is het grondwater sterker gebufferd poriewater sterker gebufferd dan het poriewater. Op de hoger gelegen locaties rondom de slenk is het poriewater vaak sterker gebufferd (vooral op locatie 13) dan het grondwater (Figuur 38).

Nitraat

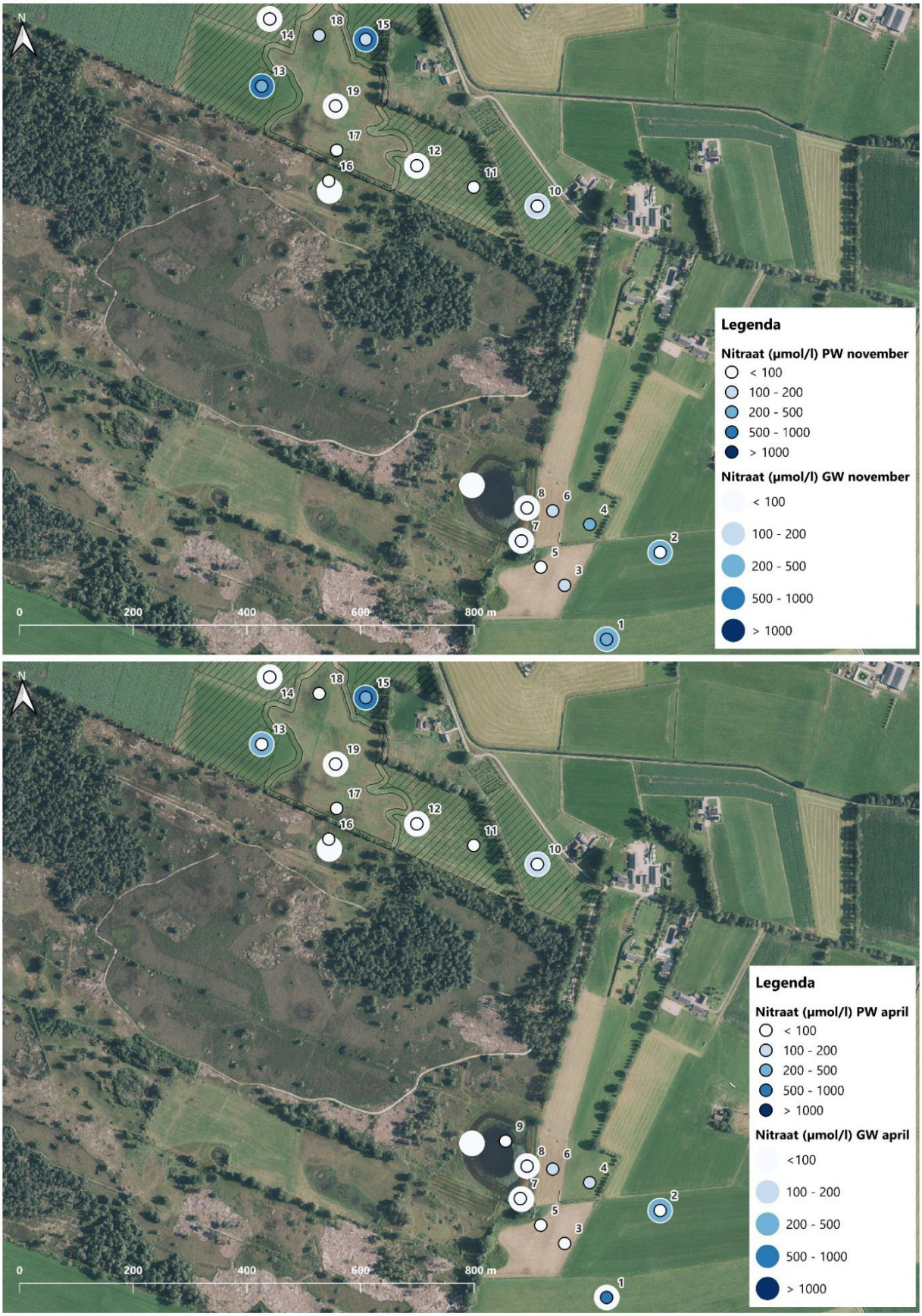
In zowel november als april zijn de gemiddelde nitraatconcentraties in het poriewater ongeveer gelijk of lager dan de concentraties in het grondwater (Figuur 39). Op basis van deze metingen is het nitraat in het grondwater op grotere afstand van het Boetelerveld uitgespoeld of het nitraat was al dieper uitgespoeld dan de diepte van de keramische cups (65-75 cm-mv). Uitzondering is locatie 1, waarbij de gemiddelde nitraatconcentratie in het poriewater vooral in april hoger is dan in het grondwater. Op locatie 1, in regulier agrarisch gebruik, draagt uitspoeling vanuit het perceel waarschijnlijk wel bij aan de nitraatbelasting van het grondwater. Op de locaties waar alleen de kwaliteit van het poriewater werd gevolgd, zijn de nitraatconcentraties niet veel hoger dan op locatie 1 en 2. Alleen op locatie 4 en 6 (noordelijke deel raai A ten oosten van het Grote Rietgat) werden zowel in november als april hogere nitraatconcentraties gemeten dan op de hoger gelegen locatie 2 (Figuur 39).

Sulfaat

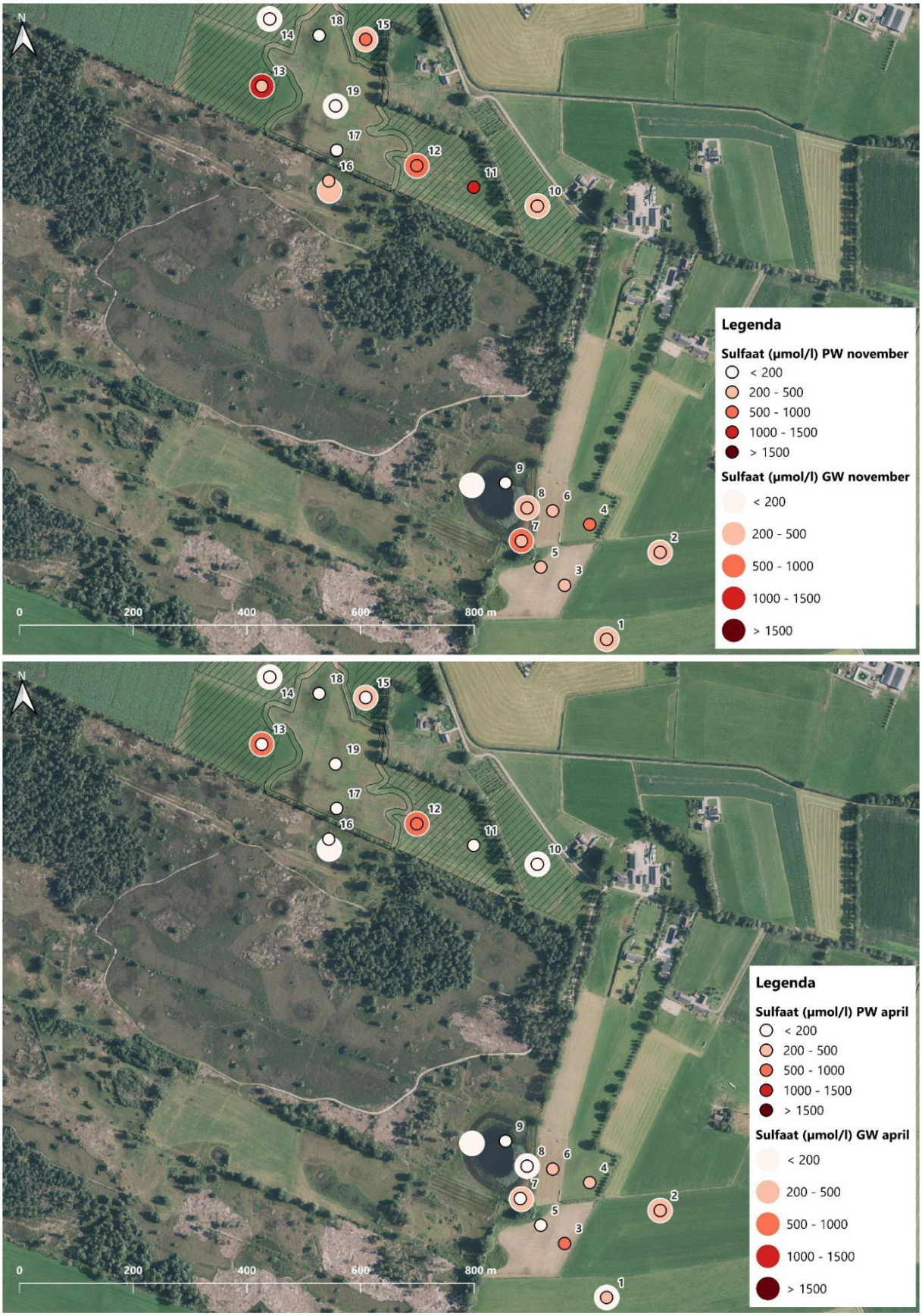
Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties in het porie- en grondwater relatief laag (< 500 µmol/l). Gemiddeld hoge sulfaatconcentraties (> 1000 µmol) werden in november gemeten op locatie 11 in het poriewater en op locatie 13 in het grondwater (Figuur 40). Op locatie 13 zijn de sulfaatconcentraties in het poriewater veel lager. Dit kan betekenen dat het sulfaat elders is uitgespoeld door droogval van de bodem of dieper in de bodem (> 1 m-mv) wordt gemobiliseerd door nitraatuitspoeling. In april werden over het algemeen lagere gemiddelde sulfaatconcentraties (< 1000 µmol/l; Figuur 40) gemeten dan in november.



