

Ecohydrologische studie Achterwaterschap:
effect van peilverlaging op grondwaterafhankelijke vegetaties

Definitief eindrapport
TvdB2020-23
11 november 2020

In opdracht van: Infram

Inhoudsopgave

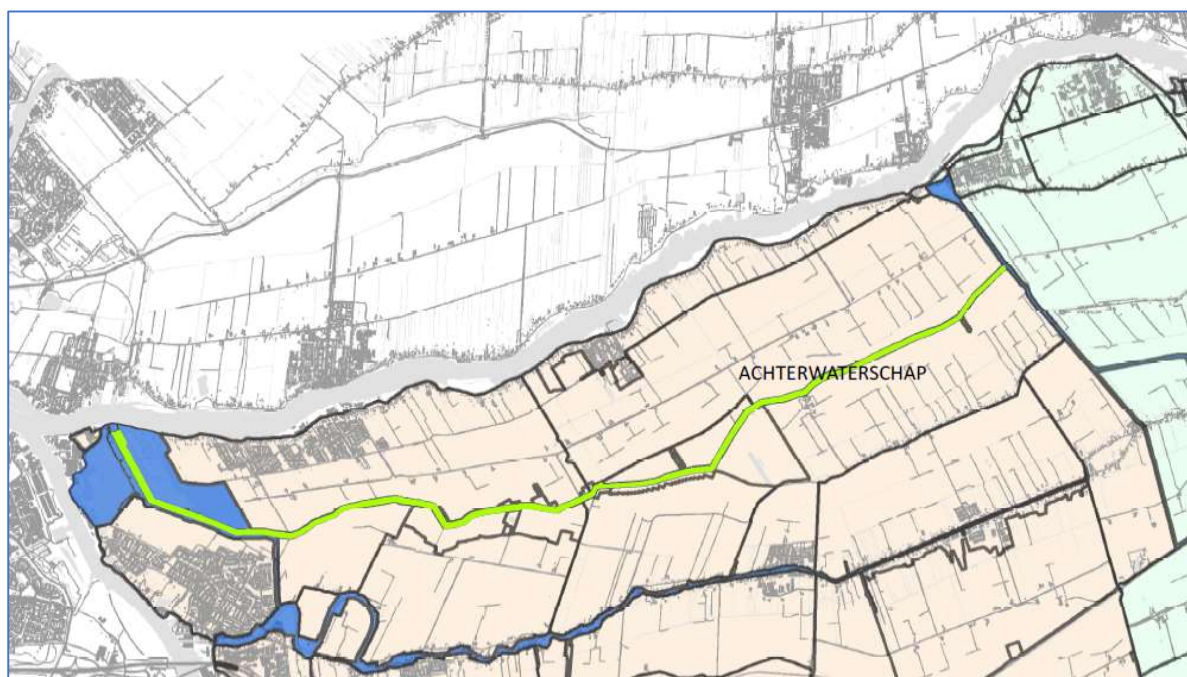
1.	Kader en aanleiding ecohydrologische studie	2
2.	Het Natuurnetwerk Nederland	4
	2.1. Beleid en toetskader	4
	2.2. Het NNN langs het Achterwaterschap	4
3.	Wat vooraf ging en de onderzoeksvragen	7
	3.1. Eerdere studies en inzichten	7
	3.2. Onderzoeksvragen	7
4.	Ecohydrologische studie	9
5.	Resultaten	12
	5.1. Vegetatie	12
	5.2. Bodemchemisch en grondwaterkwaliteitsonderzoek	14
	5.2.1. Bodemchemisch onderzoek	14
	5.2.2. Grondwaterkwaliteit	16
	5.3. Geohydrologie	17
6.	Discussie en conclusie	19
	6.1. Discussie	19
	6.2. Conclusie	21
7.	Literatuur	23

Bijlagen

1. Locatie peilbuizen grondwaterstandsmeting en de 12 bemonsterde locaties
2. Grondwaterstanden in de peilbuizen
3. Deelgebieden geohydrologisch onderzoek
4. Analysemethoden water- en bodemonsters
5. Toelichting gebruikt hydrologisch model

1. Kader en aanleiding ecohydrologische studie

In het kader van een robuust en toekomstbestendig watersysteem verkent Waterschap Rivierenland (WSRL) verschillende watersysteemmaatregelen. Eén van die maatregelen is het verlagen van het huidige peil in het Achterwaterschap. Het Achterwaterschap is onderdeel van de Lage Boezem van de Overwaard en wordt onderdeel van de Lage boezem van de Nederwaard (figuur 1). Door deze ingreep zal het boezempeil in het Achterwaterschap met 15 cm zakken; van het huidige peil van NAP – 0,75 m naar een toekomstig peil van NAP -0,90 m en krijgt het een minimum peil van NAP -1,20 m en maximum peil van NAP -0,80 m. Hiertussen mag het peil fluctueren.



Figuur 1. Ligging van het Achterwaterschap (groen).

Het Achterwaterschap en een groot deel van de aanliggende boezemlandjes, kaden en polderdelen zijn begrensd als Natuurnetwerk Nederland (NNN). Een groot deel hiervan is tevens begrensd als Natura 2000-gebied (Donkse Laagten). Een deel van de buitenkaads gelegen boezemlanden en de kadeteen (het deel tussen de kade en de teensloot) bestaat uit bijzondere vegetaties zoals dotterbloemhooiland en blauwgrasland. Deze vegetaties komen ook voor in de zogenaamde uitstekken. Dit zijn polderdelen (dus gelegen achter de teensloot) waar een ondiepe laag klei (klei-op-veen) is gewonnen voor de aanleg van de kade (tichelen). Daarmee ligt het maaiveld van de uitstekken lager en als gevolg daarvan de grondwaterstand aldaar dichterbij het maaiveld dan in de niet-getichelde percelen. In het kader van natuurontwikkeling zijn in de afgelopen jaren op meerdere locaties uitstekken gemaakt. Dotterbloemhooiland en blauwgrasland zijn vegetaties die gebonden zijn aan matig voedselrijke tot matig voedselarme, natte tot vochtige, basenrijke standplaatsen. Daarmee zijn deze vegetaties gebonden aan jaarrond (relatief) hoge grondwaterstanden en aan condities waardoor de basenrijkdom in stand blijft. Dit laatste kan gebeuren door aanrijking door middel van (kade)kwel, maar dat is niet noodzakelijk.

Op voorhand is het niet uit te sluiten dat er als gevolg van de peilverlaging effecten zijn op de bijzondere vegetaties van de boezemlanden, de kadeteen en de uitstekken. Dit omdat er mogelijk een relatie bestaat tussen het boezempeil en de hoge grondwaterstanden in genoemde gebieden. Mogelijk is er ook sprake van aanrijking met basen als gevolg van kadekwel. Vanuit het beschermingsregime van het NNN en Natura 2000 is het verplicht om eventuele ecologische effecten in beeld te brengen, effecten te mitigeren dan wel te compenseren.

De voornoemde watersysteemmaatregelen zijn uitgewerkt in een Ontwerp partiële herziening van het peilbesluit Alblasserwaard (uit 2016). Op dit Ontwerp heeft de Provincie Zuid-Holland een zienswijze

ingediend, waarin zij om nader onderzoek naar de effecten van de peilverlaging op het NNN vraagt, zodat een uitspraak mogelijk is of er sprake is van significante aantasting van wezenlijke waarden en kenmerken (NNN) of dat significant negatieve effecten niet zijn uit te sluiten (Natura 2000).

Hier wordt opgemerkt dat hoewel de Donkse Laagten alleen zijn aangewezen als Natura 2000-gebied onder de Europese Vogelrichtlijn, de als habitattypen kwalificerende vegetaties wel degelijk een beschermde status hebben. Voor de beoordeling van de effecten is dit evenwel minder van belang omdat de vegetaties sowieso bescherming genieten vanuit het NNN. Derhalve vormt hier het NNN het toetskader voor de peilverlaging.

Vanwege de geschetste afhankelijkheid tussen boezempeil en grondwaterstand is het nodig om meer duidelijkheid te verkrijgen over de huidige standplaatscondities van het NNN en de robuustheid ervan – meer specifiek: de dotterbloemhooiland- en blauwgraslandvegetaties. Die robuustheid uit zich in de mate waarin de grondwaterstanden binnen het preferente bereik liggen van genoemde vegetaties en de bodemchemische condities, met name de basenverzadiging en basenrijkdom. Door dit in beeld te brengen is het effect is van de peilverlaging en de daaruit volgende grondwaterstandsval op deze vegetaties beter in te schatten.

2. Het Natuurnetwerk Nederland

2.1. Beleid en toetskader

Het regime ter bescherming van het Natuurnetwerk Nederland (NNN, voorheen EHS) is in hoofdlijnen verankerd in de Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR) en nader uitgewerkt in het Besluit algemene regels ruimtelijke ordening (Barro) en de provinciale verordening Ruimte. Binnen Natuurnetwerk Nederland is het 'nee, tenzij'-regime van toepassing. Plannen, projecten of handelingen worden volgens dit regime beoordeeld.

Provincie Zuid-Holland heeft het beleid rondom het Natuurnetwerk Nederland juridisch verankerd in de Visie Rijke Groenblauwe Leefomgeving en de Omgevingsverordening Zuid-Holland.

Het ruimtelijk beleid voor het NNN is gericht op het behoud, het herstel en de ontwikkeling van de wezenlijke kenmerken en waarden van een gebied. De bescherming van deze waarden vindt plaats door toepassing van een specifiek afwegingskader: het zogenaamde 'nee, tenzij'-regime. Dat betekent dat nieuwe plannen en projecten niet zijn toegestaan als deze een significant negatief effect hebben op de wezenlijke kenmerken en waarden van het gebied, tenzij daarmee een groot openbaar belang gediend is en er geen reële alternatieven voorhanden zijn. In dat geval moet de schade zoveel mogelijk beperkt worden door het treffen van mitigerende maatregelen en moet de resterende schade gecompenseerd worden. Hiervoor is een ontheffing van deze verordening van Gedeputeerde Staten vereist. Een verzoek om ontheffing op basis van het 'nee, tenzij'-regime dient vergezeld te gaan van een compensatieplan waaruit blijkt hoe, waar en wanneer de mitigerende en compenserende maatregelen zullen worden getroffen, wat de begrenzing van het compensatiegebied is en op welke wijze de compensatie duurzaam verzekerd is.

De wezenlijke kenmerken en waarden van het NNN zijn gekoppeld aan de natuurdoelen voor een gebied. Deze zijn te vinden in het 'Natuurbeheerplan Zuid-Holland', het portaal natuur en landschap¹ en de aanwijzingsbesluiten voor de Natura 2000-gebieden.

2.2. Het NNN langs het Achterwaterschap

Figuur 2 toont het NNN zoals dat begrensd is langs het Achterwaterschap. Aan de noord- en zuidzijde van het Achterwaterschap is het NNN op een enkele locatie na (Zijdebrug en Donkse Laagten) beperkt tot de kadeteen. Figuur 3 toont de beheertypenkaart (huidige natuur) en figuur 4 de ambitiekaart (Natuurbeheerplan 2020).

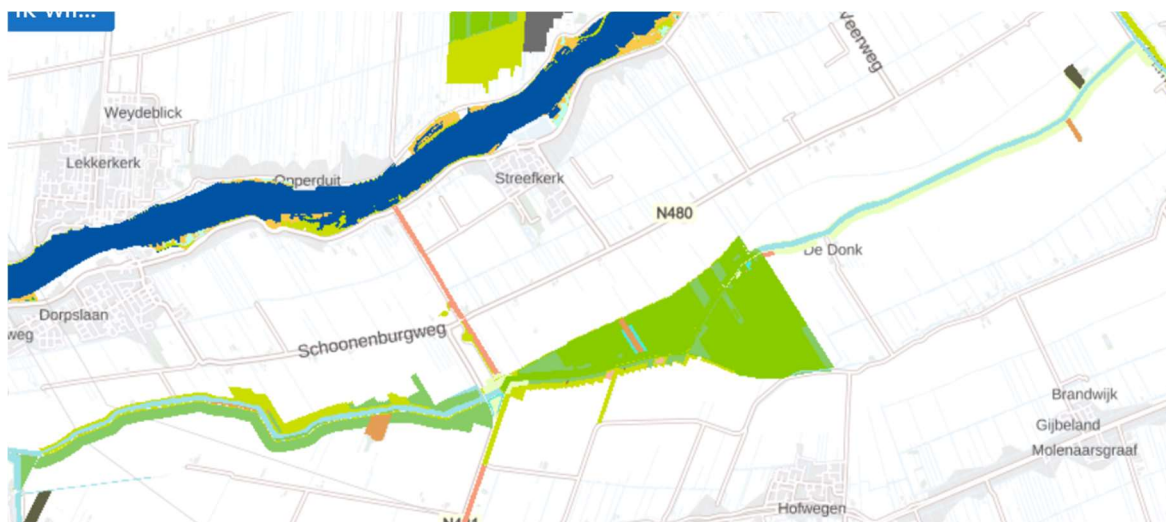


Figuur 2. Begrenzing van het NNN langs het Achterwaterschap. Groen=bestaande en nieuwe natuur, rood=ecologische verbinding.

¹ www.portaalnatuurenlandschap.nl/themas/overzicht-typen-natuur-en-landschapoord-



Figuur 3. Beheertypenkaart (Natuurbeheerplan 2020).



Figuur 4. Ambitiekaart (Natuurbeheerplan 2020).

Uit de vergelijking van figuur 3 met figuur 4 wordt duidelijk dat een groot deel van het NNN nog niet is ingericht. Figuur 5 zoomt in op het gebied rondom de Zijdebrug.



Figuur 5. Ambietypen (alleen de graslanden) rondom de Zijdebrug.

