

Herstel van vochtige en venige heide in het Vlaams natuurreserveaat 'De Ronde Put' te Mol-Postel

**Aanvullende gegevens over abiotische kansrijkdom
en vereiste beheermaatregelen**

Jan Wouters, Piet De Becker, Maarten Hens

INBO.R.2012.17

Auteurs:

Jan Wouters, Piet De Becker, Maarten Hens
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is ontstaan door de fusie van het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer (IBW) en het Instituut voor Natuurbehoud (IN).

Vestiging:

INBO Brussel
Kliniekstraat 25, 1070 Brussel
www.inbo.be

e-mail:

jan.wouters@inbo.be

Wijze van citeren:

Wouters J., De Becker P. & Hens M. (2012). Herstel van vochtige en venige heide in het Vlaams natuurreservaat 'De Ronde Put' te Mol-Postel. Aanvullende gegevens over abiotische kansrijkdom en vereiste beheermaatregelen. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.R.2012.17). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

D/2012/3241/109

INBO.R.2012.17

ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:

Jurgen Tack

Foto cover:

Natte heide met Wilde gagel en Gewone dophei
Vildaphoto/Y. Adams

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:

Agentschap voor Natuur en Bos - Antwerpen, Lange Kievitstraat 111/113 bus 63, 2018 Antwerpen. Opdracht ANB/NZK/wt/2011/269.



Herstel van vochtige en venige heide in het Vlaams natuurreservaat 'De Ronde Put' te Mol-Postel

Aanvullende gegevens over abiotische kansrijkdom en
vereiste beheermaatregelen

Jan Wouters, Piet De Becker, Maarten Hens

INBO.R.2012.17

Opdrachtgever: Agentschap voor Natuur en Bos

augustus 2012

Inhoud

1	Inleiding.....	4
2	Staalname en chemische analyses	5
2.1	Bodem- en waterstaalname	5
2.1.1	Locaties	5
2.1.2	Staalname.....	6
2.2	Chemische analyses	7
2.2.1	Bodem	7
2.2.2	Water	8
3	Resultaten bodem- en wateronderzoek	9
3.1	Bodem	9
3.1.1	Dikte veenlaag	9
3.1.2	Bodemchemie	10
3.2	Water	10
4	Evaluatie standplaatsgeschiktheid	11
4.1	Waterhuishouding	11
4.1.1	Grondwaterpeilen	11
4.1.2	Grondwater- of neerslaggevoed?	13
4.2	Hydrochemie	14
4.2.1	Referentiewaarden	14
4.2.2	Geleidbaarheid.....	14
4.2.3	Zuurtegraad en bicarbonaat.....	15
4.2.4	Stikstof en fosfor	15
4.2.5	Besluit	15
4.3	Bodemopbouw en -chemie.....	16
4.3.1	Textuur en bodemprofiel	16
4.3.2	Zuurtegraad en kationuitwisselingscapaciteit	16
4.3.3	Voedselrijkdom	17
4.4	Besluit	18
5	Voorstellen voor beheer van de vergraste zones	19
5.1	Verschralen	19
5.2	Plaggen.....	20
5.3	Begrazing.....	21
5.4	Branden	21
5.5	Verwijderen veenlaag (ontgronden).....	21
5.6	Verhogen waterpeil (vernatten).....	22
5.7	Overige	22

Bijlage A Resultaten bodemanalysen.....	23
Bijlage B Figuren bodemanalysen.....	24
Bijlage C Figuren wateranalysen	29
Referenties	42
Figuren.....	44
Tabellen.....	46

1 Inleiding

Het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB) werkt momenteel aan een beheerplan voor het Vlaams Natuurreservaat 'De Ronde Put' in Mol-Postel. Dit plan streeft naar het behoud en de ontwikkeling van de actueel aanwezige natuurwaarden, de bodemkundige waarden en de recreatieve belangstelling. De verdere ontwikkeling van het gebied moet maximaal invulling geven aan de bestaande beleidsvisie en houdt rekening met de plaatselijke abiotiek.

Voor op de opmaak van het beheerplan adviseerde het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) het ANB in 2010 over volgende vragen (Vanderhaeghe et al. 2010):

- Welke waterpeilen dienen ingesteld bij de gestelde natuurdoelen ?
- Welke beheermaatregelen zijn nodig voor een succesvol heideherstel ter hoogte van vergraste randen langs de Ronde Put ?

Door een gebrek aan informatie over bodemopbouw en -chemie kon geen sluitend antwoord gegeven worden over maatregelen voor het herstel van heide in de randen. Vanderhaeghe et al. (2010) stelden een gericht bodemonderzoek voor waarbij op een 10-tal plaatsen de veen- en zandfractie onderzocht zou moeten worden alsook op een vijftal plaatsen de samenstelling van grond- en oppervlaktewater zou moeten onderzocht worden. De informatie over de waterkwaliteit is tevens nuttig om zicht te krijgen op de invloed van het grachtenstelsel ten oosten van de Ronde Put op de waterkwaliteit in het gebied. De waterkwaliteit in het grachtenstelsel staat immers deels onder invloed staan van landbouwactiviteiten en/of het Postelvaartje (o.a. Vanderhaeghe et al. 2008).

In dit kader gaf het ANB eind 2011 volgende opdracht aan het INBO:

- Het verzamelen van de nodige aanvullende bodeminformatie van het gebied, met focus op de sturende milieukenmerken voor natte heiden (habitatype 4010);
- Het beoordelen van de potenties voor heideherstel in de vergraste delen van het gebied.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de meetcampagne die het INBO hiertoe uitgevoerd heeft. Bijzondere aandacht ging hierbij uit naar het bodemchemisch vaststellen van de mate van verzuring, vermesting en verontreiniging. Op zure, mineraalarme zandgronden zijn die factoren frequent beperkend voor de beheermatige realisatie van natuurdoelen van mineraal- en voedselarme milieus. Tevens worden de potenties en alle mogelijke opties voor het herstel van natte en vochtige heide besproken en geëvalueerd.

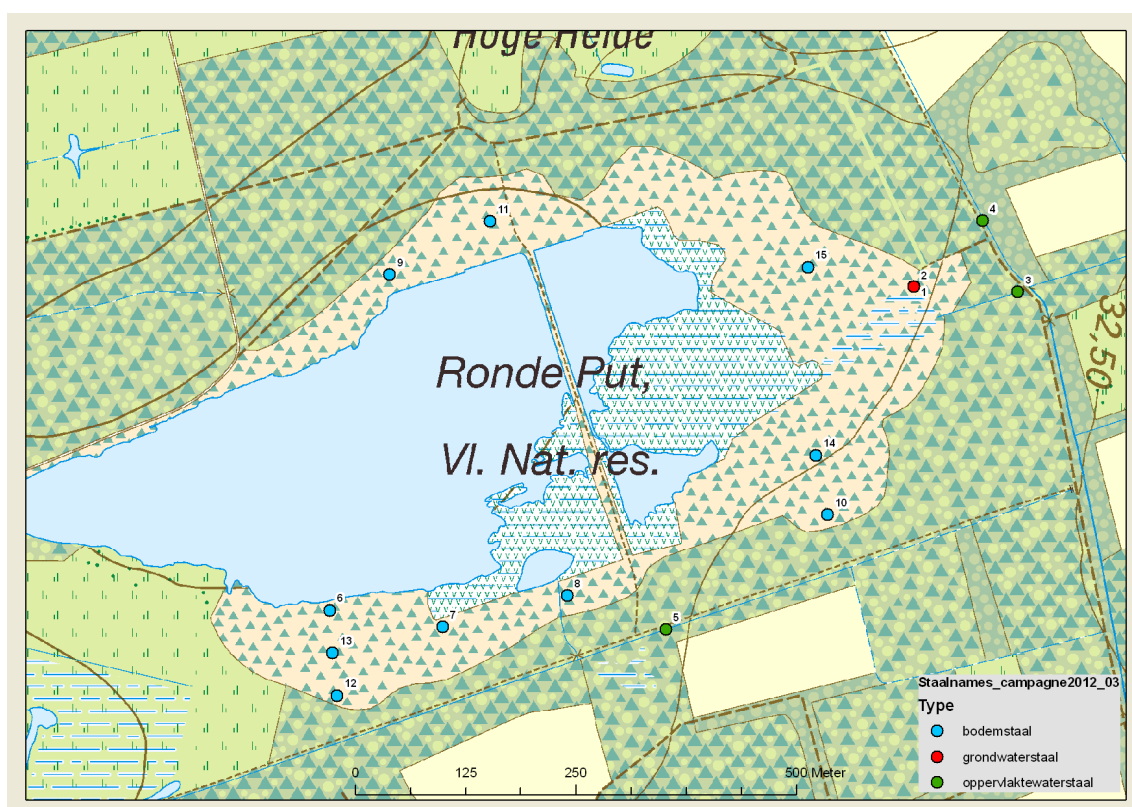
2 Staalname en chemische analyses

2.1 Bodem- en waterstaalname

2.1.1 Locaties

Op 22 februari 2012 werd op acht plaatsen met een dominante Pijpenstrootje-vegetatie de bodem bemonsterd (Figuur 1, Tabel 1). De locaties werden gekozen om een globaal overzicht te krijgen van de vergrassingsproblematiek binnen het deelgebied Ronde Put van het Vlaams natuurreservaat 'Ronde Put en omgeving'. De keuze gebeurde in overleg met Kris Rombouts (ANB). Locaties 14 en 15 (Figuur 1) werden als een referentiesite voor natte heide mee onderzocht.

Diezelfde dag werd op drie plaatsen ook het oppervlaktewater bemonsterd. Op een referentiesite natte heide werd daarenboven uit een aanwezige piëzometer een staal genomen van het ondiepe en het diepe grondwater.



Figuur 1 Ligging van de staalnamepunten (1 t/m 15) voor chemisch onderzoek van bodem, grond- en oppervlaktewater in het Vlaams natuurreservaat 'De Ronde Put'.

2.1.2 Staalname

Op elke bodemstaalnamelocatie werden de veen- en de zandfractie, indien aanwezig, afzonderlijk bemonsterd. Per locatie werd een mengmonster gemaakt door er op een drietal plaatsen bodemmateriaal van de bovenste 20 cm van de fractie met een gutsboor te verzamelen. Op elke locatie werd de veendiepte gemeten.

Voor de bemonstering van het oppervlakte- en grondwater werd een staal van 250 mL water genomen zonder verdere behandeling en werd 30 mL water gefilterd over een membraanfilter (0,20 μ m) en aangezuurd met 30 μ L HNO₃. De zuurtegraad en de geleidbaarheid werden ter plaatse gemeten. De piëzometers werden leeggepompt (vijf maal het volume van de buis) vooraleer een grondwaterstaal te nemen.

Tabel 1 Uitgevoerde bodemchemische analyses en gebruikte bepalingmethoden (cf. bestelaanvraag ANB/NZK/vvt/2011/269).

Staalnamepunt	Staalcode	Aard	Vegetatie	Coördinaten	
				X	Y
Waterstalen					
1	RONP114	grondwater-ondiep		205817	220162
2	RONP115	grondwater-diep		205817	220161
3	RONSO14	oppervlaktewater		205935	220155
4	RONSO13	oppervlaktewater		205895	220237
5	RONR006	oppervlaktewater		205536	219771
Bodemstalen					
6	6v	veen	Pijpenstrootje	205154	219793
	6z	zand			
7	7v	veen	Pijpenstrootje	205282	219774
	7z	zand			
8	8v	veen	Pijpenstrootje	205423	219810
	8z	zand			
9	9v	veen	Pijpenstrootje	205222	220176
	9z	zand			
10	10v	veen	Pijpenstrootje	205719	219903
	10z	zand			
11	11v	veen	Pijpenstrootje	205336	220236
	11z	zand			
12	12v	veen	Pijpenstrootje	205162	219697
	12z	zand			
13	13v	veen	Pijpenstrootje	205157	219745
	13z	zand			
14	14v	veen	Venige heide	205706	219970
	14z	zand			
15	15v	veen	Venige heide	205697	220184
	15z	zand			

2.2 Chemische analyses

2.2.1 Bodem

Na overbrenging naar het labo werden alle bodemstalen gedroogd op 40°C, gehomogeniseerd en gezeefd over <2 mm. De bodemstalen werden geanalyseerd in het fysico-chemisch laboratorium van het INBO in Geraardsbergen volgens standaardmethoden van het INBO (Tabel 2).

Voor de bepaling van de beschikbaarheid van nutriënten wordt voor stikstof en voor fosfor resp. de extractie met KCl en de Olsen-extractie toegepast. Aanvullend op de standaardmethoden (analyse op overndroog staal van 40°C), werden beide analyses ook uitgevoerd op luchtdroge bodemstalen.

Tabel 2 Uitgevoerde bodemchemische analyses en gebruikte bepalingsmethoden (cf. bestelaanvraag ANB/NZK/vvt/2011/269).

Zuurtegraad (pH-KCl, pH-H ₂ O). Meting van zuurtegraad met pH-electrode in 1:5 suspensies van bodem met resp. 1M KCl en gedemineraliseerd water
Geleidbaarheid . Meting met electrode in 1:5 suspensie van bodem met gedemineraliseerd water
Droogrest . Massaverlies na drogen van bodem op 105°C
Gloeiverlies (loss-on-ignition). Massaverlies na drogen van bodem op 550°C; maat voor organisch stofgehalte
Totaal stikstof en koolstof . Gaschromatografische bepaling van C en N na verbranding in CN-analyser
Kjeldahl-stikstof (Kjeldahl-N). Bepaling van gereduceerde stikstofverbindingen (organisch N, NH ₄ ⁺) door titratie
Anorganisch stikstof (NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻). Extractie van bodem met 1M KCl en spectrofotometrische bepaling van N componenten
Plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P). Spectrofotometrische bepaling van orthofosfaat in bodemextract met 0,5 M NaHCO ₃ op pH 8,5
Kationuitwisselingscapaciteit (CEC) en basenverzadiging . Extractie/uitwisseling van bodem met AgTU-oplossing. Bepaling Na, K, Ca, Mg en Ag met ICP-AES.
Totaal elementconcentraties mineralen/metalen (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, P, Pb, S, Se, Zn). Digestie van bodem met koningswater in microgolf, analyse met ICP-AES

2.2.2 Water

De waterstalen werden daags na de staalname binnengebracht bij het aquatisch labo van het INBO in Brussel. Tabel 3 geeft een overzicht van de uitgevoerde analyses. De zuurtegraad, geleidbaarheid en alkaliniteit werden diezelfde dag in het labo gemeten op een onbehandeld staal. De anionen en kationen werden na filtratie in het labo (0,20 µm) geanalyseerd op 27 februari 2012. Het gefilterde en aangezuurde 30-mL staal werd verder aangezuurd tot 1 % HNO₃ vooraleer met ICP-AES geanalyseerd te worden voor de bepaling van metaalconcentraties (o.a. Fe, Al).

Tabel 3 Uitgevoerde chemische analyses en gebruikte bepalingsmethoden voor waterstalen (cf. bestelaanvraag ANB/NZK/vvt/2011/269).

Zuurtegraad (pH). Meting met pH-electrode in ongefilterd staal (op terrein en in labo)
Geleidbaarheid (EC). Meting met electrode in ongefilterd staal (op terrein en in labo)
Alkaliniteit (carbonaat). Bepaling van carbonaten (HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻) door titratie
Anionen (Cl ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻). Ionenchromatografie
Kationen (NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺). Ionenchromatografie
Totaal elementconcentraties mineralen/metalen (Al, Fe, Mn, P, S). Inductief gekoppeld plasma (ICP-AES)

3 Resultaten bodem- en wateronderzoek

3.1 Bodem

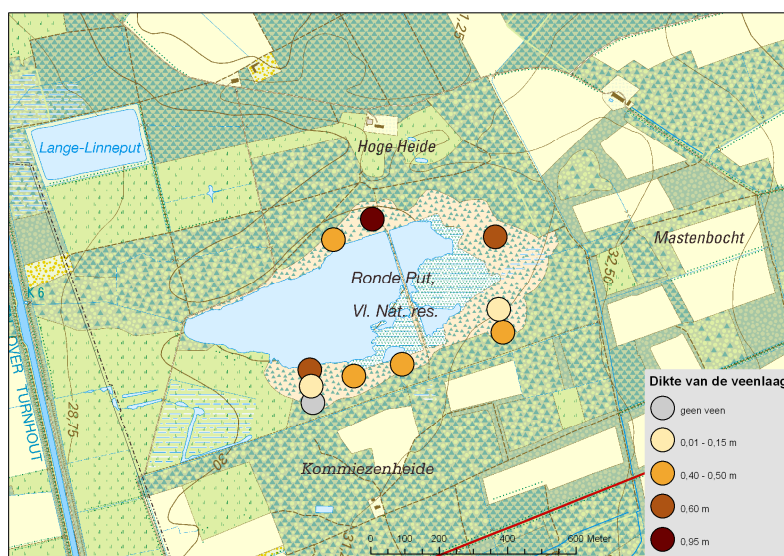
3.1.1 Dikte veenlaag

Met uitzondering van locatie 12, hadden alle locaties een vergelijkbare bodemopbouw: aan de oppervlakte een veenlaag, die een zandlaag afdekt. Op locatie 12 werd de veenlaag weggeplagd. De aangetroffen veenlagen waren tot 95 cm dik (locatie 11). Op de meeste locaties varieerde de dikte van het veenpakket tussen 15 en 50 cm (Tabel 4, Figuur 2).

Bodemkundig worden bodems met een toplaag veen van minstens 40 cm dik tot veenbodems gerekend, wat het geval is voor de meeste bemeeten locaties.

Tabel 4 Dikte van de veenlaag onder het maaiveld

Locatie	Dikte (cm)	Opmerking
6	60	
7	45	
8	50	
9	50	diktemeting in geplagd deel
10	40	
11	95	
12	0	geplagd, ook geen veen erbuiten
13	15	
14	10	
15	55	sponsveen



Figuur 2 Dikte van de veenlaag op de 10 onderzochte locaties

3.1.2 Bodemchemie

De resultaten van de chemische analyses van de zand- en veenstalen zijn samengevat in Bijlage A. Figuren 4 tot en met 13 in Bijlage B stellen de gemeten bodemgehalten aan totaal en anorganisch N, totaal en plantbeschikbaar P, C/N en C/P verhouding, pH(H₂O), pH(KCl) en CEC ruimtelijk voor.

3.2 Water

Tabel 5 toont de resultaten van de fysico-chemische analyses van de drie oppervlaktewater- en twee grondwaterstalen. Figuren 14 tot en met 26 in Bijlage C tonen de ruimtelijke spreiding van de zuurtegraad, de geleidbaarheid en de concentraties van de macro-elementen (Ca, Na, K, Mg, Fe, HCO₃, SO₄ en Cl) en van de nutriënten nitraat, ammonium en orthofosfaat. Om de gemeten waarden te situeren in een breder ruimtelijk-temporeel kader van het gebied, werden in die figuren ook alle beschikbare gegevens uit de WATINA-databank van het INBO opgenomen. De metingen worden onderscheiden op basis van het watertype (oppervlakte- of grondwater), het meetjaar (metingen vóór en na 2000) en van de bemonsterde diepte.

Tabel 5 Fysico-chemische karakteristieken van de onderzochte oppervlakte- en grondwaterstalen. Alle concentraties in mg L⁻¹, uitgezonderd geleidbaarheid (EC; in $\mu\text{S cm}^{-1}$) en zuurtegraad (pH; dimensieloos). De electroneutraliteit (EN; %) geeft de afwijking weer tussen alle negatieve en positieve ladingsdragers en wordt berekend als kwaliteitscontrole. Analyseresultaten met EN-waarden <10% zijn kwalitatief in orde. Zie Figuur 1 en Tabel 1 voor de locatie en naamgeving van de stalen.

