Vlaanderen
is wetenschap

Standplaatsvereisten en potenties voor habitatherstel van heischrale graslanden in het SBZ-gebied "Vallei- en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden" (BE2200029)

Ann Milbau, Cécile Herr, Piet De Becker

INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Auteurs:
Ann Milbau, Cécile Herr, Piet De Becker
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

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

e-mail:
cecile.herr@inbo.be

Wijze van citeren:
Milbau A., Herr C., De Becker P. (2016). Standplaatsvereisten en potenties voor habitatherstel van heischrale graslanden in het SBZ-gebied "Vallei- en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden" (BE2200029). Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2016 (INBO.R.2016.11609788). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

D/2016/3241/082
INBO.R.2016.11609788
ISSN: 1782-9054

Verantwoordelijke uitgever:
Maurice Hoffmann

Druk:
Managementondersteunende Diensten van de Vlaamse overheid

Foto cover:
Heischraal grasland in de Hoeverheide (Cécile Herr, 2014)

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van:
Agentschap voor Natuur en Bos (LNE/ANB/LIM/2013/17)

AGENTSCHAP
NATUUR & BOS

© 2016, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Standplaatsvereisten en potenties voor habitatherstel van heischrale graslanden in het SBZ-gebied “Vallei- en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden” (BE2200029)

Ann Milbau, Cécile Herr, Piet De Becker

INBO.R.2016.11609788
LNE/ANB/LIM/2013/17

INSTITUUT
NATUUR- EN BOSONDERZOEK

Dankwoord

Speciale dank gaat naar Katia Nagels (ANB) en de leden van de stuurgroep van dit project die met hun inzichten en adviezen al sturend dit project in goede banen hebben geleid.

Bij de uitvoering van deze studie waren heel wat mensen van INBO betrokken: Mathieu Pieters, Koen Willems, Koen Vervaet, Yvan De Bodt en Mathias Wackenier hebben ons op terrein geholpen. Mathias Wackenier zorgde ook voor een update van de WATINA databank van het INBO. Onze dank gaat eveneens uit naar het labo, de dienst Rapportering & Advisering (Niko Boone) voor het kritisch nalezen van dit rapport en de talrijke INBO collega's die bijdroegen aan het verzamelen, controleren en valideren van de referentiegegevens i.h.k.v. het project "Standplaatsonderzoek".

Samenvatting

Dit rapport kadert in een onderzoek naar standplaatsvereisten en potenties voor habitatherstel in de speciale beschermingszone (SBZ) BE220009 “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”. Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) voert deze studie uit in opdracht van het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB – studieopdracht LNE/ANB/LIM/2013/17).

Voor dit habitatrichtlijngebied werden specifieke instandhoudingsdoelstellingen (S-IHD) geformuleerd, met o.a. de uitbreiding van het heischraal gebied. Het doel van dit project is om na te gaan of en waar juist deze doelstellingen gerealiseerd kunnen worden. Om dit te beoordelen is in eerste instantie een betere kennis nodig van de abiotische kenmerken gerelateerd aan het voorkomen van heischrale vegetaties in Vlaanderen, evenals meer kennis over het ontstaan en beheer van goed ontwikkelde heischrale vegetaties. Daarnaast dient bekeken te worden op welke locaties herstel en beheer van heischraal grasland zo (kosten)efficiënt mogelijk uitgevoerd kan worden.

Specifiek kunnen in dit project drie doelstellingen onderscheiden worden:

Doelstelling 1: Het versterken van de kennis over de landschappelijke positie, de abiotische standplaatsvereisten en het beheer van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen. Deze informatie gebruiken als onderbouwing van de streef- en grenswaarden voor goed ontwikkelde heischrale graslanden.

Doelstelling 2: Het afbakenen van kansrijke percelen voor de ontwikkeling van heischrale graslanden in het habitatgebied “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”. Het schatten van de doelafstand tot de “ideale” toestand en het opstellen van herstel-/omvormingstrajecten.

Doelstelling 3: Het opstellen van een praktische wegwijzer voor het beheer en herstel van heischrale graslanden in Vlaanderen.

In het **tweede hoofdstuk** wordt de **biotische definitie van heischrale graslanden** verduidelijkt en worden de typische kensoorten voor het vegetatietype opgelijst.

In het **derde hoofdstuk** worden de resultaten van **een literatuuronderzoek naar de ecologische vereisten van heischrale graslanden** voorgesteld. Op basis van deze literatuurstudie kunnen enkele conclusies getrokken worden betreffende de landschappelijke positie, het beheer en de standplaatsvereisten van heischrale graslanden.

Voor wat de landschappelijke positie betreft, suggereert de literatuur dat heischrale graslanden zich binnen een heide-ecosysteem ontwikkelen op die locaties waar er meer basische kationen (Na, K, Ca, Mg) beschikbaar zijn. Dit komt onder meer voor op plekken waar ondiepe klei/leemafzettingen voorkomen, op plekken waar er in het verleden geploegd is, of op licht betreden paden en wegen. Daarnaast worden heischrale graslanden aangetroffen in een gradiënt van heide naar veldrusgraslanden (voorzien van ietsje mineraalrijker grondwater), dus op de overgangszone van heide naar beekdal. Voor wat de grondwaterdynamiek betreft, wordt ervan uitgegaan dat dezelfde condities gelden als voor vochtige respectievelijk droge heide.

In het volgende hoofdstuk zullen we de hieruit voortvloeiende ***hypothese*** testen dat heischrale graslanden voorkomen op bodems met meer basische kationen dan heidevegetatie. Het voorkomen van basische kationen is onder meer gerelateerd aan een hoge kationenuitwisselingscapaciteit (CEC), een hoge basenverzadiging, een hoge pH, en meer klei en leem in de bodem. Voor deze variabelen verwachten we dus hogere waarden in heischraal grasland dan heide.

Wat betreft het beheer van heischrale graslanden, wordt aangegeven dat maaien (1x per jaar in juli-september), eventueel in combinatie met nabegrazing (indien het grote gebieden betreft) de beste methode is. Dit kan eventueel vooraf gegaan worden door herstelbeheer, zoals plaggen, bekalken of het herstel van de hydrologie. Belangrijk bij herstelbeheer is dat er zaden van karakteristieke soorten in de omgeving aanwezig zijn. Indien dit niet het geval is, kan men bv. maaisel van een heischraal perceel op het te ontwikkelen gebied aanbrengen.

Het was onmogelijk om eenduidige standplaatskenmerken van heischrale graslanden af te leiden uit de literatuurgegevens. Enerzijds was het aantal studies per parameter zeer beperkt, waardoor het niet aangewezen is om op basis hiervan duidelijke grenzen vast te leggen. Anderzijds waren de gegevens van diverse studies moeilijk te vergelijken omwille van een veelheid aan gebruikte meettechnieken en gerapporteerde eenheden. Wel viel het op

dat de data voor droge en natte heischrale graslanden heel gelijkaardig waren, waaruit we kunnen afleiden dat de bodemchemische vereisten van deze twee types vergelijkbaar zijn.

Voor plantbeschikbaar fosfor (Olsen P) waren er in tegenstelling tot de andere parameters wel veel gegevens beschikbaar en hiervoor konden we voorzichtige conclusies trekken: in soortenrijke heischrale graslanden is de range 0 - 10 mg P / kg DS; in meer soortenarme vormen is de range 10 – 20 mg P / kg DS. Bij meer dan 20 mg P /kg DS zijn heischrale graslanden uiterst zeldzaam en vermoeden we dat ze op termijn zullen weggeconcurreerd worden door meer competitieve soorten.

Het **vierde hoofdstuk** stelt de **resultaten voor van het standplaatsonderzoek van inbo naar de ecologische vereisten van heischrale graslanden**. In dit hoofdstuk zijn we ook op zoek gegaan naar abiotische variabelen die het mogelijk maken een onderscheid te maken tussen heischrale graslanden en heide (zogenaamde "differentiërende variabelen"). Ook hebben we de hypothese getest dat heischrale graslanden voorkomen op bodems met meer basische kationen dan heide, wat vaak gerelateerd is aan een hogere kationeneuitwisselingscapaciteit (CEC), een hogere basenverzadiging, meer uitwisselbare basische kationen, een hogere pH en een hoger gehalte aan klei en leem.

Geen enkele van de onderzochtte variabelen kon aangewezen worden als differentiërende variable omdat er voor elke parameter veel overlap was in het bereik van de heischrale graslanden en de heidevegetaties. Bijgevolg is het onmogelijk om op basis van metingen van een welbepaalde bodemparameter te voorspellen of er heide of heischraal grasland op die bodem voorkomt.

Wel waren voor verschillende variabelen de waarden gemiddeld iets hoger in heischraal grasland dan in heide. Door middel van logische regressies en "boosted classification trees" hebben we kunnen aantonen dat bij hogere waarden voor Olsen P, pH en kleigehalte de kans op voorkomen van heischraal grasland (ten opzichte van heide) toeneemt. Canonische correspondentieanalyse (CCA) wees er eveneens op dat de bodems onder heischrale graslanden wat rijker zijn aan plant-beschikbare fosfaten en een iets hogere pH hebben dan dat het geval is voor heiden. Uit de CCA bleek ook dat heischrale graslanden een voorkeur voor maaibeheer hebben. Ook het vergelijken van standplaatsfactoren van enkele typische heischrale- of heidesoorten wees in diezelfde richting, waarbij heischrale soorten op wat mineralenrijkere en meer gebufferde locaties voorkomen dan heidesoorten. Deze resultaten bevestigen dus onze oorspronkelijke hypothese. Alleen blijkt het om een subtiele gradiënt te gaan, eerder dan om duidelijk af te bakenen verschillen.

In **hoofdstuk 5** wordt gepoogd om een **protocol** voor te stellen om efficiënt en rechtlijnig te kunnen oordelen of herstel wel wenselijk is en welke stappen er precies dienen te worden genomen.

In **hoofdstuk 6** werden (vermoedelijk) kansrijke sites bemonsterd en getoetst op de sturende standplaatskarakteristieken. Daaruit blijkt dat er een hele reeks locaties zijn waar herstel van heischraal grasland een grote kans op slagen heeft, zeker gezien de aanwezigheid van karakteristieke soorten voor dit vegetatietype in de onmiddellijke omgeving.

Puur theoretisch is herstel of creëren van heischraal grasland op nagenoeg alle, voorgestelde locaties mogelijk maar de doelafstand tussen de actuele abiotische en biotische situatie en het verhoopte resultaat is voor een aantal voorgestelde sites zeer groot. Dat heeft nagenoeg altijd te maken met historisch landgebruik, met name excessieve bemesting bij landbouwgebruik in het (recente) verleden.

Inhoudstafel

Dankwoord **4**

Samenvatting **5**

Lijst van figuren **10**

Lijst van tabellen **16**

1 Algemene Inleiding **17**

1.1 Situering 17
1.2 Doelstellingen 17
1.3 Beschrijving van het onderzoeksgebied 18
1.3.1 Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden (SBZ BE2200029) 18
1.3.2 Voorkomen, actuele staat van instandhouding en potenties van habitattype 6230 (heischrale graslanden) in de SBZ 21
1.3.3 Historisch landgebruik 22

2 Heischrale graslanden: kenmerken en floristische samenstelling **23**

2.1 Algemene kenmerken van heischrale graslanden 23
2.2 Floristische samenstelling en classificatie 23
2.2.1 Klasse en Orden 23
2.2.2 Verbonden 24
2.2.2.1 Internationaal 24
2.2.2.2 Verbonden relevant voor België 24
2.2.3 Associaties 25
2.2.3.1 Associatie van betonie en gevinde kortsteel - Festuco rubrae-Genistelletum sagittalis Issler 1929 (“kalk-associatie”; habitattype 6230_hnk) 25
2.2.3.2 Associatie van liggend walstro en schapegras - Galio hercynici-Festucetum ovinae Rasch ex Stieperaere 1969 (“droge associatie”; ≈ habitattype 6230_hn) 26
2.2.3.3 Associatie van Liggende vleugeltjesbloem en Heidekartelblad - Gentiano pneumonanthes-Nardetum Priesing 1950 nom. inv. (“vochtige associatie”; ≈ habitattype 6230_hmo) 26
2.3 Definities gebruikt in dit project 27

3 Literatuurstudie naar de landschappelijke positie, de abiotische standplaatsvereisten en het beheer van goed ontwikkelde heischrale graslanden **29**

3.1 Achtergrond 29
3.2 Landschappelijke positie van heischrale graslanden 29
3.2.1 Bodem-chemische achtergrond 29
3.2.2 Lokale gradiënten van schraallandvegetatietypen 30
3.3 Beheer van heischrale graslanden 32
3.3.1 Onderhoudsbeheer 32
3.3.2 Herstel- en ontwikkelingsbeheer 32
3.4 Standplaatskenmerken van goed ontwikkelde heischrale graslanden 33
3.4.1 Standplaatsen en processen: inleiding 33
3.4.2 Bodemchemie 34
3.4.3 Referentiewaarden voor plant-beschikbaar fosfor in heischrale graslanden 40
3.4.3.1 Achtergrond: hoe zit fosfor in de bodem? 40
3.4.3.2 Methoden voor fosforanalyse 40
3.4.3.3 Referentiewaarden voor Olsen P 41
3.4.4 Vegetatiekenmerken (biomassa en chemische samenstelling) 43
3.4.5 Hydrologische standplaatskenmerken 45
3.5 Conclusie 46

4 Onderzoek naar de ecologische vereisten van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen ("Standplaatsonderzoek") ... 47

4.1 Inleiding ... 47
4.2 Methode ... 48
4.2.1 Selectie van "goed ontwikkelde" heischrale graslanden in Vlaanderen ... 48
4.2.2 Vegetatieopnames en plantenstalen ... 49
4.2.3 Bodemstalen ... 50
4.2.3.1 Staalname ... 50
4.2.3.2 Chemische en fysische analyses ... 50
4.3 Resultaten ... 51
4.3.1 Abiotische kenmerken van de geselecteerde heischrale graslanden in Vlaanderen ... 51
4.3.2 Toetsing van de abiotische kenmerken van de geselecteerde heischrale graslanden aan die van internationale datasets ... 52
4.3.2.1 Gebruikte datasets ... 52
4.3.2.2 Resultaten ... 53
4.3.3 Differentiërende variabelen voor het voorkomen van heischrale graslanden in Vlaanderen ... 55
4.3.3.1 Vergelijking van de abiotische kenmerken van heischrale graslanden met die van verwante vegetatietypes (heide en blauw- en veldrusgraslanden) in Vlaanderen ... 55
4.3.3.1.1 Achtergrond en dataset ... 55
4.3.3.1.2 Resultaten ... 56
4.3.3.2 Welke abiotische- en beheerkenmerken onderscheiden heischraal grasland van heide? ... 61
4.3.3.2.1 Informatie over beheer van de geselecteerde percelen (heide en heischraal grasland) ... 61
4.3.3.2.2 Enkelvoudige en multiple logistische regressies ... 62
4.3.3.2.3 Boosted classificatiebomen ... 63
4.3.3.2.4 Multivariate gradiëntanalyse of ordinatie (CA en CCA) ... 65
4.3.3.2.5 Gerealiseerde ecologische niches voor typische heischrale- en heidesoorten ... 68
4.3.4 Ranges van abiotische variabelen in goed ontwikkelde heischrale graslanden ... 73
4.4 Conclusie ... 73

5 Protocol voor herstel van heischrale graslanden ... 74

5.1 Beschrijving actuele toestand ... 74
5.1.1 Algemene principes bij staalname op het terrein ... 74
5.1.2 Waterhuishouding ... 75
5.1.2.1 Kartering oppervlaktewatersysteem ... 75
5.1.2.2 Dynamiek grond- en oppervlaktewater ... 75
5.1.2.3 Chemische samenstelling van grond- en oppervlaktewater ... 76
5.1.3 Beschrijven en meten van bodemkundige en bodemchemische kenmerken ... 78
5.1.3.1 Bodemtypering: profiel en textuur ... 78
5.1.3.2 Bodemchemie ... 78
5.1.4 In kaart brengen van de vegetatie ... 81
5.1.4.1 Beschrijven van de vegetatie ... 81
5.1.4.2 Opmaak van een vegetatiekaart ... 82
5.1.5 Optekenen doel- en aandachtsoorten ... 82
5.2 Streefdoel formuleren ... 83
5.3 Vergelijken van actuele toestand met streefdoel / referentietoestand ... 83
5.3.1 Beoordelingskader ... 83
5.3.2 Problemen situeren ... 83
5.3.3 Inschatten potenties ... 83
5.4 Herstelmaatregelen selecteren en definiëren ... 84
5.4.1 Selectie maatregelen ... 84
5.4.2 Beslisregels bekalken na plaggen ... 85
5.4.3 Omgaan met onzekerheden ... 86
5.5 Financiële implicaties ... 86
5.6 Opvolging en evaluatie ... 87

6 Afbakenen van kansrijke percelen voor de ontwikkeling van heischrale graslanden in het habitatgebied "Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden" ... 88

6.1 Achtergrond ... 88
6.2 Situering ... 88
6.3 Bodemopbouw en veenkartering ... 91
6.3.1 Bodemopbouw ... 91
6.3.2 Textuur ... 92
6.3.3 Veenkartering ... 93
6.4 Historisch landgebruik en recent beheer ... 95
6.5 Heischrale soorten in het studiegebied ... 97
6.6 Bodemstaalname en bodemchemie ... 98
6.6.1 Bodemstaalname ... 98
6.6.1.1 Verkennend bodemonderzoek 2014 ... 98
6.6.1.2 Gedetailleerd bodemonderzoek 2015 ... 99
6.6.2 Bodemchemische analysen ... 102
6.6.3 Resultaten ... 102
6.6.3.1 Olsen P ... 102
6.6.3.1.1 Vergelijking data 2014 en 2015 ... 103
6.6.3.2 Totaal P ... 107
6.6.3.3 Overige parameters ... 109
6.6.3.3.1 Organisch materiaal ... 109
6.6.3.3.2 pH ... 111
6.6.3.3.3 Kjeldahl stikstof ... 113
6.6.3.3.4 Basenverzadiging en kationenuitwisselingscapaciteit ... 115
6.7 Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit ... 119
6.8 Potenties voor ontwikkeling en herstel van heischraal grasland ... 124
6.8.1 Fosfor als sturende parameter voor natuurherstel ... 124
6.8.2 Verschralingsmaatregelen in P rijke gronden ... 124
6.8.3 Uitmijnen ... 125
6.8.3.1 Theoretische berekening van de uitmijnduur ... 126
6.8.4 Afgraven ... 134
6.8.5 Potenties voor ontwikkeling van heischraal grasland binnen de 23 te onderzoeken percelen ... 138
6.8.5.1 Risico op uitspoeling van fosfor uit fosfaatverzadigde gronden ... 142

7 Conclusies ... 145

7.1 Landschappelijke positie ... 145
7.2 Protocol voor herstel ... 145
7.3 Afbakening van kansrijke locaties en doelafstand ... 145

8 Referenties ... 146

Bijlage I: Boxplots van de bodemanalyses per habitatsubtype voor goed ontwikkelde heide, heischraal grasland en blauw- en veldrusgrasland ... 151

Bijlage II: totaal Ca, Fe en Al-gehalte in de 23 te onderzoeken percelen ... 159

Bijlage III: Fosfaatverzadigingsgraad in het brongebied van de Zwarte Beek ... 164

Lijst van figuren

Figuur 1 Situering van de SBZ "Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden" 18

Figuur 2 Noord-zuid geologische dwarsprofiel door de vallei van de Grote Nete en van de Zwarte Beek. Bron: DOV. 19

Figuur 3 Dominante habitattypen (i.e. 'habitat 1'van de habitatkaart) binnen de SBZ "Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden" (INBO, habitatkaart versie 2014). 20

Figuur 4 Schematisch overzicht van de landschappelijke ligging van diverse schraallandtypen (*Bron*: Cools et al. 2006) 31

Figuur 5 Schematisch overzicht van de landschappelijke ligging van de verschillende vegetatietypen in de vallei van de Zwarte Beek. 32

Figuur 6 Invloed van omgevingsfactoren op de soortensamenstelling van de vegetatie (*Bron:* Cools et al. 2006) 34

Figuur 7 Ligging van de op het INBO bekende goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen. Proefvlakken bemonsterd in het kader van dit project zijn aangeduid in geel (N = 28). Proefvlakken waarvan het INBO reeds over gegevens beschikte zijn aangeduid in blauw (N = 78). De achtergrond geeft de bodemtextuur weer volgens de bodemkaart van België. 48

Figuur 8 Detailoverzicht van de ligging van de geselecteerde goed ontwikkelde heischrale graslanden in en rond de speciale beschermingszone "Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden". 49

Figuur 9 Textuur (in het labo bepaald d.m.v. laserdiffractie) volgens de Belgische textuurklassificatie van de toplaag van de bodem (0 – 10 cm) in de geselecteerde goed ontwikkelde heischrale graslanden. Z=zand; S=lemig zand; P=lichte zandleem; L=zandleem; A=leem; E=klei; U=zware klei. 49

Figuur 10 Locaties van de proefvlakken in de datasets van het INBO, Ceulemans et al. 2011 & 2013 en Stevens et al. 2011. 53

Figuur 11 Bio-beschikbaar fosfor (Olsen P) in de bodem in de datasets van het INBO (N = 104– de bemonsterde locaties in dit studiegebied staan met rode puntjes weergegeven), Stevens (N = 153) en Ceulemans (N = 38). De boxplots tonen het minimum, het eerste kwartiel (Q1, meting waarboven 75% van de metingen liggen), de mediaan (waarboven 50% van de metingen liggen), het derde kwartiel (Q3, waarboven 25% van de metingen liggen) en het maximum van de waargenomen data (met uitzondering van de uitschieters). De uitschieters worden als afzonderlijke punten getoond. Dit zijn punten die meer dan 1.5 keer de interkwartielafstand (= afstand tussen Q1 en Q3) onder of boven Q1 of Q3 liggen (Krzywinski & Altman 2014). 54

Figuur 12 Zuurgraad (pH H2O) in de bodem in de datasets van het INBO (N = 104 – de bemonsterde locaties in dit studiegebied staan met rode puntjes weergegeven), Stevens (N = 153) en Ceulemans (N = 40). Zie figuur 11 voor informatie i.v.m. de boxplots 54

Figuur 13 Biomassa van droge en vochtige heischrale graslanden in de INBO-dataset en de dataset van Ceulemans. INBO droog: N = 31; INBO vochtig: N = 2; Ceulemans droog: N = 10; Ceulemans vochtig: N = 23. Zie Figuur 7 voor informatie i.v.m. de boxplots. 55

Figuur 14 Ligging van de proefvlakken gebruikt in een vergelijkend onderzoek naar de bodemkenmerken van heischrale graslanden en daaraan verwante habitattypes. 56

Figuur 15 Ligging, in de omgeving van de Vallei van de Zwarte Beek, van de proefvlakken gebruikt in een vergelijkend onderzoek naar de bodemkenmerken van heischrale graslanden en daaraan verwante habitattypes. 56

Figuur 16 Basenverzadiging in de bovenste bodemlaag (0-10 cm) weergegeven per (sub)habitattype en met aanduiding van de textuurklasse van elk bodemstaal. Het aantal stalen per habitattype is weergegeven onderaan in de figuur. Z=zand; S=lemig zand; P=lichte zandleem; L=zandleem; A=leem; E=klei; U=zware klei. Zie figuur 11 voor informatie i.v.m. de boxplots. 57

Figuur 17 Olsen P, totale P, % koolstof (LOI) en Kjeldahl stikstof per habitattype. Zie figuur 11 voor betekenis van de boxplots. 58

Figuur 18 Kationenuitwisselingscapaciteit, basenverzadiging, % klei, % zand en uitwisselbare basische kationen per habitattype. 59

Figuur 19 pH (H_2O), totaal aluminium en Al:Ca verhouding voor de verschillende habitattypes. Eveneens wordt de relatie tussen Al^{3+} in de bodemoplossing en de bodem pH weergegeven. 60

Figuur 20 Totaal calcium, totaal kalium, totaal magnesium en totaal ijzer per habitattype. 61

Figuur 21 Theoretisch voorbeeld van een classificatieboom. 64

Figuur 22 Relatieve invloed van de verschillende variabelen bij het voorspellen van de aan- of afwezigheid van heischraal grasland....64

Figuur 23 Partiële dependentie plots per variabele. Hoe groter de waarde op de verticale as, hoe groter de kans op voorkomen van heischraal grasland. Bij lage Olsen P waarden hebben we ook lage Y waarden, en dus meer kans op heide dan op heischraal grasland. Hoe groter de variatie op de verticale as, hoe belangrijker de variabele....65

Figuur 24 Ordinatiediagram voor de correspondentieanalyse (x-as is CA1-as, y-as is CA2-as) op de set met 121 vegetatieopnames van vochtige en droge heischrale graslanden en heiden....66

Figuur 25 Ordinatiediagram voor de canonische correspondentieanalyse (x-as is CCA1-as, y-as is CCA2-as) op de set met 121 vegetatieopnames van vochtige en droge heischrale graslanden en heiden (verklaarde variantie : CCA-as 1: 24.5% en CCA-as 2: 20.4%)....67

Figuur 26 De basis set van HOF modellen gerangschikt volgens stijgende complexiteit. Model I: geen trend, Model II: stijgende of dalende trend tot maximum waarde M, Model III: stijgende of dalende trend blijvend onder de maximale waarde M, Model IV: symmetrische unimodele responscurve en Model V: scheve (skewed) unimodale curve. Naar Huisman et al. (1993)....69

Figuur 27 Responscurven van een selectie van kensoorten van heide (*Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele)) en van heischraal grasland (*Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor zuur-basentoestand....71

Figuur 28 Responscurven van een selectie van kensoorten van heide (*Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele)) en van heischraal grasland (*Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor bodemtextuur....72

Figuur 29 Responscurven van een selectie van kensoorten van heide (*Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele)) en van heischraal grasland (*Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor plant-beschikbaar P (Olsen)....72

Figuur 30 Stroomschema en stappenplan voor herstelbeheer (naar Laurijssens et al. 2007)....74

Figuur 31 Overzicht aandachtspunten bij selectie van maatregelen....85

Figuur 32 Beslisschema voor bekalken na plaggen....86

Figuur 33 Ligging van 23 potentiële percelen voor herstel of omvorming tot heischraal grasland....88

Figuur 34 Aanwezige bodemtypen (textuur en draineringsklasse) volgens de bodemkaart van België (zie tabel 16 en Van Ranst & Sys 2000). Binnen het militair domein werd de bodemkaart van België aangevuld met de gegevens verzameld door het Centrum voor de Afwerking van de Bodemkaart van het Noorden van het Land onder leiding van Prof. E. Van Ranst van de Universiteit van Gent (De Vos en Herr 2014)....90

Figuur 35 Boring ST20E (ZW van perceel 2). Volgens de bodemkaart van België wordt de bodem in de zone beschreven als Zdgt, d.w.z. matig natte zandgrond met duidelijke humus en/of ijzer B horizont en met grindbijmenging....91

Figuur 36 Bodemprofiel ST21 (Hoeverheide), podzol (top van het profiel aan de linkerkant). De inspoelingslagen van humus (zwarte laag) en ijzerhoudende verbindingen (roodbruine laag) zijn goed te zien. De (bleekgrijze) uitspoelingslaag is weinig ontwikkeld....91

Figuur 37 Locaties met zwaardere textuur en diepte waarop deze zwaardere textuur voorkomt (= bovengrens van het meest oppervlakkige horizont met een zwaardere textuur). Op de locaties aangegeven door een klein zwart punt (boring in de legende) is er geboord, maar is er geen klei of leem aangetroffen. Links: boringen met kleiig (heel zwaar, kneedbaar) materiaal, rechts: locaties met lemig zand....92

Figuur 38 Bodemprofiel ST53C (de Katers) met vanaf ca 55 cm een aanzienlijke fractie klei gemengd met zandkorrels (top van het profiel aan de linkerkant)....92

Figuur 39 Resultaten van de textuuranalysen (laserdiffractie) voor de toplaag van de bodem (0 – 10 cm). Data INBO. Z = zand, S = lemig zand, E = klei....93

Figuur 40 Ligging van de veenboringen....93

Figuur 41 Ligging van de profielboringen met indicatie van de dikte van het organisch materiaal pakket (in cm). Links: Zwarte Beek, rechts: Helderbeek....94

Figuur 42 Overzicht van de percelen en hun classificatie als “zeer goed” (groen), “zeer slecht” (rood) en “nader te onderzoeken” (geel) op basis van de resultaten van het verkennend bodemonderzoek in 2014. Deze classificatie had hier enkel als doel om de nog beschikbare bodemstalen te concentreren op locaties waar ze het meest nuttig zouden zijn en moet niet worden gezien als een definitieve uitspraak over de potenties per perceel (dit laatste aspect wordt later besproken). Percelen 10 en 11 zijn deels opnieuw bemonsterd omdat een deel van de

stalen zeer slecht scoorde maar de andere helft vrij goed. Ook perceel 1 is maar deels opnieuw bemonsterd omdat een groot deel van het perceel al goed scoorde. 100

Figuur 43 Staalnamelocaties (ST) van het verkennend bodemonderzoek in 2014 en van het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015. De oranje markering werd gebruikt voor de locaties (Zwart Water) die in opdracht van ANB bemonsterd zijn om de milieudruk in het brongebied van de Zwarte Beek in kaart te brengen. De zwarte labels staan voor het perceelnummer. 101

Figuur 44 Olsen P concentratie gemeten in de toplaag van de bodem (bovenste 10 cm, in mg P / kg droge bodem). Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen van de toplaag). 103

Figuur 45 Olsen P concentratie op verschillende dieptes (in mg P/kg droge bodem). Vergelijking van de Olsen P-waarden gemeten tijdens het verkennend bodemonderzoek van 2014 en het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015 (Deel I: percelen 1 tot 6). ST = staalcode, P = perceelnummer). Indien er blauwe en rode balken overlappen, zijn er zowel in 2014 (rood) als in 2015 (blauw) stalen geanalyseerd. Zie figuur 43 voor de ligging van de stalen en van de percelen. De bruine horizontale lijn geeft het maaiveld niveau. De blauwe verticale lijnen geven het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland (0.5 – 10 mg / kg). BG: bepaalbaarheidsgrens (= 1 mg Olsen P / kg). N.b.: niet bepaald. Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. 104

Figuur 46 Olsen P concentratie op verschillende dieptes (in mg P/kg droge bodem). Vergelijking van de Olsen P-waarden gemeten tijdens het verkennend bodemonderzoek van 2014 en het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015 (Deel II: percelen 7 tot 11). ST = staalcode, P = perceelnummer). Indien er blauwe en rode balken overlappen, zijn er zowel in 2014 (rood) als in 2015 (blauw) stalen geanalyseerd. Zie figuur 43 voor de ligging van de stalen en van de percelen. De bruine horizontale lijn geeft het maaiveld niveau. De blauwe verticale lijnen geven het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland (0.5 – 10 mg / kg). BG: bepaalbaarheidsgrens (= 1 mg Olsen P / kg). N.b.: niet bepaald. Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. 105

Figuur 47 Olsen P concentratie op verschillende dieptes (in mg P/kg droge bodem). Vergelijking van de Olsen P-waarden gemeten tijdens het verkennend bodemonderzoek van 2014 en het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015 (Deel III: percelen 12 tot 23). ST = staalcode, P = perceelnummer). Indien er blauwe en rode balken overlappen, zijn er zowel in 2014 (rood) als in 2015 (blauw) stalen geanalyseerd. Zie figuur 43 voor de ligging van de stalen en van de percelen. De bruine horizontale lijn geeft het maaiveld niveau. De blauwe verticale lijnen geven het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland (0.5 – 10 mg / kg). BG: bepaalbaarheidsgrens (= 1 mg Olsen P / kg). N.b.: niet bepaald. Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. 106

Figuur 48 Totaal P-gehalte in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters. Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. 107

Figuur 49 Totaal P-gehalte in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters.Boven: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. Onder: Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 108

Figuur 50 Organische stof gehalte op verschillende dieptes (in %, gemiddelde waarde over 2014 en 2015). Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. 110

Figuur 51 Organische stof gehalte op verschillende dieptes (in %, gemiddelde waarde over 2014 en 2015). Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 111

Figuur 52 Resultaten voor pH(H_2O) in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-

10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. 112

Figuur 53 Resultaten voor pH(H_2O) in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 113

Figuur 54 Kjeldahl N in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole . Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. 114

Figuur 55 Kjeldahl N in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 115

Figuur 56 Basenverzadiging in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. 116

Figuur 57 Basenverzadiging in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. Onder: Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 117

Figuur 58 Kationenuitwisselingscapaciteit in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. 118

Figuur 59 Kationenuitwisselingscapaciteit in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 119

Figuur 60 Piëzometerlocaties in de omgeving van het Zwart Water (mogelijke herstellocaties) 120

Figuur 61 Piëzometerlocaties in de omgeving van Spiekelspade (referentiesituaties) 120

Figuur 62 Stiff diagrammen voor het grondwater in de zes piëzometers voor de bemonstering op 5/11/2015 121

Figuur 63 Maucha diagrammen voor het grondwater in de zes piëzometers voor de bemonstering op 5/11/2015 122

Figuur 64 Tijdreeks van grondwaterpeilen (in m t.o.v. het maaiveld) en inschatting van de karakteristieke grondwaterstanden in en om het Zwart Water 122

Figuur 65 Tijdreeksen van grondwaterpeilmetingen (in m t.o.v. het maaiveld) en inschatting van karakterisitieke grondwaterstanden in de omgeving van Spiekelspade 123

Figuur 66 Relatie tussen Olsen P en oxalaat extraheerbaar P voor de stalen genomen i.h.k.v. dit project (n = 240). Het fosfaatbindend vermogen van de bodem is berekend als de som van de molaire concentraties oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium. 127

Figuur 67 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **maaien en afvoeren** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 10 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd. 128

Figuur 68 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **maaien en afvoeren** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 15 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd. 129

Figuur 69 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **maaien en afvoeren** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 25 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd. 130

Figuur 70 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **uitmijnen** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 10 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). De met een kruis doorgehaalde punten vertonen concentraties lager dan 25 mg plantbeschikbaar P in de toplaag van de bodem. Op die punten kan al met biotisch herstel gestart worden en wordt afgeraden om een uitmijnbeheer toe te passen. Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd: op de met een kruis doorgehaalde witte punten was de concentratie plantbeschikbaar P vrij laag (niet ver boven de 10 mg Olsen P / kg) en wordt verwacht dat de doel van maximum 10 mg /kg (Olsen) in de toplaag op vrij korte termijn gehaald kan worden, op witte punten zonder kruis was de concentratie Olsen P veel te hoog en is uitmijnen geen optie. 131

Figuur 71 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **uitmijnen** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 15 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). De met een kruis doorgehaalde punten vertonen concentraties lager dan 25 mg plantbeschikbaar P in de toplaag van de bodem. Op die punten kan al met biotisch herstel gestart worden en wordt afgeraden om een uitmijnbeheer toe te passen. Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd: op de met een kruis doorgehaalde witte punten was de concentratie plantbeschikbaar P vrij laag (niet ver boven de 10 mg Olsen P / kg) en wordt verwacht dat de doel van maximum 10 mg /kg (Olsen) in de toplaag op vrij korte termijn gehaald kan worden, op witte punten zonder kruis was de concentratie Olsen P veel te hoog en is uitmijnen geen optie. 132

Figuur 72 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **uitmijnen** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 25 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). De met een kruis doorgehaalde punten vertonen concentraties lager dan 25 mg plantbeschikbaar P in de toplaag van de bodem. Op die punten kan al met biotisch herstel gestart worden en wordt afgeraden om een uitmijnbeheer toe te passen. Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd: op de met een kruis doorgehaalde witte punten was de concentratie plantbeschikbaar P vrij laag (niet ver boven de 10 mg Olsen P / kg) en wordt verwacht dat de doel van maximum 10 mg /kg (Olsen) in de toplaag op vrij korte termijn gehaald kan worden, op witte punten zonder kruis was de concentratie Olsen P veel te hoog en is uitmijnen geen optie. 133

Figuur 73 Minimale diepte van afgraving om een doelconcentratie van 10 mg plantbeschikbaar P (Olsen) / kg te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). 135

Figuur 74 Minimale diepte van afgraving om een doelconcentratie van 15 mg plantbeschikbaar P (Olsen) / kg te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). 136

Figuur 75 Minimale diepte van afgraving om een doelconcentratie van 25 mg plantbeschikbaar P (Olsen) / kg te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). 137

Figuur 76 Verloop van de elektrische geleidbaarheid in de Zwarte Beek aan de inlaat (ZWAS019 en 420535) en uitlaat (420530) van het Zwarte Water. Data (VMM en INBO (ZWAS019). Zwarte lijn: grens tussen de matige (boven) en goede ecologische toestand en grijze lijn: grens tussen de goed (boven) en zeer goede ecologische toestand (onder) conform de Kaderrichtlijn Water. 141

Figuur 77 Fosfaatverzadigingsgraad in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte (op 4 uitzonderingen na aan het Zwart Water waar de stalen op volgende dieptes zijn genomen: 0-10, 10-30 en 30-60 cm). Niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters. Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. 143

Figuur 78 Fosfaatverzadigingsgraad in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte (op 4 uitzonderingen na aan het Zwart Water waar de stalen op volgende dieptes zijn genomen: 0-10, 10-30 en 30-60 cm). Niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters. Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei. 144

Lijst van tabellen

Tabel 1 Bodemparameters op basis van de internationale literatuur voor droge heischrale graslanden (6230_hn) met N het aantal observaties 35

Tabel 2 Bodemparameters op basis van de internationale literatuur voor vochtige heischrale graslanden (6230_hmo) met N het aantal observaties 37

Tabel 3 Bodemparameters op basis van de internationale literatuur voor heischrale graslanden waarvan het subtype niet gekend is (6230) 38

Tabel 4 Referentiewaarden in (soortenrijke graslanden en) heischrale graslanden (overgenomen uit Herr 2013 en aangevuld met gegevens uit 2014-15). DG = droge grond. 41

Tabel 5 Vegetatieparameters op basis van de internationale literatuur voor droge heischrale graslanden (6230_hn) 43

Tabel 6 Vegetatieparameters op basis van de internationale literatuur voor vochtige heischrale graslanden (6230_hmo) 44

Tabel 7 Vegetatieparameters op basis van de internationale literatuur voor heischrale graslanden waarvan het subtype niet gekend is (6230) 44

Tabel 8 Hydrologische standplaatskenmerken van droge en vochtige heischrale graslanden op basis van literatuuronderzoek 45

Tabel 9 Schaal van Londo voor vegetatieopnames (Londo 1975) 50

Tabel 10 Gemiddelde waarden en bijhorende statistieken voor de bodem- en vegetatiekenmerken gemeten in de geselecteerde heischrale graslanden 52

Tabel 11 Resultaat van enkelvoudige logistische regressies voor de aanwezigheid van heischraal grasland (N = 58) t.o.v. heide (N = 64). Er werd telkens een andere beheervariabele als voorspellende variabele gebruikt in het model. De variabele die het sterkst gerelateerd is aan het voorkomen van heischraal grasland is gemarkeerd in groen. 62

Tabel 12 Overzicht van de weerhouden variabelen in het “beste” multiple logistisch regressiemodel. De odds ratio worden geïnterpreteerd als volgt (bv. voor pH): de kans dat een perceel eerder heischraal grasland is dan heide wordt 7.5 keer groter bij elke toename van 1 pH-eenheid in de bodem. 63

Tabel 13 Abiotische variabelen gerangschikt volgens afnemend belang in de CCA, met aanduiding van de relatieve lengte van de pijlen in het ordinatiediagram van figuur 25. 67

Tabel 14 Range van de gemeten waarden voor de verschillende bodemparameters in de INBO dataset van goed ontwikkelde heischrale graslanden. Uitschieters zijn uit deze dataset verwijderd. 73

Tabel 15 Overzicht bodemchemische variabelen 79

Tabel 16 Bodemtype(s) op de door ANB aangewezen percelen volgens de bodemkaart van België aangevuld met gegevens verzameld door het Centrum voor de Afwerking van de Bodemkaart van het Noorden van het Land onder leiding van Prof. E. Van Ranst van de Universiteit van Gent (De Vos en Herr 2014). 89

Tabel 17 Overzicht van het historisch landgebruik van de 23 door ANB aangeduide percelen op basis van historische kaarten percelen (zie figuur 33 voor de perceelnummers). 95

Tabel 18 Beheer uitgevoerd in de periode 2003-2013 in de verschillende de ANB aangeduide percelen (zie figuur 33 voor de perceelnummers). Het locatienummer verwijst naar de ST-nummers in figuur 43. NA: geen informatie beschikbaar. 96

Tabel 19 Overzicht van heischrale kensoorten en hun aanwezigheid in de SBZ (bron: eigen waarnemingen, Florabank en waarnemingen.be). 97

Tabel 20 Resultaten van de chemische analyse van grondwater in zes piëzometers op 5/11/2015 120

Tabel 21 Voordelen en nadelen van enkele herstel- en beheersmaatregelen 124

1 Algemene Inleiding

1.1 Situering

Dit rapport kadert in een onderzoek naar standplaatsvereisten en potenties voor habitatherstel in de speciale beschermingszone (SBZ) BE220009 “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”. Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) voert deze studie uit in opdracht van het Agentschap voor Natuur en Bos (ANB – studieopdracht LNE/ANB/LIM/2013/17).

Dit habitatrichtlijngebied vormt een essentieel gebied voor het habitattype heischrale graslanden (habitattype 6230) en herbergt meer dan 30% van de totale Vlaamse oppervlakte ervan. De huidige heischrale percelen, evenals potentiële uitbreidingsgebieden, liggen voornamelijk in domeinen van ANB, gebieden in eigendom en/of in beheer van erkende terreinbeherende verenigingen of in gebieden die via protocol in beheer zijn op militair domein. In het kader van het IHD-proces dient een gunstige staat van instandhouding gerealiseerd te worden voor dit habitattype.

De abiotische kenmerken, de landschappelijke positie en het beheer gerelateerd aan het voorkomen van heischrale graslanden zijn tot nu toe nog maar weinig bestudeerd in Vlaanderen. Voor beslissingen i.v.m. beheer en herstel wordt daarom vaak beroep gedaan op buitenlandse literatuur, hoewel de relevantie daarvan voor Vlaanderen niet bewezen is en soms zelfs in vraag gesteld wordt. Een uitgebreide studie in Vlaanderen naar de abiotische standplaatsvereisten van goed ontwikkelde heischrale graslanden en naar de mate waarin de standplaatskenmerken en het beheer verschillen tussen heischrale graslanden en verwante vegetatietypes, zoals heide, leek daarom aangewezen.

In dit project wordt terreinonderzoek gecombineerd met literatuurstudie. Het doel is om inzicht te verwerven in de abiotische standplaatsvereisten van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen. Daarnaast wordt de potentie voor de ontwikkeling van heischrale graslanden onderzocht in een reeks van potentiële doelpercelen en wordt advies gegeven over efficiënt beheer en herstel van heischrale graslanden.

1.2 Doelstellingen

Voor dit habitatrichtlijngebied werden specifieke instandhoudingsdoelstellingen (S-IHD) geformuleerd. Voor heischraal grasland zijn de doelstellingen een uitbreiding met ca. 20 ha vochtig en ca. 13 ha droog heischraal gebied, en de instandhouding van de huidige heischrale percelen. Het doel van dit project is om na te gaan of en waar juist deze doelstellingen gerealiseerd kunnen worden. Om dit te beoordelen is in eerste instantie een betere kennis nodig van de abiotische kenmerken gerelateerd aan het voorkomen van heischrale vegetaties in Vlaanderen, evenals meer kennis over het ontstaan en beheer van goed ontwikkelde heischrale vegetaties. Daarnaast dient bekeken te worden op welke locaties herstel en beheer van heischraal grasland zo (kosten)efficiënt mogelijk uitgevoerd kan worden.

Specifiek kunnen in dit project drie doelstellingen onderscheiden worden:

Doelstelling 1: Het versterken van de kennis over de landschappelijke positie, de abiotische standplaatsvereisten en het beheer van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen. Deze informatie gebruiken als onderbouwing van de streef- en grenswaarden voor goed ontwikkelde heischrale graslanden.

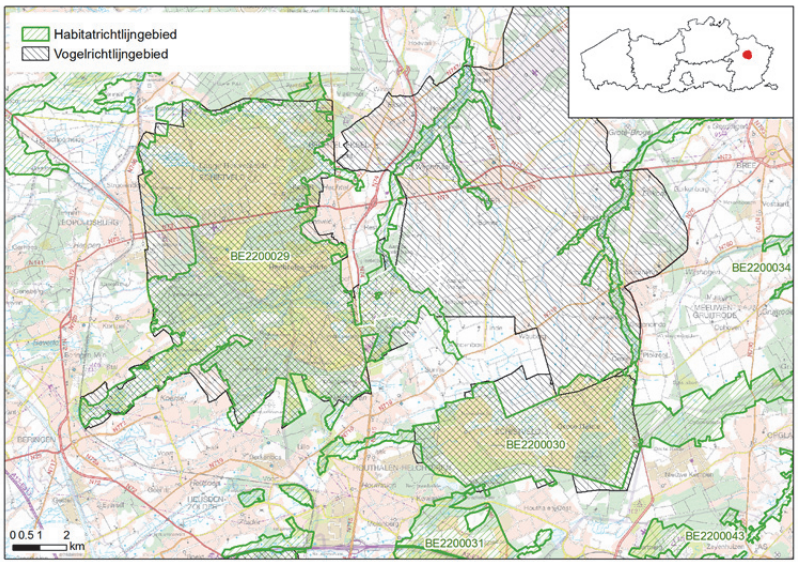
Doelstelling 2: Het afbakenen van kansrijke percelen voor de ontwikkeling van heischrale graslanden in het habitatgebied “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”. Het schatten van de doelafstand tot de “ideale” toestand en het opstellen van herstel-/omvormingstrajecten.

Doelstelling 3: Het opstellen van een praktische wegwijzer voor het beheer en herstel van heischrale graslanden in Vlaanderen.

1.3 Beschrijving van het onderzoeksgebied

1.3.1 Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden (SBZ BE2200029)

De Speciale Beschermingszone “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden” ligt in de provincie Limburg op grondgebied van de gemeenten Beringen, Heusden-Zolder, Hechtel-Eksel, Houthalen-Helchteren, Leopoldsburg, Lommel, Overpelt en Peer. Het gebied heeft een oppervlakte van 8306 ha. De ruimtelijke bestemming van deze SBZ bestaat voor ca. 55% uit militair gebied (Kamp van Beverlo), voor 25% uit natuur-, natuurreservaat- of bosgebied, en voor 15% uit landbouwgebied. De resterende 5% heeft voornamelijk een bestemming als woon- en recreatiegebied. Ongeveer 80 ha wordt uitgebaat als stortplaats (REMO).



Figuur 1 Situering van de SBZ “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”

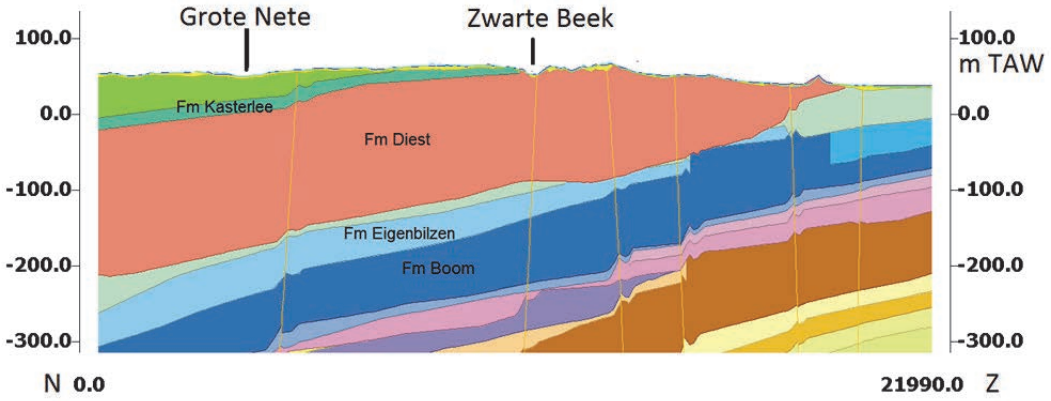
Het grootste deel van de SBZ is eigendom van het Ministerie voor Defensie. Een groot deel hiervan wordt beheerd door ANB. Daarnaast heeft ANB ca. 3,5% van de oppervlakte van de SBZ in eigendom en staat in voor het technisch beheer van ongeveer 531 ha bos. Binnen de SBZ is ongeveer 5% eigendom van Natuurpunt.

De SBZ ligt op en aan de westrand van het Kempens plateau. De waterscheidingslijn tussen het Maas- en Scheldebekken doorsnijdt het gebied. Het omvat de beekvalleien van de Grote Nete, de Visbeddenbeek en de Grote Beek welke tot het Netebekken behoren en de Zwarte Beek, de Helderbeek en de broekbeek die behoren tot het Demerbekken. Deze beken maken allen deel uit van het stroomgebied van de Schelde. De Dommel, de Bolisserbeek en hun zijbeken behoren op hun beurt tot het Maasbekken.

Het landschap in deze SBZ wordt plaatselijk gekarakteriseerd door uitgestrekte duinencomplexen die maximaal 15 m boven de vlakte uitsteken. De bodems in het gebied worden gekenmerkt door enerzijds droge zandbodems met grindbijmenging en landduinen zonder profielontwikkeling en anderzijds door natte zandige tot lemige bodems in of aan de rand van de valleien. In de valleien van o.a. de Zwarte Beek, de Grote Nete en de samenvloeiing van de Dommel en de Bolisserbeek is er veen afgezet bovenop het zand. Plaatselijk kunnen dit dikke veenpakketten zijn (4 tot 6 m dik), zoals o.a. in de vallei van de Zwarte Beek.

Het Kempens plateau is een belangrijk grondwaterinfiltratiegebied (Van Daele et al. 2001, Packet et al. 2011, De Becker et al. 2011). De watervoerende lagen bestaan in het zuidelijke deel uit de vrij goed doorlatende kleiige zanden van de formaties van Diest (HCOV-code 0252) en in het noordelijke deel uit de zeer goed doorlatende zanden van Kasterlee (HCOV-code 0234). Deze vormen een belangrijke aquifer of watervoerende laag die op de Formatie van Boom rust (figuur 2). De zanden van Diest zijn iets mineraalrijker dan die van Kasterlee. Beiden afzettingen zijn ijzerrijk. Omwille van de vrij grote hoeveelheden glauconiet dat bijgemengd is in de zanden van Diest zit er wat meer orthofosfaat in het grondwater afkomstig uit deze watervoerende laag, maar over het

algemeen zijn beide watervoerende lagen nutriëntenarm te noemen. Het is na langdurig contact met de zanden van Diest/Kasterlee, dat het diepere grondwater (soms extreem) ijzerrijk wordt.



Figuur 2 Noord-zuid geologische dwarsprofiel door de vallei van de Grote Nete en van de Zwarte Beek. Bron: DOV.

De regionale grondwaterstroming volgt in grote mate de regionale topografie (Stuckens 2004). De infiltratiegebieden worden gekarakteriseerd door soms aanzienlijk, maar perfect natuurlijk, fluctuerende grondwaterpeilen, zoals dat in quasi alle Vlaamse aquifers het geval is. Bovenop het Kempisch plateau komt het freatische grondwaterpeil , soms gedurende meerdere jaren ver boven het maaiveld uit, wat destijds als wateroverlast werd beschouwd. Als gevolg daarvan zijn er in het verleden vele kilometers drainagegrachten aangelegde, o.a. in het gebied "Hoeverheide" in het Kamp van Beverlo. Het doel daarvan was om het terrein beter toegankelijk te maken. Veel van deze ontwateringsgrachten direct ten noorden en ten zuiden van de vallei van de Zwarte Beek zijn inmiddels grotendeels terug gedempt zodat de grondwaterpeilen opnieuw geschikt zijn voor grotere oppervlakten vochtminnende vegetaties.

De beekvalleien worden gekenmerkt door uittredend grondwater (kwel). In de vallei van de Zwarte Beek kunnen die kwelintensiteiten oplopen tot meer dan 35 mm/dag. In de laagste delen van de valleien (Zwarte Beek, Grote Nete, samenvloeiing Dommel en Bolisserbeek) komen daardoor grote oppervlakten voor waar de gemiddelde grondwaterstand gelijk is aan het maaiveld en nauwelijks fluctueert doorheen het jaar. Dat zijn omstandigheden die ideaal zijn voor de vorming van veen. Voornamelijk in het stroomopwaartse deel van de Zwarte Beek en de Grote Nete komen aan de rand van de vallei minder doorlatende lagen van leem- of kleihoudend zand voor. Die lagen liggen topografisch gezien boven het valleiniveau, waardoor van daaruit plaatselijk water kan afstromen richting vallei.

Het gebied herbergt **17 Europese habitattypes** (figuur 3) en **27 Europese soorten**.

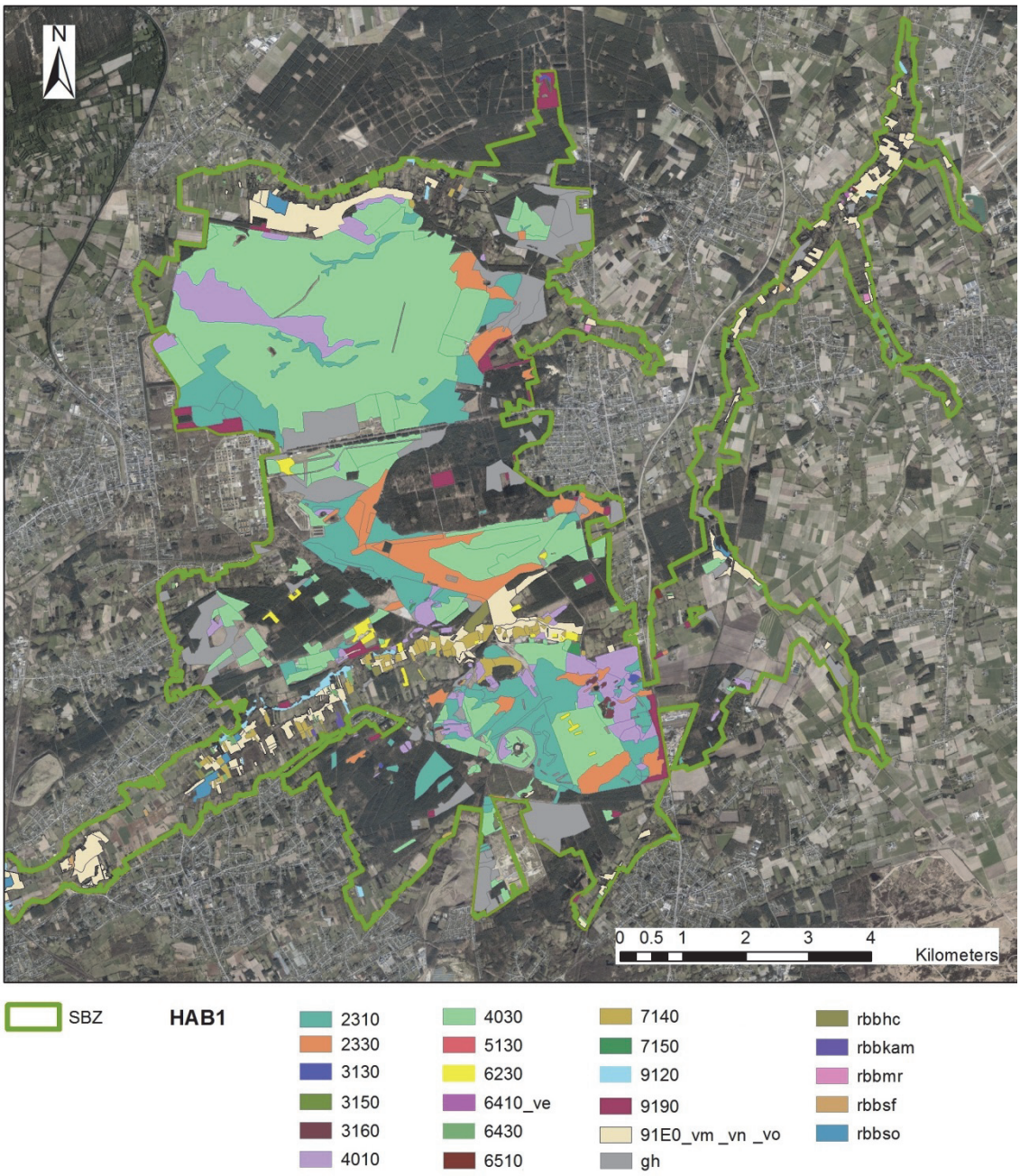
Volgens de gewestelijke instandhoudingsdoelstellingen (G-IHD) is het gebied "**essentieel**" (i.e. >15% van het totale areaal in Vlaanderen) voor de habitattypes 2310 (psammofiele heide met Calluna- en Genista-soorten), 2330 (open grasland met Corynephorus- en Agrostissoorten op landduinen), 3160 (dystrofe natuurlijke poelen en meren), 4010 (noord-Atlantische vochtige heide met Erica tetralix), 4030 (droge Europese heide), 6230 (soortenrijke heischrale graslanden op arme bodems van berggebieden en van submontane gebieden in het binnenland van Europa), 7140 (overgangs- en trilveen) en 7150 (slenken in veengronden met vegetatie behorend tot het Rhynchosporion).

De SBZ is "**zeer belangrijk**" voor de habitattypes 3260 (submontane en laagland rivieren met vegetaties behorend tot het Ranunculion fluitans en het Callitricho-Batrachion), 6430 (voedselrijke zoomvormende ruigten van het laagland, en van de montane en alpiene zones), 9190 (oude zuurminnende eikenbossen met Quercus robur op zandvlakten) en 91E0 (Alluviale bossen met Alnion glutinosa en Fraxinus excelsior (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae).

Daarnaast is het gebied "**belangrijk**" voor de habitattypes 3130 (oligotrofe tot mesotrofe stilstaande wateren met vegetatie behorend tot de Littorelletalia uniflora en/of de Isoëtes-Nanojunctea), 5130 (Juniperus communis-formaties in heidevelden of op kalkgrasland), 6410 (grasland met Molinia op kalkhoudende, venige of lemige kleibodem (Eu-Molinion), 6510 (Laaggelegen schraal hooiland (Alopecurus pratensis, Sanguisorba officinalis), 7110

(actief hoogveen) en 9120 (Atlantische zuurminnende beukenbossen met Ilex en soms ook Taxus in de ondergroei (Quercion robori-petraeae of Ilici-Fagenion).

Naast de Natura 2000 habitattypes komen er regionaal belangrijke biotopen voor zoals dotterbloemgrasland (rbbhc), moerasspirearuigte met graslandkenmerken (rbbhf), kamgrasland (rbbkam), gagelstruweel (rbbsm), wilgenstruweel (rbbsf en rbbso) en rietland (rbbmr; figuur 3).



Figuur 3 Dominante habitattypen (i.e. 'habitat 1'van de habitatkaart) binnen de SBZ "Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden" (INBO, habitatkaart versie 2014).

1.3.2 Voorkomen, actuele staat van instandhouding en potenties van habitattype 6230 (heischrale graslanden) in de SBZ

Het subtype 6230_hn (droog heischraal grasland) heeft momenteel in de SBZ een oppervlakte van ca. 90 ha, waarvan 24 ha in de vallei van de Zwarte Beek en 66 ha in het landschap van heide, vennen en bossen op en rond het Kamp van Beverlo. Het subtype 6230_hmo (vochtig heischraal grasland) heeft een actuele oppervlakte van 26 ha waarvan 25 ha in de vallei van de Zwarte Beek en 1 ha elders in het Kamp van Beverlo.

Beide subtypes bevinden zich momenteel in een "gedeeltelijk aangetaste staat van instandhouding" (Rapport S-IHD; ANB 2012). Zowel droge als natte heischrale graslanden komen in deze SBZ in te kleine oppervlakten voor om een goede staat van instandhouding te garanderen. Bovendien komen de habitats gefragmenteerd voor. Daarnaast zorgt de atmosferische depositie van vooral ammoniak en stikstofoxiden (NH_3 & NO_x) voor eutrofiëring van deze schrale habitats en voor verzuring van de bodem en het oppervlaktewater. De belangrijkste bronnen van deze depositie zijn landbouw en verkeer. Voor heischrale graslanden is het voornaamste gevolg dat ze verruigen. Ook lijden deze habitats aan een slechte kwaliteit van het oppervlakte- en grondwater en aan een suboptimaal beheer.

Het rapport met de specifieke instandhoudingsdoelstellingen (S-IHD) voor het gebied (ANB 2012) becijfert de nood aan extra oppervlakten: 13 ha extra te ontwikkelen droog heischraal grasland (6230_hn en 20 ha bijkomend vochtig heischraal grasland (6230_hmo). Daarnaast voorziet de S-IHD een belangrijke kwaliteitsverbetering van de actueel aanwezige heischrale graslanden.

Voor goed ontwikkeld *droog* heischraal grasland gelden de volgende kwaliteitsdoelstellingen (ANB 2012):

- Korte vegetatie (< 25 cm) met een bedekking van > 30% van de sleutelsoorten en < 5% verruiging
- Buffering tegen externe invloeden
- Zonbeschenen en weinig tot geen strooisellaag
- Herstel van de bodems tot het gewenste trofieniveau
- Plaatselijk: herstel of ontwikkelen van een bocage-landschap met zoomvegetaties en doornstruwelen i.f.v. leefgebied voor de grauwe klauwier
- Inbedding in een matrix van soortenrijke graslanden en regionale belangrijke biotopen

Voor goed ontwikkeld *vochtig* heischraal grasland gelden de volgende kwaliteitsdoelstellingen (ANB 2012):

- Beperkte strooisellaag, vervilting en verruigingsindicatoren
- bedekking van sleutelsoorten > 30%
- Beperkte boomopslag (< 10%)
- Buffering tegen externe invloeden
- Herstel van de bodems tot een gewenst trofieniveau
- Inbedding in matrix van soortenrijke graslanden en regionale belangrijke biotopen

Voor droog heischraal grasland 6230_hn zijn er voornamelijk potenties aanwezig op de overgangen tussen zand en veen in de valleien of op zandgronden met leembijmenging (ANB 2012). Dit is o.a. te vinden in het landschap van de vallei van de Grote Nete (Veeweideloop-Wijervlakte), in het Landschap van heide, vennen en bossen in en rond het kamp van Beverlo (Staleiker-Dumonsheide, Hoeverheide, Koerselse Heide, Gemeentebos, Remo, Kraanberg, Molenheide, e.a.), in het Landschap van het valleicomplex van de Zwarte Beek (Hogenbosheide, Spiekelspade, Brongebied) en in het Landschap van de Dommel en Bolisserbeek (Resterheide, Bovenloop Bolisserbeek en andere verspreide kleinere locaties).

Voor nat heischraal grasland komen er potenties voor in het Landschap van de vallei van de Grote Nete (verspreid over de ganse vallei), in het Landschap van heide, vennen en bossen in en rond het Kamp van Beverlo (Hoeverheide, Matthiashoeve, Katersdelle, Grote Beek, Hechtelse Heide, Achter de Witte Bergen, Helderbeek, Koerselse Heide, Broekbeek, Lange Heuvelheide), in het Landschap van het valleicomplex van de Zwarte Beek (brongebied en verspreid over de ganse Vallei) en in het Landschap van de Dommel en Bolisserbeek (Bovenloop Bollisserbeek, Resterheide, verspreid in de vallei) (ANB 2012).

1.3.3 Historisch landgebruik

Kenmerkend voor het landschap in de SBZ is het centrale open heideterrein, dat bewaard is gebleven door het gebruik als militair domein. Tot begin van 1900 vormden de heidegronden een essentieel onderdeel van het landbouwsysteem. Door overexploitatie ontstonden in een aantal zones landduinen. De grootste duinencomplexen situeren zich ten westen van Hechtel en liggen in en aangrenzend aan het Kamp van Beverlo. Om de woonkern van Hechtel tegen zandverstuivingen te beschermen werden houtkanten aangelegd. Ook in het meer zuidelijke deel van het Kamp van Beverlo liggen verschillende duincomplexen, waarvan de grootste in Hoeverheide en net ten noorden van de vallei van de Zwarte Beek.

In de beekvalleien werden verschillende molens gebouwd, onder meer in de 13^{e} eeuw op de Dommel. Kenmerkend is het kleinschalige beekdallandschap met vele grachtjes. Het bosareaal bleef tot de eerste helft van de 19^{e} eeuw zeer klein. Er kwamen slechts enkele loofbosjes voor, waarvan het oude eikenbeukenboslint langsheen de Zwarte Beek een fraai voorbeeld is. Nagenoeg het volledige landschap werd eeuwenlang en systematisch, in wisselende mate van intensiteit, in cultuur gebracht. Een vrij recent element zijn de naaldhoutaanplantingen verspreid op de plateaus. In het Kamp van Beverlo werden de eerste naaldbossen aangeplant tussen 1775-1850 (Gemeentebos en parkbos).

Rond 1920 kwam de mijnbouw in Beringen tot ontwikkeling. Dit leidde tot een sterke toename van de bebouwing in Beringen en de omzetting van de heidegronden tot naaldbos op de plateaus. Tussen 1935 en 1965 werd de Grote Heide omgezet naar grootschalige landbouw. Veel beken werden rechtgetrokken om de omliggende landbouwpercelen te kunnen draineren. Dat was onder meer het geval voor de dommel en de Bolisserbeek. In de valleien van de Grote Nete, en in mindere mate in de Dommel en de Zwarte Beek, verschenen in de jaren 70 van vorige eeuw visvijvers en weekendhuisjes. Het verlaten van de valleien (o.m. omwille van de mijnverzakkingen) leidde tot een verbossing. Dat gebeurde enerzijds door de aanplant van populier en anderzijds door spontane evolutie naar elzenbroekbossen (Sterckx 2008).

2 Heischrale graslanden: kenmerken en floristische samenstelling

2.1 Algemene kenmerken van heischrale graslanden

Heischrale graslanden (*Nardo-Galion saxatilis*, Preising 1949), zijn graslanden met een geringe biomassa, die vaak voorkomen in een mozaïek met heidevegetatie (Stieperaere 1990). Ze worden gedomineerd door grassen en grasachtigen (zeggen, russen) maar kruiden en dwergstruiken zijn eveneens talrijk aanwezig (Zwaenepoel en Stieperaere 2002). Ze zouden voorkomen voor op arme, meestal zure, bodems die mogelijk iets rijker zijn dan aangrenzende heide- of veenvegetaties. Onder een bemestingsregime zouden ze vrij gemakkelijk omgezet kunnen worden in cultuurgraslanden (Klapp 1951). Het zijn secundaire gemeenschappen die ontstaan en in stand gehouden worden door het maaien, begrazen, betreden, plaggen, afbranden of verstoren van heidevegetatie (Zwaenepoel en Stieperaere 2002). Omwille van hun schraal karakter en hun verwantschap met de heiden werd de term "heischrale graslanden" ingevoerd door Westhoff (1958). Het zwaartepunt van de verspreiding van heischrale graslanden is subatlantisch met een duidelijk (sub)alpien optimum. In Midden- en Zuid-Europa zijn er thermofiele vormen beschreven waarin een aantal soorten voorkomen die in de Benelux tot de kalkgraslanden beperkt zijn (Oberdorfer 1978).

Heischrale graslanden vallen onder het prioritaire Natura 2000 **habitattype 6230** (Soortenrijke heischrale graslanden op arme bodems van berggebieden en van submontane gebieden in het binnenland van Europa). Er worden daarin drie subtypes onderscheiden: droog heischraal grasland (**6230_hn**), vochtig heischraal grasland (**6230_hmo**) en heischraal grasland met kalkminnende soorten (**6230_hnk**). Omdat in de Vallei van de Zwarte Beek enkel de eerste twee subtypes (kunnen) voorkomen, beperkt dit project zich tot de studie van deze twee. In wat volgt wordt dieper ingegaan op de floristische kenmerken van goed ontwikkelde heischrale graslanden.

2.2 Floristische samenstelling en classificatie

2.2.1 Klasse en Orden

Heischrale graslanden behoren tot de **Klasse** van de ***Nardetea*** (Rivas Goday & Borja Carbonel 1961) Rivas Goday & Rivas Martínez 1963. Daarin kunnen twee **Orden** onderscheiden worden: de orde van de ***Nardetalia*** Oberdorfer ex Preising 1950, welke de mesofiele heischrale graslanden omvat, en de orde van de ***Juncetalia squarrosi*** Passarge 1964 met daarin de venige heischrale graslanden.

In internationale context (Westhoff & Den Held 1969, Swertz et al. 1996) worden de volgende soorten vaak genoemd als kensoorten van deze klasse en orden (Stieperaere 1990, Zwaenepoel & Stieperaere 2002):

- bleke zegge (*Carex pallescens*)
- **borstelgras (*Nardus stricta*)**
- bosboterbloem (*Ranunculus serpens*)
- **dichtbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *congesta*)**
- **gelobde maanvaren (*Botrychium lunaria*)**
- gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*)
- gewone vleugeltjesbloem (*Polygala vulgaris*)
- **fijn schapengras (*Festuca filiformis*)**
- heidekartelblad (*Pedicularis sylvatica*)
- **hondsviooltje (*Viola canina*)**
- kalkwalstro (*Galium pumilum*)
- **liggend walstro (*Galium saxatile*)**
- liggende vleugeltjesbloem (*Polygala serpyllifolia*)
- **mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*)**
- **pilzegge (*Carex pilulifera*)**
- rozenkransje (*Antennaria dioica*)
- spits havikskruid (*Hieracium lactucella*)
- stekelbrem (*Genista anglica*)
- **tandjesgras (*Danthonia decumbens*)**
- **tormentil (*Potentilla erecta*)**

- veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *multiflora*)
- veldgentiaan (*Gentianella campestris*)
- **welriekende nachtorchis (*Platanthera bifolia*)**
- wilde narcis (*Narcissus pseudonarcissus*)
- witte muggenorchis (*Leucorchis albida*)
- wolverlei (*Arnica montana*)
- **zandstruisgras (*Agrostis vinealis*)**

De in **vet** aangeduide soorten zijn bruikbaar als Klasse- en Orde-kensoorten in Vlaanderen (Zwaenepoel en Stieperaere 2002). Tandjesgras is de beste klasse-kensoort aangezien ze veel voorkomt, alle associaties overschrijdt en trouw is. Gewoon reukgras (*Anthoxantum odoratum*), gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*), muizenoor (*Hieracium pilosella*) en gewone veldbies (*Luzula campestris*) zijn eveneens belangrijke heischrale soorten, maar zijn wel gemeenschappelijke met de Klasse der droge graslanden op zand (*Koelerio-Corynephoretea*).

De overige soorten zijn in Vlaanderen niet, of minder goed, bruikbaar als klasse- of orde-kensoort. Witte muggenorchis komt niet voor in Vlaanderen en wilde narcis komt in heischrale graslanden enkel voor door verwildering. Rozenkransje, veldgentiaan en wolverlei zijn in Vlaanderen al enige tijd uitgestorven, terwijl kalkwalstro en bosboterbloem uiterst zeldzaam zijn in Vlaanderen. Bleke zegge, gevlekte orchis, stekelbrem, veelbloemige veldbies en spits havikskruid zijn niet beperkt tot heischrale graslanden, maar vertonen eveneens een hoge aanwezigheid in andere graslandtypes. Heidekartelblad en liggende vleugeltjesbloem zijn in Vlaanderen kensoorten voor de associatie van vochtige heischrale graslanden (zie verder). Gewone vleugeltjesbloem heeft volgens Stieperaere in Vlaanderen een zeer geringe presentie in heischraal grasland en blijft daarin beperkt tot het meer kalkrijke type.

2.2.2 Verbonden

2.2.2.1 Internationaal

Op niveau van het verbond werd het ***Nardion*** voor het eerst beschreven door **Braun-Blanquet** (1926). Dit verbond omvatte zowel (sub)alpiene als laaglandvegetaties, gaande van mediterrane bergen en (sub)alpiene etages tot graslanden op zeeniveau in Scandinavië. Braun-Blanquet kwam echter snel terug op deze brede geografische opvatting en benadrukte sindsdien het (sub)alpiene karakter van deze graslanden.