Het ambitietype voor zowel de noordelijke als zuidelijk kadeteen ten westen van de Zijdebrug (tot aan Kinderdijk) is kruiden- en faunarijk grasland (N12.02). Ten oosten gaat het voornamelijk om nat schraalland (M10.01) en op een enkele plek om vochtig hooiland (N10.02). Voor de uitsteken en overige polderdelen bestaan de ambitietypen uit nat schraalland (de SBB-eigendommen rondom de Zijdebrug), vochtig hooiland en vochtig weidevogelgrasland (N13.01, Donkse Laagten). Kruiden- en faunarijk grasland en vochtig weidevogelgrasland zijn niet grondwaterafhankelijk. Voor vochtig weidevogelgrasland geldt wel dat hoge grondwaterstanden (tot op maaiveld) met name in de winter en het hele vroege voorjaar gewenst zijn maar dat is met polderpeilbeheer te realiseren. Dit beheertype ligt niet als ambitie op de kadeteen. Voor kruiden- en faunarijk grasland geldt die voorwaarde niet.

De voorgenomen peilverandering kan alleen ecologische effecten hebben op de beheer- en ambitietypen nat schraalland en vochtig hooiland.

3. Wat vooraf ging en de onderzoeksvragen

3.1. Eerdere studies en inzichten

In 2019 is een eerste inschatting gemaakt van de mogelijke effecten van de peilwijziging. Hierbij zien veranderingen in het grondwaterregime berekend met behulp van een grondwatermodel (Van Doorn, 2019). De resultaten van de dwarsprofielberekeningen wijzen uit dat de effecten (> 5 cm) zich beperken tot de boezemkade zelf. De berekende effecten op de grondwaterstand bedragen bij de insteek van het Achterwaterschap 15 cm en deze nemen af richting de teensloot naar 2 tot 6 cm. Er worden geen effecten (> 5 cm) berekend op de grondwaterstand achter de teensloot (dus in de uitstekken). Fluxveranderingen van de sloten beperken zich tot de teensloot naast het Achterwaterschap. Alleen als de deklaag dunner is dan 7 m of lokaal ondiep een zandbaan voorkomt, wordt een effect van de peilverlaging van 1 tot 2 cm op de grondwaterstand en/of de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket berekend.

Vervolgens is met een expert-beoordeling van de mogelijk effecten van de voorgenomen peilverlaging op de ecologie, in het bijzonder op de vegetatie (Van de Haterd & Jalink, 2020). Hierbij is geconcludeerd dat zich in de kadeteen verspreid langs het hele Achterwaterschap vegetaties bevinden die gevoelig kunnen zijn voor een lagere grondwaterstand of afname van kwel. Het gaat primair (inderdaad) om blauwgrasland en dotterbloemhooiland. Blauwgrasland is uitsluitend waargenomen ter hoogte van de Donkse Laagten en in een kort traject ten oosten van het Natura 2000-gebied Kinderdijk. Dotterbloemhooilandvegetatie komt voor langs het hele traject. Het waterschap heeft een inschatting gemaakt van het areaal 'vlakke kadeteen', met een helling van 0 tot 5° en een breedte van minstens 5 meter. Dit areaal bedraagt 2,81 ha en is het potentiële areaal grondwaterafhankelijke vegetaties in de kadeteen. Door de peilverlaging daalt de grondwaterstand in de kade en neemt de kwelflux af. Uit (stationaire) modelberekeningen blijkt dat de dijsloot alle kwel afvangt en dat de kwelflux naar deze sloot met ongeveer 20 % af zal nemen (Wachtendonk & Krikken 2018; Van Doorn 2019). Dit inzicht (gebaseerd op bodemprofielen) was echter niet gekoppeld aan locaties waar de bijzondere vegetaties voorkomen. De inschatting van Van de Haterd en Jalink (2020) op grond van de profielen die er wel zijn is echter dat de afname van kwelflux zeker zo groot zal zijn als de afname naar de dijsloot (20 %) en dat de grondwaterstandsval 2 - 10 cm zal bedragen. Het is echter ook mogelijk dat de kwel momenteel uittreedt in de knik naar de dijkteen, dan kan de grondwaterstandsval nagenoeg nihil zijn. Van de Haterd en Jalink (2020) concluderen dat er wel een achteruitgang in kwaliteit van de bijzondere vegetaties in de kadeteen verwacht mag worden. Hoe groot deze is en of dit ook kan leiden tot het verdwijnen van de blauwgrasland- en/of dotterbloemhooilandvegetaties uit de kadeteen is op basis van de hydrologische gegevens niet te zeggen, zo stellen zij. De uitgevoerde berekeningen door Van Doorn (2019) geven aan dat de hydrologische effecten niet verder reiken dan de teensloot. Inmiddels is gebleken dat de teensloot op een enkele plek gedempt is, waardoor de invloed van de boezem daar zeker verder reikt en is tevens is de vraag gerezen of de berekeningen met een stationair model wel voldoende representatief zijn voor de zomersituatie, waarbij de sloten infiltreren in plaats van draineren en de invloed van boezemkwel mogelijk ook in de percelen komt. Op grond hiervan kunnen effecten op de kwelflux en daarmee op de vegetaties achter de teensloot (dus in de uitstekken) niet worden uitgesloten (Van de Haterd & Jalink, 2020).

De voorgenomen peilverlaging in de boezem kan derhalve effect hebben op het grondwatersysteem en de kwelstromen. Er is daarom behoefte aan een beoordeling van de ecologische effecten van de peilverlaging in het Achterwaterschap op de beheer- en ambitietypen nat schraalland en vochtig hooiland in de kadeteen en de uitstekken. Hierin voorziet de voorliggende ecohydrologische studie.

3.2. Onderzoeksvragen

Uit de eerdere hydrologische studies blijkt dat de hydrologische effecten zich beperken tot de boezemkade zelf en de teensloot langs het Achterwaterschap (Van Doorn, 2019). Er worden geen noemenswaardige effecten verwacht op de grondwaterstand in de percelen voorbij de teensloot. De effecten zouden zich daarmee beperken tot de boezemlandjes in het Achterwaterschap zelf, de grondwaterstand en kwelflux in de kadeteen langs het Achterwaterschap en de kwelflux in de percelen achter de teensloot (uitstekken). Effecten op de boezemlandjes vallen buiten de scope van deze ecohydrologische studie (maar zie Van de Haterd en Jalink, 2020).

Uitgangspunt is dat de condities in de kadeteen als gevolg van de voorgenomen peilverlaging niet zodanig mogen veranderen dat zich hier geen nat schraalland en/ of vochtig hooiland kan handhaven c.q. kan ontwikkelen. Die condities moeten breder gezien worden dan alleen – bijvoorbeeld – de grondwaterstand. Waar deze buiten het optimale bereik zou zakken maar nog wel binnen het suboptimale bereik valt, zouden genoemde vegetaties zich kunnen handhaven c.q. vestigen mits andere voorwaardelijke condities op orde zijn. De impliciete aanname is hier dat als ambitietype voor de hele kadeteen voornoemde vegetaties gelden. Het Natuurbeheerplan (2020) zegt iets anders maar door deze aanname is het mogelijk om de potentie maar ook de eventuele effecten optimaal in beeld te krijgen. Voor de uitstekken gelden deze vegetaties wel over het geheel als beheer- c.q. ambitietype.

Gelet op het voorafgaande kunnen de volgende onderzoeksvragen worden geformuleerd:

1. Komen er in de huidige situatie vegetaties in de kadeteen en uitstekken voor die vegetatiekundig overeenkomen over grote gelijkenis vertonen met nat schraalland en vochtig hooiland?
2. In welke mate is er in de huidige situatie in de kadeteen (het vlakke deel tussen het kadetalud en de teensloot) sprake van preferente grondwaterstanden voor nat schraalland en vochtig hooiland en in hoeverre veranderd als gevolg van de voorgenomen peilverlaging? Met andere woorden ook: wordt de grondwaterstand (mede) bepaald door het peil in de boezem?
3. Wijst de grondwaterkwaliteit in de kadeteen op kwel vanuit de boezem? En komt deze kwaliteit tegemoet aan de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland?
4. Wat zijn de bodemchemische condities in de kadeteen? En komen deze condities overeen met de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland? Wat zijn de te verwachten effecten van de voorgenomen peilverlaging?
5. Wijst de grondwaterkwaliteit in de uitstekken op kwel vanuit de boezem? En komt deze kwaliteit tegemoet aan de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland? Wat zijn de te verwachten effecten van de voorgenomen peilverlaging?
6. Wat zijn de bodemchemische condities in de uitstekken? En komen deze condities overeen met de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland? Wat zijn de te verwachten effecten van de voorgenomen peilverlaging?

4. Ecohydrologische studie

De voorliggende studie heeft als insteek om na te gaan in welke mate standplaatsen van de beheertypen vochtig hooiland en nat schraalland binnen de kadeteen en de uitstrekken langs het Achterwaterschap in de huidige situatie voorkomen en hoe deze veranderen als gevolg van de voorgenomen peilverlaging. Ondanks dat de ambitiekaart (Natuurbeheerplan 2020) voor de kadeteen ten westen van de Zijdebrug, op een kort stukje na, het niet grondwaterafhankelijke kruiden- en faunarijk als ambitietype heeft, wordt toch ook hier gekeken naar wat een en ander betekent voor voornoemde beheertypen. Dat hier goede reden voor is, blijkt ook uit figuur 6 (uit Van de Haterd en Jalink, 2020). In de figuur zijn de (meer of minder historische) vegetatieopnames in de kadeteen weergegeven die kwalificeren voor grondwaterafhankelijke vegetaties. Je zou kunnen stellen dat hier een hoger ambitietype gerechtvaardigd is.



Figuur 6. Meer of minder historische vegetatieopnames in de kadeteen weergegeven die kwalificeren voor grondwaterafhankelijke vegetaties (uit Van de Haterd en Jalink, 2020). Paars omlijnt de kerngebieden met bijzondere vegetaties.

De ecohydrologische studie kent een drietal sporen:

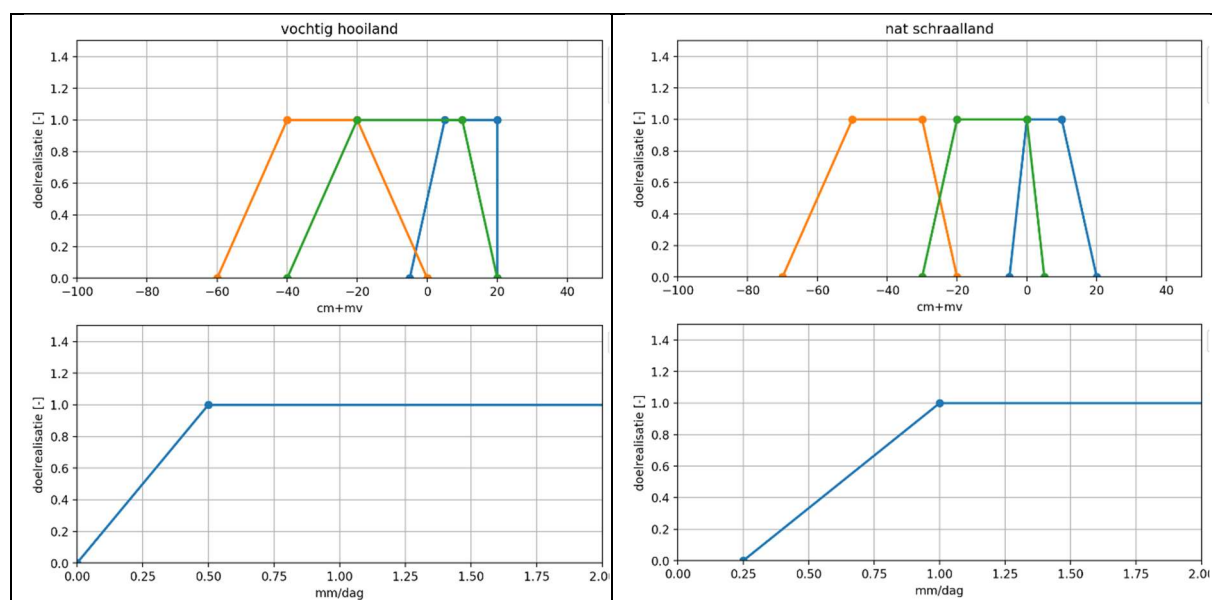
1. geohydrologisch onderzoek;
2. bodemchemisch en grondwaterkwaliteitsonderzoek;
3. vegetatiekundig onderzoek.

Het geohydrologische onderzoek is uitgevoerd in een aantal deelgebieden langs de gehele kadeteen en de twee overige sporen op een twaalfstal representatieve punten verdeeld over de kadeteen (7) en de uitstrekken (5), daar waar in het verleden tot recent nat schraalland of vochtig hooiland voorkwam c.q. voorkomt en die ook liggen binnen de zone's waarvan Van de Haterd en Jalink (2020) hebben vastgesteld dat deze vegetaties hier in potentie voor kunnen komen. Bevindingen hier worden geacht te gelden voor de hele kadeteen dan wel alle uitstrekken voor zover hier deze vegetaties voorkomen. Wat bedoeld wordt met termen als kadeteen, teensloot en uitstek is terug te vinden in de dwarsdoorsnede van de kade in bijlage 5.