Figuur 38. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde bicarbonaatconcentratie in het poriewater (PW; kleine stippen) en grondwater (GW; grote stippen) in de maand november (boven; n = 4) en april (onder; n = 3).*



Figuur 39. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde nitraatconcentratie in het poriewater (PW; kleine stippen) en grondwater (GW; grote stippen) in de maand november (boven; n = 4) en april (onder; n = 3).*



Figuur 40. *Ruimtelijke weergave van de gemiddelde sulfaatconcentratie in het poriewater (PW; kleine stippen) en grondwater (GW; grote stippen) in de maand november (boven; n = 4) en april (onder; n = 3).*

3.4.4 Samenvatting uitspoeling agrarische percelen

Grote Rietgat

Het diepe poriewater (65-75 cm-mv) van de agrarische percelen oostelijk van het Boetelerveld is vaak al sterk gebufferd en de buffering neemt toe richting het Grote Rietgat. Als gevolg van de droge zomer van 2022 werd uitspoeling van nitraat en/of sulfaat vaak nog niet waargenomen in november, maar pas in januari 2023. In de zuidelijke raai werden lage nitraatconcentraties in het poriewater gemeten op korte afstand van het Grote Rietgat. In de noordelijke raai werden wel hogere nitraatconcentraties gemeten nabij het Grote Rietgat. Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties in het poriewater meestal laag (< 500 µmol/l).

Kleine Turfgat en slenk

In de raai oostelijk van de slenk neemt de buffering van het poriewater richting de slenk toe. Rondom de slenk is het opvallend dat het poriewater op locatie 13 relatief rijk is aan bicarbonaat, waarschijnlijk als gevolg van interne alkalinisatie als gevolg van denitrificatie van nitraat. Op locatie 11 nam in november 2022 de sulfaatconcentratie sterk toe als gevolg van uitspoeling van sulfaat door de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem. Op locatie 15 werd in januari 2023 een duidelijke piek in de uitspoeling van nitraat gemeten.

Koppeling porie- en grondwaterkwaliteit

Uit de monitoring van de samenstelling van het poriewater op 65-75 cm diepte in de agrarische percelen blijkt dat er een duidelijke seizoensvariatie aanwezig is. Ook de invloed van de zeer droge zomer van 2022 is duidelijk zichtbaar. Ten eerste doordat de invloed van oxidatieprocessen is toegenomen (hogere nitraat- en sulfaatconcentraties), maar ook dat er pas later in het najaar uitspoeling plaatsvindt. Verder leiden droge zomers ook tot een hoger stikstofoverschot aan het einde van het groeiseizoen (lagere biomassaproductie) waardoor de nitraatuitspoeling hoger is in vergelijking met nattere jaren (de Boer e.a., 2023).

Op veel locaties zijn nitraatconcentraties in het poriewater vergelijkbaar met of lager dan de concentraties in het grondwater. Op basis van de metingen is het nitraat in het grondwater op grotere afstand van het Boetelerveld uitgespoeld of was het nitraat al dieper uitgespoeld dan de diepte van de keramische cups (65-75 cm-mv). Op locatie 1, in regulier agrarisch gebruik, draagt uitspoeling vanuit het perceel waarschijnlijk wel bij aan de nitraatbelasting van het grondwater.

Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties in het porie- en grondwater relatief laag (< 500 µmol/l). In april werden over het algemeen lagere sulfaatconcentraties gemeten dan in november. De hogere sulfaatconcentraties in november kunnen het gevolg zijn van de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen door droogval van de bodem en/of nitraatuitspoeling.

4 Samenvatting en aanbevelingen

Op basis van de resultaten worden in dit hoofdstuk de belangrijkste resultaten van de monitoring in de periode tussen november 2021 en november 2024 samengevat. De periode november 2021 t/m april 2022 betreft de nulmeting (uitmijnbeheer gestart in het voorjaar van 2022). Op basis van de meetresultaten worden vervolgens in paragraaf 4.5 een aantal aanbevelingen gegeven.

4.1 Kwaliteit oppervlaktewater

4.1.1 Grote Rietgat

Het oppervlaktewater van het Grote Rietgat is relatief voedselarm. In november 2021, vlak na baggeren, werden hogere ammoniumconcentraties gemeten. De pH van het oppervlaktewater is hoog (pH: 7,5-8,2) en het water is sterk gebufferd (alkaliniteit: ca. 1400-4000 µeq/l). Gezien het voorkomen van soorten van zwakgebufferde vennen, zoals stijve moerasweegbree, vlottende bies, duizendknoopfonteinkruid en pilvaren, is dit onverwacht. Uit een vergelijking met gegevens uit 2016 blijkt dat de buffering van de waterlaag van het Grote Rietgat is toegenomen. Waarschijnlijk is door het verwijderen van het rabattenbos en het dempen van de grenssloot tussen het Grote Rietgat en de landbouwpercelen de invloed van sterk gebufferd grondwater toegenomen. Hierdoor is het zwak-matig gebufferde karakter van het Grote Rietgat verdwenen. De hoge waterstanden in combinatie met de gebrekkige afvoer-/doorstroommogelijkheden en het daardoor pas laat droogvallen van de oevers is een punt van aandacht. Het aanleggen van een regelbare afvoer wordt daarom aanbevolen. Het is daarbij wel belangrijk om vast te stellen of het aflaten van water in het voorjaar geen negatieve effecten heeft elders in het Boetelerveld, zoals verdroging van de natte heide tijdens de zomerperiode.

4.1.2 Kleine Turfgat

Het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat is voedselarm en zwak tot matig gebufferd. In vergelijking met de maand november in andere jaren (2021, 2023 en 2024) was in november 2022 de alkaliniteit van het oppervlaktewater lager (ca. 250 ten opzichte van 750-1000 µeq/l). Als gevolg van de droge zomer van 2022 is het Kleine Turfgat waarschijnlijk langdurig drooggevallen en was er geen aanvoer van basenrijk grondwater. In november 2023 stond het waterpeil in het Kleine Turfgat zeer hoog. Door de toegenomen invloed van regenwater werden in januari en april 2024 niet alleen lagere calciumconcentraties gemeten, maar ook lagere bicarbonaatconcentraties. In november 2024 was het oppervlaktewater van het Kleine Turfgat weer sterker gebufferd,

4.1.3 Slenk

In november 2021 en november 2023 was het oppervlaktewater in de slenk sterk gebufferd (alkaliniteit: 1131-2048 µeq/l) door aanrijking met grondwater. Na de droge zomer van 2022 was het oppervlaktewater minder aangerijkt met grondwater. In natte perioden is het oppervlaktewater ook verrijkt met fosfaat door P-nalevering uit de vaak nog voedselrijke bodem en mogelijk ook uit de landbouwpercelen die dan in direct contact staan met de slenk. Zolang in natte perioden de P-concentraties in het oppervlaktewater toenemen (wat gepaard gaat met algenbloei en FLAB ontwikkeling) kan de tijdelijke grondwal tussen de slenk en het Kleine Turfgat nog niet verwijderd worden.

4.2 Kwaliteit (water)bodem

4.2.1 Grote Rietgat

In de zomer van 2021 is het Grote Rietgat opgeschoond waarbij de dikke sliblaag grotendeels werd verwijderd. Door baggeren zijn de concentraties organische stof, fosfor en zwavel in de waterbodem afgenomen. Door baggeren zijn vooral de absolute P-concentraties in het poriewater afgenomen. Baggeren zal, gezien de hoge ammoniumconcentraties die werden gemeten in het poriewater van het slib, daarnaast ook hebben bijgedragen aan een afname van de nalevering van ammonium uit de waterbodem. Na het baggeren varieerden de P-concentratie in het poriewater waarbij in april 2022, november 2022 en april 2023 de P-concentraties vrij hoog waren. De Fe/P-ratio van het poriewater is echter wel telkens gunstig (> 1), zodat het risico op fosfaatnalevering laag is mits de waterlaag niet anaeroob wordt. In 2024 werd een toename van de ammoniumconcentratie in het poriewater gemeten. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de plaatsing van een nieuwe keramische cup (oude onbereikbaar) op een locatie waar in de zomer van 2021 mogelijk niet al het stikstofrijke slib verwijderd is. Gezien de lage nutriëntenconcentraties van de waterlaag is zowel de externe als interne nutriëntenbelasting op het Grote Rietgat niet groot.

4.2.2 Kleine Turfgat

De toplaag van de bodem van het Kleine Turfgat is ijzerrijk (Fe-t: 102-221 mmol/l bodem) en goed gebufferd (Ca-t: 34-44 mmol/l, Ca-z: 15.000-19.500 µmol/l en indicatieve basenverzadiging 97-98%). De toplaag van de bodem is voldoende gebufferd voor blauwgrasland, waarbij het wel essentieel is dat in de winterperiode basenrijk grondwater tot in de wortelzone komt. De fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P) ligt op de flanken in de range van blauwgrasland (200-500 µmol/l bodem), maar de venige laagte is te rijk aan fosfaat (ca. 800 µmol Olsen-P/l bodem en 7,9 mmol P/l bodem).

Voor de droge zomer van 2022 was het poriewater in de toplaag van de bodem goed gebufferd. Tijdens de droge zomer van 2022 is de buffering afgenomen en is er waarschijnlijk versneld organisch materiaal geoxideerd waardoor de concentraties ammonium, fosfor en zwavel in het poriewater zijn toegenomen. De Fe/P-ratio van het poriewater is wel gunstig, zodat het risico op P-nalevering uit de bodem gering is. In april 2023 was het poriewater weer goed gebufferd, maar in november 2023 en april 2024 was de buffering van het poriewater lager. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de hoge waterstanden waardoor het gebufferde grondwater werd weggedrukt. In november 2024 was het waterpeil van het Kleine Turfgat lager en was het poriewater wel weer gebufferd.

4.2.3 Slenk

De toplaag van de bodem is in grote delen van de slenk nog (zeer) rijk aan fosfaat (259-2717 µmol Olsen-P/l en FVG 32-49%). Locatie 106, nabij het Kleine Turfgat, is nog zeer rijk aan fosfaat (Olsen-P: 2717 µmol/l bodem, P-t: 24,3 mmol/l, P-z: 11,3 µmol/l bodem en FVG: 32%). De Fe/P-ratio van het poriewater is op deze locatie vaak ook ongunstig (Fe/P-ratio < 1) waardoor er sprake zal zijn van fosfaatnalevering. De stikstofbeschikbaarheid in de toplaag is over het algemeen laag. Lokaal werden wel hogere sulfaatconcentraties, maar op de meeste locaties wel lager dan in de toplaag van de bodem van het Kleine Turfgat.