In 1933 creëerde **Sillinger** het verbond ***Nardo-Agrostiion tenuis***. Het betrof hier vooral mesofiele montane vegetaties, aangevuld met subalpiene elementen. Het ***Violion caninae*** **Schwickerath** 1944 bevatte meer subatlantische elementen uit de westelijke middelgebergten maar was nauw verwant aan het *Nardo-Agrostiion tenuis* Sillinger 1933. De naam *Nardo-Agrostiion* heeft prioriteit over *Violion caninae*.

In 1950 verenigde **Priesing** de montane en alpiene heischrale graslanden met gelijkaardige vegetatietypes uit de laaglanden in zijn verbond ***Nardo-Galion saxatilis***. Dit verbond wordt vaak beperkt tot de meer venige, vochtige heischrale graslanden (cfr. Stieperaere 1990). Het verbond kan echter ook in brede zin gebruikt worden en dan zowel droge als vochtige heischrale graslanden bevatten. Bij een dergelijke brede opvatting (cfr. Zwaenepoel en Schaminée) worden zowel de namen *Nardo-Galion saxatilis*, *Violion caninae* als *Nardo-Agrostiion tenuis* gebruikt.

2.2.2.2 Verbonden relevant voor België

Voor België erkent Sieperaere (1990) twee verbonden: het *Nardo-Agrostiion tenuis* Sillinger 1933 en het *Nardo-Galion saxatilis* Priesing 1950.

Hij rekent de Vlaamse **droge heischrale graslanden** (Associatie van liggend walstro en schapegras; 6230_hn) en de **kalk-associatie** (Associatie van betonie en gevinde kortsteel; 6230_hnk) tot het ***Nardo-Agrostiion tenuis*** **Sillinger 1933**. Voor dit verbond gelden internationaal de volgende kensoorten:

- bleke zegge (*Carex pallescens*)
- rostkovs ogentroost (*Euphrasia rostkoviana*)
- kalkwalstro (*Galium pumilum*)
- pijlbrem (*Genistella sagittalis*)

- spits havikskruid (*Hieracium lactucella*)
- gevlekt hertshooi (*Hypericum maculatum*)
- witte veldbies (*Luzula luzuloides*)
- bergvenkel (*Meum athamanticum*)
- bosboterbloem (*Ranunculus serpens*)
- grote tijm (*Thymus pulegioides*)
- **mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*)**

De enige bruikbare kensoort voor Vlaanderen, mannetjesereprijs, komt spijtig genoeg in de beide verbonden voor. De overige kensoorten zijn hier zeer zeldzaam (pijlbrem, rostkovs ogentroost, kalkwalstro, gevlekt hertshooi, bosboterbloem) of komen niet (meer) voor (witte veldbies, bergvenkel). Daarom is het in België zeer moeilijk om een onderscheid te maken tussen de twee verbonden op basis van kensoorten. Het gebruik van classificatie- en ordinatietechnieken is daarom noodzakelijk.

De Vlaamse **vochtige heischrale graslanden** (Associatie van liggende vleugeltjesbloem en heidekartelblad; 6230_hmo) rekent Stieperaere tot het ***Nardo-Galion saxatilis* Priesing 1950 em. Stieperaere**, meer bepaald het onderverbond *Nardo-Galenion saxatilis*. Ook voor dit verbond zijn de internationale kensoorten slechts beperkt bruikbaar in Vlaanderen:

- **tweenervige zegge (*Carex binervis*)**
- **gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*)**
- klokjesgentiaan (*Gentiana pneumnonanthe*)
- trekrus (*Juncus squarrosus*)
- **dichtbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *congesta*)**
- veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *multiflora*)
- **heidekartelblad (*Pedicularis sylvatica*)**

Klokjesgentiaan en trekrus hebben in Vlaanderen een optimum in natte heide en veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *multiflora*) heeft een ruimere maar niet goed gekende amplitude.

Omwille van de hoger vermelde redenen raden Zwaenepoel en Stieperaere (2002) aan om niet te veel rekening te houden met het verbondsniveau in Vlaanderen.

2.2.3 Associaties

Sougnez (1977) was de eerste die de Belgische heischrale graslanden grondig documenteerde. Hij baseerde zich daarvoor op 151 vegetatieopnames, vooral afkomstig van Hoog-België. Hij beschreef zeven associaties, maar ging niet in op de afgrenzing van het verbond. Gezien het geringe aantal opnames uit Vlaanderen, gaan we niet verder in op deze classificatie.

In de jaren ’90 maakte **Stieperaere** 71 nieuwe opnamen in Laag-België, die hij samen met de 151 vegetatieopnames van Sougnez en enkele bijkomende buitenlandse opnames analyseerde. Zijn herziening van de Belgische *Nardetea* leidde tot het weerhouden van vier associaties (Stieperaere 1993), welke later gereduceerd werden tot **drie associaties** (Zwaenepoel en Stieperaere 2002). Deze drie associaties worden hierna verder besproken.

2.2.3.1 Associatie van betonie en gevinde kortsteel - Festuco rubrae-Genistelletum sagittalis Issler 1929 (“kalk-associatie”; habitattype 6230_hnk)

Deze associatie is wijdverspreid in de Centraal-Europese bergen. Ze omvat een reeks Waalse heischrale graslanden, maar voor Vlaanderen is deze associatie voornamelijk beperkt tot heischraal grasland van de Sint-Pietersberg-Tiendeberg. Een voor Vlaanderen werkbare beschrijving (Zwaenepoel en Stieperaere 2002) is een associatie **zonder kensoorten** met borstelgras, tormentil, tandjesgras, hondsviooltje, stijve ogentroost (Euphrasia stricta) en stekelbrem als belangrijkste heischrale soorten. De volgende soorten zijn differentiërend tegenover de twee andere associaties: gevinde kortsteel (*Brachypodium pinnatum*), kleine pimpernel (*Sanguisorba minor*), kleine bevernel (*Pimpinella saxifraga*), zachte haver *(Helictotrichon pubescens*), bevertjes (*Briza media*), ruige leeuwentand (*Leontodon hispidus*), voorjaarszegge (*Carex caryophyllea*) en kleine ratelaar (*Rhinanthus minor*). Dit is de enige van de drie associaties in Vlaanderen waarin borstelgras een belangrijk aandeel inneemt. Aangezien dit type van

heischraal grasland op kalkbodem voor Vlaanderen beperkt is tot het gebied van de Sint-Pietersberg-Tiendeberg, en dus niet relevant is voor de Vallei van de Zwarte Beek, wordt dit type niet opgenomen in de analyses voor dit project. Het project beperkt zich dan ook tot de twee hierna besproken vegetatietypes die naadloos aansluiten bij habitattypes 6230_hn en 6230_hmo.

2.2.3.2 Associatie van liggend walstro en schapegras - Galio hercynici-Festucetum ovinae Rasch ex Stieperaere 1969 ("droge associatie"; ≈ habitattype 6230_hn)

Deze associatie is wijdverspreid in de Atlantische delen van Europa, van Noord-Duitsland tot Galicië en Schotland. Het betreft eveneens een associatie **zonder kensoorten** met tandjesgras, tormentil , hondsviooltje , stijve ogentroost , pilzegge en liggend walstro (*Galium saxatile*) als belangrijkste heischrale soorten. Fijn schapegras (*Festuca filiformis*), gewoon biggenkruid (*Hypochaeris radicata*), muizenoor (*Hieracium pilosella*), zandblauwtje (*Jasione montana*), schapezuring (*Rumex acetosella*), brem (*Cytisus scoparius*), zandzegge (*Carex arenaria*), zandhaarmos (*Polytrichum juniperinum*), kleine leeuwentand (*Leontodon saxatilis*) en klein vogelpootje (*Ornithopus perpusillus*) zijn differentiërende soorten ten opzichte van de overige associaties.

Stieparaere (1993) geeft de volgende **kencombinatie** op: brem, muizenoor, hondsviooltje, bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*) en mannetjesereprijs. Hij onderscheidt ook een variant mét bosplanten, o.a. echte guldenroede (*Solidago virgaurea*), hengel (*Melampyrum pratense*) en schermhavikskruid (*Hieracium umbellatum*) en een variant zonder bosplanten. In die laatste heeft rode dopheide (*Erica cinerea*) een belangrijke rol.

2.2.3.3 Associatie van Liggende vleugeltjesbloem en Heidekartelblad - Gentiano pneumonanthes-Nardetum Priesing 1950 nom. inv. ("vochtige associatie"; ≈ habitattype 6230_hmo)

De derde associatie is een meer subatlantische vorm, die voorkomt in West- en Noord-Duitsland, Nederland en de Belgische Kempen. Ze heeft als **kensoorten:** liggende vleugeltjesbloem , heidekartelblad en tweenervige zegge. Gevlekte orchis is differentiërend ten opzichte van de overige twee associaties.

Binnen deze associatie zijn er drie potentiële sub-associaties:

- De **Kempische cluster** (***gentianetosum***) met als differentiërende soorten klokjesgentiaan, trekrus, ronde zonnedauw (*Drosera rotundifolia*), stekelbrem en borstelgras
- De **Atlantische cluster** (***ercicetosum cinereae***) met als differentiërende soorten rode dophei, valse salie (*Teucrium scorodonia*), brem, mannetjesereprijs, stijve ogentroost, brunel (*Prunella vulgaris*), kleine klaver (*Trifolium dubium*), smalle weegbree (*Plantago lanceolata*), heermoes (*Equisetum arvense*) en witte klaver (*Trifolium repens*)
- Een derde negatief gedifferentieerde cluster waarin zandstruisgras (*Agrostis vinealis*) relatief hoog scoort.

2.3 Definities gebruikt in dit project

In dit project werd gebruik gemaakt van de op het INBO ontwikkelde veldsleutel voor graslanden (Wouters et al. 2014) om te bepalen of een plantengemeenschap al dan niet voldeed aan de criteria van een goed ontwikkeld heischraal grasland. Gedegradeerde vormen en rompgemeenschappen werden bijgevolg niet in onze analyses opgenomen.

Logischerwijs is er veel overlap tussen de soorten vermeld in de veldsleutel en de hoger vermelde typische soorten, zeker op het niveau van Klasse, Orde en Verbond. Daarnaast bevat de veldsleutel soorten die toegevoegd zijn op basis van de typische soortensamenstelling van heischrale graslanden in Vlaanderen. Concreet werd in dit project gewerkt met de volgende voorwaarden voor de selectie van heischrale graslanden:

Droge heischrale graslanden (6230_hn):

- Grasland op arme, meestal zure bodem
- Minstens vier soorten uit de **Hn-groep zijn** minstens occasioneel aanwezig en bedekken samen min. 10% van de oppervlakte:
    - gelobde maanvaren (*Botrychium lunaria*)
    - tweenervige zegge (*Carex binervis*)
    - bleke zegge (*Carex pallescens*)
    - gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*)
    - tandjesgras (*Danthonia decumbens*)
    - stijve ogentroost (*Euphrasia stricta*)
    - fijn schapengras (*Festuca filiformis*)
    - liggend walstro (*Galium saxatile*)
    - klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*)
    - spits havikskruid (*Hieracium lactucella*)
    - stijf havikskruid (*Hieracium laevigatum*)
    - trekrus (*Juncus squarrosus*)
    - knollathyrus (*Lathyrus linifolius*)
    - veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora*)
    - borstelgras (*Nardus stricta*)
    - heidekartelblad (*Pedicularis sylvatica*)
    - welriekende nachtorchis (*Platanthera bifolia*)
    - liggende vleugeltjesbloem (*Polygala serpyllifolia*)
    - tormentil (*Potentilla erecta*)
    - zaagblad (*Serratula tinctoria*)
    - blauwe knoop (*Succisa pratensis*)
    - mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*)
    - hondsviooltje (*Viola canina*)
    - bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*)
- Dit TEZAMEN MET één of meerdere van de volgende heide/heischrale soorten:
    - zandstruisgras (*Agrostis vinealis*)
    - struikheide (*Calluna vulgaris*)
    - zandzegge (*Carex arenaria*)
    - pilzegge (*Carex pilulifera*)
    - brem (*Cytisus scoparius*)
    - bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*)
    - rode dopheide (*Erica cinerea*)
    - gewone dopheide (*Erica tetralix*)
    - stekelbrem (*Genista anglica*)
    - kruipbrem (*Genista pilosa*)
    - gaspeldoorn (*Ulex europaeus*)
    - blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*)
    - rode bosbes (*Vaccinium vitis-idaea*)

Vochtige heischrale graslanden (6230_hmo):

- Grasland op arme, meestal zure bodem
- Aanwezigheid van een vochtindicator (soort met Ellenberg F-waarde >= 8)
- Minstens 1 soort uit de **Hmo-groep** occasioneel aanwezig:
    - tweenervige zegge (Carex binervis)
    - gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*)
    - klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*)
    - trekrus (*Juncus squarrosus*)
    - heidekartelblad (*Pedicularis sylvatica*)
    - welriekende nachtorchis (*Platanthera bifolia*)
    - liggende vleugeltjesbloem (*Polygala serpyllifolia*)
    - zaagblad (*Serratula tinctoria*)
- Minstens vier soorten uit de Hn-groep zijn (zie hierboven) aanwezig en bedekken samen min. 10% van de oppervlakte

3 Literatuurstudie naar de landschappelijke positie, de abiotische standplaatsvereisten en het beheer van goed ontwikkelde heischrale graslanden

3.1 Achtergrond

In wat volgt worden de resultaten van het literatuuronderzoek naar de ecologische vereisten van heischrale graslanden voorgesteld. Deze informatie geeft ons inzicht in waar heischrale graslanden potentieel kunnen voorkomen (zowel landschappelijk gezien als op basis van bodem- en grondwaterkenmerken) en hoe ze het best beheerd kunnen worden. In eerste instantie zijn we op zoek gegaan naar informatie in Vlaamse en Nederlandse studies omdat die het meest relevant zijn voor het herstel en de ontwikkeling van heischrale graslanden in de Vallei van de Zwarte Beek. Daarnaast hebben we de internationale literatuur doorzocht, enerzijds omdat er slechts weinig datasets aanwezig waren voor Vlaanderen en Nederland, anderzijds omdat heischrale graslanden in andere (Europese) landen vaak in een betere, en dus minder gedegradeerde, toestand voorkomen dan in onze dichtbevolkte gebieden. Ze geven dus mogelijk een betere kijk op de situatie waar we naar streven.

Eerst geven we een overzicht van de landschappelijke positie van heischrale graslanden en het beheer dat in dergelijke graslanden wordt toegepast. Daarna worden de standplaatskenmerken op basis van bodemchemie, grondwaterstanden en –kwaliteit en biomassagegevens uit de binnen- en buitenlandse literatuur besproken. Deze gegevens worden in hoofdstuk 4 vergeleken met de resultaten van het standplaatsonderzoek uitgevoerd in het kader van het huidige project.

3.2 Landschappelijke positie van heischrale graslanden

3.2.1 Bodem-chemische achtergrond

Volgens de heersende opvattingen ontwikkelt heischraal grasland zich daar waar er van nature wat meer (basische) kationen in de bodem aanwezig zijn (Decleer 2007). Daarbij worden een aantal veronderstellingen gemaakt die een minimum aan bodem-chemische achtergrond vereisen, welke in wat volgt worden toegelicht.

Pure zandbodems (chemisch is dat SiO_2) zijn chemisch niet ‘actief’, dat wil zeggen dat er geen negatieve bindingsplaatsen (zgn. kationenuitwisselingsplaatsen) aanwezig zijn waarop natrium, kalium, calcium of magnesium (zgn. basische, positief geladen (kat-)ionen) zich kunnen binden. Als gevolg daarvan zijn die bodems altijd erg zuur. Pure zandbodems kunnen toch wat basische kationen bevatten als er organisch materiaal in aanwezig is dat er al dan niet doorgemengd wordt. In dat organisch materiaal zitten mineralen opgesloten die vrijkomen bij mineralisatie. Bovendien zitten er op dat (gedeeltelijk gemineraliseerd) organisch materiaal ook nogal wat kationenuitwisselingsplaatsen. Het geheel van alle kationenuitwisselingsplaatsen van een bepaalde bodem wordt de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC of Cation Exchange Capacity) genoemd. De CEC op arme zandbodems is zo laag dat er nauwelijks mineralen te halen vallen voor planten. Bepaalde planten kunnen daar letterlijk ‘mee leven’, anderen niet. Het uitgangspunt is dat op dergelijke bodems geen heischraal grasland tot ontwikkeling komt, maar wel heide. Die kan dan vochtig of droog zijn, afhankelijk van de geohydrologische positie van de locatie in kwestie.

Als er in een bodem bijmenging is van leem of klei, dan stijgt de CEC aanzienlijk. Dat komt omdat klei en leem zeer veel kationenuitwisselingsplaatsen bezitten. In leem of klei zitten doorgaans effectief hoge concentraties aan basische kationen. Een deel hiervan zit ingebouwd in de kristalstructuur en is voor planten niet beschikbaar, maar doorgaans is er ook een hoeveelheid die losjes gebonden zit op die kationenuitwisselingsplaatsen en wel beschikbaar is. Als alle CEC-plaatsen bezet zijn met basische kationen, dan is de ‘basenverzadigingsgraad (BV)’ 100%. Zijn alle basische kationen daarentegen vervangen door protonen (H^+) dan is de BV = 0%. Uiteraard reageren plantensoorten niet op een kationenuitwisselingscapaciteit of op een verzadigingsgraad, maar wel op de hoeveelheid beschikbare basische kationen. Dat is gewoon het product van CEC en BV. De basische kationen zijn calcium, magnesium, natrium en kalium. Ze zijn alle negatief geladen en ‘binden’ op de kationenuitwisselingsplaatsen van de bodem.

Planten halen die kationen via hun wortels binnen. Afhankelijk van de plantensoort zijn er meer of minder van die kationen nodig om te kunnen overleven, groeien en bloeien. Planten 'verbruiken' dus basische kationen. Ze hebben die nodig voor hun bio-chemische processen. Magnesium is bijvoorbeeld het centrale atoom in bladgroen, natrium en kalium zijn van groot belang in transport van voedingsstoffen in de plant, enz.

Als deze kationen door planten van een bodempartikel worden losgehaald, dan worden daarvoor gelijke hoeveelheden protonen (H^+) in de plaats afgezet. Dat gebeurt niet alleen door planten. Zure neerslag bijvoorbeeld zorgt er voor dat veel van die kationen verdwijnen in de bodem en vervangen worden door protonen. Aan de andere kant komen er basische kationen bij in een bodem door aanvoer via grond- of oppervlaktewater, via bekalking/bemesting, maar ook uit het (doorgaans erg trage) proces van verwering van (klei)mineralen waarbij ingesloten basische kationen vrijkomen en zich op de negatief geladen locaties gaan binden.

Heidesoorten kunnen het stellen met bijzonder weinig beschikbare basische kationen in de bodem; met andere woorden, ze kunnen groeien op een bodem met een lage basenverzadigingsgraad. Er wordt in de literatuur van uitgegaan dat er voor de ontwikkeling van heischraal grasland, in de bodem meer basische kationen beschikbaar moeten zijn dan dat het geval is voor heide (Decleer 2007). Daarom wordt er verondersteld dat heischrale graslanden zich binnen een heide-ecosysteem ontwikkelen op die locaties waar er meer van de kationen (Na, K, Ca en Mg) beschikbaar zijn.

Uiteraard is het niet voldoende om voor CEC en kationen een bepaalde ondergrens te halen. Ook de bovengrens is van belang. Wordt de CEC en de concentratie kationen te hoog, dan is er geen sprake meer van heischrale graslanden, maar wel van bijvoorbeeld struisgraslanden of nog een hele reeks andere habitattypen. De CEC, de concentratie basische kationen en nog een reeks andere standplaatsfactoren moeten zich binnen een welbepaalde 'ecologische bandbreedte' bevinden.

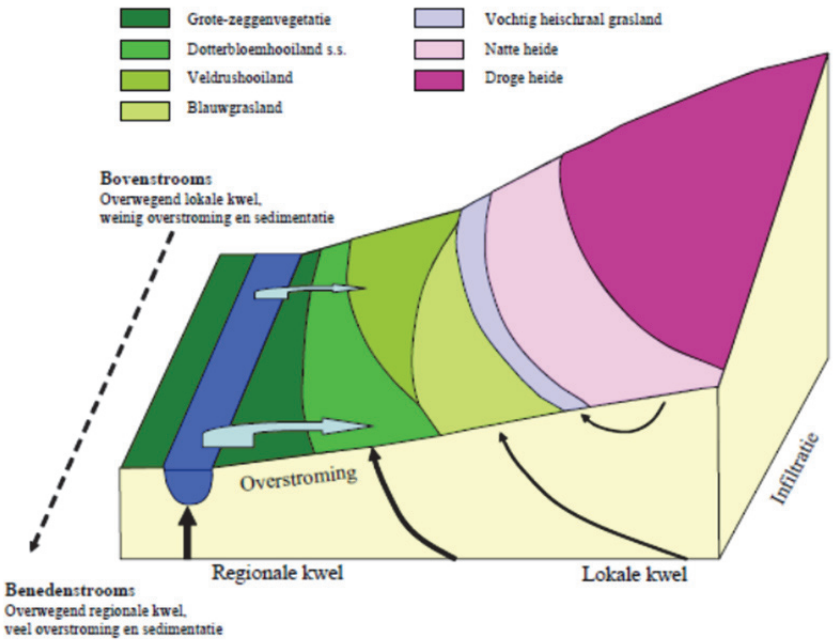
3.2.2 Lokale gradiënten van schraallandvegetatietypen

Door de verschillende eisen die schraallandtypen stellen aan hun standplaats, komen ze voor op verschillende plekken in het landschap. In grote lijnen komt de positie in het landschap overeen met die zoals geschetst door Cools et al. 2006 (figuur 4). Daarbij komen de wat productievere *dotterbloemgraslanden* vooral voor in lager gelegen gebieden, waar zowel aanvoer van basenrijk water via regionale kwel als aanvoer van nutriënten via overstromingen plaatsvindt. De wat minder productieve en minder basenrijke *veldrusgraslanden* treft men meestal aan op de flanken van beekdalen op de overgang naar hogere zandgronden waar weinig of geen aanvoer van nutriënten met het door eventuele overstromingen afgezet sediment plaatsvindt, maar die nog wel onder de invloed staan van mineraalrijke kwel. *Veldrusgraslanden* komen ook voor in de bovenlopen van beken, of langs valleiflanken op de overgang van collucium naar alluvium. *Vochtige heischrale graslanden* vormen qua basenrijkdom van het grondwater op de standplaats en qua plantensoortensamenstelling een overgang tussen veldrusgraslanden en vochtige heidevegetaties. Het type is van oorsprong aanwezig in heidevelden, in de bovenlopen van beken en in de overgangszone van heide naar beekdal, alwaar kwelwater van lokale oorsprong in het maaiveld kan doordringen (Cools et al. 2006; figuur 4).

Een studie naar het voorkomen van *droge heischrale graslanden* in Nederland vermeldt dat deze vooral voorkomen in de gradiënt van droge heide naar gebufferde vennen of naar beekdal-graslanden (Smits et al. 2012). In heideterreinen wordt het type ook lintvormig aangetroffen op licht betreden delen, zoals langs paden en wegen. Plaatselijk komen heischrale graslanden voor in heidelandschappen op plekken waar leem is gestort of gewonnen. Op andere plaatsen is de bodem in het verleden geploegd en is daardoor organisch materiaal in de bodem gemengd. Behalve op zandbodem komt het type in pleistoceen Nederland in verarmde vorm voor op verdrogend veen.

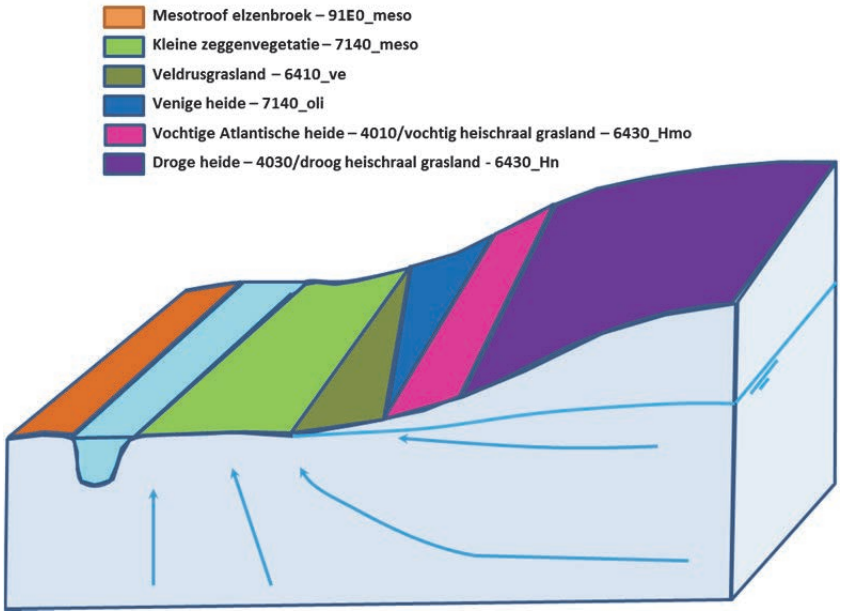
Verhelderend inzake inzichten rond de abiotische omstandigheden en de natuurlijke successie van heischrale graslanden is het uitgebreide literatuuronderzoek in het Verenigd Koninkrijk (Tubbs 1986, Rodwell 1992). In het VK zijn er vandaag nog enorme oppervlakten heischrale graslanden voorhanden. Qua standplaats wordt gesteld dat een hoogte van 200 meter boven de zeespiegel cruciaal is voor de goede ontwikkeling, omdat er anders geleidelijk meer bijmenging van heide- en struisgraslandsoorten optreedt. In die context moeten alle Vlaamse en Nederlandse groeiplaatsen als suboptimaal bekeken worden en is het een potentiële verklaring waarom er nooit grote oppervlakten van aangetroffen worden, maar eerder relatief kleine vlekken 'in' andere vegetatietypen. Verder wordt gesteld dat het vegetatietype er, in de sub-montane regio's (150-400 m boven zeeniveau), sterk op vooruit

gegaan is door begrazing met schapen nu i.p.v. met runderen zoals vroeger. Dit is omwille van “the less choosy character of sheep grazing”, waarbij runderen, die in de middeleeuwen veel algemener waren, specifiek voor borstelgras en tandjesgras gingen waardoor de soorten in kwestie “weggegraasd” werden. Schapen zouden niet zo specifiek ‘zoeken’ naar soorten. Vermindering van de begrazingsdruk leidt tot langzame successie richting heide en vice versa. Beheer is met andere woorden een erg belangrijke factor in het behoud en ontwikkeling van heischraal grasland. Zo evolueren zones in heidesystemen door een hoge begrazingsdruk (eventueel in combinatie met maaien) richting heischraal grasland.



Figuur 4 Schematisch overzicht van de landschappelijke ligging van diverse schraallandtypen (*Bron*: Cools et al. 2006)

Vertaald naar de abiotische situatie in dit studiegebied ziet dat schema er uit zoals weergegeven in figuur 5. Venige heide komt voor op locaties waar zeer veel mineraalarm grondwater uittreedt waardoor de grondwatertafelschommelingen tot een minimum beperkt blijven, veldrusgraslanden ontwikkelen op eenzelfde landschappelijke positie maar op locaties waar veel minder grondwater uittreedt. De landschappelijke positie van de vochtige en de droge heischrale graslanden is vergelijkbaar met deze van vochtige resp. droge heide.



Figuur 5 Schematisch overzicht van de landschappelijke ligging van de verschillende vegetatietypen in de vallei van de Zwarte Beek.

3.3 Beheer van heischrale graslanden

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van het beheer dat in Vlaanderen en Nederland wordt toegepast in heischrale graslanden, met name in Vlaanderen en Nederland. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen onderhoudsbeheer, het beheer dat jaarlijks moet worden toegepast om de kwaliteit van het grasland in stand te kunnen houden, en herstel- en ontwikkelingsbeheer, het beheer dat eenmalig kan worden toegepast om sterk verruigde percelen te herstellen of om landbouwgronden om te zetten in heischraal grasland.

3.3.1 Onderhoudsbeheer

Heischrale graslanden ontstaan vaak door het maaien, betreden, beweiden, plaggen, afbranden of verstoren van heidevegetaties. Volgens Decleer (2007) is maaien de meest aangewezen beheervorm, zeker voor kleine relicten. Voor grotere gebieden is volgens hem een combinatie mogelijk met nabegrazing. In drogere types kan extensieve seizoensbegrazing eveneens een geschikte beheersvorm zijn (Decleer 2007). Intensieve betreding of frequente bodemverstoring dient vermeden te worden.

Cools et al. (2006) staan echter zeer sceptisch tegenover begrazing. Gezien de huidige zeldzaamheid en kwetsbaarheid van heischraal grasland is beweiding volgens hen momenteel geen geschikte beheersmaatregel meer (Cools et al. 2006). Ook wanneer het graslandtype onderdeel is van een begrazingseenheid, is (extensieve) begrazing geen alternatief en dient het graslandtype uitgerasterd te worden.

Vochtig heischraal grasland, meestal ontstaan door het kappen van vochtig Beuken-Eikenbos of door het maaien en/of begrazen van vochtige en/of natte heide, wordt volgens Cools et al. (2006) bij voorkeur eenmaal per jaar gemaaid in de periode eind juli-september. Het niet meer maaien van het graslandtype leidt snel tot verruiging, verstruiking en/of verbossing met soorten als pijpenstrootje, gewone dophei, wilde gagel en/of ruwe berk.

3.3.2 Herstel- en ontwikkelingsbeheer

Een studie naar lange-termijn effecten van herstelbeheer in heischrale graslanden (De Graaf et al. 2004) heeft uitgewezen dat het herstel van de abiotische randvoorwaarden voor heischraal grasland mogelijk is, onder andere door plaggen (milderen van vermesting), bekalken en het aanbrengen van leem (milderen van verzuring) en ingrepen in de lokale hydrologie (milderen van verdroging), maar dat de bottleneck bij het herstel van heischraal grasland wordt gevormd door de beschikbaarheid van zaad van de karakteristieke, zeldzame soorten. De Graaf et al.

(2004) vonden bijvoorbeeld dat tien jaar na de herstelingrepen vele zeldzame soorten (o.a. heidekartelblad, stijve ogentroost, klokjesgentiaan en borstelgras) nog niet waren teruggekeerd doordat er geen vitaal zaad op het terrein aanwezig was. Dat komt door het beperkte verspreidingsvermogen van deze soorten en hun overlevingsduur in de zaadbank.

De studie van De Graaf et al. (2004) wijst eveneens op het belang van regelmatig (jaarlijks) aanvullend beheer na de uitvoering van herstelmaatregelen. Met name in droge heischrale graslanden kan het gebrek aan beheer ertoe leiden dat het positieve effect van de ingrepen teniet gedaan wordt. Onder andere struikheide zou naar verluidt zo snel kunnen groeien na plaggen dat het de karakteristieke kruidachtige soorten van een zwak-gebufferd milieu snel kan wegconcurreren. Dat effect is hier (in dit studiegebied) echter nog nooit vastgesteld. Ook in beboste of verboste percelen is er na de initiële herstelmaatregel aanvankelijk vaak intensief beheer nodig om woekering van soorten zoals braam, adelaarsvaren of Amerikaanse vogelkers tegen te gaan (Decleer 2007).

Hieronder worden de gevolgen van enkele specifieke beheermaatregelen besproken.

Plaggen leidt tot een belangrijke verlaging van de totale stikstof- en fosforgehaltes van de bodem. In natte heischrale graslanden heeft dit tot gevolg dat de dominantie van grassen sterk vermindert, behalve op plekken waar er te ondiep geplagd is (De Graaf et al. 2004). Regulier beheer moet ervoor zorgen dat dergelijke soorten zoveel mogelijk in toom gehouden worden om te voorkomen dat het terrein vanuit resterende haarden opnieuw snel vergrast. Plaggen kan er ook toe leiden dat het ammoniumgehalte in het bodemvocht tijdens de eerste jaren sterk stijgt, tot waarden die toxisch zijn voor typische heischrale soorten. Onderzoek heeft echter aangetoond dat deze ammoniumpiek eenmalig is. Nadien dalen de ammoniumgehaltes terug tot een gunstig niveau en kunnen typische soorten zich vestigen (De Graaf et al. 2004).

Plaggen van droge heischrale graslanden heeft een vergelijkbaar effect als in natte heischrale graslanden: de stikstofbeschikbaarheid neemt af waardoor vergrassing wordt teruggedrongen. In droge heischrale graslanden dient er wel rekening gehouden te worden met de buffercapaciteit van de minerale ondergrond. Indien die te laag is bestaat er immers een risico op verzuring (De Graaf et al. 2004). Ook in droge heischrale graslanden wordt na plaggen een ammoniumpiek gemeten die vervolgens terug afneemt.

Het effect van het **aanbrengen van een leemlaag** ter bestrijding van verzuring blijkt slechts lokaal en van korte duur te zijn (De Graaf et al. 2004). Hoewel dit initieel de vestiging van typische heischrale soorten kan bevorderen, neemt het effect op de basenverzadiging en pH snel af, waarbij soorten van zuurdere standplaatsen terug in bedekking toenemen. De oorzaak van het beperkte effect ligt in het wegspoelen en uitlogen van de leem: de leemlaag wordt dunner en de buffercapaciteit neemt bijgevolg af.

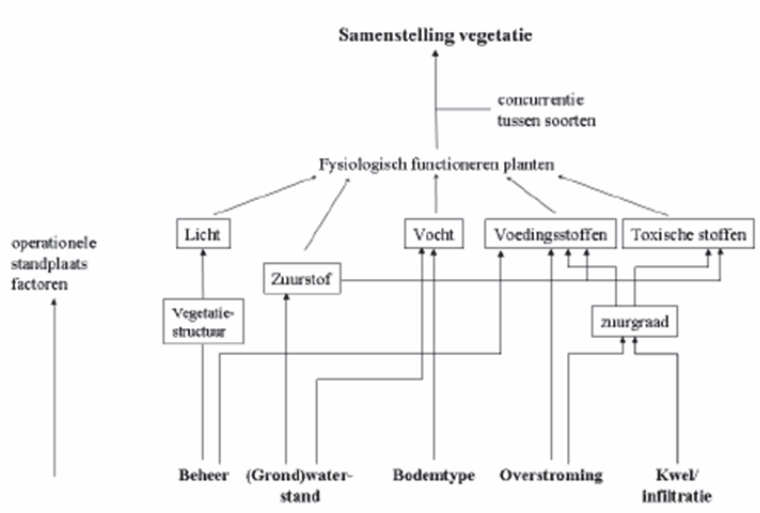
Bekalken wordt voornamelijk toegepast in droge heischrale graslanden en zou de basenverzadiging en pH moeten verhogen en verlaagt daarbij de concentraties van toxische stoffen zoals ammonium en aluminium. Dit helpt goede abiotische omstandigheden te creëren voor heischrale plantensoorten. In een studie van De Graaf et al. (2004) waren de effecten van bekalking met een dosering van 150-1000 kg/ha na 10 jaar nog steeds gunstig, zowel in geplagde als in niet-geplagde terreinen. Een dergelijke lage dosering zou het risico op een versnelde mineralisatie moeten beperken. Verder onderzoek heeft aangetoond dat ook bekalken met 1000-2000 kg/ha geen ongewenste neveneffecten veroorzaakt (De Graaf et al. 2004).

3.4 Standplaatskenmerken van goed ontwikkelde heischrale graslanden

3.4.1 Standplaatsen en processen: inleiding

Planten hebben voor hun groei behoefte aan licht, voedingsstoffen, zuurstof en water. In hoeverre aan deze behoeften wordt voldaan, hangt sterk af van de kenmerken van de standplaats waar ze groeien. Kenmerken van de standplaats die direct bepalend zijn voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen, zuurstof en water zijn de vochttoestand, de zuurgraad en de voedselrijkdom van het substraat. Daarom worden deze kenmerken ook wel aangeduid als *operationele standplaatsfactoren*. Op hun beurt worden deze kenmerken beïnvloed door factoren zoals bodemtype, grondwaterstand en beheer, die daarom ook worden aangeduid als *conditionerende standplaatsfactoren* (Cools et al. 2006; figuur 6). Waar het gaat om natte schraallanden, zijn vooral hydrologische factoren als (grond)waterregime, kwel, infiltratie en overstroming zeer bepalend voor de standplaatscondities.

In de volgende paragrafen zal per type van heischraal grasland (droog en vochtig) worden besproken welke eisen ze stellen aan hun standplaats en, daaruit voortvloeiend, binnen welke posities in het landschap ze van nature voorkomen. Hierbij leggen we de focus op de meer directe operationele standplaatsfactoren.



Figuur 6 Invloed van omgevingsfactoren op de soortensamenstelling van de vegetatie (*Bron:* Cools et al. 2006)

3.4.2 Bodemchemie

Zoals aangegeven in figuur 6 wordt het functioneren van planten grotendeels bepaald door de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de bodem en het eventuele voorkomen van toxische stoffen, zoals aluminium. De zuurgraad van de bodem (pH) speelt hierbij een belangrijke rol. Ze bepaalt of stoffen zoals aluminium en ijzer gebonden zijn aan kleipartikeltjes (en bijgevolg niet door planten kunnen worden opgenomen), of dat deze vrij in de bodemoplossing aanwezig zijn. Al^{3+} komt bijvoorbeeld in hoge concentraties beschikbaar indien de bodem-pH lager is dan 4.5 (Kennedy 1992), en kan dan toxisch zijn voor planten en micro-organismen. Een dergelijke verhoogde aluminium mobilisatie kan onder meer vastgesteld worden aan de hand van een verhoogde Al:Ca verhouding in de bodem (Roelofs et al. 1996). Ook metalen zoals ijzer en lood worden meer beschikbaar indien de pH(H_2O) < 5 (Tyler and Olsson 2001; Stevens et al. 2009). De bodem-pH bepaalt eveneens de beschikbaarheid van voedingsstoffen (P, kationen). Onder zure condities komt P vooral voor in de vorm van ijzer- en aluminiumfosfaten, of gesorbeerd fosfaat (o.a. op (oxy)hydroxyden van Al en Fe), waarbij het niet rechtstreeks door planten opgenomen kan worden. Met toenemende pH stijgt de P-beschikbaarheid (hoogste beschikbaarheid bij pH = 6-7).

Een belangrijke factor die de buffercapaciteit van een bodem bepaalt is de basenverzadiging. Deze is afhankelijk van de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) en de beschikbaarheid aan basische kationen (Ca, K, Mg, Na). In bodems met een pH in de range van 4.5 tot 6, kan de zuurtegraad gebufferd worden door kationenuitwisselingsprocessen. Dat is onder meer belangrijk in het geval van verzuring door atmosferische depositie (Ulrich 1983). De CEC en basenverzadiging bepalen mee de samenstelling van een plantengemeenschap. Een studie binnen het heidelandschap heeft bv. aangetoond dat zeldzame soorten (bv. *wolverlei, liggende vleugeltjesbloem*) eerder groeien op zwak tot matig zure bodems (pH > 4.4) met relatief hoge concentraties aan basische kationen en lagere Al:Ca verhoudingen, terwijl bodems waar dominante soorten (bv. *bochtige smele, pijpenstrootje*) voorkwamen zuurder waren en hogere Al:Ca verhoudingen hadden (Roelofs et al. 1996). Bodemparameters zoals het koolstof(C)-gehalte of het percentage aan organisch materiaal zijn op hun beurt gerelateerd aan de CEC en de nutriëntenbeschikbaarheid.

Over het algemeen worden graslanden met de grootste botanische waarde (zoals heischrale graslanden) aangetroffen op nutriëntenarme bodems. Bij toenemende nutriëntenrijkdom (N, P, K) worden competitieve soorten, zoals meerjarige grassen, bevoordeeld en neemt de soortenrijkdom af (Bakker & Berendse 1999). Nutriëntenlimitatie is bijgevolg één van de belangrijkste factoren die de structuur van een plantengemeenschap beïnvloedt (Critchley et al. 2002) en van essentieel belang voor het voorkomen van heischraal grasland.

In wat volgt worden, afzonderlijk voor droge en vochtige heischrale graslanden, waarden uit de internationale literatuur weergegeven voor een hele reeks aan bodemparameters. Omdat het niet in alle studies duidelijk was of het over droge of natte graslanden ging, is er een aparte tabel voor heischrale graslanden waarvan het subtype niet gekend is.

Tabel 1 Bodemparameters op basis van de internationale literatuur voor droge heischrale graslanden (6230_hn) met N het aantal observaties

Bodemparameter Auteur	N	Gemiddelde	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Al/Ca (massa)								
De Graaf 2004	/	9.4	1.2	25.7	/	/	/	Nederland
Roelofs et al. 1996	8	3 ± 0.8	/	/	/	/	/	Nederland
Al totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012[1]	11	861 ± 371	318	1645	865	352	1547	Vlaanderen
C totaal (%)								
Ceulemans 2012	40	5.8 ± 5.5	1.4	26.8	3.8	1.8	12.0	D, Fr, GB
Uitwisselbaar Ca (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012 (AgTU[2])	11	4.0 ± 4.4	0.2	11.9	1.8	0.2	11.8	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (AgTU)	40	6.8 ± 5.1	0.4	22.1	5.6	1.8	14.7	D, Fr, GB
CEC (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012	11	7.3 ± 3.7	3.2	14.3	6.5	3.3	14.0	Vlaanderen
Ceulemans 2012	40	11.7 ± 5.8	3.3	25.8	11.0	4.7	19.5	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	10.4 ± 4.4	/	/	/	/	/	Spanje
Fe totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012	11	2882 ± 2521	426	8542	2070	582	8138	Vlaanderen
Uitwisselbaar K (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012 (AgTU)	11	0.14 ± 0.06	0.05	0.28	0.14	0.06	0.26	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (AgTU)	40	0.48 ± 0.40	0.02	1.83	0.35	0.10	1.02	D, Fr, GB
Org. Mat. uit gloeiverlies(LOI)(%)								
Ceulemans 2012	9	9.6 ± 5.0	4.7	18.5	7.1	/	/	Vlaanderen
Ceulemans 2012	38	12.7 ± 10.3	2.5	44.8	8.8	3.6	31.1	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012 (OM%)	9	9.5 ± 1.4	/	/	/	/	/	Spanje
Uitwisselbaar Mg (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012 (AgTU)	5	0.32 ± 0.16	0.11	0.49	0.35	/	/	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (AgTU)	40	1.00 ± 0.76	0.07	4.38	0.96	0.29	1.87	D, Fr, GB
Mn totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012	11	17.7 ± 15.5	0	37.8	11.3	0	37.5	Vlaanderen
N totaal (%)								
Ceulemans 2012	40	0.42 ± 0.33	0.12	1.66	0.28	0.17	0.74	D, Fr, UK

[1] *Ceulemans 2012 is een dataset aan ons ter beschikking gesteld door Tobias Ceulemans en die de data bevat gebruikt in de artikels Ceulemans et al. 2011 en Ceulemans et al. 2013*

[2] *AgTU: zilverthioureum, methode om de CEC en uitwisselbare kationen te bepalen.*

Bodemparameter Auteur	N	Gemiddelde	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Smits et al. 2010	?	0.4 ± 0.1	/	/	/	/	/	Limburg (NL)
Stevens et al. 2011	68	/	0.1	1.6	/	/	/	GB
NH_4^+ (mg N/kg)								
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	14	7.86 ± 4.43	2.82	16.17	6.30	3.30	15.25	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	41	10.09 ± 6.26	2.89	35.01	7.98	4.26	18.69	D, Fr, GB
Roelofs et al. 1996 (H_2O)	8	0.7 ± 0.1	/	/	/	/	/	Nederland
Smits et al. 2010 (KCl)	?	4.5 ± 2.5	/	/	/	/	/	Limburg (NL)
Smits et al. 2010 (KCl 0.2M)	5	12.9 ± 6.4	/	/	/	/	/	Nederland
NO_3^- (mg N/kg)								
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	14	0.05 ± 0.08	0	0.29	/	0	0.21	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	41	0.25 ± 0.53	0	2.22	/	0	1.26	D, Fr, GB
Smits et al. 2010 (H_2O)	?	2.27 ± 1.95	/	/	/	/	/	Limburg (NL)
Smits et al. 2010 (H_2O)	5	2.5 ± 1.2	/	/	/	/	/	Nederland
pH (H_2O)								
Ceulemans 2012	14	4.9 ± 0.8	4.0	6.4	4.7	4.0	6.4	Vlaanderen
Ceulemans 2012	41	5.5 ± 0.7	4.1	7.8	5.4	4.6	6.0	D, Fr, GB
De Graaf 2004	?	4.4	4.2	6.2	/	/	/	Nederland
Roelofs 1996	8	4.5 ± 0.1	/	/	/	/	/	Nederland
Smits et al. 2010	?	5.6 ± 0.5	/	/	/	/	/	Limburg (NL)
Smits et al. 2010	5	5.4 ± 0.4	/	/	/	/	/	Nederland
Stevens et al. 2010	68	/	3.7	5.5	/	/	/	UK
Zwaenepoel 1993	?	/	4.3	6.6	5.8	/	/	Vlaanderen
Bedia & Busqué 2012	9	5.2 ± 0.5	/	/	/	/	/	Spanje
Textuur (Zand %)								
Bedia & Busqué 2012	9	50 ± 7	/	/	/	/	/	Spanje
Textuur (Leem %)								
Bedia & Busqué 2012	9	36 ± 7	/	/	/	/	/	Spanje
Textuur (Klei %)								
Bedia & Busqué 2012	9	14 ± 6	/	/	/	/	/	Spanje

Tabel 2 Bodemparameters op basis van de internationale literatuur voor vochtige heischrale graslanden (6230_hmo) met N het aantal observaties

Bodemparameter Auteur	N	Gem.	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Al/Ca (massa)								
De Graaf 2004	?	1.4	0.1	19.1	/	/	/	Nederland
Al totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012	8	1004 ± 633	319	2146	853	/	/	Vlaanderen
C totaal (%)								
Ceulemans 2012	27	6.5 ± 6.0	1.4	26.8	4.1	2.2	15.3	D, Fr, GB
Uitwisselbaar Ca (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012 (AgTU)	13	4.9 ± 5.6	0.2	20.1	2.7	0.2	16.2	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (AgTU)	27	7.0 ± 5.4	0.4	22.9	6.4	1.5	16.0	D, Fr, GB
CEC (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012	13	8.0 ± 5.8	2.2	22.4	6.0	2.4	19.3	Vlaanderen
Ceulemans 2012	27	11.4 ± 6.6	3.3	31.1	10.7	4.5	22.6	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	9.9 ± 1.3	/	/	/	/	/	Spanje
Fe totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012	8	6326 ± 7200	1206	23750	3764	/	/	Vlaanderen
Uitwisselbaar K (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012 (AgTU)	13	0.14 ± 0.07	0.05	0.28	0.12	0.06	0.27	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (AgTU)	27	0.33 ± 0.24	0.02	1.02	0.27	0.09	0.76	D, Fr, GB
Org. Mat. uit gloeiverlies(LOI)(%)								
Ceulemans 2012	9	9.5 ± 4.3	5.2	16.3	7.1	/	/	Vlaanderen
Ceulemans 2012	26	14.1 ± 10.0	2.5	44.8	10.9	4.8	28.6	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012 (OM%)	6	17.3 ± 11.1	/	/	/	/	/	Spanje
Uitwisselbaar Mg (cmol+/kg)								
Ceulemans 2012 (AgTU)	6	0.77 ± 0.56	0.30	1.78	0.55	/	/	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (AgTU)	27	1.05 ± 0.91	0.07	4.38	0.82	0.28	2.40	D, Fr, GB
Mn totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012	8	16.3 ± 23.4	0	67.1	6.8	/	/	Vlaanderen
N totaal (%)								
Ceulemans 2012	27	0.44 ± 0.36	0.12	1.66	0.32	0.16	0.88	D, Fr, GB
NH_4^+ (mg N/kg)								
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	16	8.24 ± 6.54	2.68	23.34	5.11	2.68	23.34	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	30	9.15 ± 6.66	2.26	35.01	6.89	2.26	35.01	D, Fr, GB
NO_3^- (mg N/kg)								
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	16	0.40 ± 0.68	0	2.50	0.05	0	1.54	Vlaanderen
Ceulemans 2012 (KCl 1M)	30	0.07 ± 0.16	0	0.60	/	0	0.44	D, Fr, GB
pH (H_2O)								
Ceulemans 2012	16	5.0 ± 0.9	4.1	8	4.8	4.2	6.4	Vlaanderen
Ceulemans 2012	30	5.3 ± 0.7	4.1	7.4	5.2	4.6	6.2	D, Fr, GB
De Graaf 2004	?	5.1	4.5	6.4	/	/	/	Nederland

Bodemparameter Auteur	N	Gem.	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Bedia & Busqué 2012	6	5.0 ± 0.3	/	/	/	/	/	Spanje
Textuur (Zand %)								
Bedia & Busqué 2012	6	68 ± 1	/	/	/	/	/	Spanje
Textuur (Leem %)								
Bedia & Busqué 2012	6	21 ± 13	/	/	/	/	/	Spanje
Textuur (Klei %)								
Bedia & Busqué 2012	6	11 ± 2	/	/	/	/	/	Spanje

Tabel 3 Bodemparameters op basis van de internationale literatuur voor heischrale graslanden waarvan het subtype niet gekend is (6230)

Bodemparameter Auteur	N	Gem.	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Al/Ca (massa)								
De Graaf et al. 2009	94	/	/	/	1.7	0.1	7.8	Nederland
Stevens et al. 2011	153	1.9 ± 2.1	0	20.5	0.6	0.1	2.7	Europa
C totaal (%)								
Stevens et al. 2011	153	9.7 ± 8.1	0.5	40.6	7.6	2.4	17.8	Europa
Uitwisselbaar Ca (cmol+/kg)								
De Graaf et al. 2009 (NaCl 0.2M)	94	/	/	/	0.35	0.04	1.15	Nederland
Smits et al. 2004 (KCl)	?	/	0.2	0.6	/	/	/	Limburg (NL)
Stevens et al. 2011 (NaCl 0.4M)	89	0.63 ± 0.69	0.04	4.12	0.44	0.11	1.16	Europa
Stevens et al. 2011 (KCl 1M)	64	3.54 ± 2.58	0.14	9.23	3.12	0.78	7.30	GB
Wamelink et al. 2014 (NaCl)	1801	1.56 ± 0.98	/	/	2.72	0.10	8.96	Nederland
Uitwisselbaar K (cmol+/kg)								
De Graaf et al. 2009 (NaCl 0.2M)	94	/	/	/	11.07	4.30	34.10	Nederland
Smits et al. 2004 (H_2O)	?	/	3.91	19.55	/	/	/	Limburg (NL)
Wamelink et al. 2014 ($CaCl_2$)	1801	37.41	/	/	42.56	12.11	93.86	Nederland
Uitwisselbaar Mg (cmol+/kg)								
De Graaf et al. 2009 (NaCl 0.2M)	94	/	/	/	0.09	0.03	0.38	Nederland
Smits et al. 2004 (KCl)	?	/	0.02	0.3	/	/	/	Limburg (NL)
Stevens et al. 2011 (NaCl 0.4M)	89	0.11 ± 0.13	0.01	0.69	0.05	0.02	0.27	Europa
Stevens et al. 2011 (KCl 1M)	64	0.25 ± 0.25	0.02	1.27	0.18	0.05	0.41	GB
Mn totaal (mg/kg)								
Ceulemans 2012	11	17.7 ± 15.5	0	37.8	11.3	0	37.5	Vlaanderen
N totaal (%)								
Stevens et al. 2011	153	0.55 ± 0.40	0.03	2.69	0.48	0.15	1.01	Europa
Wamelink et al. 2014	1807	0.22 ± 0.03	/	/	0.26	0.09	0.46	Nederland
P totaal (mg/kg)								

Bodemparameter Auteur	N	Gem.	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Wamelink et al. 2014	1807	235	/	/	245	/	/	Nederland
Tilley 2014	19	134 ± 71	25	247	/	/	/	Vlaanderen
Remy 2012	21	22 - 319	/	/	/	/	/	Vlaanderen
Hommel 2006	5	145 - 450	/	/	/	/	/	Vlaanderen
NH_4^+ (mg N/kg)								
De Graaf et al. 2009 (NaCl 0.2M)	94	/	/	/	1.34	0.18	7.14	Nederland
Stevens et al. 2011 (NaCl 0.4M)	89	27.9 ± 37.2	2.6	237.5	15.3	6.3	67.6	Europa
Stevens et al. 2011 (KCl 1M)	64	62.7 ± 37.4	0	133.9	68.2	3.0	108.9	GB
Tilley 2014 (KCl 1M)	19	7.2 ± 1.2	4.6	9.5	/	/	/	Vlaanderen
Wamelink et al. 2014 ($CaCl_2$)	1794	4.7	/	/	4.6	3.7	6.1	Nederland
NO_3^- (mg N/kg)								
De Graaf et al. 2009 (H_2O)	94	/	/	/	0.20	0	3.46	Nederland
Stevens et al. 2011 (NaCl 0.4M)	89	4.1 ± 7.8	0	38.8	0.8	0	13.9	Europa
Stevens et al. 2011 (KCl 1M)	64	4.1 ± 4.8	0	30.1	2.8	0.9	8.6	GB
Tilley 2014 (KCl 1M)	19	0.5 ± 1.3	0	5.3	/	/	/	Vlaanderen
Wamelink et al. 2014 ($CaCl_2$)	1792	0.1	/	/	0.1	0	0.4	Nederland
pH (H_2O)								
De Graaf et al. 2009	94	/	/	/	5.1	4.3	5.9	Nederland
Smits et al. 2004	?	4.2	3.8	4.7	/	/	/	Limburg (NL)
Stevens et al. 2011	153	4.6 ± 0.5	3.7	5.7	4.5	3.9	5.3	Europa
Tilley 2014	19	4.9 ± 0.5	4.2	6.1	/	/	/	Vlaanderen
Wamelink et al. 2014	1807	/	/	/	4.8	4.2	5.9	Nederland
Remy 2012	51	4.5 – 6.2	/	/	/	/	/	Vlaanderen
Chadwick 1960	7	4.8 ± 0.3	/	/	/	/	/	GB

Uit de bovenstaande tabellen (tabel 1, tabel 2, tabel 3) valt op dat het aantal bronnen per parameter zeer beperkt is: 1 tot 6 per parameter, met een maximum van 10 voor pH in droge heischrale graslanden. Aangezien we uitvoerig de nationale en internationale literatuur doorzocht hebben, is dit een sterke indicatie dat de kennis van standplaatsfactoren van heischrale graslanden eerder gelimiteerd is. Dit is zeker het geval voor Vlaanderen, waar we voor de meeste bodemparameters slechts één dataset (Ceulemans 2012) hebben waarmee we onze eigen gegevens kunnen vergelijken. Daarbij dient opgemerkt te worden dat de dataset van Ceulemans (2012) zowel "echte" referentiepercelen bevat, als heischrale percelen die gelegen zijn naast percelen in landbouwgebruik. Deze tweede groep heeft momenteel nog een heischrale soortensamenstelling, maar hoogstwaarschijnlijk reeds een gewijzigde (gedegradeerde) bodemchemie ten gevolge van het insijpelen van nutriënten van de naastliggende percelen. De meeste waarden uit Ceulemans (2012) zijn dus hoogstwaarschijnlijk hoger dan wat we van duurzame goed ontwikkelde heischrale graslanden kunnen verwachten. Omdat we niet over de nodige informatie beschikken om de "goede" percelen te kunnen scheiden van de met nutriënten aangereikte percelen, moet voorzichtig met deze dataset omgesprongen worden, zeker wanneer het op het vaststellen van grenzen en referentiewaarden aankomt.

Een tweede vaststelling is dat er zeer veel verschillende technieken worden gebruikt voor de bepaling van bodemparameters, zeker wanneer het extracties betreft. Zo wordt er voor de bepaling van kalium gebruik gemaakt van extracties met AgTU, NaCl (0.2M), H_2O of $CaCl_2$. Daardoor is het moeilijk vast te stellen of verschillende resultaten effectief te wijten zijn aan verschillen in K-beschikbaarheid, of dat ze eerder een gevolg zijn van de gebruikte extractiemethode.

Een derde vaststelling is dat voor zoverre de datasets effectief vergeleken kunnen worden, we niet onmiddellijk grote verschillen zien tussen de bodemchemie van droge en natte heischrale graslanden en dat de waarden voor deze twee subtypes logischerwijs sterk overlappen met de tabel van heischrale graslanden waarvan het subtype ongekend is. Om geen onnodige complexiteit te creëren worden in de volgende hoofdstukken de bodemgegevens voor droge en natte heischrale graslanden samengevoegd,.

3.4.3 Referentiewaarden voor plant-beschikbaar fosfor in heischrale graslanden

In deze paragraaf gaan we dieper in op referentiewaarden voor plant-beschikbaar fosfor (Olsen-P) omdat dit één van de belangrijkste variabelen is die we later zullen gebruiken bij de selectie van geschikte percelen voor het herstel van heischrale graslanden (zie hoofdstuk 5). Eén van de redenen hiervoor is dat P, net zoals N, een essentieel element is voor plantengroei. Een te hoge beschikbaarheid ervan werkt het succes van competitieve soorten in de hand en verlaagt daarbij de soortenrijkdom van graslanden. We hebben dus voldoende, maar zeker niet teveel P nodig voor de instandhouding van soortenrijke heischrale graslanden (o.a. Ceulemans et al. 2009, Gilbert et al. 2009, Janssens et al. 1998, Wassen et al. 2005). De reden waarom we eerder naar P dan naar N kijken, is dat P, in tegenstelling tot N, bijna niet uitspoelt of vervluchtigt. Dit heeft tot gevolg dat eens de P-beschikbaarheid in de bodem te hoog is, dit zo goed als onomkeerbaar is (Hejcman et al. 2007, Lamers et al. 2005). Te hoge N-waarden verdwijnen daarentegen relatief snel bij het stopzetten van bemesting of een reductie van de N-depositie.

3.4.3.1 Achtergrond: hoe zit fosfor in de bodem?

Fosfor komt in de bodem grotendeels voor als fosfaat en onder de vorm van diverse fosfaatverbindingen. De bodemoplossing waaruit plantenwortels de fosfor opnemen, bevat een heel geringe hoeveelheid fosfor, gaande van 0,001 mg P/l tot een paar mg P/l in bemeste bodems (Brady & Weil 1999). Het merendeel van de fosfor bevindt zich echter onder organische of onder gebonden vorm, gekoppeld aan calcium-, aluminium- of ijzerhoudende bodemdeeltjes.

De organische fractie van fosfor komt overeen met 20 tot 80% van het totale fosforgehalte in de bovenste horizonten van de bodem (Brady & Weil 1999). Via mineralisatie kan een deel van deze fractie aan de fosforvoorziening voor organismen bijdragen.

In kalkarme zandgronden wordt daarnaast een aanzienlijk deel van het minerale fosfor sterk gebonden aan bodemdeeltjes, zoals microkristallijne en amorfe aluminium- en ijzer(hydr)oxiden. Een ander deel van fosfaat zit ge(ad)sorbeerd op positieve geladen bodemdeeltjes zoals ijzer- en aluminium(hydr)oxiden, aluminium- en ijzerionen aanwezig in organisch materiaal of kleipartikels. Een aandeel van deze ge(ad)sorbeerde P fractie kan gemakkelijk in de bodemoplossing vrijkomen en beschikbaar worden voor planten en micro-organismen. Er bestaat echter een continuüm aan reacties tussen adsorptie en neerslag (Frossard 1995), en een deel van de ge(ad)sorbeerde fractie kan op termijn ingesloten worden in secundaire mineralen, waardoor het op korte termijn onbeschikbaar wordt. Die vastleggingsmechanismen zijn sterk afhankelijk van de fosfaatconcentratie in oplossing.

De beschikbaarheid van fosfor wordt dus gecontroleerd door het evenwicht tussen neerslaan en het oplossen van de P-mineralen, de adsorptie en desorptie van P op de bodempartikels, en de mineralisatie van organisch P. Atmosferische depositie van fosfor is heel gering en wordt veelal beschouwd als een verwaarloosbare bron van P-aanvoer.

3.4.3.2 Methoden voor fosforanalyse

Aangezien fosfor vaak sterk gebonden is aan diverse bodemcomponenten, meet het **totaal P-gehalte** (dus inclusief het gebonden P) meestal niet de effectieve beschikbaarheid van P voor levende organismen, noch de gevoeligheid van de bodem voor de af- en uitspoeling van P. Daarom zijn er meettechnieken ontwikkeld voor de bepaling van de P-fracties die in direct verband staan met gewasproductiviteit en P-uitspoeling.

Voor de bepaling van fosforbeschikbaarheid in de bodem bestaan er verscheidene extractieprotocollen. Resultaten verkregen met verschillende methoden zijn immers vaak niet met elkaar te vergelijken (Ghesquiere 2002). Al die methoden meten een fractie van totaal fosfor in de bodem, die aan de effectief beschikbare fosforfractie voor organismen (vaak planten) gerelateerd is.

In het kader van dit onderzoek werden **Olsen P** bepalingen uitgevoerd. De Olsen-methode bestaat uit de extractie van fosfor met een $NaHCO_3$-oplossing van hoge pH (8,5). Verschillende studies hebben aangetoond dat Olsen P sterk gecorreleerd is met de beschikbaarheid van P voor planten (o.a. Gilbert et al. 2009). Hoewel de methode oorspronkelijk voor kalkrijke bodems ontwikkeld is, is Olsen P ook in zure bodems met succes gebruikt (o.a. Ghesquiere et al. 2002, Gilbert et al. 2009). Omdat het één van de meest gebruikte technieken is voor de bepaling van P-beschikbaarheid zijn er referentiewaarden beschikbaar voor een brede waaier aan vegetatietypen.

3.4.3.3 Referentiewaarden voor Olsen P

Hieronder geven we een overzicht van beschikbare referentiewaarden voor plant-beschikbaar fosfor in soortenrijke graslanden. Bij onze zoektocht naar referentiewaarden werd gefocust op studies die gebruik maken van de Olsen-techniek voor het schatten van fosforbeschikbaarheid in soortenrijke graslanden en in eerste instantie in heischrale graslanden. Tenzij anders vermeld zijn alle analysen op droge bodem uitgevoerd[1].

Tabel 4 Referentiewaarden in (soortenrijke graslanden en) heischrale graslanden (overgenomen uit Herr 2013 en aangevuld met gegevens uit 2014-15). DG = droge grond.

Bron	Bemonsterde sites	Methode	Conclusie
Onderzoekcentrum B-Ware en Radboud Universiteit Nijmegem			
Databank B-Ware (Bobbink et al. 2009 en Verbaarschot et al. 2012)	(Natte) heischrale graslanden, aantal referentiegebieden en bodemtype onbekend.	Olsen P	Streefwaarde: 100 (150) tot 400 μmol / l veldverse bodem (ca. 4 tot 10 mg P / kg DG)
Lamers et al. 2005	Voedselarme natuur op zandgronden. Aantal referentiegebieden en kenmerken van de referentievegetatie onbekend.	Olsen P	Streefwaarde: max 8 mg P / kg DG (fosfaatdeficiëntie). In enkele referentiesites toch hogere waarden, maar steeds onder 15 mg P / kg DG.
Smolders et al. 2006	Heide en oevers van voedselarme vennen. Aantal referentiegebieden onbekend.	Olsen P	Streefwaarde: max 7,8 mg P / kg DG (fosfaatdeficiëntie)
Universiteit Gent			
Remy 2012	Drie gebieden: Gulke Putten, De Liereman, Turnhouts vennengebied. 219 proefvlakken in 51 percelen gaande van soortenarm grasland tot soortenrijk heischraal grasland.	Olsen P	Referentiepercelen voor heischraal grasland: 0,1 tot 20 mg P / kg DG Soorten typisch voor heischraal grasland komen voor in percelen met minder dan 20 mg P / kg DG Percelen met min. 2 Rode Lijst- soorten bevatten minder dan 30 mg P / kg DG en percelen met min. 4 Rode Lijst- soorten minder dan 15 mg P / kg DG
Tilley 2014	Heischrale graslanden in Vlaanderen, 19 metingen	Olsen P	Range voor heischrale graslanden: 0 – 18 mg P / kg Gemiddelde: 8 mg P / kg
K.U.Leuven			
Ceulemans et al. 2013	Heischrale graslanden, 132 gebieden in Frankrijk, België en het Verenigd Koninkrijk.	Olsen P op verse bodem	Range 0,4 tot 86,1 mg P / kg, gemiddelde 10,7 mg P / kg (SE: 1,25 mg P / kg) In percelen met meer dan 20 mg P / kg blijft het aantal soorten onder de 20 soorten/4m^2
Ceulemans et al. 2011	Heischrale graslanden, 132 gebieden in Frankrijk, België en het Verenigd Koninkrijk.	Olsen P op verse bodem	De kans op voorkomen van verschillende plantensoorten typisch voor blauwgrasland en heischraal grasland neemt af met toenemende P-beschikbaarheid
Universiteit Antwerpen			
Liczner et al. 2012	Klein Schietveld (10 proefvlakken in heide, 9 in heischraal grasland en 21 in rompgemeenschappen)	Olsen P	Mediaan in heischraal grasland: 1 mg P / l (betrouwbaarheidsinterval 95%: 0,25-3,6) Mediaan in rompgemeenschappen: 4,8 mg Olsen P / l
Onderzoeksinstituut Alterra (Wageningen University & Research centre)			
Sival et al. 2004	Graslanden en heiden op voormalige landbouwterreinen, na	Olsen P	Hoogste percentage plantensoorten van schrale gronden bij minder dan 10 mg P / kg

Bron	Bemonsterde sites	Methode	Conclusie
	herstel/beheer. Heischraal grasland is een van de doelvegetaties.		Herstelprojecten die als succes beschouwd worden: gemiddeld 8 mg P / kg (standaard afwijking 10)
Hommel et al. 2006	Heischraal grasland, 5 percelen over 4 gebieden.	Olsen P	Range 9,3 tot 21,7 mg P / l Concentratie in het best ontwikkelde perceel (met valkruid): ca. 9 mg P/ l. Het hoogste eind van de range komt overeen met gedegradeerde toestanden met hoge bedekking van algemene soorten.
Andere bronnen			
Critchley et al. 2002	Verschillende graslandtypen waarvan enkele heischrale graslanden en graslanden van het dwerghaver-verbond, 571 proefvlakken in het Verenigd Koninkrijk.	Olsen P	Hoogste soortenrijkdom bij Olsen P 4 tot 15 mg P / l Range voor heischrale graslanden en aanverwant breed (5 tot 35 mg/l) maar er zitten gedegradeerde vegetaties bij de bemonsterde percelen
Chambers et al. 1999	Verschillende graslandtypen, 578 locaties in Engeland en Wales.	Olsen P	Grootste soortenrijkdom in percelen met minder dan 10 mg P / l Stress-tolerante soorten worden alleen bij lage waarden (< 10 mg P / l) gevonden
Gilbert 2000 en Gilbert et al. 2009	Matig voedselrijke graslanden en dotterbloemgraslanden, 157/199 stalen in 11 graslanden in Engeland. Geen heischraal grasland in de dataset.	Olsen P	De meeste soortenrijke locaties (meer dan 10 soorten) komen voor op locaties met 3 tot 10 mg P / kg Hoogste soortenrijkdom bij 5 mg P / kg
Stevens et al. 2011	Heel Europa, 153 metingen in *Violion caninae*	Olsen P	10 Percentiel: 6 mg P / kg 90 Percentiel: 32 mg P / kg Mediaan: 14 mg P / kg

[1] Verschillende studies hebben aangetoond dat het drogen en weer bevochtigen van bodemstalen de beschikbaarheid van fosfor beïnvloedt: meestal wordt meer fosfor geëxtraheerd uit gedroogde stalen dan uit veldverse bodemstalen, en dit vooral voor de meest beschikbare P fracties. Ook voor Olsen P kan het het geval zijn (Brookes et al. 1982, Ceulemans pers. med., maar niet bij Ghesquiere et al. 2002).

Het is belangrijk erop te wijzen dat deze datasets niet volledig onafhankelijk zijn van elkaar. Goed ontwikkelde voorbeelden van heischraal grasland zijn schaars geworden in Vlaanderen. Sommige gebieden zijn door verschillende auteurs bemonsterd. Dit is onder andere het geval voor de Liereman, de Gulke Putten, de Zegge, het Klein Schietveld, en het Vorsdonkbos. Er worden ook vaak meerdere metingen uitgevoerd per gebied. Voor de buitenlandse literatuur is ons niet bekend of er telkens andere gebieden zijn bemonsterd.

Uit onze cijfers blijkt dat de bodem in soortenrijke heischrale graslanden meestal **minder dan 10 mg Olsen P / kg DG** bevat. In sommige gebieden kan het Olsen P-gehalte extreem laag zijn (lager dan 1 tot 3 mg Olsen P / kg DG). Vegetaties met soorten die typisch zijn voor heischraal grasland kunnen nog voorkomen bij waarden tussen 10 en 20 mg Olsen P / kg DG, maar het gaat dan meestal om soortenarme vormen, waarbij vooral het aantal zeldzame soorten en soorten typisch voor fosfaatarme bodems beperkt blijft.

Om die waarden in hun context te plaatsen, kan er vermeld worden dat bemeste landbouwpercelen vaak meer dan 40 mg Olsen P / kg grond bevatten. In de toplaag van sommige akkerpercelen kunnen de concentraties Olsen P tot meer dan 100 mg / kg oplopen. Zulke concentraties zijn veel hoger dan de streefwaarden in landbouwpercelen (bv. Johnston et al. 2013, Johnston et al. 2014, Poulton et al. 2013). Afhankelijk van de lokale condities en van het gewas begint de gewasopbrengst te dalen bij Olsen-P waarden lager dan 7 en tot 36 mg P / kg (met enkele uitzonderingen tot 45 en 61 mg P / kg). In het Verenigd Koninkrijk wordt de Olsen methode gebruikt om bemestingsnormen te bepalen en bedraagt de streefwaarde voor akkerbouwgewassen en grasland ongeveer 13 tot 20 mg Olsen P / kg in de toplaag[3].

[3] *16 tot 25 mg Olsen P / l (omzetting in mg/kg op basis van een dichtheid van 1250 kg/m^3)*

3.4.4 Vegetatiekenmerken (biomassa en chemische samenstelling)

Naast de bodem kan ook de vegetatie ons iets vertellen over de voedselrijkdom van de standplaats. De concentraties aan diverse voedingsstoffen en mineralen in het plantenmateriaal zijn immers gerelateerd aan de beschikbaarheid ervan in de bodem, en de verhouding tussen de verschillende elementen in plantenmateriaal kan wijzen op de limitering van een bepaald element (Güsewell 2004). De N/P verhouding van de vegetatie wordt het vaakst gebruikt. Een N/P verhouding < 10 wijst op N-limitering, en een N/P verhouding > 20 op P-limitering. Waarden tussen 10 en 20 wijzen dan weer op co-limitering van N en P (Güsewell et al. 2004). Daarnaast is er op vegetatie-niveau vaak een negatieve correlatie tussen de N/P verhouding en de biomassaproductie. Hoge N/P verhoudingen zouden tevens het voorkomen van grasachtigen en van stress-tolerante soorten t.o.v. andere soorten stimuleren. Variatie in de relatieve beschikbaarheid van N en P heeft dus een invloed op de soortensamenstelling en het functioneren van plantengemeenschappen (Güsewell et al. 2004).