Staalcode	Datum	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	K	Mg	Na
RONP114	22/02/2012	61,8	24,2	25,9	18,78	7,54	3,99	15,00
RONP115	22/02/2012	7,8	67,3	50,7	28,05	5,99	4,99	22,13
RONR006	22/02/2012	7,0	44,3	30,8	13,92	5,63	3,00	18,32
RONSO13	22/02/2012	50,5	4,1	9,1	8,53	17,92	3,11	4,68
RONSO14	22/02/2012	3,1	18,7	15,6	4,56	5,33	1,87	8,60
Staalcode	EC _{25°C} - veld	EC _{25°C} - labo	pH - veld	pH - labo	PO ₄ P	NO ₂ N	NO ₃ N	NH ₄ N
RONP114	274	255	6,09	6,34	<0,03	<0,03	0,92	0,91
RONP115	359	354	4,95	5,22	<0,03	<0,03	0,19	<0,08
RONR006	241	234	5,63	5,63	<0,03	<0,03	0,11	<0,08
RONSO13	135	132	6,07	6,55	0,20	<0,03	0,03	<0,08
RONSO14	119	115	5,23	5,20	<0,03	<0,03	0,11	0,24
Staalcode	Al	Fe	Mn	Si	EN			
RONP114	<0,1	9,23	0,35	2,41	5,91			
RONP115	0,28	<0,1	0,13	4,89	-0,01			
RONR006	0,16	0,61	<0,1	5,48	0,51			
RONSO13	0,49	0,26	0,12	0,85	8,62			
RONSO14	<0,1	0,27	<0,1	0,98	2,27			

4 Evaluatie standplaatsgeschiktheid

Dit hoofdstuk bespreekt de hydrologische, hydrochemische en bodemkundige standplaatsvereisten van vochtige tot venige heide. De actuele abiotiek van de randzone rond de centrale plas in De Ronde Put wordt getoetst aan beschikbare referentiewaarden. Op die manier worden eventuele abiotische knelpunten en kansen voor abiotisch herstel van de dominant met pijpenstrootje begroeide delen in de richting van een vochtige tot venige heide in kaart gebracht.

4.1 Waterhuishouding

4.1.1 Grondwaterpeilen

De milieureisten t.a.v. de grondwaterdynamiek worden gekarakteriseerd aan de hand van volgende variabelen: de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG), gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), gemiddelde grondwaterstand (GG) en de amplitude. Op basis van de peilgegevens in de WATINA-databank, bepaalden Laurijssens et al. (2007) en Callebaut et al. (2007) referentiewaarden voor vochtige tot venige heide (Tabel 6).

Men kan deze variabelen slechts berekenen bij een voldoende lang en frequent aangehouden registratie van grondwaterpeilen. De criteria die het INBO hiervoor hanteert zijn:

- minstens vier (in een weinig dynamische milieu) tot 7 opeenvolgende hydrologische jaren (= periode van 1 april t/m 31 maart);
- minstens 20 metingen per hydrologisch jaar;
- maximaal 30 dagen tussen twee metingen.

In het studiegebied werd in de loop der jaren een grondwatermeetnet uitgebouwd dat momenteel een vijftigtal peilbuizen, ondiepe en diepe piëzometers omvat (Figuur 3). Actueel worden er 12 meetpunten frequent opgevolgd. Tot op heden voldoet geen van de verzamelde tijdreeksen aan het eerste criterium. Om in het kader van dit rapport toch een indicatie te krijgen van de peildynamiek in het gebied, werd gewerkt met een set versoepelde criteria:

- minstens drie hydrologische jaren, die niet opeenvolgend hoeven te zijn;
- minstens 19 metingen per hydrologisch jaar;
- maximaal 60 dagen tussen twee metingen.

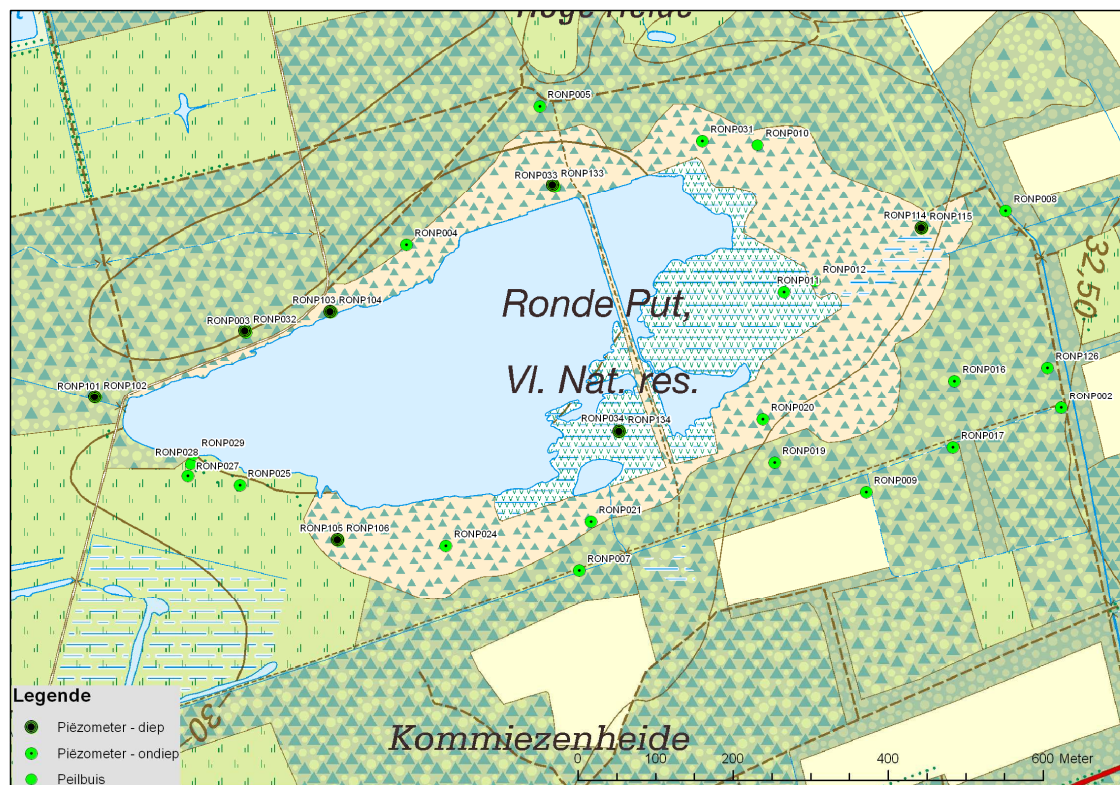
In de gebiedsdelen met (vergraste) natte heide liggen drie piëzometerkoppels (diep-ondiep) die aan de verruimde criteria voldoen (Tabel 7, Figuur 3). Voor de evaluatie van de hydrologische conditie wordt de ondiepe piëzometer van een koppel gebruikt omdat de waterpeilen in de ondiepe buizen beter overeenstemmen met de reële grondwaterstanden.

De buizen RONG103 en RONG105 bevinden zich in de vergraste zones. Deze meetpunten voldoen aan de referentiewaarden voor vochtige heide. Alleen de GHG van RONG103 is over de beschouwde periode wat te laag. Wordt evenwel enkel de periode 2009–heden beschouwd, dan valt de GHG ook binnen het referentiebereik voor vochtige heide.

RONG114 ligt in een goed ontwikkelde venige heide. GLG en de amplitude liggen binnen het referentiebereik van venige heide. De GHG is eerder te hoog, de site heeft echter een sterk uitgesproken microreliëf (bulten-slenken-patroon) dat een juiste positiebepaling van het maaiveld sterk bemoeilijkt.

Tabel 6 Hydrologische referentiewaarden voor vochtige tot venige heide (Laurijssens et al. 2007, grotendeels naar Callebaut et al. 2007)

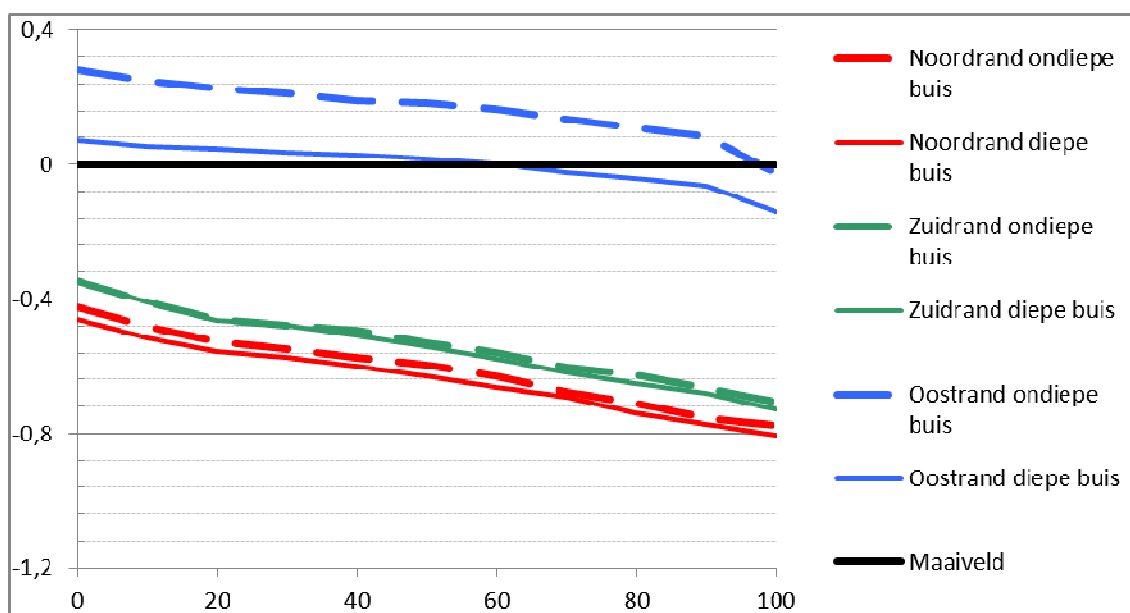
Kenmerk	Vochtige heide (4010)	Venige heide (7140_oli)
GHG	-0,40 – 0,05 m	-0,20 – 0,05 m
GLG	>-1,2 (-1,6) m	> -0,6 (-0,7) m
amplitude	<1,2 – 1,6 m	< 0,5 m
inundatieduur	< 4 maanden	Geen



Figuur 3 Grondwatermeetnet in het Vlaams Natuurreservaat 'De Ronde Put' (bron: Watina, INBO)

Tabel 7 Grondwaterkarakteristieken voor drie meetpunten in het gebied in al dan niet gedegradeerde vochtige tot venige heide. Grondwaterkengetallen in meter onder maaiveld; negatieve waarden duiden op een waterstand onder het maaiveld.

Buis-ID	Plaats	Aard	Vegetatie	GHG	GLG	GVG	Amplitude	Aantal jaren	Periode
RONP103	Noord	ondiep	Pijpenstrootje	-0,42	-0,77	-0,54	0,46	4	2005-2011
RONP104	Noord	diep	Pijpenstrootje	-0,46	-0,80	-0,58	0,43	4	2005-2011
RONP105	Zuid	ondiep	Pijpenstrootje	-0,35	-0,71	-0,49	0,47	4	2005-2011
RONP106	Zuid	diep	Pijpenstrootje	-0,36	-0,74	-0,50	0,48	4	2005-2011
RONP114	Oost	ondiep	Venige heide	0,25	-0,06	0,19	0,34	3	2005-2010
RONP115	Oost	diep	Venige heide	0,08	-0,17	0,07	0,30	3	2005-2010



Figuur 4 De duurlijnen voor elk van de piëzometerkoppels in resp. de noord-, oost- en zuidrand van het studiegebied. Alleen in de zuid- en noordrand domineert pijpenstrootje.

4.1.2 Grondwater- of neerslaggevoed?

Om de potenties voor heideherstel en -ontwikkeling correct te kunnen inschatten, is het ook van belang in welke mate de sites door grondwater zijn beïnvloed.

Het gebruik van piëzometerkoppels laat toe na te gaan of een opwaartse grondwaterbeweging mogelijk is. De aanwezigheid van een hogere waterdruk (= hoger waterpeil) in een diepere buis van een peilbuis-koppel kan een indicatie zijn dat het grondwater naar boven gestuwd wordt¹.

De amplitude van grondwaterpeilen is een andere indicator voor grondwatervoeding: op dergelijke plaatsen is de amplitude relatief klein. Bij afwezigheid van grondwatervoeding kent het peilverloop een sterker fluctuerend verloop ten gevolge van een periodiek hogere evapotranspiratie tijdens het groeiseizoen.

Het peilverloop in de ondiepe en diepere buizen verschillen in de vergraste delen nauwelijks van elkaar (Tabel 7). In de venige heide ligt het peil in de ondiepe buis zelfs merkkelijk hoger dan die van de diepe. Dat wijst vaak op infiltratie. Op zeer doorlatende bodems en/of op plaatsen met lateraal stromend grondwater is het drukverschil echter geen betrouwbare maatstaf.

De geringe amplitudes, gemiddeld rond 0,45 m, geven duidelijk aan dat de bemeten plaatsen wel degelijk door grondwater gevoed worden. Tezamen met het ontbreken van een drukverschil vormen ze een goede aanwijzing dat het grondwater veeleer horizontaal stroomt. Beenbreek geldt hiervoor ook als een goede indicatorsoort (Vercoetere & De Becker 2004).

¹ Als er een waterondoorlaatbare laag tussen de diepe en ondiepe buis ligt, kan het drukverschil zich evenwel niet vertalen in een opwaartse stroming. Deze situatie is hier vermoedelijk niet aan de orde.

4.2 Hydrochemie

4.2.1 Referentiewaarden

Op het vlak van de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit zijn voor het vochtige, natte en venige heide volgende variabelen belangrijk (Laurijssens et al. 2007):

- Geleidbaarheid;
- Zuurtegraad en buffering: pH en bicarbonaat (HCO_3);
- Nutriënten: nitraat (NO_3), ammonium (NH_4) en orthofosfaat (PO_4).

Tabel 8 geeft een overzicht van de referentiewaarden die opgesteld werden op basis van gegevens in de WATINA-databank van het INBO door Laurijssens et al. (2007), Huybrechts et al. (2009) en Herr et al. (2012).

4.2.2 Geleidbaarheid

In de periode vóór 2000 waren in het gebied tal van plaatsen met een voor vochtige heide te hoge geleidbaarheid (Figuur 15). In het zuidoostelijke deel lagen de waarden wel onder de referentielimiet. T.a.v. venige heide was het beeld gunstiger (o.a. in de oostelijke en zuidelijke zone).

Bij latere metingen (meetcampagnes in 2005, 2010 en 2012) wordt meestal wel aan de referentiewaarden van venige heide voldaan, maar blijven de meetwaarden nog wat te hoog voor vochtige heide. In de zuidelijke zone en de diepe peilbuis in het oostelijk deel is de geleidbaarheid voor beide doeltypen duidelijk te hoog.

Er dient hier wel bij vermeld te worden dat op plaatsen met meerdere metingen na 2000 de geleidbaarheden t.o.v. 2005 gemiddeld $70 \mu\text{S}/\text{cm}$ ($p=0.005$) hoger zijn.

De vrij sterke schommelingen in de tijd bemoeilijken het geven van een algemene uitspraak. Vermoedelijk vormt de geleidbaarheid van het oppervlakkig grondwater in de vergraste delen geen probleem voor venige heide. Voor vochtige heide zijn ze vermoedelijk al dan niet plaatselijk te hoog.

Tabel 8 Hydrochemische referentiewaarden voor vochtige tot venige heide. Alle variabelen in mg L^{-1} , behalve geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) en pH (dimensieloos). Referenties: ¹ Laurijssens et al. (2007), ² Herr et al. (2012), ³ Huybrechts et al. 2009.

Vegetatietype	Geleidbaarheid	pH	HCO_3	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$
Vochtige heide	$<200^1$	3.5-6.5 ¹	6 - 18 (80) ¹	<1 (2) ²	$< 0.6^2$	<0.04 (0.08) ²
Venige heide	$<300^3$	-	$< 80^1$	<1 (1.4) ²	$< 0.6^2$	<0.04 (0.05) ²

4.2.3 Zuurtegraad en bicarbonaat

Vochtige en venige heide hebben t.a.v. de zuurtegraad een breed referentiebereik. De zuurtegraad valt actueel op alle vergraste delen hierbinnen (Figuur 14).

Het bicarbonaatgehalte van zowel het grond- als het oppervlaktewater voldoet eveneens op de meeste plaatsen aan de referentiewaarde voor vochtige en venige heide (Figuur 19). In de zuidelijke zone werd in 2005 in het grondwater een sterk verhoogde HCO_3^- -concentratie ($>200 \text{ mg HCO}_3^-/\text{l}$)² gemeten. In tegenstelling tot de geleidbaarheid is de HCO_3^- -concentratie na 2005 niet globaal gestegen.

4.2.4 Stikstof en fosfor

Ammonium (Figuur 24). Het studiegebied wordt in de periode vóór 2000 o.b.v. de ammoniumgehalten ruwweg in noordoostelijke en zuidwestelijke zone opgedeeld. In de zuidoostelijke helft lagen de waarden globaal lager en binnen het referentiebereik van vochtige en venige heide. In de noordwestelijke zone zijn de concentraties verhoogd³ maar nog binnen het tolerantiebereik⁴.

Vermoedelijk voldoet actueel het ammoniumgehalte van het grond- en oppervlaktewater in de vergraste delen aan de referentiewaarde voor vochtige en venige heide.

Nitraat (Figuur 25). In de vergraste delen heeft het grondwater een voldoende laag NO_3^- -gehalte. Alleen in de diepe buis in de referentiesite wordt een te hoog gehalte gemeten. Voor de daar aanwezige venige heide is het geen knelpunt omdat het grondwater daar niet opwaarts stroomt.

Vermoedelijk voldoet actueel het nitraatgehalte van het grond- en oppervlaktewater in de vergraste delen aan de referentiewaarde voor vochtige en venige heide.

Orthofosfaat (Figuur 26). De gemeten fosfaatgehalten in het grondwater zijn, uitgezonderd nabij de uitstroom van de Ronde Put, alle zeer laag. Hetzelfde geldt actueel ook voor het oppervlaktewater. Een duidelijke uitzondering hierbij is een gracht die in contact staat met de omleidingsgracht.

4.2.5 Besluit

Globaal kunnen de huidige hydrochemische kenmerken als gunstig beoordeeld worden voor de ontwikkeling van venige heide. Voor vochtige heide geldt dat grotendeels ook, meer kennis over de geleidbaarheid en buffering zou echter nuttig zijn.

² Vermoedelijk ligt de concentratie er actueel lager. Zo werd in 2010 daar $\pm 80 \text{ mg HCO}_3^-/\text{l}$ gemeten, echter het staal was juist niet voldoende electroneutraal.

³ In van nature nutriëntenarme Kempische ecosystemen kunnen waarden boven $0,25 \text{ mg N/l}$ voor nitraat of ammonium zeker beschouwd worden als aangerijkt met stikstof (Vanderhaeghe et al. 2008).

⁴ Met tolerantiebereik wordt hier een suboptimale conditie bedoeld: binnen dat bereik dienen de overige standplaatscondities grotendeels optimaal te zijn opdat de vegetatietype er kan voorkomen.

4.3 Bodemopbouw en -chemie

Om inzicht te krijgen in de bodemkundige toestand van een lokatie als groeiplaats voor natte heide, dienen volgende aspecten bekeken te worden (Laurijssens *et al.* 2007):

- Algemene bodemkundige kenmerken: profielopbouw, textuur;
- Zuurtegraad en kationuitwisselingscapaciteit;
- Voedselrijkdom / plantbeschikbaarheid van stikstof en fosfor.