De slechte waterkwaliteit in dit deel van de slenk is dus vooral het gevolg van nalevering uit de nog fosfaatrijke bodem. Onder zeer natte omstandigheden, zoals in november 2023, kan er waarschijnlijk ook P-rijk water vanuit de landbouwpercelen naar de slenk stromen. Dit bevestigt het belang van deze meerjarige monitoring. Gezien de nabijheid van het Kleine Turfgat is het belangrijk om de waterkwaliteit op deze locatie te blijven monitoren en de tijdelijke drempel pas te verwijderen wanneer de P-nalevering sterk is afgenomen.

Onder voedselarme condities kan zich op basis van de variatie in bodembuffering in de slenk een gradiënt ontwikkelen van blauwgrasland, heischraal grasland en natte heide mogelijk zijn. Waarschijnlijk is het volledig verwijderen van de voedselrijke toplaag niet overal mogelijk geweest omdat dit tot ontwatering van het Kleine Turfgat zou kunnen leiden. Doordat grote delen van de slenk nog te voedselrijk zijn komt hier geen nat schraalland tot ontwikkeling en wordt de oppervlaktewaterkwaliteit negatief beïnvloed. Vandaar dat wordt aanbevolen om nader te onderzoeken of het mogelijk is, zonder dat dit tot verdroging van het Kleine Turfgat leidt, om in grotere delen van de slenk de P-rijke bodem te verwijderen. Als het mogelijk is om de voedselrijke toplaag verder af te graven is aanvullend bodemonderzoek vereist om de dikte van de fosfaatrijke bodem verder in kaart te brengen.

4.3 Kwaliteit grondwater

4.3.1 Grote Rietgat

Het Grote Rietgat wordt gevoed vanuit het oosten met sterk gebufferd (ca. 3800-7800 µmol HCO_3^-/l en 1700-3500 µmol Ca^{2+}/l) grondwater. De toestroom van basenrijk grondwater zorgt voor de hoge alkaliniteit van het oppervlaktewater van het Grote Rietgat. Uit een vergelijking met de oudere grondwaterkwaliteitgegevens (2014-2017) lijkt er een trend aanwezig dat de buffercapaciteit van het grondwater is toegenomen.

Het toestromende grondwater in de directe omgeving van het Grote Rietgat is arm aan nitraat (< 5 µmol/l), dus er zijn geen aanwijzingen voor verrijking met stikstof via het grondwater. Dit wil echter niet zeggen dat er geen sprake is van nitraatuitspoeling. Het toestromende grondwater is periodiek namelijk wel aangerijkt met sulfaat (tot ca. 600 µmol/l). Dit sulfaat wordt mogelijk gemobiliseerd door nitraatuitspoeling vanuit de agrarische omgeving en/of droogval van pyriet-/zwavelhoudende bodemlagen. Dit sulfaat kan, op termijn, via interne eutrofiering resulteren in de verslechtering van de waterkwaliteit.

4.3.2 Kleine Turfgat en slenk

Op grotere afstand van de slenk, maar ook op locatie 15, is het grondwater zwak gebufferd en relatief rijk aan nitraat. Op de flank van de slenk neemt de aanrijking van het grondwater met basen toe, verdwijnt het nitraat en neemt de sulfaatconcentratie sterk toe. Zeer waarschijnlijk oxideert het nitraat onderweg naar de slenk gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem, waarbij sulfaat wordt gemobiliseerd.

Het grondwater is ter hoogte van de slenk en het Kleine Turfgat het sterkst gebufferd (2100-5300 µmol HCO_3/l). Het grondwater is verder voedselarm (zowel stikstof als fosfor) en licht verrijkt met sulfaat. Uittreden van dit gebufferde grondwater tot in maaiveld is gunstig voor het behoud van blauwgrasland in het Kleine Turfgat. Op locaties in de slenk waar de bodem voedselarm is biedt dit onder de juiste hydrologische omstandigheden ook kansen voor de uitbreiding van blauwgrasland.

4.4 Uitspoeling agrarische percelen

4.4.1 Grote Rietgat

Het diepe poriewater (65-75 cm-mv) van de agrarische percelen oostelijk van het Boetelerveld is vaak al sterk gebufferd en de buffering neemt toe richting het Grote Rietgat. Als gevolg van de droge zomer van 2022 werd uitspoeling van nitraat en/of sulfaat vaak nog niet waargenomen in november, maar pas in januari 2023. In de zuidelijke raai werden lage nitraatconcentraties in het poriewater gemeten op korte afstand van het Grote Rietgat. In de noordelijke raai werden wel hogere nitraatconcentraties gemeten

nabij het Grote Rietgat. Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties in het poriewater meestal laag (< 500 µmol/l).

4.4.2 Kleine Turfgat en slenk

In de raai oostelijk van de slenk neemt de buffering van het poriewater richting de slenk toe. Rondom de slenk is het opvallend dat het poriewater op locatie 13 in april relatief rijk is aan bicarbonaat, waarschijnlijk als gevolg van interne alkalinisatie als gevolg van denitrificatie van nitraat. Op locatie 11 neemt in november 2022 de sulfaatconcentratie sterk toe als gevolg van uitspoeling van sulfaat door de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de bodem. Op locatie 15 werd in januari 2023 een duidelijke piek in de uitspoeling van nitraat gemeten.

4.4.3 Koppeling porie- en grondwaterkwaliteit

Uit de monitoring van de samenstelling van het poriewater op 65-75 cm diepte in de agrarische percelen blijkt dat er een duidelijke seizoensvariatie aanwezig is. Ook de invloed van de zeer droge zomer van 2022 is duidelijk zichtbaar. Ten eerste doordat de invloed van oxidatieprocessen is toegenomen (hogere nitraat- en sulfaatconcentraties), maar ook dat er pas later in het najaar uitspoeling plaatsvindt. Verder leiden droge zomers ook tot een hoger stikstofoverschot aan het einde van het groeiseizoen (lagere biomassaproductie) waardoor de nitraatuitspoeling hoger is in vergelijking met nattere jaren.

Op veel locaties zijn nitraatconcentraties in het poriewater vergelijkbaar met of lager dan de concentraties in het grondwater. Op basis van deze eerste metingen is het nitraat in het grondwater op grotere afstand van het Boetelerveld uitgespoeld of was het nitraat al dieper uitgespoeld dan de diepte van de keramische cups (65-75 cm-mv). Op locatie 1, in regulier agrarisch gebruik, draagt uitspoeling vanuit het perceel waarschijnlijk wel bij aan de nitraatbelasting van het grondwater.

Voor Nederlandse begrippen zijn de sulfaatconcentraties in het porie- en grondwater relatief laag (< 500 µmol/l). In april werden over het algemeen lagere sulfaatconcentraties gemeten dan in november. Het sulfaat wordt waarschijnlijk in de zomermaanden gemobiliseerd door de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in de drooggevallen bodem, maar kan eventueel ook het gevolg zijn van de uitspoeling van nitraat.

4.5 Aanbevelingen

Op basis van de monitoring van de waterkwaliteit in de periode 2021-2024 kunnen de volgende aanbevelingen gegeven worden.

4.5.1 Grote Rietgat

Ten hoeve van de vernatting van de natte heide in het Boetelerveld is het rabattenbos rondom het Grote Rietgat verwijderd en is de grenssloot aan de oostzijde gedempt. De vroegere aanwezigheid van waterviolier in de greppels en sloot indiceerden voeding met kwelwater (veldobservaties [redacted]). Na dempen van de greppels en grenssloot is de toestroom van gebufferd grondwater naar het Grote Rietgat toegenomen en daarmee ook de buffercapaciteit van het oppervlaktewater.

Vanwege de onvoorspelbaarheid van de neerslaghoeveelheden (Figuur 12) is het advies dat er een mogelijkheid is om tijdens een nat voorjaar en/of zomer water af te kunnen laten (regelbare afvoer realiseren). Hoge waterstanden in het late voorjaar en/of zomer zullen niet alleen resulteren in het verdwijnen van de nog aanwezige soorten van zwakgebufferde vennen, zoals stijve moerasweegbree, vlottende bies, duizendknoop fonteinkruid en pilvaren, maar ook tot het afsterven van de aanwezige rietkraag. Bij het afsterven komen veel nutriënten vrij en dit zal weer leiden tot (blauw)algenbloei. De waargenomen massale ontwikkeling van draadalgen in het noordwestelijke deel in het voorjaar van 2023 (Figuur 12) duidt op voedselrijke omstandigheden waarbij er sprake is van fosforlimitatie van de

waterlaag (draadalgen kunnen fosfor mobiliseren uit de waterbodem). Het is daarbij wel belangrijk om vast te stellen of het aflaten van water in het voorjaar geen negatieve effecten heeft elders in het Boetelerveld, zoals verdroging van de natte heide tijdens de zomerperiode.

De aanwezigheid van ganzen in het Grote Rietgat is vanuit het oogpunt van eutrofiëring ook een aandachtspunt (Figuur 41). Aangezien in open water de uitwerpselen van ganzen worden verdund, vormt vermesting van de droogvallende oever door ganzen het grootste probleem (Brouwer & van den Broek, 2010). Juist op de droogvallende oever van het Grote Rietgat groeien de soorten van zwakgebufferde vennen. Daarnaast ontstaan door de ganzen gaten in de oever waardoor potentiële groeiplaatsen verdwijnen en het maaibeheer lastiger wordt. Voor vennen is eerder aangetoond dat bij meer dan zes ganzen per hectare op korte termijn vermesting kan optreden (Brouwer & van den Broek, 2010). De huidige fosfor- en stikstofconcentraties in het oppervlaktewater van het Grote Rietgat zijn nog wel relatief laag. Om het Grote Rietgat minder aantrekkelijk te maken voor ganzen kan gedacht worden aan maatregelen zoals verstoring (bijvoorbeeld aanleg wandelpad), het opwerpen van fysieke barrières voor de kuikens tussen het water en de aangrenzende voedselrijke graslanden of het ven beter bereikbaar maken voor predatoren (bijvoorbeeld via een lager waterpeil) (Brouwer & van den Broek, 2010; van de Haterd e.a., 2020).



Figuur 41. *Vermesting van de oever van het Grote Rietgat door ganzen in april 2024. Foto's:* [redacted]

In het najaar van 2023 stond het waterpeil vanwege de vele regenval zo hoog dat oppervlaktewater vanuit het agrarische gebied ter hoogte van de laagste delen van de tijdelijke grondwal bijna naar het Grote Rietgat kon stromen (in januari 2024 stroomde daadwerkelijk water over de grondwal, veldobservaties Landschap Overijssel). Aangezien dit water verrijkt is met fosfaat als gevolg van P-mobilisatie uit de voedselrijkere toplaag van de bodem onder natte condities, moet dit voorkomen worden.