Tabel 5 Vegetatieparameters op basis van de internationale literatuur voor droge heischrale graslanden (6230_hn)

Vegetatieparameter Auteur	N	Gem.	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Biomassa (g/m^2)								
Ceulemans et al. 2012	13	426 ± 198	172	902	379	208	803	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	40	458 ± 196	118	935	429	232	764	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	216 ± 30 SE	/	/	/	/	/	Spanje
C Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	6	414 ± 9	402	423	415	/	/	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	36	430 ± 11	403	446	429	414	444	D, Fr, GB
Ca Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	6.46 ± 3.31	2.59	15.06	5.76	2.68	7.43	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	38	4.78 ± 1.91	1.71	8.49	4.32	2.86	12.94	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	13.6	/	/	/	/	/	Spanje
K Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	11.54 ± 2.65	6.55	16.77	11.99	7.30	15.77	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	38	12.07 ± 2.71	7.19	18.07	11.91	8.42	15.50	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	6.8	/	/	/	/	/	Spanje
Mg Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	1.72 ± 0.65	0.96	3.14	1.54	0.97	2.99	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	38	1.31 ± 0.46	0.60	2.32	1.17	0.80	20.8	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	2.5	/	/	/	/	/	Spanje
N Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	12.46 ± 3.27	7.25	20.73	12.13	7.82	18.65	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	38	14.63 ± 1.96	10.5	20.30	15.06	11.37	16.34	D, Fr, GB
P Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	1.18 ± 0.46	0.61	2.43	1.03	0.70	2.10	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	38	0.95 ± 0.25	0.62	1.63	0.88	0.70	1.29	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	1.0	/	/	/	/	/	Spanje
N:P Vegetatie								
Ceulemans et al. 2012	13	12.1 ± 5.1	3.6	20.8	11.9	3.9	20.5	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	38	16.2 ± 3.9	8.4	24.2	16.8	9.9	21.7	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	9	15 - 21	/	/	/	/	/	Spanje

Tabel 6 Vegetatieparameters op basis van de internationale literatuur voor vochtige heischrale graslanden (6230_hmo)

Vegetatieparameter Auteur	N	Gem ± SD	Min	Max	Med	10-perc	90-perc	Regio
Biomassa (g/m^2)								
Ceulemans et al. 2012	13	329 ± 98	174	499	326	187	494	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	27	495 ± 177	118	782	479	252	756	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	406 ± 54 (SE)	/	/	/	/	/	Spanje
C Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	9	423 ± 27	403	494	417	/	/	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	24	431 ± 10	410	444	432	411	444	D, Fr, GB
Ca Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	6.48 ± 2.37	3.22	11.19	6.4	3.27	10.63	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	25	4.40 ± 1.69	1.71	8.49	4.17	1.99	7.37	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	5.3	/	/	/	/	/	Spanje
K Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	10.97 ± 3.05	6.55	15.91	10.33	6.77	15.61	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	25	12.08 ± 2.79	8.29	18.07	11.91	8.46	16.17	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	11.1	/	/	/	/	/	Spanje
Mg Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	1.53 ± 0.66	0.86	2.76	1.34	0.90	2.70	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	25	1.23 ± 0.38	0.60	2.20	1.17	0.75	1.78	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	1.4	/	/	/	/	/	Spanje
N Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	13.17 ± 1.79	9.56	16.12	12.88	10.35	15.79	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	25	14.11 ± 1.56	10.6	16.44	14.19	11.82	16.10	D, Fr, GB
P Vegetatie (g/kg)								
Ceulemans et al. 2012	13	1.17 ± 0.41	0.61	2.18	1.09	0.67	1.92	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	25	0.93 ± 0.20	0.62	1.29	0.94	0.64	1.25	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	1.5	/	/	/	/	/	Spanje
N:P Vegetatie								
Ceulemans et al. 2012	13	12.5 ± 4.5	5.7	20.8	11.9	6.1	20.5	Vlaanderen
Ceulemans et al. 2012	25	15.8 ± 3.9	8.4	24.2	15.0	11.4	21.8	D, Fr, GB
Bedia & Busqué 2012	6	11 - 13	/	/	/	/	/	Spanje

Tabel 7 Vegetatieparameters op basis van de internationale literatuur voor heischrale graslanden waarvan het subtype niet gekend is (6230)

Vegetatieparameter Auteur	N	Gem.	Min.	Max.	Med.	10-perc	90-perc	Regio
Biomassa (g/m^2)								
Tilley 2014	19	327	147	604	/	/	/	Vlaanderen
Aldezábal 2001	?	331 - 365	/	/	/	/	/	Spanje
García-González et al. 2002	?	303 ± 63	/	/	/	/	/	Spanje
Bedia et al. 2009	?	261 ± 34	/	/	/	/	/	?
Hejcman et al. 2010	?	260	/	/	/	/	/	?
Mládek et al. 2011	?	260	/	/	/	/	/	?
Klapp 1965	?	< 150	/	/	/	/	/	Duitsland

N:P Vegetatie								
Tilley 2014	19	18.5 ± 4.4	12.5	26.7	/	/	/	Vlaanderen

Onze literatuurstudie toont gemiddelde biomassawaarden voor heischrale graslanden tussen ruwweg 200 en 500 g/m² en tussen 200 en 400 g/m² indien we de dataset van Ceulemans et al. (2012) buiten beschouwing laten (zie opmerking over die dataset 3.4.2). Dit komt overeen met de hoger vermelde grenzen van schrale en soortenrijke graslanden. De, weliswaar beperkte, dataset van Bedia & Busqué (2012) suggereert een hogere productiviteit in natte dan in droge heischrale graslanden.

De N:P waarden die we in de literatuur hebben aangetroffen liggen allemaal tussen 10 en 20, wat erop wijst dat heischrale graslanden zowel door N als door P gelimiteerd zijn. In dit geval kan zowel een toename van N als van P de productiviteit van het grasland doen toenemen. Omdat de competitie voor voedingsstoffen dan verschuift naar een competie voor licht, kan de soortenrijkdom achteruit gaan.

3.4.5 Hydrologische standplaatskenmerken

Zowel wat betreft de dynamiek als de chemische samenstelling van ondiep grondwater in heischrale graslanden is er heel weinig geweten. De enige waarden die we in de literatuur hebben teruggevonden staan vermeld in tabel 8.

Tabel 8 Hydrologische standplaatskenmerken van droge en vochtige heischrale graslanden op basis van literatuuronderzoek

	Droog heischraal grasland (6230_hn)	Vochtig heischraal grasland (6230_hmo)	Bron
GVG (cm onder maaiveld)	≥ 40	10 - 40	Wamelink & Runhaar 2001
GLG (cm onder maaiveld)	≥ 80	60 - 150	Wamelink & Runhaar 2001; Zwaenepoel & Stieperaere 2002

De betekenis van de gebruikte afkortingen voor vochttoestand in tabel 8, is de volgende:

- **GLG**: **Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm onder maaiveld)**: < 20: zeer ondiep; 20 < GLG < 40: ondiep; 40 < GLG < 60: matig diep; 60 < GLG < 80: diep; GLG > 80: zeer diep (Wamelink & Runhaar 2001)
- **GVG: Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (cm onder maaiveld)**: 0-25: nat; 25 < GVG < 40: zeer vochtig; > 40 en < 14 dagen: vochtig; > 40 en 14-32 dagen: matig droog; > 40 en > 32 dagen: droog (Wamelink & Runhaar 2001)

Zoals te verwachten hebben vochtige heischrale graslanden een hogere grondwaterstand nodig dan droge, maar de beschikbare dataset is momenteel te beperkt om tot echte conclusies of grenswaarden te komen.

De gemiddelde waarden voor GVG en GLG van de momenteel erg beperkte INBO-dataset zijn zowel voor droge als vochtige heischrale graslanden in overeenstemming met de gegevens van Wamelink & Runhaar (2001; tabel 8). De waarden van de overige gemeten parameters verschillen, net zoals bij de bodemgegevens, weinig tussen droge en natte heischrale graslanden. Wegens het gebrek aan andere datasets, is het echter onmogelijk deze INBO-dataset te vergelijken met andere data over grondwaterchemie in heischrale graslanden.

Het heeft er alle schijn van dat de hydrologie van vochtige en droge heischrale graslanden erg sterk gelijkt op deze van vochtige en droge heidestandplaatsen, maar harde bewijzen daarvoor zijn momenteel niet beschikbaar. Het wordt echter wel als werkhypothese verder gebruikt (zie ook figuur 5).

3.5 Conclusie

Op basis van deze literatuurstudie kunnen enkele conclusies getrokken worden betreffende de landschappelijke positie, het beheer en de standplaatsvereisten van heischrale graslanden.

Voor wat de landschappelijke positie betreft, suggereert de literatuur dat heischrale graslanden zich binnen een heide-ecosysteem ontwikkelen op die locaties waar er meer basische kationen (Na, K, Ca, Mg) beschikbaar zijn. Dit komt onder meer voor op plekken waar ondiepe klei/leemafzettingen voorkomen, op plekken waar er in het verleden geploegd is, of op licht betreden paden en wegen. Daarnaast worden heischrale graslanden aangetroffen in een gradiënt van heide naar veldrusgraslanden (voorzien van ietsje mineraalrijker grondwater), dus op de overgangszone van heide naar beekdal. Voor wat de grondwaterdynamiek betreft, wordt ervan uitgegaan dat dezelfde condities gelden als voor vochtige respectievelijk droge heide.

In het volgende hoofdstuk zullen we de hieruit voortvloeiende ***hypothese*** testen dat heischrale graslanden voorkomen op bodems met meer basische kationen dan heidevegetatie. Het voorkomen van basische kationen is onder meer gerelateerd aan een hoge kationenuitwisselingscapaciteit (CEC), een hoge basenverzadiging, een hoge pH, en meer klei en leem in de bodem. Voor deze variabelen verwachten we dus hogere waarden in heischraal grasland dan heide.

Wat betreft het beheer van heischrale graslanden, wordt aangegeven dat maaien (1x per jaar in juli-september), eventueel in combinatie met nabegrazing (indien het grote gebieden betreft) de beste methode is. Dit kan eventueel vooraf gegaan worden door herstelbeheer, zoals plaggen, bekalken of het herstel van de hydrologie. Belangrijk bij herstelbeheer is dat er zaden van karakteristieke soorten in de omgeving aanwezig zijn. Indien dit niet het geval is, kan men bv. maaisel van een heischraal perceel op het te ontwikkelen gebied aanbrengen.

Het was onmogelijk om eenduidige standplaatskenmerken van heischrale graslanden af te leiden uit de literatuurgegevens. Enerzijds was het aantal studies per parameter zeer beperkt, waardoor het niet aangewezen is om op basis hiervan duidelijke grenzen vast te leggen. Anderzijds waren de gegevens van diverse studies moeilijk te vergelijken omwille van een veelheid aan gebruikte meettechnieken en gerapporteerde eenheden. Wel viel het op dat de data voor droge en natte heischrale graslanden heel gelijkaardig waren, waaruit we kunnen afleiden dat de bodemchemische vereisten van deze twee types vergelijkbaar zijn.

Voor plantbeschikbaar fosfor (Olsen P) waren er in tegenstelling tot de andere parameters wel veel gegevens beschikbaar en hiervoor konden we voorzichtige conclusies trekken: in soortenrijke heischrale graslanden is de range 0 - 10 mg P / kg DS; in meer soortenarme vormen is de range 10 – 20 mg P / kg DS. Bij meer dan 20 mg P /kg DS zijn heischrale graslanden uiterst zeldzaam en vermoeden we dat ze op termijn zullen weggeconcurreerd worden door meer competitieve soorten.

4 Onderzoek naar de ecologische vereisten van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen (“Standplaatsonderzoek”)

4.1 Inleiding

Met het oog op het herstel van, de omvorming tot en het duurzaam beheer van heischrale gaslanden, is een goede kennis van de abiotische karakteristieken van dit habitattype essentieel. Tot nu toe is het onderzoek daaromtrent vooral actief geweest in onze buurlanden (bv. Stevens et al. 2011; De Graaf et al. 2009). Er zijn enkele studies waarin de abiotische kenmerken van Vlaamse heischrale graslanden onderzocht werden (zie ook 3.4), maar hierbij gaat het telkens om een vrij beperkte set van 10 à 20 heischrale proefvlakken (Ceulemans 2007; Remy 2012; Tilley 2014). Om degelijk wetenschappelijk onderbouwd inzicht te krijgen in de standplaatsvereisten van goed ontwikkelde heischrale graslanden is het echter nodig om een groot aantal proefvlakken te onderzoeken, die op een gelijkaardige manier bemonsterd en geïnventariseerd zijn. Dit project tracht daaraan tegemoet te komen door een grote dataset (N=106) bestaande uit nieuwe en bestaande vegetatieopnames en bijhorende bodemgegevens van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen, te analyseren. Hiervoor werden in de omgeving van de Vallei van de Zwarte Beek een groot aantal heischrale graslanden bemonsterd in het kader van dit project. Deze data werden samengevoegd met een bestaande dataset op het INBO van andere heischrale graslanden in Vlaanderen. Op deze manier kan voor de eerste keer een goed overzicht gegeven worden van de standplaatskenmerken van Vlaamse heischrale graslanden. Deze resultaten zullen ook getoetst worden aan de resultaten van ons literatuuronderzoek (zie 3.4).

Het doel van dit onderzoek was om de kennis over de abiotische standplaatsvereisten van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen te versterken en deze informatie te gebruiken als onderbouwing van streef- en grenswaarden.

Hierbij gingen we als volgt te werk:

- Eerst werden “goed ontwikkelde” heischrale graslanden in Vlaanderen geselecteerd
- De standplaatskenmerken van de geselecteerde graslanden werden vervolgens getoetst aan die van buitenlandse heischrale graslanden
- Daarna werden er verschillende statistische methodes toegepast voor het identificeren van sturende variabelen (d.i. variabelen die in een bepaalde range typisch zijn voor het voorkomen van heischrale graslanden)
    - Aan de hand van boxplots werden de abiotische kenmerken van heischraal grasland vergeleken met die van verwante vegetatietypes (heide en blauw- en veldrusgrasland) in Vlaanderen
    - Op basis van enkelvoudige en multiple logistische regressies en “boosted classification trees” werd op zoek gegaan naar abiotische kenmerken die heischraal grasland onderscheiden van heide
    - Er werd multivariate gradiëntanalyse (CCA) toegepast om milieufactoren die heischrale graslanden van heide onderscheiden te identificeren.
- De ’ecologische amplituden’ voor de verschillende standplaatsvariabelen en hun optima voor typische heischrale- en heidesoorten werden vergeleken
- De ranges voor de verschillende abiotische variabelen in de geselecteerde goed ontwikkelde heischrale graslanden werden samengevat

4.2 Methode

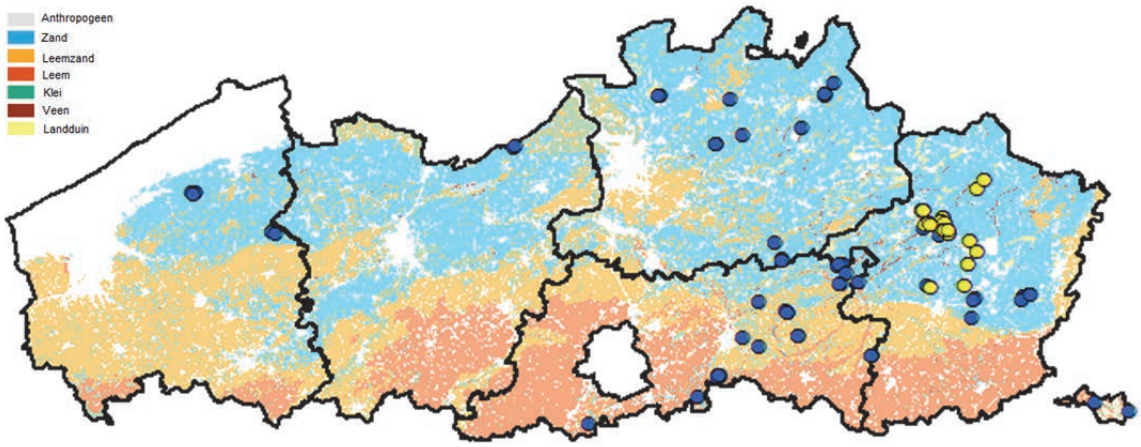
4.2.1 Selectie van “goed ontwikkelde” heischrale graslanden in Vlaanderen

In dit onderzoek werd gebruik gemaakt van proefvlakken in Vlaanderen die het INBO al voor andere projecten bemonsterd had enerzijds, en anderzijds van een reeks nieuwe proefvlakken die in de Vallei van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel (en de ruimere omgeving ervan) geselecteerd werden in het kader van dit project.

Voor het standplaatsonderzoek was het essentieel om enkel te werken met heischrale graslanden die op floristisch vlak goed ontwikkeld waren. We streven immers naar goed ontwikkelde habitats, eerder dan naar gedegradeerde, en zijn bijgevolg op zoek naar de kenmerken van die eerste groep. Eerst werden alle vegetatieopnames in de Vlaamse databank van vegetatieopnames INBOVEG[4] bekeken die kensoorten van heischraal grasland bevatten, om na te gaan of ze voldeden aan de definities voor droog of vochtig heischraal grasland volgens paragraaf 2.3 in dit rapport. Daarna werd gekeken of er voldoende abiotische gegevens voor die proefvlakken aanwezig waren en of de bemonstering op een gelijkaardige manier gebeurd was als voor de nieuwe proefvlakken. Dit leverde 78 bruikbare proefvlakken op (aangeduid in blauw op figuur 7).

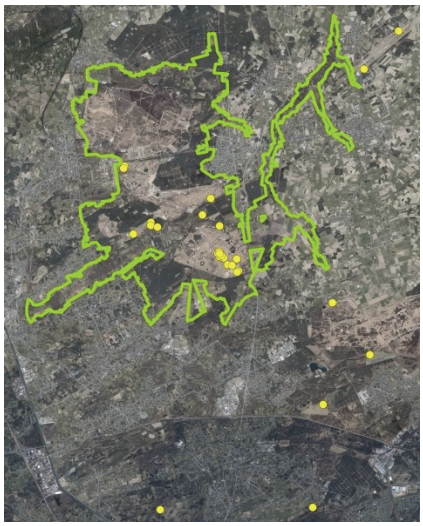
Daarna werd er in overleg met de stuurgroep van deze studie op zoek gegaan naar mogelijke nieuwe heischrale percelen binnen de SBZ en in de ruimere omgeving ervan. Alle locaties aangeduid door de leden van de stuurgroep werden bezocht. In 2014 en 2015 werden 57 nieuwe proefvlakken bemonsterd. Hiervan waren er 28 locaties die volgens onze definitie (paragraaf 2.3) als goed ontwikkelde heischrale graslanden beschouwd konden worden (aangeduid in geel op figuur 7). De andere waren aangrenzende heidelocaties die bemonsterd werden om de verschillen in beheer en standplaatskenmerken tussen heide en heischraal grasland beter in beeld te kunnen brengen. Locaties aangeduid door de stuurgroep maar niet weerhouden worden gedocumenteerd in digitale bijlage 1 (Bijlage1_Kandidaat_Refpercelen).

Afhankelijk van de randvoorwaarden van de verschillende data-analyses werd gebruik gemaakt van alle, ofwel van een subset, van de in totaal 106 geselecteerde heischrale proefvlakken. Figuur 8 toont meer gedetailleerd de ligging van de nieuwe proefvlakken in, en rond de SBZ.



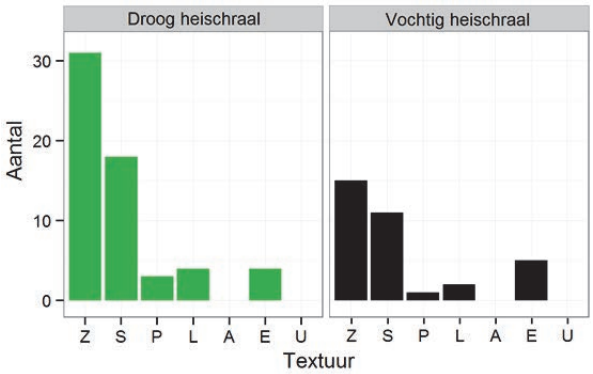
Figuur 7 Ligging van de op het INBO bekende goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen. Proefvlakken bemonsterd in het kader van dit project zijn aangeduid in geel (N = 28). Proefvlakken waarvan het INBO reeds over gegevens beschikte zijn aangeduid in blauw (N = 78). De achtergrond geeft de bodemtextuur weer volgens de bodemkaart van België.

[4] *INBOVEG, Vlaamse databank vegetatieopnamen: https://www.inbo.be/nl/node/34601*



Figuur 8 Detailoverzicht van de ligging van de geselecteerde goed ontwikkelde heischrale graslanden in en rond de speciale beschermingszone “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”.

Een doel van deze studie is om de heersende opvatting dat heischraal grasland zich daar ontwikkelt waar er van nature wat meer basische kationen in de bodem aanwezig zijn (en dus vaak wat klei of leem, zie 3.2.1) onder de loep te nemen. Het is dus bijzonder belangrijk om voldoende locaties verspreid over de verschillende bodemtexturen mee in de oefening op te nemen. Op basis van de bodemkaart (figuur 7) verwachtten we dat ongeveer twee derde van de referentielocaties betrekking zou hebben op zandgronden. Na laboanalyse bleek de bodem in ongeveer de helft van de referentielocaties voor heischraal grasland uit zandgrond te bestaan, een derde uit lemige zandgrond (S) en de rest uit zandleem en kleigronden (figuur 9). De dataset lijkt ons dus perfect geschikt om de verschillende types heischraal grasland te bestuderen.



Figuur 9 Textuur (in het labo bepaald d.m.v. laserdiffractie) volgens de Belgische textuurklassificatie van de toplaag van de bodem (0 – 10 cm) in de geselecteerde goed ontwikkelde heischrale graslanden. Z=zand; S=lemig zand; P=lichte zandleem; L=zandleem; A=leem; E=klei; U=zware klei.

4.2.2 Vegetatieopnames en plantenstalen

In elk van de 106 proefvlakken werd een zone van 3 x 3 m² afgebakend waarin per verticale structuurlaag (boom-, struik-, kruid- en moslaag) de totale bedekking en de bedekking per plantensoort werden geschat. Voor het schatten van de bedekking werd gebruik gemaakt van de schaal van Londo (tabel 9). Een voordeel van deze schaal is dat zij voor soorten met een lage bedekking ook rekening houdt met de abundantie van deze soorten. Zo worden soorten die veel voorkomen maar weinig bedekken niet onderschat.

De vegetatieopnames werden ofwel gemaakt in 2012-2013 in het kader van andere projecten (blauwe punten in figuur 7), ofwel in 2014-2015 in het kader van het huidige project (gele punten in figuur 7).

Tabel 9 Schaal van Londo voor vegetatieopnames (Londo 1975)

Londo	Aantal individuen	Bedekking
r1	sporadisch 1-3 (rarum)	< 1 %
r2	sporadisch 1-3 (rarum)	1-3 %
r4	sporadisch 1-3 (rarum)	3-5 %
p1	weinig talrijk 4-20 (paulum)	< 1 %
p2	weinig talrijk 4-20 (paulum)	1-3 %
p4	weinig talrijk 4-20 (paulum)	3-5 %
a1	talrijk 21-100 (amplum)	< 1 %
a2	talrijk 21-100 (amplum)	1-3 %
a4	talrijk 21-100 (amplum)	3-5 %
m1	zeer talrijk >100 (multum)	< 1 %
m2	zeer talrijk >100 (multum)	1-3 %
m4	zeer talrijk >100 (multum)	3-5 %
1	Willekeurig	5-15 %
1-	Willekeurig	5-10 %
1+	Willekeurig	10-15 %
2	Willekeurig	15-25 %
3	Willekeurig	25-35 %
4	Willekeurig	35-45 %
5	Willekeurig	45-55 %
5-	Willekeurig	45-50 %
5+	Willekeurig	50-55 %
6	Willekeurig	55-65 %
7	Willekeurig	65-75 %
8	Willekeurig	75-85 %
9	Willekeurig	85-95 %

Voor de proefvlakken gelegen in het studiegebied (gele punten in figuur 7) werd bijkomend per proefvlak de biomassa geoogst in 2 à 3 kaders van 0.5 × 0.5 m². De biomassa werd vervolgens gedurende 48 uur gedroogd bij 70 °C en daarna gewogen om het drooggewicht per m² te kunnen bepalen. Eveneens werden de N- en P-concentraties in het plantenmateriaal gemeten (Kjeldahl-N methode en microgolfontsluiting en meting op ICP).

4.2.3 Bodemstalen

4.2.3.1 Staalname

De bodemstalen werden genomen in dezelfde proefvlakken als de vegetatieopnames. Hiervoor werd elk proefvlak van 3 x 3 m (9 m²) opgedeeld in 9 gelijke vierkanten van 1 m². In elk van die 9 vierkanten werd met een gutsboor een bodemstaal genomen tot op 30 cm diepte. Dit staal werd opgesplitst in drie delen van 10 cm, waarbij het bodemmateriaal van 0-10 cm en van 20-30 cm behouden werd. Terwijl het materiaal van 10-20 cm werd terug in het boorgat gestort. Per diepte (0-10 cm en 20-30 cm) werden de 9 deelmonsters per proefvlak in één bakje samengevoegd tot een mengstaal. De bodemstalen werden koel (< 4°C) bewaard tot ze gedroogd en geanalyseerd konden worden. In het kader van dit project werden enkel de stalen van 0-10 cm verder geanalyseerd, terwijl de stalen van 20-30 cm zonder analyse, maar wel gedroogd, in het bodemarchief van het INBO bewaard worden.

Van elke boorkern werd eveneens een digitale foto gemaakt om, indien nodig, later het profiel te kunnen bestuderen.

4.2.3.2 Chemische en fysische analyses

In het labo werden de bodemstalen gedurende 48 h gedroogd bij 40 °C en vervolgens gezeefd en gehomogeniseerd. Daarna werden de volgende bepalingen gedaan op de gedroogde stalen:

- Droogrest bij 105 °C (%)
- Gloeiverlies bij 550 °C (“Loss On Ignition” - LOI): organisch materiaal (organische koolstof: C_LOI)
- Bio-beschikbaar fosfor volgens de Olsen methode (Olsen P)
- Mineralen, voedingselementen en metalen via microgolfontsluiting en meting op de ICP (Ca, K, Mg, Na, P, S, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn)
- Zuurgraad in $CaCl_2$ (pH $CaCl_2$, 1:5 verhouding) en in water (pH H_2O, 1:5 verhouding)
- Beschikbare kationen en kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) volgens de zilverthioureum (AgTU) methode (uitwisselbare basische kationen: Na_AgTU, K_AgTU, Ca_AgTU, Mg_AgTU)

- Stikstof volgens de Kjeldahl methode (N Kjeldahl)
- Extraheerbare P, Al en Fe via extractie in ammoniumoxalaat-oxaalzuur oplossing (P-oxalaat, Al-oxalaat, Fe-oxalaat)
- Bodemtextuur; bepaald door laser (% zand, % leem, %klei)

De fosfaatconcentratie werd bepaald met een Olsen-extractie omdat die sterk gecorreleerd is met de opname van P door de vegetatie en vaak een goede voorspelling geeft van de soortenrijkdom van half-natuurlijke graslanden (Gilbert *et al.* 2009). Zie ook paragraaf 3.4.3.2.

4.3 Resultaten

4.3.1 Abiotische kenmerken van de geselecteerde heischrale graslanden in Vlaanderen

Tabel 10 geeft een overzicht van de door het INBO gemeten waarden voor de verschillende bodem- en vegetatievariabelen in de geselecteerde set van goed ontwikkelde heischrale graslanden. In wat volgt worden deze vergeleken met internationale datasets (zie 4.3.2).Deze data dienen als basis voor het vergelijken van kenmerken van heischrale graslanden met hieraan verwante vegetatietypes (zie 4.3.3).

Tabel 10 Gemiddelde waarden en bijhorende statistieken voor de bodem- en vegetatiekenmerken gemeten in de geselecteerde heischrale graslanden. (*) De concentratie organische koolstof C_LOI wordt met factor 1.8 omgerekend uitgaande van de concentratie organische stof.

	N	Range	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Standaardafwijking
BODEM						
Al/Ca (massa)	103	44.8	0.4	45.2	13.2	7.9
Basenverzadiging (%)	103	95	5	100	38	26
CEC_AgTU (cmol+/kg)	105	23.2	1.0	24.2	6.3	4.3
Ca_AgTU (cmol+/kg)	105	10.5	0.1	10.6	1.6	1.8
K_AgTU (cmol+/kg)	105	2.9	0.0	2.9	0.5	0.5
pH_H2O	104	2.8	4.0	6.8	4.7	0.5
Org. stof LOI (%)	105	11.8	1.8	21.6	5.4	3.6
C_LOI (%)*	105	11	1	12	3	2
Mg_totaal (mg/kg)	103	4976	53	5029	566	823
Ca_totaal (mg/kg)	103	3233	64	3297	403	520
K_totaal (mg/kg)	101	7738	78	7816	840	1232
Fe_totaal (mg/kg)	103	114815	847	115662	10834	19324
Al_totaal (mg/kg)	103	15431	631	16061	3575	2782
S_totaal (mg/kg)	103	986	85	1071	273	168
N_NH4 (mg/kg)	76	57	2	59	10	12
N_NOx (mg/kg)	76	6.2	0.1	6.2	0.6	1.0
N_Kjeldahl (%)	105	.60	0.03	0.62	0.19	0.11
P_Olsen (mg/kg)	104	39.1	0.5	39.6	5.9	7.3
P_totaal (mg/kg)	104	1933	25	1958	218	221
Klei (%)	104	26	2	27	8	6
Leem (%)	104	55	4	59	15	11
Zand (%)	104	77	17	94	77	15
VEGETATIE						
Biomassa (g/m²)	33	189	47	236	106	39
N_veg (g/kg)	33	8.4	8.8	17.2	13.5	1.8
P_veg (g/kg)	33	2.6	0.6	3.3	1.4	0.6
N/P vegetatie	33	20	4	24	11	5

4.3.2 Toetsing van de abiotische kenmerken van de geselecteerde heischrale graslanden aan die van internationale datasets

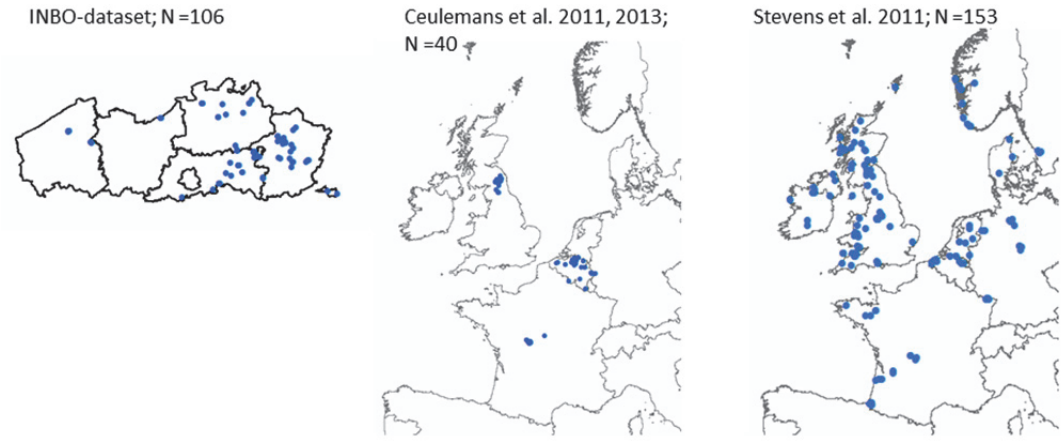
4.3.2.1 Gebruikte datasets

Aangezien de (halfnatuurlijke) heischrale graslanden in Vlaanderen vaak in minder goede staat zijn dan de meer natuurlijke vormen in het buitenland (zie bv. het ontbreken van kensoorten in paragraaf 2.2.1), zijn we eerst nagegaan of de geselecteerd graslanden op abiotische vlak vergelijkbaar waren met buitenlandse datasets. Dit zou ons toelaten om, indien nodig, de selectie nog te verscherpen.

Voor de (weinige) parameters waarvoor er andere datasets (= ruwe data) beschikbaar waren (zie ook 3.4.2) en waarvoor de bodemanalyses op een gelijkaardige manier uitgevoerd zijn en de resultaten in dezelfde eenheden weergegeven werden als de onze, hebben we onze resultaten met de buitenlandse gegevens vergeleken. De belangrijkste dataset waarmee we konden vergelijken was die van Stevens et al. (2011). Deze bevat abiotische gegevens van 153 proefvlakken in heischrale graslanden uit België, Denemarken, Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië, Ierland, Nederland, Noorwegen en Zweden (figuur 10).

Naast de data van Stevens et al. (2011) worden ook gegevens getoond van Ceulemans et al. (2011 en 2013). Deze set omvat een verzameling van heischrale graslanden uit België, Frankrijk en Groot-Brittannië. In deze laatste studie werden, zoals gezegd "schrale" en meer nutriëntenrijke graslanden bemonsterd. Deze laatsten betroffen opnames in heischrale graslanden gelegen naast (over)bemestte akkers en weiden, die bijgevolg onderhevig waren aan een influx van voedingsstoffen zoals stikstof en fosfor. De getoonde waarden in figuur 11, figuur 12 en figuur 13 bevatten zowel de voedselrijkere als -armere percelen omdat we niet over de juiste informatie beschikten om die twee groepen van mekaar te kunnen onderscheiden.

Figuur 10 toont de locaties van de bemonsterde proefvlakken in de verschillende studies. Met uitzondering van de Gulke Putten is er geen overlap tussen de staalnamelocaties tussen de INBO-dataset en die van de overige datasets.

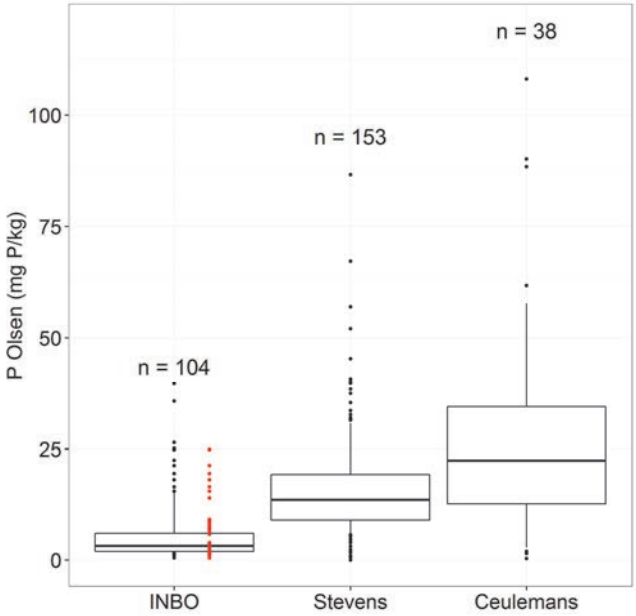


Figuur 10 Locaties van de proefvlakken in de datasets van het INBO, Ceulemans et al. 2011 & 2013 en Stevens et al. 2011.

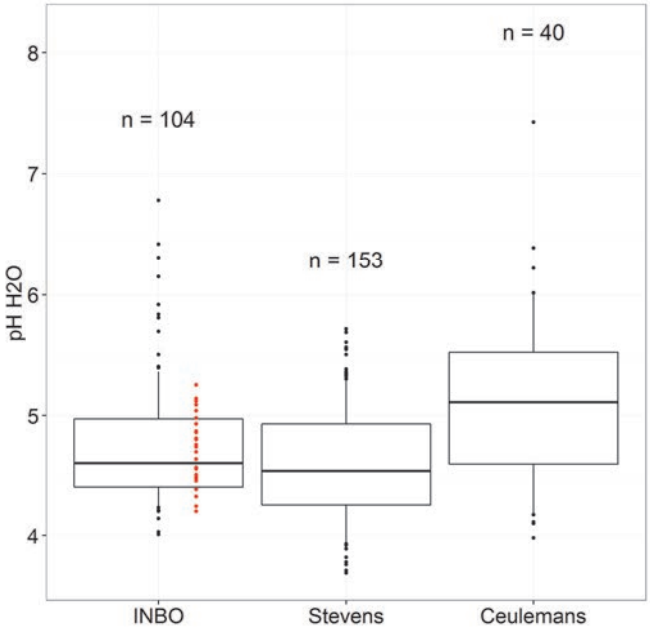
4.3.2.2 Resultaten

Figuur 11 toont de spreiding van de **Olsen P** waarden in de drie datasets. Hieruit blijkt dat de waarden voor bio-beschikbaar fosfor het laagst zijn in de INBO-dataset en het hoogst in de dataset van Ceulemans. Dit laatste is waarschijnlijk toe te schrijven aan het voorkomen van relatief nutriëntenrijke proefvlakken in de laatst genoemde dataset (zie 4.3.2.1). De lage waarden in de proefvlakken van het INBO (gemiddelde: 5.9; mediaan: 3.1; 1^{e} kwartiel 1.9; derde kwartiel 6.0) zijn in overeenstemming met de referentiewaarde (< 10 mg P/ kg) voor soortenrijke graslanden verkregen op basis van ons literatuuronderzoek (3.4.3.3). Ze vallen ook ruim binnen de grenzen van de uitgebreide studie van Stevens et al. (2011; figuur 11). Op basis van de waarden voor Olsen P kunnen we dus stellen dat de geselecteerde heischrale proefvlakken de toetsing aan internationale datasets doorstaan, en alvast op basis van de plantbeschikbare fosforgehalten in de bodem zeker schraal genoeg zijn.

Voor **pH** (H_2O) variëren de waarden van de INBO dataset tussen 4 en 5.8 (gemiddelde: 4.7; mediaan: 4.6; 1e kwartiel 4.4; derde kwartiel 5.0; figuur 12). Dit is opnieuw in overeenstemming met de internationale datasets van Stevens en Ceulemans, waarbij die van Stevens iets lagere minima en die van Ceulemans iets hogere maxima vertoont. Onze data komen ook goed overeen met die van het literatuuronderzoek waarin de gemiddelde waarden voor pH tussen 4.2 tot 5.6 bedragen (tabel 1, tabel 2 en tabel 3).



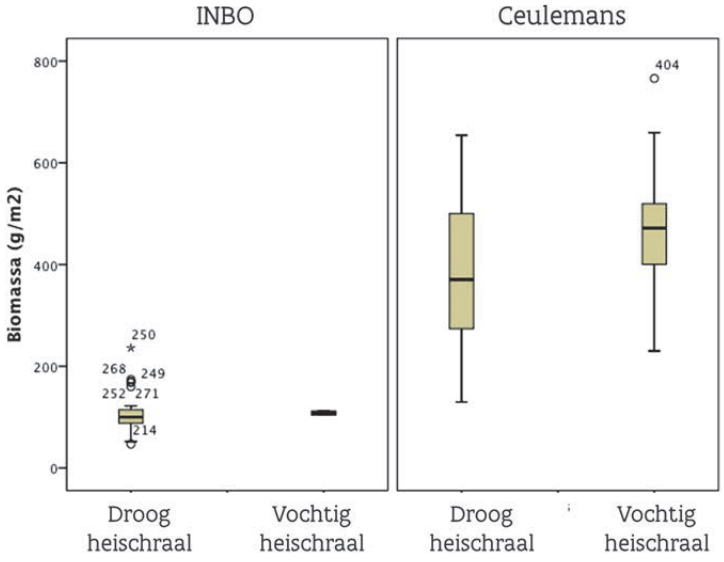
Figuur 11 Bio-beschikbaar fosfor (Olsen P) in de bodem in de datasets van het INBO (N = 104– de bemonsterde locaties in dit studiegebied staan met rode puntjes weergegeven), Stevens (N = 153) en Ceulemans (N = 38). De boxplots tonen het minimum, het eerste kwartiel (Q1, meting waarboven 75% van de metingen liggen), de mediaan (waarboven 50% van de metingen liggen), het derde kwartiel (Q3, waarboven 25% van de metingen liggen) en het maximum van de waargenomen data (met uitzondering van de uitschieters). De uitschieters worden als afzonderlijke punten getoond. Dit zijn punten die meer dan 1.5 keer de interkwartielafstand (= afstand tussen Q1 en Q3) onder of boven Q1 of Q3 liggen (Krzywinski & Altman 2014).



Figuur 12 Zuurgraad (pH H2O) in de bodem in de datasets van het INBO (N = 104 – de bemonsterde locaties in dit studiegebied staan met rode puntjes weergegeven), Stevens (N = 153) en Ceulemans (N = 40). Zie figuur 11 voor informatie i.v.m. de boxplots

Er zijn in onze dataset enkele *uitschieters* (zgn. outliers) voor Olsen P en pH. Omdat het verschillende proefvlakken betreft en die proefvlakken voor andere bodemparameters goed scoren (zie verder), hebben we beslist om alle 106 proefvlakken in de dataset te weerhouden. Niet van al deze proefvlakken zijn alle abiotische waarden bekend.

Voor de productiviteit van de graslanden (biomassa) werden de INBO vergeleken met die van Ceulemans. De dataset van Stevens bevat geen biomassagegevens. De INBO-waarden, gemiddeld rond 150 g/m² liggen beduidend lager dan die van Ceulemans. We denken dat hiervoor twee redenen zijn: de biomassastalen voor de INBO dataset zijn vrij laat op het seizoen geoogst (juli), dus na de zogenoemde "peak standing biomass", en de dataset van Ceulemans bevat een groot aantal voedselrijkere percelen. We denken dan ook dat onze data aan de lage en die van Ceulemans aan de hoge kant zijn voor goed ontwikkelde heischrale graslanden. Andere bronnen (zie tabel 5, tabel 6 en tabel 7) geven inderdaad intermediaire waarden aan, grofweg tussen 200 en 400 g/m², met iets hogere waarden voor vochtige dan voor droge heischrale graslanden.



Figuur 13 Biomassa van droge en vochtige heischrale graslanden in de INBO-dataset en de dataset van Ceulemans. INBO droog: N = 31; INBO vochtig: N = 2; Ceulemans droog: N = 10; Ceulemans vochtig: N = 23. Zie Figuur 7 voor informatie i.v.m. de boxplots.

4.3.3 Differentiërende variabelen voor het voorkomen van heischrale graslanden in Vlaanderen

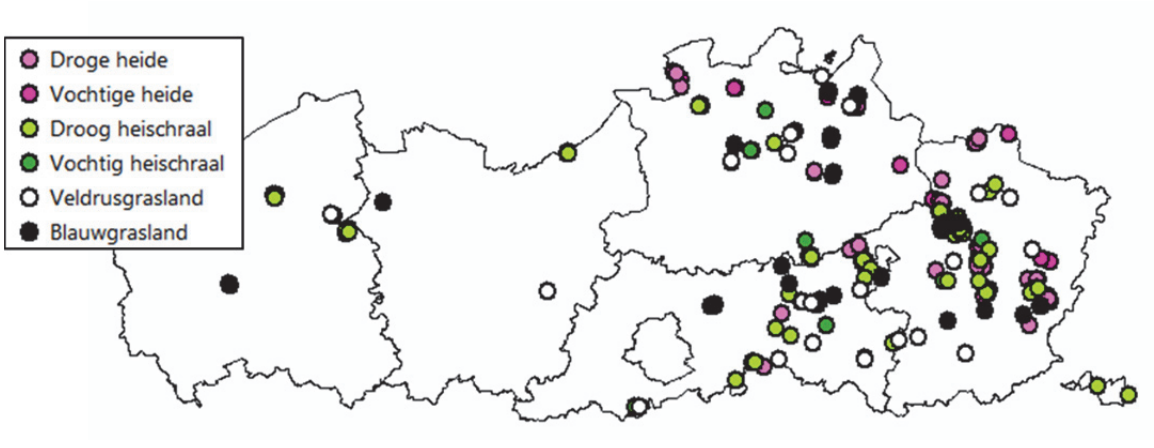
4.3.3.1 Vergelijking van de abiotische kenmerken van heischrale graslanden met die van verwante vegetatietypes (heide en blauw- en veldrusgraslanden) in Vlaanderen

4.3.3.1.1 Achtergrond en dataset

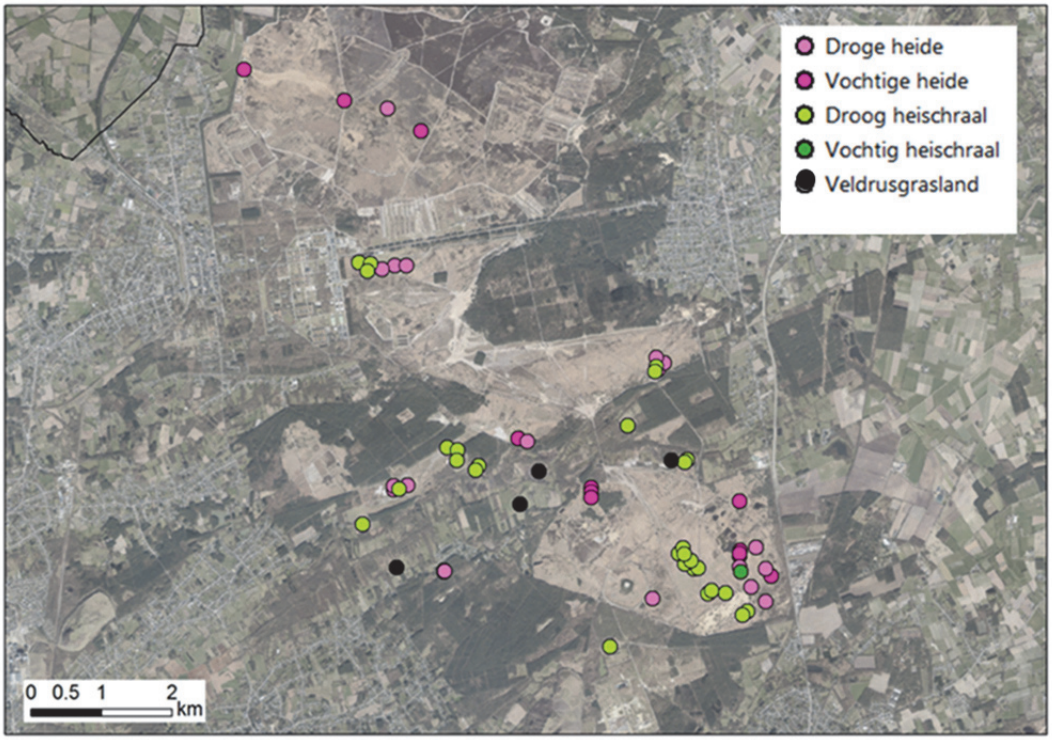
Zoals aangegeven in paragraaf 3.2 komen droge en natte heischrale graslanden voor in gradiënten naar droge en natte heide en, in iets beter gebufferde gevallen, ook in gradiënten naar blauw- en veldrusgraslanden. Als eerste stap werd daarom onderzocht of de abiotische bodemkenmerken van heischrale graslanden al dan niet duidelijk verschillen van deze van de verwante vegetatietypes. Dit zou dan toelaten om differentiërende bodemparameters aan te duiden die ons in staat stellen om potentieel geschikte percelen voor heischrale vegetatie te selecteren.

Voor dit onderzoek werd gebruik gemaakt van onze dataset van goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen (zie 4.2), aangevuld met bodemgegevens voor de habitattypes droge heide (habitattype 4030), natte heide (habitattype 4010) en blauw- en veldrusgraslanden (habitattype 6410, subtypes 6410_ve en 6410_mo), die op het INBO verzameld waren in het kader van andere projecten. Een overzicht van de ligging van de proefvlakken per habitattype is weergegeven voor Vlaanderen in figuur 14 en voor de Vallei van de Zwarte Beek in figuur 15.

De bodemstalen in heide en blauw- en veldrusgraslanden werden op dezelfde manier genomen als beschreven in paragraaf 4.2.3.1. De bodemanalyses werden uitgevoerd zoals beschreven in paragraaf 4.2.3.2.



Figuur 14 Ligging van de proefvlakken gebruikt in een vergelijkend onderzoek naar de bodemkenmerken van heischrale graslanden en daaraan verwante habitattypes.



Figuur 15 Ligging, in de omgeving van de Vallei van de Zwarte Beek, van de proefvlakken gebruikt in een vergelijkend onderzoek naar de bodemkenmerken van heischrale graslanden en daaraan verwante habitattypes.

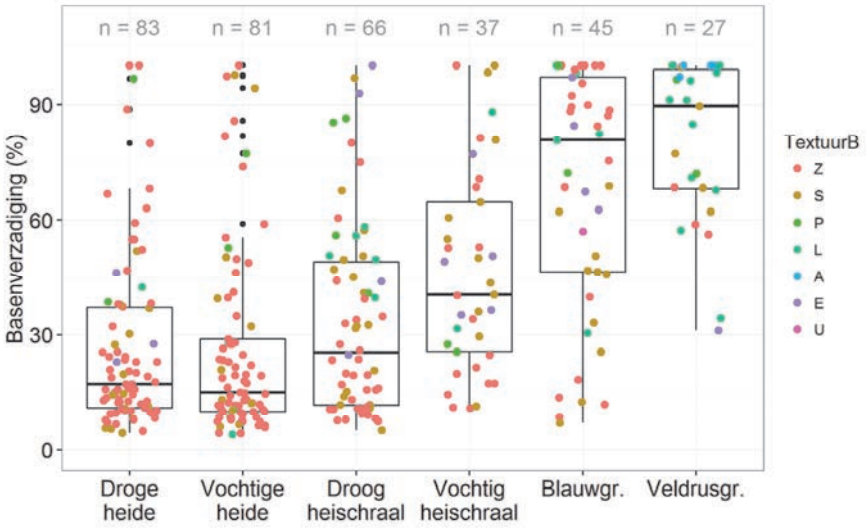
4.3.3.1.2 Resultaten

De resultaten van de bodemanalyses worden voorgesteld aan de hand van boxplots per habitattype, omdat dit toelaat om op een eenvoudige manier na te gaan of er variabelen zijn (zgn. “differentiërende variabelen”) waarvan de waarden bij heischrale graslanden duidelijk verschillen van die bij verwante habitattypes.

Ter illustratie worden in figuur 16 de gegevens apart getoond voor droge en natte heischrale graslanden, droge en natte heide en voor blauwgraslanden en veldrusgraslanden, en wordt eveneens de textuurklasse (klein, leem, zand, enz.) weergegeven voor de verschillende punten. Omdat over de hele dataset, behalve voor bodemvochtgehalte,

het verschil tussen droge en natte heischrale graslanden, tussen droge en natte heide, en tussen blauwgraslanden en veldrusgraslanden telkens minimaal was, hebben we beslist om in de volgende figuren de habitattypes te reduceren tot drie groepen, namelijk heischraal grasland (6230_hn en 6230_hmo gecombineerd), heide (4010 en 4030 gecombineerd) en blauw- en veldrusgrasland (6410_ve en 6410_mo gecombineerd), om de grafieken op die manier overzichtelijker en gemakkelijker bespreekbaar te houden. Gedetailleerde grafieken per subtype worden in bijlage I weergegeven.

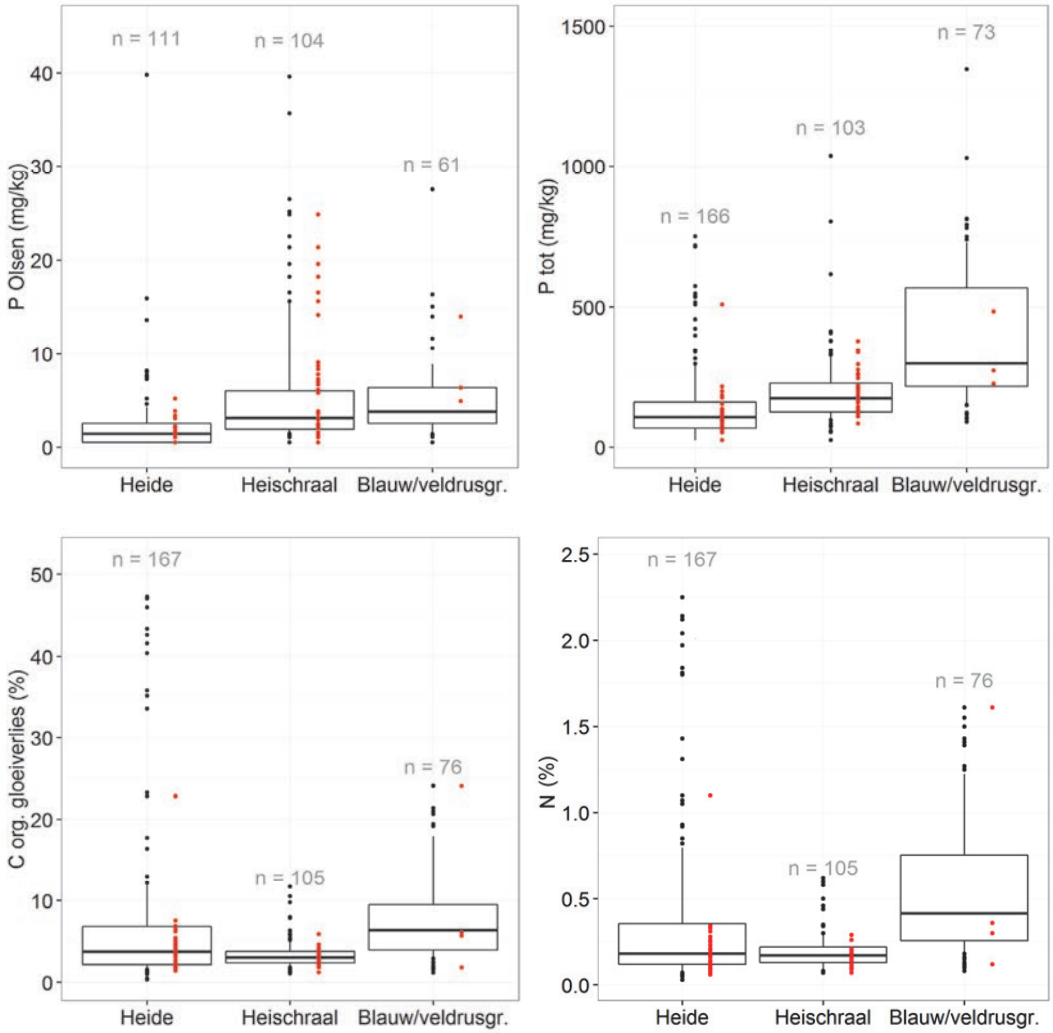
Ook werd beslist om geen grafieken per textuurklasse te maken omdat er een goede spreiding was van de waarden per parameter over de verschillende textuurklassen heen. Om een concreet voorbeeld te geven: een hoge basenverzadiging kwam zowel voor op klei-, leem, als zandgrond (zie figuur 16). Moesten daarentegen enkel kleigronden een hoge basenverzadiging vertoond hebben en zandgronden steeds een lage, dan zou het interessant geweest zijn om de gegevens per textuurklasse te bekijken.



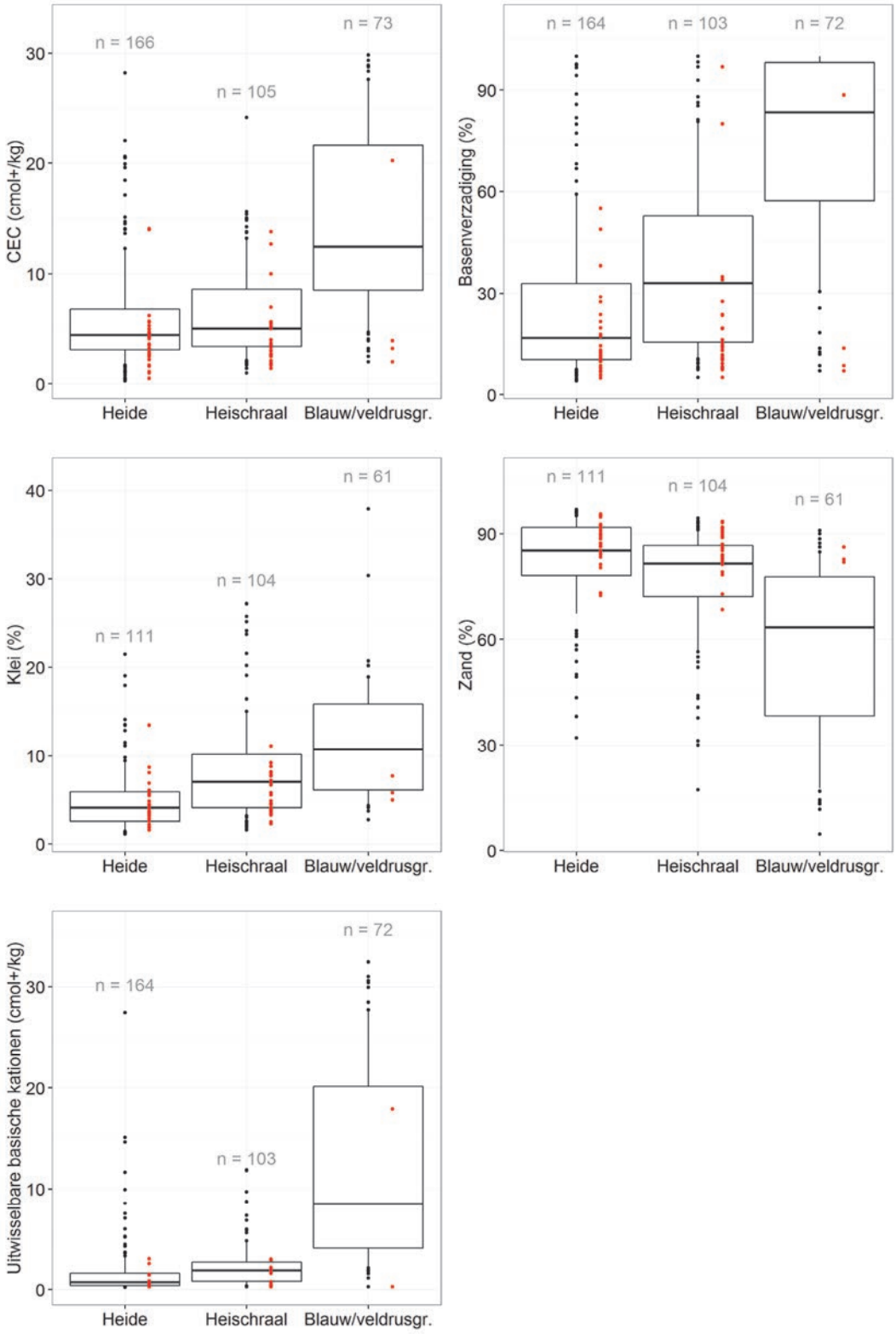
Figuur 16 Basenverzadiging in de bovenste bodemlaag (0-10 cm) weergegeven per (sub)habitattype en met aanduiding van de textuurklasse van elk bodemstaal. Het aantal stalen per habitattype is weergegeven onderaan in de figuur. Z=zand; S=lemig zand; P=lichte zandleem; L=zandleem; A=leem; E=klei; U=zware klei. Zie figuur 11 voor informatie i.v.m. de boxplots.

Uit de eerste set grafieken (figuur 17) kan worden afgeleid dat Olsen P, totale P, Kjeldahl N (= organische N + NH_4^+) en het percentage C in de bodem elk afzonderlijk niet toelaten om heischraal grasland te onderscheiden van heide. De waarden voor heischrale graslanden overlappen immers sterk met die van heiden. Ook met blauw- en veldrusgraslanden is er overlap, hoewel deze laatste groep over het algemeen iets hogere waarden vertoont voor de verschillende parameters.

Voor kationenuitwisselingscapaciteit (CEC), basenverzadiging en percentages klei en zand, zien we een gradiënt in de data gaande van heide, via heischraal grasland naar blauw- en veldrusgrasland (figuur 18). Vooral blauw- en veldrusgrasland verschilt voor CEC en basenverzadiging duidelijk van heide en heischraal grasland, maar weerom is de overlap tussen heide en heischraal grasland erg groot en zijn deze variabelen dus niet differentiërend voor het voorkomen van heischraal grasland. Hiermee bedoelen we dat, bv. voor basenverzadiging (BV), de gemiddelde waarde iets hoger is in heischraal grasland dan in heide en we dus kunnen veronderstellen dat heischraal grasland over het algemeen bodems met iets hogere BV prefereert, maar anderzijds dat we op basis van metingen van BV niet kunnen voorspellen of op een perceel heide dan wel heischraal grasland voorkomt, precies omdat de ranges voor BV voor beide habitattypes zoveel overlappen. Daarom noemen we die parameter niet differentiërend. In het laatste geval zouden de waarden voor heischraal grasland en heide sterk verschillen, met weinig of geen overlap.



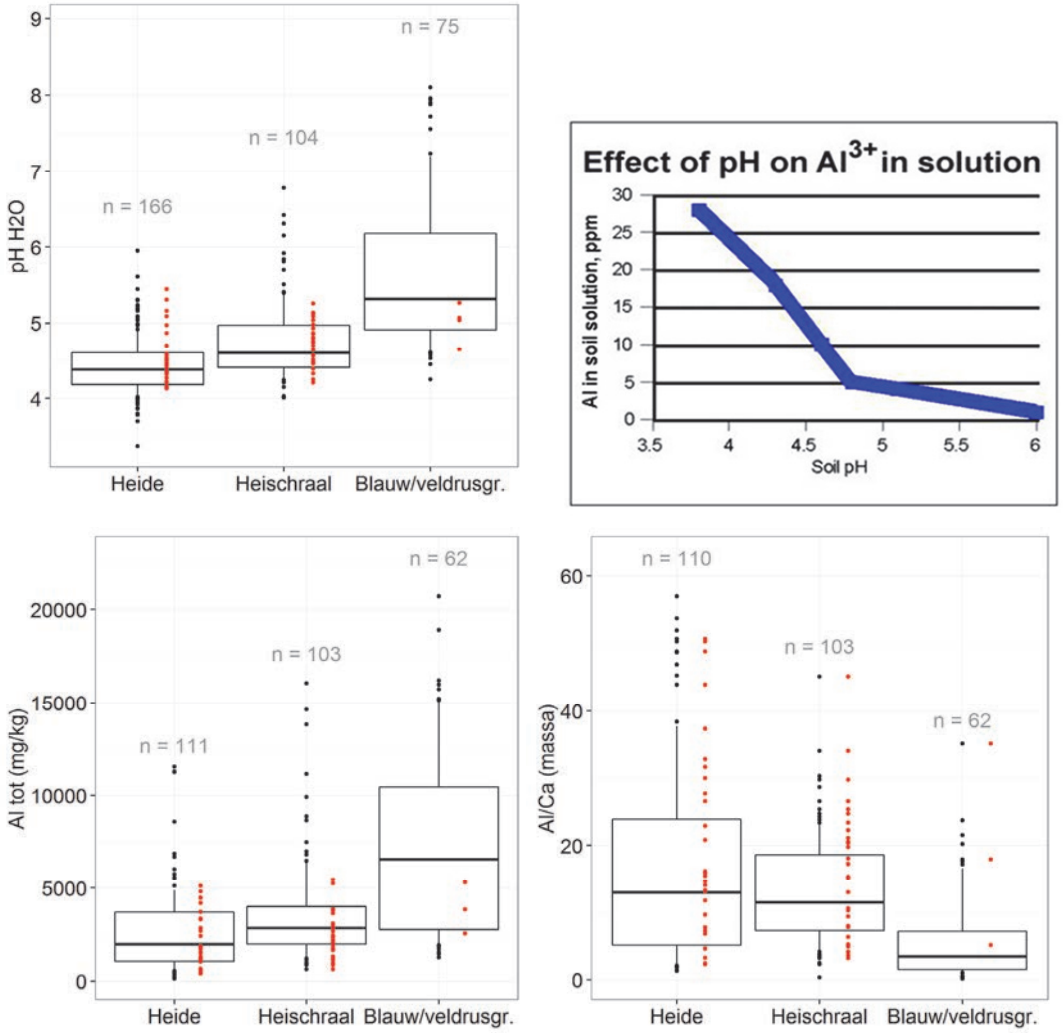
Figuur 17 Olsen P, totale P, % koolstof (LOI) en Kjeldahl stikstof per habitattype. Zie figuur 11 voor betekenis van de boxplots.



Figuur 18 Kationenuitwisselingscapaciteit, basenverzadiging, % klei, % zand en uitwisselbare basische kationen per habitattype.

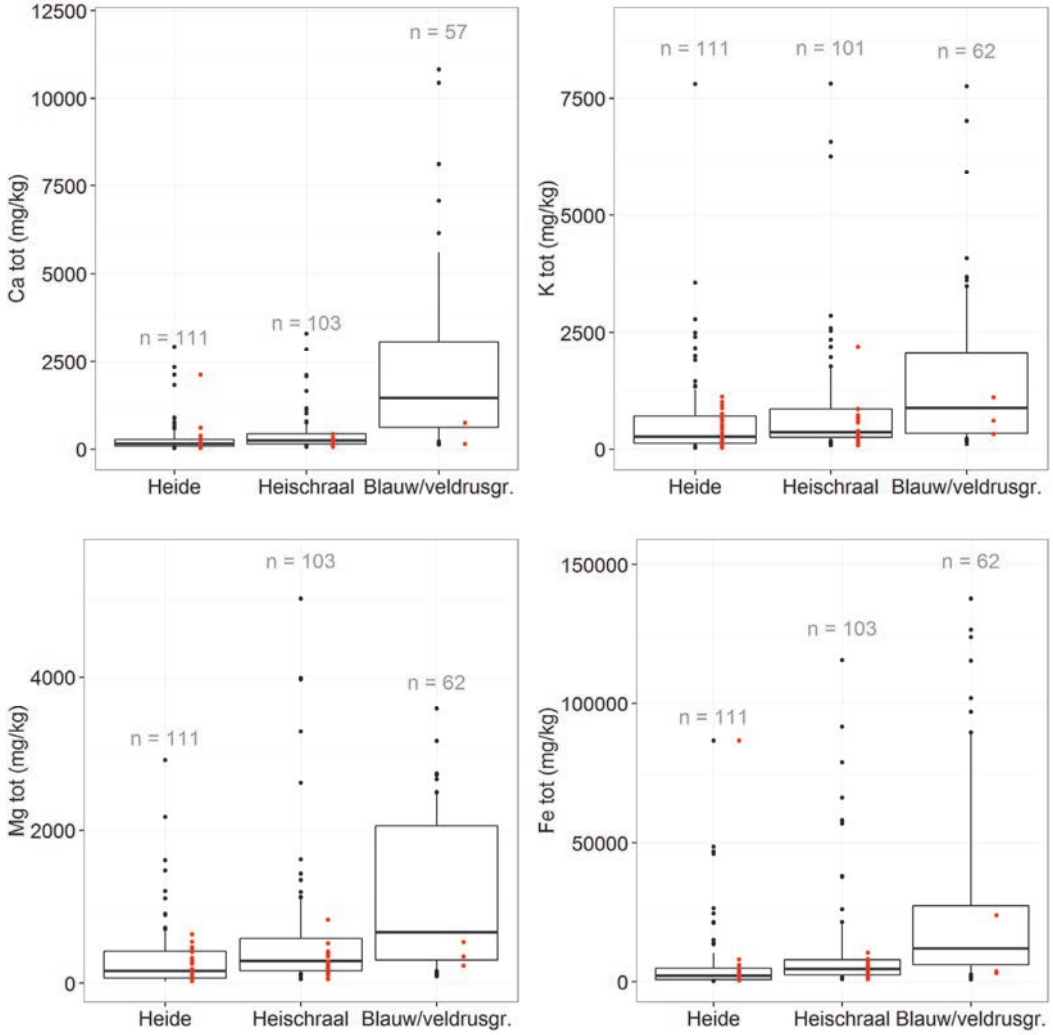
De zuurgraad neemt licht toe van heide, via heischraal grasland, naar blauw- en veldrusgrasland. In het merendeel van de heischrale proefvlakken blijft de pH > 4.5, waardoor het risico op aluminiumtoxiciteit beperkt blijft (figuur 19). Het aluminiumgehalte in de bodem is hoger in blauw- en veldrusgraslanden dan in heide en heischraal

grasland, maar blauw- en veldrusgrasland heeft wel de laagste Al/Ca verhouding ten gevolge van een hogere calciumconcentratie in de bodem (figuur 20). De Graaf et al. (2004) verwijzen naar Al/Ca-waarden < 5 voor goed ontwikkelde heischrale vegetaties, terwijl die in onze proefvlakken een stuk hoger liggen: gemiddelde: 13, mediaan: 12, eerste kwartiel: 7, derde kwartiel: 19. Anderzijds geven De Graaf et al. (2004) zelf resultaten voor Al/Ca die variëren tussen 0.1 en 19.1 in natte, en tussen 1.2 en 25.7 in droge heischrale graslanden. Dit komt beter overeen met onze waarden en lijkt ons dan ook realistischer.



Figuur 19 pH (H_2O), totaal aluminium en Al:Ca verhouding voor de verschillende habitattypes. Eveneens wordt de relatie tussen Al^{3+} in de bodemoplossing en de bodem pH weergegeven.

In figuur 20 tenslotte worden de resultaten getoond voor ijzer en voor de mineralen calcium, kalium en natrium. Ook hier zien we weer een gelijkaardig patroon met hogere waarden in blauw- en veldrusgrasland dan in heide en heischraal grasland, maar zijn de parameters niet differentiërend voor heischraal grasland.



Figuur 20 Totaal calcium, totaal kalium, totaal magnesium en totaal ijzer per habitattype.

4.3.3.2 Welke abiotische- en beheerkenmerken onderscheiden heischraal grasland van heide?

In een volgende stap gaan we verder in op het (geringe) verschil in bodemkenmerken tussen heischraal grasland en heide. Uit paragraaf 4.3.3.1.2 kwam naar voor dat de gemeten variabelen op zich niet toelaten om een duidelijk onderscheid te maken tussen verschillende habitattypes, en zeker niet tussen heischraal grasland en heide. In deze paragraaf gaan we na of het werken met een combinatie van variabelen en/of het toevoegen van informatie over beheer ons toelaat uitspraken te doen over het voorkomen van heischraal grasland t.o.v. heide.

4.3.3.2.1 Informatie over beheer van de geselecteerde percelen (heide en heischraal grasland)

Om informatie in verband met het beheer van de geselecteerde percelen te kunnen toevoegen aan de statistische analyses, werden beheerders van de percelen in kwestie gecontacteerd. Hierbij werd gevraagd een Excel-formulier in te vullen met vragen i.v.m. grote verstoringen in het gebied (o.a. branden, opgravingen), het historisch landgebruik (vanaf 1950) en het recente beheer (2005-2015). Om de gegevens statistisch te kunnen verwerken werden de antwoorden daarna gereduceerd tot de volgende eenvoudige ja/nee opties:

- Brand na 1950 (ja/nee)
- Maaien vóór 2005 (Ja/nee)
- Begrazen vóór 2005 (Ja/nee)
- Beheer vóór 2005 (Ja/nee)

- Plaggen na 1975 (Ja/nee)
- Maaien recent (Ja/nee) (recent = 2005-2015)
- Jaarlijks maaien recent (Ja/nee)
- Begrazen recent (Ja/nee)
- Jaarlijks begrazen recent (Ja/nee)
- Beheer recent (Ja/nee)

Met deze informatie voor 122 percelen, waarvan 58 heischraal grasland en 64 heide, werd vervolgens aan de slag gegaan.

4.3.3.2.2 Enkelvoudige en multiple logistische regressies

Logistische regressies kunnen gebruikt worden om op zoek te gaan naar variabelen die de kans op het voorkomen van een bepaalde factor (bv. heischraal grasland) t.o.v. een andere factor (bv. heide) kunnen voorspellen. Uitkomsten van dergelijke regressies, welke vaak gebruikt worden in medisch onderzoek, zijn bv. "roken (t.o.v. niet-roken) verhoogt de kans op longkanker met 80%". In een eerste reeks enkelvoudige regressies (tabel 11) gaan we op zoek naar beheerparameter(s) die de kans op het voorkomen van heischraal grasland mogelijk verhogen.

De resultaten van logistische regressies worden weergegeven a.d.h.v. een odds ratio (OR), een significantieniveau (*P*) en het "Akaike information criterion" (AIC). In onze eerste analyse geeft de OR aan hoe groot de kans op het voorkomen van heischraal grasland is ten opzichte van de kans op het voorkomen van heide bij de toepassing van een bepaald type beheer. Indien OR = 1 heeft de factor (hier het type beheer) geen effect op het voorkomen van het ene of het andere vegetatietype; indien OR > 1 heb je meer kans op het voorkomen van heischraal grasland indien een bepaald type beheer wordt toegepast, bij OR < 1 heb je minder kans op heischraal grasland dan op heide bij een bepaald type beheer. De *P*-waarde geeft aan of een statistisch model al dan niet significant is. Het AIC schat de kwaliteit van elk model t.o.v. de andere modellen voor een bepaalde dataset, waarbij het model met de laagste AIC het beste bij de data past.

Tabel 11 Resultaat van enkelvoudige logistische regressies voor de aanwezigheid van heischraal grasland (N = 58) t.o.v. heide (N = 64). Er werd telkens een andere beheervariabele als voorspellende variabele gebruikt in het model. De variabele die het sterkst gerelateerd is aan het voorkomen van heischraal grasland is gemarkeerd in groen.