Ad. 1. Geohydrologisch onderzoek. Middels een geohydrologische studie is nagegaan in hoeverre in de huidige situatie (dus bij een boezempeil van NAP -0,75 m) de grondwaterstanden in de kadeteen in de meest relevante perioden (voorjaar en zomer) overeenkomen met de preferente grondwaterstanden van vochtig hooiland en nat schraalland. Idem is dit gedaan voor de situatie waarin het peil verlaagd wordt naar NAP 0,90 m. Dit is (voor beide peilen) gedaan voor verschillende deelgebieden waar de kadeteen een helling van 0 tot 5° en een breedte van minstens 5 meter heeft (feitelijk betreft het dus trajecten). Dit zijn immers de delen waarvoor eerder onderkend is dat dit samen het potentiële areaal beslaat waar grondwaterafhankelijke vegetaties kunnen voorkomen. Deze deelgebieden c.q. trajecten – in totaal gaat het om een negental - zijn opgenomen in bijlage 3. Het is van belang te beseffen dat in de huidige situatie genoemde vegetaties niet overal op de kadeteen voorkomen noch binnen deze deelgebieden (Van de Haterd & Jalink, 2020). Het gaat om het potentieel areaal dat binnen voorliggende studie nader wordt geduid. De studie is uitgevoerd middels een eenvoudig hydrologisch model waarbij gebruik is gemaakt van grondwaterstandsmetingen in bestaande peilbuizen. Om het model te kalibreren naar de situatie in de kadeteen (aldaar geen peilbuizen aanwezig) is

op een zestal locaties in april 2020 de grondwaterstand bepaald (bijlage 1). Hiertoe is op deze locaties in het midden van de kadeteen en een meter vanuit de teensloot een grondwaterbuis geplaatst (8 april) waarin – na stabilisatie van het grondwater – op 10 april de grondwaterstand is bepaald (bijlage 2). De locaties zijn gekozen op basis de van de ingeschatte potentie voor nat schraalland (s.s. blauwgrasland) (Van de Haterd, & Jalink, 2020). Eind mei is dit herhaald en is het meetnet uitgebreid met nog eens zes locaties waarbij ook peilbuizen in enkele uitsteken zijn geplaatst (bijlage 1 en 2).

De preferente grondwaterstanden – zijnde de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand en de gemiddeld laagste en hoogste grondwaterstand (GVG, GLG en GHG en eisen aan kwel) - voor vochtig hooiland en na schraalland zijn gedefinieerd op basis van literatuurgegevens en aangescherpt op basis van gebiedskennis. Hierbij zijn steeds drie intervallen gedefinieerd (figuur 7): optimaal bereik (doelbereik = 1; zie y-as figuur 7), buiten bereik (doelbereik = 0; zie y-as figuur 7) en suboptimaal bereik (doelbereik tussen 1 en 0; zie y-as figuur 6). Om het verschil tussen te droog of te nat (voor suboptimaal en onbereikbaar) aan te geven, worden er vijf categorieën gebruikt: Onbereikbaar (droog), suboptimaal (droog), optimaal, suboptimaal (nat) en onbereikbaar (nat). De categorieën zijn gebruikt om een verschilkaart te maken, waarbij de kaart met geschiktheid van de ondergrond bij een peil van NAP -0,90 m van de geschiktheidskaart bij een peil van NAP -0,75 m af werd gehaald. Om duidelijk te maken wat de verschillen zijn tussen de verschillende peilen, zijn de oppervlaktes per classificatie per peil gemaakt. Het hydrologische model is toegelicht in bijlage 5.



Figuur 7. Preferente grondwaterstanden en kweleis vochtig hooiland (links) en nat schraalland (rechts). Bovenste figuur: groen=gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand; oranje=gemiddeld laagste grondwaterstand; blauw=gemiddeld hoogste grondwaterstand. Onderste figuur: blauwe lijn=kweleis.

Ad. 2. Bodemchemisch en grondwaterkwaliteitsonderzoek. Op 25 mei 2020 is er op de twaalfstal locaties waar een peilbuis was geplaatst om de grondwaterstand in het midden van de kadeteen en in enkele uitsteken te meten (bijlage 1, tweede figuur) een grondwatermonster genomen (na het bepalen van de grondwaterstand). Daarnaast is ter hoogte van locatie 2, 5 en 8 een watermonster genomen in de boezem en de teensloot om zo een eventuele gelijkenis van het grondwater hiermee te kunnen duiden. De watermonsters zijn anaeroob en gekoeld vervoerd en bewaard. Ter plaatse van deze twaalf locaties is met een bodemguts een bodemonmonster genomen van de bodemlaag net onder de vegetatie/ humuslaag over een diepte van 0 – 15 cm. Daarnaast is hier over een diepte van 5 cm een bodemonmonster genomen met een bodemring met vast volume (100 ml) om verkregen analysedata – die in mg of mmol/ kg bodem wordt gerapporteerd – om te kunnen rekenen naar mg of mmol/ L bodem. Dit omdat een vegetatie in een vast volume wortelt. Daarmee wordt het vergelijken met analysedata uit referentiedatasets mogelijk. De bodemonsters zijn anaeroob en gekoeld vervoerd en bewaard. De water- en bodemonsters zijn op 28 mei 2020 aangeboden bij Bright Labs (Venlo) ter analyse.

Van de watermonsters zijn pH, EGV en opgeloste macro-ionen en nutriënten gemeten. Aan het vastvolume bodemonmonster werd het vers- en drooggewicht bepaald. Aan de bodem werden voorts de volgende analyses uitgevoerd:

- Organisch stofpercentage;
- Destructie voor totalen aan ionen;
- Zoutextractie voor de zout-beschikbare fractie;
- Olsen-P als maat voor plantbeschikbaar fosfaat;
- Water-en een strontiumextractie voor de uitwisselbare kation capaciteit (CEC) en de basenverzadiging.

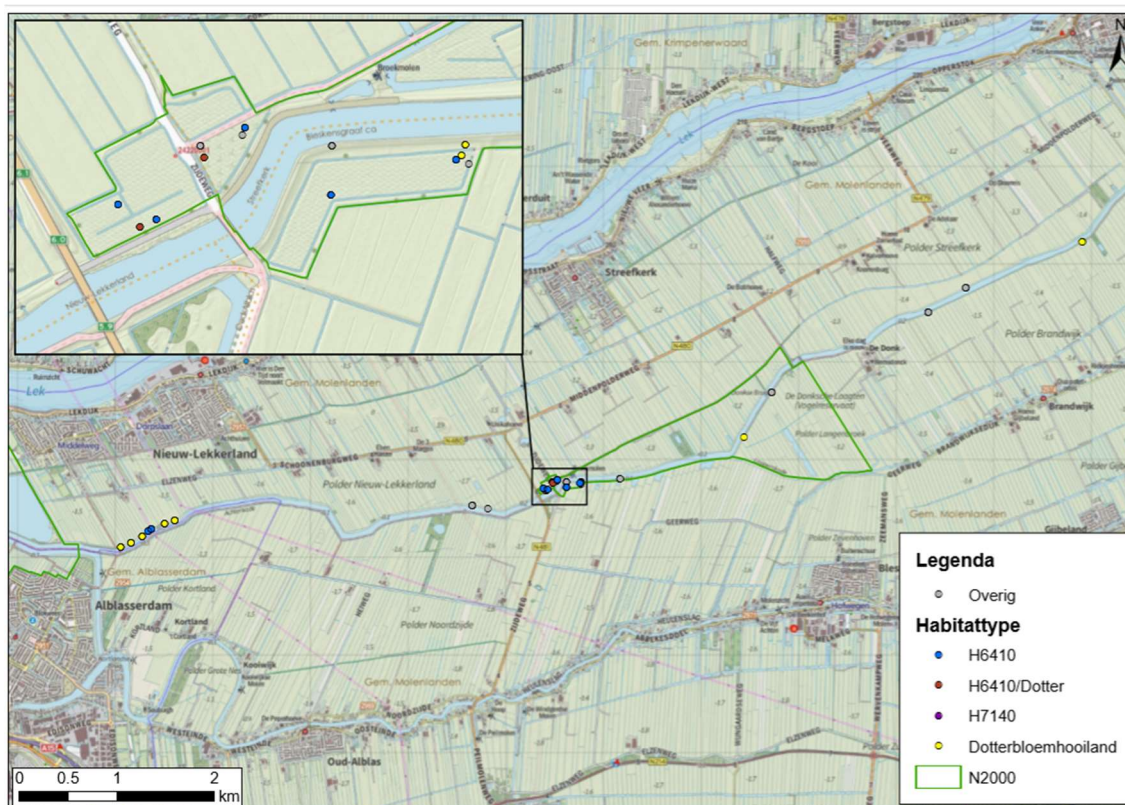
In bijlage 4 zijn de gebruikte analysemethoden opgenomen.

Ad.3 . Vegetatiekundig onderzoek. Op 21 en 22 mei is er op elk van de 12 locaties (bijlage 1) een vegetatieopname gemaakt conform de uitgebreide Braun Blanquet-schaal. Het opname-oppervlak bedroeg 1,5 m x 1,5 m. Mossen zijn hierbij niet meegenomen. Vervolgens zijn de opname doorvertaald naar een plantengemeenschap conform de Vegetatie van Nederland waarbij er vooral op gelet is of de opname (enigszins) kwalificeerde voor een vochtig hooiland (bij benadering: r16Ab3 – Associatie van boterbloemen en watekruiskruid) of voor een nat schraalland (bij benadering r16Aa1 – Blauwgrasland) en er geen uitgebreide plantensociologische studie is uitgevoerd, welke ongetwijfeld zou leiden tot het onderscheiden van enkele rompgemeenschappen binnen de Klasse van de matig voedselrijke graslanden (dus niet precies samenvallen met voornoemde associaties).

5. Resultaten

5.1. Vegetatie

Figuur 5 toonde al dat nat schraalland- en vochtig hooilandvegetaties in de kadeteen zich min of meer beperken tot het uiterste westen – dus tegen Boezems Kinderdijk aan – het gebied rondom de Zijdebrug en de Donkse Laagten. Idem geldt dit voor de uitsteken, indien aanwezig. In die figuur zitten nog veel vegetatieopnamen uit het provinciale meetnet die al tientallen jaren oud zijn. Kijken we naar een meer recente periode van opnamen uit het provinciale meetnet (2008-2018) dan zien we nog steeds dit beeld maar tevens dat het aantal locaties nat schraalland of vochtig hooiland wat lijkt te zijn afgenomen, met name ten oosten van de knik die het Achterwaterschap maakt in het Natura 2000-gebied Donkse Laagten (figuur 8, vergelijk ook met figuur 6). Tijdens een eerst oriënterend veldbezoek begin april 2020 leken de vegetaties (die toen nog volop in ontwikkeling waren) hier ook minder uitgesproken te wijzen op een ontwikkeling in de richting van nat schraalland of vochtig hooiland (waar deze laatste hier voor 2008 op meerdere locaties nog werd aangetroffen). Dit in tegenstelling tot het deel geheel in het westen, rondom de Zijdebrug en het westelijke deel van de Donkse Laagten. Dit is ook de reden dat de twaalf locaties voor het onderzoek aan vegetatie en grondwater- en bodemchemie in die drie delen zijn geconcentreerd. Deze twaalf locaties liggen alle waar de kadeteen een helling van 0 tot 5° heeft en een breedte van minstens 5 m.



Figuur 8. Locaties provinciaal meetnet met opnamen tussen 2008 en 2018 (H6410 = N10.01 = nat schraalland; H7140 = trilveen, dotterbloemhooiland = N10.02).

In het kader van voorliggend onderzoek zijn op twaalf locaties vegetatieopnamen gemaakt (tabel 1). Zonder de opnamen helemaal uit te sleutelen tot een plantengemeenschap conform Vegetatie van Nederland is het duidelijk dat op alle locaties een (zeer) soortenrijke vegetatie aanwezig is met veelal bijzondere soorten, die in de sfeer liggen van nat schraalland (blauw in de tabel, accent in de uitsteken) of vochtig hooiland (groen in de tabel, accent in de kadeteen) waarbij locatie 10 en 12 min of meer een overgangsvorm tussen beide laten zien. De opnamen delen veel soorten van de pijpenstrootje orde binnen de Klasse der matig voedselrijke graslanden waar beide voornoemde beheertypen toe behoren. De opnamen in de sfeer van vochtig hooiland worden onder andere gekenmerkt door boterbloemen, smalle weegbree, echte koekoeksbloem, biezenknoppen en echte dotterbloem. De soorten wijzen op natte tot vochtige, basenrijke, matig voedselrijke bodemcondities. De locaties liggen in de kadeteen bij de Zijdebrug en de Donkse Laagten en in de uitsteken

bij de Donkse Laagten. De opnamen in de sfeer van nat schraalland worden onder andere gekenmerkt door geelgroene zegge, sterzegge, veenpluis, tandjesgras, pijpenstrootje en spaanse ruiter. De soorten duiden op vochtige, (matig) basenrijke, matig voedselrijke tot voedselarme bodemcondities. De nat schraalland-locaties liggen in de kadeteen in het westen en in de uitstekken rond de Zijdebrug.

Tabel 1. Vegetatieopnamen op de twaalf onderzoekslocaties (kadeteen en uitstekken). Zie voor de ligging bijlage 1. In groen (r16Ab3) betreffen opnamen die duidelijk in de sfeer van vochtig hooiland (N10.02) liggen; in blauw (r16Aa1) in de sfeer van nat schraalland (N10.01).