In het najaar van 2023 werd er ten behoeve van het herstel van de natte heide grootschalig bosopslag verwijderd. Het is onduidelijk of deze maatregelen leiden tot nog hogere waterstanden in het Grote Rietgat en daarmee een negatief effect zullen hebben op de nog aanwezige soorten van zwakgebufferde vennen.

De toegenomen invloed van gebufferd grondwater biedt hoger op de flanken van het Grote Rietgat wel kansen voor de ontwikkeling van gebufferde vegetatietypen. Op de flank naar de droge heide heeft zich twee jaar na herinrichting al een vegetatie ontwikkeld die classificeert als habitattype blauwgrasland met soorten als blauwe knoop, heidemelkviooltje en blonde zegge (veldobservaties Landschap Overijssel). Hoger op de flank ontwikkelt zich een vegetatie met kenmerken van heischraal grasland. Het landbouwperceel met locatie 5 en 6 (Figuur 8) is een interessante uitbreidingslocatie voor de ontwikkeling van nat schraalland of uitbreiding van het areaal droogvallende venoever.

Aanbevelingen Grote Rietgat:

- Het advies is om na te gaan of het mogelijk is om in natte jaren water af te laten middels een regelbare afvoer zodat het waterpeil zowel in de winter (negatieve invloed vanuit voormalige landbouwpercelen beperken) als in het voorjaar en de zomer (voor de oevervegetatie) niet te lang hoog staat. Het is daarbij wel belangrijk om vast te stellen of het aflaten van water in het voorjaar geen negatieve effecten heeft elders in het Boetelerveld, zoals verdroging van de natte heide tijdens de zomerperiode.
- Om toestroom van fosfaatrijk water over de tijdelijke grondwal te voorkomen, is het advies om te onderzoeken of dit water naar elders afgevoerd kan worden of de grondwal zal opgehoogd moeten worden.
- Voor het monitoren van de waterpeilen is het advies om een peilschaal te plaatsen.
- Het advies is om de komende jaren de ontwikkeling van soorten van zwakgebufferde vennen, zoals stijve moerasweegbree, vlottende bies, duizendknoopfonteinkruid en pilvaren, te monitoren in combinatie met de oppervlaktewaterkwaliteit (buffering en voedselrijkdom) van het Grote Rietgat.
- Monitoren of de aanwezige ganzen niet leiden tot (toekomstige) eutrofiering van het Grote Rietgat.
- Het landbouwperceel met locatie 5 en 6 (direct ten oosten van het Grote Rietgat) is, wanneer de P-rijke toplaag wordt afgegraven, een interessante uitbreidingslocatie voor de ontwikkeling van nat schraalland of uitbreiding van het areaal droogvallende venoever. Indien dit een reële optie is, wordt aanvullend bodemonderzoek geadviseerd voor het in kaart brengen van de optimale plagdiepte.

4.5.2 Kleine Turfgat

In de venige laagte van het Kleine Turfgat is de bodem te rijk aan fosfaat (ca. 800 µmol Olsen-P/l bodem en 7,9 mmol P/l bodem) voor blauwgrasland. In droge zomers, zoals in 2022, leidt de oxidatie van organisch materiaal tot een versnelde mobilisatie van nutriënten. Dit heeft geresulteerd in een vrij productieve vegetatie met onder andere grote wederik, gele lis en riet (Figuur 42). Landschap Overijssel heeft op basis van veldobservaties het vermoeden dat landbouwwater onder de grondwal kan doorstromen (piping) en in de zone direct achter de wal zorgt voor extra eutrofiering.



Figuur 42. *Links: in de venige laagte van het Kleine Turfgat is een matig productieve vegetatie aanwezig met onder andere riet en grote wederik. Rechts: op de flanken van het Kleine Turfgat komen nog soorten voor als klokjesgentiaan, vlozegge en blonde zegge. Foto's: [redacted] (situatie 6 juli 2023).*

In het voorjaar van 2023 heeft het waterpeil in het Kleine Turfgat waarschijnlijk te lang hoog gestaan (inschatting op basis van veldbezoek op 6 juli 2023). Voor schraallandontwikkeling is het belangrijk dat rond april de toplaag van de bodem droogvalt. Meestal zakt het water in het voorjaar snel genoeg weg en wordt aan deze voorwaarde voldaan (veldobservaties Landschap Overijssel). In het geval van een nat voorjaar of zomer is het belangrijk dat er een mogelijkheid is om water af te laten. Vanwege de aanleg van de tijdelijke grondwal tussen het Kleine Turfgat en de slenk is het onduidelijk of de mogelijkheid om water af te laten nu aanwezig is. In het najaar van 2023 was het waterpeil in het Kleine Turfgat zeer hoog (Figuur 15) en het peil heeft tot ver in het voorjaar van 2024 hoog gestaan. Uit de metingen blijkt dat als gevolg van het hoge waterpeil gebufferd grondwater wordt weggedrukt en het ondiepe poriewater in het Kleine Turfgat minder goed gebufferd is.

Sinds het verondiepen van sloten en de aanleg van de slenk zijn er op basis van de vegetatieontwikkeling vermoedens dat de invloed van niet-gebufferd regenwater is toegenomen en de invloed van gebufferd grondwater afgenomen. Na herinrichting verschenen soorten als egelboterbloem en knolrus ten kostte van blaaszegge. Brede orchis neemt ook af en moeraswespenorchis en kleine valeriaan zijn recentelijk verdwenen (veldobservaties Landschap Overijssel).

Aanbeveling Kleine Turfgat:

- Uitzoeken of er een mogelijkheid is om in een nat voorjaar of natte zomer water van het Kleine Turfgat af te laten zodat er voldoende grondwaterinvloed blijft en de aangrenzende schraallanden niet tot ver in het voorjaar geïnundeerd blijven.
- Onderzoeken of voedselrijk (grond)water uit de slenk onder de grondwal door kan stromen (piping) naar het Kleine Turfgat.

4.5.3 Slenk

De slechte(re) waterkwaliteit in de slenk is het gevolg van nalevering uit de nog fosfaatrijke bodem. Doordat de toplaag van de bodem in de slenk vaak nog te voedselrijk is (Figuur 43, links), worden daarnaast de potenties voor natuurontwikkeling niet volledig benut.



Figuur 43. *Links: in grote delen van de slenk is de bodem nog voedselrijk (situatie 6 juli 2023). Rechts: als gevolg van de vele regenval reikt het oppervlaktewater van de slenk tot in de nog voedselrijke agrarische percelen. Foto's:* [redacted]

Aanbevelingen slenk:

- Gezien de nabijheid van het Kleine Turfgat is het belangrijk om de waterkwaliteit op deze locatie te blijven monitoren en de tijdelijke drempel pas te verwijderen wanneer de P-nalevering uit de voedselrijke bodem sterk is afgenomen.

- Gezien de nog aanwezige P-voorraad in de toplaag van bodem is het advies om de fosfaatrijke toplaag van de bodem te verwijderen (mits passend in het hydrologische systeem: onderzoeken in hoeverre er ruimte is voor een aanvullende ontgronding) of af te dekken (na afgraven opnieuw opvullen met schone grond).
- Door in de slenk meer voedselarme condities te creëren kan zich door variatie in buffering van de bodem een ecologisch waardevolle, soortenrijke gradiënt ontwikkelen van blauwgrasland, heischraal grasland en natte heide. Als het verder afgraven van de voedselrijke toplaag mogelijk is zonder dat dit leidt tot verdroging van het Kleine Turfgat, dan is aanvullend bodemonderzoek vereist om de juiste afgravingsdiepte en de mate van buffering van de nieuwe toplaag te bepalen.
- Momenteel is de slenk een geïsoleerde laagte zonder afvoer-/doorstroommogelijkheden. Voor de ontwikkeling van een goed functionerende slenk met een natte centrale zone (ven/nat schraalland) en blauwgrasland, heischraal grasland en natte heide op de flanken wordt geadviseerd een regelbare afvoer te creëren. Deze afvoermogelijkheid is niet alleen nodig om voldoende doorstroming te creëren en te zorgen voor droogval van de toplaag van de bodem in het voorjaar en groeizoen, maar is ook van belang om te voorkomen dat het waterpeil zo hoog wordt dat het water stagneert tot in de nog voedselrijke percelen (Figuur 43, rechts). Dit kan resulteren tot eutrofiering van de voedselarme delen van de slenk.

5 Literatuur

Bakel, J. van, P. de Louw & J. Snepvangers (2017) De hydrologische effecten van de maatregelen in het Boetelerveld en omgeving. Verslag van het [redacted]

Berg, L. van den (2016) Analyse grondwaterkwaliteit in 8 percelen rondom het Boetelerveld. Rapport 2014.45, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

Boer, H.C. de, M. van Mullekom & A.J.P. Smolders (2023) Lower nitrate leaching from dairy cattle slurry compared to synthetic fertilizer calcium ammonium nitrate applied to grassland. *Environmental Pollution*, 123088.

Brouwer, E., R. Bobbink, J.G.M. Roelofs & G.M. Verheggen (1996) Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiering van oppervlaktewateren. Eindrapport monitoringsprogramma tweede fase. Vakgroep Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.

Brouwer, E., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2008) Vennen kunnen verzuipen. *H_2O* 19: 89-91.

Brouwer, E. & T. van den Broek (2010) Ganzen brengen landbouw naar het ven. *De Levende Natuur* 111: 60-62.

Geest, G. van, N. Jaarsma, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2025) Achtergrondrapport waterplanten en waterkwaliteit. STOWA rapport 2025-27 incl. database, STOWA, Amersfoort.

Haterd, R.J.W van de., H.L. Schepp, H.B.M. Tomassen, G.L. Verweij & O.W.M. Duijts (2020) Effecten van guanotrofie door ganzen op het Fochteloërveen en Bargerveen. Rapport20-330, Bureau Waardenburg, Culemborg.

Jansen, A.J.M. (2010) Systeemanalyse Boetelerveld. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.