Variabele	OR (odds ratio)	*P*	AIC
Jaarlijks maaien (2005-2015)	3.00	*	178
Maaien vóór 2005	2.85	**	176
Maaien (2005-2015)	**4.08**	*******	**171**
Begrazen (2005-2015)	1.33	n.s.	184
Jaarlijks begrazen (2005-2015)	0.92	n.s.	184
Begrazen vóór 2005	1.34	n.s.	184
Plaggen	0.64	n.s.	183
Beheer (2005-2015)	2.77	*	180
Beheer vóór 2005	3.79	**	175
Brand	0.44	n.s.	183

* $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$

De logistische regressies uitgevoerd voor de verschillende beheerparameters tonen dat recent maaien ("maaien 2005-2015") het beste resultaat geeft (hoogste OR, kleinste significantiewaarde, kleinste AIC; tabel 11). Concreet kan het resultaat als volgt geïnterpreteerd worden: Indien een perceel in de voorbije tien jaar gemaaid is, heb je 4.08 keer meer kans (OR = 4.08) dat het perceel een heischraal grasland is, dan dat het heide is. Hierbij dient men natuurlijk wel rekening te houden dat dit er enerzijds op zou kunnen wijzen dat maaien resulteert in heischraal grasland, maar anderzijds ook dat de aanwezigheid van heischraal grasland de kans verhoogt dat een perceel gemaaid wordt. Het is dus niet mogelijk om eenduidig de oorzaak en het gevolg aan te wijzen, maar men kan wel stellen dat recent maaien een goede voorspeller is voor de aanwezigheid van heischraal grasland.

In een volgende stap werd getracht om een zo goed mogelijk logistisch regressiemodel op te stellen met daarin zowel informatie over beheer als bodemparameters. De variabelen die hiervoor in aanmerking kwamen werden geselecteerd op basis van hun ecologische relevantie en de aanwezigheid van voldoende data, en bovendien mochten ze niet te sterk gecorreleerd zijn (R < 0.7). Stikstof zit bv. niet bij de geteste variabelen omdat dit zeer sterk gecorreleerd was met de hoeveelheid organisch materiaal in de bodem (C LOI). De parameters die in de logistische regressies gebruikt werden, waren:

- Recent maaien
- Olsen P
- C (LOI)
- Som van uitwisselbare basische kationen
- pH (H_2O)
- Klei (%)
- Al/Ca

De selectie van het beste model gebeurde op twee manieren. Eerst werden alle parameters samen in een logistisch regressiemodel gestoken en werden de parameters die in dat model significant waren weerhouden in een gereduceerd model. Daarnaast werden er ook verscheidene alternatieve modellen getest, startende van de meest significante parameters, en werd het beste model geselecteerd op basis van de laagste waarde voor AIC. In beide gevallen kwamen we tot hetzelfde eindresultaat: een model waarin de parameters Olsen P, pH, % klei en C (LOI) werden weerhouden (zie tabel 12).

We kunnen dus concluderen dat heischrale graslanden een hogere waarde hebben voor **P Olsen**, **pH** en het gehalte aan **klei** in de bodem dan heidevegetatie. Daarnaast hebben ze minder **koolstof** in de bodem dan heide.

Tabel 12 Overzicht van de weerhouden variabelen in het "beste" multiple logistisch regressiemodel. De odds ratio worden geïnterpreteerd als volgt (bv. voor pH): de kans dat een perceel eerder heischraal grasland is dan heide wordt 7.5 keer groter bij elke toename van 1 pH-eenheid in de bodem.

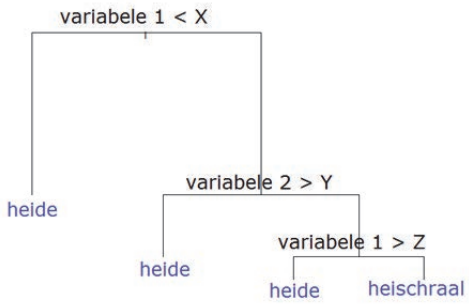
Variabele	OR (odds ratio)	CI (2.5%)	CI (97.5%)	P
P Olsen	1.38	1.17	1.69	***
pH (H_2O)	7.48	1.95	35.94	**
Klei (%)	1.31	1.12	1.55	**
C (LOI)	0.71	0.50	0.97	*

* P < 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.001; CI: Confidentie interval, d.w.z. we kunnen met 95 % betrouwbaarheid zeggen dat de odds ratio tussen CI (2.5%) en CI (97.5 %) ligt.

Het gaat hier om relatieve verschillen tussen heide en heischraal grasland, voor de absolute ecologische range van heischraal grasland verwijzen we naar hoofdstukken 4.3.1 en 4.3.2. De absolute P Olsen gehalten mogen in heischraal grasland wel hoger zijn dan in heide, in absolute waarden blijven ze wel heel laag.

4.3.3.2.3 Boosted classificatiebomen

Een andere manier om de aan- of afwezigheid van een soort of een vegetatietype te verklaren en te voorspellen is het opbouwen van "boosted classification trees" (BCT). Deze statistische techniek produceert een set beslisregels onder de vorm: "*als variabele 1 onder (of boven) een drempelwaarde wordt gebracht, zal vegetatietype X voorkomen* ". Het resultaat kan als een hiërarchische beslissingsboom worden weergegeven (bv. figuur 21).

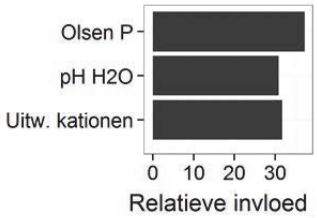


Figuur 21 Theoretisch voorbeeld van een classificatieboom.

De oorspronkelijke dataset zal keer op keer in twee datasets verdeeld worden om zo homogeen mogelijke groepen te bekomen met ofwel heide ofwel heischrale vegetatie. Het algoritme zoekt voor welke variabele en welke waarde de heide en de heischrale graslanden het best uit elkaar kunnen worden gehaald.

Om de stabiliteit van de voorspellingen te verbeteren is de classificatieboom-methode verfijnd. Wij gebruiken hier een variante van, een "boosted classificatieboom met kruisvalidatie" (cross validation). In plaats van één enkele classificatieboom wordt hierbij een hele set bomen geproduceerd. Verdere verwerking van deze bomen resulteert vervolgens in een selectie van de meest geschikte variabelen om de twee vegetatietypes te onderscheiden. Bij deze oefening werd het R-packet dismo gebruikt (Hijmans et al. 2016) met dezelfde voorspellende variabelen als voor de logistische regressie.

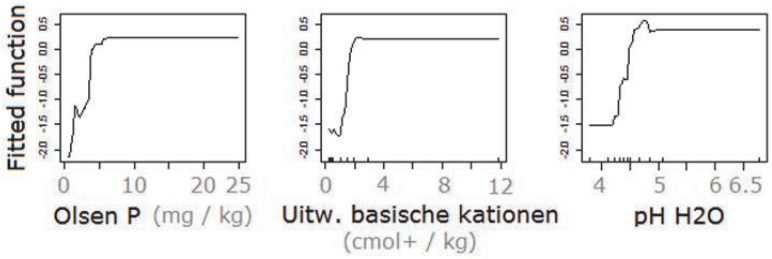
De figuur hieronder geeft het relatieve belang ("relative influence") aan van de verschillende variabelen om de aan- of afwezigheid van heischraal grasland te voorspellen. De variabelen met een hoge relatieve invloed zijn de variabelen die het best toelaten om het onderscheid tussen de twee vegetatietypes te maken. Vooral de concentratie plantbeschikbaar P (Olsen), de hoeveelheid uitwisselbare basische kationen en de pH zijn hiervoor belangrijk.



Figuur 22 Relatieve invloed van de verschillende variabelen bij het voorspellen van de aan- of afwezigheid van heischraal grasland.

Figuur 23 geeft vervolgens aan hoe elke variabele de kans op voorkomen van heischraal grasland beïnvloedt[5]. Hoe groter de waarde op de verticale as, hoe groter de kans op heischraal grasland. Bij hogere waarden voor Olsen P, pH en basische kationen neemt de kans op voorkomen van heischraal grasland toe.

[5] *Het gaat hier om "partial dependence plots". Ze tonen het effect van een verklarende variabele op de responsvariabele, rekening houdende met de gemiddelde effecten van alle andere verklarende variabelen in het model. De Y-as geeft de mate waarin de omgevingsvariabele van invloed is op veranderingen in de afhankelijke variabele (in ons geval aan- of afwezigheid van heischraal grasland).*



Figuur 23 Partiële dependentie plots per variabele. Hoe groter de waarde op de verticale as, hoe groter de kans op voorkomen van heischraal grasland. Bij lage Olsen P waarden hebben we ook lage Y waarden, en dus meer kans op heide dan op heischraal grasland. Hoe groter de variatie op de verticale as, hoe belangrijker de variabele.

De betrouwbaarheid van de modellen werd nagegaan d.m.v. een ROC analyse , een diagnostische test gebaseerd op een plot van de zogenaamde Relative Operating Characteristic Curve (ROC) die de 'true positive rate' (plots waar heischraal grasland door het model wordt voorspeld en ook daadwerkelijk voorkomt) uitzet tegenover de 'false positive rate' (plots waar heischraal grasland wordt voorspeld terwijl het niet voorkomt). Deze curve geeft de 'tradeoff' aan tussen sensitiviteit en specificiteit[6]. Een belangrijke maat over hoe robuust een BCRT model is word aangegeven door de oppervlakte onder de ROC curve (Area Under Curve; AUC). Een oppervlakte van 1 betekent dat het BCRT model perfect de aan- of afwezigheid van heischraal grasland kan voorspellen terwijl een model met een AUC waarde van 0.5 dit totaal niet kan. De gemiddelde AUC van ons model ligt rond 0.8, het heeft dus een matige tot goede voorspellingskracht.

Deze oefening bevestigt het belang van het bio-beschikbaar P gehalte (Olsen) en van de pH om het onderscheid te maken tussen heischraal grasland en heide. Locaties met heischraal grasland zijn doorgaans wat rijker aan P en hebben en hogere pH dan locaties met heide.

4.3.3.2.4 Multivariate gradiëntanalyse of ordinatie (CA en CCA)

Multivariate gradiëntanalyse is een wiskundige (geen statistische) techniek waarbij getracht wordt om orde te scheppen in grote datasets. Een verzameling van tientallen vegetatieopnames, zoals hier voorligt, is een voorbeeld van een grote dataset. Er wordt gebruik gemaakt van vectorrekenen om gelijkende vegetatieopnames te groeperen en dus om niet of minder gelijkende vegetatieopnames als aparte groepen weer te geven.

De meeste mensen kunnen zich een ruimtelijke voorstelling maken van een drie-dimensioneel assenstelsel (bv. een x-y coördinaat in Lambert 1972 en als z-coördinaat de hoogte boven de zeespiegel in m TAW). De hier voorliggende dataset bestaat echter uit 122 vegetatieopnames met in totaal 230 verschillende plantensoorten. Hierdoor zal, in plaats van een drie-dimensionele ruimte, de ruimtelijke weergave bij de ordinatie uit 230 dimensies bestaan. Elke as of dimensie van de grafiek wordt daarbij gevormd door de bedekkingsgraad van een bepaalde plantensoort. Een vegetatieopname met 10 soorten heeft dus bedekkingsscores op 10 assen van de respectievelijke soorten. Op die manier worden punten geplot in de 230-dimensionele ruimte.

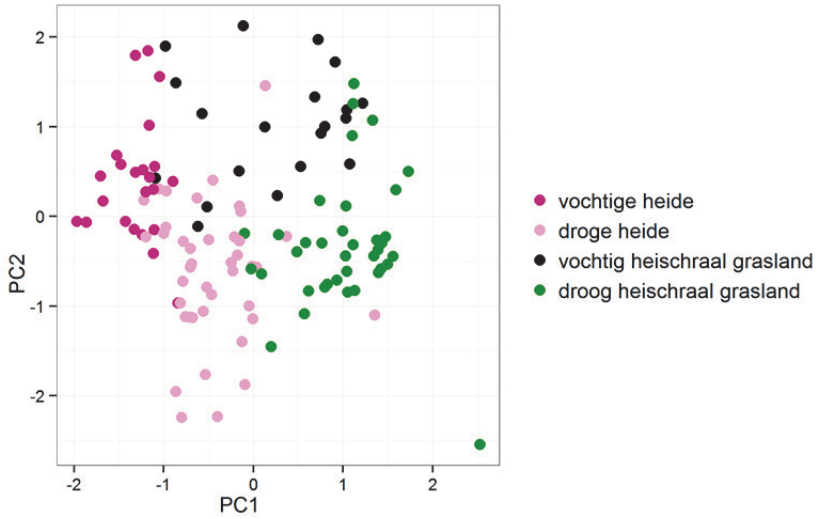
Vegetatieopnames die bestaan uit dezelfde soorten, dikwijls met vergelijkbare bedekkingen, zullen aanleiding geven tot punten in die 230-dimensionele ruimte die dicht bij elkaar liggen. Vegetatieopnames met een sterk verschillende soortensamenstelling geven daarentegen aanleiding tot punten die ver van elkaar verwijderd liggen in diezelfde ruimte. In totaal worden er dus 122 punten getekend die overeenkomen met de soortensamenstelling van de 122 opnames. Om het geheel overzichtelijk te kunnen weergeven, kan er van die puntenwolk een ordinatiegrafiek gemaakt worden door in die puntenwolk een vlak te schuiven dat samenvalt met de grootst mogelijke spreiding in die 230-dimensionele puntenwolk. Alle punten worden loodrecht op dat vlak geprojecteerd.

---

[6] *De **sensitiviteit** is een maat voor de "gevoeligheid" van de test en wordt berekend als volgt: "aantal locaties waar heischraal grasland door het model wordt voorspeld en ook daadwerkelijk voorkomt" / "aantal locaties met heischraal grasland". Als de sensitiviteit hoog is, is de kans groot dat een locatie met heischraal grasland ook effectief door het model herkend zal worden als heischraal grasland. De **specificiteit** bepaalt hoe "specifiek" de test is en wordt berekend als: "aantal locaties waar heischraal grasland niet wordt voorspeld terwijl het ook niet voorkomt"/ "aantal locaties waar heischraal grasland niet voorkomt". Als de specificiteit hoog is, zal door het model geen heischraal grasland voorspeld worden op die plaatsen waar het in realiteit ook niet voorkomt.*

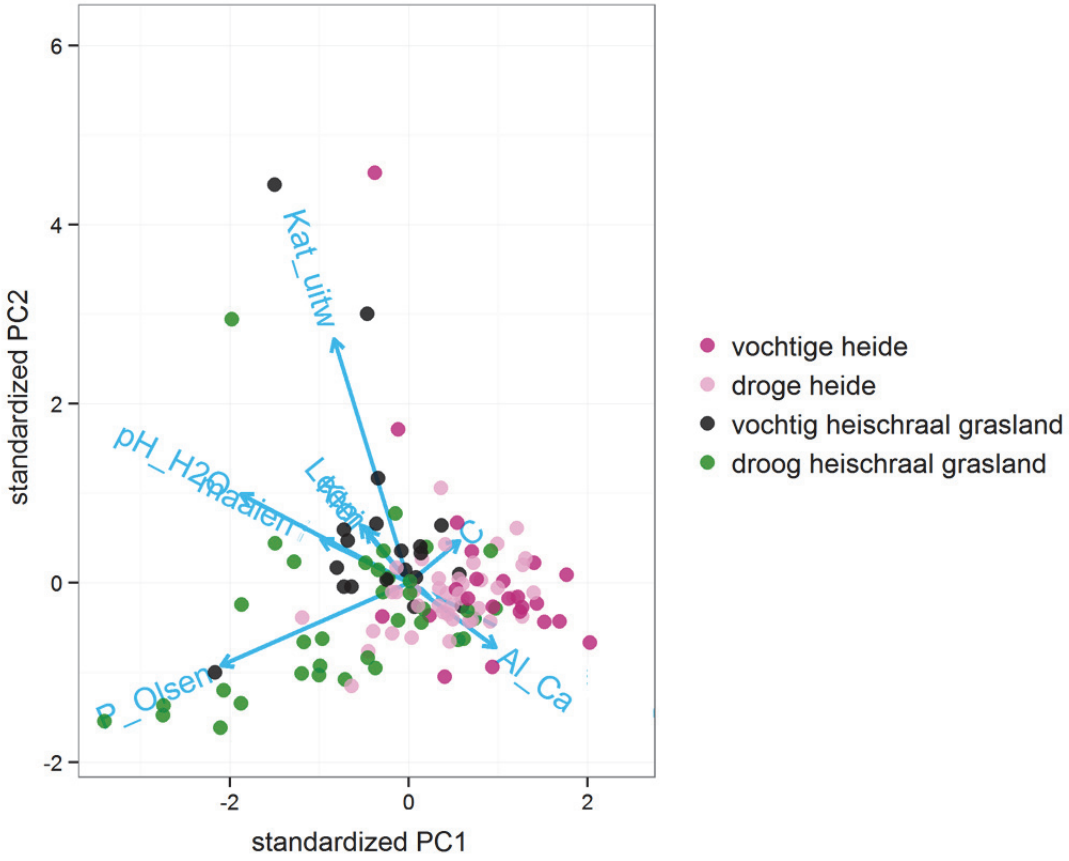
Bij het uitvoeren van de ordinatie bleek er één opname te zijn die een sterk afwijkende soortensamenstelling had (opname “hd076”) waardoor het ordinatie diagram zeer onevenwichtig opgebouwd werd en waardoor er bijna geen informatie zichtbaar was. Die afwijkende opname werd weggelaten. Er werd bijgevolg verder gewerkt met 121 vegetatieopnames van droge en vochtige heide en dito heischrale graslanden.

In figuur 24 is het ordinatiediagram te zien van de eerste twee assen voor de correspondentieanalyse (CA). De individuele punten zijn ge-kleur-labeled volgens het vegetatietype waartoe ze behoren. Hierbij valt het op dat de kleuren, en dus de verschillende vegetatietypes, vrij goed gegroepeerd zijn, een aantal verloren gelopen punten niet te na gesproken. Anders gezegd: de vier verschillende vegetatietypes zijn vrij goed (maar dus zeker niet perfect!) van elkaar te scheiden op basis van het voorkomen en de bedekking van de verschillende plantensoorten.



Figuur 24 Ordinatiediagram voor de correspondentieanalyse (x-as is CA1-as, y-as is CA2-as) op de set met 121 vegetatieopnames van vochtige en droge heischrale graslanden en heiden

Een volgende stap is de zogenaamde canonische correspondentie analyse (CCA). Daarbij wordt gebruik gemaakt van een set van 8 abiotische variabelen (tabel 13) die voor elke vegetatieopname verzameld waren. Nu worden alle punten in de 230 dimensionele ruimte geordend op basis van hun waarde voor die verschillende abiotische variabelen (figuur 25). De configuratie van de puntenwolk van de CCA wordt vergeleken met de configuratie van de puntenwolk van de CA. Die zijn uiteraard niet perfect gelijk, maar als ze sterk op elkaar gelijken, dan betekent dat niets anders dan dat de gebruikte abiotische variabelen een goede verklaring zijn voor de verschillen in de verschillende vegetatietypes.



Figuur 25 Ordinatiediagram voor de canonische correspondentieanalyse (x-as is CCA1-as, y-as is CCA2-as) op de set met 121 vegetatieopnames van vochtige en droge heischrale graslanden en heiden (verklaarde variantie : CCA-as 1: 24.5% en CCA-as 2: 20.4%)

Op dat diagram staan naast de ge-kleur-labelde vegetatieopnamen ook de 'pijlen' weergegeven die het belang van de verschillende abiotische variabelen weergeven in de ordinatie en hun verband met de verschillende vegetatieopnames. Om die te kunnen interpreteren moeten de verschillende (vegetatie-)opnamepunten (in gedachten) loodrecht op de abiotische pijlen geprojecteerd worden. Hoe langer de pijlen in het diagram, des te belangrijker ze zijn in het verklaren van de sortering in groepen van de verschillende vegetatietypes.

Tabel 13 Abiotische variabelen gerangschikt volgens afnemend belang in de CCA, met aanduiding van de relatieve lengte van de pijlen in het ordinatiediagram van figuur 25.

Kat_uitw	0,78
P-Olsen	0,65
pH_H2O	0,63
Al_Ca	0,45
maaien	0,41
C	0,38
Leem	0,38
Klei	0,27

Om te beginnen is het percentage verklaarde variantie voor de eerste twee CCA-assen samen 56.7%. Dat is een maat voor de hoeveelheid variatie in de dataset die door de gebruikte abiotische variabelen verklaard kan worden. 56.7% is als eerder laag te quoteren. Percentages gelegen tussen de 60 en 80 % voor de eerste twee assen zijn niet ongebruikelijk in andere, meer bevredigende analysen. De consistentie van de opnames in de vier groepen is niet zo

duidelijk in het CCA diagram (figuur 25) als in het CA diagram (figuur 24). Er zijn duidelijk meer 'verdwaalde' punten te zien. Er moeten met andere woorden nog verklarende abiotische variabelen bestaan die in deze analyse niet meegenomen werden. Grondwaterdynamiek/-chemie zijn daarbij kandidaatvariabelen, maar het ontbreekt momenteel nog aan voldoende gegevens om ze te kunnen betrekken in de analyse.

Van de gebruikte variabelen steken de uitwisselbare kathionen (Kat_uitw), plant-beschikbare fosfaatverbindingen (P_Olsen) en bodem pH (pH-H2O) er met kop en schouders bovenuit; het toepassen van maaibeheer (maaien) zen de Al_Ca verhoudigng in de bodem zijn al minder belangrijk.

Uit deze analyse wordt duidelijk dat de bodems onder heischrale graslanden wat rijker zijn aan uitwisselbare (of ook basische) kationen, plant-beschikbare fosfaten en een iets hogere pH hebben dan dat het geval is voor heiden. Verder hebben de heischrale graslanden een voorkeur voor maaibeheer ten opzichte van de heiden. Andere signalen zijn minder duidelijk.

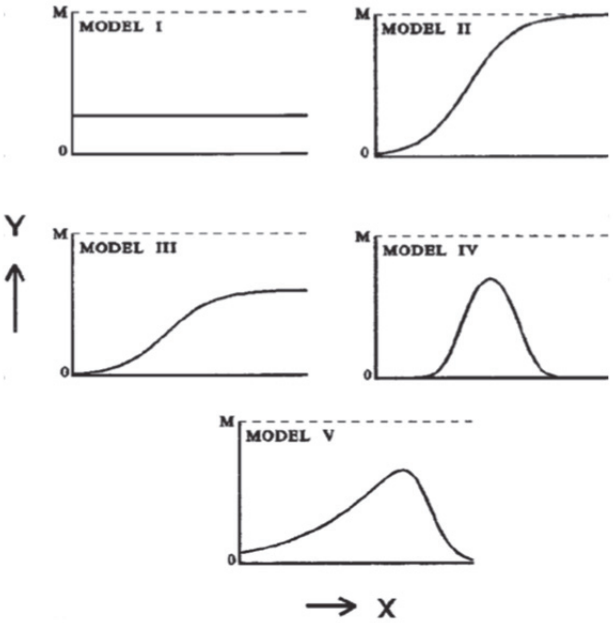
4.3.3.2.5 Gerealiseerde ecologische niches voor typische heischrale- en heidesoorten

De statistische analyses op vegetatietype-niveau laten slechts gedeeltelijk toe om een onderscheid tussen heide en heischraal grasland te maken op basis van de gemeten bodemparameters en van beheer. Er werd daarom ook bekeken of er verschillen in abiotische ranges waren tussen individuele soorten (dus niet langer op vegetatie-niveau) typisch voor droge of vochtige heischrale graslanden enerzijds en heide anderzijds (de heidesoorten maken volgens de Vlaamse opvattingen ook deel uit van de soorten die in heischrale graslanden voorkomen).

Er werden responscurven opgemaakt die de relatie tussen de kans op voorkomen van elke individuele plantensoort (uit de lijst van typische soorten in hoofdstuk 2) en een omgevingsvariabele aangeven. Hiervoor werd een beroep gedaan op Huisman-Olff-Fresco logistische regressiemodellen (geïmplementeerd in het R package eHOF, Jansen en Oksanen 2013), een set van op voorhand gedefinieerde types modellen met toenemende complexiteit (5 modeltypes) die de respons van de onderzochte soorten volgens een abiotische gradiënt in beeld brengen (figuur 26). Bij deze oefening wordt het meest adequate model gekozen op basis van statistische criteria[7]. Naast symmetrische responses kunnen ook asymmetrische responses en trends gemodelleerd worden.

Figuur 26 geeft een overzicht van de 5 basismodellen.

[7] *Statistische informatie criteria AICc (Akaike Informatie criterium gecorrigeerd voor kleine samples) en 'bootstrap' routine, een methode waarbij de originele meetwaarden meerdere keren (in dit geval 100) met teruglegging worden gesampled: uit de oorspronkelijke steekproef van grootte n wordt keer op keer een nieuwe steekproef van grootte n getrokken via trekking met teruglegging (1 meetwaarde kan meerdere keren gebruikt worden) en geanalyseerd. Deze 'bootstrap' routine laat toe om de stabiliteit van de modelselectie na te gaan.*



Figuur 26 De basis set van HOF modellen gerangschikt volgens stijgende complexiteit. Model I: geen trend, Model II: stijgende of dalende trend tot maximum waarde M, Model III: stijgende of dalende trend blijvend onder de maximale waarde M, Model IV: symmetrische unimodele responscurve en Model V: scheve (skewed) unimodale curve. Naar Huisman et al. (1993).

Voor elke soort werden response curves op basis van de HOF modellen uitgewerkt voor de gradiënten in organische stof, pH, basenverzadiging, P, N, klei-, leem- en zandgehalte, kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) en voor de ratio Al/Ca.

Hiervoor deden we een beroep op drie bestaande datasets met gekoppelde informatie (d.w.z. informatie over vegetatie en abiotiek op dezelfde locatie): NICHE Vlaanderen (opnames in grondwaterafhankelijke vegetaties), SPOVEG (recent standplaatsonderzoek in verschillende Europees beschermde habitattypen) en ALNO-PADION (opnames in alluviale bossen). Voor meer informatie over deze datasets verwijzen we naar de beschrijving gegeven in Wouters et al. 2015. In totaal zijn er gekoppelde biotische en abiotische gegevens beschikbaar voor bijna 1300 locaties verspreid over 223 gebieden in Vlaanderen. De meeste bemonsterde locaties zijn in (half-)natuurlijke gebieden gelegen.

De grafieken hieronder geven de kans op voorkomen (0 tot 1 = maximale kans op voorkomen) van een selectie van typische soorten volgens verschillende abiotische gradiënten. De weerhouden kensoorten zijn deze die niet te zeldzaam zijn, omdat een voldoende grote dataset nodig was: *Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele) voor heide, en *Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor heischraal grasland. Grafieken voor de soorten die minder vaak voorkomen en variabelen die hier niet verder besproken worden, worden in de digitale bijlage 2 weergegeven (Bijlage2_ResponsCurven).

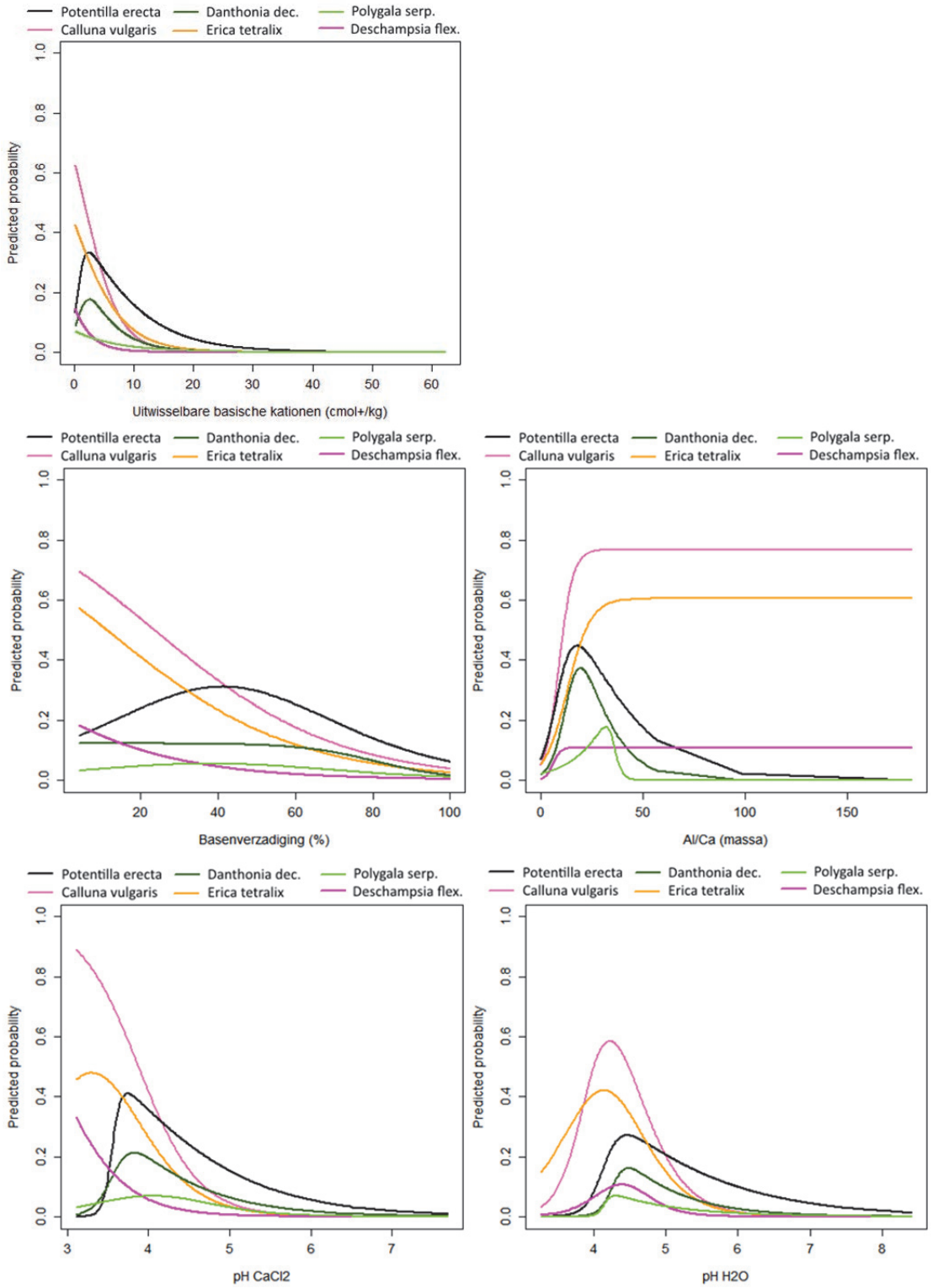
De responscurven geven ons een idee van de *gerealiseerde ecologische niche* van deze soorten, d.w.z. het abiotische bereik waarbinnen de soort in de realiteit op terrein voorkomt, dus in aanwezigheid van andere soorten en milieudrukken. In tegenstelling tot de fundamentele niche die de totale theoretische abiotische ruimte aangeeft, wordt de gerealiseerde niche beïnvloed door competitie of synergiën met andere soorten, door begrazing, maaibeheer, betreding en diverse andere drukken en interacties met andere biota die dezelfde biotoop innemen.

Uit deze analyse blijkt dat de beschouwde kensoorten voor heischraal grasland licht verschillen van de beschouwde heidesoorten in hun voorkeuren qua zuur-basentoestand (figuur 27). Struikhei, dophei en bochtige smele hebben een grotere kans op voorkomen bij lagere basenverzadiging, hogere Al/Ca ratio en lagere pH. Dit is in lijn met de traditionele opvatting dat heischrale graslanden op wat mineraalrijkere en meer gebufferde locaties voorkomen dan heide. Deze vaststelling kan echter niet veralgemeend worden over alle heischrale soorten en alle

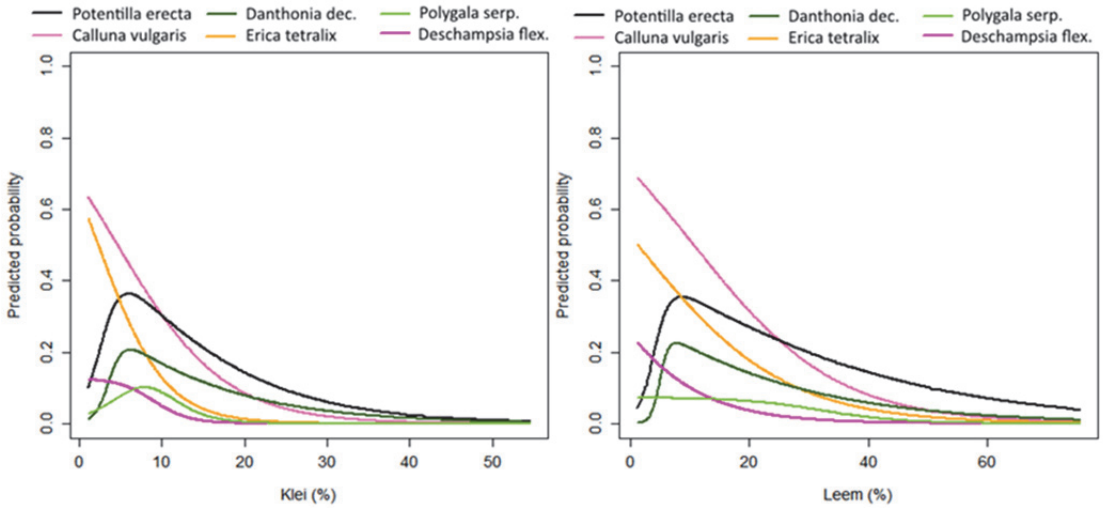
heidesoorten: sommige kensoorten van heischraal grasland zoals *Festuca filiformis* (fijn schapengras) en *Veronica officinalis* (mannetjesereprijs) kunnen ook in vrij zure condities goed gedijen (grafieken in digitale bijlage 2).

Daarnaast blijken de beschouwde heischrale soorten meer aanwezig te zijn op gronden die wat rijker zijn aan leem en/of klei. Deze bevindingen zijn in overeenstemming met de resultaten van de logistische regressies op vegetatieniveau, waarbij de kans op het voorkomen van heischrale graslanden t.o.v. heide toenam met toenemende pH en een hoger kleigehalte in de bodem (zie paragraaf 4.3.3.2.2).

Er is echter voor alle parameters veel overlap tussen het bereik van de heischrale en de heidesoorten. Onder de in het studiegebied heersende abiotische condities zullen dus meestal zowel de beschouwde heischrale soorten als de beschouwde heidesoorten kunnen voorkomen.

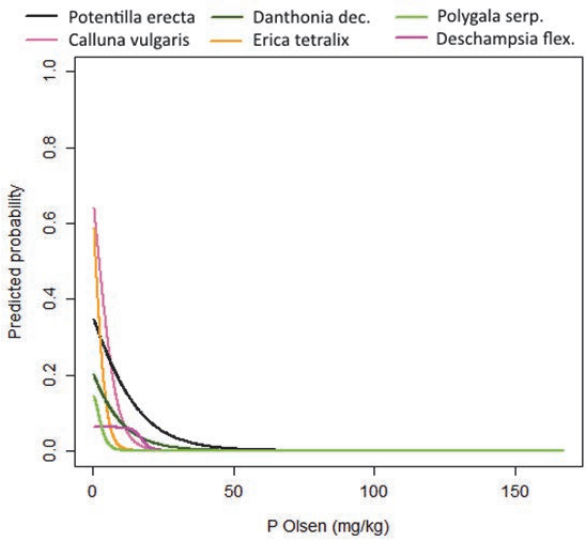


Figuur 27 Responscurven van een selectie van kensoorten van heide (*Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele)) en van heischraal grasland (*Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor zuur-basentoestand.



Figuur 28 Responscurven van een selectie van kensoorten van heide (*Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele)) en van heischraal grasland (*Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor bodemtextuur.

Ook wat betreft de nutriëntentoestand is er zeker geen duidelijk onderscheid te maken tussen heischrale en heidesoorten. Alle beschouwde soorten komen enkel bij lage tot gematigde concentraties aan plant-beschikbaar P voor. Tormentil wordt wel vaker aangetroffen op wat P-rijkere plaatsten dan de andere soorten, terwijl liggende vleugeltjesbloem enkel bij zeer lage concentraties werd waargenomen. Het resultaat voor stikstof is weinig duidelijk: een groot deel van het stikstof komt hier onder organische vorm voor (de gemeten concentratie stikstof[8] is sterk gecorreleerd met de concentratie organisch materiaal). De responscurven voor stikstof (in de digitale bijlage 2) weerspiegelen daardoor vooral de samenstelling van de dataset voor organisch materiaal en zijn dus niet bruikbaar.



Figuur 29 Responscurven van een selectie van kensoorten van heide (*Calluna vulgaris* (struikhei), *Erica tetralix* (dophei) en *Deschampsia flexuosa* (bochtige smele)) en van heischraal grasland (*Potentilla erecta* (tormentil), *Danthonia decumbens* (tandjesgras) en *Polygala serpyllifolia* (liggende vleugeltjesbloem) voor plant-beschikbaar P (Olsen).

[8] *De gebruikte Kjeldahl methode bepaalt de hoeveelheid organisch N en gereduceerd mineraal N (NH_4^+), geoxideerde vormen van mineraal N (NO_2^-, NO_3^-) worden hier niet meegenomen.*

4.3.4 Ranges van abiotische variabelen in goed ontwikkelde heischrale graslanden

In onderstaande tabel (tabel 14) wordt een overzicht gegeven van de range van de belangrijkste abiotische bodemgegevens in heischrale graslanden, waarbij uitschieters (outliers) buiten beschouwing gelaten worden (zie figuur 17 en figuur 20 voor de spreiding van de gegevens). Deze waarden kunnen als voorzichtige marges beschouwd worden waarbinnen bodemparameters zich moeten bevinden om geschikt te zijn voor het voorkomen van (goed ontwikkeld) heischraal grasland in Vlaanderen.

Tabel 14 Range van de gemeten waarden voor de verschillende bodemparameters in de INBO dataset van goed ontwikkelde heischrale graslanden. (*) De concentratie organische koolstof C_LOI werd met factor 1.8 omgerekend uitgaande van de concentratie organische stof. Uitschieters zijn uit deze dataset verwijderd.

Parameter	Range zonder outliers
Olsen P (mg P/kg)	0.5 – 10
pH (H_2O)	4 – 6
Organische koolstof (% C_LOI)* Organische stof (%)	1 – 7 1.8 – 12.6
Percentage klei	2 – 18
Percentage zand	50 – 95
Basenverzadiging (%)	5 – 100
Kjeldahl N (%)	0.07 – 0.4
Totale P (mg P/kg)	25 – 375
CEC (cmol(+)/kg)	1 – 16
Al/Ca verhouding	0.5 - 35
Uitwisselbare basische kationen (cmol(+)/kg)	0.27 – 4.8

4.4 Conclusie

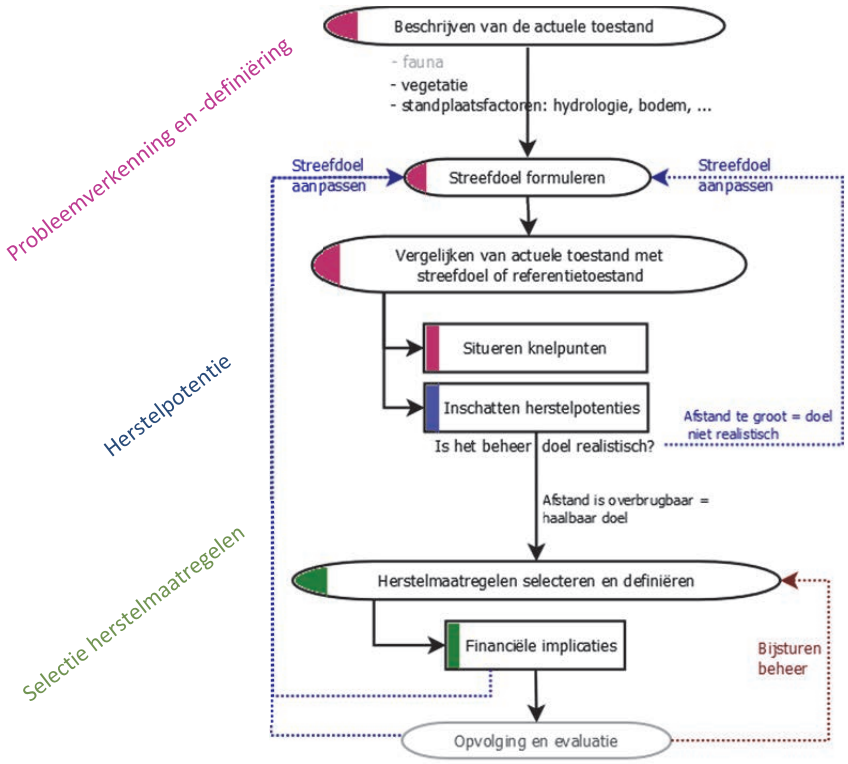
In dit hoofdstuk zijn we op zoek gegaan naar abiotische variabelen die het mogelijk maken een onderscheid te maken tussen heischrale graslanden en heide (zogenaamde “differentiërende variabelen”). Ook hebben we de hypothese getest dat heischrale graslanden voorkomen op bodems met meer basische kationen dan heide, wat vaak gerelateerd is aan een hogere kationeneuitwisselingscapaciteit (CEC), een hogere basenverzadiging, meer uitwisselbare basische kationen, een hogere pH en een hoger gehalte aan klei en leem.

Geen enkele van de onderzochtte variabelen kon aangewezen worden als differentiërende variable omdat er voor elke parameter veel overlap was in het bereik van de heischrale graslanden en de heidevegetaties. Bijgevolg is het onmogelijk om op basis van metingen van een welbepaalde bodemparameter te voorspellen of er heide of heischraal grasland op die bodem voorkomt.

Wel waren voor verschillende variabelen de waarden gemiddeld iets hoger in heischraal grasland dan in heide. Door middel van logische regressies hebben we kunnen aantonen dat bij hogere waarden voor Olsen P, pH en kleigehalte de kans op voorkomen van heischraal grasland (ten opzichte van heide) toeneemt. Ook “boosted classification trees” en canonische correspondentieanalyse (CCA) wezen er eveneens op dat de bodems onder heischrale graslanden wat rijker zijn aan plant-beschikbare fosfaten en een iets hogere pH hebben dan dat het geval is voor heiden. Uit de CCA bleek ook dat heischrale graslanden een voorkeur voor maaibeheer hebben. Ook het vergelijken van standplaatsfactoren van enkele typische heischrale- of heidesoorten wees in diezelfde richting, waarbij heischrale soorten op wat mineralenrijkere en meer gebufferde locaties voorkomen dan heidesoorten. Deze resultaten bevestigen dus onze oorspronkelijke hypothese. Alleen blijkt het om een subtiele gradiënt te gaan, eerder dan om duidelijk af te bakenen verschillen.

5 Protocol voor herstel van heischrale graslanden

In dit onderdeel van deze studie wordt een praktische wegwijzer uitgewerkt die kan gevolgd worden om de kansen op herstel van heischraal grasland zo kostenefficiënt mogelijk in te schatten. Het protocol kan worden beschouwd als een stappenplan om op een systematische en efficiënte manier te komen tot onderbouwde beheer- en herstelmaatregelen. Onderstaand stroomschema van het stappenplan toont hoe op systematische manier de basisinformatie kan verzameld worden die nodig is om herstel- / beheersbeslissingen te nemen.



Figuur 30 Stroomschema en stappenplan voor herstelbeheer (naar Laurijssens et al. 2007)

5.1 Beschrijving actuele toestand

Het beschrijven van de actuele toestand vormt de basis van het voorliggende protocol. In deze eerste stap wordt de uitgangssituatie vastgelegd én een probleemverkenning uitgevoerd. Beide onderdelen zijn van groot belang voor de uiteindelijke evaluatie. De effectiviteit van herstelmaatregelen kan immers pas geëvalueerd worden als ook de uitgangssituatie goed bekend, beschreven en gedocumenteerd is.

Het vastleggen van de actuele toestand begint met het beschrijven van de abiotische toestand volgens enkele essentiële systeemkenmerken. Daarna is de vegetatie aan de beurt en wordt gekeken of de vegetatie in evenwicht is met de aanwezige abiotische standplaatsfactoren. Ook fauna kan een belangrijk element zijn maar deze topic wordt hier niet nader beschouwd.

5.1.1 Algemene principes bij staalname op het terrein

Voor het beschrijven en opvolgen van de huidige toestand moet er op het terrein heel wat gemeten en beschreven worden. Belangrijk is dat de verschillende beschrijvingen, metingen en staalnamen zo veel mogelijk op dezelfde plaatsen binnen de kandidaatlocaties gedaan worden. Dit is bijvoorbeeld essentieel om goede verbanden te kunnen leggen tussen biotische en abiotische locatiekenmerken.

In principe worden de stalen genomen in het seizoen dat daarvoor het best geschikt is. Voor sommige factoren in dit standaardprotocol speelt dit geen rol (o.a. topografie, textuur) of een beperkte rol (hydrochemie van het grondwater), voor andere is dit echter zeer cruciaal (bv. vegetatie).

5.1.2 Waterhuishouding

Als standplaatsfactor is de hydrologie van cruciaal belang. Hydrologie is echter vaak een complex gegeven. De variatie in ruimte (infiltratie- en kwelzones met de verschillende fluxen) en tijd (seizoensverschillen, veranderingen over een langer tijd) en de afhankelijkheidsrelaties tussen verschillende deelruimten, binnen en buiten het studiegebied, maken de beschrijving en analyse ervan vaak erg moeilijk. In dit protocol wordt daarom een evenwicht gezocht tussen enerzijds de vereiste om binnen een korte tijdsperiode al de noodzakelijke gegevens te verzamelen en anderzijds de nood aan een voldoende aantal betrouwbare data waarmee de complexe hydrologie in ruimte en tijd weergegeven kan worden.

Het in kaart brengen van de hydrologie omvat steeds:

1) kartering van het oppervlaktewatersysteem (vennen, plassen, greppels, beken)
2) meten van de dynamiek: tijdreeksen van grondwaterpeilmetingen
3) meting grond- en oppervlaktewaterkwaliteit: chemische samenstelling

Door de gegevens over het gekarteerde oppervlaktewater- en drainagesysteem te combineren met de gemeten waterkwaliteit en peilgegevens, kan de lokale hydrologie beschreven worden. De huidige toestand wordt beoordeeld door de waterkwaliteit en de peilgegevens te vergelijken met de hiervoor beschreven referentiewaarden.

5.1.2.1 Kartering oppervlaktewatersysteem

Voor de kartering van het oppervlaktewatersysteem worden vennen, waterplassen, greppels, grachten en beken, evenals de eventuele peil- en debietregelende constructies, op kaart aangeduid. Waar mogelijk wordt de stroomrichting en de voedende of drainerende werking van deze stelsels aangeduid. Waar mogelijk wordt ook het waterhoudend karakter en de seizoenale variatie van voedende of drainerende werking beschreven.

Sommige plaatsen zijn in het verleden zeer sterk gedraineerd geweest. Dit is in het landschap soms nog duidelijk aanwezig. Vaak hebben de restanten nog steeds hun drainerende functie nog niet verloren. Kennis van het netwerk van greppels en grachten biedt de mogelijkheid om gericht te werken naar herstel van (hogere) grondwaterpeilen in het gebied

5.1.2.2 Dynamiek grond- en oppervlaktewater

Hydrologische variabelen

Wat de grondwaterdynamiek betreft, kunnen volgende hydrologische parameters uit de tijdreeksen van de peilmetingen afgeleid worden:

- Gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG)
- Gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG)
- Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG)
- Duur laagste grondwaterstand
- Amplitude
- Inundatieduur

In eerste instantie zijn de parameters Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepalend voor het al dan niet voorkomen van vegetatietypes. Elk vegetatietype heeft in principe een optimum bij een bepaalde combinatie van GHG en GLG en zal niet meer kunnen voorkomen indien de GHG of GLG veel lager of hoger dan dit optimum.

Voor referentiebeschrijvingen wordt verwezen naar § 3.4.5.

Methode en periode

Het opmeten en opvolgen van grondwaterstanden gebeurt meestal aan de hand van een meetnet van piëzometers en/of peilbuizen (Van Daele 2003). De stijghoogte van het oppervlaktewater van vennen of waterlopen wordt opgetekend d.m.v. peilschalen. De inplanting van de meetpunten moet weloverwogen gebeuren en hangt af van de (eco-)hydrologische situatie en de doelstellingen, maar ook praktische overwegingen zoals toegankelijkheid spelen een rol. Een regelmatig en gebiedsdekkend netwerk geeft een goed inzicht in de hydrologie van het gebied, maar vereist erg veel meetpunten. Concentreer de meetpunten op plaatsen met specifieke vragen of problemen. Men kan bijvoorbeeld het netwerk opbouwen rond de kwelgebieden of rekening houden met de verschillende vegetatietypen die in het gebied aanwezig zijn. Voor uitgebreide informatie en praktische richtlijnen voor de plaatsing van peilbuizen en piëzometers wordt verwijzen naar Van Daele (2003).

Het opmeten van waterpeilen vergt een volgehouden monitoring. Peilmetingen leveren pas nuttige informatie op als er regelmatig, langdurig en nauwkeurig gemeten wordt. We denken hierbij al gauw aan 10 jaar en langer. Een volgehouden inspanning vormt een soort van 'levensverzekering' voor een natuurgebied. Immers, waterpeilen veranderen in de loop der tijd, en dit onder invloed van allerhande interne of externe factoren. Dat kan een gewijzigd onderhoud van drainagekanalen of rivieren zijn, maar ook grote grondwateronttrekking door drinkwatermaatschappijen, landbouw of industrie. Peilveranderingen onder invloed van gewijzigde drainage of onttrekkingen zijn alleen op een objectieve manier vast te stellen met behulp van lange tijdsreeksen van waterpeilmetingen (Van Daele 2003). Als het niet mogelijk is om langdurig te meten, moeten er minstens gegevens verzameld worden tijdens een periode die de droogste en natste periode van het jaar dekt, en moet de verzamelde tijdreeks vergeleken worden met langere tijdreeksen in de omgeving en meteorologische gegevens. In de praktijk betekent dat minimaal metingen van juni tot december of van februari tot augustus. Een kortere meetperiode leidt sowieso tot verkeerde interpetaties.

De frequentie van meten is om de 14 dagen (2 maal per maand). De peilen kunnen eventueel ook geautomatiseerd opgemeten worden d.m.v. dataloggers/divers, waarbij de meetfrequentie hoger is en grondwaterschommelingen nauwkeuriger kunnen worden opgevolgd.

5.1.2.3 Chemische samenstelling van grond- en oppervlaktewater

De dynamiek van grond- en oppervlaktewater is niet de enige verklaring voor het al dan niet voorkomen van bepaalde vegetatietypen. Ook de kwaliteit of de chemische samenstelling ervan is een belangrijke standplaatsfactor.

De waterkwaliteit kan worden beschreven a.h.v. volgende variabelen:

- Zuurgraad & buffering (pH en HCO_3^-)
- Elektrische conductiviteit
- Nutriënten (NO_3 -N, NH_4 -N, PO4 -P)
- Sulfaat (SO_4)
- Basische kationen (Ca, Mg, Na, K)
- ijzer (Fe)

Zuurgraad & mineralenrijkdom (buffering)

De pH of zuurtegraad is een maat voor de concentratie aan waterstofionen in het grondwater. pH is een belangrijke standplaatsfactor en vaak sterk bepalend voor het voorkomen van plantensoorten. Bicarbonaat (HCO_3^-) is een goede maat voor het zuurbufferend vermogen van het water. Mineralen die opgelost zijn in het grondwater kunnen ervoor zorgen dat de bodem minder zuur wordt en 'laden' een verzuurde bodem terug op. Ze verdringen waterstofionen van de bodem en nestelen zich op de vrijgekomen plaatsen. Op die manier wordt 'zuur gebufferd'. Zuurbuffering gebeurt vnl. door uitwisseling van basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) aan het uitwisselingscomplex van bodemdeeltjes. Deze parameter worden dus vnl. bodemchemisch bepaald en worden daar verder besproken.

Conductiviteit

De conductiviteit (in µS/cm) of elektrische geleidbaarheid (bij referentietemperatuur van 25°C!) is als het ware een weerspiegeling van de totale concentratie aan ionen in het water. Enerzijds kan er een toename zijn bij een langer verblijf van het water in de bodem als gevolg van het in oplossing gaan van diverse stoffen, zoals calciet. Anderzijds kan een hoge waarde te wijten zijn aan verhoogde nutriëntenconcentraties of ionen als SO_4^{2-} die in veel gevallen wijzen op vervuiling.

Nutriënten

Vochtig heischrale graslanden zijn vegetatietypen van nutriëntarme standplaatsen. Een overmatige toevoer van nutriënten via grond- of oppervlaktewater is nadelig. Stikstof- en fosfor-verbindingen zijn naast kalium de belangrijkste nutriënten. Stikstof komt in water vnl. voor in de vorm van ammonium (NH_4^+) en nitraat (NO_3^-). Deze zijn van nature vooral aanwezig als gevolg van mineralisatie van organische stof. Nitraat komt ook in het grondwater terecht door overbemesting en insijpeling van stikstofhoudend water. Waar nitraatrijk grondwater aan de oppervlakte komt, treedt vermesting of eutrofiëring op. Verder is orthofosfaat (PO_4 -P) een belangrijk vermestend element in het grondwater. Orthofosfaat is de verzamelnaam voor in water opgeloste fosfaten die direct beschikbaar zijn voor opname door planten.

Wanneer nutriëntaanrijking plaats vindt wordt de productiviteit van het ecosysteem niet langer gelimiteerd door de beschikbaarheid van deze elementen, met alle gevolgen vandien voor de beoogde nutriëntarme vegetatietypen. Plantensoorten die gemakkelijker nutrienten opnemen groeien doorgaans veel sneller en worden veel groter. Ze concurreren de 'heischrale' soorten daarbij weg.

Grondwatertypering

De verhoudingen van de belangrijkste aanwezige kationen (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+) en anionen (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}) geven een indicatie van de herkomst van het water. Aan de hand van een EC- IR diagram (Van Wirdum 1991) of Stiff diagrammen kan de herkomst van het water ingeschat worden.

Methode & periode

De kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater wordt bepaald d.m.v. stalen uit piëzometers (grondwater) of rechtstreeks uit het oppervlaktewater. Staalname gebeurt volgens de methode beschreven in Huybrechts & De Becker (1997). Staalname kan om het even wanneer in het jaar gebeuren. Staalname tijdens of direct na een periode met veel regenval wordt best vermeden. Aangeraden wordt om zowel in de winter/voorjaar als in de (na)zomer (augustus-september; diepste waterstanden) te bemonsteren. pH en conductiviteit kunnen met een veldset op het terrein gemeten worden. Een volledige standaardanalyse dient uitgevoerd te worden in het laboratorium, o.m. omwille van de hogere nauwkeurigheid.

Praktisch

Niet al de hierboven vermelde hydrochemische parameters dienen telkens opgemeten te worden.

Het opmeten van de hele set is duur, in de praktijk wellicht niet haalbaar en niet steeds vereist om tot een correcte diagnose te komen. In eerste instantie kan uitgegaan worden van de conductiviteit van het grond- of oppervlaktewater. De geleidbaarheid (in µS/cm) is een maat voor de hoeveelheid opgeloste mineralen in het grondwater. Een hogere waarde kan wijzen op vervuiling of eutrofiëring, bv. door mineralisatie tengevolge van te lage zomerwaterstanden of door het insijpelen van verontreinigd of aangerijkt water (afkomstig van landbouwbodems en/of huishoudelijk afvalwater).

In vochtig heischraal grasland worden vaak heel lage conductiviteitswaarden gemeten in het grondwater: waarden tussen 150 & 200 µS/cm (EC_{25}) zijn normaal. Een hogere uitschieter tot 400 µS/cm is echt uitzonderlijk.

Wanneer de conductiviteit kleiner is dan de vooropgestelde grenswaarde is de kans groot dat er weinig mis is met de kwaliteit van het grond- of oppervlaktewater. Hogere conductiviteitswaarden wijzen wel op verhoogde nutriëntconcentraties of een vorm van vervuiling (bv. sulfaten). Bij een lage conductiviteit, onder de vooropgestelde grenswaarden, is de kans op aanwezigheid van vervuiling of verhoogde nutriëntconcentraties dus eerder klein en is en volledige standaardanalyse niet nodig.

Wanneer de gemeten waarde de vooropgestelde grenwaarde overschrijdt, is het aan te bevelen de volledige set aan hydrochemische parameters te bemeten om de vermoedelijke oorzaken te kunnen achterhalen. Hierbij is van belang dat alle belangrijke ionen bemeten worden (HCO_3, PO_4, NO_3, NO_2, NH_4, SO_4, Cl, Na, K, Ca, Mg, Fe) om de betrouwbaarheid van de chemische analysen te kunnen inschatten (Van Wirdum 1991).

5.1.3 Beschrijven en meten van bodemkundige en bodemchemische kenmerken

Om inzicht te krijgen in de bodemkundige toestand van een lokatie als groeiplaats voor heischrale vegetaties, dienen volgende aspecten in kaart gebracht te worden:

- Algemene bodemkundige kenmerken: profielopbouw, textuur
- Zuurgraad & buffering
- Voedselrijkdom

5.1.3.1 Bodemtypering: profiel en textuur

De Belgische textuur en profielopbouw-typologie is niet rechtstreeks te vertalen naar standplaatsfactoren. Gecombineerd geven textuur en profielopbouw een ruwe indicatie van de te verwachten zuurgraad en buffercapaciteit alsook van de voedselrijkdom. Een bodemtypering is doorgaans nodig om detailmetingen van deze variabelen correct te interpreteren en te kaderen.

Textuur

De textuur van de bodem is een belangrijke standplaatsfactor. Het is uit onze analyse (§ 4.3.3) gebleken dat heischrale graslanden vaak meer klei bevatten dan heide. De bodemtextuur is mede bepalend voor het bufferend vermogen van bodems en daarmee van cruciaal belang voor de overlevingskansen van soorten die gevoelig zijn voor verzuring. De textuur heeft betrekking op de korrelgrootteverdeling van de minerale fractie van de bovenste bodemlaag. Ervaring leert ons echter dat heischrale graslanden ook op bodems kunnen voorkomen die volgens de Belgische bodemclassificatie zandgronden zijn.

Profiel

Het bodemprofiel geeft de opeenvolging en aard van de horizonten weer. De verschillende horizonten verschillen in samenstelling (textuur) en kleur.

Bij het zoeken naar potentierijke locaties voor herstel van heischrale graslanden kan het nuttig zijn om de overgang van veen naar minerale bodem nauwkeuriger af te lijnen. Ervaring leert ons dat de Belgische bodemkaart niet altijd een volledig en acuraat beeld geeft van de omvang van veenbodems. Het is dus niet ongebruikelijk om een terreincampagne te voorzien om veen te karteren. Door snelle profielboringen (met een prikstok) kan de omvang (en dikte) van een veenlichaam vrij efficiënt in beeld worden gebracht.

Methode & periode

Met geschikt boormateriaal worden ongestoorde bodemmonters bekomen waarvan op basis van de textuur de opeenvolgende profiellagen kunnen worden beschreven. De stalen worden genomen met een gutsboor. In grofzandige en droge bodems kan het gebeuren dat een gutsboor niet voldoet; in dat geval kan best bemonsterd worden met een Edelmanboor. Er kan het hele jaar door bemonsterd worden. Een exacte textuurbepaling van de grondsoort op basis van de percentages van de zand-, leem en kleifracties is meestal niet nodig. De bodemtextuur wordt manueel op het terrein bepaald op basis van korreligheid, kleverigheid en kleur. De vereenvoudigde textuurklassen zand, leem en klei kunnen mits enige ervaring in het veld onderscheiden worden. Afhankelijk van de interne verscheidenheid van een locatie, dienen meerdere boringen uitgevoerd te worden. Naast de veldbeschrijving wordt aangeraden het profiel fotografisch te gedocumenteerd.

5.1.3.2 Bodemchemie

Onderstaande bodemchemische parameters moet het mogelijk maken een beter inzicht te krijgen in de heersende standplaatscondities. Hierdoor kan de aard van het probleem (bv. verzuring of vermesting) nauwkeuriger beoordeeld worden. Niet alle parameters dienen systematisch gemeten te worden: afhankelijk van de specifieke

vragen die zich in een bepaald gebied stellen kan een andere set parameters worden gebruikt (zie kolom Info en verder).

Tabel 15 Overzicht bodemchemische variabelen

Code	Variabele	Info
pH H_2O	Actuele bodem pH	
pH $CaCl_2$ of **pH KCl**	Potentiële bodem pH	
OM	Organisch materiaal	
Pbesch	Biobeschikbaar P	Bv. via de Olsen methode
CEC	Kationenuitwisselingscapaciteit	
Ca uitw	Uitwisselbaar calcium	De som van de vier levert Kat_uitw of Uitwisselbare basische kationen, een belangrijke parameter voor het voorkomen van heischraal grasland. *Deze kan ook berekend worden uit (CEC*BV)*
Mg uitw	Uitwisselbaar magnesium	
Na uitw	Uitwisselbaar natrium	
K uitw	Uitwisselbaar kalium	
N tot	Totaal stikstof	
P ox	Oxalaat extraheerbaar fosfor	Maat voor het P dat op langere termijn beschikbaar kan komen, nuttig om de voorraad P in de bodem te berekenen (bv. bij inschatten uitmijnduur)
P ox, Al ox en Fe ox	Oxalaat extraheerbaar fosfor, aluminium en ijzer	Nuttig om de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem te berekenen (= P ox / 0.5 (Al ox + Fe ox) in kalkarme zandgronden) en het risico op uitloging van P in te schatten
P tot	Totaal fosfor	Nuttig bij vernatting om de kans op nalevering van P uit de bodem te berekenen (risico op interne eutrofiëring)
S tot	Totaal zwavel	
Fe tot	Totaal ijzer	

Voedselrijkdom

De voedselrijkdom is een maat voor de beschikbaarheid van voedingsstoffen op een standplaats (Wamelink & Runhaar 2001). Als er wordt gestreefd naar herstel van zeer voedselarme vegetaties zoals heide en heischraal grasland zal het nutriëntengehalte van de bodem vaak een doorslaggevende rol spelen. Vooral de verdeling van fosfor, dat veel minder mobiel is dan stikstof, moet in beeld worden gebracht. In de eerste plaats is de hoeveelheid biobeschikbaar P doorslaggevend voor het voorkomen van schrale vegetaties. Daarnaast kunnen ook de totale gehaltes aan stikstof en fosfor gemeten worden. Omdat de concentraties mineraal stikstof heel sterk in de ruimte en in de tijd variëren, is een eenmalige meting vaak moeilijk te interpreteren (behalve als er een sterk gestandaardiseerd protocol wordt gevolgd, zoals het bij de bepaling van het nitraatresidu in landbouwkundige context gebeurt), deze parameter wordt dus meestal niet bepaald.
Ook de hoeveelheid organisch materiaal dient opgemeten om de bodem goed te karakteriseren i.f.v. voedselrijkdom.

Zuurgraad & buffering

Onder zuurgraad en buffering worden hier twee sets van parameters verstaan: de zuurgraad (pH, de protonen-concentratie in oplossing) en de grootte en basenverzadiging van het kationenuitwisselings-complex (CEC, cation exchange capacity) in de bodem. pH kan worden gemeten in oplossing met water maar ook met zouten zoals KCl of $CaCl_2$. Deze zoutextracties geven doorgaans een stabieler resultaat (en lagere pH waarden want meer protonen worden vrijgemaakt in de bodemoplossing). De pH-H_2O kan nogal wat variëren door het jaar, pH-$CaCl_2$ gebruikt een oplossing met een ionenconcentratie vergelijkbaar met de bodemoplossing en zou volgens sommige auteurs een betere maat zijn voor de zuurheid zoals plantenwortels die ervaren, de pH-KCl is een maat voor de pH indien alle potentiële zuurheid wordt meegerekend. Zuur-buffering gebeurt vnl. door uitwisseling van basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+}) aan het uitwisselingscomplex van bodemdeeltjes. De totale hoeveelheid uitwisselbare basische kationen blijkt uit onze analyse (§ 4.3.3) gerelateerd met het voorkomen van heischraal grasland en kan voor kansrijke locaties (d.w.z. voedselarme) bepaald worden.

Methode en periode

De bodemchemische parameters worden bepaald d.m.v. bodemstalen. Best is te bemonsteren met mengstalen (meerdere (5-8) subsamples van stalen uit dezelfde horizont of diepte op verschillende plaatsen in een proefvlak).

Om de resultaten van de analysen correct te kunnen interpreteren moet het *bemonsteringsschema* rekening houden met het actuele en historische landgebruik. Men kan er niet van uitgaan dat de huidige kadasterpercelen of landgebruikspercelen een homogeen landgebruiksgeschiedenis hebben gekend. Het is dus nodig om historische kaarten en luchtfoto's te raadplegen om het landgebruik in het verleden te reconstrueren. Nuttige bronnen hiervoor zijn de websites van Geopunt of Cartesius. Daarnaast zou er aan de eigenaar en/of beheerder van het gebied gevraagd moeten worden of hij weet heeft van andere menselijke gebruiken of verstoringen (bv. stort, leemkuil, winning turf-erts-steen, of geplagde zones,…) die de bodemkenmerken kunnen beïnvloeden. Als een bodemtypering op terrein voorzien is levert het ook interessante informatie waarmee rekening kan gehouden worden (bv. geploegde of diepgeploegde zones, en allerlei andere verstoringen). Op basis van al deze gegevens kunnen *homogene landgebruikspercelen* afgebakend worden waarbinnen de bemonstering zal plaatsvinden.
Er kan het hele jaar door bemonsterd worden, met een lichte voorkeur voor staalname tijdens het groeiseizoen.

De mengstalen zullen op *verschillende diepten* genomen worden. Bij de keuze van de bemonsteringsdiepten kan opnieuw rekening worden gehouden met het actuele en historische landgebruik. Als er wordt gestreefd naar herstel van zeer voedselarme vegetaties zoals heide en heischraal zal het nutriëntengehalte van de bodem vaak een doorslaggevende rol spelen. Omdat stikstof veel mobieler is dan fosfor is dat laatste element vaak het meest problematisch bij herstel van voormalige landbouwgronden of eerder bemeste gronden. De te onderzoeken percelen kunnen op basis van historisch landgebruik en kennis van de beheerders gequoteerd worden naar afnemende waarschijnlijkheid voor wat nutriëntenbelasting betreft. Hierbij komen in aflopende orde van kans op succes voor ontwikkeling van voedselarme vegetaties:

- Meest kansrijke toestand: percelen zonder historisch landbouwgebruik;
- Percelen die voor de Tweede Wereldoorlog als akker, hooiland of weiland dienden, maar sindsdien niet meer als landbouwgronden gebruikt zijn. Percelen waar sindsdien bosbouw plaatsvindt/plaatsvond kunnen ook in deze categorie meegenomen worden (maar de kans bestaat dat de grond sindsdien nog bekalkt of bemest is);
- Percelen die na de Tweede Wereldoorlog als hooiland of weiland (blijvend grasland) gebruikt zijn;
- Minst kansrijke toestand: percelen die recenter als tijdelijk grasland of voor akkerbouw gebruikt zijn.

Om het recente landbouwgebruik te kennen kunnen de kaarten van de landbouwgebruikspercelen van het Agentschap voor Landbouw en Visserij (bv. via Geopunt) woorden geraadpleegd: die geven per jaar aan welk perceel door welke teelt ingenomen is.

In de percelen zonder gekend landbouwgebruik is het vooral nuttig om de kenmerken van de toplaag in beeld te brengen. De bemonstering kan zich beperken tot de toplaag (bv. 0 – 10 cm), de bovenste bodemlaag die het grootste volume aan plantenwortels herbergt, en een onderliggende laag (die bij plaggen aan de oppervlakte zou komen te liggen). Het eerste staal waarbij enkel de topbodem gemeten wordt, karakteriseert de huidige standplaatsfactoren. Het tweede staal zegt iets over de toekomstige standplaatscondities (na plaggen).

Percelen die (recent) als akker zijn gebruikt vertonen door jaarlijks ploegen meestal een zeer homogene bouwvoor. In zandbodems is de bouwvoor herkenbaar als een homogene laag, rijk aan organisch materiaal, die ontstaan is door het regelmatig ploegen en homogeniseren van de bovenste 20–50 cm van het bodemprofiel. In de bouwvoor van een akker is het dus meestal overbodig om meerdere stalen te nemen De ervaring leert ons echter dat de bodem onder de bouwvoor ook aanzienlijke concentraties P kan bevatten. In zo'n geval moet dus zeker een of meerdere stalen onder de bouwvoor genomen worden. Een mogelijk bemonsteringsschema is:
Toplaag 0 – 10 cm, onderste 10 cm van de bouwvoor en onder de bouwvoor per 10 cm. Als de voorraad P in de bouwvoor bepaald moet worden (bv. om de uitmijnduur te berekenen) kan één mengstaal over de hele bouwvoor genomen worden, en stalen onder de bouwvoor per 10 cm. Tot hoe diep moeten er stalen genomen worden hangt af van de lokale omstandigheden en vragen (is afgraven een optie, hydrologische condities, is het belangrijk om de uitloging van OP in de diepte in beeld te brengen, …). Meestal zal het minstens tot 50 cm diepte of 10 à 20 cm onder de bouwvoor bemonsterd worden.
Indien het profiel buiten de bouwvoor onverstoord is, levert één enkel staal genomen onder de bouwvoor bijna evenveel informatie als drie stalen genomen op verschillende vaste dieptes en daaruit kan worden vastgesteld of de aanrijking zich diep onder het maaiveld heeft verspreid.

In de andere gevallen (graslanden, oude akkers, …) kan de verdeling van de nutriënten vrij sterk variëren afhankelijk van de lokale geschiedenis en landbouwpraktijken. Er wordt dus aanbevolen om stalen op vaste diepten te nemen van de toplaag tot minstens 10 à 20 cm onder de bouwvoor als er een aanwezig is of een afhankelijk van de omstandigheden te bepalen diepte.

Praktisch

Welke bodemchemische parameters er gemeten moeten worden is uiteraard afhankelijk van de doelstellingen.

Er wordt aanbevolen om met een getrapt systeem te werken. Voor een basis-karakterisering van de bodem van de standplaats wordt aangeraden in eerste instantie organisch materiaal, pH-H_2O, pH-KCl of pH $CaCl_2$ en beschikbaar P op te meten. Als de nutriëntbeschikbaarheid te hoog blijkt wordt aanbevolen in tweede instantie ook totale gehaltes aan N en P op te meten om beter beeld van de verstoring te krijgen. Als uitloging van P naar het grondwater een probleem kan zijn, kan de fosfaatverzadigingsgraad bepaald worden. Als uitmijnen een van de herstelopties is, is het nuttig om oxalaat extraheerbaar P te laten bepalen (die een maat is voor de op termijn beschikbaar voorraad P in de bodem). Als de bodem onder water zal komen te staan, kan het ook interessant zijn om het risico op nalevering van P in natte condities te bepalen. Hiervoor moeten de totale gehalten P, Fe en S bepaald worden. Enkel als de P concentraties niet te hoog zijn heeft het zin om nadere analysen zoals de CEC en de uitwisselbare basische kationen te laten uitvoeren.

Voor het oplossen van het bekalkingsvraagstuk volstaat het in eerste instantie de pH-H_2O te meten. Wanneer deze boven de grenswaarde van pH-H_2O 4,5 ligt, is bekalken en ook verder meten niet nodig. Wanneer een lagere pH wordt vastgesteld kan bekalking nodig zijn om de bodemchemie te herstellen. Hierbij kan het nuttig zijn om in tweede instantie ook de CEC en basenverzadiging (waaruit de hoeveelheid uitwisselbare kationen kan berekend worden) op te meten. Voor verdere toelichting van het bekalkingsvraagstuk verwijzen we naar verderop in dit protocol (§ 5.4.2).

5.1.4 In kaart brengen van de vegetatie

5.1.4.1 Beschrijven van de vegetatie

Soortensamenstelling van typische soorten

Voor de lijst van kenmerkende soorten verwijzen we naar hoofdstuk 2.2 van dit rapport. Niet alle van de hier genoemde typische of overige soorten hoeven evenwel van nature samen voor te komen, noch komen zij overal van nature in dezelfde mate voor. Om de staat van instandhouding van een specifiek habitat te beoordelen, worden critaria met het aantal en bedekking van de typische soorten in de vegetatie voorgesteld.