	Monsterpunt	3 kadeteen	4 kadeteen	5 kadeteen	6 kadeteen	10 uitstek	12 uitstek	1 kadeteen	2 kadeteen	11 kadeteen	7 uitstek	8 uitstek	9 uitstek
	opnamevlak	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m	1,5m x 1,5m
	bedekking kruidlaag (%)	98	100	100	95	98	100	100	95	100	95	100	100
	bdekking moslaag (%)	15	20	5	5	10	20	5	15	10	10	10	15
	Opnamedatum	20200521	20200521	20200521	20200521	20200522	20200522	20200521	20200521	20200522	20200522	20200522	20200522
Carex panicea	Blauwe zegge	1	2a	2a	1	3	1	3	2m	2a	2a	3	3
Agrostis canina	Moerasstruisgras	2a	1	2a		2m	2b	2a	3	2m	2m		1
Carex disticha	Tweerijge zegge	+	2a	2m		1	2m	2m	1	2m			2a
Carex acuta	Scherpe zegge	1	2b			1	2b		2b		+	+	2a
Anthoxanthum odoratum	Gewoon reukgras	2a	3	2m	2a	2a	2b	2m	2m	2a	2m	+	+
Holcus lanatus	Gestreepte witbol	+	2b	2m	1	2a	2a	1	+	2m	+		+
Cardamine pratensis	Pinksterbloem	+		2m	r	1	+	1	+	r	+	+	+
Hydrocotyle vulgaris	Waternavel	2a		2m					2m	2b	2m	2b	1
Ranunculus acris	Scherpe boterbloem	+	2a	1	+	2a		+	+	1			
Juncus conglomeratus	Biezeknoppen	2m	2b	r	+	2a	+	+		1		1	+
Plantago lanceolata	Smalle weegbree	2a	2a	2a	+	2a		2m	1			r	+
Lychnis flos-cuculi	Echte koekoeksbloem	2m	2a	1	1	2a	1	2m	1			r	
Centaurea jacea	Knoopkruid	+	2a	1		1	1	2a	2m			r	
Poa trivialis	Ruw beemdgras	2m		2b	3		2a				+		
Ranunculus repens	Kruipende boterbloem			+	+		2b	+		1			
Senecio aquaticus	Waterkruiskruid		+	+	+			+	r				
Rumex acetosa	Veldzuring	+		1	+		1	+	+	1	r		
Agrostis stolonifera	Fioringras	1	1	1		2b		+	+				
Festuca rubra	Rood zwenkgras	2a		2b	+		1	1	1				
Alopecurus pratensis	Grote vossestaart	1		+	3		1						
Lotus uliginosus	Moerasrolklaver	+		r		2a		+	r				
Caltha palustris	Gewone dotterbloem	1	1		r	2a	2a	1	1	1			
Carex demissa	Geelgroene zegge				1	2a	1	1	2m	2m		+	r
Eriophorum angustifolium	Veenpluis	1						+	1		2m	2a	1
Carex echinata	Sterzegge							1	1	r	2a	1	2b
Cirsium dissectum	Spaanse ruiter							2m	2a	+	2a	2a	+
Danthonia decumbens	Tandjesgras	1						1	2a		2a	2m	1
Ranunculus flammula	Egelboterbloem	+				1	2a	+	+	1	1	+	+
Carex nigra	Zwarte zegge		2a			1	1		1	2m	+	2b	
Molinia caerulea	Pijpestrootje	3						2a	2b	2m	2a	2a	1
Drosera rotundifolia	Ronde zonnedauw									1	+	+	+
Potentilla erecta	Tormentil							1			2a	r	+
Viola palustris	Moerasviooltje							r	+	+	2m	+	+
Menyanthes trifoliata	Waterdrieblad					1		+	r		+	2b	1
Potentilla palustris	Wateraardbei		+	+					+		+	+	2a
Bellis perennis	Madeliefje	r	1	r				+					
Bromus hordeaceus	Zachte dravik			r	2a								
Carex hirta	Ruige zegge		2a			1				1	1		
Carex rostrata	Snavelzegge									1	1		+
Cerastium fontanum	Gewone hoornbloem			2m	1			r					
Cirsium palustre	Kale jonker	+	1				+			+	+		+
Agrostis capillaris	Gewoon struisgras	2b						+	2m	3			+
Dactylorhiza majalis subsp. majalis	Brede orchis		r	r									
Deschampsia cespitosa	Ruwe smeie						+			2a			
Eleocharis palustris	Gewone waterbies							2m					
Equisetum fluviatile	Holpijp					2a				+	1		
Equisetum palustre	Lidrus							1					
Filipendula ulmaria	Moeraspirea		2a					r					
Galium mollugo	Glad walstro	2m		+	2b					+			
Galium palustre	Moeraswalstro			+							+		
Glechoma hederacea	Hondsdrif	+		+	+								
Iris pseudacorus	Gele lis	r		+				+					
Juncus articulatus	Zomprus						+	1		1			
Juncus effusus	Pitrus	+		1				2m	1				
Juncus subnodulosus	Padderus							1					
Leontodon saxatilis	Kleine leeuwetand	+		+				+					
Lysimachia vulgaris	Grote wederik	+							r		+	1	
Lythrum salicaria	Grote kattenstaart	+						r					r
Mentha aquatica	Watermunt	r	2a			1		+		r			
Pedicularis palustris	Moerskartelblad										r		
Peucedanum palustre	Melkeppe										+	+	
Phragmites australis	Riet			+				+			2b	1	+
Polygonum amphibium	Veenwortel	+			+			+		+			
Potentilla anglica	Kruipganzerik	1						r	+	r			
Prunella vulgaris	Gewone brunel	+		2a				1		+			
Trifolium pratense	Rode klaver			+		2a	+						
Trifolium repens	Witte klaver			+			+	+		r			
Valeriana dioica	Kleine valeriana							r					
plantengemeenschap conform Vegetatie van Nederland		r16Ab3	r16Ab3	r16Ab3	r16Ab3	r16Ab3	r16Ab3	r16Aa1	r16Aa1	r16Aa1	r16Aa1	r16Aa1	r16Aa1

In een van zijn mooiste vormen komt vochtig hooiland voor als Associatie van Boterbloemen en Waterkruiskruid. De kensoort van deze associatie – waterkruiskruid – komt voor op locatie 4, 5 en 6 (en 1 en 2 maar daar maken andere soorten dat die opnamen niet tot deze associatie worden gerekend). Een van de mooiste vormen van nat schraalland betreft de Associatie Blauwgrasland. De kensoort van deze associatie – spaanse ruiter – komt voor op alle locaties die zich kenmerken als dit beheertype. Voorts komen op alle locaties veel kensoorten voor van het Verbond van Biezenknoppen en Pijpenstrootje waar beide voornoemde associaties toe behoren. Dat in de kadeteen deze veelal goed ontwikkelde vegetaties voorkomen, is op zich

bijzonder omdat deze op zich vrij toegankelijk is. Blijkbaar prefereren de meeste wandelaars om toch bovenop de kade te blijven waardoor er geen looppadjes ontstaan waardoor mogelijk bijzondere soorten verdwijnen.

Op basis van de provinciale opnamen en de opnamen die in dit onderzoek zijn gemaakt kan gesteld worden dat de noordelijke kadeteen aan de westzijde en de noordelijke en zuidelijke kadeteen rondom Zijdebrug en Donkse Laagten goed ontwikkeld zijn en kwalificeren voor hoge ambitietypen uit het Natuurbeheerplan (nat schraalland en vochtig hooiland). Idem geldt voor de uitstekken rondom Zijdebrug en Donkse Laagten.

5.2. Bodemchemisch en grondwaterkwaliteitsonderzoek

5.2.1. Bodemchemisch onderzoek

In tabel 2 staan de belangrijkste resultaten van de analyse van de bodems op de twaalf locaties. Waar een waarde overeenkomt met een referentiewaarden voor nat schraalland is deze blauw gemarkeerd, en waar deze overeenkomt met die voor vochtig hooiland is deze groen gemarkeerd (zie voorts de tabeltekst).

Wat natuurlijk direct opvalt is dat de gevonden waarden voor de verschillende relevante bodemchemische parameters op de verschillende locaties grotendeels passen binnen de referentiewaarden voor nat schraalland e/ of vochtig hooiland. Deze beheertypen zijn niet alleen in een relatief uitgesproken vorm vegetatiekundig aanwezig op de twaalf onderzochte locaties, maar ook de standplaats is in de huidige situatie vooralsnog op orde c.q. hierbij passend (Maar zie aan het eind de opmerking over basenrijkdom). Dit betekent dat er geen sprake is van een najleffect van de vegetatie daar waar de standplaats al van mindere of ontoereikende kwaliteit zou zijn.

Tabel 2. Resultaten bodemchemisch onderzoek (monsters genomen op 25 mei 2020). Blauw=waarde komt overeen met referentiewaarde voor nat schraalland, groen=waarde komt overeen met referentiewaarde voor vochtig hooiland, geel=idem maar dan suboptimaal bereik. Organische stof, totaal-aluminium en CEC (kation-uitwisselingscapaciteit) niet nader toebedeeld. n.b.=niet bepaald.

locatienr	organisch stof (%)	pH(NaCl)	Olsen-P FW (µmol/L)	totaal-aluminium (mmol/L)	totaal-calcium (mmol/L)	totaal-ijzer (mmol/L)	totaal-fosfor (mmol/L)	S/(Ca+Mg)	Ca+Fe/P	zoutextr-calcium (µmol/L)	zoutextr-fosfaat (µmol/L)	zoutextr-nitraat (µmol/L)	zoutextr-ammonium (µmol/L)	basen-verzadiging (%)	CEC (µmol/g)
1 kadeteen	39	4,8	137	641	72	203	11,5	0,24	23,9	20376	2,3	839,8	57,2	n.b.	n.b.
2 kadeteen	72	5,6	466	99	100	51	7,3	0,32	20,7	17974	4,0	568,7	62,0	99,9	578,8
3 kadeteen	48	4,8	106	488	54	98	11,4	0,31	13,3	19939	11,2	229,9	364,6	97,2	405,3
4 kadeteen	49	5,7	882	455	104	131	13,3	0,23	17,6	31571	2,4	91,3	< 5	100,0	575,8
5 kadeteen	71	5,8	727	105	89	55	8,3	0,31	17,4	19042	4,2	536,1	251,7	100,0	568,6
6 kadeteen	69	5,0	342	237	90	111	14,9	0,37	13,6	18652	3,7	332,9	355,0	91,5	334,0
11 kadeteen	55	6,0	249	762	237	221	24,1	0,29	19,0	51522	13,6	203,8	847,2	n.b.	n.b.
7 uitstek	87	5,3	604	16	24	15	3,3	0,29	11,8	14005	10,5	< 1	371,3	n.b.	n.b.
8 uitstek	71	4,0	213	216	32	76	9,0	0,36	12,0	7135	10,3	< 1	232,5	99,7	445,0
9 uitstek	58	4,4	256	195	34	63	6,3	0,26	15,4	10481	8,3	94,7	342,3	n.b.	n.b.
10 uitstek	51	4,6	204	520	46	140	15,8	0,35	11,8	14600	28,3	7,8	297,5	98,9	439,5
12 uitstek	65	4,2	534	177	14	69	9,7	0,32	8,6	7868	2,5	133,9	113,9	81,0	349,2
gemiddelde kadeteen	58	5,4	416	398	107	124	13,0	0,3	17,9	25582	5,9	400,4	322,9	97,7	492,5
gemiddelde uitstekken	67	4,5	362	225	30	72	8,8	0,3	11,9	10818	12,0	78,8	271,5	93,2	408,2
gemiddelde overall	61	5,0	393	326	75	103	11,2	0,3	15,4	19430	8,4	303,9	299,6	95,0	460,9

Alle bodems zijn organisch tot sterk organisch (organisch stof % > 40). Samen met de relatief lage waarden voor totaal-aluminium (een maat voor het lutumgehalte) maakt dat we te maken hebben met een veenbodem in de uitstekken (logisch want daar is in het verleden de klei afgegraven om de kade mee aan te leggen) en in de kadeteen met een veenbodem met hier wat klei doorheen gemengd (hier hogere waarden voor totaal-aluminium en totaal-ijzer en een wat lager organisch stof %). Dat we te maken hebben met veenbodems blijkt ook uit het vochtpercentage van de bodem. Dit bedraagt minimaal 60 % (ondanks de bemonstering na een erg droge periode).

Met uitzondering van locatie 4 (kadeteen) is de fosfaat-beschikbaarheid op alle locaties (relatief) laag (Olsen- < 800 µmol/ L bodem en totaal-fosfor < 15 mmol/ L bodem). Alleen op locatie 11 (kadeteen) is totaal-P sterk verhoogd. Opvallend is dat vrijwel alle bodems (met name die in de kadeteen) relatief rijk zijn aan plantbeschikbaar stikstof (zout-extraheerbaar nitraat + ammonium), al vallen de waarden nog binnen de referentiewaarden. Het is waarschijnlijk dat dit wordt veroorzaakt door mineralisatie van organisch stof gedurende de droge periode waarin de bodemmonsters zijn genomen. Hierbij wordt ammonium vrijgemaakt dat vervolgens wordt omgezet naar nitraat (nitrificatie). Een aanwijzing voor dit fenomeen blijkt uit de relatief lage zout-extraheerbare hoeveelheid nitraat op de locaties in de uitstekken waar de condities natter waren

ten tijde van de bemonstering. De gemiddelde grondwaterstand bedroeg in de uitstekken 20,2 cm beneden maaiveld en die in de kadeteen 36,4 cm beneden maaiveld (tabel 3; ook zonder de afwijkende locatie 7 is de grondwaterstand in de uitstekken 25 cm beneden maaiveld en daarmee ook dan hoger dan die in de kadeteen). De nattere condities belemmeren de nitrificatie. De zout-extraheerbare hoeveelheid fosfaat in de toplaag van de bodem is overwegend relatief laag ($< 5 \mu\text{mol/L}$) tot matig verhoogd ($5\text{--}10 \mu\text{mol/L}$) en daarmee geen primaire factor. De monsters werden echter genomen na een lange periode van droogte waardoor deze waarden minder representatief zijn (vooral indicatief onder nattere condities). De verhouding totaal-calcium plus totaal-ijzer ten opzichte van totaal-fosfor, die – met uitzondering van locatie 12 - (ruim) hoger ligt dan 10, laat zien dat de kans op mobilisatie van fosfaat nihil is. Opvallend is wel dat deze ratio duidelijk lager ligt in de uitstekken dan in de kadeteen wat toe te schrijven is aan de geringere hoeveelheid kationen in de uitstekken.