Kieskamp, A.A.M. & H. Smeenge (2016) Herstel van de slenkenstructuur ten noorden van het Kleine Turfgat (Boetelerveld). Uitwerking Natura 2000-maatregel M16. Rapport 15.55.1407.01, Unie van Bosgroepen, Ede.

Kieskamp, A.A.M. & A.J.M. Jansen (2017) Inrichtingsplan Grote Rietgat (Boetelerveld). Rapport Unie van Bosgroepen, Ede. In opdracht van Landschap Overijssel.

Kuiters, A.T., A. Corporaal, M.J. Weijters & R. Bobbink (2016) Monitoring van effecten van evenwichtsbemesting op de grondwaterkwaliteit van het Natura 2000-gebied Boetelerveld. Wageningen Environmental Research. Rapport 2772.

Mullekom, M. van & F. Smolders (2017) Bodem- en hydrochemisch onderzoek intrekgebied Grote Rietgat. Rapport RP-17.122.17.74, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe & L.A. Dean (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *US Department of Agriculture* circular No. 939.

Pratensis (2018) Inrichtingsplan Boetelerveld. Pratensis, Almelo.

Provincie Overijssel (2016) Natura 2000 beheerplan Boetelerveld.

Schoumans, O. (2004) Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 730.4. 50 blz.; 11 fig.; 5 tab.; 35 ref.

Schoumans, O.F., P. Groenendijk, C. van der Salm & M. Pleijter (2008) Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden; PLEASE: technische beschrijving. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1724. 76 blz.; 22. Fig.; 4 tab.; 83 ref.

Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. van der Velde & J.G.M. Roelofs (2006) Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.

[redacted] (2023) Monitoring grond- en oppervlaktewaterkwaliteit Boetelerveld, tussenrapportage 2021-2022. Rapport RP-21.004.23.12, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

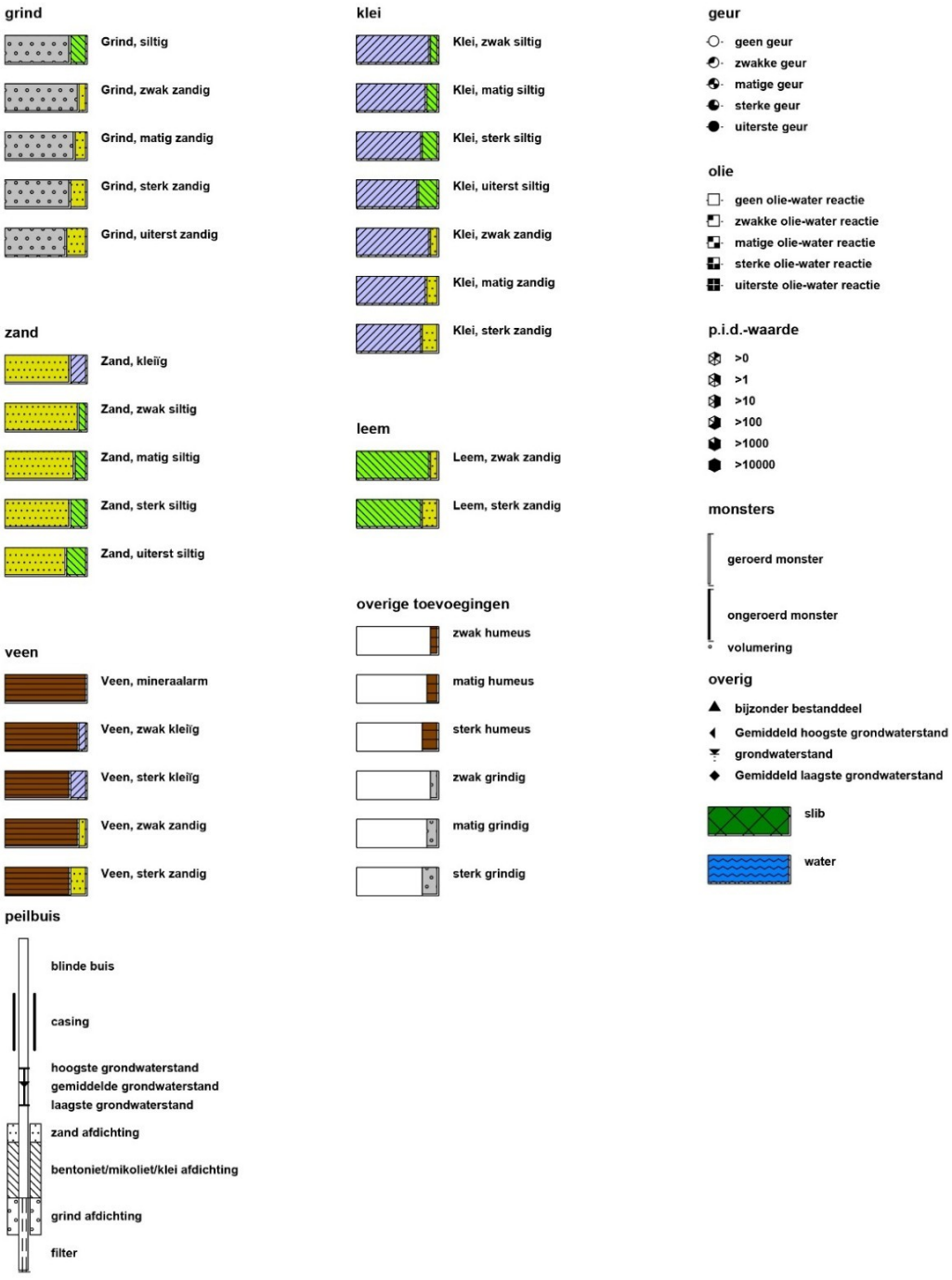
[redacted] (2024) Monitoring grond- en oppervlaktewaterkwaliteit Boetelerveld, tussenrapportage 2023. Rapport RP-21.004.23.111, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

6 Bijlagen

6.1 Bijlage 1: beschrijving bodemprofielen

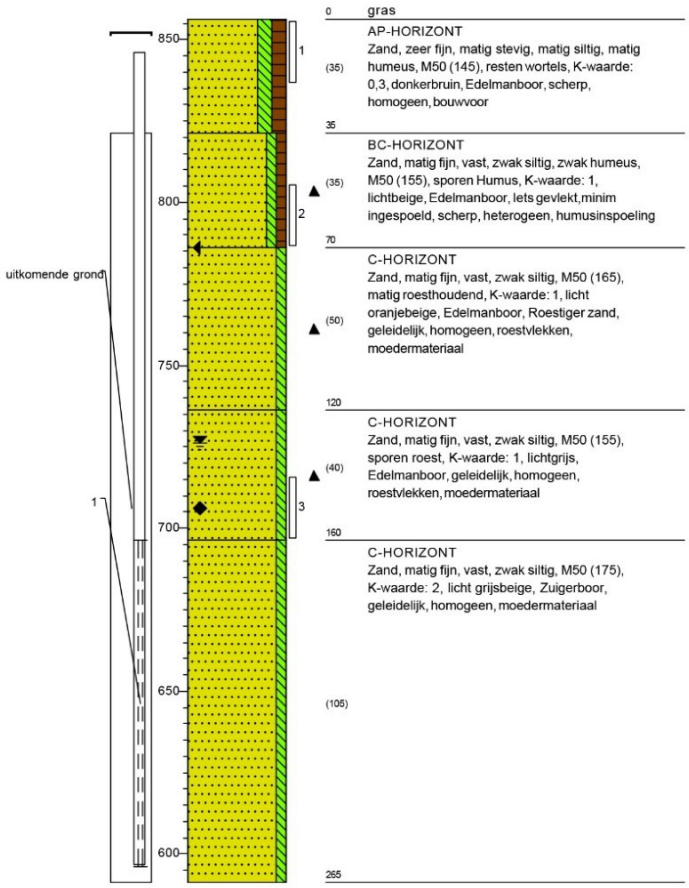
Profielbeschrijvingen volgens NEN5104 van de boringen voor het plaatsen van de peilbuizen en bemonstering van de bodemchemie. De profielbeschrijvingen zijn opgesteld door ATKB (boormeester [redacted] J

Legenda:



Boring: 1

X:	219924,05
Y:	485978,32
Datum:	5-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	8,563
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	130
GHG:	70
GLG:	150



0 gras

AP-HORIZONT
(35) Zand, zeer fijn, matig stevig, matig siltig, matig humeus, M50 (145), resten wortels, K-waarde: 0,3, donkerbruin, Edelmanboor, scherp, homogeen, bouwvoor

35

BC-HORIZONT
(35) Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, zwak humeus, M50 (155), sporen Humus, K-waarde: 1, lichtbeige, Edelmanboor, lets gevlekt,minim ingespoeld, scherp, heterogeen, humusinspoeling

70

C-HORIZONT
(50) Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, M50 (165), matig roesthoudend, K-waarde: 1, licht oranjebeige, Edelmanboor, Roestiger zand, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

120

C-HORIZONT
(40) Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, M50 (155), sporen roest, K-waarde: 1, lichtgrijs, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

160

C-HORIZONT
(105) Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, M50 (175), K-waarde: 2, licht grijsbeige, Zuigerboor, geleidelijk, homogeen, moedermateriaal

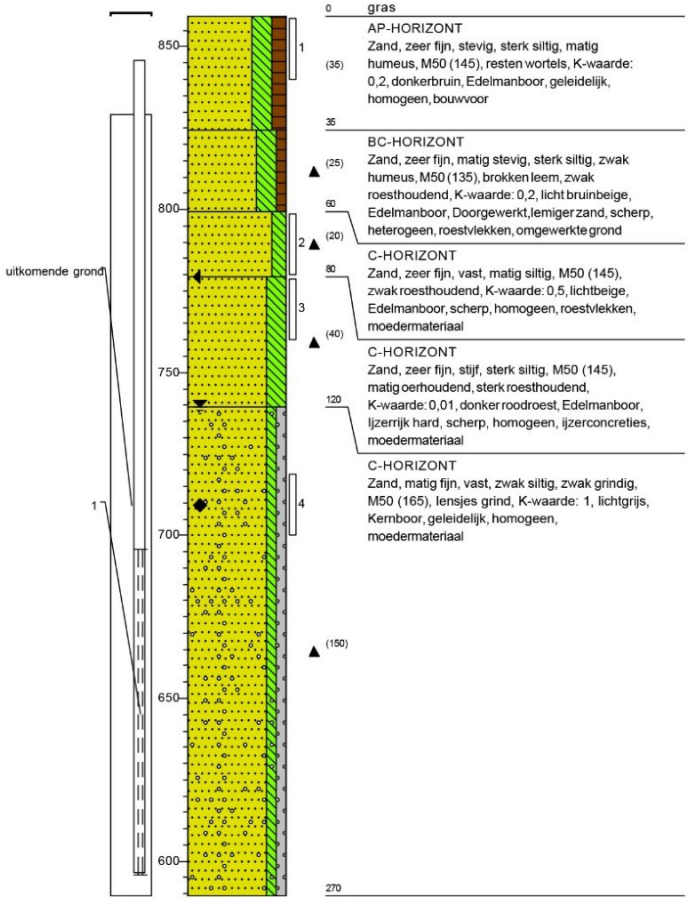
265

Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 2

X:	220018,00
Y:	486130,82
Datum:	5-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	8,593
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	120
GHG:	80
GLG:	150