Vegetatiestructuur en structuurbepalende processen

De vegetatiestructuur is vaak van groot belang als habitatkenmerk voor fauna. Het is tevens een diagnostisch kenmerk voor de toestand waarin de vegetaties zich bevinden: mate van vergrassing, successiestadium, ouderdom en regeneratiemogelijkheden, e.d. In eerste instantie kan een beschrijving van de algemene habitat- of vegetatiestructuur een idee geven van de toestand van het habitat. De vegetatiestructuur kan verder beschreven en beoordeeld worden op basis van de aanwezigheid van enkele specifiek en typische structuurkenmerken en/of structuurbepalende processen voor de verschillende vegetatietypen in kwestie zoals bv. de aanwezigheid van verschillende levensvormen, de aanwezigheid van hoogopschietende soorten, de mate van beschaduwing, …

Verstoringsindicatoren

Verstoringsindicatoren geven inzicht in verschillende oorzaken van verstoring: vermesting, verzuring, verdroging. Voor een overzicht van de meest typische en vaak optredende verstoringsoorten in heischraal grasland wordt verwezen naar de beoordelingstabellen van de lokale staat van instandhouding (T'jollyn et al. 2009). Naast het verschijnen van deze indicatoren is ook het verdwijnen of afnemen van typische soorten vaak een duidelijke aanwijzing voor verstoring.

Methode & periode

De vegetatie wordt gekarteerd op basis van vegetatieopnamen die verspreid in het terrein gemaakt worden en die representatief zijn voor de variatie aan vegetatietypen binnen de onderzochte locatie. Het is aan te raden dat opnames gebeuren door ervaren botanisten die zowel bloeiende als vegetatief voorkomende soorten kunnen herkennen. In open vegetaties wordt een proefvlak genomen van 3 x 3 m². Een opname moet representatief zijn voor de vegetatie die ze wil beschrijven. Men moet vermijden dat er duidelijke vegetatie-, gebruiks- of beheergrenzen doorheen het geselecteerde proefvlak lopen. Per proefvlak worden alle soorten gedetermineerd en wordt per verticale structuurlaag (boom-, struik-, kruid- en moslaag) de totale bedekking en de bedekking per soort geschat (bv. d.m.v. de schaal van Londo, zie tabel 9).

Door op een gestandaardiseerde manier vegetatieopnamen te maken kunnen zeer gedetailleerde gegevens verzameld worden over de specifieke soortensamenstelling en de relatieve verhoudingen tussen soorten op een bepaalde plaats. Hierdoor kan de relatie gelegd worden met standplaatsfactoren en eventuele beheersmaatregelen. Daar men kwantitatieve verhoudingen tussen soorten bekomt, kan de ontwikkeling en respons van een vegetatie in de loop van de tijd nauwkeurig gevolgd worden. Vegetatieopnamen hebben het voordeel dat er een schatting van de abundantie kan gebeuren, maar het nadeel dat ze niet noodzakelijk een representatieve soortenlijst geven voor de gehele habitatplek. Een grondigere inventarisatie is dan mogelijk (naar zeldzame soorten toe die eventueel op kaart kunnen worden aangeduid).

Alle vegetatieopnamen worden in principe tijdens de voor vegetatieontwikkeling meest optimale periode uitgevoerd. Voor heischraal grasland is dit het einde van de lente (juni).

5.1.4.2 Opmaak van een vegetatiekaart

Voor het opstellen van een vegetatiekaart kan best vertrokken worden van reeds bestaande kaarten indien voorhanden. Als deze voldoende recent en gedetailleerd zijn, kan een nieuwe vegetatiekaart overbodig zijn.

Voor de opmaak van een vegetatiekaart kan de waargenomen soortensamenstelling in de vegetatieopnamen gerelateerd worden aan bestaande vegetatietypologieën en daaraan gekoppelde milieukenmerken, wat informatie oplevert over de ontwikkelingsgraad en de impact van veranderde milieuomstandigheden. Typologieën die gehanteerd kunnen worden zijn de BWK, de natuurtypen, de Natura 2000 habitattypen en de Vegetatie van Nederland. Het beschrijven van de vegetatie volgens een van de algemeen geldende vegetatietypologieën laat toe te vergelijken met andere terreinen (referentiegebieden).

5.1.5 Optekenen doel- en aandachtsoorten

De vindplaatsen van doel- en aandachtsoorten worden zo nauwkeurig mogelijk in kaart gebracht. Het betreft enerzijds soorten die karakteristiek zijn voor goed ontwikkelde heischrale graslanden, anderzijds zijn het soorten die door de beheerders als doelsoort worden aangegeven. Waar mogelijk wordt tevens de relatieve grootte van de

populaties aangeduid. Kennis en overzicht van de exacte locatie van deze soorten laat toe dat tijdens beheeringrepen specifiek rekening gehouden kan worden met deze soorten.

Vaak betreft het zeldzame relictsoorten die best gespaard of ontzien kunnen worden bij (grootschalige) beheeringrepen op desbetreffende locaties. Dit om enerzijds te vermijden dat soorten definitief verdwijnen. Niet alle planten bouwen immers een langlevende zaadbank op en niet alle diersoorten zijn immers even mobiel. Heel wat soorten dagvlinders, sprinkhanen, loopkevers en andere ongewervelden zijn heel honkvast en zijn niet in staat grote afstanden te overbruggen over ongeschikt habitat zodat herkolonisatie onmogelijk wordt. Anderzijds biedt het sparen van deze relicten de mogelijkheid dat vanuit deze bronpopulaties de verdere omgeving wordt gekoloniseerd eens de milieuomstandigheden na de ingreep hersteld zijn.

Ook het ruimtelijk optekenen van verstoringsoorten kan in sommige gevallen nuttig zijn en de oorzaak van de verstoring aanduiden of lokaliseren.

5.2 Streefdoel formuleren

Zeer belangrijk is het duidelijk formuleren en omschrijven van het uiteindelijke streefdoel, m.a.w. het natuurdoeltype. Bij de keuze hiervan kan men zich in eerste instantie laten leiden door o.a.:

1) de vroegere toestand van de locatie, voor zover bekend

2) aanwezigheid van (relict)soorten, op de locatie zelf of in de nabije omgeving van de locatie

3) reeds aanwezige standplaatsfactoren (bv. hydrologie!)

In de volgende stap wordt het gekozen streefdoel dan getoetst aan de aanwezigheid en volledigheid van de vooropgestelde fauna en flora en de vereiste abiotische randvoorwaarden.

5.3 Vergelijken van actuele toestand met streefdoel / referentietoestand

5.3.1 Beoordelingskader

Om de huidige toestand te vergelijken met de referentietoestand kunnen de abiotische parameters of milieukarakteristieken opgenomen in § 4.3.3 en 4.3.4 in overweging worden genomen. Daarnaast kan ook de staat van instandhouding op basis van biotische parameters geëvalueerd worden (T'jollyn et al. 2009).

5.3.2 Problemen situeren

Door een vergelijking te maken van de huidige toestand en de referentietoestand volgens de hierboven beschreven systeemkenmerken is het vaak mogelijk de problemen of knelpunten te situeren. De vergelijking geeft aan welke systeemkenmerken nog 'goed' dan wel 'fout' zitten. M.a.w. geeft de vergelijking aan welke systeemkenmerken actueel voldoen aan de vereisten van het beoogde vegetatietypen en welke kenmerken en randvoorwaarden niet vervuld zijn.

Hierbij kan echter niet altijd het achterliggende proces van achteruitgang aangeduid worden. Veelal zijn de oorzakelijke processen nog onvoldoende gekend of worden problemen juist veroorzaakt door een combinatie van achterliggende factoren waarvan het relatieve belang niet altijd onderscheiden kan worden en sterk van de lokale situatie afhankelijk is. Wel is het mogelijk om de vermoedelijke processen die aan de basis liggen van de degradatie aan te geven.

5.3.3 Inschatten potenties

Standplaatsfactoren

Daarnaast geeft de vergelijking van de huidige toestand met de referentietoestand ook een beter beeld van de 'afstand' tussen actuele situatie en streefdoel. M.a.w. de vergelijking laat toe de herstelpotenties beter in te schatten. In de eerste plaats wordt duidelijk of aan de abiotische randvoorwaarden is voldaan voor herstel van het vegetatietype in kwestie. Indien hier niet aan voldaan is, dient beoordeeld te worden of de vereiste abiotische condities hersteld kunnen worden. M.a.w. is de afstand overbrugbaar en is het gestelde beheerdoel al dan niet realistisch.

Biotische kenmerken

Ten tweede is ook het inschatten van de herstelkansen voor flora en fauna van belang. Wanneer aan de abiotische condities voldaan is, of deze redelijkerwijze kunnen hersteld worden, maar de kans op het herverschijnen van de doelsoorten miniem is, dient het beheerdoel eventueel bijgesteld te worden. Om deze herstelkansen in te schatten, dient in de eerste plaats gekeken te worden naar de aanwezigheid van relictpopulaties op de locatie zelf en/of in de onmiddellijke omgeving. Ook de aanwezigheid van een zaadbank is hierbij van belang, maar valt buiten het bereik van deze studie.

Beheergeschiedenis

Al bij al is de kans op succes van beheeringrepen vaak moeilijk in te schatten. Hoewel op basis van de standplaatsfactoren en biotische kenmerken een eerste inschatting van herstelkansen mogelijk is, blijven er vaak onzekerheden. Wanneer op de locatie in kwestie of in de onmiddelijke omgeving al eerder gelijkaardige herstelmaatregelen werden uitgevoerd, kunnen de resultaten hiervan in sterke mate bijdragen tot een betere inschatting van de herstelpotenties.

Kennis over succes en resultaten van eerdere ingrepen zijn van groot belang voor het beter inschatten van herstelkansen van een gebied of een locatie.

Wanneer het beoogde beheerdoel niet realistisch blijkt, dient men terug te gaan naar stap 5.2 en het streefdoel bij te stellen.

5.4 Herstelmaatregelen selecteren en definiëren

Bij het kiezen en uitvoeren van herstelmaatregelen wordt veelal afgegaan op intuïtie, ervaring of indrukken. Dit komt het rendement van de maatregelen in veel gevallen niet ten goede. Herstelbeheer dient steeds te vertrekken vanuit een grondige inschatting van de knelpunten en de achterliggende oorzaken van achteruitgang. De selectie van herstelmaatregelen gaat uit van de resultaten van de vorige stappen in dit protocol. Op basis van de gevonden knelpunten, vermoedelijke processen die de achteruitgang veroorzaken en de inschatting van herstelpotenties, kunnen maatregelen worden vooropgesteld die inspelen op de gevonden knelpunten en achterliggende processen. Dit moet toelaten maatregelen te selecteren met de grootste kans op succes.

5.4.1 Selectie maatregelen

Selectie van herstelmaatregelen steunt op vier grote pijlers of aandachtspunten. Integraal herstelbeheer dient rekening te houden met al deze factoren. Een overzicht van aandachtspunten waarmee rekening dient gehouden bij selectie van herstelmaatregelen wordt hieronder weergegeven.

1. OPHEFFEN OORZAKEN VERSTORING

- Herstel hydrologie
  - dempen van greppels, opheffen drainerende activiteiten, kappen (naald)bos, …

2. EFFECTGERICHTE MAATREGELEN (gevolgen van verstoring)

- Terugzetten successie en afvoer van organisch materiaal en nutriënten
  - plaggen, maaien, branden, begrazen, …
  - afhankelijk van uitgangssituatie
  - afhankelijk van vegetatietype
- Herstel buffercapaciteit, indien nodig
  - bekalken, (rommelen), herstel grondwaterinvloed
  - afhankelijk van vegetatietype

3. RUIMTELIJKE SAMENHANG

- Minimum oppervlakte
- Heterogeniteit
  - kleinschalig & gefaseerd
- Herkolonisatiemogelijkheden
  - rekening houden met relictpopulaties: uitsparen
  - bereikbaarheid/connectiviteit verhogen
  - kleinschalig & gefaseerd
- Hydrologie

4. OPHEFFEN OORZAAK NIET MOGELIJK OP KORTE TERMIJN

bv. atmosferische depositie, aanvoer aangerijkt grondwater

Beïnvloeding compenseren:

- effectgerichte maatregelen: beheerfrequentie ↗ :
  - frequenter maaien en plaggen om vermesting tegen te gaan
  - herhaling bekalking om verzuring tegen te gaan (tot blijvend de gewenste pH bereikt is - depositie onder kritische last)
- Actief peilbeheer (wanneer externe/regionale waterhuishouding te sterk is gewijzigd)

Keuze ander beheerdoel

Figuur 31 Overzicht aandachtspunten bij selectie van maatregelen

Voor het herstel van heischrale graslanden dient uitgegaan te worden van maatregelen die genomen moeten worden om de oorzakelijke factoren en processen die voor een ongewenste verstoring zorgen op te heffen. Dit is immers essentieel opdat een vergelijkbare negatieve verstoring niet opnieuw zou optreden ("Opheffen oorzaken verstoring"). Naast het aanpakken van de achterliggende oorzaken van degradatie dient terug een gunstige uitgangssituatie gecreëerd te worden om herstel van levensgemeenschappen mogelijk te maken. Hierbij gaat het om maatregelen die de gevolgen of effecten van de verstoring aanpakken om de erfenis uit het verleden ongedaan te maken. Ten derde moet bij de selectie van herstelmaatregelen ook rekening gehouden worden met enkele belangrijke ruimtelijke aspecten. Oppervlakte, heterogeniteit, herkolonisatiemogelijkheden (relictpopulaties, connectiviteit) en de ruimtelijke samenhang van de waterhuishouding moeten de nodige aandacht krijgen bij het herstelbeheer. Enkele belangrijke verstoringsprocessen zijn evenwel niet door de beheerder op te lossen, zoals de atmosferische depositie, de aanvoer van nutriënten of sulfaten via het grondwater, … Wanneer de ongewenste factoren en processen niet ongedaan kunnen worden gemaakt door de beheerder, dient de negatieve beïnvloeding gecompenseerd te worden. Wanneer dit niet mogelijk is, dient een ander beheerdoel gekozen te worden.

5.4.2 Beslisregels bekalken na plaggen

Wanneer beslist wordt om te plaggen kan het in sommige gevallen nuttig zijn om aanvullend te bekalken. Bekalken na plaggen mag geen regel zijn. Het is enkel aangeraden indien (zie ook figuur 32):

1. Men vestiging, behoud en/of versterking van doelsoorten nastreeft van zwak gebufferde standplaatsen, in het bijzonder soorten uit soortenrijke natte heischrale milieus, zoals Klokjesgentiaan, Moeraswolfsklauw,...

2. De 'nieuwe' bodem (bodemlaag die na plaggen boven komt te liggen, en die de nieuwe wortelzone vormt, 5–10 cm dik) zeer zuur tot zuur is: pH -H_2O < 4,5. De pH-waarde van 4,5 is een fysiologisch relevante grens waarbij vrij aluminium in oplossing gaat.

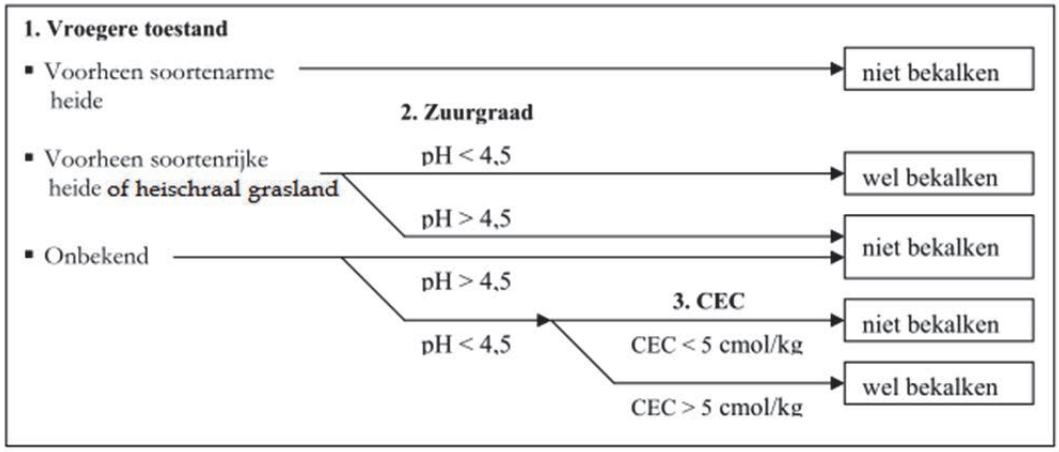
3. De CEC (kationuitwisselingscapaciteit) niet te laag is (>5 cmol +/kg). Voor bodems met een te kleine CEC heeft bekalken geen zin omdat het van nature zeer zure zandbodems betreft met weinig of geen potentiële buffercapaciteit, een van nature lage zuurtegraad (en een bijgevolg soortenarme heidevegetatie).

4. Wanneer beslist wordt te bekalken, wordt aangeraden te werken met een proefopzet om de effecten van bekalken op bodem en vegetatie in de tijd te kunnen opvolgen (zie bv. bijlage 2.3 in Laurijssens et al. 2007).

Cruciaal is het meten van de bodem pH. Voordeel van het gebruik van de pH als criterium is dat het relatief makkelijk en goedkoop te bepalen is. Aangezien voor de bepaling ervan de hoeveelheid bodem exact moet afgewogen worden, is een bepaling in het veld evenwel niet mogelijk.

Bekalken zonder metingen ('voor alle zekerheid') is niet aan te raden. Onterecht bekalken kan ook negatieve impact hebben bijvoorbeeld op de ontwikkelingsmogelijkheden van waardevolle mosvegetaties.

Het zogenaamd bekalken van 'infiltratie- of inzijggebieden' waarbij het de bedoeling is dat basische kationen via 'lokaal kwelwater' tot in de vochtige zones zou moeten worden gevoerd is als maatregel dubieus. Het is hoogst onwaarschijnlijk dat op die manier de kationen met het grondwater getransporteerd worden en op de bedoelde locaties terecht komen.



Figuur 32 Beslisschema voor bekalken na plaggen

We verwijzen verder naar Laurijssens et al. (2007) die een aantal andere nuttige aanbevelingen formuleert voor bekalken in soortenrijke heidesystemen en schrale milieus.

5.4.3 Omgaan met onzekerheden

In de praktijk kent het beheer van heischrale graslanden nog heel wat onzekerheden. De kans op succes van beheeringrepen is vaak heel moeilijk in te schatten. Gebiedspecifieke factoren spelen dikwijls een grote rol. Daarom kan het nuttig zijn om een testfase in te bouwen waarin voorafgaandelijk aan grotere beheerswerken een test op kleinere schaal wordt uitgevoerd. Op basis van de resultaten van die test kunnen de verdere werken dan, indien nodig, bijgesteld worden. Dit kan helpen vermijden om kostbare middelen en tijd te verliezen door foute keuzes of uitvoeringen. Een experiment is evenwel enkel zinvol als ook de resultaten opgevolgd worden. Als uitmijnen als verschralingsmiddel wordt overwogen, is het zeker nuttig om de evolutie van P afvoer via de oogst en de P concentraties in de bodem regelmatig te monitoren om de effectiviteit van de methode verder te documenteren.

5.5 Financiële implicaties

Aan de uitvoering van beheermaatregelen hangt natuurlijk ook een prijskaartje. Financiële implicaties van herstelmaatregelen vallen echter buiten de scope van deze studie. Indien om budgettaire redenen nodig, hier teruggaan naar 5.2 en een nieuw streefdoel formuleren.

5.6 Opvolging en evaluatie

Ook het opvolgen en evalueren van de resultaten en de effectiviteit van de gevoerde beheersmaatregelen is een belangrijke stap in het kader van herstelbeheer. Het moet toelaten resultaten te beoordelen ten opzichte van de oorspronkelijk gestelde doelstellingen en, indien nodig, het beheer bij te sturen. Dit vergt een volgehouden beheermonitoring. Monitoring is het periodiek, herhaald waarnemen en gestandaardiseerd beschrijven van variabelen met als doel de overeenkomst met of de mate van afwijking van vooropgezette normen vast te stellen. In dit geval gaat het altijd om een herhaalde verzameling van gegevens doorheen de tijd. Monitoring is steeds gericht op een evaluatie en moet resulteren in actie indien blijkt dat de norm of het streefbeeld nog niet werd bereikt (Van Olmen et al. 2000).

Het is dus van belang beheerswerken goed te documenteren en de resultaten ervan op te volgen. Dit kan een schat aan informatie opleveren en van nut zijn voor gelijkaardig ingrepen elders of later in hetzelfde gebied of perceel.

De gepaste technieken en methoden voor monitoring vallen buiten de scope van deze studie en worden in andere studies en rapporten uitvoerig beschreven. Voor monitoring van peilgegevens wordt verwezen naar Van Daele (2003).

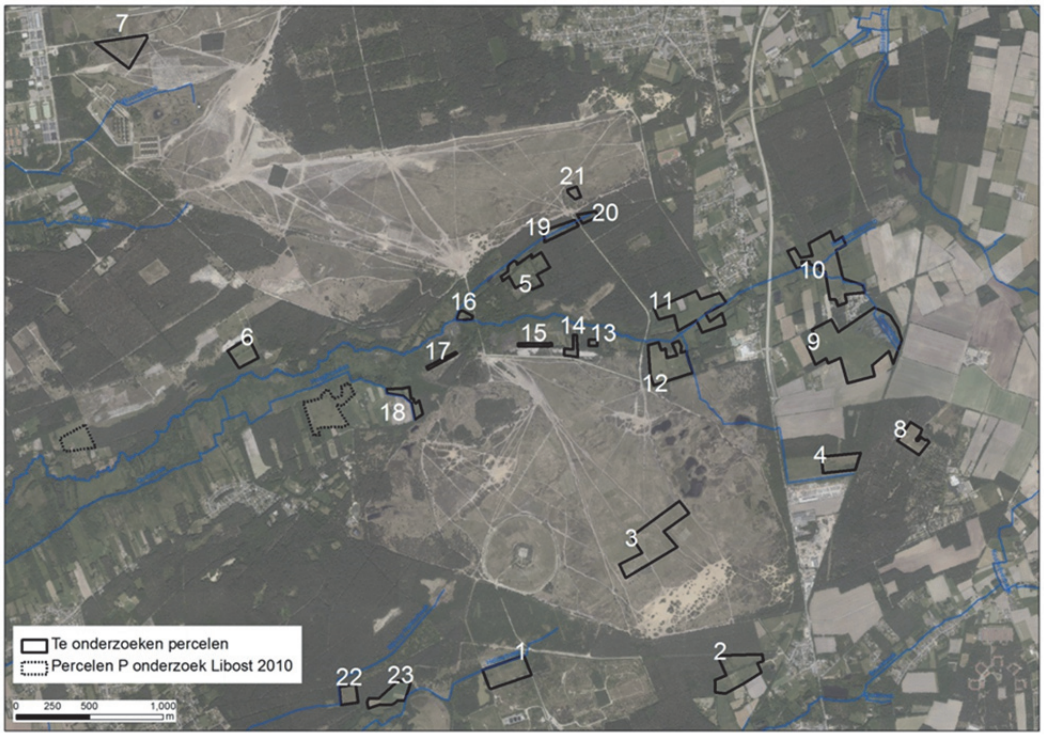
6 Afbakenen van kansrijke percelen voor de ontwikkeling van heischrale graslanden in het habitatgebied “Vallei en brongebied van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide- en vengebieden”

6.1 Achtergrond

Het doel van dit hoofdstuk is om na te gaan waar de beste kandidaat locaties voor herstel en duurzaam behoud van heischrale graslanden in dit SBZ-gebied te vinden zijn. Hoewel er potentieel tal van locaties zijn waar herstel mogelijk is, rest de vraag of het herstel tijdelijk, dan wel duurzaam zal zijn. Om dat onderscheid goed te begrijpen is bodemkundige achtergrondkennis vereist, in het bijzonder over fosforaanrijking en het voorkomen van veen, klei en leempaketten binnen het studiegebied.

6.2 Situering

Er werd gewerkt met 23 mogelijk tot heischraal grasland om te vormen of te herstellen percelen die waren aangeduid door het Agentschap voor Natuur en Bos (figuur 33).



Figuur 33 Ligging van 23 potentiële percelen voor herstel of omvorming tot heischraal grasland.

Figuur 34 en tabel 16 tonen de bodemopbouw van het gebied en van de door ANB aangewezen percelen volgens de bodemkaart van België (Van Ranst & Sys 2000). De meeste bodems zijn podzolbodems.

Een deel van de percelen ligt aan de rand van de vallei van de Zwarte Beek en van de Helderbeek, meestal op minerale gronden (zand, of in sommige gevallen lemig zand tot licht zandleem), soms op de grens met het veenpakket. Volgens de bodemkaart ligt perceel 16 volledig op veen (volgens onze boringen komt er op dit perceel venig materiaal voor onder een sterk humeus zandpakket). De overige percelen bevinden zich integraal op zandgronden buiten de vallei, en percelen 4 en 8 liggen deels op een duinrug. In de Helderbeekvallei wordt de textuur soms zwaarder in de diepte (d.w.z. de bodem bevat meer leem en/of klei in de diepte, zie suffix y in tabel 16), en in verschillende percelen is er grindbijmenging (suffix t). Figuur 34 toont ook de draineringsklassen volgens de

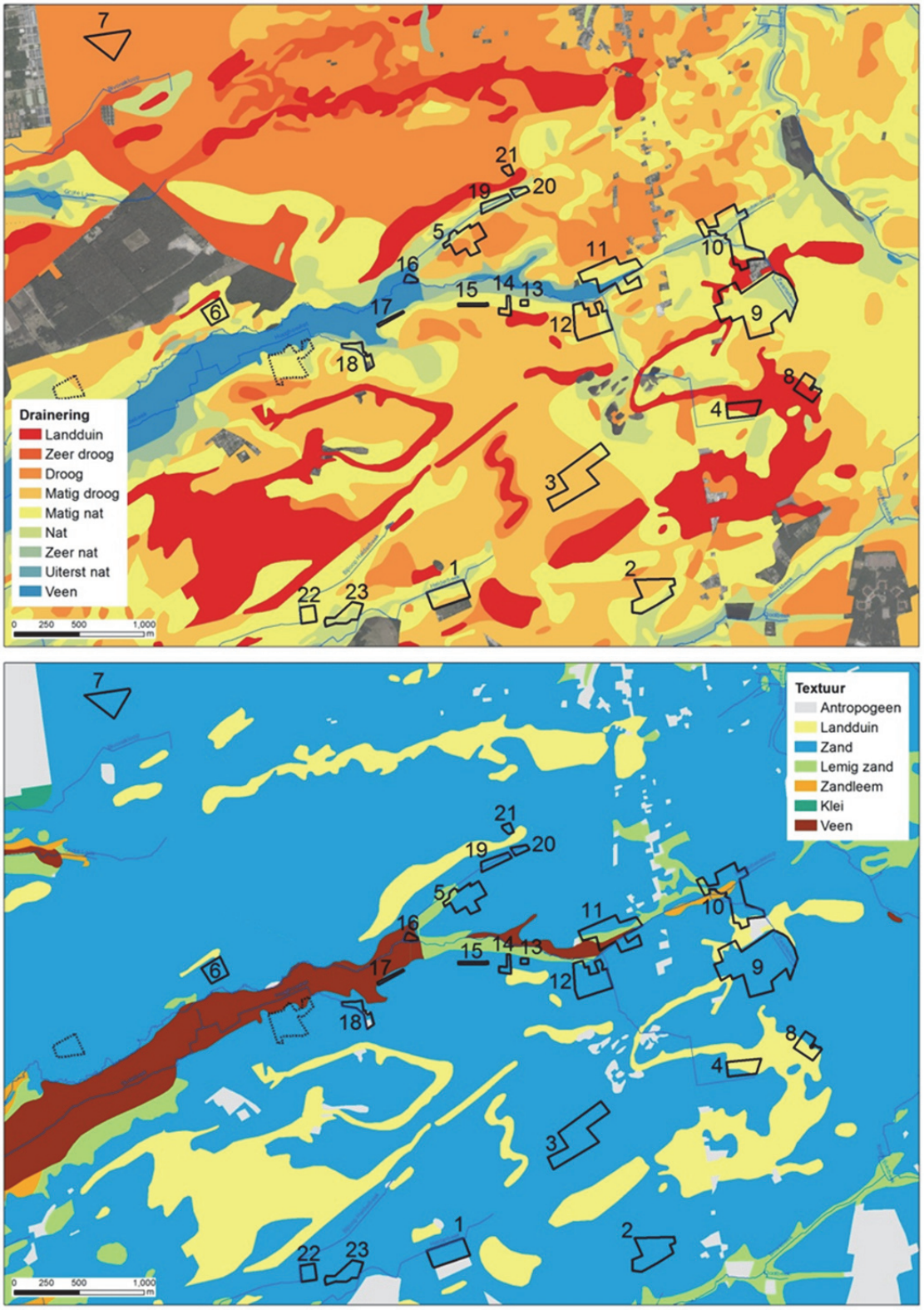
bodemkaart van België. De meeste percelen vertonen een vochtgradiënt. De categorieën c (matig droge gronden) tot f (zeer natte gronden) worden vertegenwoordigd.

Tabel 16 Bodemtype(s) op de door ANB aangewezen percelen volgens de bodemkaart van België aangevuld met gegevens verzameld door het Centrum voor de Afwerking van de Bodemkaart van het Noorden van het Land onder leiding van Prof. E. Van Ranst van de Universiteit van Gent (De Vos en Herr 2014).

Textuur	Z.. = zand
	S.. = lemig zand
	P.. = licht zandleem
Profielontwikkeling	..g = podzolbodems, gronden met duidelijke humus en/of ijzer B horizont
	..m = gronden met diepe antropogene humus A horizont
	..p = zonder profielontwikkeling (alluviale en colluviale bodems)
Substraat	v-... = veensubstraat
	t-... = klei-grintsubstraat
Moedermateriaalvariant	...t = grindbijmenging
	...y = zwaarder wordend in de diepte

Suffix 1 = dunne humeuze bovengrond (< 20 cm)

Perceel		**Aanwezige bodemtype(s)** per draineringsklasse		
		Matig droge en droge gronden (.b., .c.)	Matig natte gronden (.d.)	Natte en zeer natte gronden (.e.,.f.)
1	Achter Remo	Zcg1	Zdg1	Zeg
2		Zcgt	Zdg Zdgt	Zeg
3	Hoeverheide	Zcgt	Zdgt	
4		Duingrond	Zdg	
5		t-Zbm Zcm	Zdg	v-Sem Sfm
6	Witte hoeve	Duingrond	Zdg1	
7	Sanicole	t-Zbg		
8		Duingrond Zcg		Zeg
9	Zwart Water	Duingrond Zcg	Zdg Zdgt	Zeg
10	Achter Zwart Water	Duingrond t-Zcg1 Scm	Zdg Zdgt Zdg1	Pep Zeg
11	Katers	Zbg1 Zcg Zcg1	Zdm Zdgt Sdm	Zeg Veen
12	Katershoeve	Zcg1	Zdg Zdg1	Zeg v-Sfp
13			Zdg	
14		Duingrond Zcgt	Zdg	
15		Zcgt	Zdg	
16	Spiekelspade			Veen
17			Zdgt	Zeg Veen
18			Zdg	Zeg Zfp
19			Zdg1	Zeg
20			Zdg1t Zdg1	Zeg
21		t-Zbg Zcgt1		
22	Helderbeekvallei		Zdgy	
23	Helderbeekvallei		Zdg1	Zegy



Figuur 34 Aanwezige bodemtypen (textuur en draineringsklasse) volgens de bodemkaart van België (zie tabel 16 en Van Ranst & Sys 2000). Binnen het militair domein werd de bodemkaart van België aangevuld met de gegevens verzameld door het Centrum voor de Afwerking van de Bodemkaart van het Noorden van het Land onder leiding van Prof. E. Van Ranst van de Universiteit van Gent (De Vos en Herr 2014).

6.3 Bodemopbouw en veenkartering

Het is belangrijk om de zones met lemig of kleiig materiaal - die waarschijnlijk de beste potenties voor duurzaam herstel van het habitattype bieden - af te bakenen.

Om een algemeen overzicht te krijgen van de bodemopbouw in de door ANB aangewezen percelen was oorspronkelijk voorzien om een reeks profielen volgens een regelmatige grid te boren, met een dichtheid van ongeveer 1 boring / ha (ongeveer 160 profielen gepland).

Ter wille van de doelmatigheid in de soms zeer steenrijke bodems in het gebied (figuur 35) werd deels afgeweken van het initiële bemonsteringsschema om zoveel mogelijk afstemming te zoeken tussen de geplande boringen om de bodemopbouw beter in beeld te brengen en de bodemstaalname. Bij de bodemstaalname werd er systematisch dieper geboord dan strikt nodig om stalen te nemen (minstens één boring tot minstens 1 m diepte per staalnamelocatie en systematisch 20 cm dieper dan de eventuele bouwvoor). Op percelen waar tijdens de staalname lemige of kleiige texturen aangetroffen werden of waar deze textuurklassen volgens de bodemkaart voorkomen, werden de voorziene boringen volgens het oorspronkelijke schema uitgevoerd.

Figuur 35 Boring ST20E (ZW van perceel 2). Volgens de bodemkaart van België wordt de bodem in de zone beschreven als Zdgt, d.w.z. matig natte zandgrond met duidelijke humus en/of ijzer B horizont en met grindbijmenging

In totaal werden ongeveer 400 boringen uitgevoerd. De bodemprofielen werden gefotografeerd en de bodemgelaagdheid werd beschreven met speciale aandacht voor het voorkomen van veen, klei, leem en sporen van verstoring. Ook de aanwezigheid van oxido-reductie verschijnselen en water werd opgenomen. De beschrijvingen en foto's van de boringen worden in een Access databank ter beschikking gesteld (zie digitale bijlage 3: Bijlage3_Bodemprofielen)

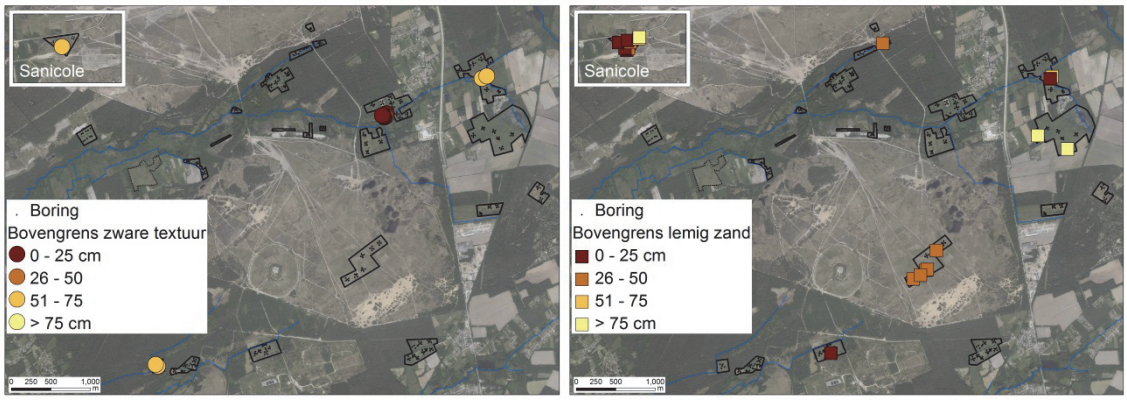
6.3.1 Bodemopbouw

De resultaten van de boringen stemmen redelijk goed overeen met de bodemkaart. Er worden in de zandgronden veel - soms vergraven of verstoorde - podzolprofielen waargenomen. Figuur 36 geeft er een typisch voorbeeld van. In de nattere zones wordt de horizontenbegrenzing diffuser en komt plaatselijk veenaccumulatie voor.

Figuur 36 Bodemprofiel ST21 (Hoeverheide), podzol (top van het profiel aan de linkerkant). De inspoelingslagen van humus (zwarte laag) en ijzerhoudende verbindingen (roodbruine laag) zijn goed te zien. De (bleekgrijze) uitspoelingslaag is weinig ontwikkeld.

6.3.2 Textuur

Onderstaande kaarten (figuur 37) tonen de locaties waar materiaal met een zwaardere textuur (d.w.z. met leem of klei) werd aangetroffen (veldwaarnemingen). Er werd een onderscheid gemaakt tussen bodems met echt zwaar (kneedbaar, vaak kleverig) materiaal (links) en bodems die waarschijnlijk enkel een beperkte lemige fractie bevatten (rechts). Deze figuren tonen ook de diepte waarop de leem/kleilagen werden aangetroffen, en geven dus een eerste idee van de mate waarin plantenwortels in contact staan met het fijnere materiaal.



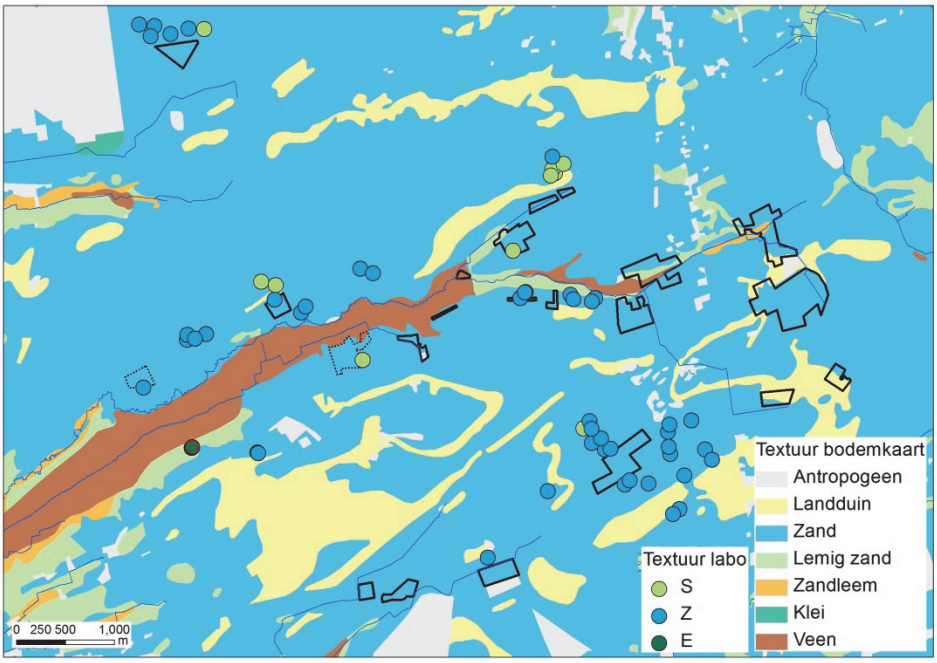
Figuur 37 Locaties met zwaardere textuur en diepte waarop deze zwaardere textuur voorkomt (= bovengrens van het meest oppervlakkige horizont met een zwaardere textuur). Op de locaties aangegeven door een klein zwart punt (boring in de legende) is er geboord, maar is er geen klei of leem aangetroffen. Links: boringen met kleiig (heel zwaar, kneedbaar) materiaal, rechts: locaties met lemig zand.

Op enkele plaatsten in de Katers, achter het brongebied van de Zwarte Beek en in de Helderbeekvallei (perceel 22, schapenweide) werd een blauwgrijs zwaar en plastisch materiaal aangetroffen. Bij het plaatsen van peilbuizen in de vallei van de Zwarte Beek zelf is ook een gelijkaardig kleiig materiaal in de diepte waargenomen (niet getoond op figuur 37). Een typisch voorbeeld van een dergelijk bodemprofiel wordt in figuur 38 weergegeven. Deze waarnemingen komen redelijk goed overeen met de bodemkaart (figuur 34): in de vallei van de Zwarte Beek zijn lemige zandgronden en leemzandgronden gekarteerd, en in de Helderbeekvallei vermeldt de bodemkaart zandbodems met een zwaardere textuur in diepte. Op één locatie in Sanicole werd er in de diepte binnen een zandige matrix enkele brokjes harde grijze klei aangetroffen.

Figuur 38 Bodemprofiel ST53C (de Katers) met vanaf ca 55 cm een aanzienlijke fractie klei gemengd met zandkorrels (top van het profiel aan de linkerkant).

Tijdens het veldwerk is er regelmatig vastgesteld dat zandkorrels binnen een fijnere matrix voorkwamen, in de kaart hierboven (figuur 37, rechts) wordt dat soort materiaal lemig zand genoemd. In podzolbodems spoelen mineralen (met name ijzerhoudende verbindingen) en organische bestanddelen de grond in, om op enige diepte rondom de zandkorrels te neerslaan. De gevormde ‘coating’ voelt soms zacht, lemig, aan. Misschien is dus een deel van de waarnemingen te verklaren door dit fenomeen, maar om hierover een definitieve uitspraak te doen zijn textuuranalysen in het labo nodig.

In het kader van het luik standplaatsonderzoek van dit project (zie 4.3.3) werd de textuur van de toplaag (0 – 10 cm) van de bodem op een aantal locaties binnen het gebied wel in het labo bepaald (d.m.v. laserdiffractie). De resultaten van deze textuuranalysen worden in figuur 39 weergegeven.



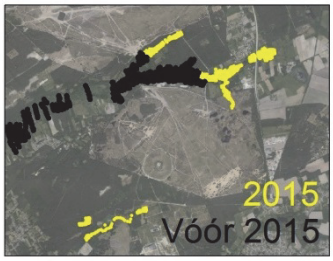
Figuur 39 Resultaten van de textuuranalysen (laserdiffractie) voor de toplaag van de bodem (0 – 10 cm). Data INBO. Z = zand, S = lemig zand, E = klei.

Uit deze gegevens blijkt dat lemig zand (lichtgroene bollen) ook voorkomt op plaatsen waar de bodemkaart enkel zand vermeldt (bv. op perceel 21 in de Hechtelse heide, ten noorden van perceel 6 aan de Witte hoeve, en ook plaatselijk in Sanicole en in de Hoeverheide). Het is natuurlijk zo dat de bodemkaart de dominante textuur over het hele profiel weergeeft terwijl onze metingen enkel betrekking hebben op de toplaag (0 – 10 cm).

6.3.3 Veenkartering

Uit terreinwaarnemingen en eigen boringen blijkt dat de bodemkaart vaak onvoldoende gedetailleerd is om op perceelsniveau veenbodems, minerale bodems en de overgang van beide bodemtypes af te lijnen. Deze informatie is nochtans cruciaal voor het begrijpen van het vallei-ecosysteem en voor de bepaling van de vegetatiekundige potenties. Daarom voerde het INBO in de jaren 2000 een groot aantal snelle profielboringen uit, verspreid over de vallei van de Zwarte Beek.

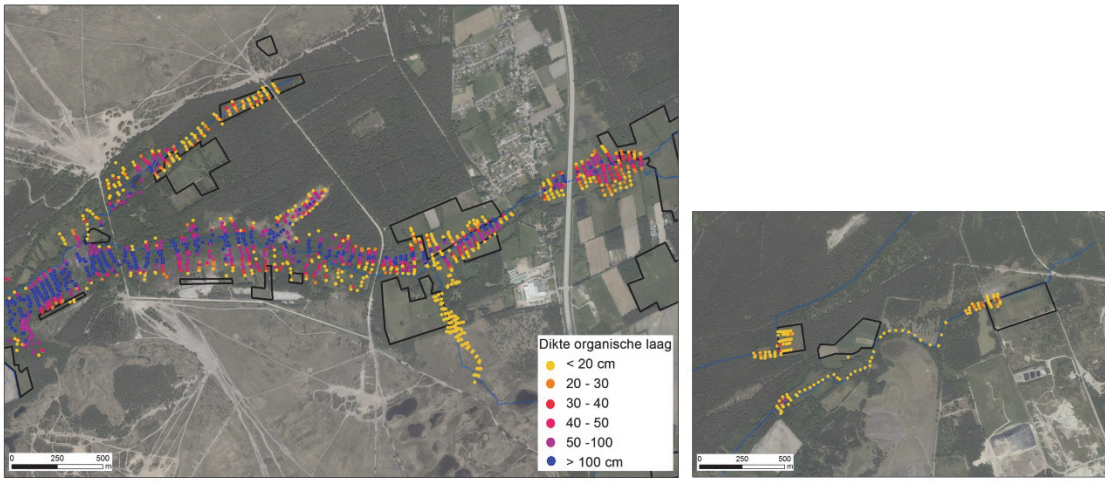
In januari 2015 werden bijkomend nog 880 snelle profielboringen uitgevoerd (met een prikstok van 2 m lang) om de omvang van het veenlichaam in de bovenloop van de Zwarte Beek en de Helderbeek beter in beeld te brengen (figuur 40). De locatie van de boringen werd bepaald met een hand GPS (nauwkeurigheid 5 à 10 meter).



Figuur 40 Ligging van de veenboringen.

Het overzicht van die boringen met indicatie van de dikte van het organisch materiaal pakket is te vinden in figuur 41.

In de Helderbeekvallei komt geen significant veenpakket voor, maar in de bovenloop van de Zwarte Beek werd in het midden van de vallei nog veen aangetroffen.



Figuur 41 Ligging van de profielboringen met indicatie van de dikte van het organisch materiaal pakket (in cm). Links: Zwarte Beek, rechts: Helderbeek.

De gegevens 2015 werden toegevoegd aan de bestaande data. Twee shapefiles worden als digitale bijlage geleverd: een shapefile van de boringen met indicatie van de dikte van het organisch materiaal pakket (veendikte_Zwarte_Beek.shp) en een shapefile met de contour van het veenpakket (> 30 cm organisch materiaal, veenpakket_Zwarte_Beek.shp).

6.4 Historisch landgebruik en recent beheer

Na controle van recente en oude luchtfoto's, van historische kaarten en van de landbouwgebruikspercelen (data van het Agentschap voor Landbouw en Visserij) bleek dat het overgrote deel van de percelen al lang (en zeker de laatste 10 jaar) als grasland gebruikt wordt (met een paar uitzonderingen op kleine oppervlaktes in percelen 23, 5, 19 en in mindere mate 14 en 15). Aangezien de (meeste) percelen lang niet (meer) geploegd zijn, verwachten we meestal geen homogene bouwvoor met een homogeen fosforgehalte, maar eerder een met de diepte afnemende gradiënt in fosforconcentratie.

Uit tabel 17 blijkt dat bijna alle percelen oorspronkelijk heidelandschappen waren die later, voornamelijk tussen 1920 en 1960, werden omgevormd tot weilanden. Enkel de percelen 3, 7 en stukken van 12 en 15 waren in 1960 nog intact als heide.

Tabel 17 Overzicht van het historisch landgebruik van de 23 door ANB aangeduide percelen op basis van historische kaarten percelen (zie figuur 33 voor de perceelnummers).

Perceel nummer	Militaire Kaarten Kempen 1848-1853	Dep guerre ca. 1865	Dep guerre ca. 1890	Dep guerrre ca. 1920	mgi_1_ca1960 (militair geografisch instituut)
1	heide, moeras	heide en moeras (1869)	naaldwoud en weide (1886)	naaldwoud, weide (1908)	weide (1960)
2	heide	heide en weide (1869)	heide en weide (1886)	naaldwoud, heide, weide (1908)	weide, moeras, N.A. (1960)
3	heide	heide (1869)	heide (1886)	heide (1908)	heide (1960)
4	heide, duinen	heide (1869)	naaldwoud (1886)	heide (1908)	weide, duinen, moeras (1960)
5	N.A., weide	N.A; (militair?) (1868)	N.A. (1885)	N.A. en heide en weide (1909)	N.A., weide (1960)
6	heide, naaldwoud	heide en naaldwoud (1871)	heide en naaldwoud (1887)	heide en moeras (1935)	weide (1960)
7	heide	heide (1871)	heide (1887)	heide; aérodrome (1935)	heide (1960)
8	heide	heide (1869)	heide (1886)	heide (1908)	weide, N.A. (1960)
9	heide (+ zwart water)	heide en N.A. (1868)	naaldwoud (1885)	heide; naaldwoud, N.A. (1909)	weide, moeras (1960)
10	heide, naaldwoud, weide	heide, weide, naaldwoud, loofwoud (1868)	weide en naaldwoud (1885)	naaldwoud, weide, heide (1909)	weide, moeras (1960)
11	weide, heide	heide, weide, N.A. (1868)	heide, weide, N.A. (1885)	heide, weide, naaldwoud, N.A. (1909)	weide (1960)
12	heide, moeras, weide	heide en weide (1868)	heide en weide (1885)	heide, weide, naaldwoud (1909)	weide, heide, moeras (1960)
13	heide	heide (1868)	heide (1885)	heide (1909)	weide (1960)
14	heide	heide (1868)	heide (1885)	heide (1909)	weide, naaldwoud (1960)
15	heide	heide en naaldwoud (1868)	heide en naaldwoud (1885)	heide en naaldwoud (1909)	weide, heide (1960)
16	N.A.	weide (1868 en 1871)	weide en (naald)woud (1887)	weide (1935)	weide, moeras (1960)
17	weide	weide, loofwoud (1871)	weide, loofwoud (1887)	heide, loofwoud, weide (1935)	weide, naaldwoud (1960)
18	heide, naaldwoud, weide	heide, naaldwoud, loofwoud, weide (1871)	heide, naaldwoud, loofwoud, weide (1887)	heide, loofwoud, weide (1935)	weide, loofwoud, heide met naaldwoud (1960)
19	weide, heide	heide (1868)	naaldwoud (1885)	naaldwoud (1909)	weide (1960)
20	heide	heide (1868)	naaldwoud (1885)	naaldwoud (1909)	weide (1960)

Perceel nummer	Militaire Kaarten Kempen 1848-1853	Dep guerre ca. 1865	Dep guerre ca. 1890	Dep guerrre ca. 1920	mgi_1_ca1960 (militair geografisch instituut)
21	heide	heide (1868)	heide (1885)	heide (1909)	heide (1960)
22	heide	heide (1868)	heide (1886)	weide (1937)	weide (1960)
23	heide	heide (1868)	heide (1886)	heide en weide (1937)	weide (1960)

Tabel 18 geeft een overzicht van het beheer dat in de voorbij jaren (periode 2003-2013) is uitgevoerd in de te onderzoeken percelen. In het merendeel van de percelen wordt er regelmatig gemaaid of begraasd en in enkele van de percelen is er bovendien geplagd. De tabel geeft ook aan dat het beheer binnen de percelen niet altijd homogeen is (aangegeven door meerdere rijen per perceel). Mede daarom werd beslist om de percelen op te splitsen in kleinere deelpercelen voor het nemen van bodemstalen (zie 6.6.1.1). Anders zouden we mogelijk belangrijke variatie binnen de percelen over het hoofd zien.

Tabel 18 Beheer uitgevoerd in de periode 2003-2013 in de verschillende de ANB aangeduide percelen (zie figuur 33 voor de perceelnummers). Het locatienummer verwijst naar de ST-nummers in figuur 43. NA: geen informatie beschikbaar.

Perceel nummer	Locatienummer	plaggen	maaien	begrazen	exotenbeheer	overig
1	05-06, 09		x	x	x	
1	07-08		x	x	x	akkeren
2	10-20	NA	NA	NA	NA	NA
3	21-23		x	x	x	
3	24-26			x	x	
4	27-29	NA	NA	NA	NA	NA
5	30-35		x			
6	36-37			x	x	herstelraster NP
7	01-02	x				maaien verbost stuk
7	03-04	x				
8	38-39	NA	NA	NA	NA	NA
9	41-46		x	x		
10	47-48 53-55	NA	NA	NA	NA	NA
10	49-50, 52		x	x		
11	57-59			x		
11	60-65	NA	NA	NA	NA	NA
11	66			2008		
12	67-70	NA	NA	NA	NA	NA
13	71		x	x	x	
14	72	x		x	x	kaalkap
15	73	x	x	x	x	
15	73b			x	x	Frezen (bosfrees)
15	73c			x	x	
16	74		x		x	
17	75				x	heideherstel
17	75c				x	
18	76		x	x		
18	77-78		x	x	x	
19	79, 81		x	x	x	
19	80			x	x	
20	82			x		
21	83			x		heideherstel
22	84,84b	NA	NA	NA	NA	NA
22	d84c		x		x	

Perceel nummer	Locatienummer	plaggen	maaien	begrazen	exotenbeheer	overig
23	d85, d87-91	NA	NA	NA	NA	NA
23	d86		x			

6.5 Heischrale soorten in het studiegebied

Eén van de voorwaarden voor het succesvolle herstel van heischrale graslanden is de aanwezigheid van heischrale soorten in de omgeving. Immers, zonder de aanwezigheid van restpopulaties of het toevoegen van zaden (b.v. door het aanbrengen van maaisel van goed ontwikkelde percelen), zal de doelvegetatie zich niet, of slechts zeer traag ontwikkelen (De Graaf et al. 2004, Loeb et al. 2013).
In onderstaande tabel geven we een overzicht van heischrale kensoorten op basis van de internationale literatuur (zie 2.2.1) en de INBO veldsleutel voor heischrale graslanden (zie 2.3), waarbij voor elke soort wordt weergegeven of ze momenteel in de SBZ voorkomt (o.a.. in opnames die door het INBO gemaakt zijn in de periode 2002-2015), of ze vroeger in de SBZ voorkwam (in de periode 1900-2000), of dat ze er nooit (d.w.z. na 1900) aanwezig was (data: Florabank).
Hieruit kunnen we afleiden dat van de 36 heischrale soorten er 8 waarschijnlijk nooit in het gebied aanwezig waren en er nog eens 5 zijn die vroeger wel voorkwamen, maar die recent niet meer werden aangetroffen (althans niet in de door ons bezochte percelen). Ook al zouden deze soorten toch in de SBZ aanwezig zijn, kunnen we er vanuit gaan dat ze erg zeldzaam zijn en dat de kans op vestiging in te herstellen percelen zo goed als onbestaand is. De overige 19 soorten werden wel in recente vegetatieopnames aangetroffen en zouden zich daarom mogelijk kunnen vestigen in te herstellen percelen, hoewel erop gewezen dient te worden dat de verspreidingsafstand van zaden van verschillende heischrale soorten eerder beperkt is (De Graaf et al. 2004).

Tabel 19 Overzicht van heischrale kensoorten en hun aanwezigheid in de SBZ (bron: eigen waarnemingen, Florabank en waarnemingen.be).

Heischrale soorten	Momenteel aanwezig in het studiegebied *	Vroeger aanwezig in het studiegebied**	Niet aanwezig in het studiegebied
Blauwe knoop (*Succisa pratensis*)	X		
Bleeksporig bosviooltje (*Viola riviniana*)	X?***		
Bleke zegge (*Carex pallescens*)	X?		
Borstelgras (*Nardus stricta*)	X		
Bosboterbloem (*Ranunculus serpens*)			X
Dichtbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *congesta*)	X		
Gelobde maanvaren (*Botrychium lunaria*)	Z (2010)****		
Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*)	X		
Gewone vleugeltjesbloem (*Polygala vulgaris*)		X	
Fijn schapengras (*Festuca filiformis*)	X		
Heidekartelblad (*Pedicularis sylvatica*)	X		
Hondsviooltje (*Viola canina*)	X		
Kalkwalstro (*Galium pumilum*)			X
Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*)	X		
Knollathyrus (*Lathyrus linifolius*)			X
Liggend walstro (*Galium saxatile*)	X		
Liggende vleugeltjesbloem (*Polygala serpyllifolia*)	X		
Mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*)	X		
Pilzegge (*Carex pilulifera*)	X		
Rozenkransje (*Antennaria dioica*)		X	
Spits havikskruid (*Hieracium lactucella*)		X	

Heischrale soorten	Momenteel aanwezig in het studiegebied *	Vroeger aanwezig in het studiegebied**	Niet aanwezig in het studiegebied
Stekelbrem (*Genista anglica*)	X		
Stijf havikskruid (*Hieracium laevigatum*)	X		
Stijve ogentroost (*Euphrasia stricta*)	X		
Tandjesgras (*Danthonia decumbens*)	X		
Tormentil (*Potentilla erecta*)	X		
Trekrus (*Juncus squarrosus*)	X		
Tweenervige zegge (*Carex binervis*)			X
Veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora* subsp. *multiflora*)	X		
Veldgentiaan (*Gentianella campestris*)			X
Welriekende nachtorchis (*Platanthera bifolia*)		X	
Wilde narcis (*Narcissus pseudonarcissus*)		X	
Wolverlei (*Arnica montana*)			X
Zaagblad (*Serratula tinctoria*)			X
Zandstruisgras (*Agrostis vinealis*)	X		

* Aangetroffen in vegetatieopnames gemaakt in het studiegebied tussen 2002 en 2015.
** Aangetroffen in vegetatieopnames gemaakt in het studiegebied tussen 1900 en 2000, maar niet in recentere opnames
***X? :Niet waargenomen door INBO medewerkers, wel vermeld op waarnemingen.be door betrouwbare waarnemers
**** Z: Zeldzaam, de kans op vestiging in de te herstellen percelen is dus heel laag

6.6 Bodemstaalname en bodemchemie

6.6.1 Bodemstaalname

6.6.1.1 Verkennend bodemonderzoek 2014

Tussen 31 juli en 9 oktober 2014 werden in de 23 te onderzoeken percelen verspreid in de vallei van de Zwarte Beek, de Helderbeek en in de Hoeverheide in totaal 252 bodemstalen op 84 locaties verzameld.

Om de staalnamelocaties te bepalen werd er rekening gehouden met het historische landgebruik en beheer. Uit de bodemstudie van Libost (Vreys en Van Den Balck 2010) bleek dat er zelfs binnen een bepaald perceel grote variaties in fosforconcentraties op korte afstand kunnen optreden. Om de interpretatie van de gegevens te vergemakkelijken, werd er dus niet gewerkt op niveau van de huidige percelen, maar werden de 23 door ANB aangewezen percelen verder opgesplitst in kleinere eenheden – hierna landgebruikspercelen genoemd - afhankelijk van het vroegere en huidige landgebruik. Naast de verwachte/gebleken heterogeniteit in P gehalten, vertonen de meeste percelen ook - soms uitgesproken - vochtgradiënten (getuige de verschillende draineringsklassen op de bodemkaart). Om de goede interpretatie van de resultaten te garanderen werd elk mengstaal samengesteld uit vijf boringen (substalen) genomen in kruis binnen een straal van 25 m rond een centrale boring, en dit altijd binnen de grenzen van een bepaald landgebruiksperceel.

Zones dichtbij stallen en greppels, of met rijsporen en andere verstoringen werden vermeden. Wanneer een boring een afwijkend profiel vertoonde vergeleken met de andere bodemprofielen op de staalnamelocatie werd deze ook niet bemonsterd (maar wel beschreven).

Op basis van de resultaten van de analysen van Libost, die een grote heterogeniteit in P concentraties binnen de percelen aantoonde, werd besloten om de verkennende bemonstering tot drie staalnamedieptes te beperken om zo meer locaties te kunnen bemonsteren. De staalname in de diepte gebeurde als volgt:

- ⇨ Als er geen bouwvoor zichtbaar was: vaste diepten: 0-10 cm, 20-30 cm en 40-50 cm
- ⇨ Als een bouwvoor aanwezig was: 0-10 cm, onderste 10 cm van de bouwvoor en 10-20 cm onder de bouwvoor

In zandbodems is de bouwvoor herkenbaar als een homogene laag, rijk aan organisch materiaal, die ontstaan is door het regelmatig ploegen en homogeniseren van de bovenste 20–50 cm van het bodemprofiel.

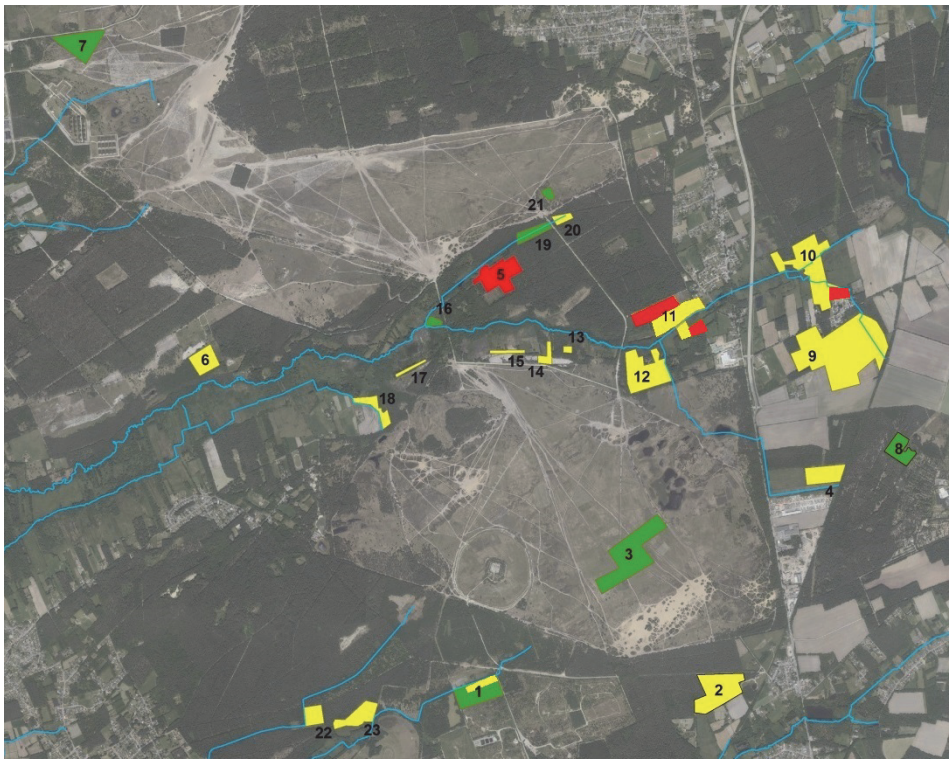
Op elke locatie werden dus vijf boringen met een gutsboor of Edelmanboor uitgevoerd. Van deze vijf boringen werd een mengstaal samengesteld per diepte. In totaal werden dus per locatie drie afzonderlijke stalen genomen (84 locaties en 3 dieptes, in totaal 252 stalen).

6.6.1.2 Gedetailleerd bodemonderzoek 2015

In aanvulling op het verkennend bodemonderzoek van 2014, werd er in 2015 meer diepgaand onderzoek gedaan naar de bodemkenmerken van de door ANB aangeduide percelen. Op basis van de resultaten van 2014, werden de percelen eerst ingedeeld in drie bemonsteringscategorieën (figuur 42):

- **Zeer goed, geen bijkomende bemonstering nodig**: lage Olsen P waarden (<15 mg P/kg DS) in de toplaag en afname van Olsen P met toenemende diepte;
- **Zeer slecht, geen bijkomende bemonstering nodig**: Olsen P waarden tussen 60 en 120 mg P/kg DS in de toplaag en eveneens hoge Olsen P waarden (30-60 mg P/kg DS) in de diepere lagen;
- **Nader te bestuderen**: Olsen P waarden tussen 15 en 60 mg P/kg DS in de toplaag, met vaak veel lagere waarden in de diepte; of percelen waarvoor bijkomende stalen nodig waren om de oppervlakte beter te dekken (bv. perceel 17).

Deze indeling diende om de nog beschikbare stalen te concentreren op percelen waar ze de meest nuttige informatie zouden leveren.



Figuur 42 Overzicht van de percelen en hun classificatie als “zeer goed” (groen), “zeer slecht” (rood) en “nader te onderzoeken” (geel) op basis van de resultaten van het verkennend bodemonderzoek in 2014. Deze classificatie had hier enkel als doel om de nog beschikbare bodemstalen te concentreren op locaties waar ze het meest nuttig zouden zijn en moet niet worden gezien als een definitieve uitspraak over de potenties per perceel (dit laatste aspect wordt later besproken). Percelen 10 en 11 zijn deels opnieuw bemonsterd omdat een deel van de stalen zeer slecht scoorde maar de andere helft vrij goed. Ook perceel 1 is maar deels opnieuw bemonsterd omdat een groot deel van het perceel al goed scoorde.

In de loop van de studie werden verschillende kandidaat locaties naar voor geschoven als referentie voor goed ontwikkelde heischrale graslanden. Dat was het geval met terreinen in de Bolliserbeekvallei, de Dommelvallei en de vallei van de Grote nete. Geen enkele van de voorgestelde terreinen voldeden aan de definite van heischrale graslanden. Er werden wel veldrusgraslanden en struisgraslanden aangetroffen; graslandtypen die buiten het bestek van deze studie vallen..

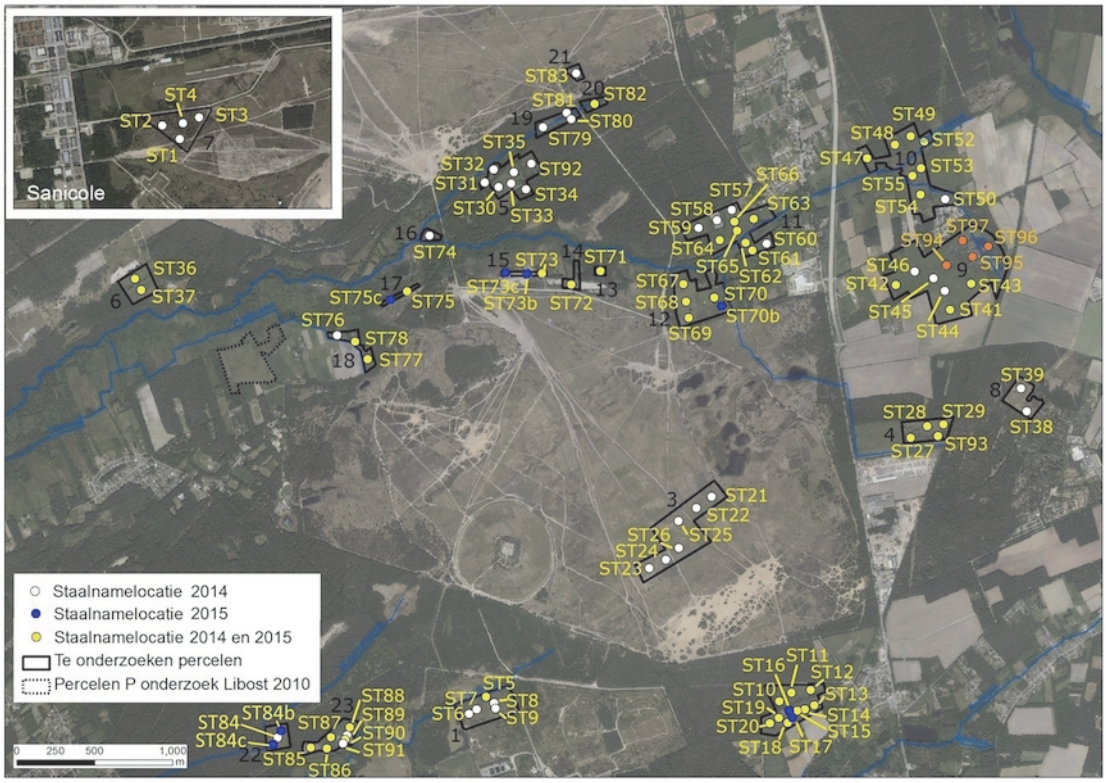
Voor het gedetailleerd bodemonderzoek werden in juli 2015 nieuwe stalen genomen in de “**nader te bestuderen**” percelen (figuur 42; aangeduid in geel). Bij deze groep was de fosforconcentratie vaak hoog in de toplaag, maar laag in de zone van 40-50 cm diepte. Om na te gaan of uitmijnen of afgraven een optie zou zijn in deze percelen, was het nodig om meer informatie te verkrijgen over wat zich in de opeenvolgende bodemlagen afspeelt. Daarom werd beslist om voor deze percelen in 2015 elke bodemlaag te bemonsteren tot op 50 cm diepte (0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-50 cm).

Naast bijkomende informatie over de toestand van de bodem op verschillende dieptes, was een herhaalde staalname in 2015 ook nuttig om meer informatie te verkrijgen over de ruimtelijke variatie aan bodemcondities. In 2015 werden namelijk stalen genomen op ongeveer dezelfde locatie (hand GPS) als in 2014, wat toeliet om de resultaten van de analyses op 0-10 cm; 20-30 cm en 40-50 cm tussen de twee jaren te vergelijken.

In de “**zeer goede**” percelen verwachtten we dat een gewoon beheer of lichte herstelmaatregelen zouden volstaan om de doelrange van heischrale graslanden voor Olsen P te bereiken (0.5 – 10 mg P/kg). Het was dus niet essentieel om bijkomende informatie te verwerven over hoe de fosforconcentratie afnam tussen de ondiepe en diepere bodemlagen (de concentratie was immers overal vrij laag en afgraven was zeker niet aan de orde). In die percelen werden in 2015 geen bijkomende stalen genomen, maar werden er enkel bijkomende analyses uitgevoerd op de reeds verzamelde bodemstalen.

De “**zeer slechte**” percelen waren zeer rijk aan fosfor, ook in de diepste bodemlagen (40-50 cm). Daarom konden deze percelen worden uitgesloten voor verder herstel en werd er in overleg met de stuurgroep (april 2015) beslist om ze niet in meer detail te bestuderen. In deze percelen werden in 2015 dus geen bijkomende bodemstalen genomen.

De ligging van elke staalnamelocatie en elke boring (2014 en 2015) werd met behulp van een hand-GPS ingemeten en is aangegeven op figuur 43.



Figuur 43 Staalnamelocaties (ST) van het verkennend bodemonderzoek in 2014 en van het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015. De oranje markering werd gebruikt voor de locaties (Zwart Water) die in opdracht van ANB bemonsterd zijn om de milieudruk in het brongebied van de Zwarte Beek in kaart te brengen. De zwarte labels staan voor het perceelnummer.

6.6.2 Bodemchemische analysen

Na overbrenging naar het labo werden alle bodemstalen gedroogd op 40°C, gehomogeniseerd en gezeefd over <2 mm. Volgende bodemchemische kenmerken werden bepaald op de stalen verzameld in 2014:

- **Organisch koolstofgehalte** (gloeiverlies). Bepaling van gloeiverlies bij 550°C als maat voor organisch stofgehalte;
- **Bio-beschikbaar fosfor volgens de Olsen-methode** (Olsen-P): spectrofotometrische bepaling van orthofosfaat in 1:20 bodemextract met 0,5 M NaHCO3 bij pH 8,5 gedurende 30 min.

Op de stalen verzameld in 2015, evenals op de "zeer goede" stalen uit 2014, werden in 2015 de volgende analyses uitgevoerd:

- Gloeiverlies bij 550 °C (organisch stofgehalte)
- Bio-beschikbaar fosfor volgens de Olsen methode (Olsen P)
- Mineralen, voedingselementen en metalen via microgolfontsluiting en meting op de ICP (Ca, K, Mg, Na, P, S, Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn)
- Zuurgraad in $CaCl_2$ (pH $CaCl_2$, 1:5 verhouding) en in water (pH H_2O, 1:5 verhouding)
- Kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) volgens de zilverthioureum (AgTU) methode
- Stikstof volgens de Kjeldahl methode (N Kjeldahl)
- Extraheerbare P, Al en Fe via extractie in ammoniumoxalaat-oxaalzuur oplossing (P-oxalaat, Al-oxalaat, Fe-oxalaat)

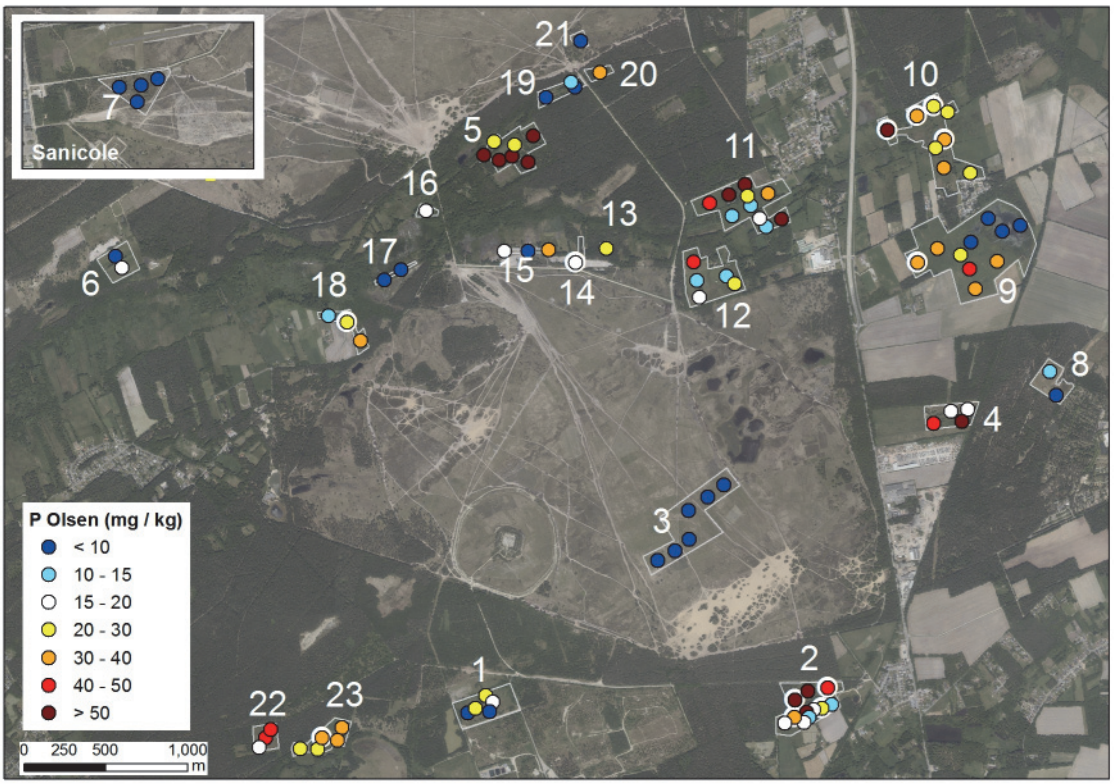
6.6.3 Resultaten

6.6.3.1 Olsen P

De kaart hieronder toont de Olsen-P concentraties in de toplaag van de bodem (0 – 10 cm, als er 2 metingen zijn wordt het gemiddelde van 2014 en 2015 genomen). Een meer gedetailleerd overzicht met resultaten voor de verschillende dieptes, verschillende jaren en het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland is weergegeven in figuur 45, figuur 46 en figuur 47.