De basenverzadiging is met uitzondering van locatie 12 hoog tot zeer hoog ($> 90\%$). De bodems zijn (vooralsnog) rijk genoeg aan basische kationen om via kationenuitwisseling verzuring te neutraliseren. Wel valt het erg op dat de hoeveelheid totaal-calcium op de kadeteen-locaties veel hoger is dan die op de uitstek-locaties (wat eveneens geldt voor totaal-ijzer). Dit wijst op uitloging van de uitstekken en daarmee gepaard gaande verzuring, wat ook weerspiegeld wordt door de pH die in de bodem van de uitstekken lager is dan die in de kadeteen en lager dan de referentiewaarde voor de ambitietypen. De verhouding totaal-zwavel versus totaal-calcium en totaal-magnesium in de bodem is op alle locaties (ruim) kleiner dan 0,66 wat de kans op sterke verzuring op korte termijn niet waarschijnlijk maakt.

Tabel 3. Grondwaterstand (in cm beneden maaiveld) op de 12 locaties op 25 mei 2020.

locatienr		grw stand cm -mv	
			gem
1	kadeteen	53	
2	kadeteen	37	
3	kadeteen	29	
4	kadeteen	37	
5	kadeteen	27	
6	kadeteen	31	
11	kadeteen	41	36,4
7	uitstek	1	
8	uitstek	32	
9	uitstek	30	
10	uitstek	15	
12	uitstek	23	20,2

Verdergaande uitloging in met name de uitstekken zal op termijn de totaal-calcium plus totaal-ijzer ten opzichte van totaal-fosfor (ver) onder de 10 brengen waardoor er meer fosfaat beschikbaar zal komen bij mineralisatie (waarbij organisch materiaal wordt afgebroken). Gelet echter op de lage hoeveelheid totaal-fosfor zal dit echter niet leiden tot een wezenlijk verhoogde biomassa-productie en daarmee gepaard gaande vervuiling.

Onder anaerobe condities (zoals die ontstaan bij inundatie) kan sulfaat als elektronenacceptor fungeren voor de afbraak van organisch materiaal. Hierbij ontstaat sulfide. Sulfide bindt met het beschikbare ijzer tot ijzersulfide waardoor de concentratie gereduceerd ijzer sterk afneemt. Bij de afbraak van het organisch materiaal komt fosfaat vrij dat vervolgens, vanwege de afwezigheid van gereduceerd ijzer, mogelijk niet of slechts in geringe mate wordt geïmmobiliseerd door adsorptie aan ijzerhydroxiden en de vorming van ijzerfosfaten. De beschikbaarheid van fosfaat neemt op die manier toe waardoor de biomassa-productie van de vegetatie toe kan nemen en vervuiling dreigt en snel groeiende soorten kritische soorten wegconcurreren. Een tweede probleem dat vrij sulfide vormt is dat het voor veel plantensoorten toxisch is. De verhouding totaal-ijzer versus totaal-zwavel bedraagt in de bodem van de kadeteen gemiddeld echter 2,9 in de bodem van de uitstekken 4,1 hetgeen betekent dat er nog een overmaat aan ijzer is die aan sulfide kan binden maar er ook nog ijzer beschikbaar blijft om fosfaten te binden. Pas bij een verhouding van 0,5 en lager in natte bodems c.q. bodems met een hoge grondwaterstand is al het ijzer gebonden aan sulfiden. Dit probleem speelt dus niet.

5.2.2. Grondwaterkwaliteit

In tabel 4 staan de resultaten van de analyse van het grondwater op de twaalf locaties, aangevuld met de analyse van het oppervlaktewater in de teensloot en in de boezem (meerdere locaties). Van Wachtendonk en Krikken (2018) en Van Doorn (2019) stellen dat alle kwel (vanuit de boezem) wordt afgevangen door de teensloot. Dit zou inhouden dat het water in de teensloot grote gelijkenis zou moeten vertonen met de boezem ten aanzien van de meer inerte ionen. Van de Haterd & Jalink (2020) stellen dat een deel van de kwel (zeker) ook naar de kadeteen zal gaan. Vergelijken we in tabel 4 de waarden voor chloride en natrium in de boezem en in de teensloot dan zien we dat deze overeenkomen, meer dan met het grondwater in de kadeteen. Zelfs voor stoffen als sulfaat, calcium en bicarbonaat waarvan de concentraties mede afhankelijk zijn van bodemchemische processen, vertonen grote gelijkenis hetgeen erop wijst dat tijdens passage er weinig gebeurd met betrekking tot de waterkwaliteit. De gelijkenis zal ook resulteren uit het feit dat boezemwater wordt ingelaten in het slotenstelsel ten behoeve van peilhandhaving. Omdat er juist bemonsterd is na een lange droge periode maakt die behoefte groot.

Meer opmerkelijk is de gelijkenis tussen het grondwater in de uitstekken en het oppervlaktewater. Vergelijken we de waarde voor het inerte chloride dan zien we dat de waarde in het grondwater in uitstek 10 en die in de teensloot ter plaatse hetzelfde is, terwijl die voor het grondwater in kadeteen 2 en 5 duidelijk lager is dan de waarde in de teensloot ter plaatse. Dit wijst op een invloed van het boezemwater tot in het grondwater van de uitstekken. Typologisch (Stuyfzand-classificatie) lijkt het oppervlaktewater in de boezem en de teensloot meer op het grondwater in de uitstekken dan in de kadeteen. Al het water is overigens te duiden als antropogeen beïnvloed (F) al neigt het grondwater in de kadeteen (ook) naar jong grondwater (g) al duidt het calciumbicarbonaat-type er op dat het geen sterk door de landbouw beïnvloed water is.

Tabel 4. Resultaten analyse grondwater op de 12 locaties en oppervlaktewater teensloot en boezem (monsters genomen op 25 mei 2020). o.m.=onbetrouwbare meting, hardheid=Ca+Mg (mmol/L).

locatienr		pH	EGV (µS/cm)	Al (mg/L)	Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	P (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	hardheid (mmol/L)	Stuyfzand
1	kadeteen	7,06	1713	< 0,1	309,3	0,2	2,1	26,6	14,0	256,6	21,7	62,4	0,1	0,1	4,2	8,8	g ₃ CaHCO ₃
2	kadeteen	7,62	1036	< 0,1	178,8	0,3	0,9	14,2	10,5	633,8	26,1	35,6	< 0,1	0,4	7,1	5,0	g ₄ CaHCO ₃
3	kadeteen	7,67	617	0,1	103,0	0,1	0,4	6,2	7,2	308,9	23,5	38,0	< 0,1	0,2	3,4	2,8	g ₃ CaHCO ₃
4	kadeteen	7,94	963	< 0,1	169,1	< 0,1	0,5	11,1	11,8	401,9	30,2	94,3	< 0,1	0,1	2,2	4,7	F ₃ CaHCO ₃
5	kadeteen	7,93	1050	0,1	162,8	0,3	1,6	13,1	20,7	588,5	54,1	15,1	< 0,1	0,6	9,9	4,6	F ₄ CaHCO ₃
6	kadeteen	7,82	814	< 0,1	143,4	1,2	0,9	10,4	10,2	475,0	27,9	19,9	< 0,1	0,5	2,2	4,0	g ₃ CaHCO ₃
11	kadeteen	7,9	931	< 0,1	168,4	0,3	1,3	11,5	10,7	559,4	17,5	51,7	< 0,1	0,2	3,5	4,7	g ₄ CaHCO ₃
7	uitstek	7,94	848	0,1	98,4	o.m.	0,9	13,8	45,8	344,3	120,1	3,5	< 0,1	0,0	0,1	3,0	F ₃ CaHCO ₃
8	uitstek	7,92	832	0,1	72,9	0,5	3,7	15,5	70,4	243,0	119,5	24,2	< 0,1	0,1	4,9	2,5	F ₂ CaHCO ₃
9	uitstek	7,71	586	0,1	80,9	0,1	1,2	7,9	16,2	293,8	33,8	21,0	< 0,1	0,1	1,0	2,3	F ₃ CaHCO ₃
10	uitstek	7,56	427	0,2	54,3	0,3	0,4	6,0	22,2	124,5	59,4	16,0	< 0,1	0,1	0,4	1,6	F ₂ CaHCO ₃
12	uitstek	7,5	681	0,1	96,6	0,1	0,9	11,7	16,5	366,1	43,7	9,4	< 0,1	0,1	5,9	2,9	F ₃ CaHCO ₃
5	teensloot	7,92	726	< 0,1	75,4	< 0,1	3,8	12,7	42,7	211,4	97,4	68,1	< 0,1	0,2	0,0	2,4	F ₂ CaHCO ₃
10	teensloot	8,48	603	0,1	70,4	0,3	2,2	12,3	31,6	185,1	61,5	74,0	< 0,1	0,0	0,1	2,3	F ₂ CaHCO ₃
2	teensloot	8,61	720	0,1	79,1	0,3	6,4	14,6	42,4	249,2	86,7	53,8	< 0,1	0,1	0,1	2,6	F ₃ CaHCO ₃
8	boezem	8,33	672	< 0,1	67,8	< 0,1	3,6	11,7	36,7	190,9	88,5	67,1	4,2	0,2	0,1	2,2	F ₂ CaHCO ₃
2	boezem	8,33	633	< 0,1	64,3	< 0,1	3,4	11,5	33,9	175,2	82,3	64,6	4,0	0,2	0,1	2,1	F ₂ CaHCO ₃
gemiddelde	kadeteen	7,71	1018	0,1	176,4	0,4	1,1	13,3	12,2	460,6	28,7	45,3		0,3	4,6	4,9	gF ₃ /4CaHCO ₃
gemiddelde	uitstekken	7,73	675	0,1	80,6	0,2	1,4	11,0	34,2	274,3	75,3	14,8		0,1	2,5	2,5	F ₂ /3CaHCO ₃

Het grondwater in de kadeteen is harder (gem. 4,9 mmol/L) dan dat in de uitstekken (gem. 2,5 mmol/L), de teensloot en de boezem. Hardheden oplopend tot meer dan 3 mmol/L wijzen op oplossing van kalk (CaCO₃) onder invloed van een verhoogde zuurbeschikbaarheid waardoor er calcium en magnesium in oplossing gaat. De kalkrijkdom van de ondiepe ondergrond voorkomt in dit geval een daling van de pH. Die zuurbeschikbaarheid neemt in droge periode toe als gevolg van oxidatieprocessen in de bodem, met name door de reductie van gereduceerd zwavel. Naast H⁺-ionen wordt onder de meer zuurstofrijke condities sulfaat geproduceerd dat naar het grondwater stroomt. We zien sterk hogere calcium-, magnesium- en sulfaatwaarden in het grondwater in de kadeteen dan in de uitstekken (en de teensloot en boezem). Zoals reeds vermeld was de grondwaterstand in de kadeteen lager dan die in de uitstekken als ook dat de bodemcondities ten tijde van de bemonstering droger waren in de kadeteen (zie tabel 3). Hierdoor zijn de oxidatieprocessen hier sterker. We zien dit ook terug in de hogere ammoniumwaarde in het grondwater in de kadeteen; dit als gevolg van mineralisatie van organisch stof. De hogere calcium- en magnesium-waarde in het grondwater in de kadeteen zien we terug in het hogere cijfer in de Stuyfzand-typologie (3 ã 4) dan dat in het overig water (2 ã 3).

De hogere waarde voor bicarbonaat in het grondwater in de kadeteen is waarschijnlijk een effect van een proces dat optreedt onder meer natte condities (najaar – vroege voorjaar) waarbij er reductie van sulfaat optreedt en de concentratie ervan weer afneemt. Hierbij wordt zuur geconsumeerd en komt anorganisch koolstof vrij als bicarbonaat. Hierdoor wordt de bodem gebufferd. Vanwege het jaarrond meer stabiele en hogere grondwaterpeil in de uitsteken (Van Doorn, 2019) speelt de wisseling tussen oxidatie en reductie hier minder sterk waardoor de sulfaat- en bicarbonaatwaarden in het grondwater hier ook duidelijk lager zijn dan die waarden in het grondwater in de kadeteen.

Omdat de grondwaterstand in de uitsteken jaarrond meer gelijk is en hoger is dan die in de kadeteen zijn de waarden voor calcium, magnesium, sulfaat en bicarbonaat in het grondwater in de kadeteen hier meer verhoogd als gevolg van oxidatieprocessen.

5.3. Geohydrologie

Middels het hydrologische model is voor de deelgebieden die samen het potentieel areaal vormen (bijlage 3) waar de grondwaterafhankelijke vegetaties kunnen voorkomen, berekent wat het oppervlak is waar de gemiddelde voorjaarsgrondwater (GVG) en de laagste grondwaterstand (GLG) binnen het optimaal of het suboptimaal bereik ligt. Het resultaat is weergegeven in tabel 5. Omdat natuurlijk zowel de GVG als de GLG moet voldoen, zien we dat op dit moment voor beide grondwaterafhankelijke vegetaties er op ca. 4 ha van de kadeteen potentieel tegemoet wordt gekomen aan de preferente grondwaterstanden. Omdat de preferente grondwaterstanden voor nat schraalland en vochtig hooiland deels overlappen, is het dus niet zo dat het om een totaal van 8 ha gaat. Nogmaals; op dit moment komt zeker niet op het hele potentiële oppervlak nat schraalland of vochtig hooiland voor. Zoals al aangegeven in paragraaf 5.1 komen deze vegetaties met name voor geheel in het westen, rondom de Zijdebrug en in het westelijke deel van de Donkse Laagten. Daarmee gaat het om de deelgebieden noord1, zuid1, noord2, zuid2 (in mindere mate) en noord3. Veranderingen aldaar in de grondwaterstanden, zijn derhalve primair van belang.