0 gras

AP-HORIZONT
Zand, zeer fijn, stevig, sterk siltig, matig humeus, M50 (145), resten wortels, K-waarde: 0,2, donkerbruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, bouwvoor

(35)

35

BC-HORIZONT
Zand, zeer fijn, matig stevig, sterk siltig, zwak humeus, M50 (135), brokken leem, zwak roesthoudend, K-waarde: 0,2, licht bruinbeige, Edelmanboor, Doorgewerkt,lemiger zand, scherp, heterogeen, roestvlekken, omgewerkte grond

(25)

60

(20)

C-HORIZONT
Zand, zeer fijn, vast, matig siltig, M50 (145), zwak roesthoudend, K-waarde: 0,5, lichtbeige, Edelmanboor, scherp, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

80

(40)

C-HORIZONT
Zand, zeer fijn, stijf, sterk siltig, M50 (145), matig oerhoudend, sterk roesthoudend, K-waarde: 0,01, donker roodroest, Edelmanboor, ijzerrijk hard, scherp, homogeen, ijzerconcreties, moedermateriaal

120

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, zwak grindig, M50 (165), lensjes grind, K-waarde: 1, lichtgrijs, Kernboor, geleidelijk, homogeen, moedermateriaal

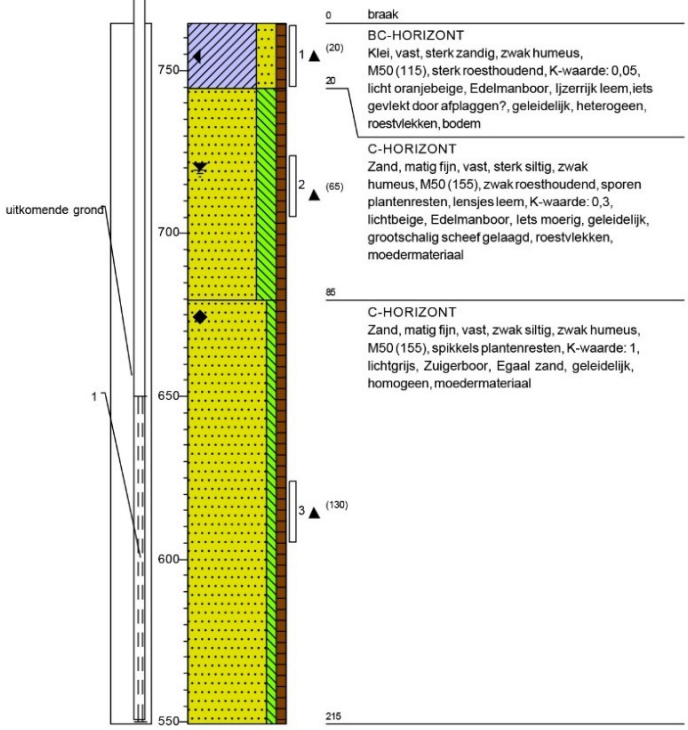
270

Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 7

X:	219773,87
Y:	486151,31
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	7,646
Nauwkeurigheid GPS	RTK, fixed integers
GWS:	45
GHG:	10
GLG:	90



0 braak

BC-HORIZONT
Klei, vast, sterk zandig, zwak humeus, M50 (115), sterk roesthoudend, K-waarde: 0,05, licht oranjebeige, Edelmanboor, Ijzerrijk leem,iets gevlekt door afplaggen?, geleidelijk, heterogeen, roestvlekken, bodem

20

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, sterk siltig, zwak humeus, M50 (155), zwak roesthoudend, sporen plantenresten, lensjes leem, K-waarde: 0,3, lichtbeige, Edelmanboor, lets moerig, geleidelijk, grootschalig scheef gelaagd, roestvlekken, moedermateriaal

85

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, zwak humeus, M50 (155), spikkels plantenresten, K-waarde: 1, lichtgrijs, Zuigerboor, Egaal zand, geleidelijk, homogeen, moedermateriaal

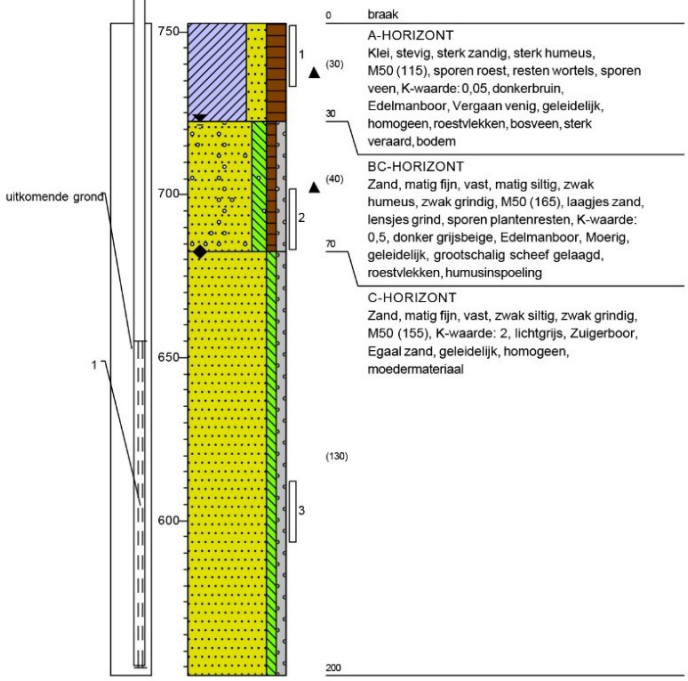
215

Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 8

X:	219784,00
Y:	486209,00
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	7,526
Nauwkeurigheid GPS	RTK, fixed integers
GWS:	30
GHG:	0
GLG:	70

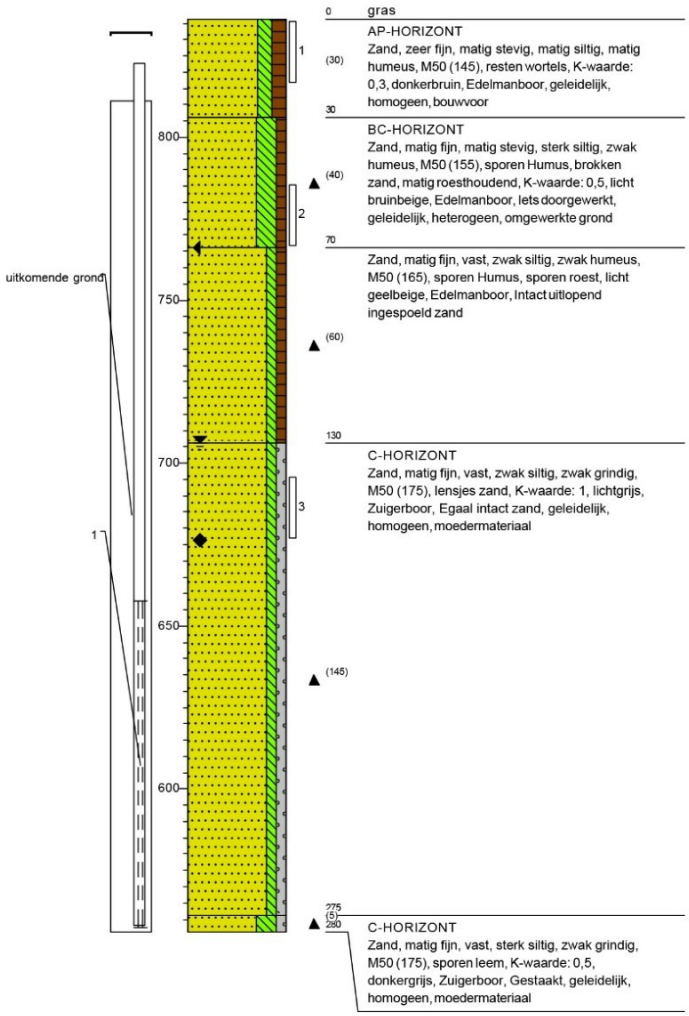


Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 10

X:	219801,95
Y:	486739,88
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	8,363
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	130
GHG:	70
GLG:	160



0 gras

AP-HORIZONT
Zand, zeer fijn, matig stevig, matig siltig, matig humeus, M50 (145), resten wortels, K-waarde: 0,3, donkerbruin, Edelmanboor, geleidelijk, homogeen, bouwvoor

30

BC-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, sterk siltig, zwak humeus, M50 (155), sporen Humus, brokken zand, matig roesthoudend, K-waarde: 0,5, licht bruinbeige, Edelmanboor, lets doorgewerkt, geleidelijk, heterogeen, omgewerkte grond

70

Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, zwak humeus, M50 (165), sporen Humus, sporen roest, licht geelbeige, Edelmanboor, Intact uitlopend ingespoeld zand

130

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, zwak grindig, M50 (175), lensjes zand, K-waarde: 1, lichtgrijs, Zuigerboor, Egaal intact zand, geleidelijk, homogeen, moedermateriaal