4.3.1 Textuur en bodemprofiel

De bodemtextuur van vochtige heide kan zand, leemhoudend zand of veen zijn. Van bodemprofiel wordt onder vochtige heide vaak een podzol met venige bovengrond of een venige ondergrond met reductieverschijnselen meteen onder de B-horizont aangetroffen (Laurijssens *et al.* 2007).

Volgens de bodemkaart komen in het studiegebied ter hoogte van de (vergraste) vochtige tot venige heide vooral veenbodems voor. Onze metingen (zie 3.1.1) bevestigen dat.

4.3.2 Zuurtegraad en kationuitwisselingscapaciteit

Hieronder vallen twee sets van variabelen: enerzijds de zuurtegraad (pH) en anderzijds de basenverzadiging en het kationenuitwisselingscomplex (CEC, cation exchange capacity) in de bodem. Vooral op basis van Vlaamse (vegetatiekundige) referentiesites voor vochtige heide en venige heide werden referentiewaarden opgesteld (Tabel 9).

Zuurtegraad. Zowel in de organische als in de minerale fractie voldoet de zuurtegraad op de onderzochte plekken (pH-H₂O, Figuur 11 en pH-KCl, Figuur 12) aan de referentiewaarden.

Kationuitwisselingscapaciteit (CEC). Heide kan zich slechts ontwikkelen op bodems met een lage tot zeer lage CEC, wat een belangrijke mede-oorzaak is voor de lage bodemvruchtbaarheid. Voor de organische fractie liggen de gemeten waarden (Figuur 13), eerder onverwacht, aan de hoge kant. Voor de minerale fractie is wel aan de vereiste voor heide voldaan.

Voor de ontwikkeling van heide is een hoge basenverzadiging geen strikte voorwaarde. Het is wel een factor die de vegetatieontwikkeling kan sturen (Roelofs *et al.* 1996). De delen van de bodem die niet met grondwater in contact staan, hebben een lage basenverzadiging (Bijlage A). In de zandlagen is ze te laag om een mineraalrijke heide te kunnen ontwikkelen.

Tabel 9 Referentiewaarden voor pH en kationuitwisselingscapaciteit van bodems onder vochtige tot venige heide.

Bodemvariabele	Horizont	Referentiebereik	Referenties
pH(H ₂ O)	Organische fractie	3,4 – 4,9	Huybrechts <i>et al.</i> 2009; Aggenbach <i>et al.</i> 1998
	Minerale fractie	4,2 – 6	Huybrechts <i>et al.</i> 2009; Aggenbach <i>et al.</i> 1998
pH(KCl)	Organische fractie	2,6 – 4,1	Huybrechts <i>et al.</i> 2009; Aggenbach <i>et al.</i> 1998
	Minerale fractie	3,2 – 5,5	Huybrechts <i>et al.</i> 2009; Aggenbach <i>et al.</i> 1998
CEC (cmol+ kg ⁻¹)	Organische fractie	10 - 27	Huybrechts <i>et al.</i> 2009; Ghesquiere <i>et al.</i> 2002
	Minerale fractie	< 18	Huybrechts <i>et al.</i> 2009

4.3.3 Voedselrijkdom

Onder voedselrijkdom wordt hier de beschikbaarheid aan nutriënten in de wortelzone verstaan. Voor zowel stikstof als fosfor worden de beschikbaarheid, de totale hoeveelheid en de verhouding van de totale hoeveelheid tot de totale hoeveelheid koolstof besproken in relatie tot referentiewaarden voor vochtige tot venige heide en tot kenmerkende waarden voor met pijpenstrootje gedegradeerde natte heide (Tabel 10).

Tabel 10 Bodemchemische referentiewaarden (nutriënten) voor vochtige tot venige heide en kenmerkende waarden voor vochtige vergraste heide. Totaal P, plantbeschikbaar P (Olsen-P), minerale N (KCl-extractie) in mg/kg DG, totaal N in g/kg DG, CEC in cmol+/kg DG. C/N en C/P zijn massaverhoudingen.

Bodemvariabele	Goed ontwikkelde vochtige tot venige heide	Heide met dominantie pijpenstrootje	Referenties
Mineraal N (KCl-extractie)	<1,4 – 6	>13	Dorland et al. 2003 Houdijk et al. 1993 Kemmers & van Delft 2007; Ghesquiere et al. 2002
Totaal stikstof			
organische fractie	< 10 – 21 (27)	>31	Dorland et al. 2003; Kemmers & van Delft 2007; Hayati & Proctor 1991; Loach 1966; Huybrechts et al. 2009; Ghesquiere et al. 2002
minerale fractie	< 4,5 – 9 (12)	>16	Dorland et al. 2003; Kemmers & van Delft 2007; Flawet; Ghesquiere et al. 2002
Totaal fosfor	< 150 – 400 (550)	>780	Hayati & Proctor 1991; Loach 1966; Huybrechts et al. 2009; Ghesquiere et al. 2002
Olsen-P	< 5 – 6,6	>13	Ghesquiere et al. 2002; Hommel et al. 2006
C/N	> 26 – 29 (35)	< 22	Troelstra et al. 1990; Dorland et al. 2003; Hayati & Proctor 1991; Ghesquiere et al. 2002; Huybrechts et al. 2009; Verhoeven et al. 1993;
C/P	> 350 – 650	< 229	Huybrechts et al. 2009; Ghesquiere et al. 2002; Verhoeven et al. 1993

Stikstof (Figuren 7, 8 en 10 in Bijlage A)

De plantbeschikbare stikstofconcentraties liggen in de veenlagen duidelijk boven de referentiewaarden voor vochtige en venige heide. Deze verhoogde waarden werden zowel in de vergraste delen als in de referentiesites gevonden. In de minerale bodemfracties zijn de plantbeschikbare gehalten een tienvoud lager en wordt in de helft van de locaties aan de referentiewaarden voldaan. Vanderhaeghe et al. (2008) signaleerden eerder al te hoge ammoniumgehalten. Zij maten in dezelfde buurt zelfs nog duidelijk hogere waarden.

Wat betreft de totaalgehalten stikstof en de C/N-verhouding blijken deze waarden voor de meeste locaties binnen het referentiebereik van vochtige tot venige heide te liggen.

De minerale stikstofconcentraties vormen zeker in de veenlagen actueel een probleem voor de ontwikkeling van heide. Vermoedelijk is het daar ook een persistent probleem. In de minerale fractie liggen ze binnen het tolerantiebereik, wat betekent dat heideontwikkeling er kan, op voorwaarde dat de overige factoren gunstig zijn.

Fosfor (Figuren 5, 6 en 9 in Bijlage A)

Net als bij stikstof liggen in de veenlagen de beschikbare fosfaatgehalten boven de referentiewaarden. Er tekent zich echter meer een ruimtelijke differentiatie af en ook de referentiesites en de vergraste delen verschillen van elkaar⁵. Op de referentiesites worden de laagste gehalten gemeten. Ook in de zuidwestelijke hoek zijn de gehalten goed tot aanvaardbaar. In de zuidoostelijke hoek liggen ze juist boven de drempelwaarde, terwijl in de noordelijke hoek ze ruim overschreden worden.

In de minerale fracties zijn de gemeten plantbeschikbare P gehalten op alle locaties laag.

Wat betreft de totaal gehalten fosfaat en de C/P-verhouding blijken deze waarden voor de alle locaties (meestal) ruim binnen het referentiebereik van vochtige tot venige heide te liggen.

4.4 Besluit

Hierboven werd aangetoond dat in de vergraste delen vooral de nutriëntenhuishouding en in het bijzonder de beschikbare hoeveelheden stikstof en fosfor in de organische bodemlaag ontoereikend is voor de ontwikkeling van natte heide. Globaal gesproken bevestigen onze metingen de bevindingen van Vanderhaeghe et al. (2008) en Vanderhaeghe et al. (2010) dat actueel de beschikbare hoeveelheden stikstof en fosfor te hoog zijn opdat een heideontwikkeling zou mogelijk zijn.

Hoewel het milieu actueel voldoet aan de opgegeven hydrologische referentiewaarden van vochtige heide (Tabel 8) is ook de hydrologie als oorzakelijke factor voor de vergrassing aan te wijzen. Deze ogenschijnlijke tegenspraak is een gevolg van een interactie tussen de variabelen bodemtextuur en GLG. 'Vochtige heide' als vegetatietype (Ericion) kan zich op veenbodem goed ontwikkelen, alleen als de grondwatertafel niet dieper dan 0,50-0,60 m wegzakt (FlaWet-databank). Vochtige heiden op zandbodems zijn minder grondwaterafhankelijk zijn: hier kan de grondwatertafel 1,20 tot 1,60 m onder het maaiveld dalen. Hoewel de globale de referentievoorwaarde voldaan zijn, geldt dat niet meer voor de referentiewaarden specifiek voor venige bodems: in de vergraste delen is de GLG actueel te laag.

De huidige toestand kan als een ideaal milieu voor pijpenstrootje gekwalificeerd worden: een vochtige, zure, maar goed verluchte bodem met een voldoende hoge stikstof én fosforvoorziening. Pijpenstrootje profiteert ten volle van de atmosferische stikstofdepositie en van de drainagewerken in het kader van de veenontginning van vorige eeuw. Zowel de verhoging van het zuurstofaanbod (Rutter 1955), stikstofaanbod (Berendse 1990) als fosforaanbod (Berendse & Aerts 1984, El-Kahloun et al. 2000, de Graaf et al. 2009) stimuleren zijn groei. Bovendien wordt de groei extra gestimuleerd wanneer beide nutriënten toenemen (Tomassen et al. 2003).

⁵ Aangezien het maar om een oriënterende studie gaat, is het aantal stalen te klein om het met betrouwbaarheidsgrenzen te kunnen onderbouwen.

5 Voorstellen voor beheer van de vergraste zones

De verklaring voor de dominantie van Pijpenstrootje in de onderzochte zones is de te hoge nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem. De dominantie zal aanhouden zolang er een verdroogde organische bodem aanwezig is, omdat de nutriëntenbeschikbaarheid niet spontaan tot op een voldoende laag niveau zal dalen. Onder een vergraste heide loogt wel stikstof uit, maar dat is 'slechts' in dezelfde grootte-orde als wat het via atmosferische depositie ontvangt (Berendse 1990). Bovendien heeft pijpenstrootje t.a.v. fosfor goede recyclagemechanismen (El-Kahloun et al. 2000) en draagt de soort door interne translocatiemechanismen ook zelf ertoe bij dat de nutriëntenbeschikbaarheid in de bodem op peil blijft (Aerts et al. 1989).

Zonder actieve beheermaatregelen is het moeilijk om in die omstandigheden het habitattype 4010 (of bij uitbreiding 7140_oli) in een gunstige staat te krijgen.

De ingrijpende wijziging van de hydrologie tijdens de vorige eeuw is een belangrijke, zoniet de belangrijkste⁶, oorzaak voor de huidige toestand. Dat bij het instandhouden of het herstel van een natte heide een gepaste hydrologie belangrijk is, werd reeds meermaals duidelijk aangetoond (bv. Rutter 1955, Berendse & Aerts 1984):

- Dopheide kan sterker wedijveren met Pijpenstrootje naarmate de grondwaterstand hoger is;
- de noodzaak aan hoge grondwaterstanden neemt toe naarmate de nutriëntenbeschikbaarheid verhoogd. 'Hoe droger, hoe voedselarmmer het milieu voor dopheide moet zijn'⁷.

We schatten dat interne maatregelen de hoofdmoot van het pakket beheeringrepen zullen uitmaken. Het is t.a.v. de stikstofhuishouding echter niet uitgesloten dat aanvullende externe maatregelen nodig zullen blijken.

Er worden hier enkele theoretische herstelpistes besproken. Deze pistes zijn niet getoetst op hun praktische haalbaarheid.

5.1 Verschralen

Puur vanuit ecologisch oogpunt hangt de dominantie van Pijpenstrootje samen met de beschikbaarheid van nutriënten. Het terugdringen of vermijden van dominantie kan dan ook slechts door de beschikbaarheid van nutriënten te verminderen.

Maaien met afvoer is de verschralingstechniek die in het natuurbeheer het meest courant wordt ingezet. Nadeel is dat het lang kan duren vooraleer de aanwezige (excess-)stock aan nutriënten uit het plant-bodemsysteem verwijderd is. We illustreren dit aan de hand van volgende berekening. Stel dat:

- de bewortelde diepte 10 cm is;
- droog veen een dichtheid heeft van ong. 400 kg/m³;
- dat de mineralisatiesnelheid in grazige heide 100 kg N ha⁻¹ is (Berendse et al. 1987);
- dat de afbraak van het organisch materiaal gelijkmatig verloopt;

⁶ Waarschijnlijk is verdroging de hoofdoorzaak van de vergrassing. Een aanwijzing hiervoor is het feit dat zowel de stikstof- als de fosforbeschikbaarheid te hoog zijn.

⁷ Het toont bovendien aan dat niet alleen een interactie bestaat tussen bodemtextuur en hydrologie, maar ook tussen hydrologie en nutriëntenbeschikbaarheid

- dat de bedekking van Pijpenstrootje maar zal verminderen ten voordele van vochtige tot venige heide vanaf wanneer de plantbeschikbare stikstof gedaald is tot een concentratie die in het referentiebereik van vochtige tot venige heide ligt;

en gegeven dat:

- Veen een totaal stikstofgehalte heeft van minstens 10 g N kg^{-1} droog veen en een plantbeschikbare stikstofgehalte van minimaal 30 mg N kg^{-1} droog veen;
- De referentiewaarde voor vochtige tot venige heide $\leq 6 \text{ mg N kg}^{-1}$ droog veen bedraagt;

dan kan berekend worden dat men minstens 60 jaar bovengrondse productie moet verwijderen (maaïen en afvoeren) om de stikstofgehalten in de bovenste bodemlaag (10 cm) voldoende terug te dringen⁸. Dat is uiteraard maar een ruwe schatting, want bv. enerzijds zal met de jaren het organisch materiaal moeilijker afbreken (lagere mineralisatiesnelheid), maar anderzijds is het ook onduidelijk wat de invloed is van de de actueel stikstofrijke veenlaag onder 10 cm en wordt via atmosferische depositie jaarlijks $25\text{--}30 \text{ kg N ha}^{-1}$ onder een snel opneembare vorm aangereikt, terwijl de hoeveelheid stikstof in de bovengrondse biomassa van Pijpenstrootje schommelt tussen 70 en 130 kg N ha^{-1} (Aerts & Berendse 1989). Verschralen door maaïen zal onder de huidige milieu- en klimaatcondities daarom waarschijnlijk een proces van lange adem worden.

Het verschralingsproces versnellen door het toepassen van de strategie van uitmijnen is hier geen goede optie, want deze maatregel functioneert enkel wanneer stikstof de productie sterk limiteert. Dat is hier niet het geval. Daarenboven zal het toedienen van een nutriënt mogelijk een impact hebben op de aanpalende delen.

Ook bekalken is hier af te raden omdat het mogelijk maar tijdelijk werkt. Mocht het al zo zijn dat door te bekalken het aanwezige organische materiaal vlot afbreekt, dan zal het gemineraliseerde fosfor maar ten dele afgevoerd worden. Het andere deel zal ter plekke als fosfaat adsorberen of neerslaan. De zuurtegraad van de bodem, die door de bekalking verlaagd werd, zal, bij afwezigheid van periodieke onderhoudsbehandelingen, mettertijd terug toenemen. Een deel van de neergeslagen of geadsorbeerde fosfaten zullen hierdoor weer vrijgesteld worden, bv. wanneer de pH onder de 4,5 duikt (Verhoeven et al. 1993), en zo vergrassing in hand de werken.

5.2 Plaggen

Met het plaggen wordt niet alleen de bovengrondse biomassa, maar ook de ondergrondse biomassa (de wortelzone) verwijderd. Zo wordt een pioniersmilieu geschapen waarbij het bijv. voor heidesoorten het relatief makkelijker wordt om zich weer te vestigen.

Berendse & Aerts (1984) vonden echter dat onder gecontroleerde omstandigheden bij een grondwaterstand van 0,4 m of meer onder maaiveld pijpenstrootje, ongeacht de nutriëntentoestand, competitiever bleef dan dopheide. De kans is daarom reëel dat ook na plaggen pijpenstrootje weer de bovenhand zal halen, indien parallel geen bijkomende (hydrologische) maatregelen genomen worden.

Deze maatregel zal bovendien maar een kans op duurzaam slagen hebben, indien tot op de zandfractie geplagd wordt.

⁸ Elk jaar wordt onder deze omstandigheden 2,5% van het totaal stikstof gemineraliseerd. Het benodigde aantal jaar verschralen volgt dan uit de formule: $6/30 = 0.975^t$, met t het aantal jaar.

5.3 Begrazing

Begrazing heeft een effect op de concurrentieverhoudingen tussen soorten omdat het vooral inwerkt op de verstoringfactor ('disturbance' sensu Grime 1979) en in veel mindere mate doordat het een tekort ('stress') creëert.

Dopheide is eerder een stress-tolerante soort, pijpenstrootje is een typische stress-tolerante competitor. Dat betekent dat dopheide vooral concurrentieel voordeel haalt uit een toename van de stress en minder uit een toename van de verstoring. Hoewel pijpenstrootje vlotter dan heide kan regenereren na begrazing, kan door het selectief te begrazen wel benadeeld worden. Het is onduidelijk of bij de huidige abiotische toestand een dergelijk uitgekiend begrazingsregime kan gevonden worden.

5.4 Branden

Door te branden vermindert de hoeveelheid organische stof, maar het wakkert ook de productie ervan aan. Gecontroleerd branden als een eenmalige maatregel is daarom slechts een optie indien de veenbodem zodanig verdroogd is dat niet alleen het oppervlakkige organische materiaal zal verbranden maar dat het ook in de diepte zou branden.

Het is noodzakelijk deze maatregel te combineren met 'plaggen'⁹ of 'ontgronden'. Zonder te plaggen loopt men een groot risico dat er een sterk aangerijkte toplaag achterblijft, die door o.a. pijpenstrootje snel zal gekoloniseerd worden. Door eerst te branden en vervolgens het overblijvende deel weg te graven, krijgt men eigenlijk hetzelfde effect als met het verwijderen van de volledige veenlaag.

Het is vooral een tijds- en kostenbesparende maatregel, die alleen kan renderen als een aanzienlijk deel van de verdroogde veenlaag zo kan verwijderd worden. Gezien de biologische nadelige impact dient het kleinschalig uitgevoerd te worden. Aan de maatregel zal best ook een voorlichtingscampagne gekoppeld worden.

5.5 Verwijderen veenlaag (ontgronden)

De GLG is t.o.v. een referentiesite voor heide op veen (Mechelse heide, Breedven) 15–30 cm te laag (zie Tabel 6 en sectie 4.1.1). Daarenboven heeft pijpenstrootje op die referentiesite een lagere bedekking. Als we rekening houden dat de bodem op plaatsen met een hogere bedekking van pijpenstrootje relatief natter moet zijn opdat dopheide pijpenstrootje kan beconcurreren en het milieu in de vergraste delen voedselrijker is t.o.v. de referentiesites (en dus pijpenstrootje bevoordelt) is het aan te bevelen een GLG > -0,30 m i.p.v. -0,50 – -0,60 te hanteren. Op die manier creëer je een milieu waar op korte tot middellange termijn alleen venige heide een optie is.

Dat is hier realiseerbaar door de sterk veraarde veenlaag tot op de zandlaag te verwijderen of tot op het niveau van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand¹⁰. De kans is dan reëel dat aan de hydrologische en aan de bodemchemische condities kan voldaan worden.