Tabel 5. Oppervlakte waar de gemiddelde voorjaarsgrondwater en de laagste grondwaterstand binnen het optimaal of het suboptimaal bereik voor nat schraalland en vochtig hooiland ligt, binnen de verschillende deelgebieden van het potentieel areaal (cf Van de Haterd & Jalink, 2020). Zie voor de deelgebieden: bijlage 3.

Geschikt areaal in huidige situatie, boezempeil -0,75m NAP (ha)				
Deelgebied	Vochtig hooiland obv GLG	Vochtig hooiland obv GVG	Nat schraalland obv GLG	Nat schraalland obv GVG
noord1	1,18	1,15	1,16	0,94
noord2	0,81	0,81	0,44	0,81
noord3	0,00	0,01	0,01	0,00
noord4	0,17	0,21	0,23	0,15
noord5	0,56	1,00	0,81	1,00
zuid1	0,21	0,27	0,27	0,23
zuid2	0,15	0,15	0,15	0,10
zuid3	0,47	0,48	0,31	0,47
zuid4	0,56	0,58	0,58	0,41
TOTAAL	4,09	4,65	3,96	4,13

In tabel 6 is de toe- of afname van het areaal geschiktheid van de grondwaterstanden in de kadeteen (in ha) bij het voorgenomen peil op het Achterwaterschap van NAP -0,90 m ten opzichte van de huidige situatie weergegeven (dus ten opzichte van tabel 5). Allereerst valt op dat de geohydrologische condities voor vochtig hooiland achteruit gaan dan wel gelijk blijven (per saldo 0), terwijl voor nat schraalland de geohydrologische condities ten tijde van GVG oen/ of GLG in een aantal deelgebieden toeneemt. Dit is op zich niet vreemd omdat nat schraalland voorkomt bij minder hoge grondwaterstanden. Waar de condities eerst geschikt waren voor vochtig hooiland (en eventueel te nat voor nat schraalland), kunnen deze door de iets lagere grondwaterstanden als gevolg van de peilverlaging op het Achterwaterschap in het voordeel van nat schraalland uitpakken. Daarnaast valt deelgebied Noord5 op (waar nu geen nat schraalland of vochtig hooiland voorkomt) vanwege het relatieve grote verlies aan geschikt areaal. Dit is echter goed te verklaren omdat dit deelgebied tegen een polderpeil aanligt dat 0,20 m lager staat dan dat bij de overige deelgebieden. Het verschil met het boezem wordt hier dus relatief het groots. Bovendien was al geconstateerd dat de

grondwaterstand in de kadeteen voor een groot deel bepaald wordt door die in de teensloot. Het verschil daarmee ten opzichte van de overige gebieden is het grootst. Waar de grondwaterstand dan ook nog minder dan elders, wordt aangevuld vanuit de boezem (druk).

Tabel 6. Toe- of afname van het areaal geschiktheid van de grondwaterstanden (in ha) in de kadeteen bij het voorgenomen peil op het Achterwaterschap van NAP -0,90 m ten opzichte van het huidige peil NAP -0,75 m.

Toename (groen) /afname (rood) geschikt areaal (ha)				
Deelgebied	Vochtig hooiland obv GLG	Vochtig hooiland obv GVG	Nat schraalland obv GLG	Nat schraalland obv GVG
noord1	0,01	0,00	-0,04	0,01
noord2	0,00	0,00	0,03	0,00
noord3	0,00	0,00	-0,01	0,00
noord4	0,01	0,00	0,01	-0,01
noord5	0,10	0,03	0,04	0,22
zuid1	0,02	0,00	0,01	-0,03
zuid2	0,00	0,00	0,00	0,00
zuid3	0,00	0,00	-0,01	0,00
zuid4	0,01	0,00	-0,01	-0,01
Totaal	0,15	0,04	0,02	0,17
Totaal zonder deelgebied 5	0,04	0,01	-0,01	-0,04
Totaal zonder huidig voorkomen	0,027	0,008	-0,021	-0,026

Kijken we over het geheel aan potentiële deelgebieden dan zien we een verlies aan geschikt areaal voor vochtig hooiland van 0,17 ha en een toename voor nat schraalland van 0,02 ha. Per saldo zou dat een verlies betekenen van 0,15 ha aan kadeteen waar de condities voor grondwaterafhankelijke vegetaties niet langer geschikt zijn. Nemen we deelgebied Noord5 niet mee (vanwege het lagere peil in de teensloot waardoor de condities hier sowieso minder geschikt zijn) dan bedraagt het verschil tussen af- en toename nog 0,03 ha. Kijken we echter alleen naar de deelgebieden waar in de huidige situatie ook daadwerkelijk grondwaterafhankelijke vegetaties voorkomen, dan is er een verwaarloosbaar verlies aan areaal (van 0,006 ha).

In de deelgebieden waar nu (of in de toekomst) blijkens de geohydrologische condities geschikt zijn voor grondwaterafhankelijke vegetaties, maar deze niet voorkomen, moeten andere factoren limiterend zijn. Dat kan bodemchemie zijn.

6. Discussie en conclusie

6.1. Discussie

In een aantal deelgebieden c.q. trajecten van de kadeteen waar op basis van vooraf geduide potentie nat schraalland of vochtig hooiland voor zou kunnen komen, is dit ook daadwerkelijk het geval. Deze vegetaties komen met name voor geheel in het westen (tegen Boezems Kinderdijk aan), bij de Zijdebrug en het westelijk deel van de Donkse Laagten. De aangetroffen vegetaties op de onderzochte locaties zijn alle kwalificerend en (zeer) soortenrijk en bevatten veel kenmerkende en bijzondere soorten. De kadeteen van het Achterwaterschap is daarmee over een grote lengte van bijzondere vegetatiekundige betekenis. Dit geldt eveneens voor de uitstekken bij de Zijdebrug als in het westelijk deel van de Donkse Laagten.

Resumerend kan gesteld worden dat de bodemchemische condities in zowel de kadeteen, waar de vegetatie overwegend in de sfeer ligt van vochtig hooiland, als in de uitstekken, waar de vegetatie eerder overwegend in de sfeer ligt van nat schraalland, op orde is. De parameters die samenhangen met basenrijkdom hebben in vochtig hooiland hogere waarden dan in nat schraalland, wat we ook hier zien. Wel zien we sterke kenmerken van uitloging in de uitstekken. Hiervoor kan geconcludeerd worden dat de basen in de wortelzone niet in voldoende mate aangerijkt worden vanuit het grondwater.

Zowel in de uitstekken als in de kadeteen zien we verhoogde waarden voor basen. Dit is een gevolg van oxiadiëprocessen, die – vanwege de lagere grondwaterstand hier – in de kadeteen het sterkst zijn. Deels zal dit leiden tot uitloging. We zien dit al terug in uitstekken. In de kadeteen zijn de waarden voor basen in de bodem nog erg hoog vanwege de klei die hier nog op / in het veen aanwezig is.

Het grondwater in de kadeteen wordt kwalitatief niet of nauwelijks beïnvloed door kwel vanuit de boezem. Een kwalitatieve relatie lijkt er eerder te zijn voor de uitstekken. Dit duidt erop dat het ondiepe grondwatersysteem een sterkere uitwisseling met het polderwatersysteem heeft (een hogere horizontale doorlatendheid dan verticale doorlatendheid; dus ook laterale indringing). Dat de kwel vanuit de boezem vooral richting de uitstekken trekt blijkt ook uit de kwel-indicerende plantensoorten direct in de oever van de teensloot. De teensloot vangt waarschijnlijk de kwel vanuit de boezem grotendeels af dan wel, dat de kwel tot onder de uitstekken komt maar niet tot in de wortelzone reikt vanwege het hangwater dat hier als een pakket op ligt in combinatie met een te laag peil. Waar de waarden in het grondwater in de uitstekken (met name locatie 7 en 8) duidt op een basenrijk systeem, zien we dat niet terug in de bodemchemie. Er is dus wel kwalitatief goed grondwater in de uitstekken (met een duidelijke kwalitatieve relatie met het boezem- c.q. teenslootwater) aanwezig maar het lijkt de wortelzone niet te bereiken.

In de uitstekken zal er geen effect zijn van de voorgenomen peilverlaging op de grondwaterstand, welke bepaald wordt door het polderpeil. Wel zal er sprake zijn van een afname van de kwelflux waardoor er minder basen worden aangevoerd. Gelet op de resultaten en hetgeen hierboven geschreven staat over het hangwater, is het de vraag of die in de huidige situatie dus sowieso in de wortelzone terechtkomen. Omdat dit nu zeer waarschijnlijk niet het geval is en in de toekomst in principe zal verminderen, wordt de situatie wel verslechterd en ligt er een kwalitatieve opgave. Het kan soelaas bieden om de teensloot bij een uitstek deels of geheel te dempen waardoor er minder kwelwater naar de teensloot zal gaan en de invloed in de uitstekken zal toenemen. Waarschijnlijk helpt het hierbij om tot in het voorjaar een hoger peil te handhaven zodat minder water wordt afgevoerd. De uitstekken waar de verzuring zichtbaar wordt aan de vegetatie en waar he dempen of verontdiepen van de teensloot het meest kansrijk lijkt, zijn die waarin monsterlocatie 10 en 12 liggen. Gelet op de lengte van deze uitstekken is hier een goede kwalitatieve impuls te behalen. De effectiviteit hiervan dient nader met een hydrologische studie in beeld te worden gebracht. De noodzaak voor deze verbetering is, gelet op de aanwezige vegetatie, (vooralsnog) niet noodzakelijk bij de uitstekken waarin monsterlocatie 7 en 8 liggen.

De grondwaterstand in de kadeteen wordt vooral ook bepaald door die in de teensloot. Omdat hier niets in wijzigt, is het effect van de voorgenomen peilverlaging (zeer) beperkt (wat ook al in eerdere studies was aangetoond), zeker wanneer alleen gekeken wordt naar die delen van de kadeteen waar in de huidige situatie grondwaterafhankelijke vegetaties voorkomen.

De verwachting is dat in de randzone van het knikpunt tussen kade en teen de situatie wel eens zodanig zou kunnen verbeteren dat er per saldo sprake is van een toename van het areaal kadeteen waar tegemoet wordt gekomen aan de preferente grondwaterstanden. De reden hiervoor is dat in het knikpunt van (delen) van de trajecten met een brede kadeteen (> 5 m), er in de huidige situatie veelal sprake is van te natte omstandigheden. Er treedt dan grondwater uit bij het knikpunt, waardoor hier andere vegetaties voorkomen. Deze zijn veelal door pitrus (daar waar insporing heeft plaatsgevonden; zie foto 1), oeverzegge of paddenrus gedomineerd. Soorten van meer permanent natte condities.



Foto 1. In het knikpunt waar de kadeteen een minimale breedte heeft van 5 m, treedt veelal grondwater uit (vanuit de kade) waardoor er hier – zeker indien er insporing heeft plaatsgevonden – sprake is van permanent natte condities waarin een soort als pitrus goed gedijt.

In een dergelijke situatie is een verbetering van omstandigheden mogelijk door verlaging van het boezempeil. Op het knikpunt zal de grondwaterstand iets dalen, waardoor het netto-effect van de peilverlaging klein is. Waar de kadeteen smaller is, speelt dit fenomeen in de huidige situatie niet waardoor er hier in de toekomstige situatie geen verbetering kan plaatsvinden, immers: het boezempeil gaat naar beneden waardoor de grondwaterstand ter plaatse van de knik (verder) daalt. Omdat de verwachting is dat de grondwaterafhankelijke vegetaties richting knikpunt van de kade en de teen kunnen opschuiven is in het knikpunt op de locaties 1, 3, 4 en 5 aanvullend bodemchemisch onderzoek gedaan. De belangrijkste resultaten zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7. Belangrijkste bodemchemische karakteristieken in het knikpunt tussen kade en teen op vier locaties.

locatie knikpunt	pH(water)	Al	Ca	Fe	Mg	P	S	S/[Ca+Mg]	Fe/P	basenverzadiging
		(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)	(mmol/L)			(%)
1	6,8	951	172	282	110,2	19,1	49,1	0,2	14,7	98,0
3	6,6	1096	165	305	125,8	19,8	49,5	0,17	15,35	99,0
4	6,8	947	204	291	110,2	19,7	56,6	0,18	14,79	100,0
5	6,9	811	146	251	94,5	17,9	41,2	0,17	14,03	99,0

Wanneer we de gevonden waarden vergelijken met die uit tabel 2 dan zien we dat de condities in het knikpunt zeer geschikt zijn voor vochtig hooiland. Verwacht mag worden dat bij een wat lagere grondwaterstand in het knikpunt als gevolg van de voorgenomen peilverlaging, zich hier – vanuit de bestaande vegetaties alhier in de kadeteen – vochtig hooiland zal ontwikkelen (de vegetatie schuift als het ware op c.q. breidt zich uit).

6.2. Conclusie

Het voorliggend ecohydrologisch onderzoek heeft geleid tot de volgende antwoorden op de geformuleerde onderzoeksvragen:

1. Komen er in de huidige situatie vegetaties in de kadeteen en uitstekken voor die vegetatiekundig overeenkomen over grote gelijkenis vertonen met nat schraalland en vochtig hooiland?

Ja, deze vegetaties bevinden zich met name geheel in het westen tegen Boezems Kinderdijk, rondom de Zijdebrug en in het westelijk deel van de Donkse Laagten.

2. In welke mate is er in de huidige situatie in de kadeteen (het vlakke deel tussen het kadetalud en de teensloot) sprake van preferente grondwaterstanden voor nat schraalland en vochtig hooiland en in hoeverre veranderd als gevolg van de voorgenomen peilverlaging? Met andere woorden ook: wordt de grondwaterstand (mede) bepaald door het peil in de boezem?