De percelen 3 (Hoeverheide), 7 (Sanicole), 17 (Kouwert) en 21 (Hechtelse heide) zijn zeer arm aan fosfor en dus zeer geschikt voor de ontwikkeling van schrale vegetatietypen. Ook in percelen 1 (Remo), 8 (Molenheide), 16 en 19 zijn de Olsen P gehalten nog vrij laag (meestal < 20 mg P /kg)..

Perceel 5 en het noordelijk deel van perceel 11 vallen op door hun zeer hoge P-waarden, ook op grote diepte, terwijl in de percelen 2, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 en 18 de P-concentratie sterk varieert afhankelijk van de locatie binnen een perceel en van de diepte. Deze percelen werden in 2015 uitvoeriger onderzocht om een meer gedetailleerd beeld te krijgen van hoe de P-beschikbaarheid afneemt doorheen het bodemprofiel. In zones met Olsen P hoger dan 20 mg zal immers een vrij intensieve verschraling nodig zijn om ooit goed ontwikkelde vegetatietypen van de voedselarme sfeer te kunnen herstellen.



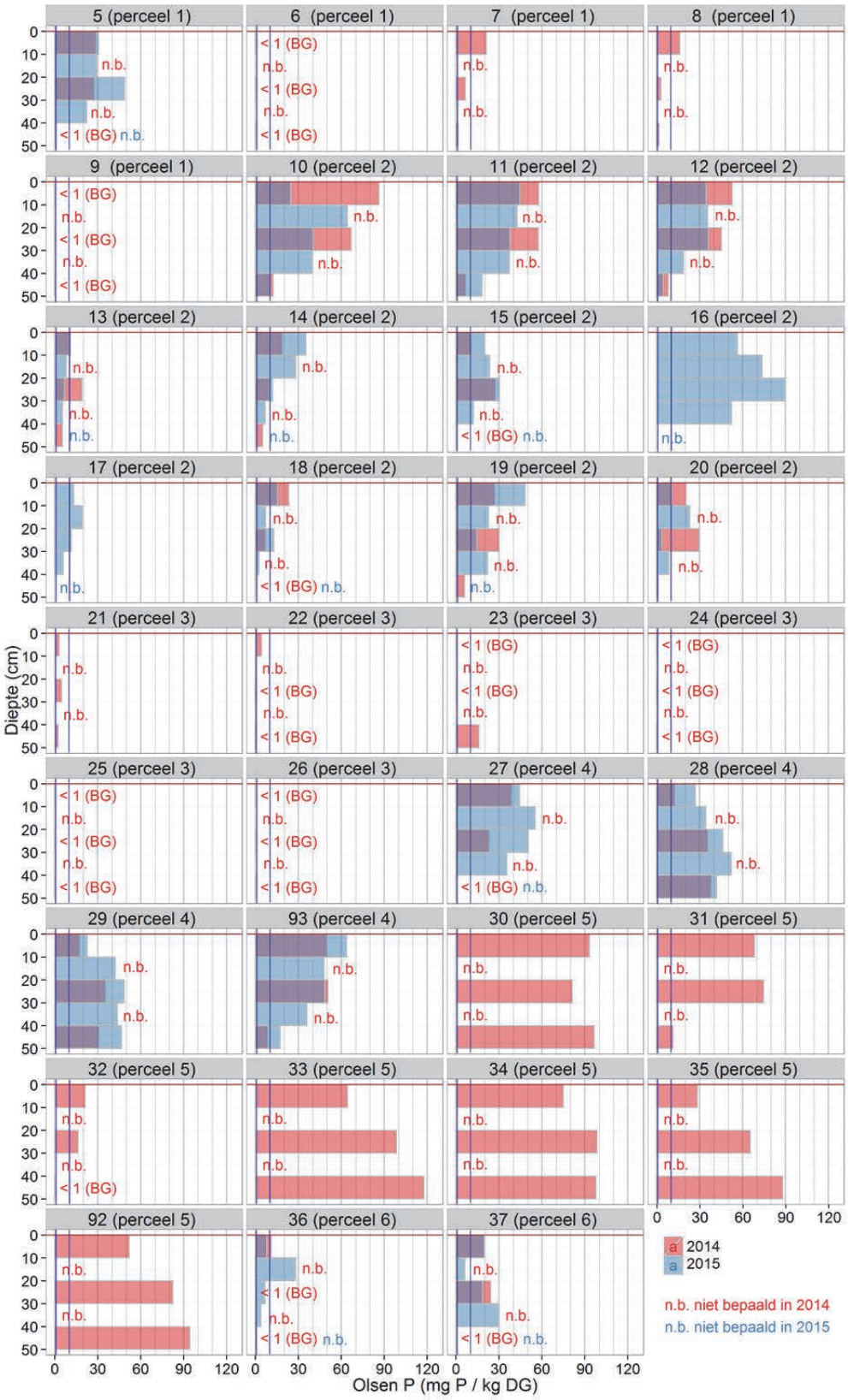
Figuur 44 Olsen P concentratie gemeten in de toplaag van de bodem (bovenste 10 cm, in mg P / kg droge bodem). Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen van de toplaag).

6.6.3.1.1 Vergelijking data 2014 en 2015

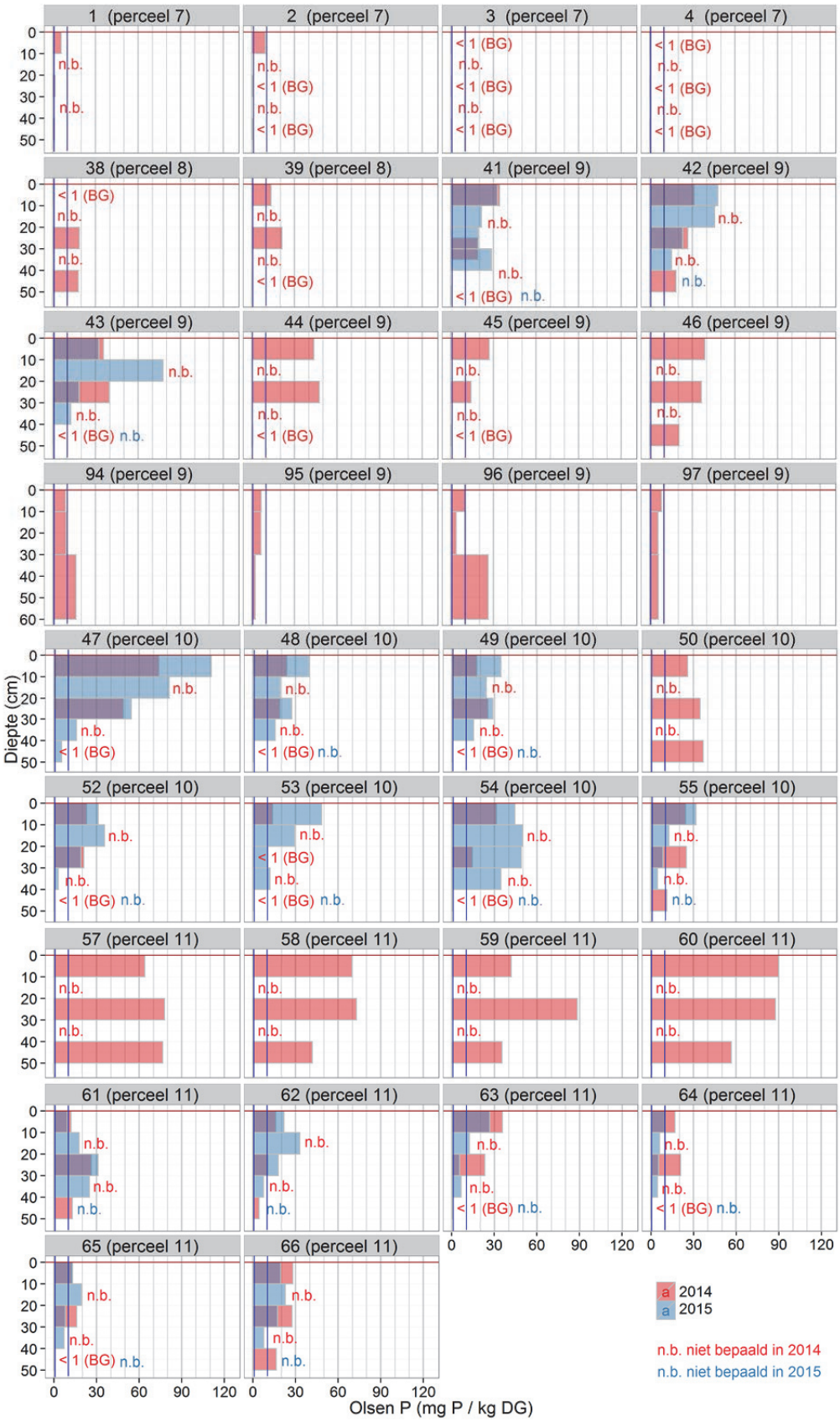
Ter aanvulling geven we ook de variatie weer in de resultaten van de stalen genomen in 2014 en 2015 (figuur 45, figuur 46 en figuur 47). Hoewel over het algemeen de trends met toenemende diepte gelijk blijven tussen de twee jaren, vinden we toch soms grote verschillen (> 15 mg P / kg DS) in de resultaten voor Olsen P. De verschillen blijken groter te zijn, naarmate de percelen rijker zijn aan P. Dit heeft waarschijnlijk te maken met een grotere heterogeniteit in de verrijkte percelen (bemesting is nooit helemaal egaal), waarbij een nieuwe staalname op niet exact dezelfde locatie als het jaar voordien al snel tot iets hogere of lagere waarden leidt. Deze vrij grote ruimtelijke variatie is al vastgesteld in een eerdere studie van Libost in de vallei van de Zwarte Beek (Vreys en Van Den Balck 2010).

Het is belangrijk dit in gedachten te houden, want dit wil zeggen dat de waarden voor Olsen P in de voorgaande figuren en grafieken niet toepasbaar zijn op een grote ruimtelijke schaal. Het zijn slechts **lokale indicaties,** en bodemcondities enkele (tientallen) meters verderop kunnen soms anders zijn dan weergegeven. Zoals gezegd is dit vooral een probleem in de rijkere percelen. De percelen arm aan P zijn doorgaans schraal over grote oppervlakten.

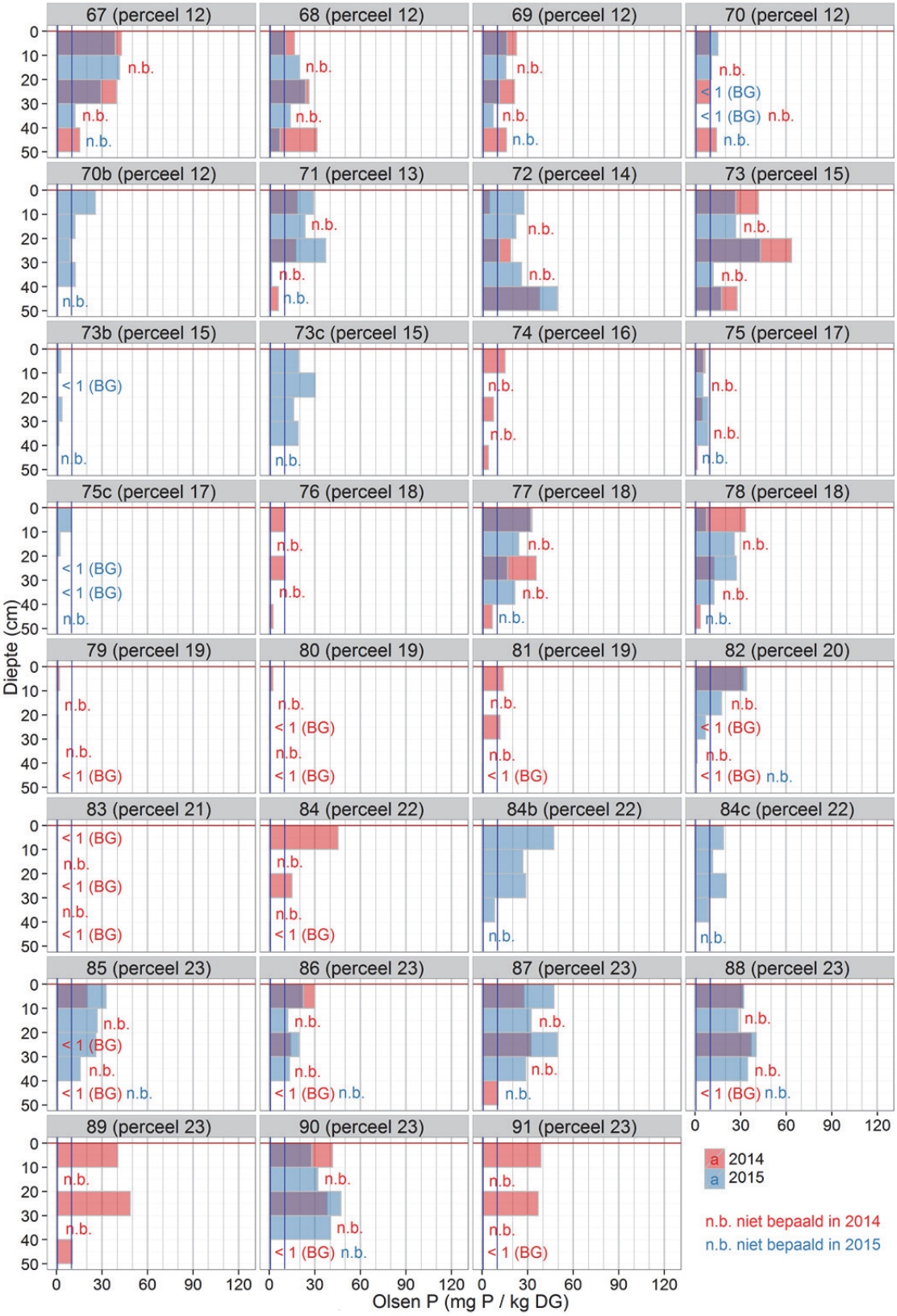
Indien men dus percelen wil gaan afgraven of uitmijnen (wat uiteraard betrekking heeft op de P-rijkere percelen), is het aangewezen om in de percelen waar veel ruimtelijke variatie werd vastgesteld eerst bijkomende bodemanalyses te doen met korte afstanden tussen de stalen, zodat meer in detail bepaald kan worden hoe diep elk van de stukken dient afgegraven te worden om een gewenst P-niveau te bereiken.



Figuur 45 Olsen P concentratie op verschillende dieptes (in mg P/kg droge bodem). Vergelijking van de Olsen P-waarden gemeten tijdens het verkennend bodemonderzoek van 2014 en het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015 (Deel I: percelen 1 tot 6). ST = staalcode, P = perceelnummer). Indien er blauwe en rode balken overlappen, zijn er zowel in 2014 (rood) als in 2015 (blauw) stalen geanalyseerd. Zie figuur 43 voor de ligging van de stalen en van de percelen. De bruine horizontale lijn geeft het maaiveld niveau. De blauwe verticale lijnen geven het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland (0.5 – 10 mg / kg). BG: bepaalbaarheidsgrens (= 1 mg Olsen P / kg). N.b.: niet bepaald. Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen.



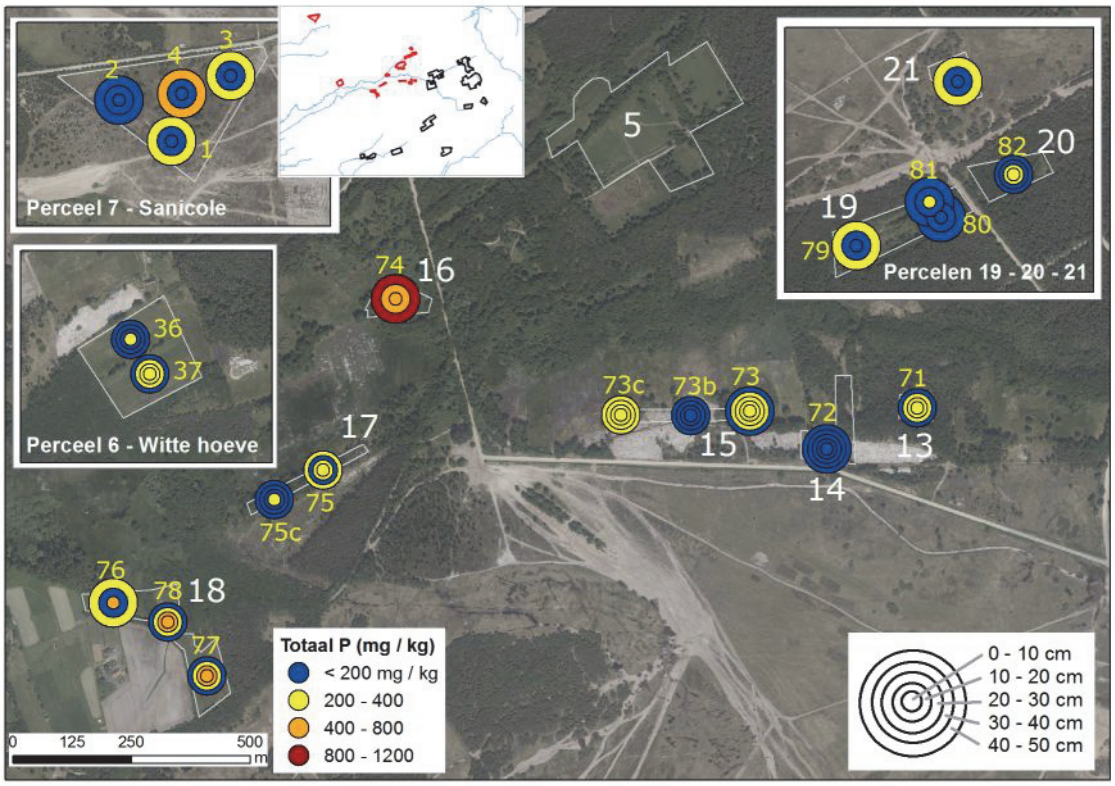
Figuur 46 Olsen P concentratie op verschillende dieptes (in mg P/kg droge bodem). Vergelijking van de Olsen P-waarden gemeten tijdens het verkennend bodemonderzoek van 2014 en het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015 (Deel II: percelen 7 tot 11). ST = staalcode, P = perceelnummer). Indien er blauwe en rode balken overlappen, zijn er zowel in 2014 (rood) als in 2015 (blauw) stalen geanalyseerd. Zie figuur 43 voor de ligging van de stalen en van de percelen. De bruine horizontale lijn geeft het maaiveld niveau. De blauwe verticale lijnen geven het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland (0.5 – 10 mg / kg). BG: bepaalbaarheidsgrens (= 1 mg Olsen P / kg). N.b.: niet bepaald. Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen.



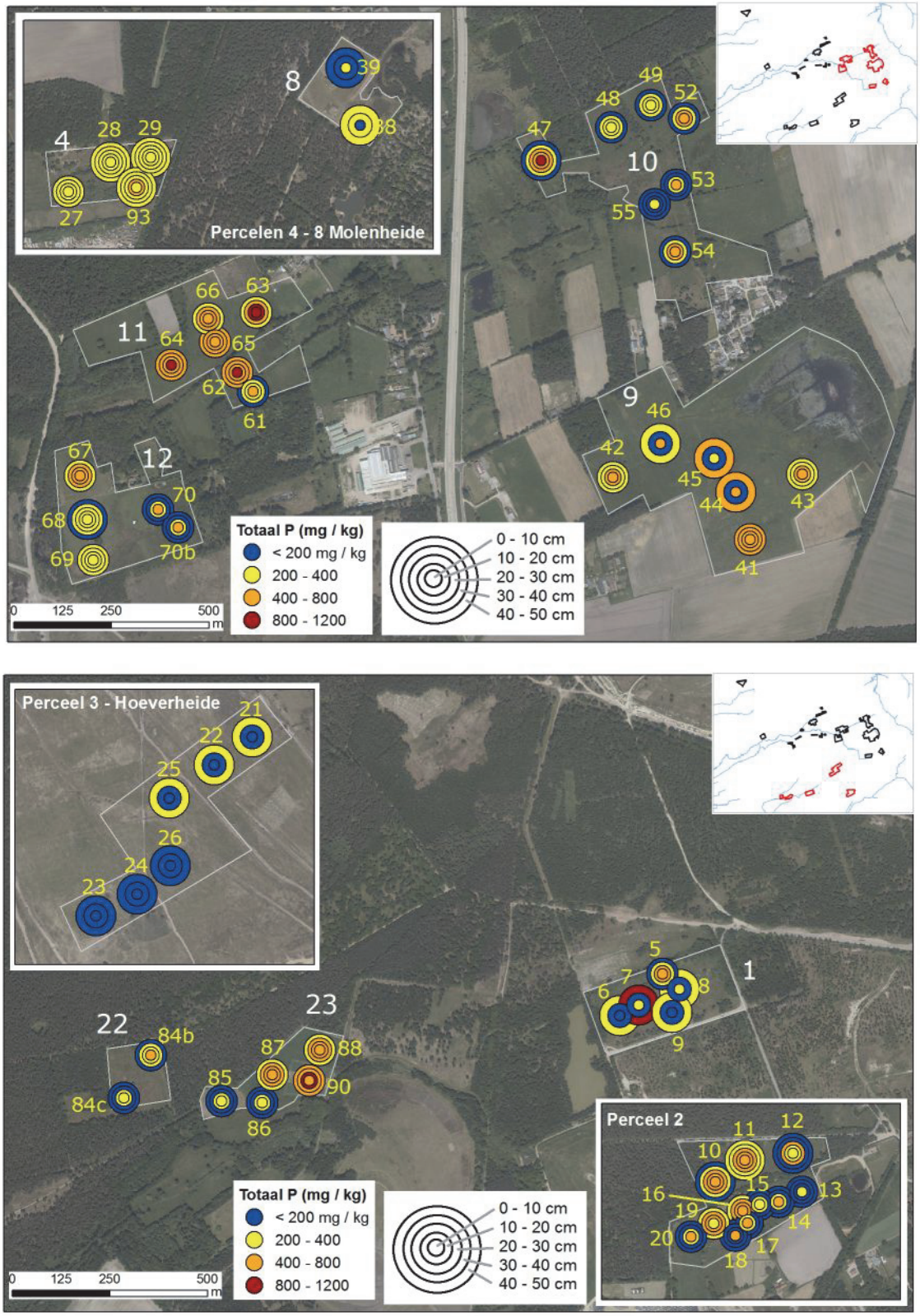
Figuur 47 Olsen P concentratie op verschillende dieptes (in mg P/kg droge bodem). Vergelijking van de Olsen P-waarden gemeten tijdens het verkennend bodemonderzoek van 2014 en het gedetailleerd bodemonderzoek in 2015 (Deel III: percelen 12 tot 23). ST = staalcode, P = perceelnummer). Indien er blauwe en rode balken overlappen, zijn er zowel in 2014 (rood) als in 2015 (blauw) stalen geanalyseerd. Zie figuur 43 voor de ligging van de stalen en van de percelen. De bruine horizontale lijn geeft het maaiveld niveau. De blauwe verticale lijnen geven het doelbereik voor goed ontwikkeld heischraal grasland (0.5 – 10 mg / kg). BG: bepaalbaarheidsgrens (= 1 mg Olsen P / kg). N.b.: niet bepaald. Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen.

6.6.3.2 *Totaal P*

De concentraties totaal P komen maar deels overeen met de concentraties biobeschikbaar P (Olsen). Dat is niet echt onverwacht omdat de effectieve beschikbaarheid van fosfor van veel factoren afhangt, zoals bv. de calcium-, ijzer- en aluminiumconcentraties (figuren van de totale concentraties van deze elementen worden in bijlage II gegeven). Vooral in perceel 16 en in het centrale deel van perceel 11 werden verhoogde totaal fosforconcentraties gemeten, terwijl de concentraties Olsen P op die locaties laag tot matig waren. Het gaat hier steeds om vrij vochtige zones, met meer organisch materiaal en vrij veel ijzer (en ook aluminium in perceel 11).



Figuur 48 Totaal P-gehalte in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters. Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole.



Figuur 49 Totaal P-gehalte in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters.Boven: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. Onder: Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.

6.6.3.3 Overige parameters

Naast P werden er verschillende andere variabelen gemeten in de bodemstalen. Het idee hierachter was om op basis van het onderzoek naar differentiërende variabelen voor het voorkomen van heischrale graslanden (paragraaf 4.3.3) bijkomende parameters te kunnen gebruiken voor het afbakenen van kansrijke percelen voor herstel en ontwikkeling. Echter, de abiotische bodemkenmerken van heischraal grasland bleken vrij weinig te verschillen van die van aangrenzende vegetatietypes en zeker met heide was er zeer veel overlap. Het is dus niet mogelijk om aan de hand van één of meerdere parameters duidelijk te zeggen in welke percelen heide en in welke percelen heischraal grasland zal ontwikkelen.

Wat we wel konden doen was de ranges van de verschillende bodemvariabelen zoals aangetroffen in de toplaag (0-10 cm) van de goed ontwikkelde heischrale graslanden (zie tabel 14) vergelijken met wat we aantroffen in de toplaag van de te onderzoeken percelen. Naast de uitvoerige studie van Olsen P, zoals beschreven in voorgaande paragrafen, hebben we de waarden voor organisch materiaal, pH, Kjeldahl N, CEC en basenverzadiging en Al/Ca (we hadden geen textuurdata voor de percelen) van onze studiepercelen dus vergeleken met de referenties.

Het merendeel van de waarden gemeten in de toplaag (0-10 cm) viel binnen de ranges van tabel 14 en er waren slechts sporadisch locaties die (iets) buiten de vooropgestelde ranges vielen (3 locaties voor pH, 1 locatie voor organisch materiaal, 3 locaties voor N en 3 locaties voor Al/Ca, zie verder). Het betreft immers beperkte overschrijdingen en de “outliers” zijn verspreid over de verschillende percelen. Er zijn dus geen gegronde aanwijzingen om bepaalde percelen op basis hiervan aan te duiden als ongeschikt voor herstel/ontwikkeling van heischraal grasland. We beschouwen Olsen P daarom als de belangrijkste indicator in onze dataset voor het bepalen van de kwaliteit van de te bestuderen percelen.

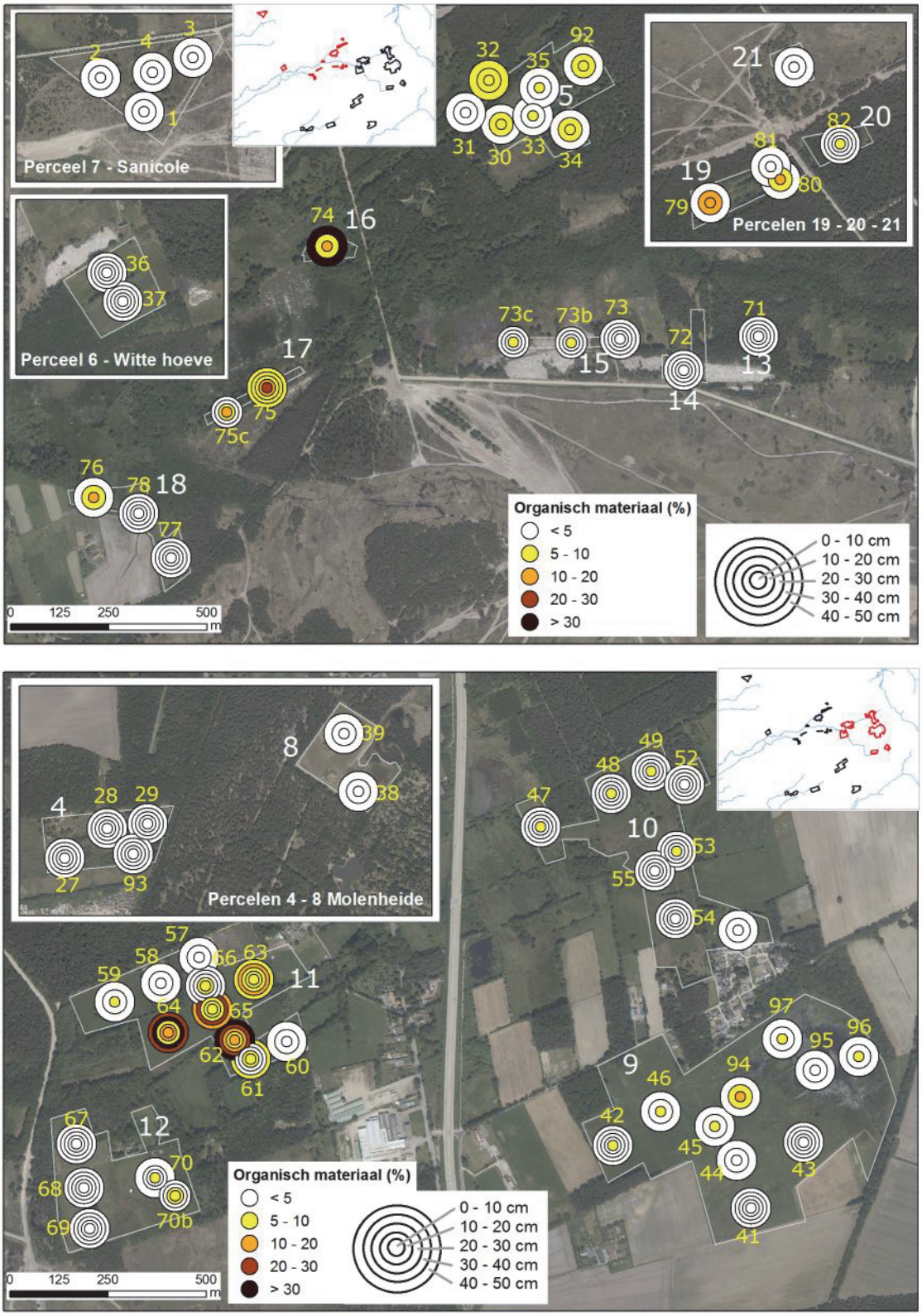
In wat volgt bespreken we kort het verloop van de belangrijkste gemeten variabelen met toenemende diepte en worden eventuele afwijkende waarden toegelicht.

6.6.3.3.1 Organisch materiaal

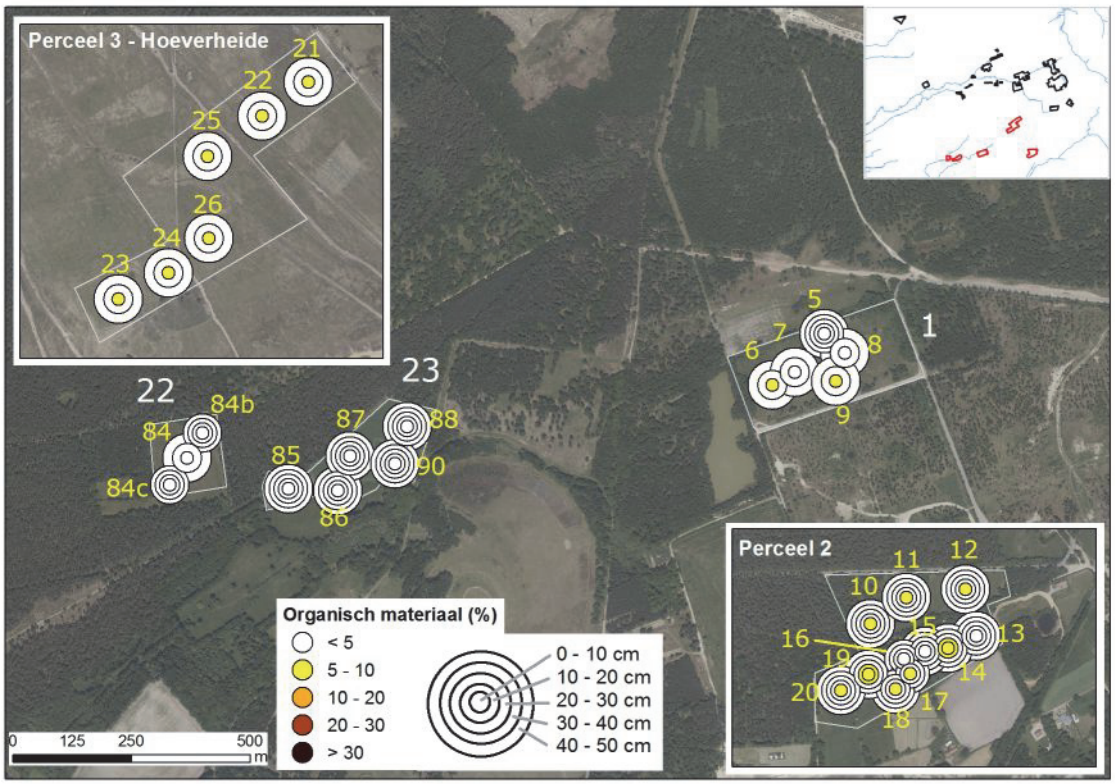
De resultaten tonen dat meeste percelen vrij arm aan organisch materiaal zijn. Ze vallen meestal binnen het doelbereik voor heischrale graslanden (range waargenomen in referentielocaties, zonder outliers: 1 tot 7 % organische koolstof, d.w.z. ongeveer 1.8 tot 13 % organisch materiaal). Enkel percelen 11, 16, 17 en 19 zijn plaatselijk rijker aan organische stof tot venig (figuur 51). Zoals verwacht neemt in de graslandbodems het gehalte organisch koolstof af met toenemende diepte, behalve in percelen 11 en 16 waar er juist op grote diepte meer organisch materiaal in de bodem zit.

De ruimtelijke variatie in organisch materiaal lijkt vrij beperkt (locaties die 2 keer werden bemonsterd vertoonden meestal zeer gelijkaardige organisch materiaalgehalten, zie bijlage X). De hoge waarden in percelen 11 en 17 in 2014 werden bevestigd door de staalname in 2015.

Het detail van de resultaten per diepte wordt in de figuren hieronder getoond. Digitale bijlage 4 bevat daarnaast ook histogrammen per diepte met vermelding van het doelbereik voor heischraal grasland.



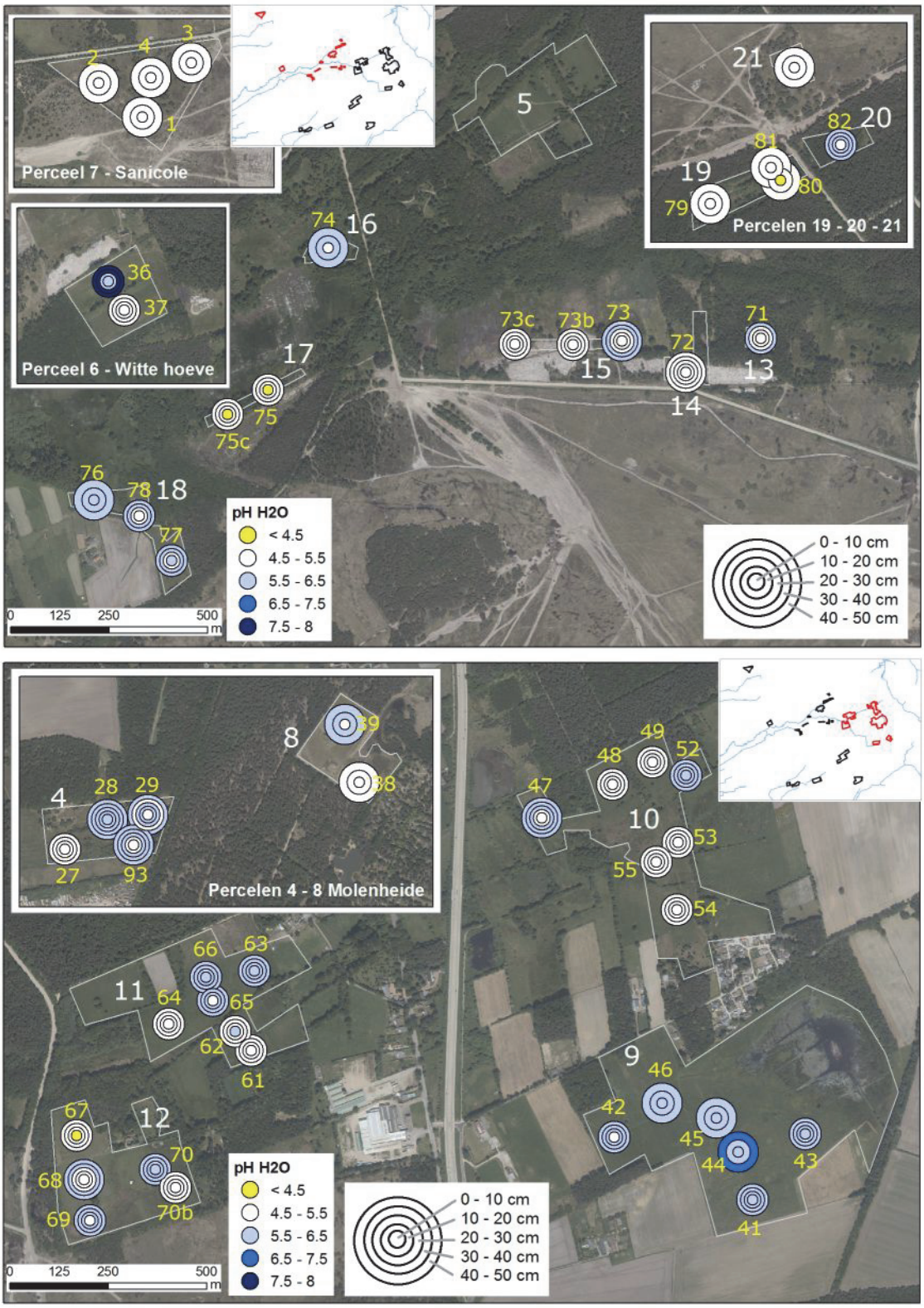
Figuur 50 Organische stof gehalte op verschillende dieptes (in %, gemiddelde waarde over 2014 en 2015). Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide.



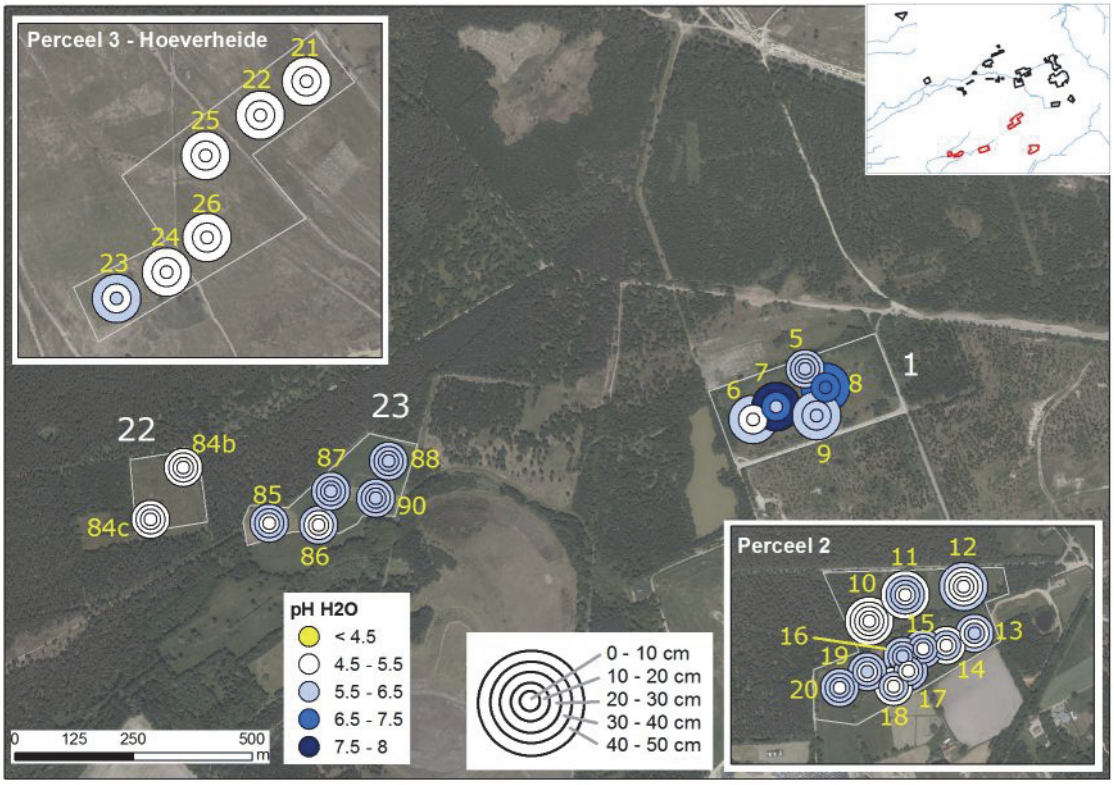
Figuur 51 Organische stof gehalte op verschillende dieptes (in %, gemiddelde waarde over 2014 en 2015). Op een paar uitzonderingen na wordt elk staal samengesteld uit 5 substalen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.

6.6.3.3.2 pH

Omdat de patronen voor pH(H_2O) en pH($CaCl_2$) zeer gelijkaardig zijn (R^2 = 0.88; N = 307), tonen we enkel de data voor pH(H_2O). De pH(H_2O) ligt voor de meeste stalen tussen 4 en 6, wat overeenkomt met de range voor goed ontwikkelde heischrale graslanden (tabel 14), en stijgt in alle percelen lichtjes met toenemende diepte. Enkel in perceel 6 (Witte Hoeve), op locatie 36 en plaatselijk in perceel 1 (dichtbij Remo) is de pH aan de hoge kant met waarden tot pH = 7 en in perceel 3 (Hoeverheide) is de pH in de toplaag laag, met waarden rond 3.5. Verder zien we geen uitschieters of opvallende pH-waarden in de dataset.



Figuur 52 Resultaten voor pH(H_2O) in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide.



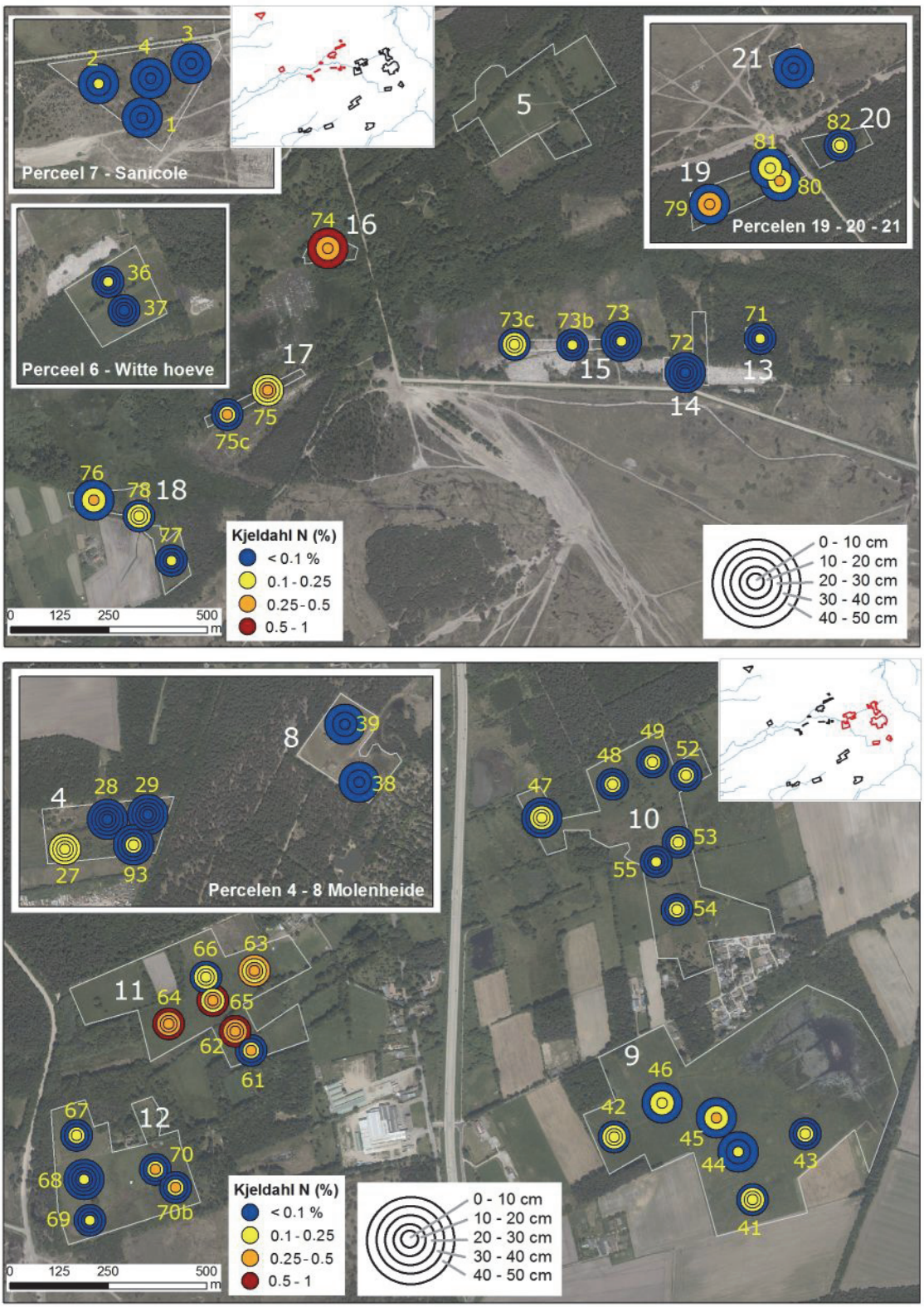
Figuur 53 Resultaten voor pH(H_2O) in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.

6.6.3.3.3 Kjeldahl stikstof

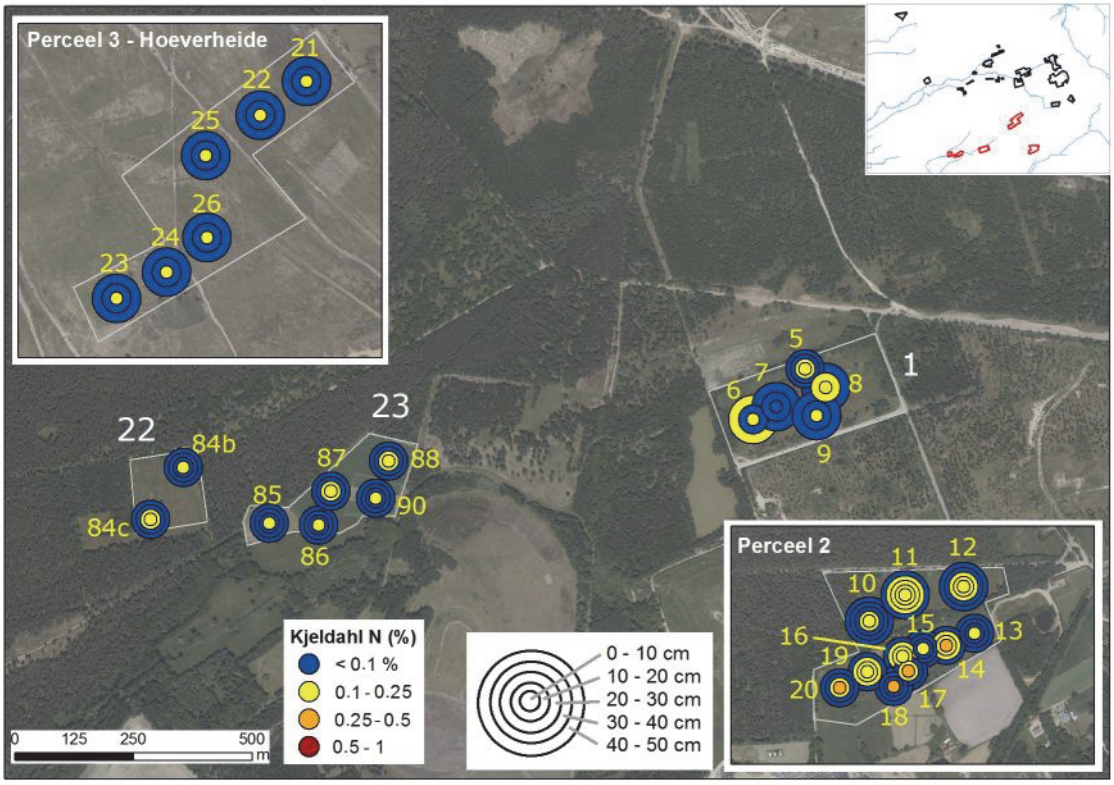
Stikstofmetingen uitgevoerd volgens de Kjeldahl-methode geven de som weer van organische stikstof en ammonium(NH_4^+)-N. Aangezien de hoeveelheid organische N afhankelijk is van de hoeveelheid organisch materiaal aanwezig in de bodem (figuur 51), is er vaak een sterke correlatie tussen die twee. Dat is ook in deze studie het geval, met een correlatiecoëfficiënt van $R^2 = 0.88$ (N = 307).

Met uitzondering van perceel 11 (locaties 62, 63, 64, 65 in het noorden van het perceel) en perceel 16, neemt het percentage Kjeldahl N in de bodem af met toenemende diepte. De hoge waarden op grote diepte in percelen 11 en 16 komen overeen met een hoog percentage organische stof op die plekken.

Alle onderzochte locaties vallen binnen de range voor N Kjeldahl in de toplaag van goed ontwikkelde heischrale graslanden (0.07 tot 0.4 %).



Figuur 54 Kjeldahl N in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole . Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide.



Figuur 55 Kjeldahl N in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.

6.6.3.3.4 Basenverzadiging en kationenuitwisselingscapaciteit

De basenverzadiging (BV) geeft een indicatie van hoeveel kationenuitwisselingsplaatsen er effectief bezet zijn door basische kationen. Een hoge BV gekoppeld aan een hoge kationenuitwisselingscapaciteit (CEC, veel uitwisselingsplaatsen)wijst dus op een hoge beschikbaarheid van Ca, K, Mg en Na in de bodem en een lage BV en/of een lage CEC op een lagere beschikbaarheid.

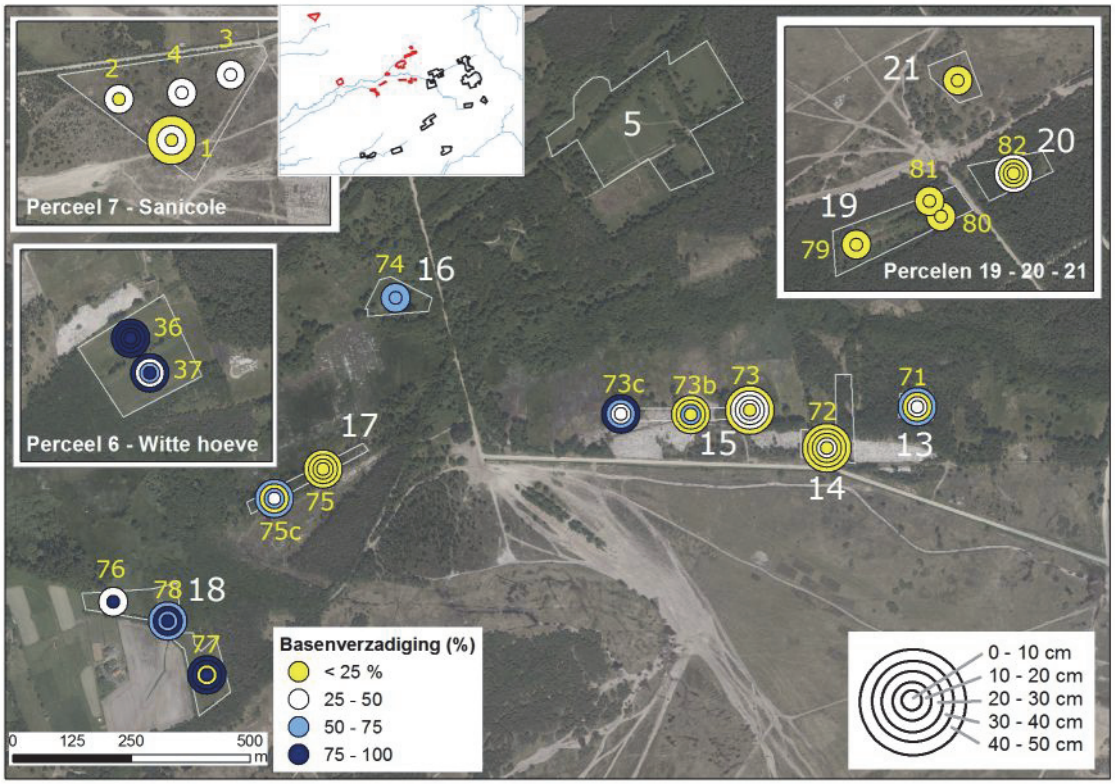
Enerzijds weten we dat een heel lage BV vooral geassocieerd wordt met voedselarme en zure vegetaties, zoals heide, anderzijds is een hoge BV geassocieerd met voedselrijke habitattypes. Voor heischrale graslanden is een intermediaire BV optimaal.

De gemiddelde waarde voor BV aangetroffen in de geselecteerde goed ontwikkelde heischrale graslanden in Vlaanderen was BV = 38 %, waarbij de helft van de punten tussen 15 en 50 % lagen (1^{e} en 3^{e} kwartiel). Anderzijds kwamen er in diezelfde dataset waarden voor tussen 5 en 100 %. Op basis hiervan kunnen we veronderstellen dat een BV in de range van 15-50 % optimaal is, maar dat een hogere of lagere BV op zich geen voldoende reden is om een perceel als ongeschikt aan te duiden voor de ontwikkeling van heischraal grasland.

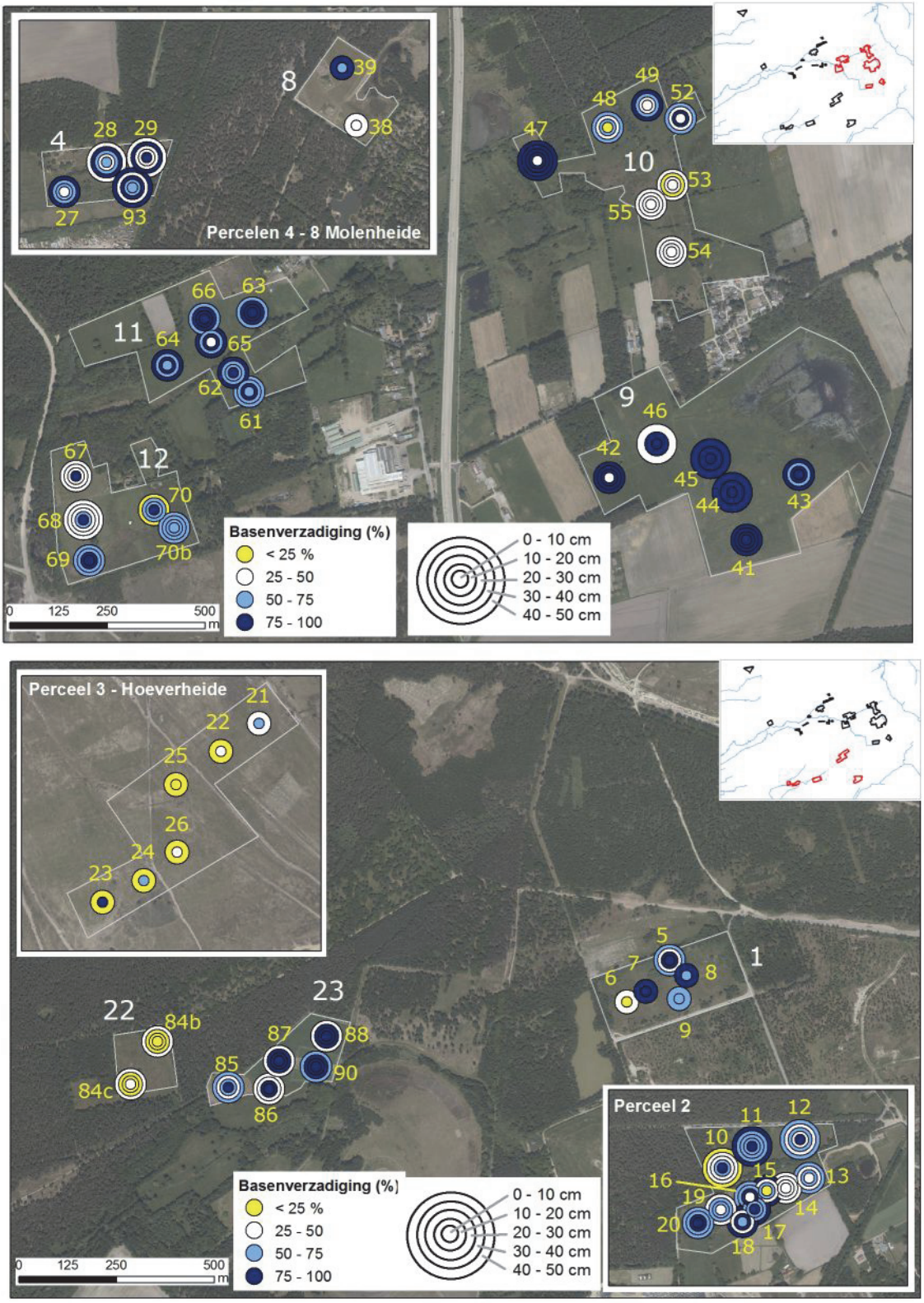
Er is geen vaste trend in het verloop van de BV met toenemende diepte. In sommige percelen neemt ze toe, in andere neemt ze af, in weer andere is er helemaal geen patroon. Wat wel opvalt uit de figuur is dat de percelen die we op basis van Olsen P als meest geschikt voor de ontwikkeling van heischraal grasland hadden aangeduid ook de laagste BV hebben van de te onderzoeken percelen (percelen 1, 3, 7, 8, 16, 17, 19, 20 21). Percelen 14 en 22 hebben eveneens een relatief lage BV (< 50%), maar bevatten meer plant-beschikbare P dan de meest kansrijke percelen.

Omdat de BV niet los staat van de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) (het aantal beschikbare basen hangt immers af van de combinatie van het percentage aan beschikbare plaatsen dat met basen gevuld is en het aantal

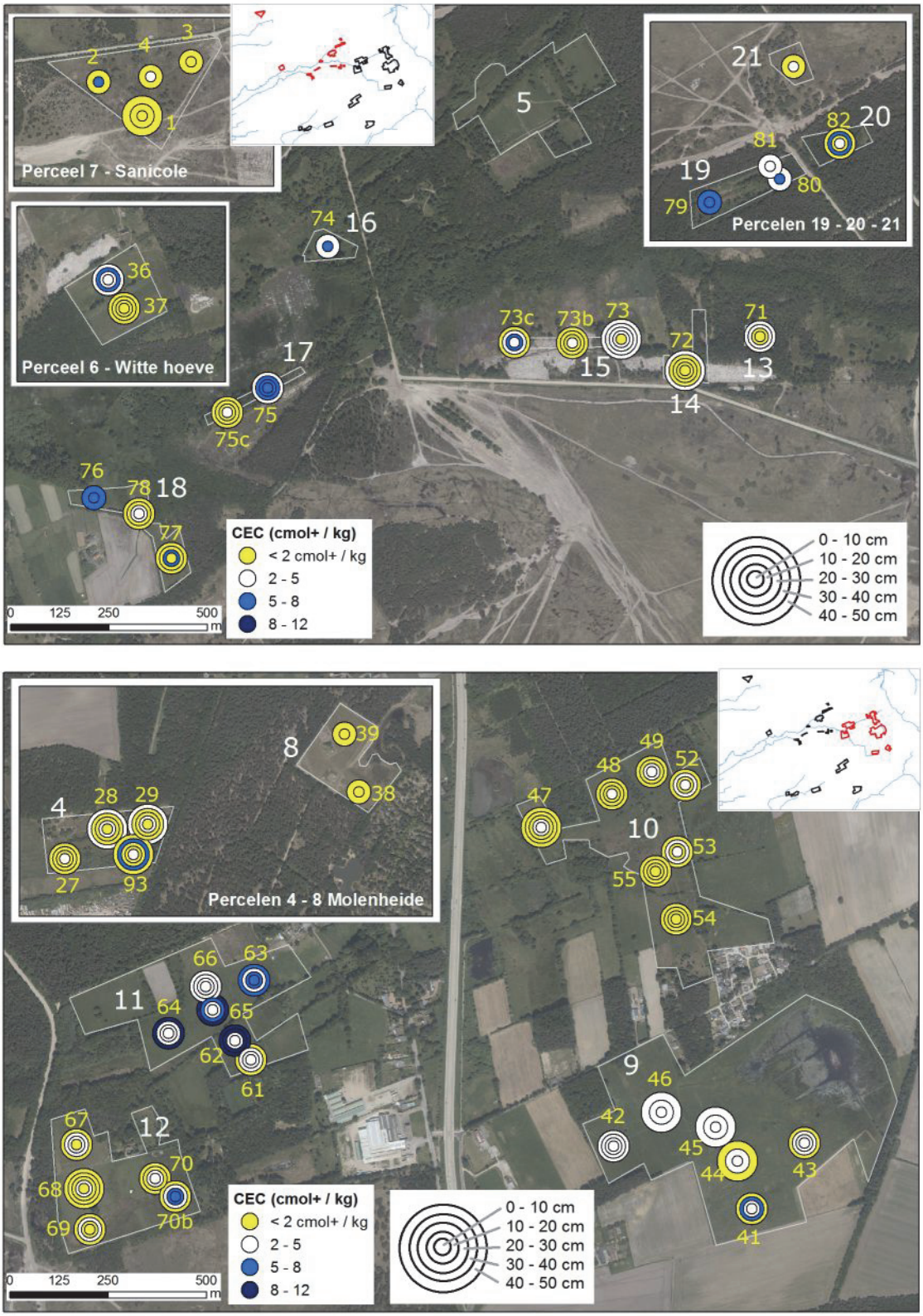
uitwisselingsplaatsen dat er is) is het vooral de combinatie van een hoge BV én een hoge CEC die tot een mineralenrijke situatie zorgt. Het is vooral het geval voor percelen 9 en 11, en perceel 4 op locatie 93. De CEC van een bodem hangt samen met zijn minerale samenstelling (aanwezigheid van kleimineralen) en organische stofgehalte. Hier merken we dat de bodemstalen die rijk zijn aan organische stof ook een hogere CEC vertonen: dit is het geval op locaties 80, 79 (perceel 19), 16 (perceel 16), 75 (perceel 17), 76 (perceel 18), 62, 63, 64, 65 (perceel 11) en 18 (perceel 2).



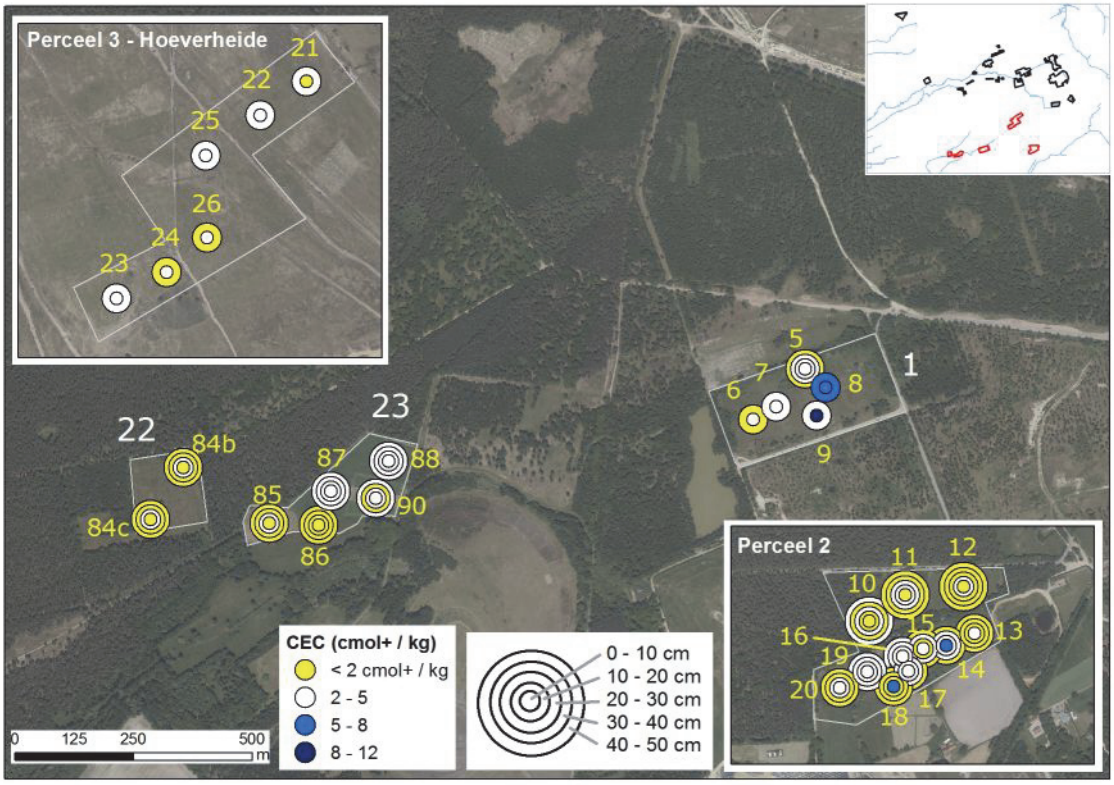
Figuur 56 Basenverzadiging in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole.



Figuur 57 Basenverzadiging in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide. Onder: Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.



Figuur 58 Kationenuitwisselingscapaciteit in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide.



Figuur 59 Kationenuitwisselingscapaciteit in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters (bv. locatie 1 in Sanicole, perceel 7 is enkel op 0-10, 20-30 en 40-50 cm geanalyseerd, locatie 70b aan de Katershoeve is op 0-10, 10-20, 20-30 en 30-40 cm geanalyseerd). Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.

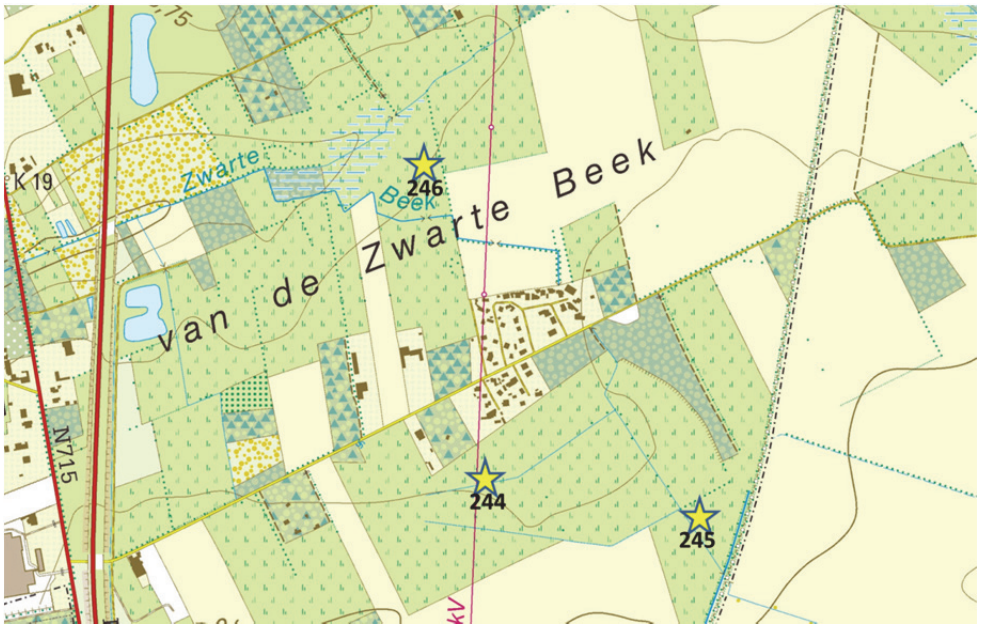
6.7 Grondwaterkwantiteit en -kwaliteit

Met het oog op het opvolgen van de hydrologie van een aantal referentiesituaties van heischraal grasland en tevens voor een aantal kandidaat herstellocaties voor heischraal grasland in de vallei van de Zwarte Beek, werden in 2014 een zestal piëzometers geplaatst in het gebied.

Drie zijn geplaatst ten oosten van de Noord-Zuid verbinding in de omgeving van het Zwart Water (figuur 60), op locaties waar mogelijk herstel diende plaats te vinden (op 24/4/2014)

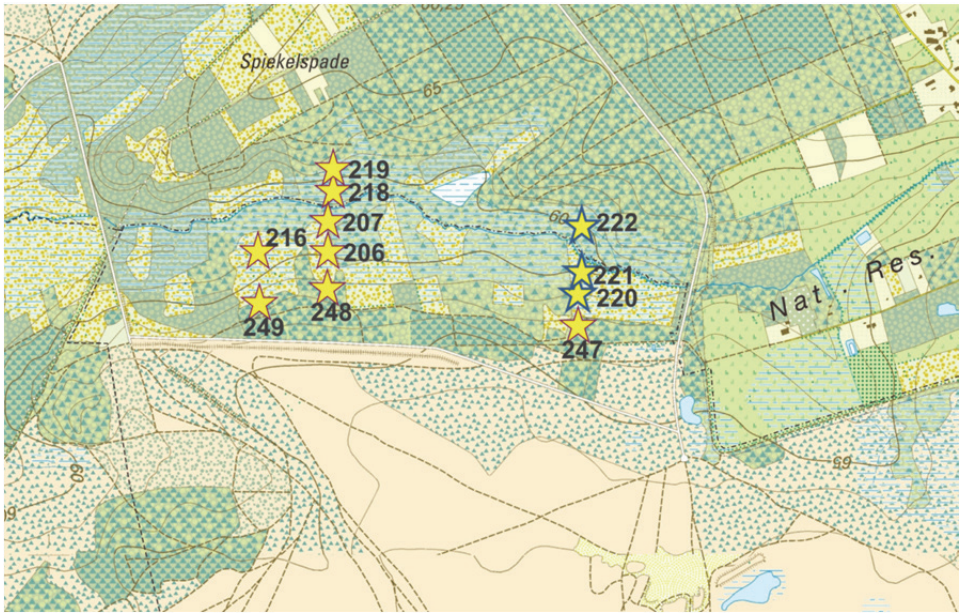
In alle nieuw geplaatste meetlocaties werden dataloggers geïnstalleerd die dagelijks voor een peilmeting zorgden.

Op 5 november 2015 werden de zes locaties bemonsterd voor een chemische analyse van het grondwater.



Figuur 60 Piëzometerlocaties in de omgeving van het Zwart Water (mogelijke herstellocaties)

Drie meetlocaties werden geïnstalleerd aan de zuidrand van de vallei van de Zwarte Beek op het militaire domein ter hoogte van Spiekelspade (figuur 61) op locaties met vrij goed ontwikkelde referentiesituaties (op 24/7/2014).