⁹ In de Vallei van de Zwarte beek wordt met succes vergraste natte heide hersteld door oppervlakkig (dus ondiep) branden in de wintermaanden te laten aansluiten door een tijdelijk intensievere begrazing of een maaibeheer (mond. med. M. Van Waerebeke, ANB). Dat is echter vooral toegepast op zandige bodems (is nagevraagd).

¹⁰ De GVG is immers ong. 0.25 m hoger dan de GLG. Ter voorbereiding van de werkzaamheden kan het uitzetten van een tijdelijk raster van boorputten in de zone met meer dan een 0.5m dikke veenlaag (max. <1m diep, diameter: 3-5 cm) waarin het waterpeil in de periode 15 maart -15 april wekelijks wordt opgemeten een goed beeld geven van de wenselijk af te graven diepte.

Het peil van het oppervlaktewater zal bepalen in welke mate de afgegraven delen zullen inunderen. In voorkomend geval zich eerst een pionier venoevervegetatie ontwikkelen, die door natuurlijke successie zal evolueren naar een natte heide. Misschien zijn er op lange termijn mogelijkheden voor de ontwikkeling van hoogveen. Gelijkaardige omstandigheden zijn actueel bijvoorbeeld terug te vinden in de bovenloop van Zwarte beek.

Deze maatregel kan op experimentele¹¹ of gefaseerde wijze uitgevoerd worden en de impact op de hydrologie van de naburige reeds goed ontwikkelde heidevegetaties kan men beperkt houden.

Het zal een vrij dure beheermaatregel zijn, die echter voor het grootste deel uit een eenmalige ingreep zal bestaan. Het is nodig hierbij nog een kanttekening te maken : in de bovenste zone van de organische bodems ligt de concentratie van cadmium en eenmalig ook van lood hoger dan de bodemsaneringsnorm voor vrij gebruik in o.a. natuurgebied (Vlarebo Quatro – 14/12/2007).

5.6 Verhogen waterpeil (vernatten)

Vanderhaeghe et al. (2008) berekenden dat via het nemen van maatregelen in het infiltratiegebied die de infiltratie bevorderen en de drainage verminderen ('extern peilbeheer') de algemene grondwatertafel gemiddeld met 0,1 m kan stijgen. Vooral door het dempen/verondiepen van grachten kan de grondwatertoevoer naar maaiveld aan de randen van de Ronde Put vergroten en zal deze maatregel de potentiële oppervlakte venige heide vergroten en de mineralenrijkdom in de wortelzone verhogen, wat een verwacht positief effect heeft voor verschillende karakteristieke soorten.

Uit hun scenarioberekeningen valt eveneens af te leiden dat ter hoogte van de vergraste zones het waterpeil maximaal 0,15 m zal stijgen. Bijgevolg zullen aanvullende lokale maatregelen ('intern peilbeheer' = het verhogen van het oppervlaktewaterpeil met 25–30 cm) nodig blijven om de dominantie van pijpenstrootje te kunnen doorbreken (zie 5.5).

Voordelen van deze beheermaatregel zijn dat de uitvoering op zich minder zal kosten dan het afgraven van de veraarde veenlagen en dat er zich mogelijk al op een kortere termijn een vochtige heide kan ontwikkelen.

Er zijn aan deze beheeroptie ook enkele nadelen verbonden. Zo blijft het onzeker of vernatting (combinatie van intern en extern peilbeheer) kan volstaan om een gunstig uitgangssituatie te creëren. We betwijfelen dat alleen herstelmaatregelen in de regionale of lokale waterhuishouding kunnen volstaan en dat deze maatregelen op zijn minst dienen aangevuld te worden door het ondiep plaggen van de vergraste delen. En zelfs dan blijft de uitkomst onzeker, gezien de hoge nutriëntenbeschikbaarheid.

Bovendien heeft een verhoging van het oppervlaktewaterpeil een mogelijk nadelig effect op de huidige reeds goed ontwikkelde vegetaties.

5.7 Overige

Voor de gracht die in directe verbinding staat met de goed ontwikkelde venige heide, is het aan te bevelen het (o.a. met fosfaten belast) water van deze gracht om te leiden naar de ringgracht.

¹¹ Om randeffecten (bijv. het instromen van aangerijkt water) te vermijden is het aan te bevelen toch een minimale oppervlakte van 50m bij 50m te hanteren.

Bijlage A Resultaten bodemanalysen

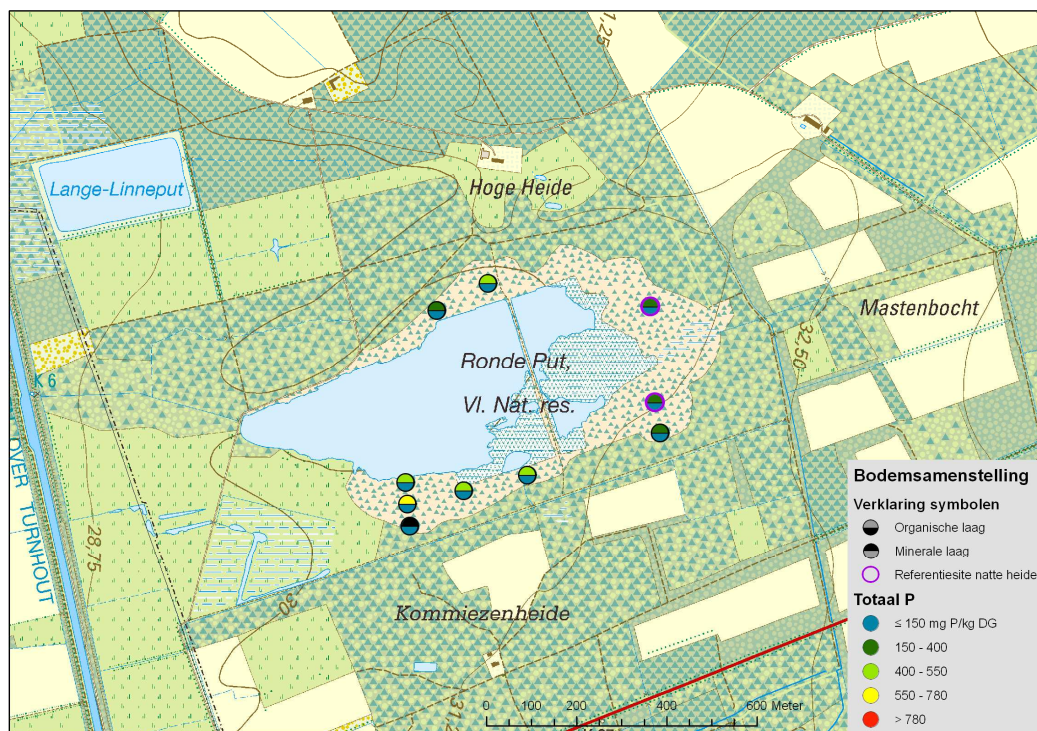
Staalcode	Vegetatie	Textuur	Organische stof		Zuurgraad		Geleid- baarheid	Stikstof totaal	Stikstof Kjeldahl	Stikstof KCl-extractie luchtdroog 40°C		Koolstof totaal	C/N
			g OS/100 g DG	%C (=O.S/1,8)	pH (H2O)	pH (KCl)	µs/cm (25°C)	g N/100g DG	g N/100g DG	mg N/kg DG	g C/100 g DG	g/g	
6v	Pijpenstro	veen	84,2	46,8	4,23	3,57	176,7	1,5	1,78	34,3	46,8	46,5	26,1
7v	Pijpenstro	veen	50,9	28,3	4,09	3,40	87,8	1,0	1,23	36,2	36,2	33,1	26,8
8v	Pijpenstro	veen	85,2	47,3	3,66	2,83	132,0	1,5	1,83	47,2	79,2	44,5	24,4
9v	Pijpenstro	veen	86,7	48,2	3,53	2,56	123,7	1,1	1,72	30,8	50,5	48,8	28,4
10v	Pijpenstro	veen	78,9	43,8	3,45	2,55	151,9	1,0	1,55	39,6	41,5	48,5	31,2
11v	Pijpenstro	veen	83,4	46,3	3,48	2,56	146,1	1,2	1,74	29,7	51,1	45,4	26,1
12v	Pijpenstro	veen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13v	Pijpenstro	veen	64,5	35,8	3,92	-	636,2	1,4	1,27	60,6	112,4	38,0	30,0
14v	Venige heide	veen	24,0	13,3	4,96	4,22	156,8	0,4	0,51	12,5	17,4	13,4	26,1
15v	Venige heide	veen	81,2	45,1	-	-	-	1,4	1,52	51,2	89,7	48,4	31,9
6z	Pijpenstro	zand	3,6	2,0	4,62	3,80	34,2	<0,1	0,08	2,3	7,4	2,4	29,7
7z	Pijpenstro	zand	2,6	1,4	4,80	3,92	27,7	<0,1	0,07	4,7	7,1	1,5	20,8
8z	Pijpenstro	zand	5,6	3,1	4,29	3,42	41,0	0,1	0,13	10,8	14,4	4,2	32,4
9z	Pijpenstro	zand	3,4	1,9	3,98	3,19	38,0	<0,1	0,09	3,6	10,0	2,5	27,3
10z	Pijpenstro	zand	1,6	0,9	4,18	3,70	28,8	<0,1	<0,05	1,2	2,3	0,7	>14,4
11z	Pijpenstro	zand	3,0	1,7	4,82	3,89	35,7	<0,1	0,09	4,8	6,6	1,6	17,5
12z	Pijpenstro	zand	2,7	1,5	4,05	3,20	27,7	<0,1	0,07	1,0	1,4	1,6	24,7
13z	Pijpenstro	zand	2,2	1,2	4,41	3,69	29,0	<0,1	0,05	0,8	5,8	1,4	27,7
14z	Venige heide	zand	2,3	1,3	5,62	4,69	27,7	<0,1	<0,05	2,7	4,0	1,3	>25,2
15z	Venige heide	zand	1,2	0,7	5,24	4,60	51,5	<0,1	<0,05	1,7	4,9	0,7	>13,8

Staalcode	Vegetatie	Textuur	CEC	Basen- verzadiging	uitw.-Ca	Fosfor (Olsen)		P	C/P	S	Al	Fe	Mn
						luchtdroog 40°C							
			cmol+/kg DG	-	meq/kg DG	mg P/kg DG		mg/kg DG	g/g	mg/kg DG			
6v	Pijpenstro	veen	41,2	4 - 5 %	35,0	28,1	4,4	450	1033	6000	3960	4530	17
7v	Pijpenstro	veen	36,0	2 - 6 %	14,0	37,3	7,5	450	735	3150	8530	5340	12
8v	Pijpenstro	veen	40,1	2 - 5 %	16,0	40,8	21,9	500	891	4300	4710	4920	7
9v	Pijpenstro	veen	39,7	1 - 5 %	11,0	76,3	60,0	350	1395	4050	4070	6120	7
10v	Pijpenstro	veen	37,0	1 - 5 %	11,0	38,5	21,8	350	1387	2900	4050	3300	14
11v	Pijpenstro	veen	38,8	< 5 %	<10	70,5	42,9	500	908	4500	4680	8330	17
12v	Pijpenstro	veen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13v	Pijpenstro	veen	36,5	3 - 5 %	22,0	25,4	9,3	600	633	3550	4130	3460	14
14v	Venige heide	veen	20,2	4 - 10 %	16,0	9,6	4,7	250	535	2500	20800	6400	26
15v	Venige heide	veen	37,4	4 - 5 %	32,0	9,8	6,5	300	1615	7750	3510	12470	47
6z	Pijpenstro	zand	16,0	< 13 %	<10	5,2	3,0	<50	>473	350	3740	1540	17
7z	Pijpenstro	zand	14,5	< 14 %	<10	5,9	3,1	<50	>290	300	3530	1630	16
8z	Pijpenstro	zand	16,9	< 12 %	<10	5,5	4,2	<50	>833	500	4350	2090	21
9z	Pijpenstro	zand	15,4	< 13 %	<10	6,3	3,6	50	492	450	4640	1510	15
10z	Pijpenstro	zand	12,3	< 16 %	<10	3,4	1,9	<50	>144	200	2570	1140	14
11z	Pijpenstro	zand	15,3	< 13 %	<10	6,0	3,4	<50	>320	350	5430	2430	28
12z	Pijpenstro	zand	15,5	< 13 %	<10	10,7	<1	<50	>325	150	970	290	6
13z	Pijpenstro	zand	14,5	< 14 %	<10	5,5	2,6	50	288	200	2510	970	11
14z	Venige heide	zand	14,0	< 14 %	<10	3,6	1,3	<50	>252	400	3430	1620	14
15z	Venige heide	zand	13,4	< 15 %	<10	3,4	1,5	<50	>138	500	2920	1880	13

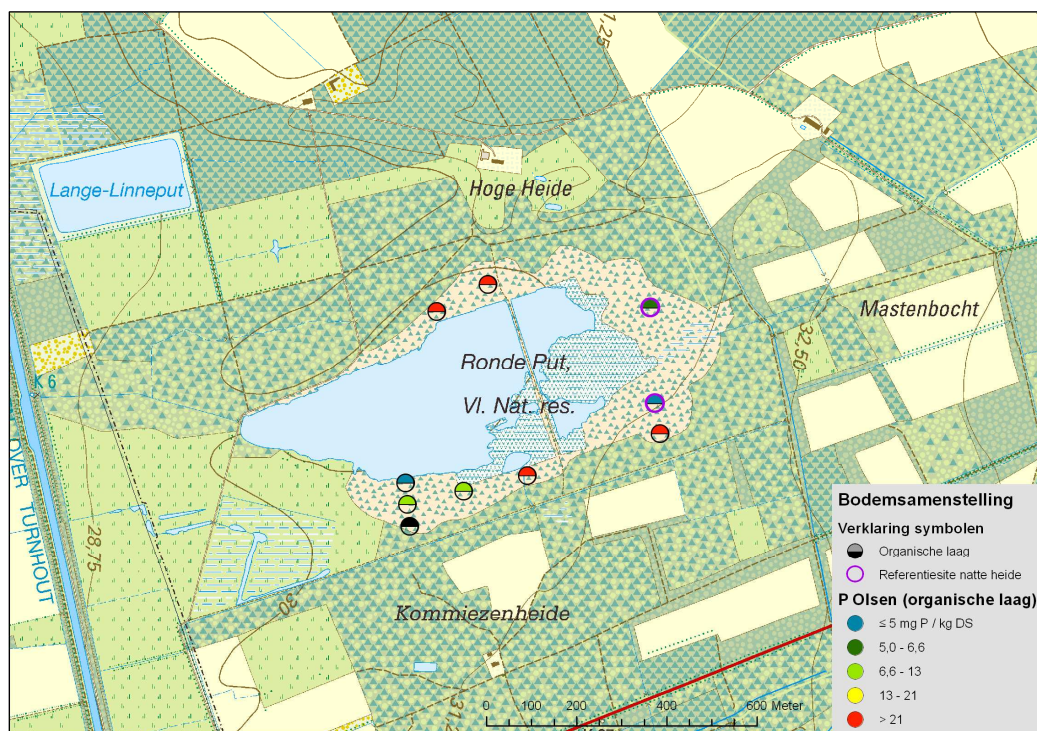
Staalcode	Vegetatie	Textuur	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	
			mg/kg DG									
6v	Pijpenstro	veen	12,5	4,7	10,5	8,5	28	18,0	159,0	<2	214	
7v	Pijpenstro	veen	16,0	1,5	15,0	27,0	10	27,0	72,0	<2	64	
8v	Pijpenstro	veen	16,5	2,3	8,5	11,0	28	14,5	649,5	<2	131	
9v	Pijpenstro	veen	7,5	2,6	6,0	9,5	10	15,0	62,0	<2	105	
10v	Pijpenstro	veen	8,5	3,1	4,5	9,0	25	7,5	133,5	<2	142	
11v	Pijpenstro	veen	8,0	2,9	6,0	10,0	23	14,5	129,0	<2	78	
12v	Pijpenstro	veen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13v	Pijpenstro	veen	8,5	3,1	6,0	9,5	32	12,5	164,0	<2	118	
14v	Venige heide	veen	12,5	0,5	2,5	43,5	10	7,5	43,0	<2	32	
15v	Venige heide	veen	14,0	0,9	3,5	10,0	29	7,5	104,0	<2	75	
6z	Pijpenstro	zand	2,0	<0,1	1,5	7,5	<1	2,0	2,5	<2	6	
7z	Pijpenstro	zand	2,5	<0,1	2,0	7,5	<1	3,0	3,0	<2	9	
8z	Pijpenstro	zand	2,5	<0,1	1,5	10,0	1	3,0	4,0	<2	11	
9z	Pijpenstro	zand	2,5	<0,1	1,0	11,5	<1	3,0	3,5	<2	11	
10z	Pijpenstro	zand	1,0	<0,1	1,0	6,0	<1	1,5	1,5	<2	5	
11z	Pijpenstro	zand	3,5	<0,1	2,0	13,0	1	4,0	3,0	<2	6	
12z	Pijpenstro	zand	<0,5	0,2	<0,5	1,5	1	0,5	1,5	<2	5	
13z	Pijpenstro	zand	1,0	<0,1	1,0	5,5	<1	1,5	2,0	<2	11	
14z	Venige heide	zand	2,0	<0,1	0,5	7,5	1	2,0	2,5	<2	5	
15z	Venige heide	zand	2,5	<0,1	1,5	6,0	<1	2,5	2,0	<2	19	

-	geen meting											
DG	droge grond											
cmol+	0,01 mol positief geladen adsorptieplaatsen											
uitw. Ca:	uitwisselbaar Ca: Ca gebonden aan het adsorptiecomplex (gehalten van K, Mg en Na lagen beneden de detectielimiet van 5 mmol+/kg bodem)											
	gehalte boven de bodemsaneringsnorm voor vrij gebruik in bestemmingstype 1 en 2 (Vlarebo Quatro - 14/12/2007)											
	gehalte boven de bodemsaneringsnorm voor vrij gebruik in bestemmingstype 1, 2 en 3											