Over een relatief groot oppervlak van de kadeteen wordt in de huidige situatie tegemoet gekomen aan de preferente grondwaterstanden van nat schraalland of vochtig (wat niet wil zeggen dat deze vegetaties ook over dat oppervlak voorkomen). De voorgenomen peilverlaging heeft hier niet of nauwelijks effect, zeker wanneer je alleen naar het effect kijkt ter plaatse waar deze vegetaties nu voorkomen. Omdat de situatie in het knippunt sterk kan verbeteren (zie par. 6.1), kan het effect zelfs een netto-toename zijn van het areaal waarover preferente grondwaterstanden voorkomen.

3. Wijst de grondwaterkwaliteit in de kadeteen op kwel vanuit de boezem? En komt deze kwaliteit tegemoet aan de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland?

Nee, er lijkt geen kwalitatieve relatie te zijn tussen het grondwater in de kadeteen en het boezemwater. De kwaliteit van het grondwater in de kadeteen komt echter zeer tegemoet aan de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland maar dit is met name een gevolg van een combinatie van relatief hoge grondwaterstanden in de kadeteen en bodemchemische processen (en het feit dat er sprake is van enige kleilaagjes in c.q. tussen het veen).

4. Wat zijn de bodemchemische condities in de kadeteen? En komen deze condities overeen met de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland? Wat zijn de te verwachten effecten van de voorgenomen peilverlaging?

De bodemchemische condities in de kadeteen zijn op de onderzochte locaties zeer passend bij nat schraalland dan wel vochtig hooiland; de basenrijkdom en -verzadiging is hoog en de nutriëntenbeschikbaarheid is laag. Er is geen effect op c.q. verslechtering van de bodemchemische condities in de kadeteen als gevolg van de voorgenomen peilverlaging.

5. Wijst de grondwaterkwaliteit in de uitstekken op kwel vanuit de boezem? En komt deze kwaliteit tegemoet aan de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland? Wat zijn de te verwachten effecten van de voorgenomen peilverlaging?

De grondwaterkwaliteit in de uitstekken wijzen op een relatie met het boezemwater. De kwaliteit is gunstig voor nat schraalland (dan wel vochtig hooiland). De voorgenomen peilverlaging zal de grondwaterkwaliteit in de uitstekken negatief beïnvloeden, althans voor zover deze tot in de wortelzone reikt. Omdat het er op lijkt dat dit in de huidige situatie ook niet constant of veelvuldig gebeurd, wordt de situatie wel verslechterd en ligt er een kwalitatieve opgave. Het kan soelaas bieden om de teensloot bij een uitstek deels of geheel te dempen waardoor er minder kwelwater naar de teensloot zal gaan en de invloed in de uitstekken zal toenemen. Waarschijnlijk helpt het hierbij om tot in het voorjaar een hoger peil te handhaven zodat minder water wordt afgevoerd. De uitstekken waar de verzuring zichtbaar wordt aan de vegetatie en waar he dempen of verontdiepen van de teensloot het meest kansrijk lijkt, zijn die waarin monsterlocatie 10 en 12 liggen. Gelet op de lengte van deze uitstekken is hier een goede kwalitatieve impuls te behalen. De effectiviteit hiervan dient nader met een hydrologische studie in beeld te worden gebracht. De noodzaak voor deze verbetering is, gelet op de aanwezige vegetatie, (vooralsnog) niet noodzakelijk bij de uitstekken waarin monsterlocatie 7 en 8 liggen.

6. Wat zijn de bodemchemische condities in de uitstekken? En komen deze condities overeen met de eisen van nat schraalland en vochtig hooiland? Wat zijn de te verwachten effecten van de voorgenomen peilverlaging?

De bodemchemische condities in de uitstekken zijn momenteel nog grotendeels gunstig voor nat schraalland. Voor vochtig hooiland in (veel) mindere mate. Dit is een gevolg van uitloging van basen die niet aangevuld worden vanuit het grondwater omdat het hangwater dit verhindert (werkt als een deksel). De maatregel beschreven onder 5 kan hier soelaas bieden, evenals het zeer incidenteel aanbrengen van buffer middels dun uitspreiden van slootbagger (uit aanliggende, niet door landbouw beïnvloede sloten).

Resume

De voorgenomen peilverlaging heeft geen netto-negatief effect op de standplaatscondities in de kadeteen langs het Achterwaterschap voor nat schraalland of vochtig hooiland. Er is geen afhankelijkheid waar het gaat om de kwaliteit van de standplaats en nauwelijks een afhankelijkheid waar het gaat om de grondwaterstanden. Nabij het knikpunt kunnen condities zelfs verbeteren. Als we kijken naar de NNN-ambitiekaart dan lijkt het er niet op dat de haalbaarheid hiervan negatief wordt beïnvloed. Waar in delen in de huidige situatie weliswaar de grondwaterstanden in het preferente bereik liggen maar de grondwaterafhankelijke vegetaties ontbreken, zouden sowieso maatregelen genomen moeten worden om die ambitie te realiseren. Dit verandert niet als gevolg van de voorgenomen peilverlaging. Het gaat hierbij dan met name om het oostelijk deel van de kadeteen van de Donkse Laagten en de kadeteen hier oostelijk van. Een voor de hand liggende maatregel hier is plaggen. Dit is niet alleen nodig om een groter oppervlak binnen het preferente grondwaterregime te krijgen maar (me name) om de bodemchemische condities te verbeteren, die waarschijnlijk in de huidige situatie hier tekort schieten. Daarmee komt de ambitie nat schraalland hier meer binnen bereik.

In het deel ten westen van de Zijdebrug mag de ambitie over een groot deel van kadeteen absoluut worden verhoogd naar vochtig hooiland (waar het nu nog kruiden- en faunairijk grasland is).

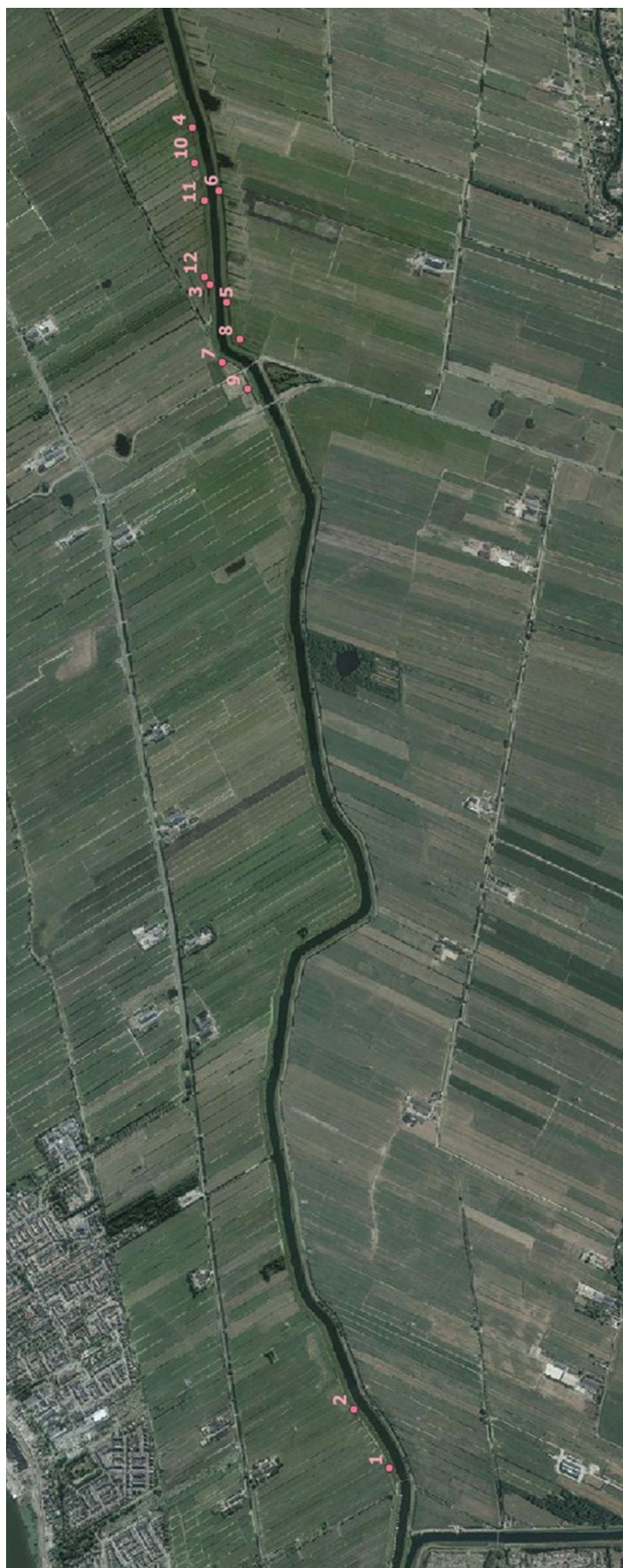
De uitstekken vertonen in de huidige situatie (sterke) kenmerken van uitloging. Vanwege de kwalitatieve relatie van het grondwater met het boezemwater, kan het hier helpen om kwel meer in de wortelzone te brengen door de teensloot geheel of deels te verontdiepen en eventueel het oppervlaktewaterpeil iets (ca. 5 cm) op te zetten. De uitstekken waar de verzuring zichtbaar wordt aan de vegetatie en waar de dempen of verontdiepen van de teensloot het meest kansrijk lijkt, zijn die waarin monsterlocatie 10 en 12 liggen. Gelet op de lengte van deze uitstekken is hier een goede kwalitatieve impuls te behalen. De effectiviteit hiervan dient nader met een hydrologische studie in beeld te worden gebracht. De noodzaak voor deze verbetering is, gelet op de aanwezige vegetatie, (vooralsnog) niet noodzakelijk bij de uitstekken waarin monsterlocatie 7 en 8 liggen. Deze maatregel kan goed worden gecombineerd met de realisatie van de ecologische verbindingzone. Het verdient aanbeveling om deze maatregel c.q. ingreep te overleggen met Staatsbosbeheer (eigenaar en beheerder van de uitstekken).

7. Literatuur

Van Doorn, A. 2019. Hydrologische effecten van een peilverlaging van 15 cm van het Achterwaterschap. Acacia Water, kenmerk AW_051(2)_190914 (11 maart 2019). In opdracht van Infram.

Van de Haterd, R.J.W. & M.H. Jalink, 2020. Ecologische effecten peilverlaging Achterwaterschap. Bureau Waardenburg en KWR, kenmerk 19-0727 - 19.09904. In opdracht van Infram en Waterschap Rivierenland.

Van Wachtendonk, A. & A. Krikken, 2018. Geohydrologische effecten peilverlaging in het Achterwaterschap. Royal HaskoningDHV, kenmerk BF5204WATNT1810310917. In opdracht van Infram en Waterschap Rivierenland.



Bijlage 2. Grondwaterstanden in de peilbuizen

veldwerk 8 en 10 april 2020					
Plaatsen boorgaten en peilen grondwaterstand					
raai	locatie volgnr	x	y	grw stand cm -mv	
1	1	106097	432121	35	
1	3	106095	432124	30	
2	1	106316	432246	40	
2	3	106314	432249	29	
3	1	106717	432446	35	
3	2	106716	432447	28	
3	3	106714	432451	41	
4	1	110146	432471	51	
4	2	110145	432469	38	
4	3	110148	432464	46	
5	1	110835	432837	30	
5	3	110835	432839	25	
6	1	111461	432904	35	
6	3	111461	432908	16	

locatie volgnr als volgt: 1 = net buiten de insteek van de kade, 2 = midden op het vlakke deel, 3 = naast de teensloot maar buiten de rug met schoonsel

opm: locatie 2 is niet overall gedaan vanwege de beperkte breedte van het vlakke deel

veldwerk 23 (plaatsen grondwaterbuizen) en 25 mei (peilen grondwaterstanden) 2020			
Plaatsen boorgaten en peilen grondwaterstand			
	locatie volgnr	x	y
			grw stand cm - mv
	1	106097.2	432118.7
	2	106334.4	432262.4
	3	110835.4	432835.5
	4	111461.7	432904.3
	5	110766	432770
	6	111212.8	432799
	7	110523.2	432787.8
	8	110616.4	432718.2
	9	110416.4	432687.2
	10	111324.2	432897.3
	11	111173	432859
	12	110866	432859

Bijlage 3. Deelgebieden geohydrologisch onderzoek



Bijlage 4. Analysemethoden water- en bodemonsters

Aan de watermonsters werd de pH gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. 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) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl⁻) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

Aan het vastvolume bodemonster werd het vers- en drooggewicht bepaald. Aan de bodem werden voorts de volgende analyses uitgevoerd:

Organische stof De fractie organisch stof in de bodem werd via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie Door de bodem en plantmateriaal te destructuren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Olsenextractie Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l⁻¹ natriumbicarbonaat (NaHCO₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Water- en Zoutextractie Met een water- en zoutextractie kunnen de vrij in de bodem aanwezige ionen of de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2 mol l⁻¹ NaCl) of 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

Strontiumextractie Met een strontiumextractie kan de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal (minerale bodems) of 2,5 gram droog materiaal (veenbodems) en met 200 ml strontiumchloride (0,2 mol l⁻¹), geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard en bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analyzers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

De formules voor het berekenen van de uitwisselbare kation capaciteit (CEC) en de basenverzadiging zijn:

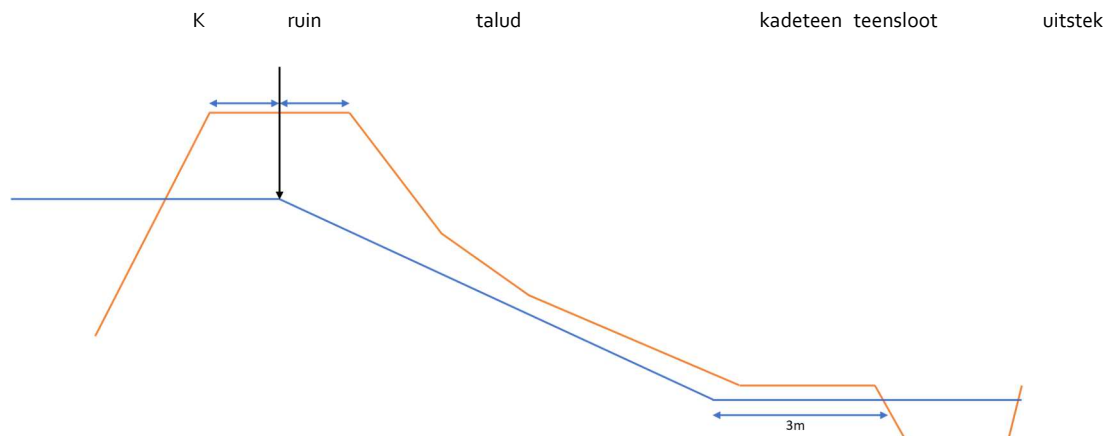
- CEC (μmol/g DW) = [3*(AlSr-Alw) + 2*(CaSr-Caw) + 2*(MgSr-Mgw) + 2*(MnSr-Mnw) + 2*(ZnSr-Znw) + (NaSr-Naw) + 2*(FeSr-Few) + (Ksr-Kw) + (HSr-Hw) + (NH₄Sr-NH₄w)].