Figuur 61 Piëzometerlocaties in de omgeving van Spiekelspade (referentiesituaties)

Tabel 20 Resultaten van de chemische analyse van grondwater in zes piëzometers op 5/11/2015

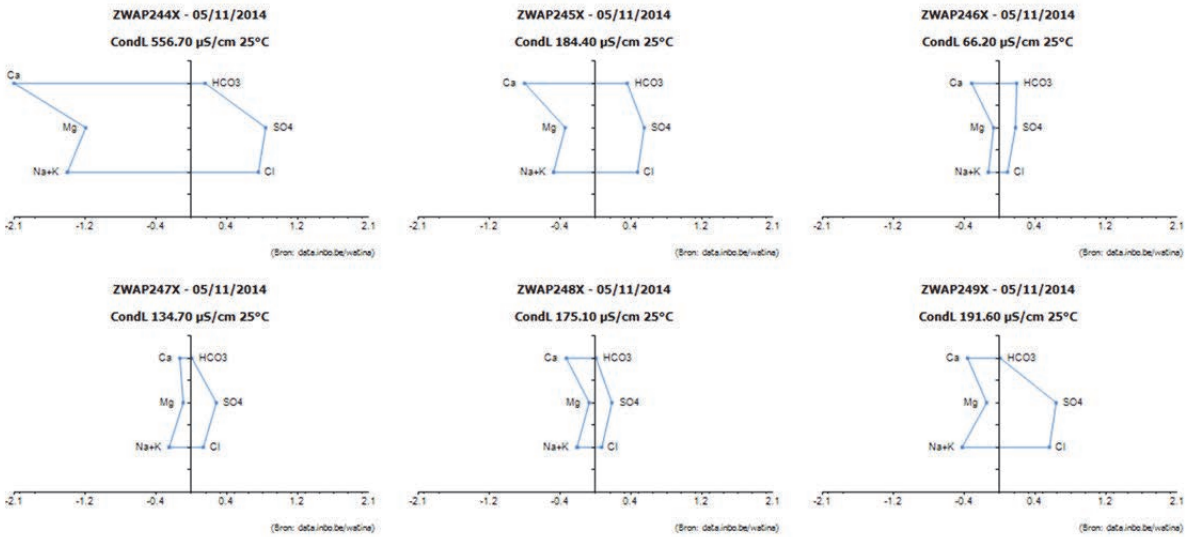
Datum	Meetpunt Code	CondF (µS/cm 25°C)	CondL (µS/cm 25°C)	pHF	pHL	HCO3 (mg/l)	N-NO2 (mg/l)	P-PO4 (mg/l)	N-NO3 (mg/l)	N-NH4 (mg/l)	SO4 (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Fe*tot* (mg/l)	EN (%)
05/11/2014	ZWAP244	564	557	5,5	5,7	9,8	0,015	0,015	37,886	0,085	41,7	27,8	18,6	25,0	41,6	15,0	0,18	2,70
	ZWAP245	186	184	5,2	5,4	22,5	0,015	0,015	0,250	0,040	27,3	17,4	8,4	4,9	16,6	4,3	0,51	7,91
	ZWAP246	*70*	*66*	*5,2*	*5,3*	*12,1*	*0,015*	*0,015*	*0,116*	*0,085*	*8,9*	*3,2*	*2,1*	*1,6*	*6,6*	*0,9*	*1,59*	***10,37***
	ZWAP247	*145*	*135*	*4,3*	*4,2*	*0,3*	*0,015*	*0,015*	*6,333*	*0,040*	*14,0*	*5,0*	*2,3*	*6,2*	*2,7*	*1,2*	*0,31*	***-27,65***
	ZWAP248	*172*	*175*	*4,2*	*4,1*	*0,3*	*0,015*	*0,015*	*12,353*	*0,040*	*9,2*	*2,6*	*1,9*	*5,1*	*6,9*	*0,9*	*0,19*	***-28,41***
	ZWAP249	*191*	*192*	*4,3*	*4,2*	*0,3*	*0,015*	*0,015*	*2,767*	*0,040*	*31,6*	*20,6*	*9,2*	*1,5*	*7,5*	*1,9*	*0,85*	***-18,20***

Daaruit blijken een aantal problemen. Om te beginnen is de afwijking in elektro-neutraliteit van 4 van de zes stalen abnormaal hoog. Normaal moet die tussen de +/- 5 à 10 % liggen. Bij vier stalen is dat hoger tot veel hoger. Uit jarenlange ervaring met chemische analysen van het grondwater in de omgeving van de Zwarte beek is echter duidelijk geworden dat dit fenomeen zich courant voordoet en niet noodzakelijk hoeft te wijzen op onbetrouwbaarheid van het resultaat. Alleen is enige terughoudendheid bij gebruik van de analysen aangewezen.

In de omgeving van het Zwart Water wordt in één meetlocatie uitermate hoge concentraties nitraat gemeten. Het gaat om de meest westelijke meetlocatie daar (244). Mede als gevolg daarvan is ook de elektrische geleidbaarheid voor dat staal uitzonderlijk hoog (toch voor dit deel van Vlaanderen). Bovendien stroomt in het gebied drainagewater (met hoge elektrische geleidbaarheid) binnen afkomstig van intensief bemeste landbouwpercelen ten oosten van het fietspad (zie 6.8.5, perceel 9).

Verbazingwekkend zijn de hoge nitraatconcentraties in de referentielocaties voor heischraal grasland. Dat de waarden daar systematisch hoger zijn dan detectielimiet is ongewoon. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat de terreinen recent hersteld werden als grasland, waarbij resterend strooisel sterk mineraliseert waarbij nitraat kan vrijgesteld worden, maar ook de aanwezigheid van naaldhoutaanplantingen in de onmiddellijke omgeving speelt mogelijks een rol. Die aanplantingen vangen immers veel meer atmosferische stikstofdepositie in dan grasland of loofbos. Deze ingevangen droge depositie vloeit dan af naar het grondwater onder de vorm van nitraten. Het fenomeen wordt op verschillende plaatsen in Vlaanderen vastgesteld in het grondwater in en rond naaldhoutaanplantingen die op geen enkele wijze door andere menselijke activiteiten beïnvloed zijn.

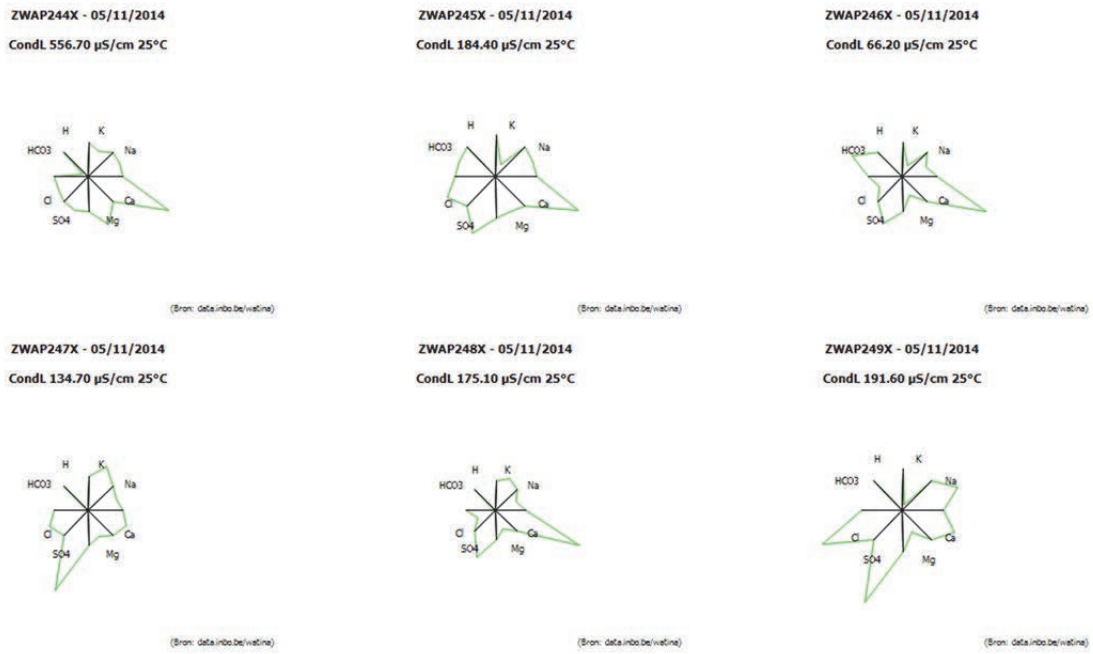
Uit de Stiff diagrammen (figuur 62) blijkt duidelijk dat alle stalen een zgn. sulfaatbuikje vertonen. Onder natuurlijke omstandigheden zou dat niet zichtbaar zijn. De Stiff diagrammen zouden dan een zandloperprofiel hebben en dus ter hoogte van het middensegment zowel voor magnesium als voor sulfaat ingesnoerd zijn. Dat is niet het geval. Naar alle waarschijnlijkheid is dit het gevolg van denitrificatie in de bodem waarbij inspoelend nitraat wordt omgezet via ijzersulfide (waar de lokale afzettingen erg zijn). Waarbij sulfaat wordt vrijgezet en nitraat gereduceerd wordt tot een gas (lachgas N_2O) dat verdwijnt naar de atmosfeer.



Figuur 62 Stiff diagrammen voor het grondwater in de zes piëzometers voor de bemonstering op 5/11/2015

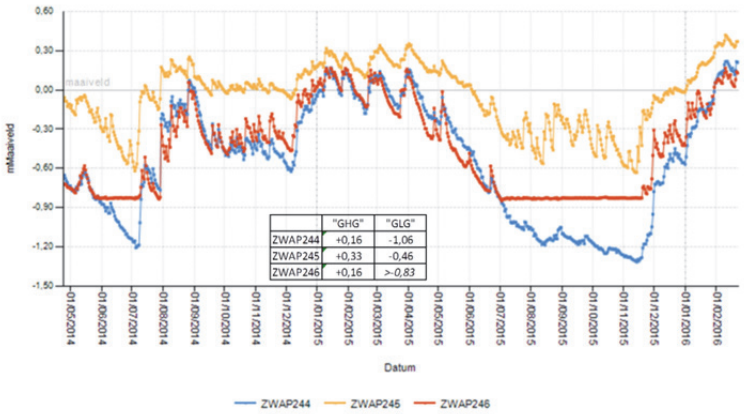
Een blik op de Maucha-diagrammen (figuur 63) laat snel zien dat er naast sulfaat ook een chlorideprobleem is, zowel als in het gedeelte rond het zwart water (met name op locatie 245), waar afstromend drainagewater van bemeste akkers passeert.

Het feit dat er ook verhoogde chloridegehalten te zien gemeten werden in de zone rond Spiekelspade (met name locatie 246 en zeker 249) is echter vreemd.



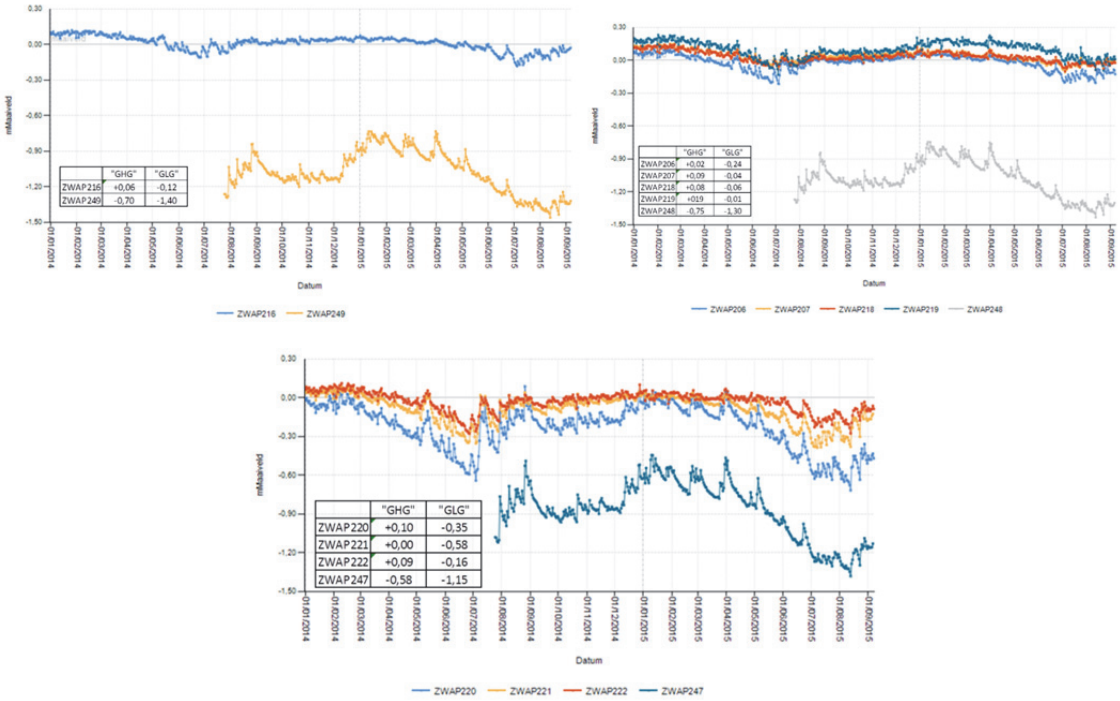
Figuur 63 Maucha diagrammen voor het grondwater in de zes piëzometers voor de bemonstering op 5/11/2015

Al bij al blijven de vervuilingen erg beperkt op nitraat na dat zorgwekkend te noemen is. Mocht het nitraatprobleem hier opgelost geraken en de bron van de chloride-inspoeling gestopt kunnen worden, dan lijkt alles met het grondwater in deze omgeving behoorlijk beloftevol naar herstel en behoud van heide en heischrale graslanden. Een elektrische geleidbaarheid die lager is dan 200-250 µS/cm, afwezigheid van nutriënten en lage ionenconcentraties in het algemeen zijn daarvoor noodzakelijk.



Figuur 64 Tijdreeks van grondwaterpeilen (in m t.o.v. het maaiveld) en inschatting van de karakteristieke grondwaterstanden in en om het Zwart Water

In figuur 64 wordt een overzicht gegeven van de grondwaterpeilen in de omgeving van het zwart water. Op locatie 245 staat het grondwaterpeil een groot deel van het jaar boven het maaiveld. Ook op de locaties 244 en 246 staat het peil gedurende een paar maanden boven het maaiveld. Deze locatie zijn bijgevolg ongeschikt voor de ontwikkeling van Heischrale graslanden.



Figuur 65 Tijdreeksen van grondwaterpeilmetingen (in m t.o.v. het maaiveld) en inschatting van karakterisitieke grondwaterstanden in de omgeving van Spiekelspade

In figuur 65 wordt een overzicht gegeven van de grondwaterpeilmetingen in het deel Spiekelspade. De meetlocaties 247-248 & 249 hebben GLG's en GHG die perfect geschikt zijn voor droge heischrale graslanden, alle andere meetlocaties vertonen karakterisiteke grondwaterstanden die perfect geschikt zijn voor de ontwikkeling van kleine zeggenvegetaties (7140_meso).

6.8 Potenties voor ontwikkeling en herstel van heischraal grasland

6.8.1 Fosfor als sturende parameter voor natuurherstel

Een aanzienlijk aandeel van fosfor in de bodem zit vastgebonden aan de bodemdeeltjes. In tegenstelling tot nitraat, die na omvorming van landbouw naar natuur voor een groot deel uitspoelt of vervluchtigt, kan het fosforgehalte dus lang hoog blijven, zelfs na het stopzetten van de aanvoer van nutriënten (Hejcman et al. 2007, Lamers et al. 2005).

Meerdere studies hebben echter aangetoond dat gebieden met een laag P-gehalte in de bodem, meer plantensoorten herbergen (o.a. Ceulemans et al. 2009, Gilbert et al. 2009, Janssens et al. 1998, Wassen et al. 2005). Hoge P waarden in de bodem blijken ook een belangrijk obstakel te zijn voor het herstel van soortenrijke voedselarme habitats (Lamers et al. 2009, Marrs et al. 1998, Sival et al. 2004).

In de context van hoge stikstofdepositie in Vlaanderen (en aangezien kalium in de meeste gevallen in voldoende mate kan vrijkomen uit de verwering van silicaten) is het terugdringen van fosforbeschikbaarheid wellicht het meest kansrijk om schrale habitattypen te herstellen (Smolders et al. 2006).

6.8.2 Verschralingsmaatregelen in P rijke gronden

Verschillende opties zijn mogelijk om een overmaat aan nutriënten af te voeren.

Tabel 21 geeft een vereenvoudigd overzicht van de voordelen en nadelen van enkele mogelijke inrichtings- en beheersmaatregelen, met een bijzondere aandacht voor P-verschraling.

Tabel 21 Voordelen en nadelen van enkele herstel- en beheersmaatregelen

Voordelen	Nadelen
Plaggen (toplaag bodem verwijderen)	
- Effectief voor stikstof (i.e. organisch materiaal afschrapen & afvoeren)	- Minder effectief voor fosfor dat op minerale bodemdeeltjes dieper in de bodem kan gebonden zijn - Zaadbank (grotendeels) verloren - Bodemleven aangetast
Afgraven (bovenste laag bodem verwijderen, vaak bouwvoor of dieper)	
- Effectief voor stikstof (organisch materiaal afgevoerd) en andere nutriënten - Werken eventueel met herstel van hydrologie te combineren - Kostenbesparing in vergelijking met langdurig beheer?	- Zaadbank verloren - Bodemleven aangetast - Zuurbuffercapaciteit verloren - Archeologisch/cultuurhistorisch erfgoed verloren - Landschap aangetast - Geomorfologische en bodemkundige patronen verstoord - Vervoer en afzet grote volumes grond
Diepploegen	
	- Alleen maar in ongeroerde profielen waarin de onderste lagen voedselarm zijn, niet van toepassing als veel doorslag van P - Diepwortelende plantensoorten die diepe P pools kunnen gebruiken en aan de oppervlakte terugbrengen?
Ophoging met aanbreng van nutriëntenarm materiaal	
- Effectief voor stikstof en andere nutriënten -Werken eventueel met herstel van hydrologie te combineren - Kostenbesparing in vergelijking met langdurig beheer?	- Aantasting geomorfologie en bodemprofiel - Landschap aangetast - Kosten vervoer – opslag? - Beschikbaarheid van voedselarm materiaal?
Maaien met afvoeren	
- Effectief voor stikstof en kalium die goed worden opgenomen in bovengrondse delen van de planten (Chardon & Sival 2003)	- Productie (en P-afvoer) neemt na verloop van tijd sterk af, verschraling zeer traag

Voordelen	Nadelen
Uitmijnen (bemesten zonder P-toediening + maaien en afvoeren)	
- Effectief om P in oplossing te verlagen - Geoogste gewas kan een landbouwkundige waarde hebben	- Uitmijnduur kan lang zijn - Beheerskosten - Risico's stikstofbemesting - Nulbemesting in natuurgebieden? - Kennishiaten effectiviteit voor natuurontwikkeling (zie verder)
Begrazen	
- Creëren van een structuurrijk landschap	- Herverdeling nutriënten, weinig tot geen afvoer, Pitrus wordt weinig gegeten, zodat die in vochtige tot natte omstandigheden gaat domineren
Immobilisatie P door Al- of Fe toediening (literatuurstudie in Chardon 2009)	
- Effectief om P in oplossing te verlagen - Goedkoop als recuperatiemateriaal wordt gebruikt	- Alleen maar voor P - Risico om verzuring bij het neerslaan van Fe- of Al-hydroxiden - Bijproducten worden vaak aangevoerd (als onder zout vorm: NO_3 of SO_4 anionen, zoals slib afkomstig uit waterzuivering: risico verontreiniging) - Dosis soms hoog om resultaten te verkrijgen
Immobilisatie door Ca toediening	
- Effectief om P in oplossing te verlagen	- Kennishiaten effectiviteit voor natuurontwikkeling

Op gronden met een sterke P-overmaat zijn afgraven en ophoping met nutriëntenarm materiaal doeltreffend om de P-beschikbaarheid te verlagen (o.a. Smolders et al. 2008). De effectiviteit van diepploegen blijft onduidelijk. Het uitmijnen en immobiliseren van P lijken veel belovende maatregelen te zijn om het P gehalte in oplossing (en dus het risico om uitspoeling) te verlagen (Smolders et al. 2008, van der Salm et al. 2009). Het is minder duidelijk of de streefwaarden voor plantbeschikbaar P in voedselarme vegetatietypen door deze maatregelen kunnen behaald worden. Voor zover bekend zijn experimenten met het vastleggen van P ten behoeve van natuurontwikkeling schaars. Nader onderzoek zal nodig zijn om de toepasbaarheid en de effectiviteit van P immobilisatie aan de praktijk te toetsen.

Voor de te onderzoeken percelen zal verder berekend worden hoe lang het (bij benadering) duurt om via uitmijning voldoende lage bio-beschikbare P-concentraties te bekomen. Ook wordt besproken hoe diep ze eventueel afgegraven zouden moeten worden.

6.8.3 Uitmijnen

Planten nemen tijdens de groei nutriënten op; door de biomassa te oogsten en af te voeren worden dus ook nutriënten afgevoerd. In veel situaties wordt door een recurrent maaibeheer met afvoer van het maaisel getracht om de nutriëntengehalten van de bodem naar omlaag te brengen. Een knelpunt voor fosforverschraling door een klassiek maaibeheer is dat de stikstofvoorziening snel een beperkende factor wordt voor groei, waardoor niet alleen de gewasproductie snel afneemt maar dus ook de afgevoerde fosforhoeveelheden na een paar jaar afneemt. Hierdoor verliest de techniek onder nulbemesting snel aan effectiviteit.

Om de opgehoopte fosfor efficiënter uit de bodem te halen, kan het uitmijnen een oplossing zijn. Daarbij wordt een gewas geteeld, waaraan alle voedingstoffen behalve P zodanig uitgebalanceerd toegediend worden zodat optimaal in de behoeften van de teelt wordt voorzien. Door een aangepaste bemesting (voornamelijk uit stikstof en/of kalium) kan de productie, en dus ook de fosfaatafvoer, langer hoog gehouden worden dan bij een klassiek maaibeheer. Het gaat hier dus om een landbouwteelt waarbij ook controle van de zuurgraad door bekalking, onkruidbestrijding en inzet van andere pesticiden horen om een optimale export van fosfor (en ook de andere, extra toegediende nutriënten) te bewerkstelligen. Tijdens het uitmijnbeheer kan er dus niet met biotisch herstel gestart worden.

Waar de fosforafvoer via klassiek maaibeheer tussen 10 en 15 kg P per hectare grasland bedraagt (bv. Oosterbaan et al. 2008, Sival et al. 2007), kan via uitmijnen in fosfaatrijke gronden vaak 30 tot 50 kg P / hectare per jaar

afgevoerd worden (Sival & Chardon 2004), maar zelfs wanneer er selectief bemest wordt met N en K, zal er na een tijd (bij lagere fosforconcentraties) toch een verlaging optreden in de P-afvoer (Schelfhout et al. 2015). Het precieze verloop van deze afname van P afvoer in de tijd is tot op heden niet goed gekend. In de latere fase van een uitmijnbeheer zal de kostprijs mogelijk ook stijgen door de lagere kwaliteit van het geproduceerde voeder.

Tot nu toe zijn veelbelovende resultaten verkregen bij uitmijnen met raaigras en N-en K-bemesting (van der Salm et al. 2009) en met raaigras en klaver en K-bemesting (Timmermans en van Eekeren 2012). Potproeven uitgevoerd door de Universiteit Gent bij verschillende bodem-P-niveaus tonen aan dat ook maïs, boekweit en luzerne interessante uitmijngewassen zouden kunnen zijn (ongepubl.). Met boekweit zou in bodems met beperkte P voorraad nog vrij veel fosfor afgevoerd kunnen worden.

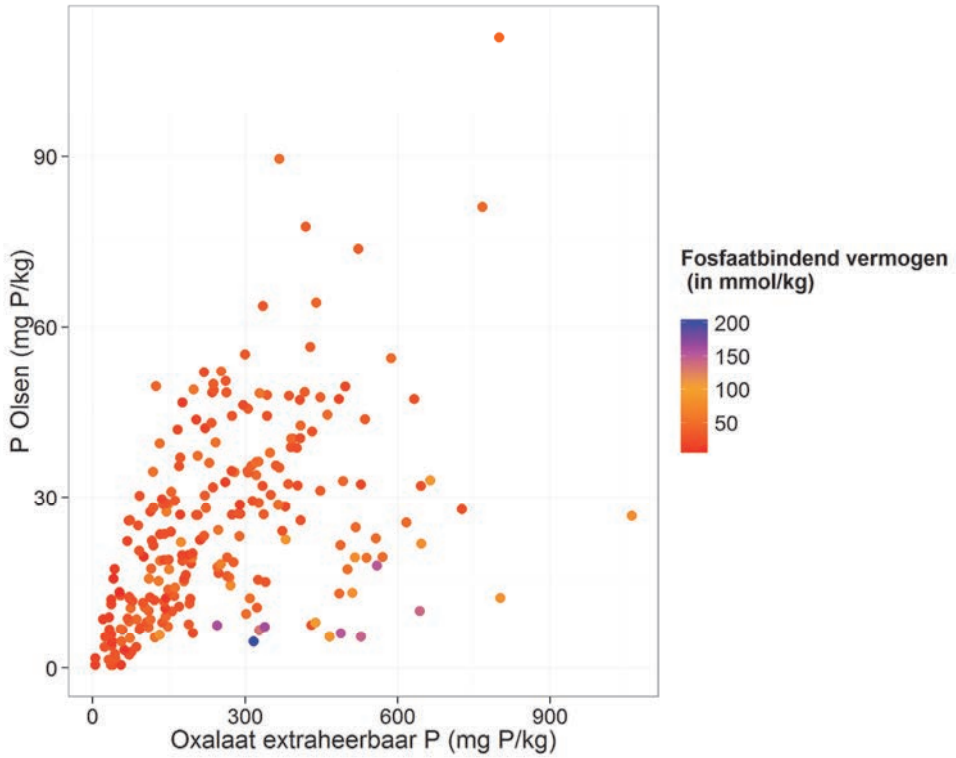
Bij uitmijnen wordt de grootste/snelste afname in fosforconcentratie in de bodemvocht gemeten, en vervolgens in de meest beschikbare P-fracties (Blake et al. 2003, Koopmans et al. 2004, van der Salm et al. 2009). Pas trager wordt een daling in minder beschikbare fracties waargenomen. Er zijn echter nog veel onzekerheden over de efficiëntie van de techniek, die nogal varieert volgens het bodemtype en de lokale condities (Timmermans et al. 2010) en nog niet bewezen is in lange termijn experimenten (Herr et al. 2011). Het inzetten van P-uitmijnen als natuurontwikkelingsmaatregel is dus nog geen evidentie.

6.8.3.1 Theoretische berekening van de uitmijnduur

Om de uitmijnduur te schatten wordt de fosforvoorraad in de bodem berekend en met de gewenste voorraad vergeleken. De op lange termijn plantbeschikbare stock fosfor omvat fosfaat in de bodemoplossing, fosfaat dat snel kan vrijkomen of mineraliseren uit anorganische en organische bodemfracties, maar ook meer stabiele organische componenten en fosfaat geadsorbeerd of sterker gefixeerd in Al, Fe of Ca-rijke verbindingen. We kwantificeren deze pool die ook traag-circulerende vormen van P bevat d.m.v. een extractie met ammoniumoxalaat en oxaalzuur (de zogenaamde oxalaat extraheerbaar fosfor).

De P-voorraad werd voor de bodemlaag 0 tot 30 cm berekend. Er werd van uit gegaan dat de planten het volume grond homogeen gebruiken en er werd geen rekening gehouden met de mogelijke toegang van de planten tot P pools buiten het bestudeerde volume grond. Bij de berekeningen werd een bodemdichtheid van 1,25 kg/l aangehouden.
De P-voorraad in de oxalaat extraheerbaar fractie in de bouwvoor werd vergeleken met de P-voorraad die bereikt moet worden om streefwaarden te halen van maximum 10, 15 en 25 mg plantbeschikbaar P / kg bodem (Olsen methode).

De relatie tussen oxalaat extraheerbaar P en Olsen P kan variëren afhankelijk van de bodemsamenstelling (textuur, gehalte aan aluminium, ijzer en calcium). Bij een bepaalde Olsen P concentratie vertonen de in de Zwarte beek geanalyseerde stalen met een hoger fosfaatbindend vermogen vaak een hoger gehalte aan oxalaat extraheerbaar P (figuur 66). Het fosforbindend vermogen van de stalen werd hier bepaald op basis van het gehalte aan oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium.



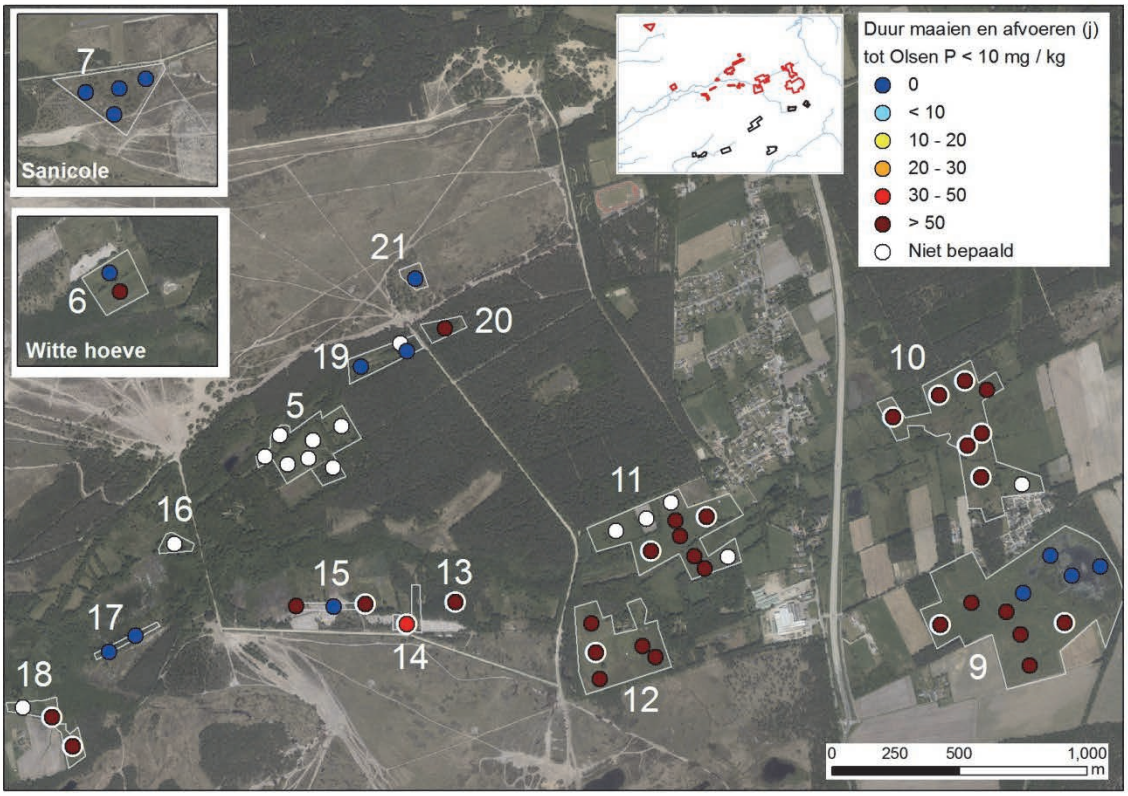
Figuur 66 Relatie tussen Olsen P en oxalaat extraheerbaar P voor de stalen genomen i.h.k.v. dit project (n = 240). Het fosfaatbindend vermogen van de bodem is berekend als de som van de molaire concentraties oxalaat extraheerbaar ijzer en aluminium.

Het precieze verloop van de afname van P afvoer in de tijd is tot op heden niet goed gekend, de berekening van de uitmijnduur nodig om dit doel te bereiken blijft dus nog grotendeels een theoretische oefening.

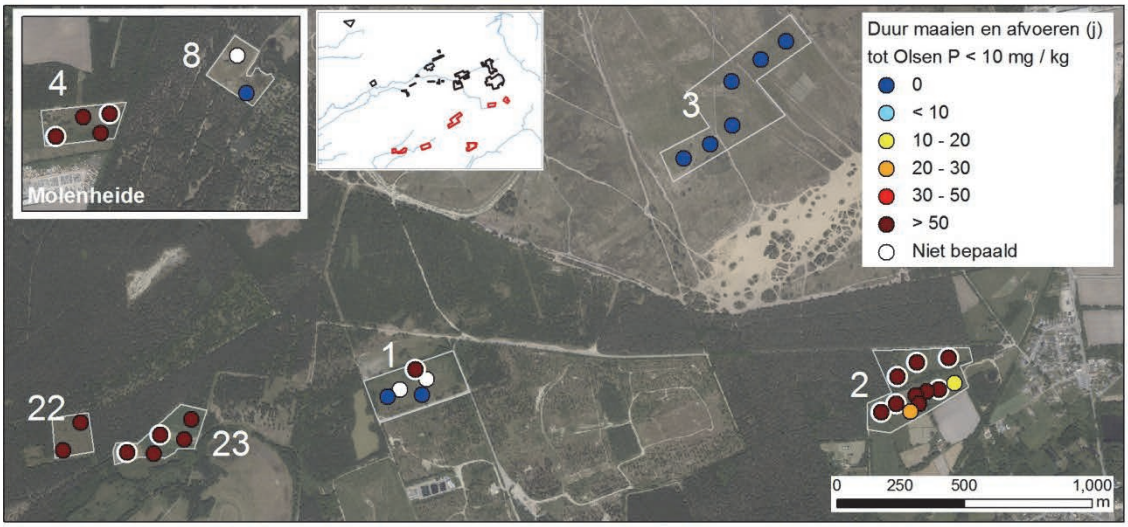
Op basis van de literatuurgegevens wordt de gemiddelde P-afvoer op 35 kg/ha.jaar geschat, een waarde die voor het uitmijnen met gras of met een mengsel van gras en klaver realistisch lijkt (in elk geval bij een vrij hoge P-toestand in de bodem in het begin van het proces). Er werd een theoretische berekening van de uitmijnduur uitgevoerd met een constante afvoer van 35 kg P/ha.jaar. In de eerste jaren zal de hoge fosforconcentratie in de bodem waarschijnlijk resulteren in een hogere fosforafvoer, na verloop van tijd zal het afnemende fosforgehalte in de bodem de groei van de gewassen beperken en zullen de biomassaproductie en de fosforafvoer afnemen. De gemiddelde P-afvoer bij maaien en afvoeren werd op 10 kg P /ha.j geschat.

Figuur 67 tot figuur 72 geven een indicatie van het aantal jaren nodig om een plantbeschikbaar P gehalte van maximum 10 (of 15 of 25) mg P/kg in de toplaag (0 - 30 cm) te bereiken via maaien en afvoeren of via uitmijnen.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

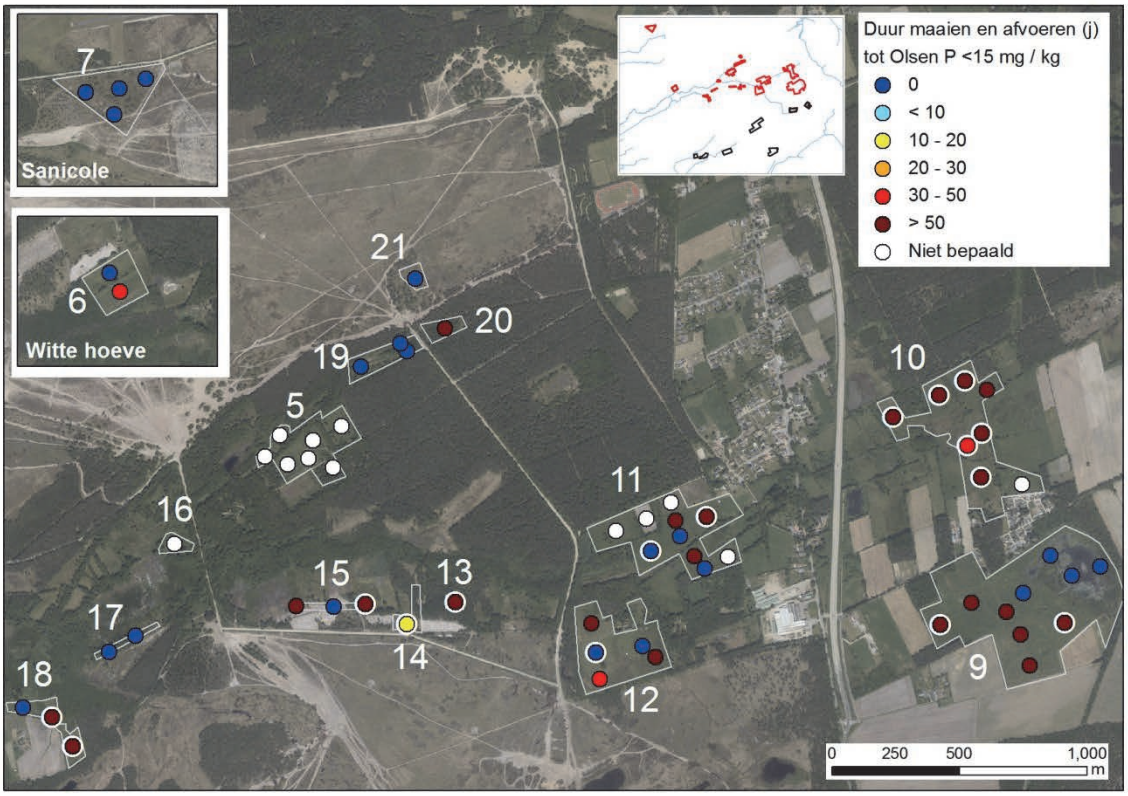


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

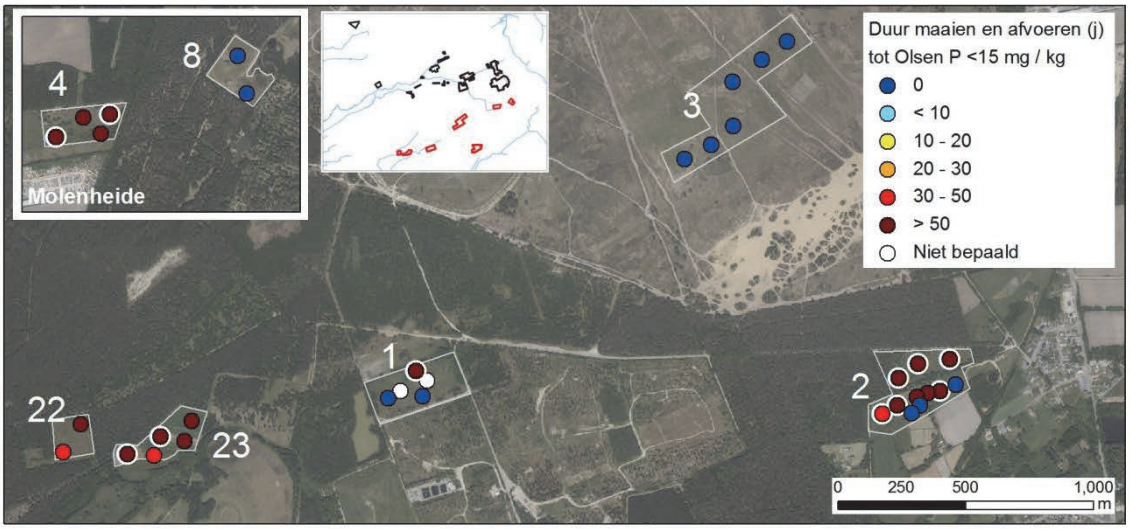


Figuur 67 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **maaien en afvoeren** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 10 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

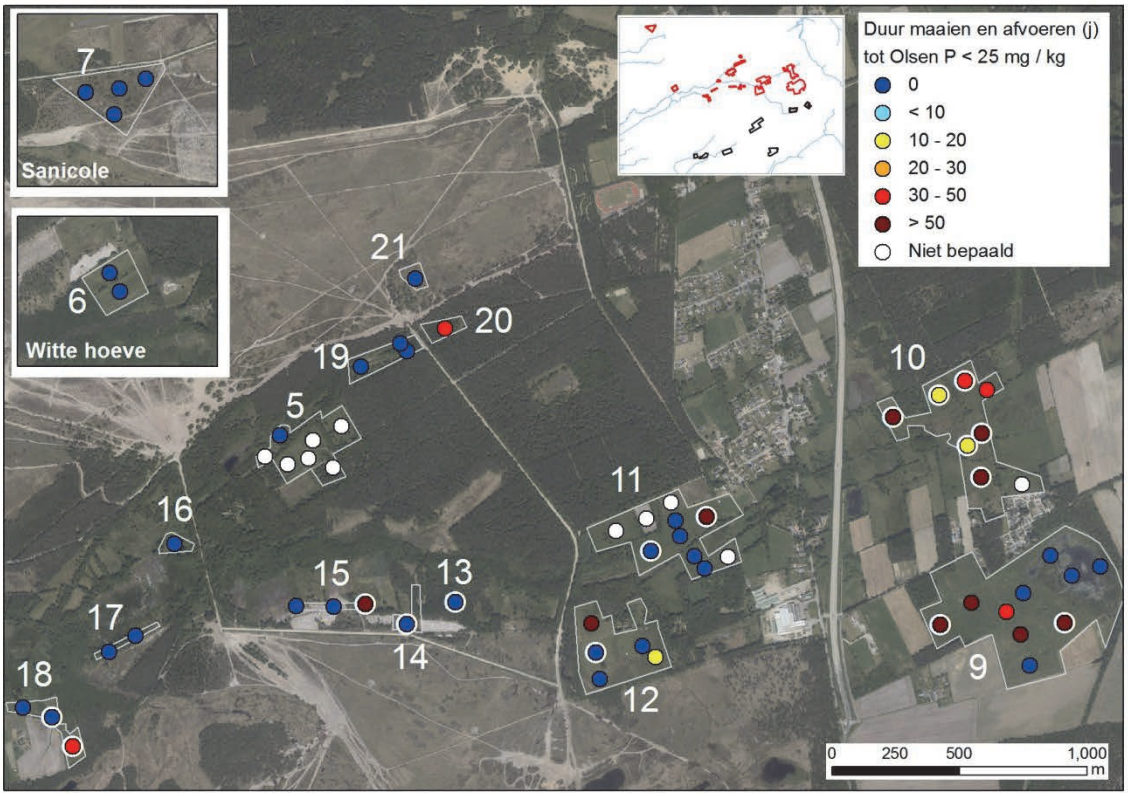


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

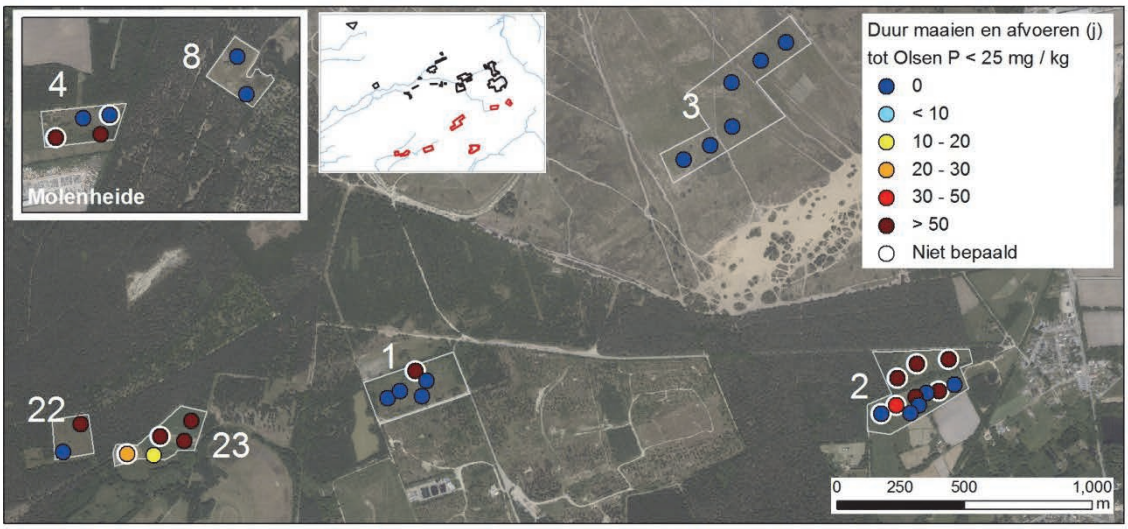


Figuur 68 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **maaien en afvoeren** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 15 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

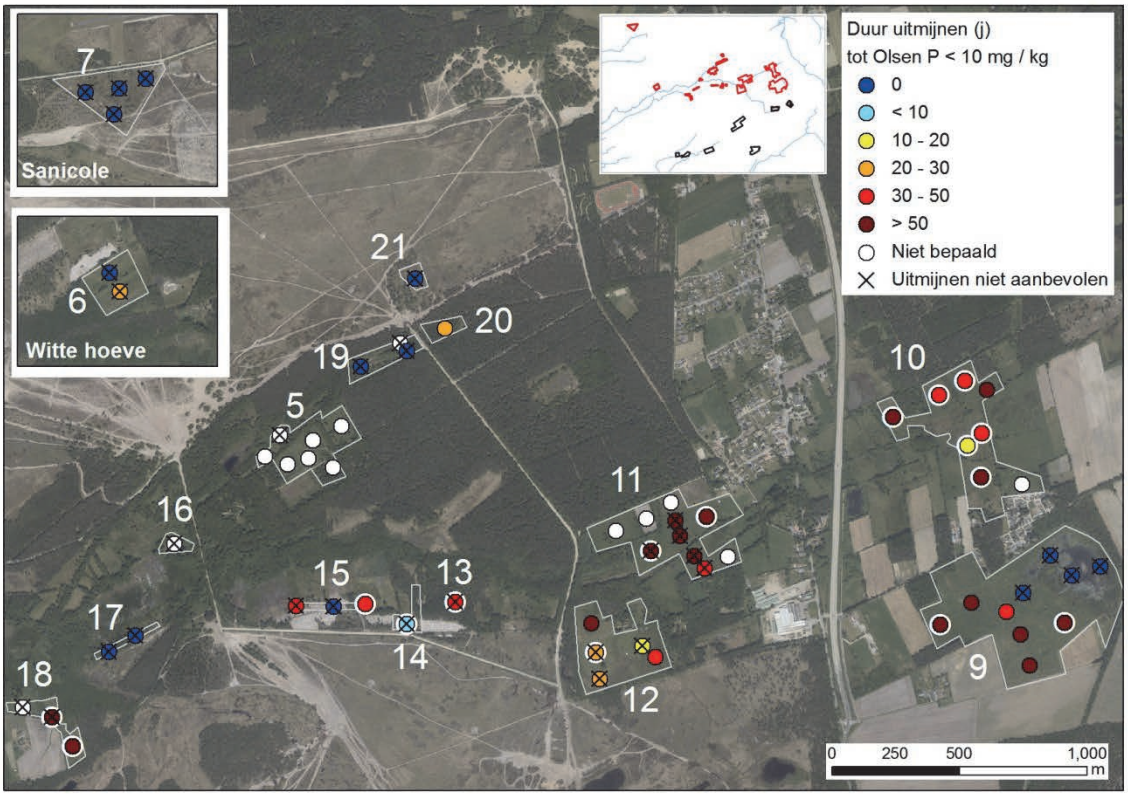


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

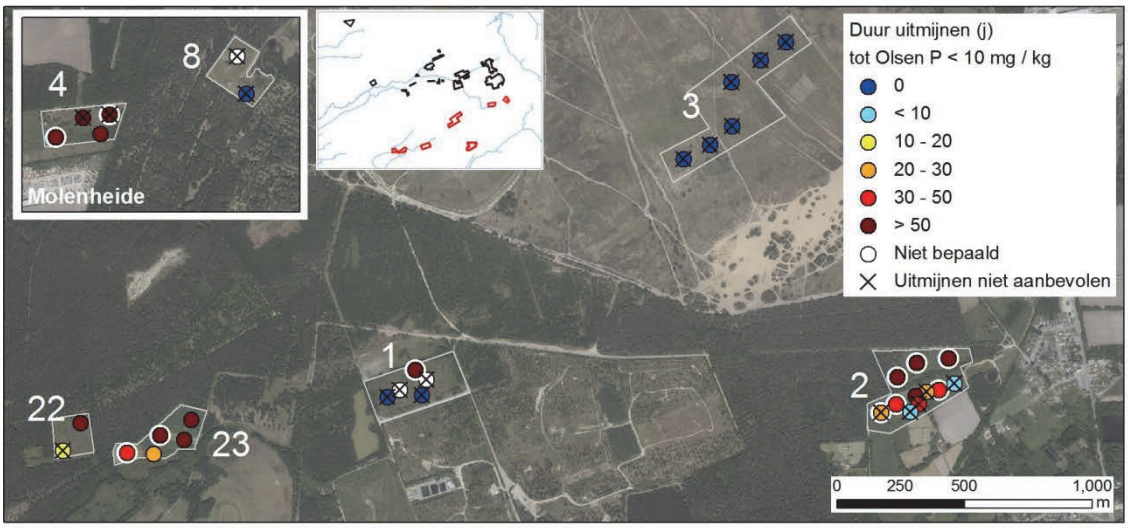


Figuur 69 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **maaien en afvoeren** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 25 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

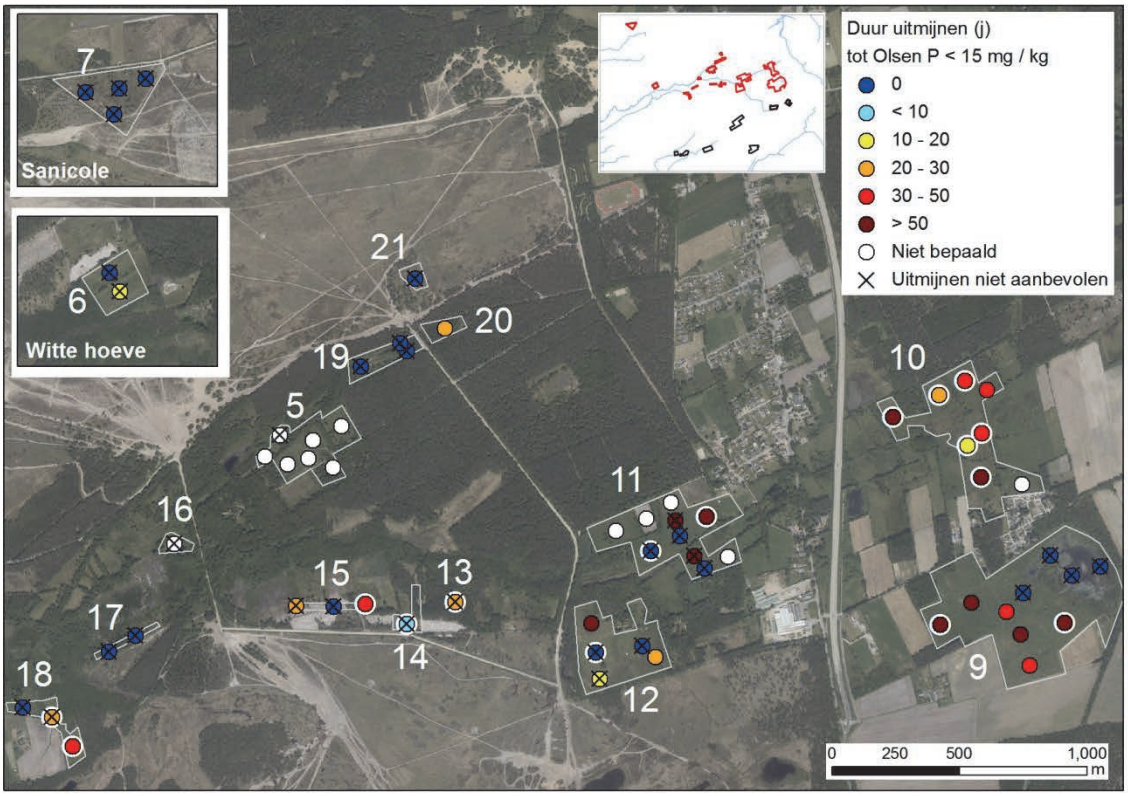


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

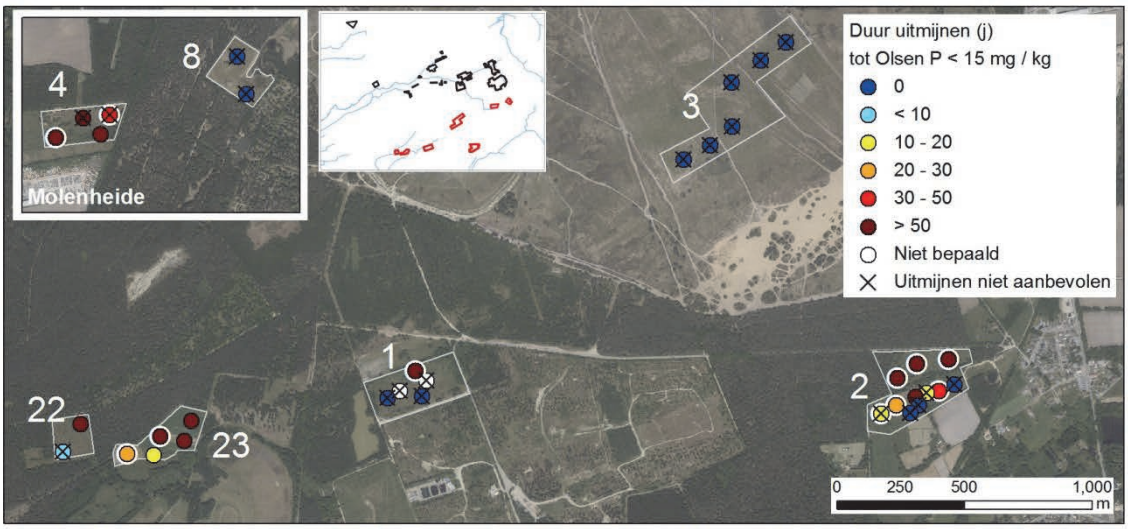


Figuur 70 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **uitmijnen** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 10 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). De met een kruis doorgehaalde punten vertonen concentraties lager dan 25 mg plantbeschikbaar P in de toplaag van de bodem. Op die punten kan al met biotisch herstel gestart worden en wordt afgeraden om een uitmijnbeheer toe te passen. Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd: op de met een kruis doorgehaalde witte punten was de concentratie plantbeschikbaar P vrij laag (niet ver boven de 10 mg Olsen P / kg) en wordt verwacht dat de doel van maximum 10 mg /kg (Olsen) in de toplaag op vrij korte termijn gehaald kan worden, op witte punten zonder kruis was de concentratie Olsen P veel te hoog en is uitmijnen geen optie.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

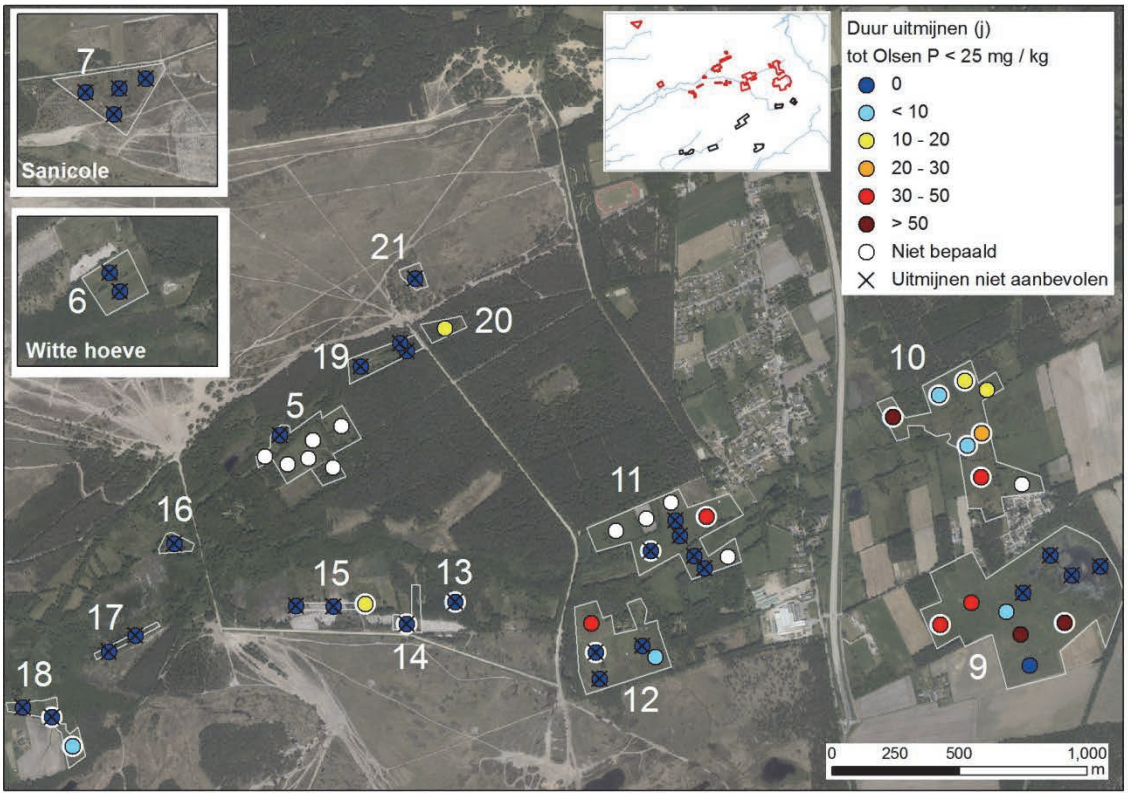


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

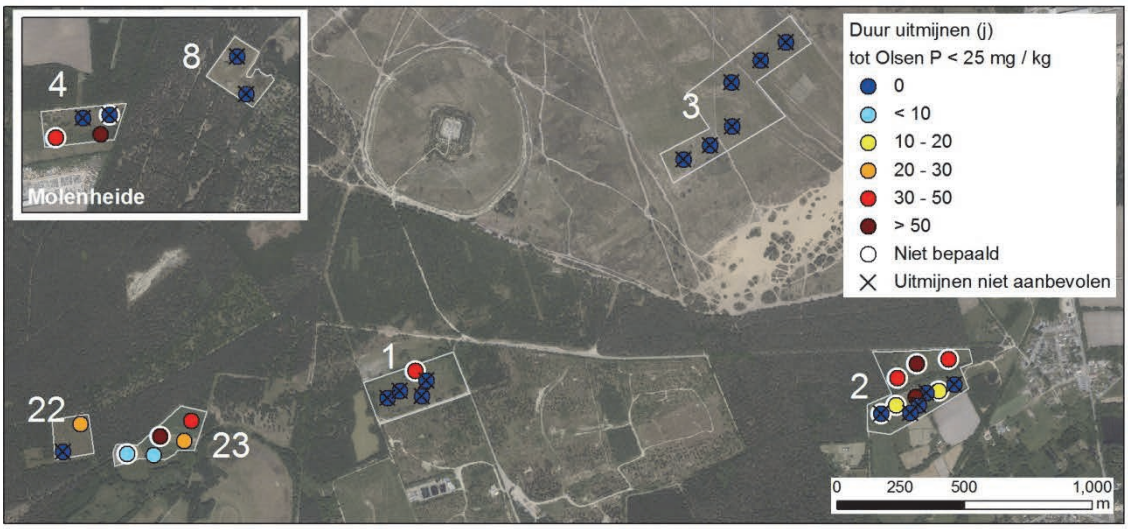


Figuur 71 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **uitmijnen** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 15 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). De met een kruis doorgehaalde punten vertonen concentraties lager dan 25 mg plantbeschikbaar P in de toplaag van de bodem. Op die punten kan al met biotisch herstel gestart worden en wordt afgeraden om een uitmijnbeheer toe te passen. Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd: op de met een kruis doorgehaalde witte punten was de concentratie plantbeschikbaar P vrij laag (niet ver boven de 10 mg Olsen P / kg) en wordt verwacht dat de doel van maximum 10 mg /kg (Olsen) in de toplaag op vrij korte termijn gehaald kan worden, op witte punten zonder kruis was de concentratie Olsen P veel te hoog en is uitmijnen geen optie.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole



Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide



Figuur 72 Ruwe schatting van de duur (uitgedrukt in jaren) van **uitmijnen** om een concentratie plantbeschikbaar P van **maximum 25 mg /kg (Olsen)** in de toplaag van de bodem (0 – 30 cm) te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte). De met een kruis doorgehaalde punten vertonen concentraties lager dan 25 mg plantbeschikbaar P in de toplaag van de bodem. Op die punten kan al met biotisch herstel gestart worden en wordt afgeraden om een uitmijnbeheer toe te passen. Op de locaties aangeduid door witte bollen zijn geen analysen van de P voorraad (oxalaat extraheerbaar P) uitgevoerd: op de met een kruis doorgehaalde witte punten was de concentratie plantbeschikbaar P vrij laag (niet ver boven de 10 mg Olsen P / kg) en wordt verwacht dat de doel van maximum 10 mg /kg (Olsen) in de toplaag op vrij korte termijn gehaald kan worden, op witte punten zonder kruis was de concentratie Olsen P veel te hoog en is uitmijnen geen optie.

Uit deze analyse (die louter indicatief is) blijkt dat een maaibeheer slechts op een paar van de P-rijke locaties resultaten op redelijke termijn kan leveren. Op veel plaatsen zal het een werk van lange adem zijn om de P-beschikbaarheid tot een niveau compatibel met de ontwikkeling van heischrale graslanden terug te dringen.

Uitmijnen zou op sommige plaatsen sneller resultaten kunnen leveren, maar bij matige Olsen P concentraties (minder dan 25 mg P/kg) raden we af om een beroep te doen op uitmijnen. Bij deze vrij lage concentraties (op de kaart met een kruis doorgehaalde punten) kunnen mogelijk al interessante soorten voorkomen en zou het contraproductief zijn om de huidige vegetatie te verwijderen en landbouwtechnieken toe te passen. Bovendien is de efficiëntie van uitmijnen bij lage P concentraties ook onvoldoende bewezen.

6.8.4 Afgraven

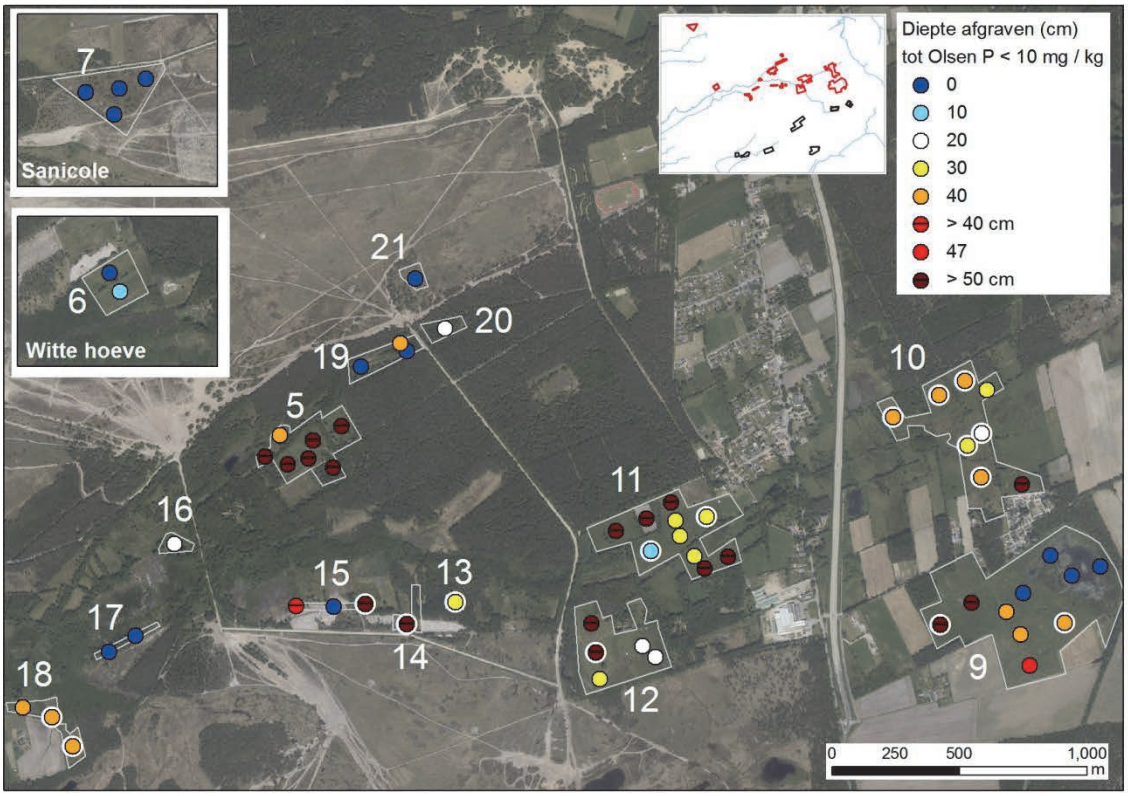
Indien men percelen zou willen afgraven, raden we zeker aan om eerst bijkomende bodemstalen te nemen, zoals aangegeven in paragraaf 6.6.3.1.1. Er is namelijk een grote ruimtelijke variatie aan plant-beschikbaar fosfor en daarom dienen niet alle deelgebieden van een perceel even diep afgegraven te worden. De beste indicatie die we momenteel hebben zijn de Olsen P-waarden per bodemdiepte zoals weergegeven in figuur 45, figuur 46 en figuur 47.

Bij wijze van voorbeeld: als men in perceel 22 een Olsen P waarde wil bekomen in de toplaag van < 10 mg P / kg, dan is het noodzakelijk om de bovenste 30 cm van de bodem af te graven in het perceel. Als er daarentegen gestreefd wordt naar een waarde in de toplaag van 25 mg P / kg, dan is het voldoende om slechts een gedeelte van het perceel af te graven, omdat het andere deel reeds waarden < 25 mg P / kg heeft in de toplaag en dieper.

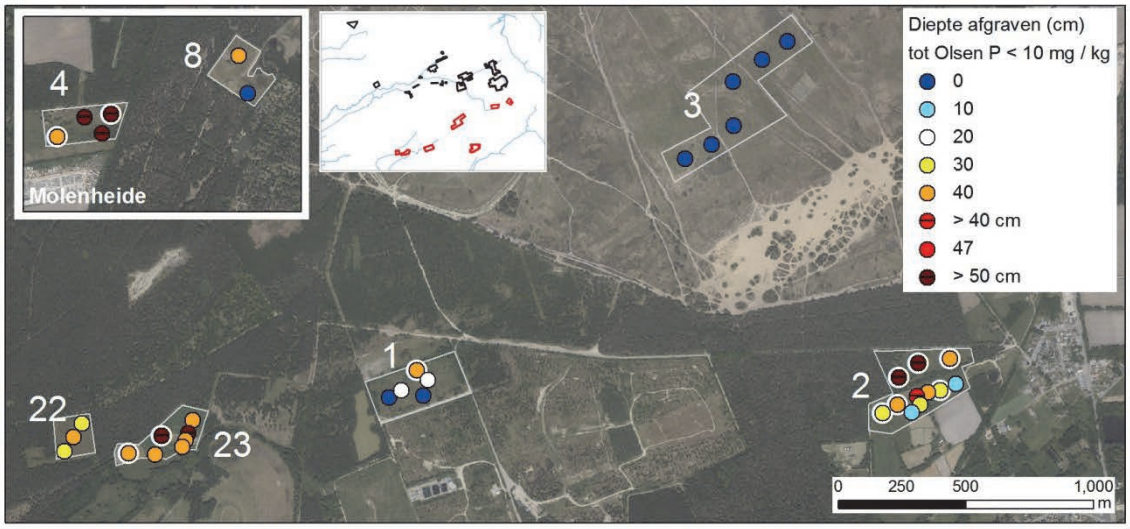
Afhankelijk van het gewenste streefdoel (waarde voor Olsen P) kan dus, op een gelijkaardige manier als zojuist beschreven, voor de verschillende percelen en de verschillende locaties daarin, bekeken worden hoe diep er dient afgegraven te worden.

Binnen het militair domein moet er natuurlijk rekening gehouden worden met de militaire activiteiten om beslissingen i.v.m. afgravingen te nemen.

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

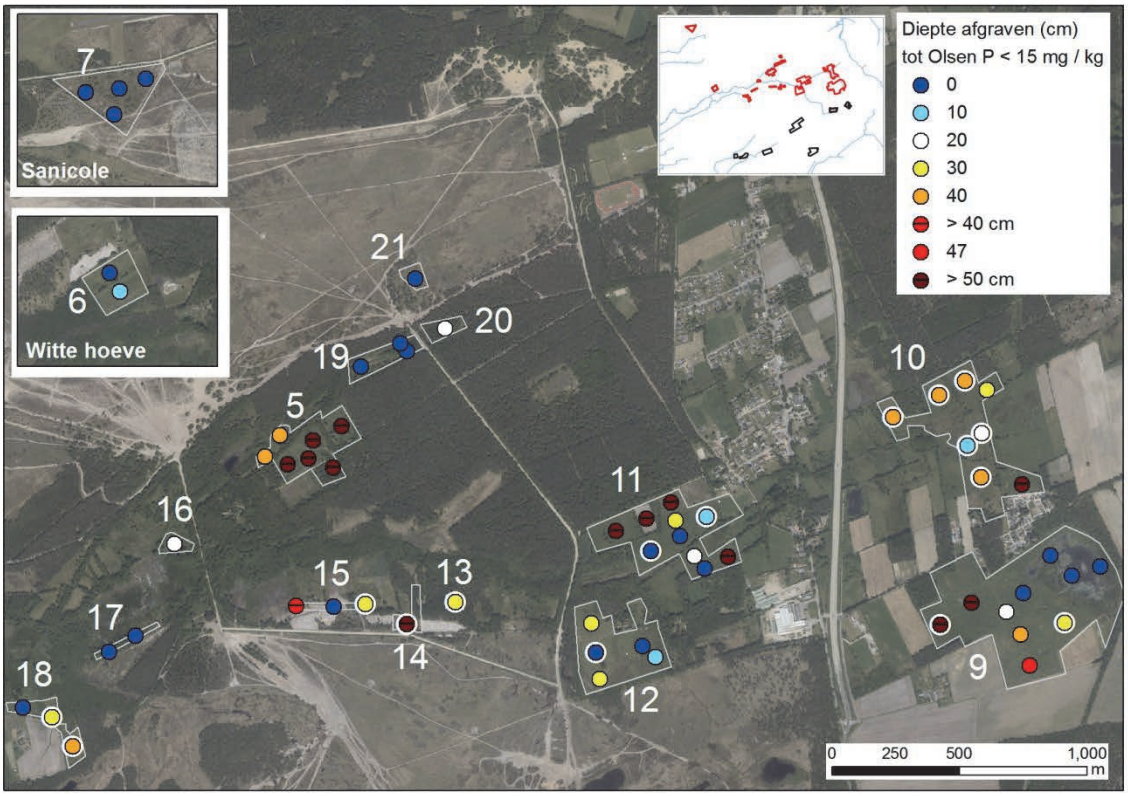


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

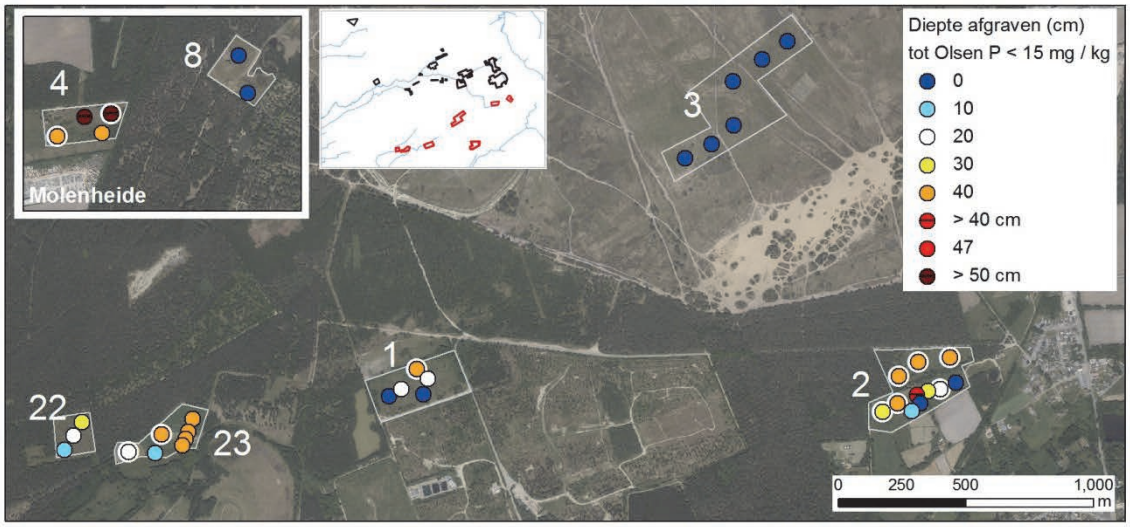


Figuur 73 Minimale diepte van afgraving om een doelconcentratie van 10 mg plantbeschikbaar P (Olsen) / kg te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte).