275

280

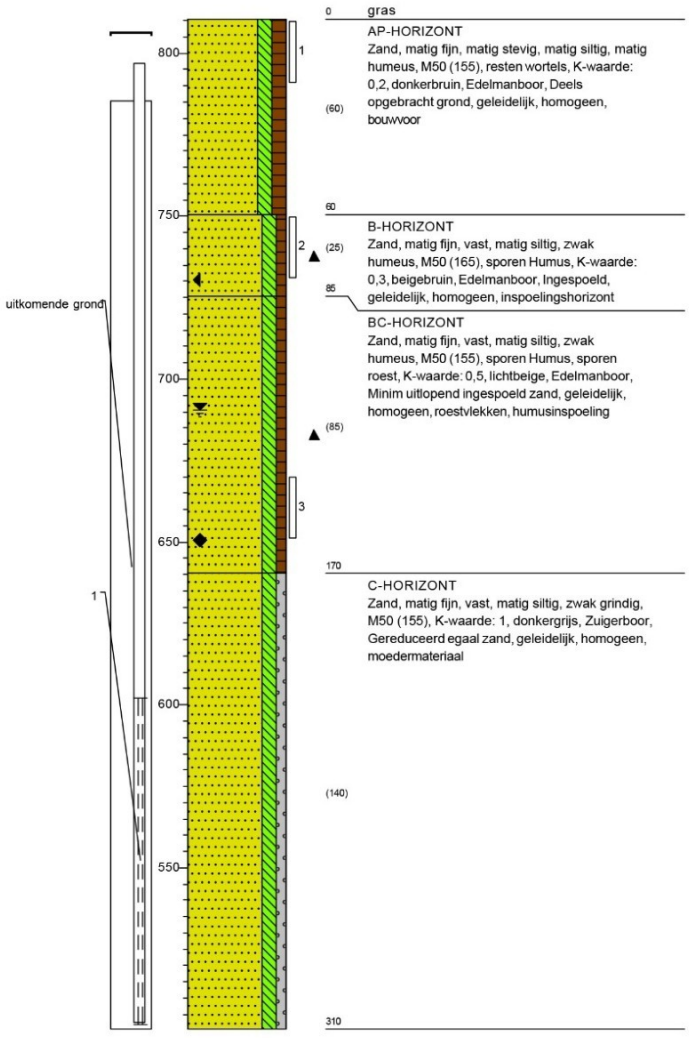
C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, sterk siltig, zwak grindig, M50 (175), sporen leem, K-waarde: 0,5, donkergrijs, Zuigerboor, Gestaakt, geleidelijk, homogeen, moedermateriaal

Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 12

X:	219589,82
Y:	486810,77
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	8,105
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	120
GHG:	80
GLG:	160



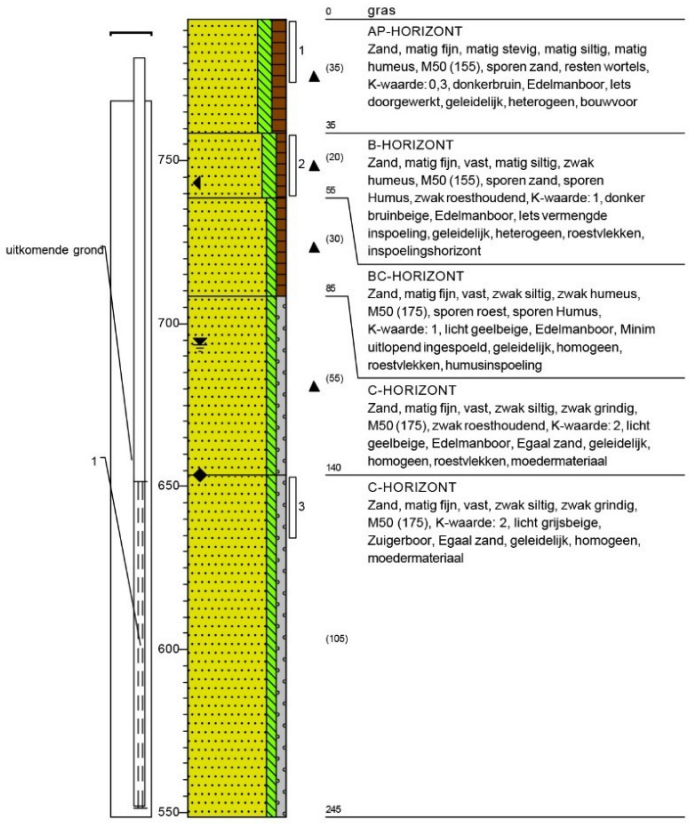
Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

ATKB

Boring: 13

X:	219317,35
Y:	486950,84
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	7,935
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	100
GHG:	50
GLG:	140

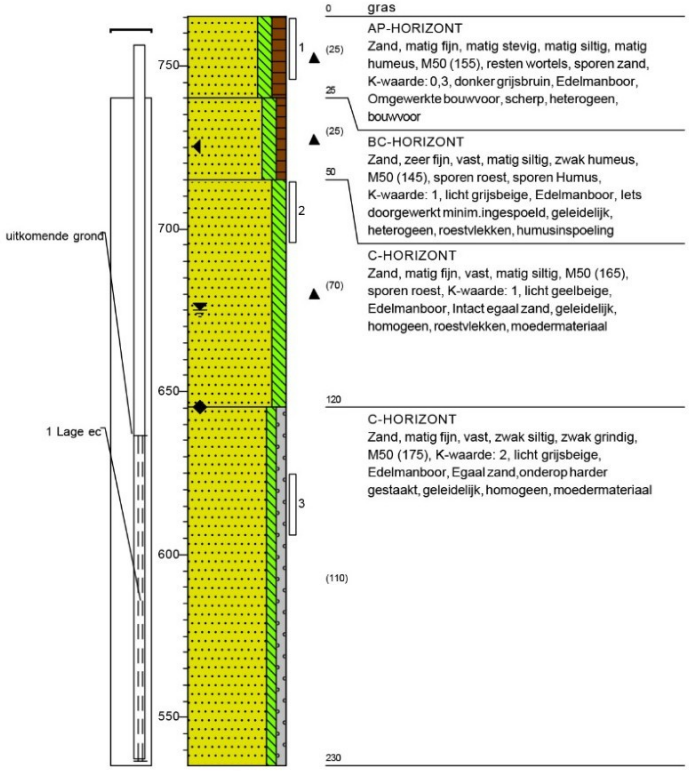


Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 14

X:	219330,73
Y:	487069,07
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	7,653
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	90
GHG:	40
GLG:	120



0 gras

AP-HORIZONT
Zand, matig fijn, matig stevig, matig siltig, matig humeus, M50 (155), resten wortels, sporen zand, K-waarde: 0,3, donker grijsbruin, Edelmanboor, Omgewerkte bouwvoor, scherp, heterogeen, bouwvoor

25

BC-HORIZONT
Zand, zeer fijn, vast, matig siltig, zwak humeus, M50 (145), sporen roest, sporen Humus, K-waarde: 1, licht grijsbeige, Edelmanboor, Iets doorgewerkt minim.ingespoeld, geleidelijk, heterogeen, roestvlekken, humusinspoeling

50

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, matig siltig, M50 (165), sporen roest, K-waarde: 1, licht geelbeige, Edelmanboor, Intact egaal zand, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

120

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, zwak siltig, zwak grindig, M50 (175), K-waarde: 2, licht grijsbeige, Edelmanboor, Egaal zand,onderop harder gestaakt, geleidelijk, homogeen, moedermateriaal

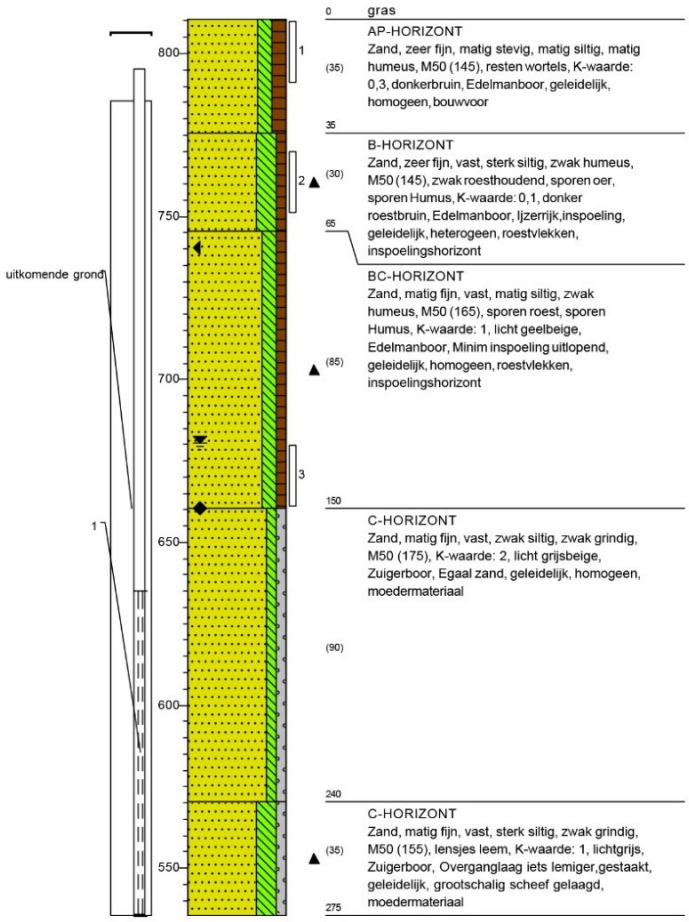
230

Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

Boring: 15

X:	219499,85
Y:	487033,04
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	8,106
Nauwkeurigheid GPS:	RTK, fixed integers
GWS:	130
GHG:	70
GLG:	150



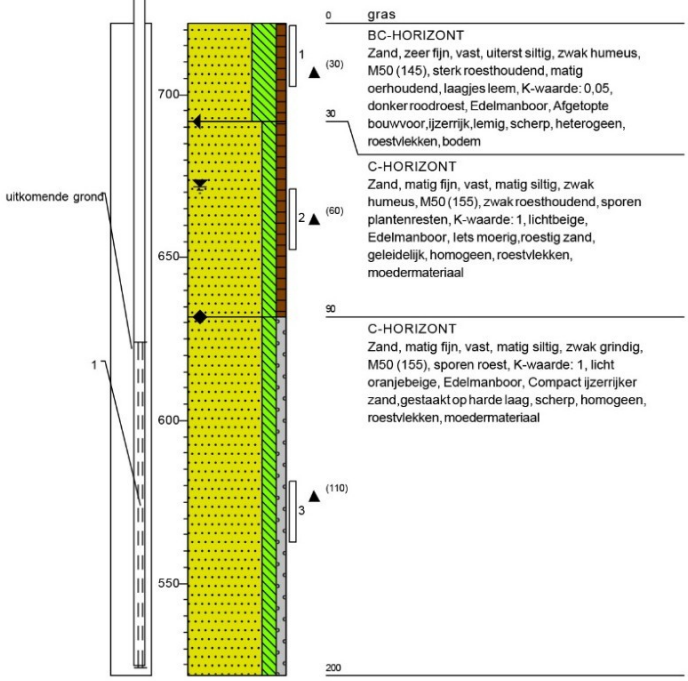
Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