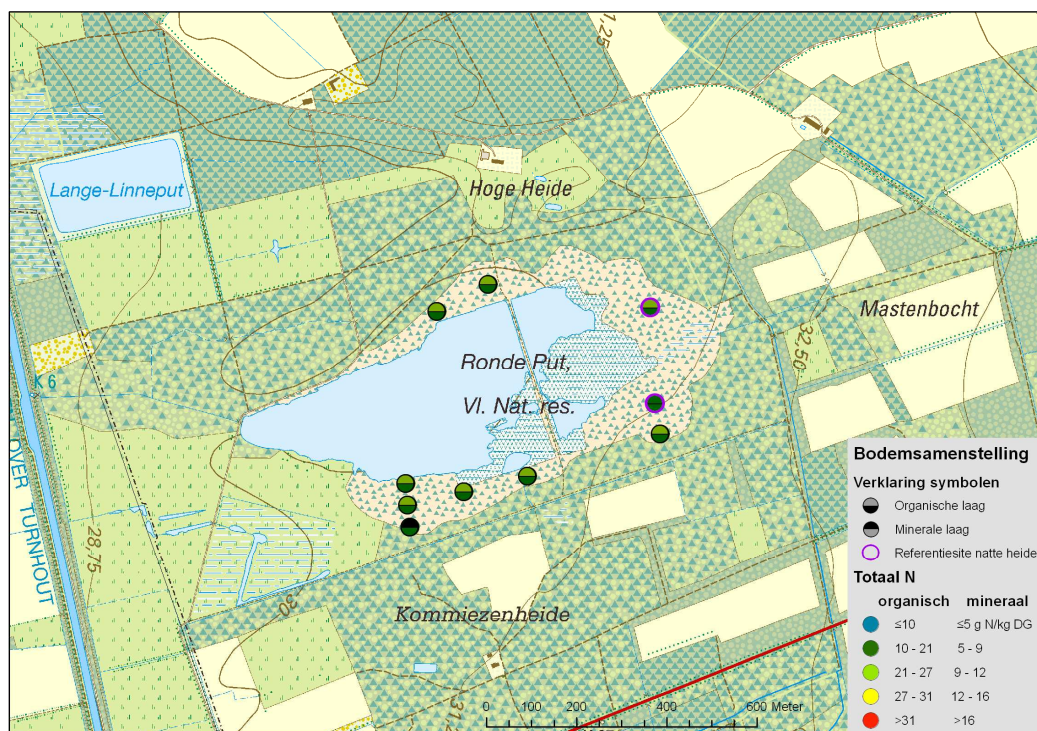
Bijlage B Figuren bodemanalysen



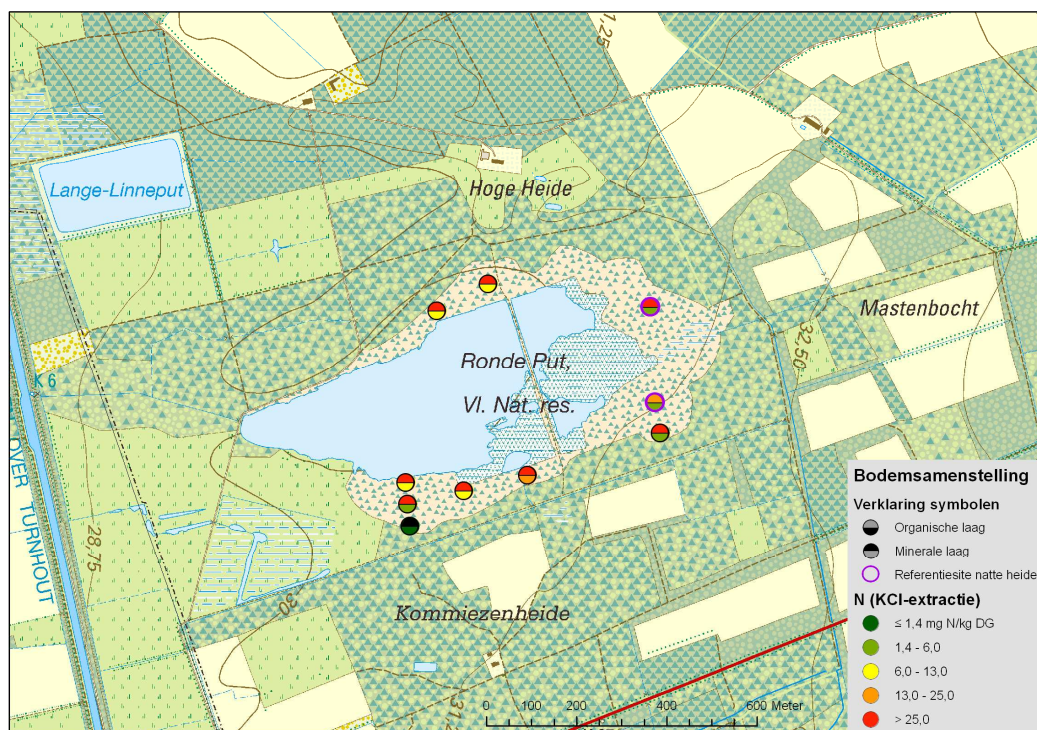
Figuur 5 Concentratie totaal fosfor (mg P kg^{-1}) in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties



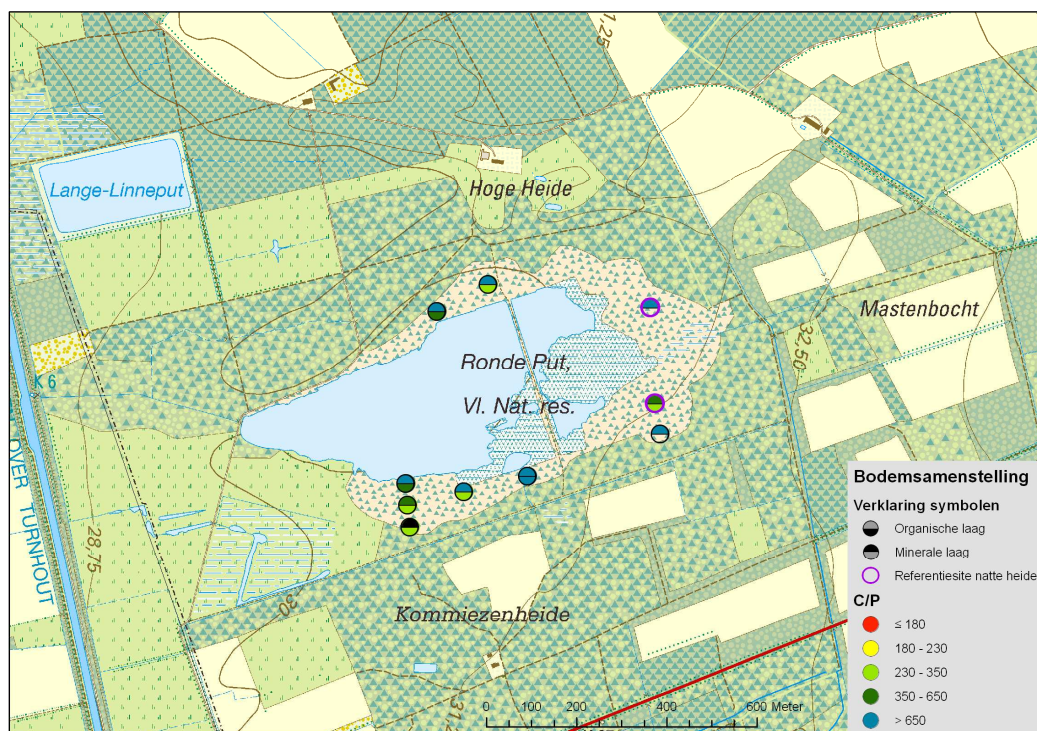
Figuur 6 Concentratie plantenbeschikbaar P (Olsen-P, mg P kg^{-1}) in de veenfractie op de 10 meetlocaties



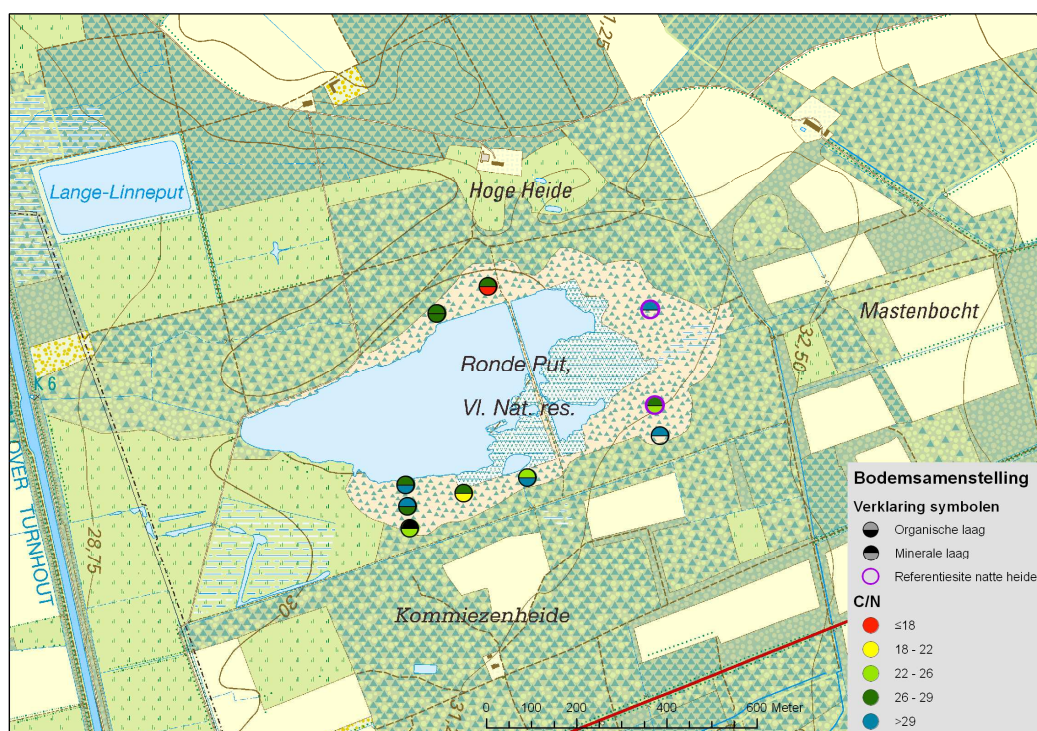
Figuur 7 Concentratie totaal stikstof (g N kg^{-1} droge grond) in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties



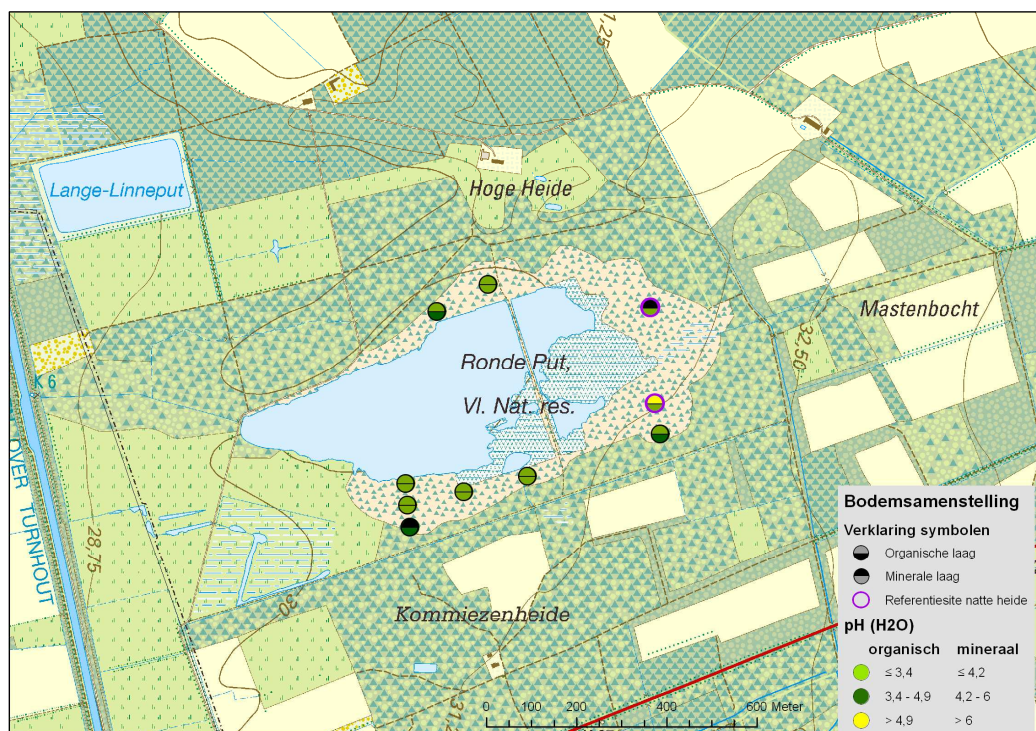
Figuur 8 Concentratie anorganisch N (mg N kg^{-1} droge grond) in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties



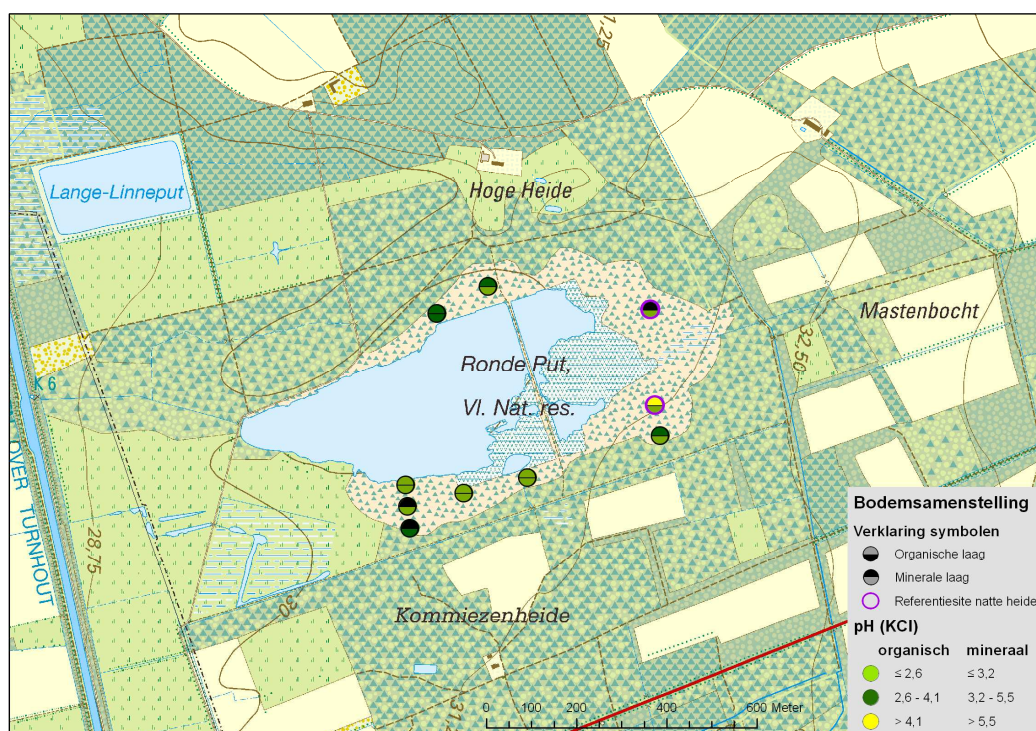
Figuur 9 Gewichtsverhouding koolstof:fosfor in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties



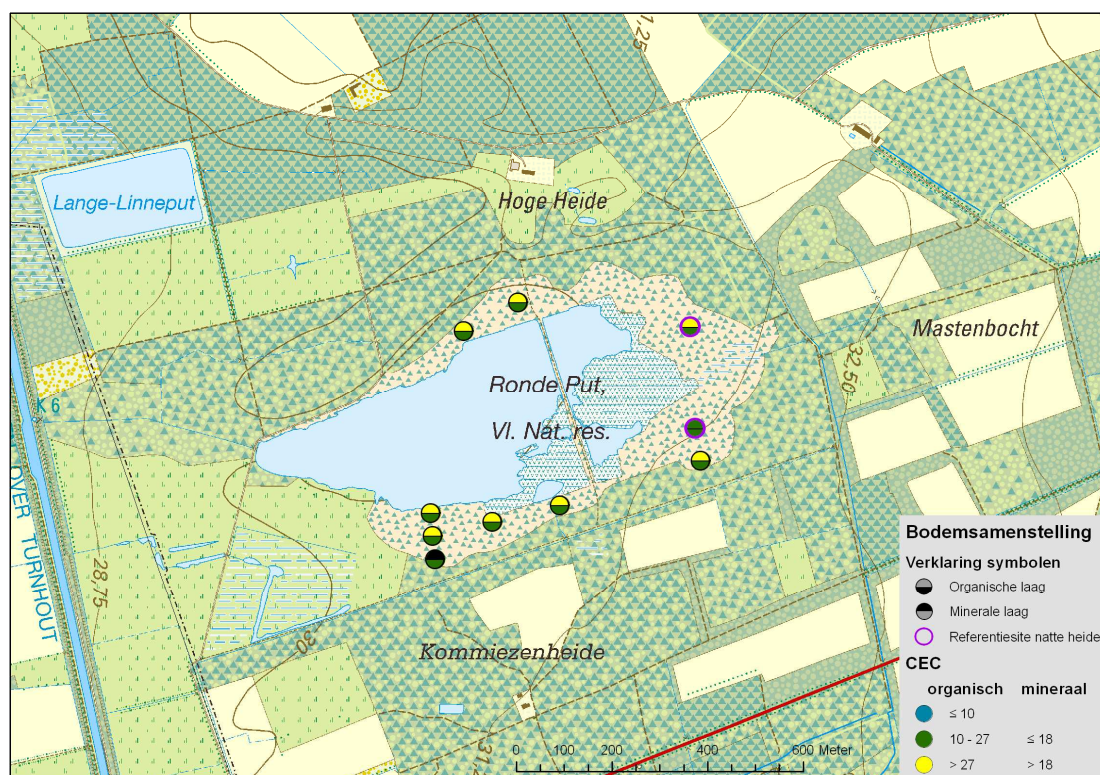
Figuur 10 Gewichtsverhouding koolstof:stikstof in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties



Figuur 11 Zuurtegraad (pH-H₂O) van de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties

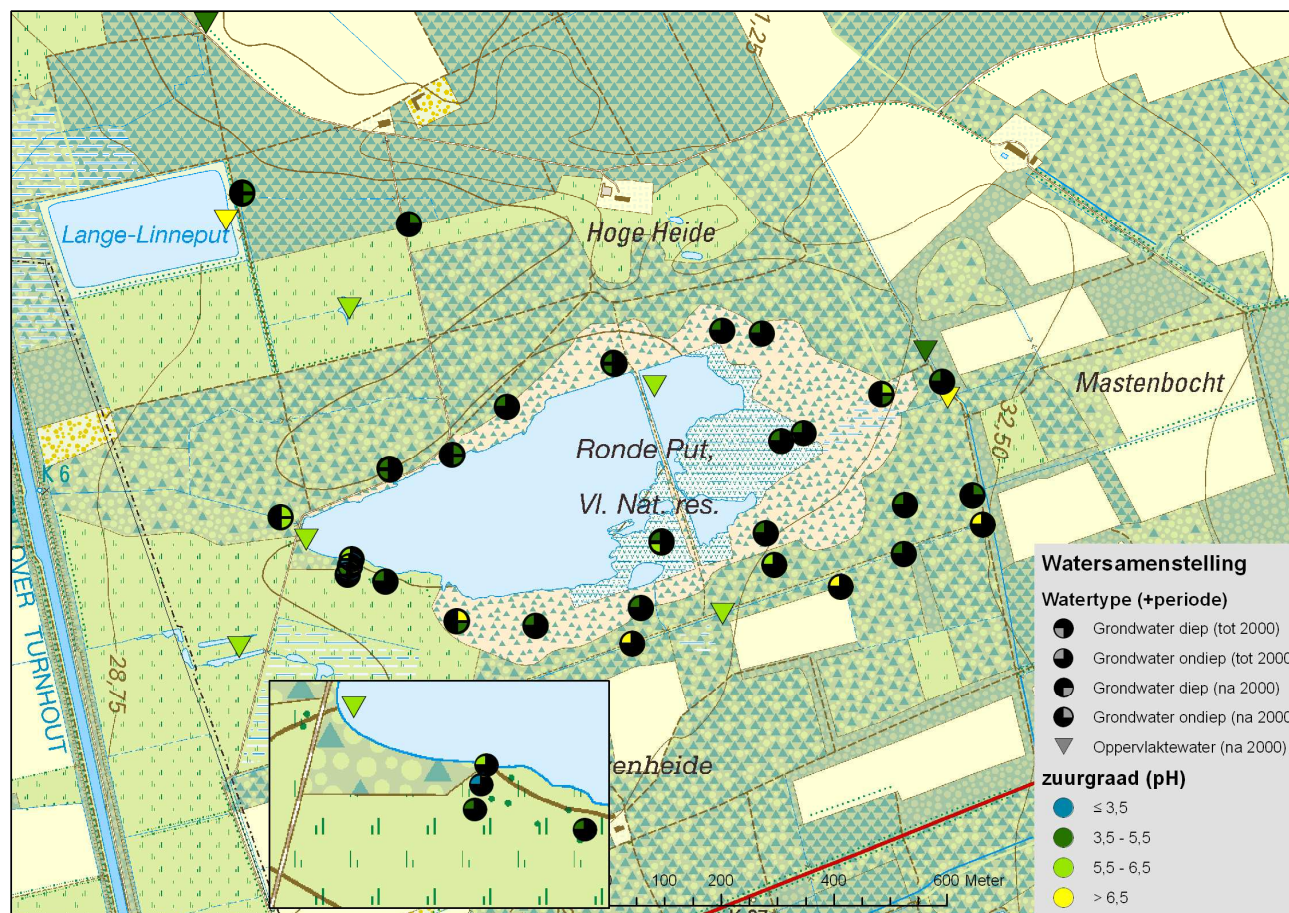


Figuur 12 Zuurtegraad (pH-KCl) van de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties

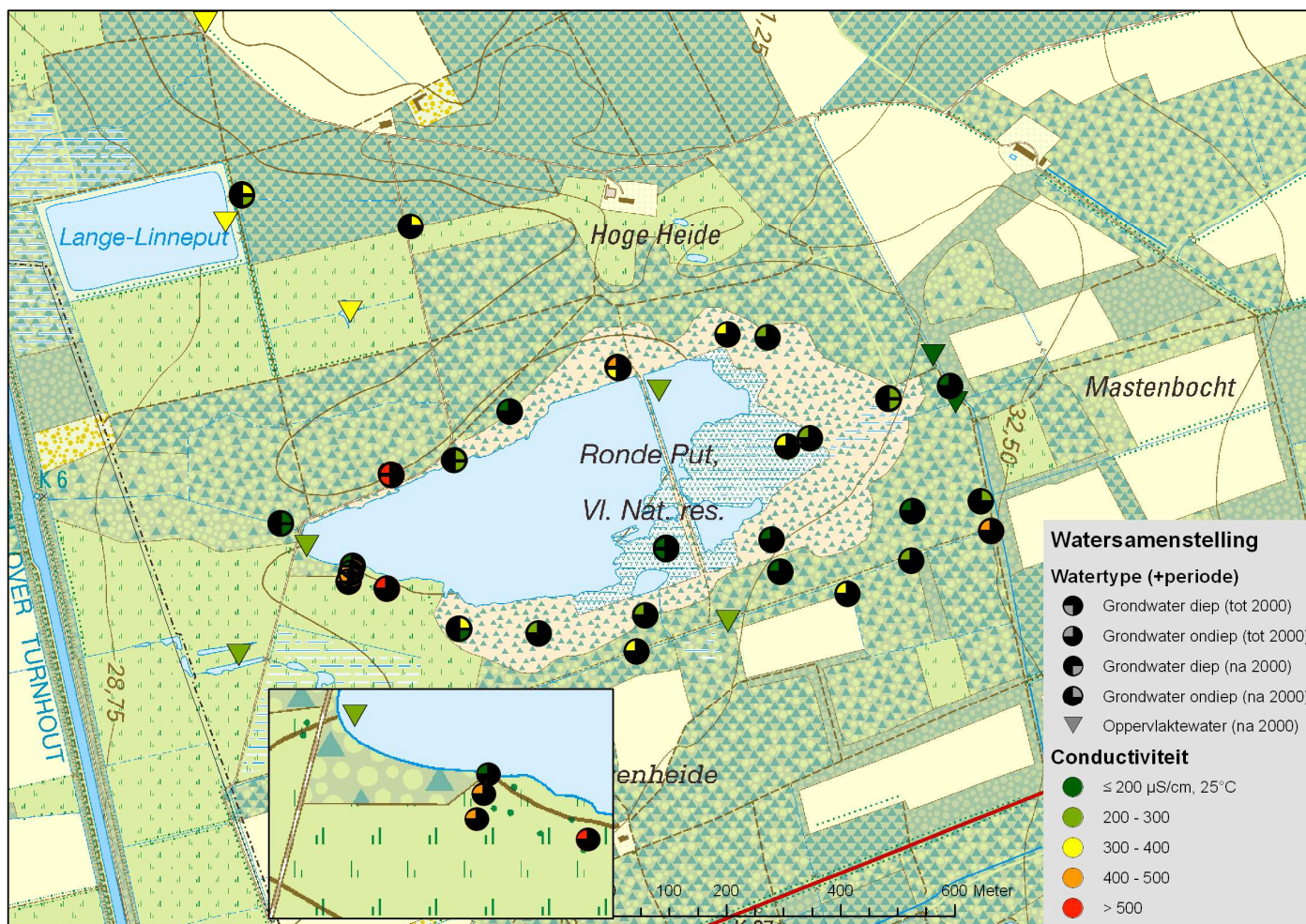


Figuur 13 Kationuitwisselingscapaciteit (CEC; $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ droge grond) van de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties

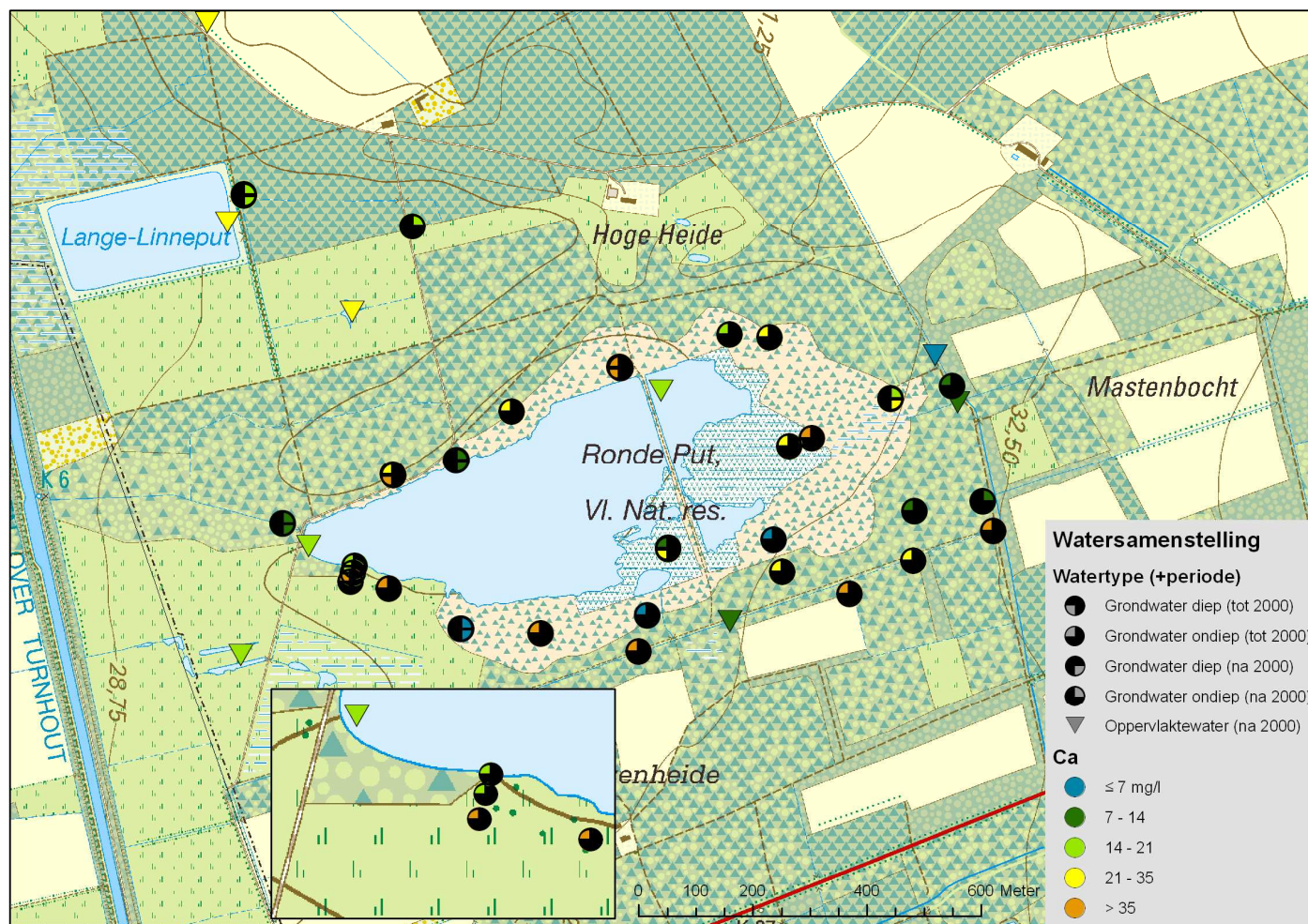
Bijlage C Figuren wateranalysen



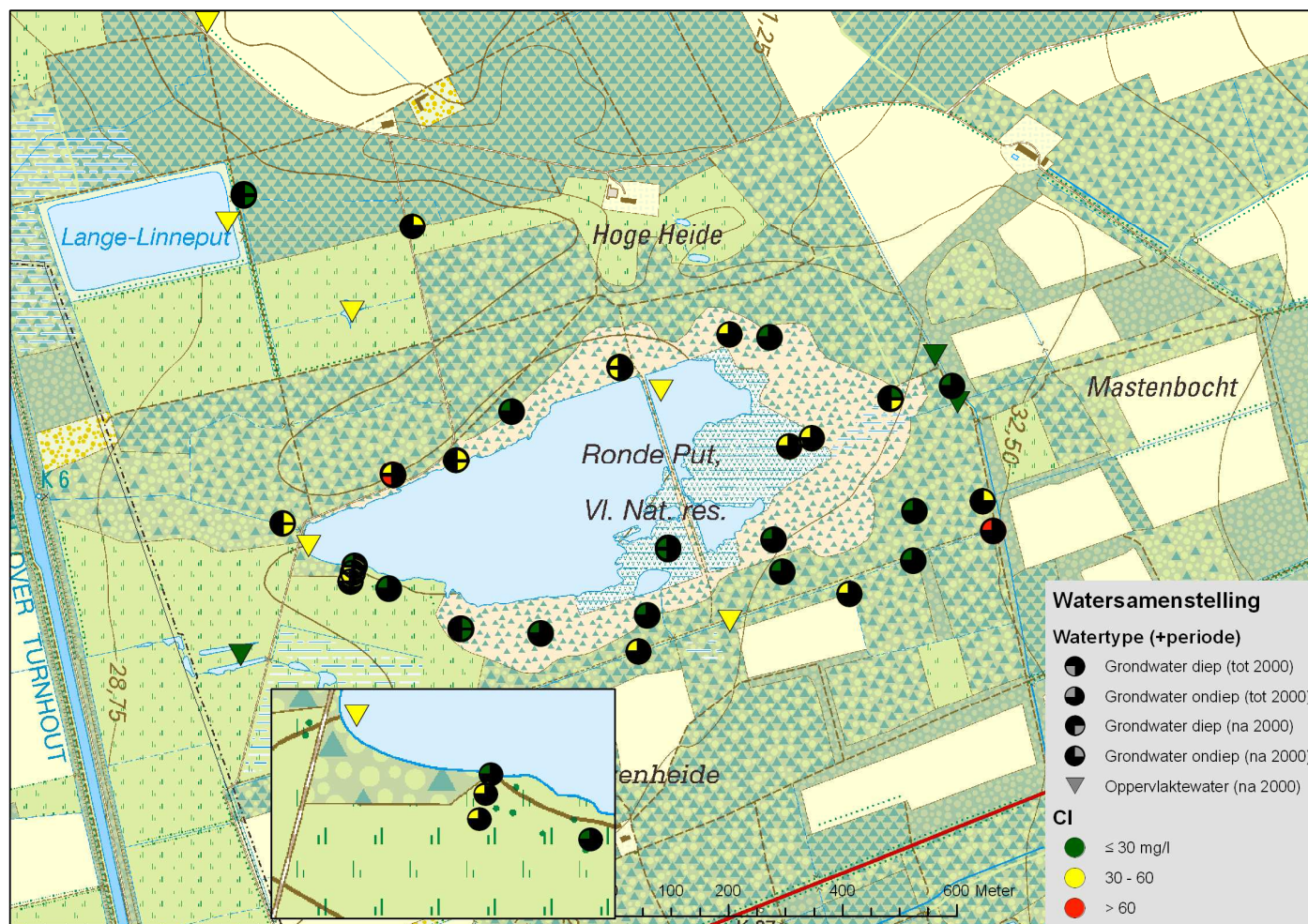
Figuur 14 Zuurtegraad (pH) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



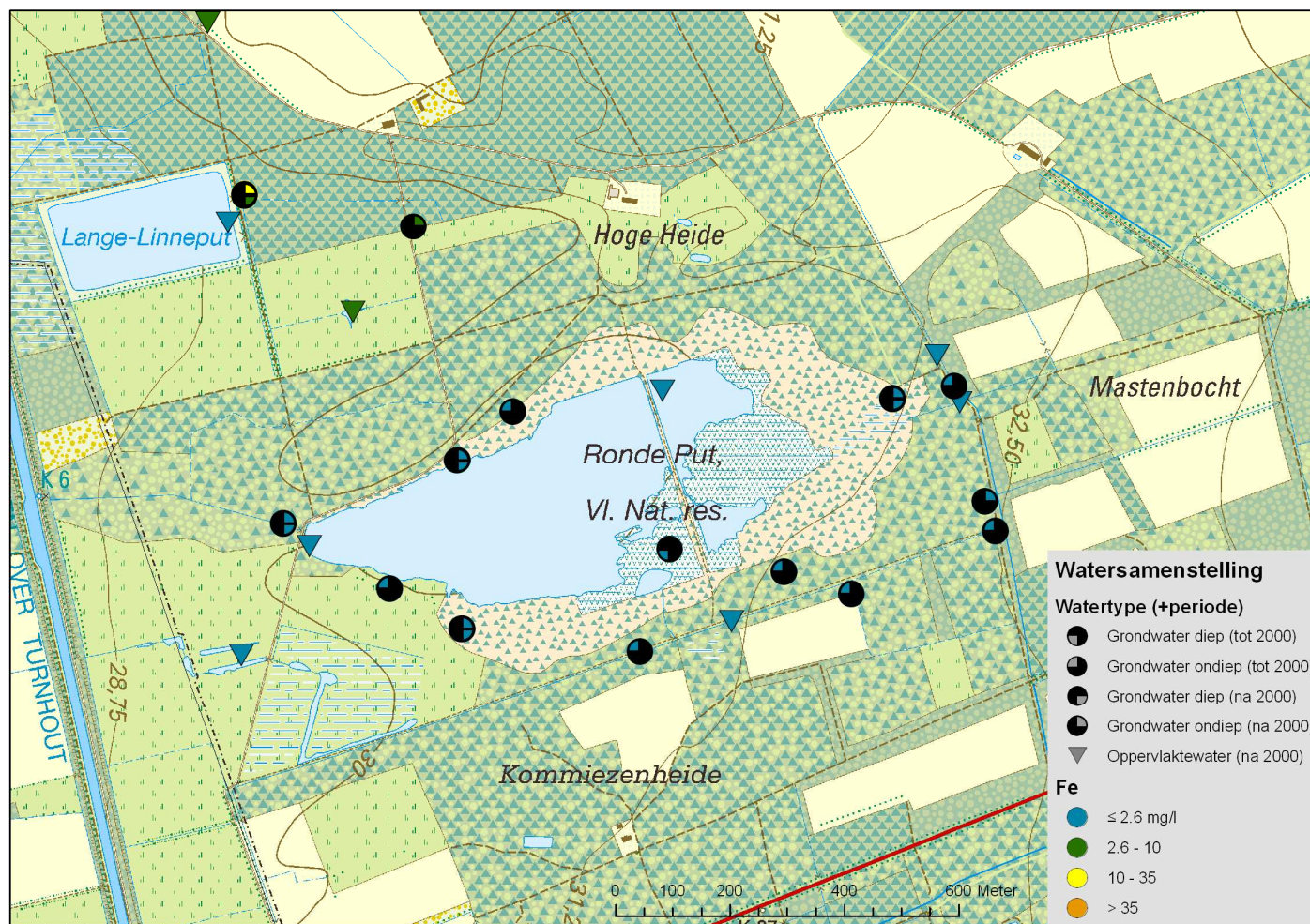
Figuur 15 Geleidbaarheid ($\mu\text{S cm}^{-1}$) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



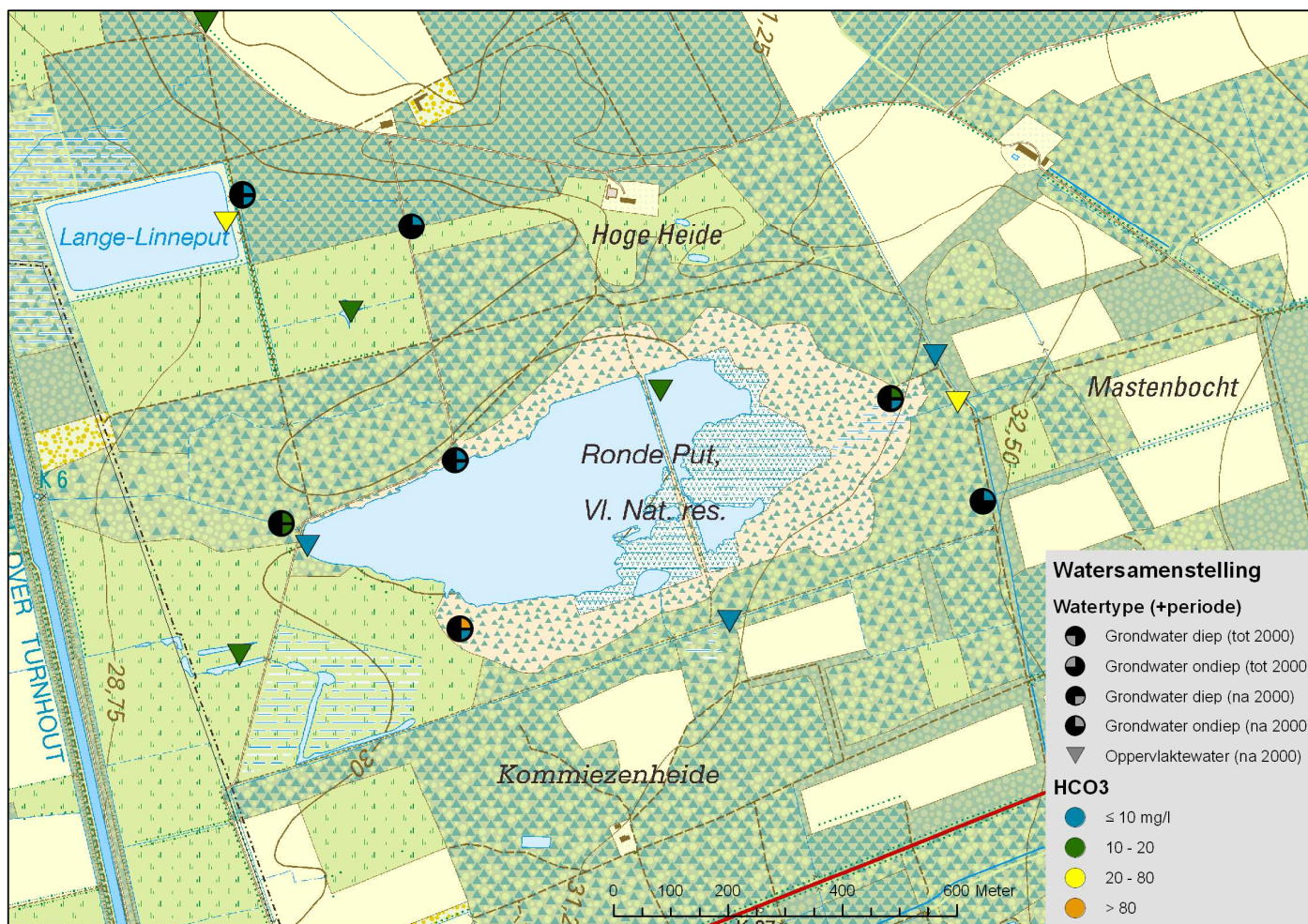
Figuur 16 Calciumconcentratie (mg Ca L⁻¹) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