- Basenverzadiging (%) = [2*(CaSr-Caw) + 2*(MgSr-Mgw) + (Ksr-Kw)] / [CEC] x 100 %.

Bijlage 5. Toelichting gebruikt hydrologisch model

Het effect van peilverlaging is bepaald in QGIS (Versie 3.8.3), waarbij een simpel hydrologisch model is gebruikt. In dit model wordt aangenomen dat het water lineair van het hoge (boezem)peil naar het lagere (polder)peil stroomt, waarbij er geen verschillen in ondergrond (bodem) worden meegenomen en effecten van verdamping en neerslag niet zijn meegenomen. In werkelijkheid betekent deze curve -gemiddeld gezien- een onderschatting van de freatische lijn in de winter/voorjaarsperiode, omdat door het neerslagoverschot er sprake zal zijn van een opbolling van de grondwaterstand in deze periode. In de zomerperiode geldt het omgekeerde: door een verdampingsoverschot is de curve een overschatting.

Dit geldt in beide periodes niet voor de grondwaterstanden dicht bij het oppervlaktewaterpeil. De aanname is dat op een afstand van 3 meter van boezempeil of slootpeil de grondwaterstand gelijk is aan het oppervlaktewaterpeil. Deze afstand representeert de indringingsafstand van het slootpeil/boezempeil. In veengebied is deze klein. De in deze analyse gebruikte representatie van de freatische curve door een dijklichaam wordt door Waterschap Rivierenland ook gebruikt bij de toetsing van de regionale kades. Dit wordt nog nader bevestigd door het modelonderzoek van Acacia Water. Zie figuur B5-1 voor een schets van de gebruikte schematisatie.



Figuur B5-2. Schematische weergave simpel hydrologisch model.

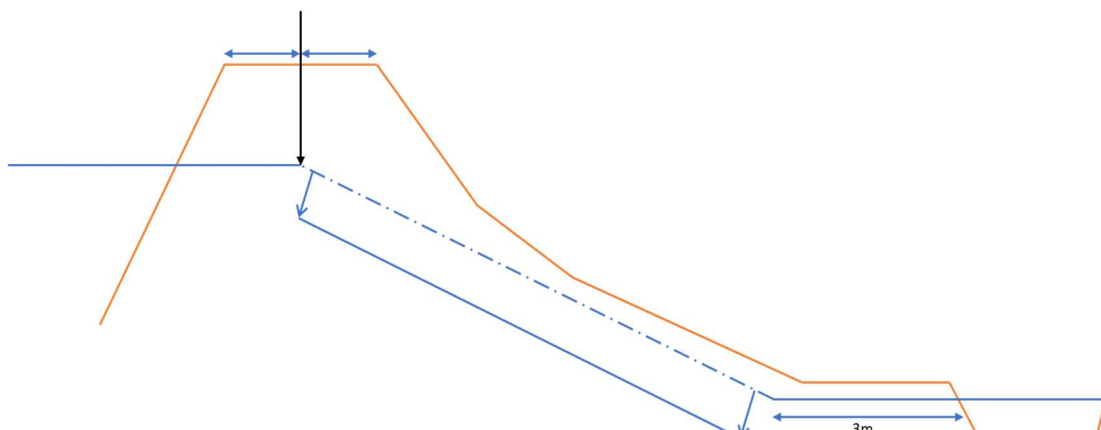
Voor de bepaling van de geschiktheid van de vegetatietypen worden de grondwaterstanden die niet direct langs het oppervlaktewater liggen gecorrigeerd voor zomer- en voorjaarssituatie.

Deze correctie gebeurt aan de hand van een analyse van een selectie van peilbuizen, die binnen hetzelfde gebied liggen en representatief zijn voor het systeemgedrag van het grondwater in de dijkteen. De peilbuizen zijn representatief geacht als ze vergelijkbare bodemopbouw (veen), diepte (filter in bovenste 5 meter) en afstand tot sloot hebben (<10m van sloot).

Voor de analyse is een representatieve GLG nodig voor het gebied. Deze is bepaald door de meetreeksen van de peilbuizen te analyseren. Uit deze analyse (bijlage 1) blijkt dat de GLG gemiddeld gezien 30 cm lager ligt dan de langjarig gemiddelde waterstand van de peilbuizen. Voor de analyse van geschiktheid van de vegetatietypen in de droge situatie is deze gecorrigeerd door 30 cm af te trekken van de curve (zie figuur B5-2).

Analyse van de voorjaarssituatie wijst uit dat de GVG gemiddeld 10 cm hoger ligt dan de gemiddelde grondwaterstand. Hiervoor is eveneens gecorrigeerd.

De lineaire waterstroming is in QGIS berekend met een TIN-interpolatie van het boezempeil naar het polderpeil. Voor de boezemlandjes is uitgegaan van een constant boezempeil: een lineair peil van -75cm NAP of -90cm NAP.



Figuur B5-3. Schematische weergave simpel hydrologisch model met 30cm waterstandsvaling voor GLG.

Nadat een peil onder maaiveld verkregen was, kon de geschiktheid voor de verschillende vegetatietypen bepaald worden. Hierbij werd gebruik gemaakt van de volgende geschiktheidstabellen

Tabel B5-1. Grondwaterstand in cm per geschiktheidsklasse voor de gemiddeld laagste grondwaterstand.

	GLG (cm +mv)					
	Optimaal		Suboptimaal		Buiten bereik (ongeschikt)	
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Nat schraalland	-30 tot -50	-	-20 tot -30	-50 tot -70	>-20	<-70
Hooiland	-20 tot -40	-	0 tot -20	-40 tot -60	>0	<-60

Tabel B5-2. Grondwaterstand in cm per geschiktheidsklasse voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand.

	GVG (cm +mv)					
	Optimaal		Suboptimaal		Buiten bereik (ongeschikt)	
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Nat schraalland	0 tot -20	-	5 tot 0	-20 tot -30	>5	<-30
Vochtig hooiland	10 tot -20	-	20 tot 10	-20 tot -40	>20	<-40

De geschiktheid van de locaties voor de vegetaties is onderverdeeld in drie categorieën: ongeschikt, suboptimaal en optimaal, voor zowel de GLG als GVG situatie. Om het verschil tussen te droog of te nat (voor suboptimaal en onbereikbaar) aan te geven, zijn er vijf categorieën gebruikt: Onbereikbaar (droog), suboptimaal (droog), optimaal, suboptimaal (nat) en onbereikbaar (nat).

Omdat in dit model geen rekening wordt gehouden met oppervlakkige afstroming, stopt de classificering wanneer het peil boven maaiveld uitkomt. Er is dus geen poelvorming. Hierdoor kan het bij de GVG van Vochtig Hooiland alleen te droog of optimaal zijn, terwijl in werkelijkheid de optie te nat ook bestaat.

1.1 Bijlagen bij B5
Stappenplan interpolatie:

Doel	Input	Tool	Output
Slotenpolygoon maken			
Minder groot werkgebied	Aangeleverd: AHN_3 (38dn1, 38CN2), Zelf: masks kansrijke gebieden	Clip (clip raster with polygon)	Kleinere ahn-rasterdatasets met nodata
NoData opvullen	Kleine AHN's	Reclassify (NB: kan alleen in QGIS 2.18) Instellingen: Reclassify nodata aangevinkt, value = 10 Reclassify other data uitgevinkt	Opgevulde ahn-rasterdataset met waarde 10 in sloten
Rasterdataset met 1 waarde voor sloten, 1 waarde voor land	Opgevulde raster van AHN	Raster calculator Formule: [naam raster] > 9	Raster dataset met sloten waarde 1, land waarde 0
Polygoon maken van sloten	Rasterdataset met waarden 1 en 0	Raster to polygon (polygoniseren (GDAL))	Polygoon met waarden 1 en 0
Sloten uit polygoon knippen	Polygoon met waarden 1 en 0	Attributetable → selecteer alle attributes met waarde 0 → verwijderen	Sloten-polygoon
Geometriefouten verwijderen	Sloten-polygoon	Bewerkingstool, met de hand de lege 'eilandjes' verwijderen	Sloten-polygoon (zonder geometriefouten)
Sloten geschikt maken voor interpolatie			
Peil toevoegen	Peilgebieden (aangeleverd) Sloten-polygoon	Attributen koppelen op veldwaarden Note: eerst zorgen dat beiden inputbestanden een peilnummer krijgen (ID peilgebied o.i.d.) zodat ze daaraan gekoppeld kunnen worden	Slotenpolygoon met peil
3 meter buffer (want interpolatie mag 3m van de rand van de sloot zijn)	Sloten-polygoon met peil	Enkelzijdige buffer Instelling: Rechts 3 m	Buffer van 3 meter (inclusief peil)
Lijn maken van buffer	Buffer	Polygoon naar lijn	3m_buffer_lijn (inclusief peil)
Overbodige lijnstukken verwijderen	- 3m_buffer_lijn - Mask over lijnen die je wil behouden	Clip (Polygon clipping)	Teenslootrand_Lijnstukken
Lijnstukken samenvoegen	Lijnstukken 3m buffer	Geometrieën aan een laag snappen	Teenslootrand_Lijnen
Boezempeil geschikt maken voor interpolatie			
Dijkkruinlijn peil toevoegen	Referentielijn regionaal (aangeleverd)	Attributetable, veldberekening: Veldnaam = peil Decimaal getal Precisie = 2 Formule: -0.75 (of -0.90)	Dijkkruinlijn met peil
Interpolatie			
Interpoleren	Dijkkruin_peil Teenslootrand_peil	TIN-interpolation Instellingen: Dijkkruinpeil en teenslootpeil toevoegen, type veranderen van "punten" naar "lijnen structureren". Lineaire interpolatie, geschikt bereik toevoegen, grootte pixel = 0.5	Interpolatie

Verdere verwerking:

Doel	Input	Tool	Output
Kansrijkheid-kaart maken			
Interpolatie verlagen met vastgestelde dynamiek	Dynamiek (75 % van 40 cm = 30cm) Interpolatielaag (= "Raster") Boezempeil (=BP) Polderpeil (=PP)	Raster calculator: Formule: $(\text{Raster} \leq \text{PP} + 0.5) * \text{Raster} +$ $(\text{Raster} > \text{PP} + 0.5 \text{ AND } \text{Raster} < \text{BP} - 0.5) * (\text{Raster} - \text{dynamiek})$ Celgrootte = 0.5	Raster met PP, BP en interpolatie -dynamiek
Peil onder maaiveld	- Output vorige stap - AHN	Raster calculator: Output – AHN	Peil onder maaiveld
Kansrijkheid-kaart met 3 en 5 Klassen maken	- Peil onder maaiveld - tabel met 3 of 5 klassen (waarden voor classificeren van Ecoloog)	Reclassify (opnieuw classificeren op tabel) 3: ongeschikt, suboptimaal, optimaal 5: ongeschikt droog, suboptimaal droog, optimaal, suboptimaal nat, ongeschikt nat	Kaart met 3 of 5 klassen
Verschil tussen boezempeil -0.75 en -0.90			
Verschilkaart kansrijkheid tussen huidig peil (-0.75) en mogelijk verlaagd peil (-0.90)	3 klassenraster van huidig peil (R75) 3 klassenraster van nieuw peil (R90)	Raster calculator: $((\text{R90} = \text{R75}) * 0) + ((\text{R90} > \text{R75}) * 1) + ((\text{R90} < \text{R75}) * (-1))$ Celgrootte = 0.5	Kaart met verschil: -1: nieuw peil zorgt voor minder geschikt land dan oud peil +1 nieuw peil zorgt voor geschikter land dan oud peil

Peilbuizen:

Nummer	Afstand tot teensloot	Afstand tot sloot	Onderkant filter	10 percentiel	50 percentiel	90 percentiel	Dynamiek (cm)
B38C0968	4.443	4.443	-223	-220.4	-202	-187.6	32.8
B38D0354	6.568	6.568	-247	-197.7	-167	-154	43.7
B38D0356	2.204	2.204	-271	-201.3	-184	-163.4	37.9
B38D0388	13.833	9.907	-233	-154.8	-146	-138	16.8
B38D0405	5.040	5.040	-247	-160	-153	-139	21
B38D0406	1.688	1.688	-254	-168.6	-156	-141.2	27.4
B38D0407	8.263	8.263	-272	-167	-157	-141	26
B38D0420	12.238	4.974	-266	-184	-169	-156	28