ATKB

Boring: 19

X:	219446,97
Y:	486915,68
Datum:	4-10-2021
Boormeester:	Jan Vermeer
N.A.P. :	7,22
Nauwkeurigheid GPS	RTK, fixed integers
GWS:	50
GHG:	30
GLG:	90



0 gras

BC-HORIZONT
Zand, zeer fijn, vast, uiterst siltig, zwak humeus, M50 (145), sterk roesthoudend, matig oerhoudend, laagjes leem, K-waarde: 0,05, donker roodroest, Edelmanboor, Afgetopte bouwvoor,ijzerrijk,lemig, scherp, heterogeen, roestvlekken, bodem

30

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, matig siltig, zwak humeus, M50 (155), zwak roesthoudend, sporen plantenresten, K-waarde: 1, lichtbeige, Edelmanboor, Iets moerig,roestig zand, geleidelijk, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

90

C-HORIZONT
Zand, matig fijn, vast, matig siltig, zwak grindig, M50 (155), sporen roest, K-waarde: 1, licht oranjebeige, Edelmanboor, Compact ijzerrijker zand,gestaakt op harde laag, scherp, homogeen, roestvlekken, moedermateriaal

200

Projectcode: PR-21.004

Projectnaam: Plaatsing 10 peilbuizen Boetelerveld

6.2 Bijlage 2. Bodemchemie peilbuislocaties

Overzicht van de bodemchemische parameters (per liter versgewicht) op verschillende diepten (in cm onder maaiveld) op de peilbuislocaties (voor ligging zie Figuur 8 en Figuur 9). V = vochtpercentage; MV = massavolume in kg droge bodem per liter verse bodem, OS = organisch stofpercentage, Olsen-P = plantbeschikbaar P in µmol/l bodem; -t = totale concentratie (mmol/l bodem), -z = zoutuitwisselbare concentraties (µmol/l bodem). De volgende kleurarceringen zijn in de tabel gebruikt:

Org. stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	P-z	NO_3-z		Maaien en afvoeren (M)	
%	mmol/l	mmol/l	µmol/l	mmol/l	µmol/l	µmol/l		jaren	
<5	<200	<20	<4000	<40	<1	<50		0	voldoende P-arm
6-10	201-400	21-100	4001-10000	41-100	2-5	51-100		<10	kansrijk voor verschraling d.m.v. maaien en afvoeren
11-25	401-800	100-250	10001-20000	101-250	6-10	101-200		11-40	matig kansrijk voor verschraling d.m.v. maaien en afvoeren
26-50	801-1200	250-500	20001-35000	251-500	11-30	201-400		41-80	kansrijk voor verschraling d.m.v. uitmijnen
>50	>1200	500-1000	35001-50000	501-800	31-50	401-800		81-200	matig tot beperkt kansrijk voor verschraling d.m.v. uitmijnen
		>1000	>50000	>800	51-100	801-1200		201-400	ongeschikt voor verschraling I
					>100	>1200		>400	ongeschikt voor verschraling II

Locatie	Diepte	V	MV	OS	Olsen-P	Al-t	Ca-t	Fe-t	K-t	Mg-t	P-t	S-t	pH-z	BV-z	NO_3-z	NH_4-z	Al-z	Ca-z	Fe-z	K-z	Mg-z	P-z	S-z
	cm	%	kg/l	%	µmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l	mmol/l		%	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
1	0-20	15,93	0,89	5,1	1705	143	28	31	5,0	11,1	10,9	8,1	5,9	99	176	77,5	39,9	7863	6,7	205	3476	5,7	130
	50-70	9,79	1,33	0,6	120	259	12	43	11,0	17,4	1,6	1,8	6,1	99	87	14,2	13,0	2548	5,3	945	2395	0,0	168
	140-160	16,24	1,56	0,5	124	161	13	39	13,0	21,3	2,2	1,1	6,1	99	221	33,5	6,2	2896	8,6	1589	2037	0,6	246
2	0-20	20,18	0,91	6,1	1979	192	32	61	5,9	16,3	13,9	9,6	5,9	99	149	60,3	20,9	9057	6,7	253	4266	6,2	184
	60-80	11,07	1,24	0,8	37	190	12	271	8,1	14,7	1,7	0,9	5,6	100	49	15,1	1,5	4849	3,6	560	2811	0,0	175
	90-100	11,73	1,34	1,4	94	136	10	773	8,0	12,7	9,1	1,1	5,2	99	144	15,6	16,4	4514	4,1	581	2465	0,0	980
	140-160	15,19	1,57	0,2	163	139	12	48	11,2	21,6	2,4	0,2	5,0	93	248	22,0	138,1	2729	6,2	759	1449	0,0	314
7	0-20	18,35	1,28	2,2	15	278	67	971	6,7	20,4	4,0	1,6	6,0	100	23	29,2	19,2	28544	5,7	106	3072	0,0	355
	40-60	15,74	1,46	0,8	46	150	28	84	10,0	20,4	2,9	1,4	6,3	99	17	47,9	16,5	8847	7,7	301	871	0,1	280
	140-160	14,22	1,49	0,2	19	100	130	46	9,8	28,6	2,3	1,0	7,8	99	22	72,3	6,9	6505	4,7	405	399	0,0	354
8	0-20	41,68	0,61	16,2	387	296	101	124	5,0	15,4	6,3	24,6	5,9	100	174	22,9	27,1	22677	11,9	39	1822	0,4	356
	50-70	17,81	1,48	0,8	52	128	33	55	9,3	22,3	3,3	7,3	6,2	99	4	232,0	2,6	10650	6,0	339	768	0,0	797
	140-160	15,52	1,52	0,2	59	96	233	51	9,4	27,8	2,4	1,2	7,5	99	2	63,5	0,9	7624	4,5	379	390	0,5	346
10	0-20	20,46	1,02	6,7	4490	224	24	33	5,5	12,3	19,5	8,6	5,5	98	217	107,5	120,1	9113	5,9	235	3680	3,5	196
	50-70	7,69	1,52	0,7	109	244	9	58	8,4	17,1	0,9	0,2	5,5	96	11	19,8	65,7	1978	6,9	494	831	0,0	158
	140-160	16,11	1,48	0,4	296	253	7	37	12,7	20,6	1,6	0,0	4,9	92	82	23,0	211,5	2038	9,2	1115	2054	0,0	223
12	0-20	19,35	1,03	6,4	769	264	40	264	5,9	21,0	10,4	9,7	5,4	100	201	53,3	14,0	13055	3,0	275	5325	0,3	237
	60-80	12,59	1,31	2,5	518	213	28	22	7,6	12,1	2,5	2,6	5,9	100	56	29,9	21,9	8965	4,9	947	3084	0,0	270
	140-160	17,91	1,64	0,4	365	189	14	43	14,6	27,1	2,9	2,7	6,2	93	2	624,4	69,5	6168	20,7	1911	1669	2,7	590
13	0-20	19,44	1,10	6,1	2737	238	37	35	7,2	14,9	14,6	8,3	6,0	99	276	98,2	18,5	12529	5,2	913	3537	4,0	193
	35-55	10,94	1,34	2,2	321	360	24	47	13,5	22,9	3,0	1,7	6,1	99	12	31,9	34,1	6955	6,1	1823	3237	0,0	171
	140-60	14,64	1,51	0,3	187	189	10	32	10,3	18,9	1,5	0,1	6,2	99	433	27,1	6,7	2895	4,7	800	1251	0,0	634
14	0-20	22,31	1,09	4,3	1982	297	13	21	6,0	8,5	7,9	7,9	4,7	87	57	97,0	505,6	4821	6,3	194	816	0,6	164
	50-70	12,60	1,44	0,9	155	358	12	56	14,3	23,5	2,6	0,3	4,9	87	2	18,8	276,1	2725	4,8	287	204	0,0	158
	140-160	15,54	1,53	0,3	225	198	13	35	12,1	19,5	2,1	0,0	4,9	89	1	19,1	178,1	2271	7,3	371	467	0,0	208
15	0-20	26,82	0,82	11,2	3235	140	44	19	6,2	20,9	23,2	13,8	5,7	100	315	79,7	21,4	11003	6,0	910	9068	53,0	217
	40-60	9,66	1,18	3,3	598	343	32	34	11,7	22,7	4,4	2,8	6,0	99	98	34,9	32,1	8211	4,5	2441	4640	0,6	153
	130-150	15,82	1,54	0,4	6	218	11	37	11,3	20,1	1,6	0,0	6,0	99	253	18,6	20,1	1501	6,0	1821	947	0,0	292
19	0-20	18,50	1,49	4,5	118	207	44	1993	12,7	25,2	14,8	1,0	6,3	100	7	28,7	18,2	18759	5,6	2755	5483	0,0	192
	50-70	17,27	1,45	0,8	64	114	21	75	8,7	17,6	2,2	0,3	6,4	100	4	18,3	0,0	7580	4,4	1339	1920	0,0	173
	140-160	14,11	1,70	0,3	23	156	263	103	15,9	47,0	3,8	0,0	7,3	99	0	27,3	14,6	7276	5,8	1304	794	0,3	240



[redacted]

IBAN: [redacted]
BTW: NL 811402496B01
KvK: 09131250

[redacted]

Biogeochemical Water management
& Applied Research on Ecosystems

Toelichting grondslagen

In dit document kunt u secties vinden die onleesbaar zijn gemaakt. Deze informatie is achterwege gelaten op basis van de Wet open overheid (Woo). De letter die hierbij is vermeld correspondeert met de bijbehorende grondslag in onderstaand overzicht.

J Art. 5.1 lid 2 sub e

Het belang van de openbaarmaking van deze informatie weegt niet op tegen het belang van de eerbiediging van de persoonlijke levenssfeer van betrokkenen