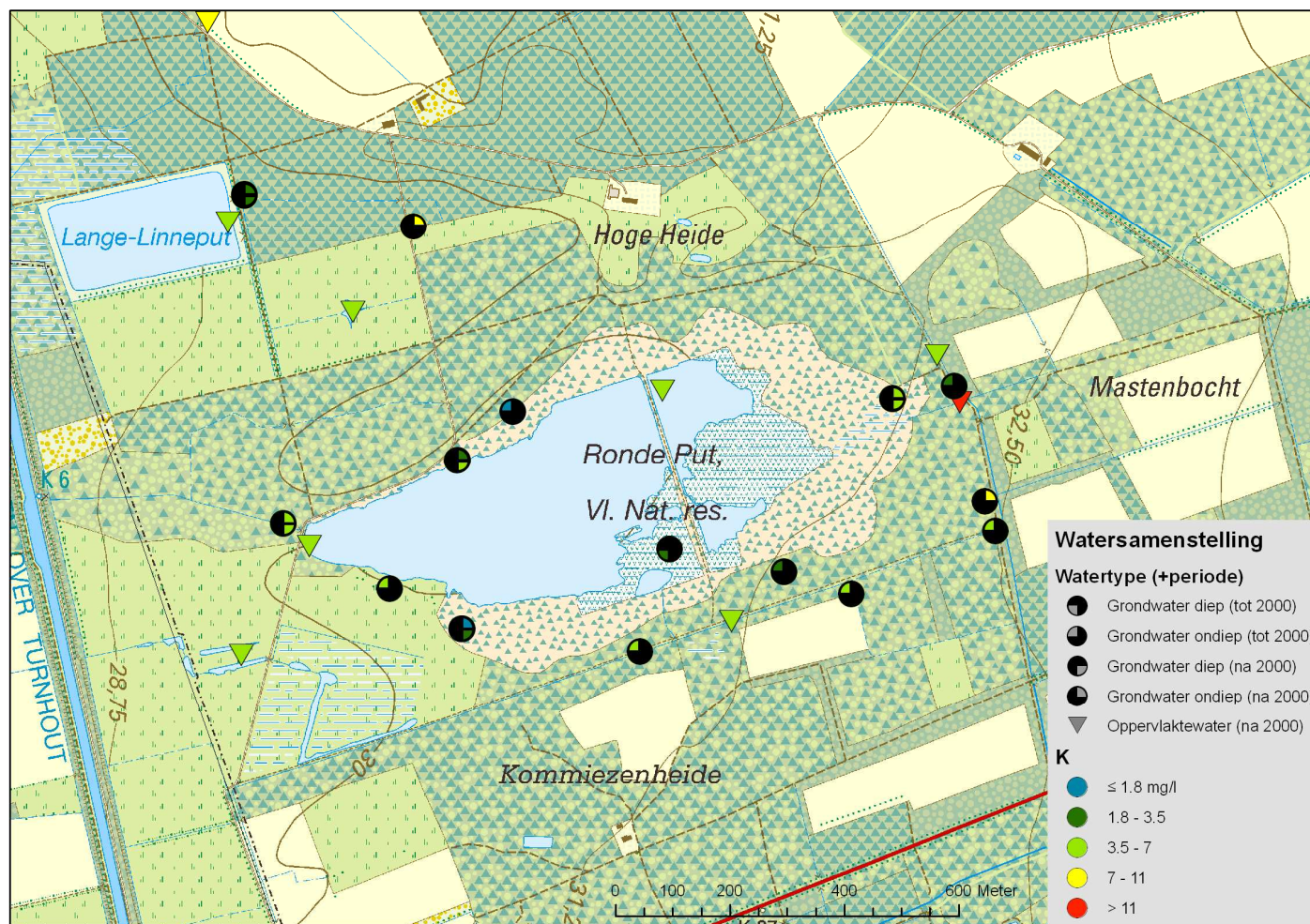
Figuur 17 Chlorideconcentratie (mg Cl L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



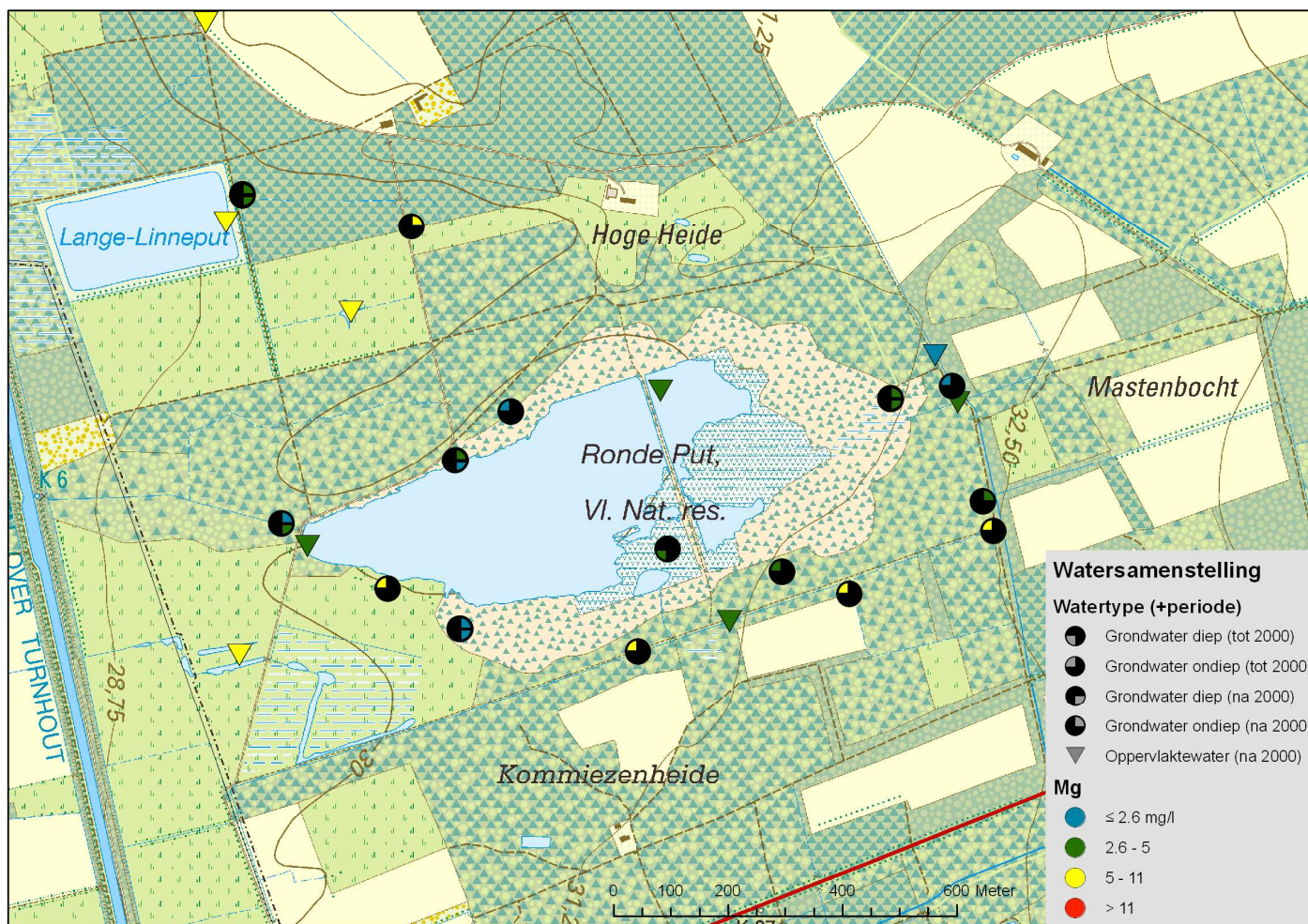
Figuur 18 IJzerconcentratie (mg Fe L⁻¹) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



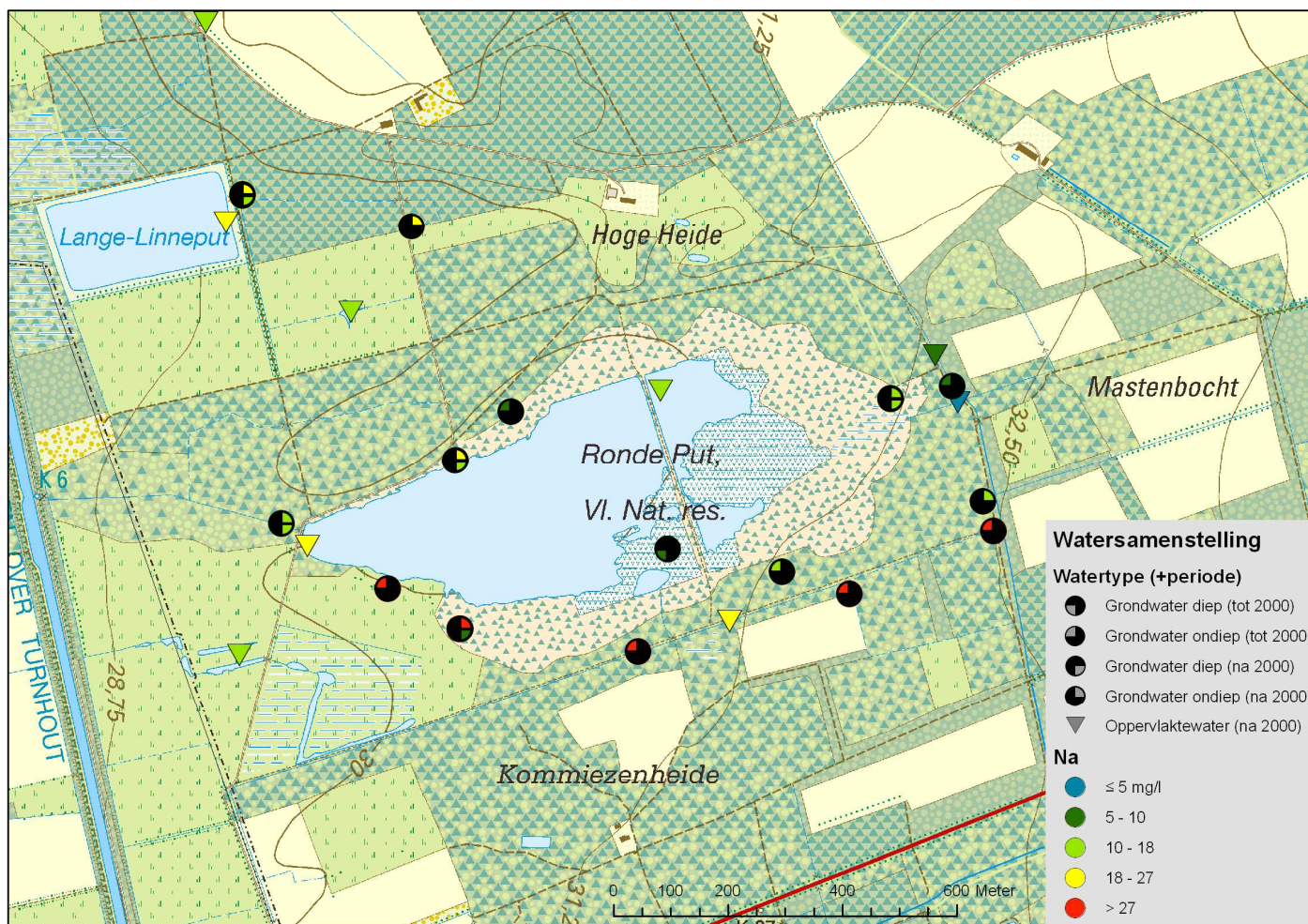
Figuur 19 Alkaliniteit (mg HCO₃ L⁻¹) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



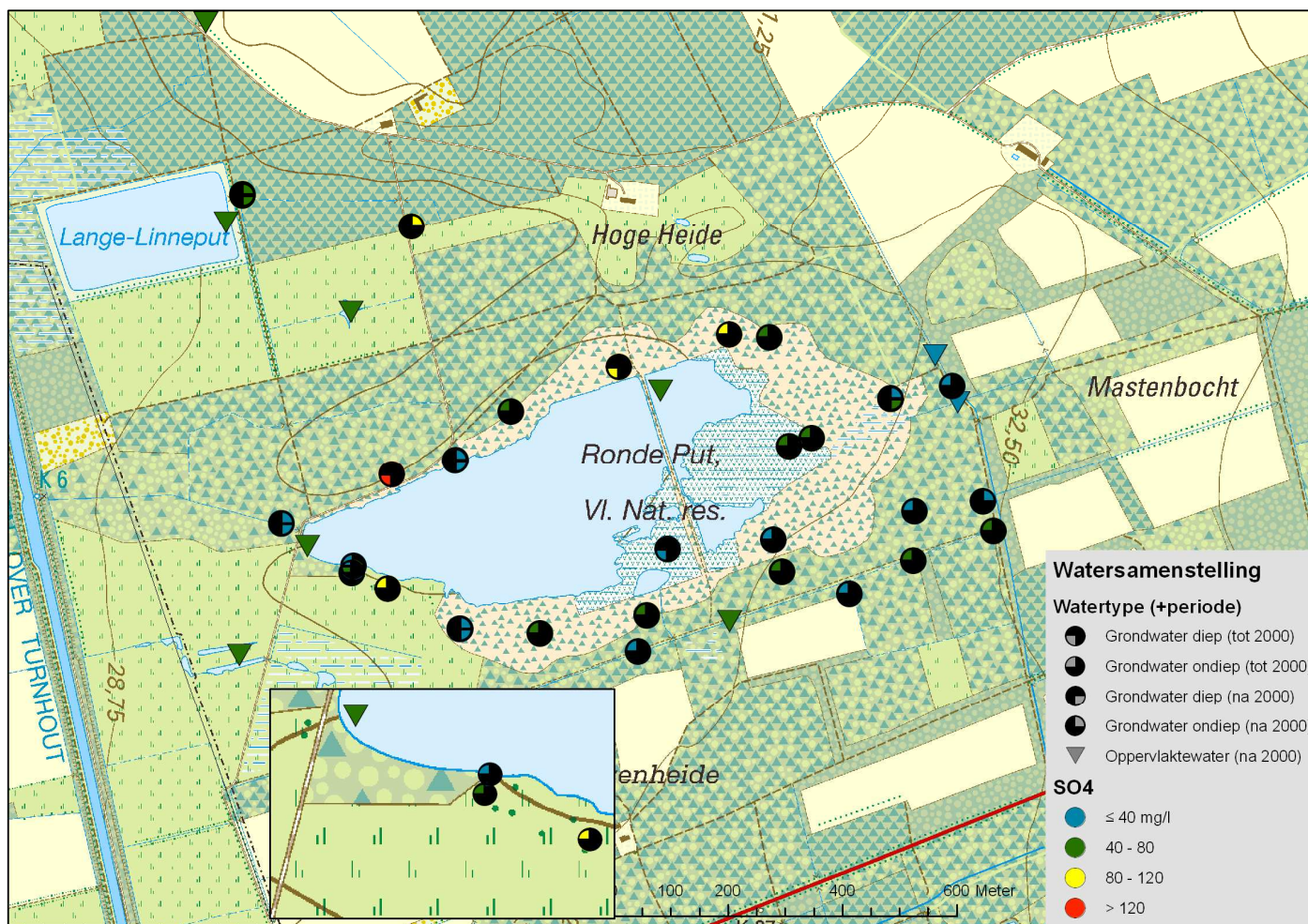
Figuur 20 Kaliumconcentratie (mg K L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



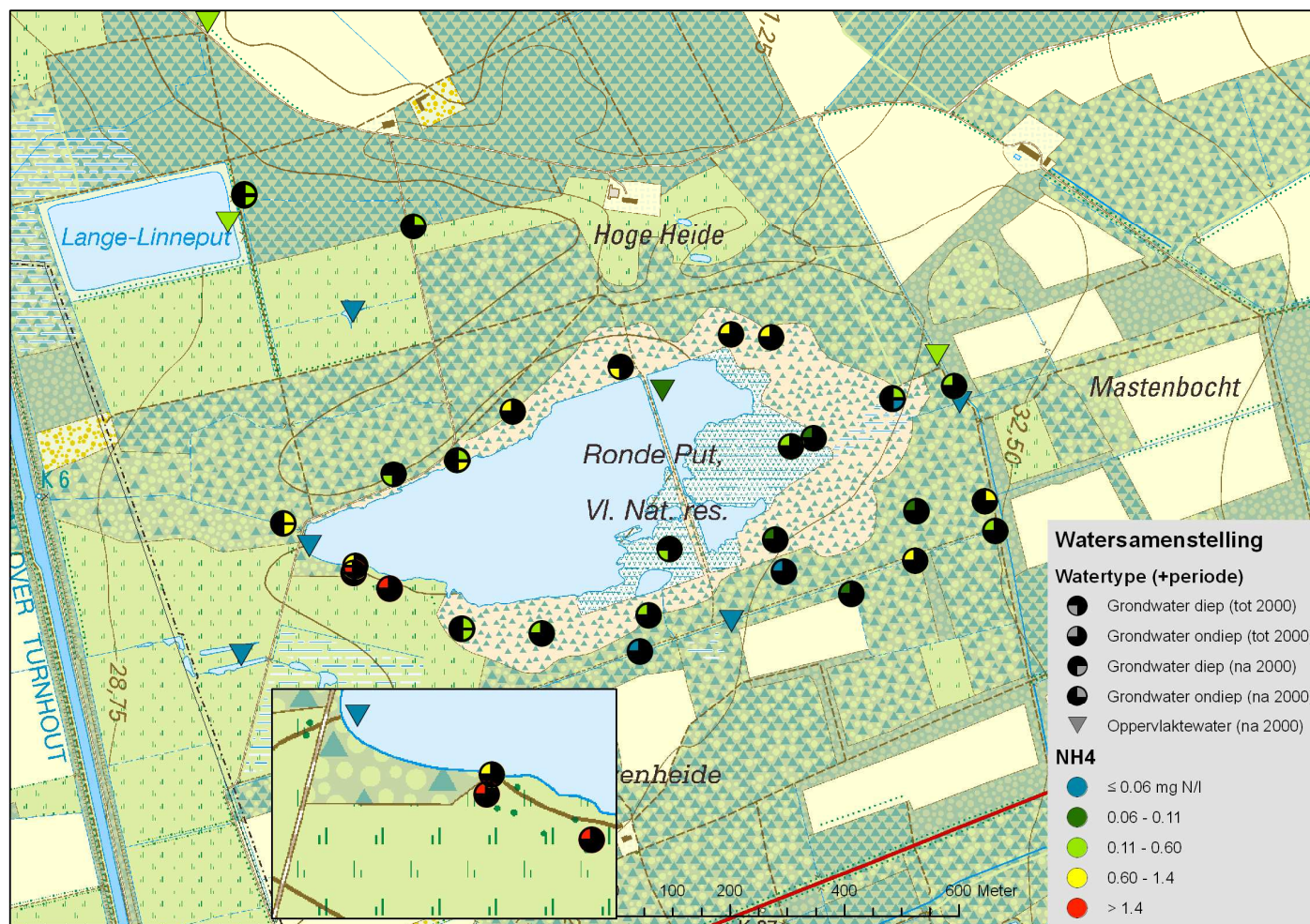
Figuur 21 Magnesiumconcentratie (mg Mg L⁻¹) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



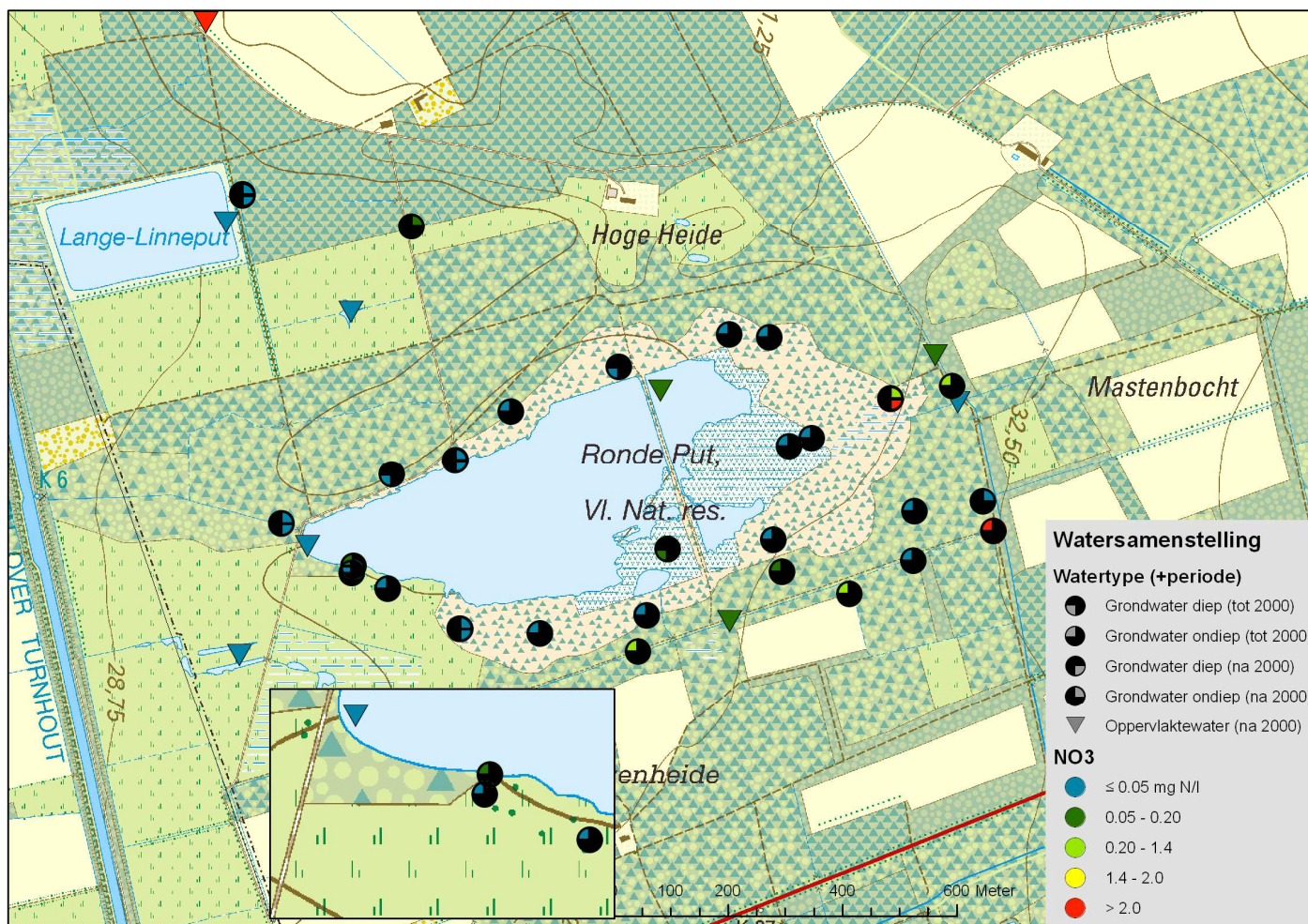
Figuur 22 Natriumconcentratie (mg Na L⁻¹) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



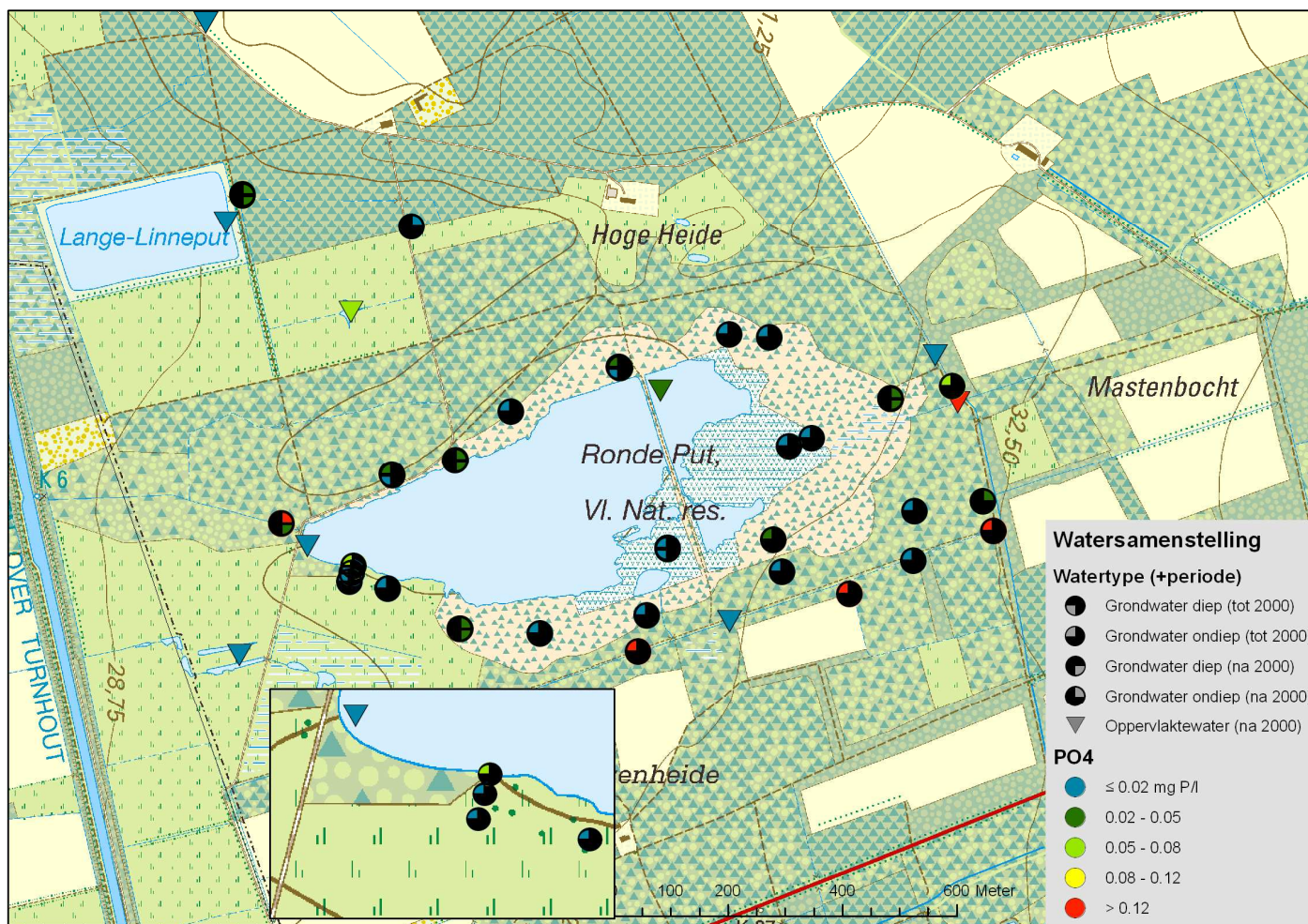
Figuur 23 Sulfaatconcentratie (mg S L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



Figuur 24 Ammoniumconcentratie (mg N L⁻¹) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



Figuur 25 Nitraatconcentratie (mg N L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000



Figuur 26 Orthofosfaatconcentratie (mg P L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000

Referenties

- Aerts R. & Berendse F. 1989. Above-ground nutrient turnover and net primary production of an evergreen and a deciduous species in a heathland ecosystem. *Journal of Ecology*, **77**(2), 343-356.
- Aerts R., Berendse F., Klerk N.M. & Bakker C. 1989. Root production and root turnover in two dominant species of wet heathlands. *Oecologia*, **81**(3), 374-378.
- Aggenbach C.J.S., Jalink M.H., Jansen A.J.M. & van Boschginga W. 1998. De gewenste grondwatersituatie voor terrestrische vegetatietypen van pleistoceen Nederland. SWE 98.011, Kiwa, Nieuwegein, 76 p.
- Berendse F. 1990. Organic matter accumulation and nitrogen mineralization during secondary succession in heathland ecosystems. *Journal of Ecology*, **78**(2), 413-427.
- Berendse F. & Aerts R. 1984. Competition between *Erica tetralix* (L.) and *Molinia caerulea* (L.) Moench as affected by the availability of nutrients. *Acta Oecologica-Oecologia Plantarum*, **5**(1), 3-14.
- Berendse F., Beltman B., Bobbink R., Kwant R. & Schmitz M. 1987. Primary production and nutrient availability in wet heathland ecosystems. *Acta Oecologica-Oecologia Plantarum*, **8**(3), 265-279.
- Callebaut J., De Bie E., Huybrechts W. & De Becker P. 2007. NICHE-Vlaanderen. *Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*. INBO.R.2007.3 / SVW: Projectnr. 1-7, INBO, Brussel, 252 p.
- de Graaf M.C.C., Bobbink R., Smits N.A.C., van Diggelen R. & Roelofs J.G.M. 2009. Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation*, **142**(10), 2191-2201.
- Dorland E., Bobbink R., Messelink J.H. & Verhoeven J.T.A. 2003. Soil ammonium accumulation after sod cutting hampers the restoration of degraded wet heathlands. *Journal of Applied Ecology*, **40**(5), 804-814.
- El-Kahloun M., Boeye D., Verhagen B. & Van Haesebroeck V. 2000. A comparison of the nutrient status of *Molinia caerulea* and neighbouring vegetation in a rich fen. *Belgian Journal of Botany*, **133**(1-2), 91-102.
- Ghesquiere U., De Brouwere K. & Thijs A. 2002. Abiotische onderbouwing van kwetsbare natuurtypen m.b.t. de thema's verdroging, verzuring en vermessing. MINA/112/00/03, Katholieke Universiteit Leuven (KUL), Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische wetenschappen, Departement Landbeheer, Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en Bodembioogie, Leuven, 128 p.
- Grime J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Wiley, New York, 222 p.
- Hayati A.A. & Proctor M.C.F. 1991. Limiting nutrients in acid-mire vegetation - peat and plant analyses and experiments on plant-responses to added nutrients. *Journal of Ecology*, **79**(1), 75-95.
- Herr C., De Bie E., Corluy J., De Becker P., Wouters J. & Hens M. 2012. Impactanalyse AS IS. Analyse van de actuele milieudruk op de aanwezige habitattypen in de Vlaamse SBZ-H gebieden. Conceptrapport. INBO.R.2012.3, Inbo, Brussel, 147 p.
- Hommel P.W.F.M., Brouwer E., Lucassen E.C.H.E.T., Smolders A.J.P. & de Waal R.W. 2006. Selectie van ecologisch relevante bodemeigenschappen. Een verkennend onderzoek aan de hand van 92 SBB-referentiepunten. Alterra-rapport 1445, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 119 p.
- Houdijk A.L.F.M., Verbeek P.J.M., Dijk H.F.G. & Roelofs J.G.M. 1993. Distribution and decline of endangered herbaceous heathland species in relation to the chemical composition of the soil. *Plant and Soil*, **148**(1), 137-143.
- Huybrechts W., De Becker P., De Bie E. & Callebaut J. 2009. Database Flanders Wetland Sites (FlaWet1.0). INBO (digitaal formaat).
- Kemmers R.H. & van Delft S.P.J. 2007. Stikstof-, fosfor- en kaliumbeschikbaarheid en kritische depositiewaarden voor stikstof in korte vegetaties. Alterra-rapport 1598, Alterra, Wageningen, 47 p.

Laurijssens G., De Becker P., De Blust G. & Hens M. 2007. Opmaak van een standaardprotocol voor herstelbeheer van natte heide en vennen en toepassing ervan op Groot & Klein Schietveld, Tielenkamp & Tielenheide. INBO.R.2007.31.

Loach K. 1966. Relations between soil nutrients and vegetation in wet-heaths: I. Soil nutrient content and moisture conditions. *Journal of Ecology*, **54**(3), 597-608.

Roelofs J.G.M., Bobbink R., Brouwer E. & de Graaf M.C.C. 1996. Restoration ecology of aquatic and terrestrial vegetation on non-calcareous sandy soils in The Netherlands. *Acta Botanica Neerlandica*, **45**(4), 517-541.

Rutter A.J. 1955. The composition of wet-heath vegetation in relation to the watertable. *The Journal of Ecology*, 507-543.

Tomassen H.B.M., Smolders A.J.P., Limpens J., van Duinen G.-J.A., van der Schaaf S., Roelofs J.G.M., Berendse F., Esselink H. & van Wirdum G. 2003. Onderzoek herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 1998-2001. Rapport EC-LNV nr. 2003/139, Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Ede, 186 p.

Troelstra S.R., Wagenaar R. & Boer W. 1990. Nitrification in Dutch heathland soils I. General soil characteristics and nitrification in undisturbed soil cores. *Plant and Soil*, **127**(2), 179-192.

Vanderhaeghe F., De Becker P., Lommaert L. & Hens M. 2010. Advies betreffende het peilbeheer en heideherstel in de Ronde Put (Mol-Postel) bij de opmaak van het beheerplan. *Adviezen van het Instituut voor natuur- en bosonderzoek*. INBO.A.2010.220, Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel, 8 p.

Vanderhaeghe F., Wilkin N., Van Den Broeck S., Vercoutere B. & Vandekerckhove W. 2008. Ecohydrologisch onderzoek van het Vlaams Natuurreservaat De Ronde Put en omgeving. LIN/AMINAL/AN/ANT/2004/EO/01/VNR-Ronde Put, Haskoning Belgium i.o.v. Agentschap voor Natuur en Bos, Mechelen, 168 p.

Vercoutere B. & De Becker P. 2004. Beenbreek : een analyse van de ecologische eisen van deze heideplant. *Natuur.focus*, **3**(4), 112-119.

Verhoeven J.T.A., Kemmers R.H. & Koerselman W. 1993. Nutrient enrichment of freshwater wetlands. In: Vos C.C. & Opdam P. (eds.). Landscape ecology of a stressed environment. *Landscape studies in landscape ecology*. Chapman and Hall, London, pp. 33-59.

Figuren

Figuur 1	Ligging van de staalnamepunten (1 t/m 15) voor chemisch onderzoek van bodem, grond- en oppervlaktewater in het Vlaams natuurreservaat 'De Ronde Put'.	5
Figuur 2	Dikte van de veenlaag op de 10 onderzochte locaties.	9
Figuur 3	Grondwatermeetnet in het Vlaams Natuurreservaat 'De Ronde Put' (bron: Watina, INBO).	12
Figuur 4	De duurlijnen voor elk van de piëzometerkoppels in resp. de noord-, oost- en zuidrand van het studiegebied. Alleen in de zuid- en noordrand domineert pijpenstrootje.	13
Figuur 5	Concentratie totaal fosfor (mg P kg^{-1}) in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	24
Figuur 6	Concentratie plantenbeschikbaar P (Olsen-P, mg P kg^{-1}) in de veenfractie op de 10 meetlocaties.	24
Figuur 7	Concentratie totaal stikstof (g N kg^{-1} droge grond) in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	25
Figuur 8	Concentratie anorganisch N (mg N kg^{-1} droge grond) in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	25
Figuur 9	Gewichtsverhouding koolstof:fosfor in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	26
Figuur 10	Gewichtsverhouding koolstof:stikstof in de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	26
Figuur 11	Zuurtegraad ($\text{pH-H}_2\text{O}$) van de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	27
Figuur 12	Zuurtegraad (pH-KCl) van de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	27
Figuur 13	Kationuitwisselingscapaciteit (CEC; $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ droge grond) van de veen- en zandfractie op de 10 meetlocaties.	28
Figuur 14	Zuurtegraad (pH) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	29
Figuur 15	Geleidbaarheid ($\mu\text{S cm}^{-1}$) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	30
Figuur 16	Calciumconcentratie (mg Ca L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	31
Figuur 17	Chlorideconcentratie (mg Cl L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	32
Figuur 18	IJzerconcentratie (mg Fe L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	33
Figuur 19	Alkaliniteit ($\text{mg HCO}_3 \text{ L}^{-1}$) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	34
Figuur 20	Kaliumconcentratie (mg K L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	35
Figuur 21	Magnesiumconcentratie (mg Mg L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.	36

Figuur 22	Natriumconcentratie (mg Na L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.....	37
Figuur 23	Sulfaatconcentratie (mg S L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.....	38
Figuur 24	Ammoniumconcentratie (mg N L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000	39
Figuur 25	Nitraatconcentratie (mg N L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000.....	40
Figuur 26	Orthofosfaatconcentratie (mg P L^{-1}) van het oppervlakte- en grondwater (ondiep of diep grondwater) voor de periode vóór en na 2000	41

Tabellen

Tabel 1	Uitgevoerde bodemchemische analyses en gebruikte bepalingmethoden (cf. bestelaanvraag ANB/NZK/vvt/2011/269).....	6
Tabel 2	Uitgevoerde bodemchemische analyses en gebruikte bepalingmethoden (cf. bestelaanvraag ANB/NZK/vvt/2011/269).....	7
Tabel 3	Uitgevoerde chemische analyses en gebruikte bepalingmethoden voor waterstalen (cf. bestelaanvraag ANB/NZK/vvt/2011/269).....	8
Tabel 4	Dikte van de veenlaag onder het maaiveld	9
Tabel 5	Fysico-chemische karakteristieken van de onderzochte oppervlakte- en grondwaterstalen. Alle concentraties in mg L ⁻¹ , uitgezonderd geleidbaarheid (EC; in $\mu\text{S cm}^{-1}$) en zuurtegraad (pH; dimensieloos). De electroneutraliteit (EN; %) geeft de afwijking weer tussen alle negatieve en positieve ladingsdragers en wordt berekend als kwaliteitscontrole. Analyseresultaten met EN-waarden <10% zijn kwalitatief in orde. Zie Figuur 1 en Tabel 1 voor de locatie en naamgeving van de stalen.	10
Tabel 6	Hydrologische referentiewaarden voor vochtige tot venige heide (Laurijssens et al. 2007, grotendeels naar Callebaut et al. 2007)	12
Tabel 7	Grondwaterkarakteristieken voor drie meetpunten in het gebied in al dan niet gedegradeerde vochtige tot venige heide. Grondwaterkengetallen in meter onder maaiveld; negatieve waarden duiden op een waterstand onder het maaiveld.	12
Tabel 8	Hydrochemische referentiewaarden voor vochtige tot venige heide. Alle variabelen in mg L ⁻¹ , behalve geleidbaarheid ($\mu\text{S/cm}^{-1}$) en pH (dimensieloos). Referenties: ¹ Laurijssens et al. (2007), ² Herr et al. (2012), ³ Huybrechts et al. 2009.....	14
Tabel 9	Referentiewaarden voor pH en kationuitwisselingscapaciteit van bodems onder vochtige tot venige heide.	16
Tabel 10	Bodemchemische referentiewaarden (nutriënten) voor vochtige tot venige heide en kenmerkende waarden voor vochtige vergraste heide. Totaal P, plantbeschikbaar P (Olsen-P), minerale N (KCl-extractie) in mg/kg DG, totaal N in g/kg DG, CEC in cmol+/kg DG. C/N en C/P zijn massaverhoudingen.....	17