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole

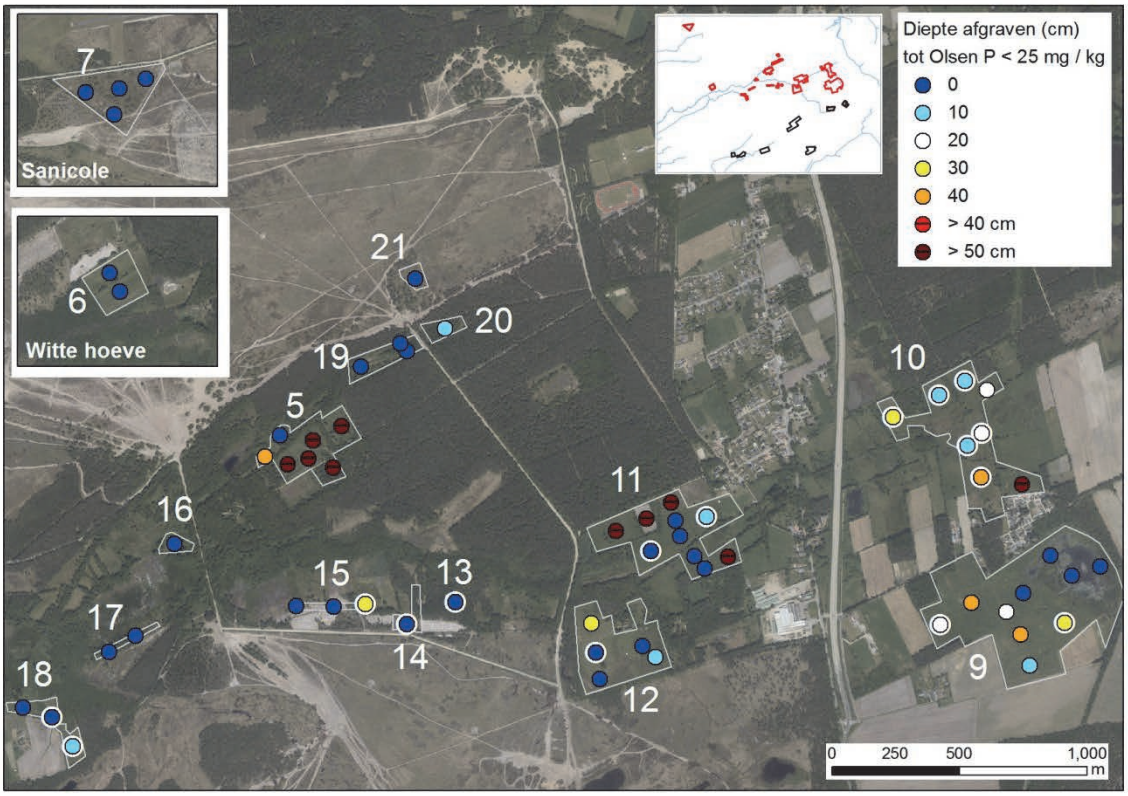


Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide

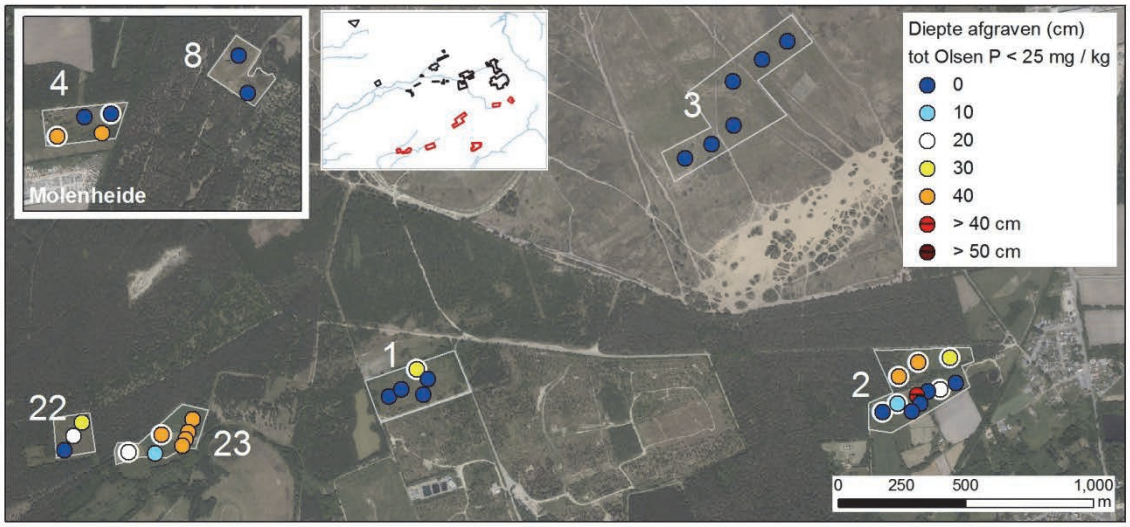


Figuur 74 Minimale diepte van afgraving om een doelconcentratie van 15 mg plantbeschikbaar P (Olsen) / kg te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte).

Noordelijk deel: vallei en brongebied van de Zwarte Beek en Sanicole



Zuidelijk deel: Hoeverheide, Helderbeekvallei en Molenheide



Figuur 75 Minimale diepte van afgraving om een doelconcentratie van 25 mg plantbeschikbaar P (Olsen) / kg te bereiken. Punten wit omcirkeld zijn locaties die 2 keer werden bemonsterd en waar er veel ruimtelijke variabiliteit is (verschil van minstens 15 mg P / kg tussen 2 metingen op dezelfde diepte).

6.8.5 Potenties voor ontwikkeling van heischraal grasland binnen de 23 te onderzoeken percelen

De nummering van de percelen en van de locaties wordt in figuur 43 weergegeven.

Perceel 1 (Remo)

Het zuidwesten van dit perceel is zeer schraal terwijl het centrale deel matige cooncentraties biobeschikbaar P in de toplaag vertoont en lage concentraties in de diepte. Er is hier dus zeker ruimte om door maaibeheer vrij schrale vegetatietypes te ontwikkelen. Dit is immers al te zien aan de huidige, weinig productieve, graslandvegetatie. Net ten noorden van dit perceel zijn er een aantal kensoorten voor heischraal grasland aanwezig (*Veronica officinalis, Luzula multiflora*) alsook begeleidende soorten die ook in heide voorkomen (*Carex pilulifera, Agrostis vinealis,* …). We kunnen dus verwachten dat die soorten zich op termijn hier ook zullen kunnen vestigen. Het is daarnaast een perceel met plaatselijk hoge pH (soms zelfs aan de hoge kant voor heischraal grasland), CEC en basenverzadiging, soorten die wat meer mineraalrijkdom en gebufferde condities appreciëren (zie responsecurves in digitale bijlage 2) zullen hier goed gedijen.

Enkel het noordelijke deel van het perceel is duidelijk aangerijkt met P (en immers ook duidelijk productiever). Daar moet minstens 30 à 40 cm afgegraven worden om een schrale toestand te bereiken. Door uitmijnen en maaien met afvoer zal het meer dan 30 jaar duren om een geschikte toestand voor heischraal grasland te bereiken.

Percelen 22 en 23 (Helderbeek, ten NW van de terril)

Perceel 22 heeft verhoogde P-waarden in de toplaag van de bodem, maar is voedselarm op grotere diepte en komt daarom zeker in aanmerking voor herstel. De bodem vanaf 50 cm bevat een aanzienlijk deel klei, maar hier is weinig van zichtbaar in de toplagen die een beperkte CEC, pH en basenverzadiging vertonen (maar nog compatibel met de ontwikkeling van heischraal grasland).

Perceel 23 klasseren we bij de randgevallen. Twee van de punten zijn redelijk arm aan P (begraasde zone met locatie 85 en vochtige zone met locatie 86), maar de andere locaties bevatten ook op grote diepte te veel biobeschikbaar P. De basenverzadiging is hier ook zeer hoog, waarschijnlijk door bemesting. Herstel van dit perceel vergt bijgevolg grote ingrepen (bv. afgraven tot 40 à 50 cm in het oostelijke deel van het perceel (tegen het fietspad). Locatie 86 is al wat lager gelegen dan de rest van het perceel, en duidelijk vochtiger. Hiermee moet zeker rekening gehouden worden als er voor afgraving wordt gekozen.

We hebben hier geen kensoorten van heischraal grasland waargenomen maar verschillende typische soorten zijn in de directe omgeving aanwezig (bv. op de terril).

Perceel 2 (Heerkensweg)

Perceel 2 is zeer heterogeen wat betreft Olsen P. De noordelijke helft, meer bepaald locaties 10, 11, 12 is zeer rijk aan fosfor en is momenteel geen kansrijke zone voor ontwikkeling tot heischraal grasland. Er zou echt diep afgegraven moeten worden om een schralere toestand te bereiken. Op de rand van de percelen zijn er wel hier en daar soorten van heide en zandgraslanden aanwezig. Ook perceel 16 is zeer rijk aan biobeschikbaar P (ook in de diepte) en biedt weinig kansen voor schrale vegetaties.

De meer zuidelijke locaties daarentegen, en vooral 13, 14, 17, 18 en 20, zijn nu reeds relatief arm aan P en kunnen met haalbare ingrepen (bv. niet te diep afgraven) voldoende schraal worden voor de ontwikkeling van heischraal grasland. De basenverzadiging is hier en daar hoog (ook in stalen met een lage concentratie Olsen P) en dus vrij gunstig voor de ontwikkeling van heischraal grasland.

Perceel 3 (Hoeverheide)

Perceel 3 is zeer arm aan fosfor, maar heeft ook een wat lage pH voor heischraal grasland en bevat relatief weinig kationen (overal lage CEC, terwijl de basenverzadiging per locatie varieert). Er komen in de directe omgeving en in het perceel zelf al vrij veel soorten typisch voor droog heischraal grasland. Op basis van de bodemchemie zouden we in dit perceel ook heide kunnen verwachten, het is waarschijnlijk dat maaien en begrazen de dominantie van struikhei en pijpenstrootje ten voordele van de heischrale soorten tegengaan.

Percelen 13, 14, 15 en 17 (Spiekelspade en Kouwert)

De percelen 13 en 14 en locaties 73 en 73c in perceel 15 scoren matig goed en komen mits de nodige herstelmaatregelen in aanmerking voor de ontwikkeling van heischraal grasland. Het centrale gedeelte van perceel 15 (73b) kan als goede locatie voor de ontwikkeling van heischraal grasland beschouwd worden. Ook perceel 17 blijkt over de hele diepte zeer arm te zijn aan P en is dus zeker schraal genoeg voor de ontwikkeling van heischraal grasland.

Perceel 16

Dit is momenteel een op het eerste gezicht vrij productief Holcus grasland, maar de hoeveelheid beschikbaar P lijkt wel beperkt, wat perspectieven biedt voor de ontwikkeling van voedselarme vegetatie. Gezien de lage P-beschikbaarheid kan een aangehouden maai- en afvoerbeheer al interessante resultaten leveren. Het verwijderen van de toplaag is eventueel ook een optie, maar zal resulteren in (nog) vochtigere condities. Dit perceel zou in de richting van een vochtig heischraal grasland of (gezien de vrij hoge CEC en basenverzadiging) van een veldrusgrasland kunnen evolueren.

Perceel 18

Ook het achterste deel van perceel 18 is wat rijker aan organisch materiaal en vrij schraal. Hier is er wel vrij veel ruimtelijke variatie (in bodemopbouw, in reliëf, maar ook in productiviteit van de vegetatie). De rest van perceel 18 is een stuk rijker aan P en dient eerst uitgemijnd of afgegraven te worden. Tegen het fietspad aan zien we duidelijk de invloed van herhaalde bemesting.

Perceel 5 (Spiekelspade)

Dit perceel bleek echt sterk aangerijkt met P: ook in de diepere bodemhorizonten zijn hoge concentraties biobeschikbaar P gemeten. Het herstellen van heischraal grasland is hier waarschijnlijk geen realistische doel (of zal erg drastische maatregelen vergen). Enkel in het noordelijke deel van het perceel is de bodem minder sterk en minder diep bemest. Er zijn nochtans nog soorten typisch voor heischraal grasland in de omgeving (o.a. in het perceeltje ten zuiden van het fietspad).

Perceel 6 (Witte Hoeve)

Perceel 6 is op locatie 36 erg schraal, maar mineraalrijk met vrij hoge pH, CEC en basenverzadiging. De bodem op locatie 37 bevat wat meer P. Het perceel komt zeker in aanmerking voor de ontwikkeling van schrale graslanden, maar waarschijnlijk zijn ingrepen nodig in delen ervan. We zouden hier voor een aangehouden maaibeheer kiezen, eventueel met plaggen van de toplaag in het zuidelijke deel (locatie 37 - gezien de wat rare verdeling van biobeschikbaar P in de diepte op locatie 37 zou het misschien interessant zijn om extra stalen te nemen). In de directe omgeving van dit perceel komen vrij veel kensoorten zowel van droog als heischraal grasland, die dit perceel op termijn ook zullen kunnen coloniseren.

Perceel 7 (Sanicole)

Dit is een zeer schrale perceel met (licht vergraste) heide en enkele grazige stroken. De bodem is zeer schraal en in dat opzicht perfect geschikt voor de ontwikkeling van heischraal grasland. De pH is wel wat aan de lage kant voor heischraal grasland en de CEC vrij laag (op één uitzondering na, in de toplaag van het meest westelijke punt). Op het vliegveld net aan de andere kant van de betonbaan komt een zeer goed ontwikkeld voorbeeld van droog heischraal grasland.

Percelen 19, 20, 21 (Z van Hechtelse Heide)

Perceel 21 is een gemaaide zone binnen het heidelandschap van de Hechtelse Heide waar er momenteel al meerdere kensoorten van droog en vochtig heischraal grasland voorkomen. De situatie hier is vergelijkbaar met percelen 3 en 7: een zeer schrale maar ook vrij mineraalarme bodem, waar heide ook zeker zou kunnen voorkomen maar door maaien en begrazen verdrongen wordt door een meer grazige vegetatie met heischrale soorten.

Perceel 20 is een vrij recent gekapt perceel waarvan de bodem sterk verstoord is geweest. Gezien de huidige (hoge) graad van verstoring (zowel bodem, reliëf als vegetatie) zou hier een afgraving van de eerste 10 à 20 cm van de

bodem een goede oplossing zijn om schrale condities op korte termijn te herstellen. De bodem onder 20 cm heeft een geschikte pH voor heischraal grasland en een niet te lage CEC.

Het oosten van perceel 19 is bebost en vertoont en zeer lage P beschikbaarheid. De rest van het perceel is een vrij weinig productief grasland met veel opslag van berken en dennen. Ook daar is de P beschikbaarheid heel beperkt en is de bodem vrij mineraalarm (lage basenverzadigingsgraad en pH, matige CEC bepaald door de aanwezigheid van organisch materiaal). Hier zijn geen drastische ingrepen nodig (afgraven of uitmijnen) om geschikte condities voor heide of heischraal grasland te herstellen.

Perceel 11

Perceel 11 vertoont tamelijk schrale zones (64, 65, 69) die met beperkte ingrepen kunnen voldoen aan de vereisten voor Olsen P. Andere zones zijn daarentegen wel iets te rijk aan P (daar zal afhankelijk van de gewenste P concentratie 0 tot maximum 30 cm afgraven moeten worden). Zeker de noordelijke helft van het perceel en locatie 60 zijn sterk bemest. Daar is het niet echt realistisch om naar herstel van heischrale vegetatie te streven.

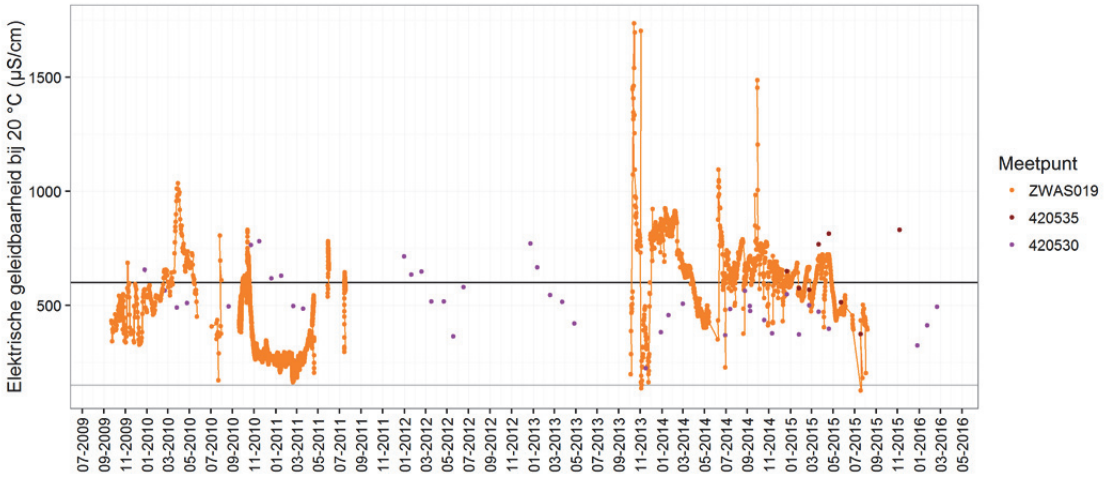
Perceel 12 (Katershoeve)

Het noordelijk deel van dit perceel (locatie 67) is rijk aan P en zou vrij diep afgegraven moeten worden om schrale vegetatie te herstellen (afhankelijk van de gewenste concentratie na herstel van 30 tot meer dan 50 cm diepte). Ook deze zone is dus geen goede kandidaat voor herstel van heischraal grasland. De rest van het perceel vertoont minder hoge P concentraties en kan eventueel, mist de nodige ingrepen, verschraald worden.

Perceel 9 (Zwart Water)

In het oostelijke deel van perceel 9 dat regelmatig onder water staat (Zwart Water) zijn de concentraties plantbeschikbaar P in de toplaag heel laag (onder de 10 mg / kg in de laag 0 – 30 cm). Tussen 30 en 60 cm zijn de plantbeschikbaar P-gehalten op 2 locaties wat verhoogd (16 en 26 mg P / kg) en op de andere 2 locaties nog heel laag. De bodem in deze zone is dus nog schraal, wat heel wat potenties biedt voor herstel van vegetaties van de voedselarme sfeer. Op oude luchtfoto's en historisch kaartmateriaal is duidelijk te zien dat deze zone altijd zeer vochtig is geweest, mogelijk is ze bijgevolg ook minder intensief gebruikt voor landbouwdoeleinden. De uitwisselingscapaciteit van de bodem is niet bepaald maar de bodem tussen 0 en 30 cm bevat wel wat klei (3.8 tot 9.5 %) en heeft geen te lage pH (pH KCl tussen 4.4 en 6). Dit maakt van deze locaties dus geen slechte kandidaten voor herstel van heischraal grasland. Zoals beschreven werd in paragraaf 6.7 zijn de grondwaterpeilen hier te hoog in het winterhalfjaar. Heischrale graslanden en regelmatige en langdurige inundatie gaan niet samen. Bovendien stroomt in dit gebied oppervlaktewater binnen van bijzonder slechte kwaliteit.

Het Zwart Water wordt wel deels gevoed met drainagewater (uit landbouwgebied) dat sterk verhoogde gehalten aan nutriënten bevat. De elektrische geleidbaarheid van het water (die als maat voor het nutriëntengehalte kan dienen) wordt al enkele jaren aan de inlaat van het Zwart Water gemeten en vertoont hoge waarden (> 400 µS/cm), met pieken tot boven 1000 µS/cm tijdens het voorjaar 2010 en 2014 (mestseizoen) en begin november 2013. Voor beekwater in dergelijke systemen zonder menselijke invloed wordt een elektrische geleidbaarheid rond de 200 µS/cm verwacht.



Figuur 76 Verloop van de elektrische geleidbaarheid in de Zwarte Beek aan de inlaat (ZWAS019 en 420535) en uitlaat (420530) van het Zwarte Water. Data (VMM en INBO (ZWAS019). Zwarte lijn: grens tussen de matige (boven) en goede ecologische toestand en grijze lijn: grens tussen de goed (boven) en zeer goede ecologische toestand (onder) conform de Kaderrichtlijn Water.

Dit vertaalt zich in verhoogde nutriëntenconcentraties in het slib dat zelfs na verbetering van de waterkwaliteit als bron van nutriënten zal blijven fungeren (Herr et al. 2015). Bij de huidige nutriëntenbelasting is het binnenlaten van dit water in de plas van het Zwart Water dan ook beter te vermijden. Landschappelijk-hydrologisch is dit immers het infiltratiegebied. Oppervlaktewater infiltreert hier ten dele, waardoor de bodem, die nu nog vrij nutriëntenarm is, langzaam maar zeker verder aanrijkt, wat duurzaam herstel van natuurwaarden naar de toekomst steeds verder hypothekeert. Deze aanvoer zou dus zo snel mogelijk moeten stopgezet worden om verdere accumulatie van nutriëntenrijk slib te vermijden. Dit impliceert een drastische verandering in de huidige bemestingspraktijken in deze zone en/of een (tijdelijke) omleiding van de drainagegrachten en/of de Zwarte Beek zelf. Het feit dat het Zwart Water momenteel ook (Canadese) ganzen aantrekt zorgt ook voor extra nutriëntenaanvoer op het perceel.

Het noordwestelijke deel van het perceel (locaties 42 en 46) vertoont verhoogde concentraties biobeschikbaar fosfor, met ook aanzienlijk verhoogde waarden tot 50 cm diepte. Op de andere locaties (41, 43, 44, 45) zijn hoge P waarden tot 30 à 40 cm diepte gemeten. Het zuidwestelijke deel van dit perceel biedt dus minder kansen voor ontwikkeling van heischraal grasland dan de zone die actueel (regelmatig) onder water staat.

Perceel 10 (ten N van het bungalowpark)

Het noordelijke deel van dit perceel is tot 30 à 40 cm diepte aangerijkt met P. Vooral locatie 47 vertoont extreem hoge waarden (tot 110 mg P / kg in de toplaag) en biedt weinig mogelijkheden voor herstel van schrale vegetatie: deze zone is al heel vochtig; afgraven tot 30 cm zou waarschijnlijk een zeer natte depressie creëren. Op locaties 48, 49 en 52 zou de bodem tot 10 à 30 cm moeten afgegraven worden.

Op locaties 53, 54 en 55 lijkt vrij veel ruimtelijke variatie te zijn in de P concentraties (de resultaten van 2014 en 2015 verschillen soms van meer dan 15 mg P / kg) en zullen misschien extra stalen nodig zijn als afgraven wordt overwogen. De toplaag op locaties 54 en 55 bevat momenteel sowieso te veel biobeschikbaar P en zal verschraald moeten worden. Locatie 50 biedt weinig kansen voor herstel van heischraal grasland (hoge P ceoncentraties tot 50 cm diepte).

De grondwaterpeilen in deze omgeving zijn ook aan de hoge kant in de winter. Hoewel de inundatieduur korter lijkt te zijn dan voor het Zwart Water (figuur 64), is ook deze locatie niet optimaal voor de ontwikkeling van heischrale graslanden.

Percelen 4 en 8 (Molenheide en langs fietspad)

Perceel 4 scoort slecht en biedt ook weinig kansen voor herstel. Locaties 28 en 29 hebben een toplaag met licht verhoogde concentraties maar zijn nog veel rijker aan P in de diepte. Daar is het zeker afgeraden om af te graven. In

het zuidelijk deel van het perceel is er vrij veel ruimtelijke variatie maar lijkt de bodem minstens tot 40 cm diepte aangerijkt te zijn. Locatie 27 is een voormalige plas gedomineerd door pitrus.

Perceel 8 lijkt nog vrij schraal en wordt nu deels begraasd, deels gemaaid (en vrij intensief betreden door de bezoekers van Molenheide). Het meest oostelijk deel bevat nog een stukje droge heide. De bodemcondities zijn al vrij schraal in de toplaag. De CEC is vrij laag maar locatie 39 bevat wat meer uitwisselbare basische kationen en heeft een wat hogere pH, wat gunstig is voor de ontwikkeling van heischraal grasland.

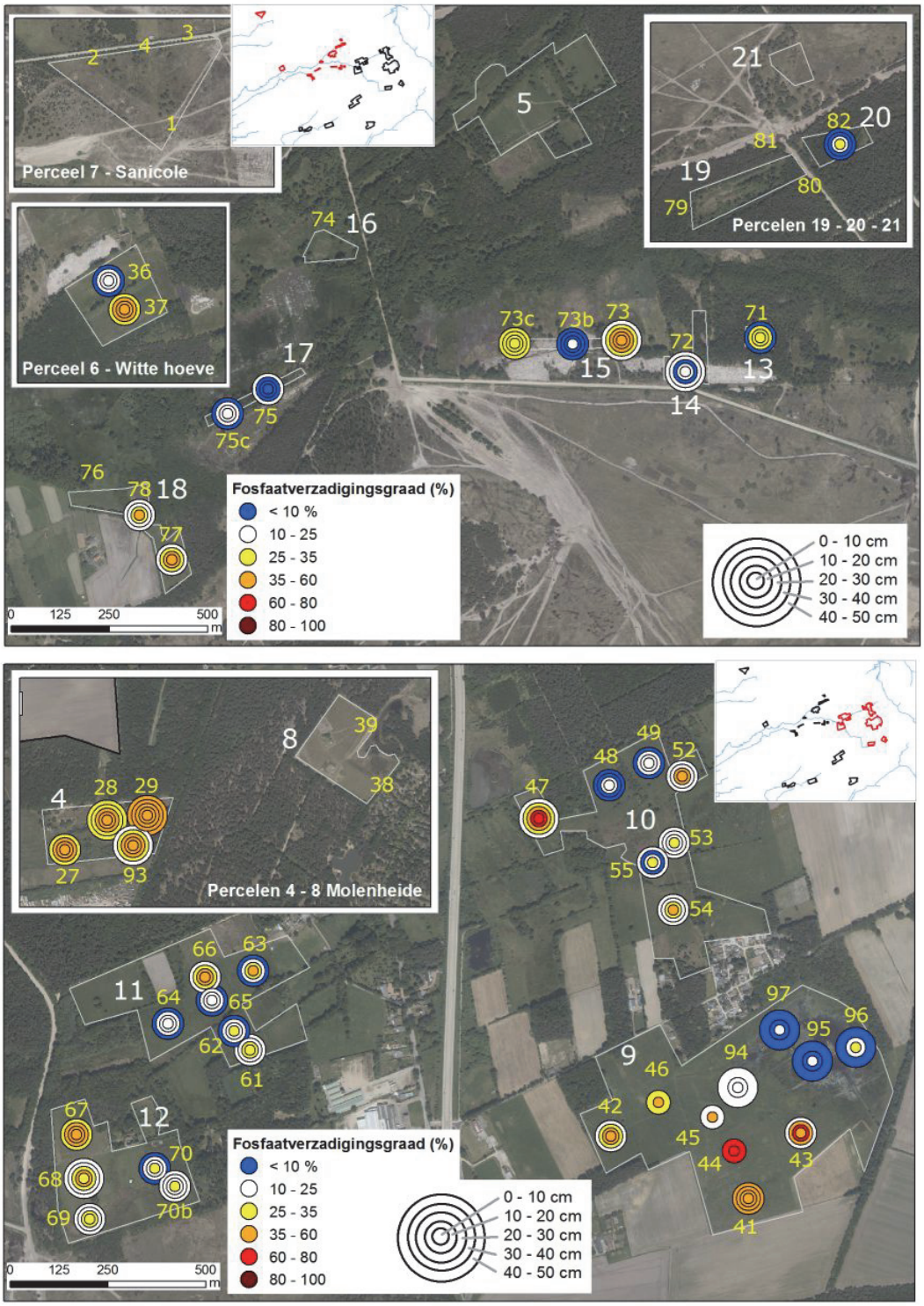
6.8.5.1 Risico op uitspoeling van fosfor uit fosfaatverzadigde gronden

Om de op termijn beschikbare pool P in de bodem te bepalen en dus de uitmijnduur te bepalen werd de hoeveelheid oxalaat extraheerbaar P op een aantal locaties gemeten. Deze chemische extractie laat echter ook toe om de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) in de bodem te berekenen, een maat voor het risico op uitspoeling van fosfaat vanuit de bodem naar het grondwater. Dit is hier bijzonder relevant omdat de vallei van de Zwarte Beek voedselarme grondwaterafhankelijke vegetaties herbergt die zeer gevoelig zijn voor toevoer van nutriënten. Grondwatermodellen in de bestudeerde zone (Batelaan en De Smedt 1994, Van Daele et al. 2001) tonen immers aan dat grondwater dat in de vallei van de Zwarte Beek aan de oppervlakte komt, ter hoogte van (sommige van) de bestudeerde percelen infiltreert.

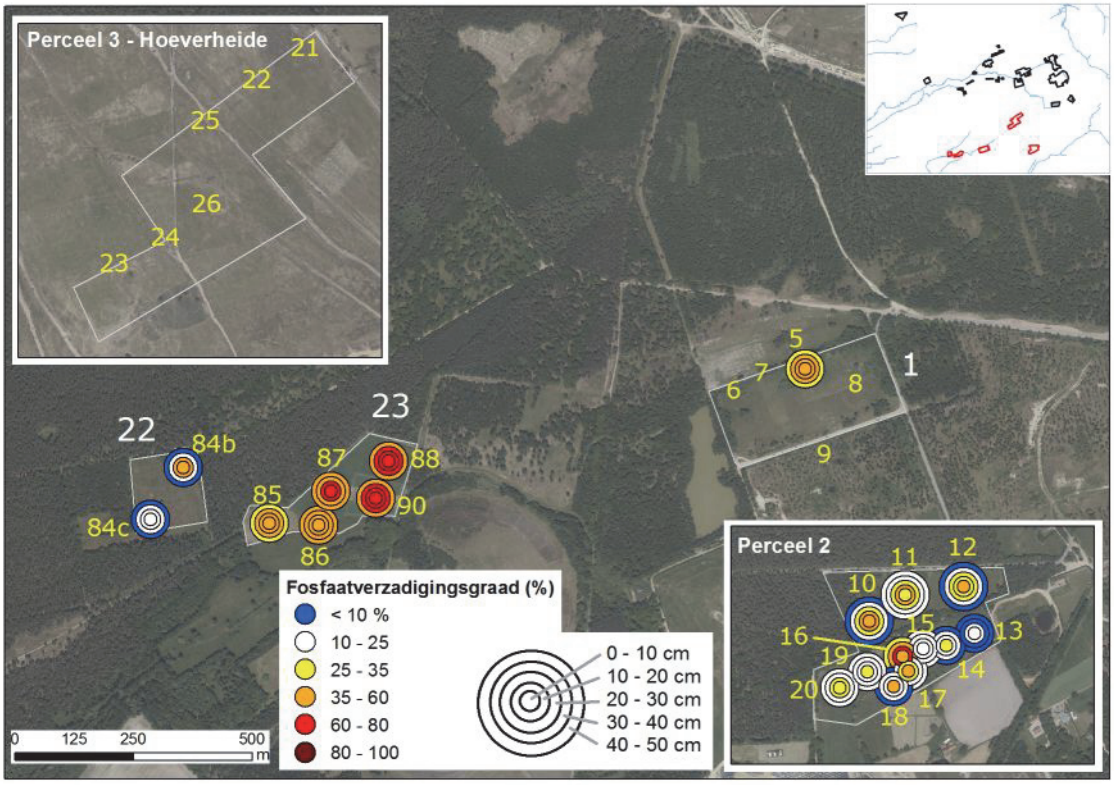
De FVG van de bodem is de verhouding tussen de actuele fosfaatophoping en het fosfaatbindend vermogen (of de fosfaatvastleggingscapaciteit, in kalkarme zandgronden bepaald door de hoeveelheid aluminium en ijzer). Bij een profielgemiddelde (0-90 cm) FVG van 25% in kalkarme zandgronden, wordt op termijn een gemiddelde concentratie van 0.1 mg PO_4-P/l in het bodemwater onderaan het profiel (op het niveau van de gemiddeld hoogste waterstand) aangetroffen (Koopmans 2004; Schoumans 2004). Bij definitie wordt in Nederland vanaf deze waarde van een fosfaatverzadigde grond gesproken. In Vlaanderen wordt volgens het Mestdecreet pas van een kritische grenswaarde voor fosfaatdoorslag in zure zandgronden gesproken vanaf 35% profielgemiddelde fosfaatverzadiging, waarbij de gemiddelde concentraties die op termijn in het grondwater aangetroffen kunnen worden, 0.15 - 0.20 mg PO_4-P/l bedragen.

In figuur 77 en figuur 78 wordt de FVG getoond voor de verschillende stalen tot op 40 of 50 cm diepte.

Vooral in percelen 4, 9 en 23, en op locatie 37 in perceel 6 (Witte Hoeve) en locatie 16 in perceel 2 kan men verwachten dat er fosfaat uitspoelt vanuit de bodem naar het grondwater.



Figuur 77 Fosfaatverzadigingsgraad in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte (op 4 uitzonderingen na aan het Zwart Water waar de stalen op volgende dieptes zijn genomen: 0-10, 10-30 en 30-60 cm). Niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters. Boven: Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole. Onder: Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide.



Figuur 78 Fosfaatverzadigingsgraad in de 23 te onderzoeken percelen. De concentrische cirkels tonen de P-concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte (op 4 uitzonderingen na aan het Zwart Water waar de stalen op volgende dieptes zijn genomen: 0-10, 10-30 en 30-60 cm). Niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters. Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei.

Deze gegevens werden toegevoegd aan de gegevens verzameld om de milieudruk in het brongebied van de Zwarte Beek in beeld te brengen (Herr et al. 2015). In bijlage III wordt een kaart weergegeven van alle gegevens voor FVG in deze zone.

7 Conclusies

7.1 Landschappelijke positie

In hoofdstukken 2, 3 en 4 van deze studie werd grondig ingegaan op beschikbare maar ook nieuw verzamelde standplaatsgegevens van heischrale graslanden. De gangbare opvatting, en ook het uitgangspunt van deze studie, situeert de overgang van vallei naar plateau als dé standplaats bij uitstek waar heischrale graslanden zouden voorkomen. In deze studie is daar uitgebreid aandacht aan besteed. Dit uitgangspunt kan niet volledig bevestigd worden.

In kempische beekdalen zijn kleine zeggenvegetaties te vinden in de vallei, op die locaties waar ietsjes mineraalrijker grondwater onder de vorm van kwel aan de oppervlakte komt. Daar ontwikkelt zich ook (soms dikke pakken) veen. Topografisch gezien iets hoger is venige heide te vinden; aan de rand van de valleien, waar afstromend regenwater en zeer jong, uitgesproken mineraalarm grondwater uittreedt. Hier wordt ook nog veen gevormd. Nog een (topografisch) trapje hoger is eerst vochtige en vervolgens droge heide of vochtige en vervolgens droge heischrale graslanden te vinden.

Wat de precieze oorzaak is van de ontwikkeling van vochtige heide dan wel heischraal grasland of droge heide dan wel heischraal grasland is uitgebreid onderzocht in deze studie.

Hoewel het onderscheid in differentiërende standplaatskarakteristieken niet haarscherp te trekken is, zijn heischrale graslanden te vinden op locaties waar de gemiddelde laagste grondwaterstand dieper wegzakt dan 25-30 cm onder het maaiveld. Ze komen voor op zand en kleiig/lemige zandbodems, die een hogere basen verzadigingsgraad (en veelal ook hogere CEC) en een iets hogere pH hebben dan bodems onder heidevegetaties, maar bovenal zijn die bodems nutriëntenarm. Intensiever beheer (maaien, begrazen, …) lijkt eveneens een cruciale factor te zijn.

In dit SBZ gebied (en ook in andere kempische beekdalen) komen op de overgang van de venige valleien naar de zandige plateau's regelmatig kleiige afzettingen (klei- of leemlenzen) voor. Die zorgen voor net iets hogere CEC, basenverzadiging, pH en mineralenbeschikbaarheid. Dat leidt initieel tot het zoeken van heischrale graslanden net op die overgang. Er zijn echter tal van uitzonderingen op die 'regel' te vinden in dit gebied.

7.2 Protocol voor herstel

In deze studie en ook in recente ander studies rond herstel van schraallanden en heidesystemen wordt dikwijls vertrokken van een uitgebreide set van monsternames, chemische analysen, … Vaak loopt het kostenplaatje erg hoog op.

In de sleutel voor herstel wordt gepoogd om lessen te trekken uit deze recente ervaringen en kennisopbouw om efficiënt en rechtlijnig te kunnen oordelen of herstel wel wenselijk is en welke stappen er precies dienen te worden genomen.

7.3 Afbakening van kansrijke locaties en doelafstand

In hoofdstuk 6 werden meer dan 23 (vermoedelijk) kansrijke sites bemonsterd en getoetst op de sturende standplaatskarakteristieken. Daaruit blijkt dat er een hele reeks locaties zijn waar herstel van heischraal grasland een grote kans op slagen heeft, zeker gezien de aanwezigheid van karakteristieke soorten voor dit vegetatietype in de onmiddellijke omgeving.

Puur theoretisch is herstel of creëren van heischraal grasland op nagenoeg alle voorgestelde locaties mogelijk maar de doelafstand tussen de actuele abiotische en biotische situatie en het verhoopte resultaat is voor een aantal voorgestelde sites zeer groot. Dat heeft nagenoeg altijd te maken met historisch landgebruik, met name excessieve bemesting bij landbouwgebruik in het (recente) verleden.

8 Referenties

ANB (2012) S-IHD-rapport BE2200029 Vallei- en brongebieden van de Zwarte Beek, Bolisserbeek en Dommel met heide en vengebieden en BE2218311 Militair domein en de vallei van de Zwarte Beek. Agentschap voor Natuur en Bos, Rapport 25.

Aldezábal A. (2001) El sistema de pastoreo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Pirineo Central, Aragón): Interacción entre la vegetación supraforestal y los grandes herbívoros [The traditional herding system in the "Ordesa and Monte Perdido" National Park (Central Pyrenees, Aragón): Interaction between alpine vegetation and large herbivores]. Ph.D. thesis, Zaragoza, Spain: Instituto Pirenaico de Ecología IPE-CSIC.

Bakker J.P., Berendse F. (1999) Constraints in the restoration of ecological diversity in grassland and heathland communities. Tree 14: 2.

Batelaan O. & De Smedt F. (1994). Regionale grondwaterstroming rond een aantal kwelafhankelijkenatuurgebieden, Vrije Universiteit Brussel.

Blake L., Johnston A.E., Poulton P.R., Goulding K.W.T. (2003) Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. Plant and Soil 254:,245-261.

Bedia J., Busqué J. (2012) Productivity, grazing utilization, forage quality and primary production controls of species-rich alpine grasslands with *Nardus stricta* in northern Spain. Grass and Forage Science 68: 297-312.

Bedia J., Cabañas S., Busqué J. (2009) Productivity and plant diversity are related to a community functional signature in mountain grasslands. Proceedings of the 15th meeting FAO-CIHEAM mountain pastures network, Les Diablerets, Switzerland.

Bobbink R., Weijters M., Vanderhaeghe F., Carron T. (2009) Expertenadvies herstel blauwgraslandrelict en omgeving te Vrieselhof, Oelegem. Tussenrapport Fase I.

Brady N.C., Weil R.R. (1999) The Nature and properties of soils. 12th edition, Prentice-Hall International.

Braun-Blanquet J. (1926) - Le "Climax complexe" des landes alpines (Genisteto-Vaccinion) du Cantal. Arvernia 2: 29-48.

Ceulemans T. (2007) Nutriëntenlimitatie in soortenrijke graslanden. Masterthesis, KULeuven.

Ceulemans T., Hens M., Honnay O., Merckx R. (2009) Vermesting en soortenrijkdom in heischrale graslanden. Natuur.focus 8: 90-95.

Ceulemans T., Merckx R., Hens M., Honnay O. (2011) A trait-based analysis of the role of phosphorus vs. nitrogen enrichment in plant species loss across North-west European grasslands. Journal of Applied Ecology 48, 1155-1163.

Ceulemans T., Merckx R., Hens M. and Honnay O. (2011) Plant species loss from European semi-natural grasslands following nutrient enrichment – is it nitrogen or is it phosphorus? Global Ecology and Biogeography, 22, 73-82.

Chadwick, M.J. (1960) Nardus stricta L. Journal of Ecology 48: 255-267.

Chambers B.J., Critchley C.N.R., Fowbert J.A., Bhogal A., Rose S.C. (1999). Soil nutrient status and botanical composition of grasslands in English environmentally sensitive areas. Report MAFF project BD1429, ADAS Gleadthorpe and Newcastle, 71 p.

Cools J., van der Velde Y., Runhaart H., Stuurman, R. (2006) Herstel- en Ontwikkelplan Schraallanden. TNO/EAC/Alterra-rapport.

Critchley C.N.R., Chambers B.J., Fowbert J.A., Bhogal A., Rose S.C., Sanderson R.A. (2002) Plant species richness, functional type and soil properties of grasslands and allied vegetation in English Environmentally Sensitive Areas. Grass and Forage Science 57: 82-92.

De Becker P., Herr C., Huybrechts W., Vanderhaege F., Wouters J., Hens M. (2011) Advies betreffende de impact van de nutriëntenbelasting in het brongebied van de Zwarte beek op oppervlaktewater en grondwater in het stroomafwaarts gelegen natuurgebied 'Vallei van de Zwarte beek' (INBO.A.2010.208)

Decleer, K. (red.) (2007) Europees beschermde natuur in Vlaanderen en het Belgisch deel van de Noordzee. Habitattypen, Dier- en plantensoorten. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.M.2007.01, Brussel, 584 p.

De Graaf M.C.C., Verbeek P.J.M., Robat S., Bobbink R., Roelofs J.G.M., de Goeij S., Scherpenisse M. (2004) Lange-termijn effecten van herstelbeheer in heide en heischrale graslanden. Rapport EC-LNV nr. 2004/288-O.

De Vos B., Herr C. (2014) Aanvulling van de digitale bodemkaart met de bodemkartering van de militaire domeinen Kamp van Brasschaat (Groot en Klein Schietveld), Kamp van Beverlo (Leopoldsburg) en vliegveld van Kleine-Brogel. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO.R.2014.6174759). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Frossard E., Brossard M., Hedley M.J., Metherell A. (1995) Reactions controlling the cycling of P in soils. In: Tiessen H. (Ed.) SCOPE 54, phosphorus in the global environment, J. Wiley & Sons Ltd.

Ghesquiere U., De Brouwere K., Thijs, A. (2002) Abiotische onderbouwing van kwetsbare natuurtypen m.b.t. De thema's verdroging, verzuring en vermesting. Onderzoeksopdracht mina. Katholieke Universiteit Leuven (KUL), Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische wetenschappen, Departement Landbeheer, Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en Bodembiologie: Leuven : Belgium. 128 pp.

García-González R.A., Marinas A., Gómez D., Aldezábal A. (2002) Review of the aboveground net primary production (ANPP) of the Pyrenean mountain grasslands. In: Chocarro C., Sativery F., Fanlo R., Bovet I. and Lloveras J. (eds) Producción de pastos, forrajes y céspedes, pp. 245–250. Lérida: Universitat de Lleida.

Gilbert, J.C. (2000) High soil phosphorus availability and the restoration of species rich grasslands. PhD thesis. Cranfield university, Silsoe, UK.

Gilbert J.C., Gowing D.J.G., Wallace H. (2009) Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: assessment methods and community tolerance. Biological Conservation 142: 1074-1083.

Güsewell S. (2004) N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. New Phytologist 164: 243–266.

Hejcman M., Szaková J., Schellberg J., Tlustoš P. (2010) The Rengen Grassland Experiment: relationship between soil and biomass chemical properties, amount of elements applied, and their uptake. Plant and Soil: 333, 163–179.

Hejcman M., Klaudisova M., Stursa J., Pavlu V., Schellberg J., Hejcmanova P., Hak J., Rauch O., Vacek S. (2007). Revisiting a 37 years abandoned fertilizer experiment on Nardus grassland in the Czech Republic. Agriculture Ecosystems & Environment 118(1-4):231-236.

Herr C., De Becker P., Hens M. (2011) Ecohydrologisch en bodemkundig onderzoek i.f.v. herstelmaatregelen aan Achelse Kluis Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. INBO.R.2011.6. 176 p.

Herr C., Milbau A., De Becker P. (2015). Huidige milieudruk in het brongebied en de bovenloop van de Zwarte Beek, de Bolisserbeek en de Dommel en mitigerende maatregelen. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. INBO. R.2015.8532699, 90 p.

Hijmans Robert J., Phillips Steven, Leathwick John and Elith Jane (2016). dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.0-15. http://CRAN.R-project.org/package=dismo

Hommel P.W.F.M., Brouwer E., Lucassen E.C.H.E., Smolders A.J.P., de Waal R.W. (2006) Selectie van ecologisch relevante bodemeigenschappen. Een verkennend onderzoek aan de hand van 92 SBB-referentiepunten. Wageningen: Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. 119 p.

Huisman J., Olff H., Fresco L.F.M. (1993) A hierarchical set of models for species response analysis. Journal of Vegetation Science 4: 37-46.

Huybrechts, W. & De Becker, P. (1997). Dynamische en chemische kenmerken van het ondiep grondwater in kwelsystemen : het Walenbos (Tielt-Winge).[IN.MED.5]. Mededeling van het instituut voor natuurbehoud, 5. Instituut voor Natuurbehoud: Brussel : Belgium. ISBN 90-403-0074-7. 94 pp.

Jansen F., Oksanen J. (2013) How to model species responses along ecological gradients - Huisman-Olff-Fresco models revisited. Journal of Vegetation Science 24: 1108–1117.

Janssens F., Peeters A., Tallowin J.R.B., Bakker J.P., Bekker R.M., Filla F., Oomes M.J.M. (1998) Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. Plant and Soil 202: 69–78.

Johnston A.E., Poulton P.R., White R.P. (2013). Plant-available soil phosphorus. Part II: the response of arable crops to Olsen P on a sandy clay loam and a silty clay loam. Soil Use and Management 29(1):12-21.

Johnston A.E., Poulton P.R., Fixen P.E., Curtin D. (2014). Chapter Five - Phosphorus: Its Efficient Use in Agriculture. In: Donald L.S. (editor). Advances in Agronomy: Academic Press. p 177-228.

Kennedy I.R. (1992) Acid Soil and Acid Rain, 2nd edn., John Wiley, NY.

Klapp E. (1951) Borstgrasheiden der Mittelgebirge. Zeitschr. Acker- und Pflanzenbau 93: 40-444.

Klapp E. (1965) Grünlandvegetation und Standort. Parey, Berlin, DE.

Koopmans G.F., Chardon W.J., Ehlert P.A.I., Dolfing J., Suurs R.A.A., Oenema O., van Riemsdijk W.H. (2004) Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched non-calcareous sandy soil. Journal of Environmental Quality 33: 965-975.

Lamers L., Lucassen E., Smolders F., Roelofs J. (2005) Fosfaat als adder onder het gras bij "nieuwe natte natuur". H2O 38: 28-30.

Lamers L., Lucassen E., Tomassen H., Smolders A. & Roelofs J. (2009). 'Verpitrussing' bij natuur- ontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. De Levende Natuur 1: 43-46.

Laurijssens G., De Blust G., De Becker P., Hens M. (2007). Opmaak van een standaardprotocol voor herstelbeheer van natte heide en vennen en toepassing ervan op Groot en Klein Schietveld, Tielenkamp en Tielenheide. Brussel: Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO.R.2007.31.

Liczner Y., Schoenmaeckers M., van Ballaer B., Backx H., van Pelt D., van Diggelen R. (2010) Onderzoek van het ecologisch potentieel van graslanden in de regio Antwerpse Kempen. In opdracht van Agentschap Natuur en Bos, Antwerpse Kempen. Universiteit Antwerpen.

Loeb R., van der Bij A., Bobbink R., Frouz J., van Diggelen R. (2013) Ontwikkeling van droge heischrale graslanden op voormalige landbouwgronden. Rapport nr. 2013/OBN176-DZ, Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur, 137 pp.

Londo G. (1975) De decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. Gorteria 7: 101-106.

Marrs R.H., Snow C.S.R., Owen K.M., Evans C.E (1998). Heathland and acid grassland creation on arable soils at Minsmere: identification of potential problems and a test of cropping to impoverish soils. Biological Conservation 85 (1-2): 69-82.

Mládek J., Hejcman M., Hejduk S., Duchoslav M., Pavlů V. (2011) Community seasonal development enables late defoliation without loss of forage quality in semi-natural grasslands. Folia Geobotanica 46: 17–34.

Oberdorfer E. (1978) Klasse: Nardo-Callunetea Prsg. 49. In: Süddeutsche Pflanzengesellschaften, 2 ed., part 2, Oberdorfer E., Ed., Stuttgart-New York., Fischer, p. 208-248.

Oosterbaan A., de Jong J.J., Kuiters A.T. (2008) Vernieuwing in ontwikkeling en beheer van natuurgraslanden op voormalige landbouwgrond op droge zandgronden, 57 pp.

Packet J., Denys L., De Becker P. (2011) Advies betreffende mogelijkheden voor het herstel van een zwak gebufferd ven op het militair domein Kamp Beverlo te Houthalen-Helchteren (INBO.A.2010.232)

Poulton P.R., Johnston A.E., White R.P. (2013). Plant-available soil phosphorus. Part I: the response of winter wheat and spring barley to Olsen P on a silty clay loam. Soil Use and Management 29(1):4-11.

Preising E. (1949) Nardo-Callunetea. Zur systematik der Zwergstrauch-Heiden und Magertriften Europas mit Ausnahme des Medittrran-Gebietes, der Arktis und der Hochgebirge. Mitt. Flor.-soziol. Arbeitgem., n.f. 1: 82-92.

Remy E. (2012) De relatie tussen abiotische bodemcondities, de bodemfauna en de vegetatiesamenstelling van heischrale graslanden en graslanden onder natuurherstel. Master thesis, Universiteit Gent, 112 pp.

Rodwell, J.S. (ed.) (1992) British Plant Communities. Volume 3. Grassland and montane communities. Cambridge University Press.

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: 517-541.

Schelfhout S., De Schrijver A., De Bolle S., De Gelder L., Demey A., Du Pré T., De Neve S., Haesaert G., Verheyen K., Mertens J. (2015) Phosphorus mining for ecological restoration on former agricultural land. Restoration Ecology 23: 842-851.

Schoumans O.F. (2004) Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Alterra Rapport 730.4, Alterra, 50 pp.

Sillinger P. (1933) Monografická studie o vegetaci Nizkych Tater. Praha.

Sival F.P., Chardon W.J., van der Werff M.M. (2004) Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat: evaluatie van verschralingsmaatregelen. Alterra rapport 951, Alterra, Wageningen.

Sival F.P., Chardon W.J., van Rooij M. (2007) Fosfaat en natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in de provincie Zeeland. Alterra: 1566-7197.

Sival F.P., Chardon W.J. (2004) Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1090.

Smits N., Bobbink R., Jansen A., van Dobben H. (2012) Herstelstrategie H6230: Heischrale graslanden.

Smolders A., Lucassen E., Tomassen H., Lamers L., Roelofs J. (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. Vakblad Natuur Bos Landschap 3: 5-11.

Sterckx G., De Blust G., Vermeersch G. (2008) Heide in de vuurlinie – Ecologische gebiedsvisie voor de Natura 2000 gebieden van Kamp Beverlo, het schietterrein van Helchteren en hun omgeving. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel (INBO.R.2008.25)

Stevens C.J., Dise N.B., Gowing D.J. (2009) Regional trends in soil acidification and exchangeable metal concentrations in relation to acid deposition rates. Environmental pollution 157: 313-319.

Stevens C.J., Dupré C., Dorland E., Gaudnik C., Gowing D.J.G., Diekmann M., Alard D., Bobbink R., Corcket E., Mountford J.O., Vandvik V., Aarrestad P.A., Muller S., Dise, N.B. (2011) Grassland species composition and biogeochemistry in 153 sites along environmental gradients in Europe. Ecology 92: 1544.

Stieperaere H. (1990) De heischrale graslanden (Nardetea) van atlantisch Europa. Onuitgegeven doctoraatsverhandeling, Universiteit Gent, 303 p.

Stieperaere H. (1993) A syntaxonomic evaluation of the Belgian Nardetea. Belgian Journal of Botany 126: 135-150.

Swertz C.A., Schaminée J.H.J., Dijk E. (1996) Nardetea. In: Schaminée J.H.J., Stortelder A.H.F., Weeda, E.J. (1996) De vegetatie van Nederland 3. Graslanden, zomen, droge heiden. Opulus Press, Uppsala, Leiden: 263-286.

Tilley M. (2014) Karakterisatie van de nutriëntentoestand en de impact van maaibeheer in halfnatuurlijke graslanden, Master thesis, Universiteit Gent. 63 p.

Timmermans B., van Eekeren N. (2012) Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. Nederlands Bosbouwtijdschrift:12-19.

Timmermans B., van Eekeren N., Finke E., Smeding F. (2010) Evenwichtige verschraling van natuurpercelen. Eindverslag 2007-2009: Louis Bolk Instituut. Publicatienummer 2010-022 LbP. 58 p.

T'jollyn, F., Bosch, H., Demolder, H., De Saeger, S., Leyssen, A., Thomaes, A., Wouters, J., Paelinckx, D. & Hoffmann, M. (2009). Criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de NATURA 2000-habitattypen, versie 2.0. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (46). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Tubbs C.R. (1986) The New Forest. New Naturalist, Collins, UK.

Tyler G., Olsson T. (2001) Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to soil acidity. European Journal of Soil Science 52: 151-165.

Ulrich B. (1983) Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: $S0_2$, alkali and earth alkali cations and chloride. In: Ulrich B. & Pankrath J. (eds): Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems, pp. 33-45. D. Reidel Publ., Dordrecht.

Van Daele T. (2003). Coördinatie uitbouw grondwatermeetnet in Vlaamse natuurreservaten i.f.v. opmaak signaalkaart verdroging. Bijlage: Brochure hydrologische monitoring in natuurgebieden. Studie in opdracht van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur- en waterbeheer, afdeling Natuur. 34 p.

Van Daele T., Batelaan O., De Smedt F. (2001) Ontwerp van ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek, Deel II: Hydrologische systeemmodellering, Vakgroep hydrologie en waterbouwkunde, Vrije Universiteit Brussel, Onderzoeksopdracht MINA/105/9803 AMINAL, afdeling Natuur.

van der Salm C., Chardon W.J., Koopmans G.F., van Middelkoop J.C., Ehlert P.A.I. (2009) Phytoextraction of phosphorus-enriched grassland soils. Journal of Environmental Quality 38: 751-761.

Van Olmen, M., Vanacker, S. Hoffmann, M. (2000). Hoe aandachtssoorten en grondwaterstanden opvolgen?: vademecum ter invulling van artikel 19, punten 4 en 5 van het besluit van de vlaamse regering houdende de vaststelling van de voorwaarden voor de erkenning van natuurreservaten en van terreinbeherende v. Rapporten van het instituut voor natuurbehoud, 2000(03). Instituut voor Natuurbehoud: Brussel : Belgium. 129 pp.

Van Ranst E, Sys C. (2000) Eenduidige legende voor de digitale bodemkaart van Vlaanderen (schaal 1:20 000). Universiteit Gent, Laboratorium voor Bodemkunde.

Van Wirdum G. (1991). Vegetation and hydrology of floating rich-fens. In: G. Van Wirdum (editor). Appendix D: Evaluation of the major-ionic composition of natural waters. Maastricht. p 247-284.

Verbaarschot E., Herr C., Weijters M., De Becker P., Bobbink R. (2012) Ecohydrologische studie “Boven- en Middenloop Vallei van de Bosbeek”, B-WARE & Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, rapport 2012.57 in opdracht van Natuurpunt, 121 p.

Vreys B., Van Den Balck E. (2010) Natuurinrichtingsproject Zwarte Beek: bodemkundig onderzoek vallei van de Zwarte Beek (Beringen).

Wamelink G.W.W., Van Adrichem M.H.C., Van Dobben H.F., Frissel J.Y., Den Held M., Joosten V. et al. (2014) Ecological conditions database. Wageningen: Universiteit Wageningen.

Wamelink G.W.W., Runhaar J (2001) Abiotische randvoorwaarden voor nartuurdoeltypen. Alterra-rapport 181, Alterra, Wageningen.

Wassen M.J., Venterink H.O., Lapshina E.D., Tanneberger F. (2005) Endangered plants persist under phosphorus limitation. Nature 437: 547-550.

Westhoff V. (1958) De plantengroei van het Nationale Park Veluwezoom. Wetenschappelijke Mededelingen KNNV 26: 1-40.

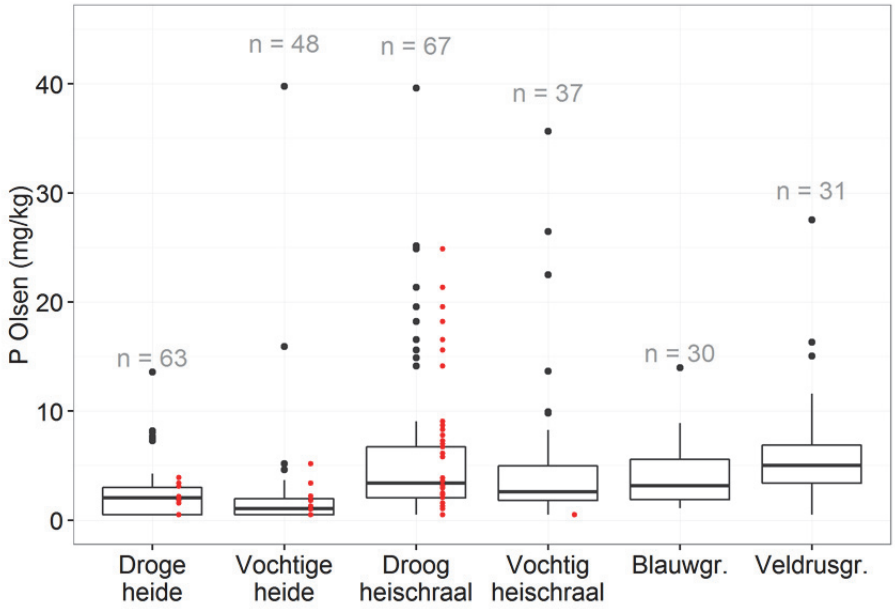
Westhoff V., den Held A. J. (1969) Plantengemeenschappen in Nederland, Thieme & Cie.

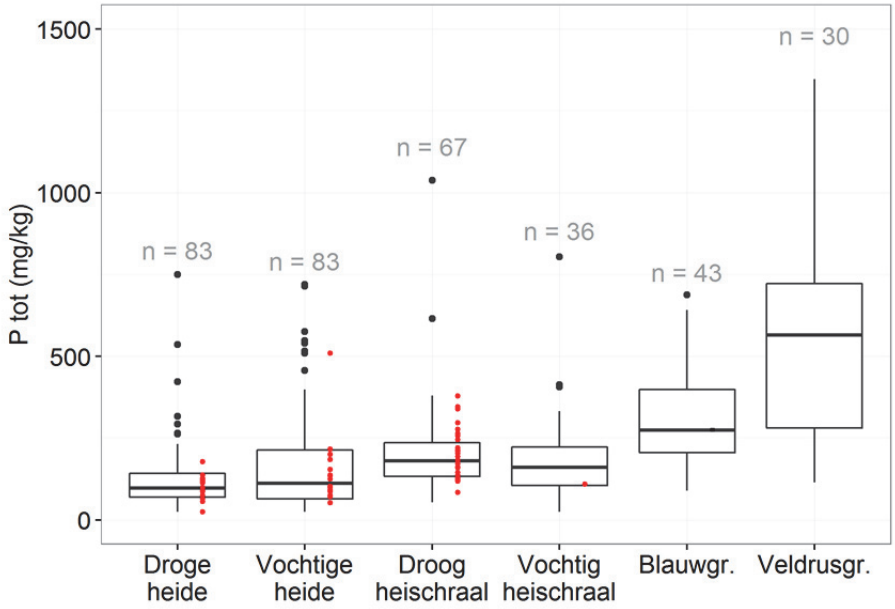
Wouters J., Raman M., Hens M., Van Calster H. (2015) Bepaling van het gunstig abiotisch bereik voor (semi)-terrestrische habitattypen op basis van standplaatsonderzoek. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2015 (INBO.R.2014.2942552). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

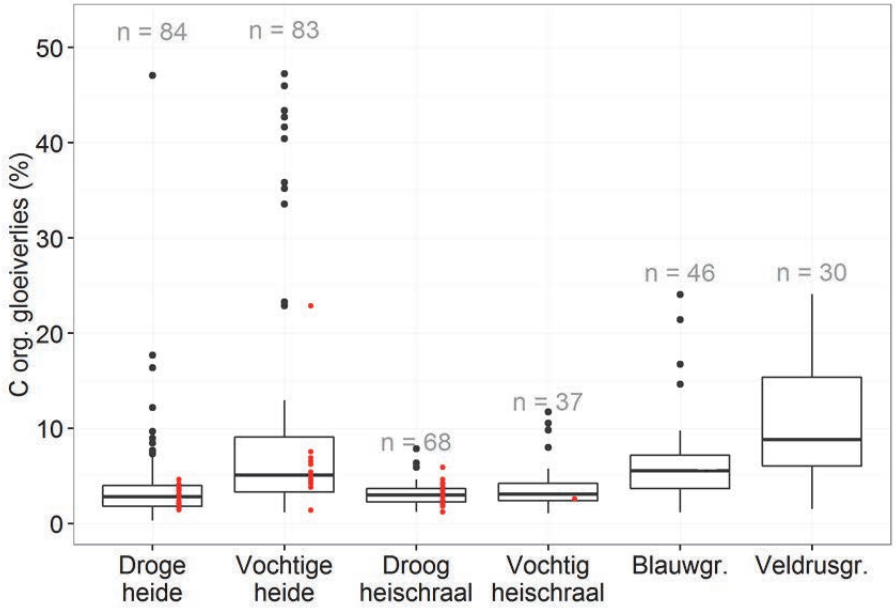
Zwaenepoel A., Stieperaere H. (2002) Systematiek van natuurtypen voor Vlaanderen: 6.5 Graslanden, heischrale graslanden, hoofdstuk 16: heischraal grasland (Nardo-Galion). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

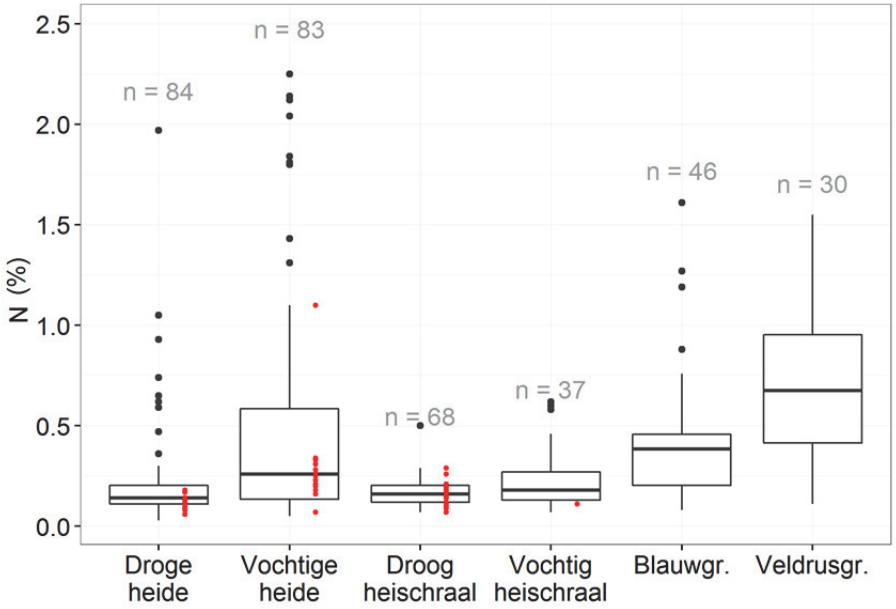
Bijlage I: Boxplots van de bodemanalyses per habitatsubtype voor goed ontwikkelde heide, heischraal grasland en blauw- en veldrusgrasland

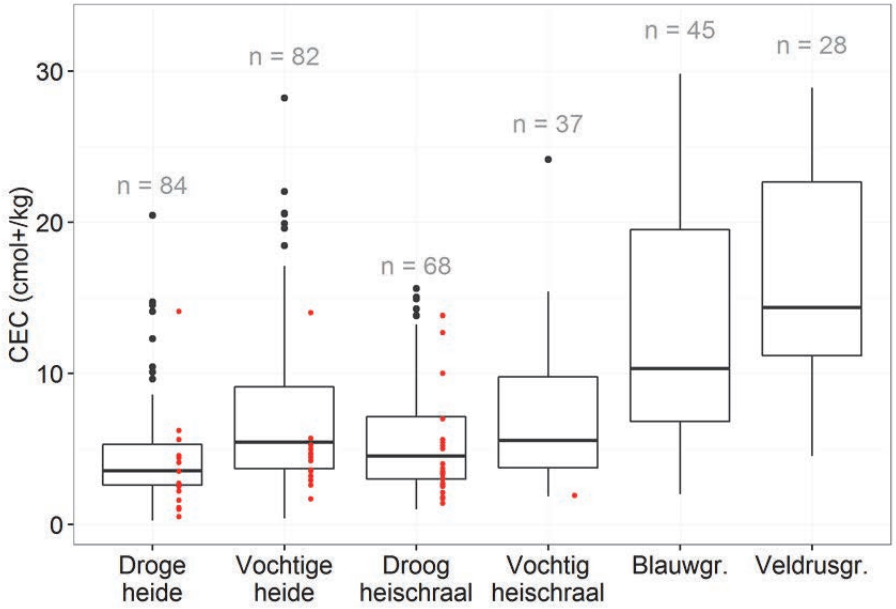
De boxplots tonen het minimum, het eerste kwartiel (Q1, meting waarboven 75% van de metingen liggen), de mediaan (waarboven 50% van de metingen liggen), het derde kwartiel (Q3, waarboven 25% van de metingen liggen) en het maximum van de waargenomen data (met uitzondering van de uitschieters). De uitschieters worden als afzonderlijke punten getoond. Dit zijn punten die meer dan 1.5 keer de interkwartielafstand (= afstand tussen Q1 en Q3) onder of boven Q1 of Q3 liggen (Krzywinski & Altman 2014). De bemonsterde locaties in dit studiegebied staan met rode puntjes weergegeven.

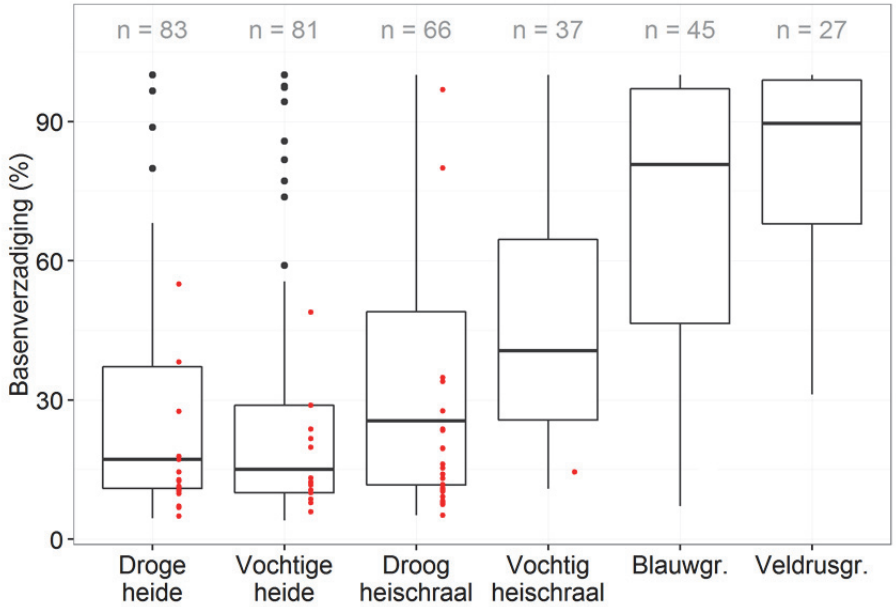


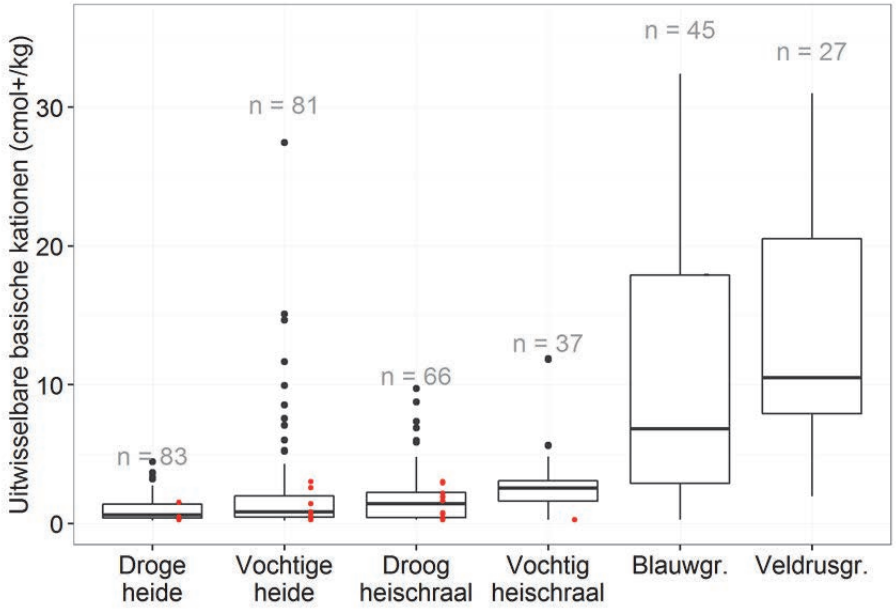


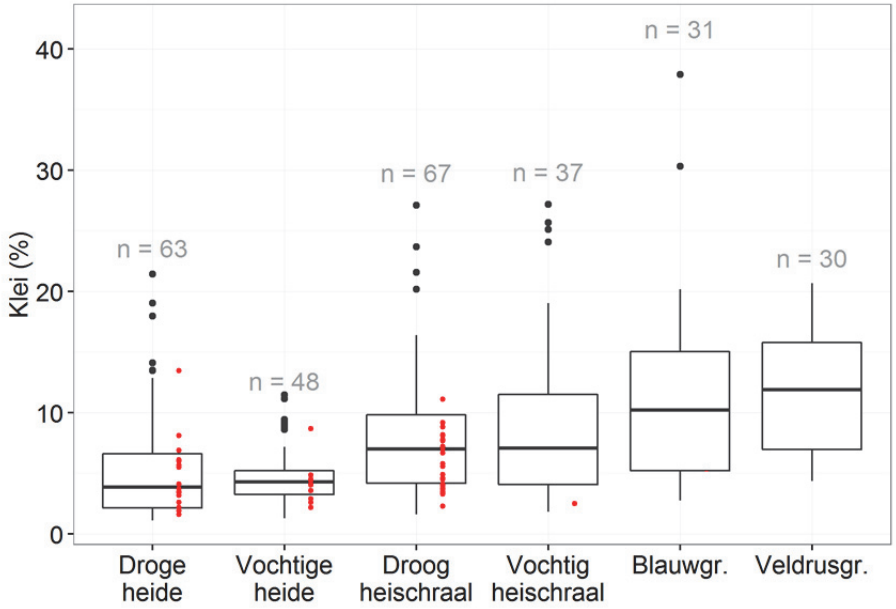

C org. gloeiverlies (%)
50
40
30
20
10
0
n = 84
n = 83
n = 68
n = 37
n = 46
n = 30
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

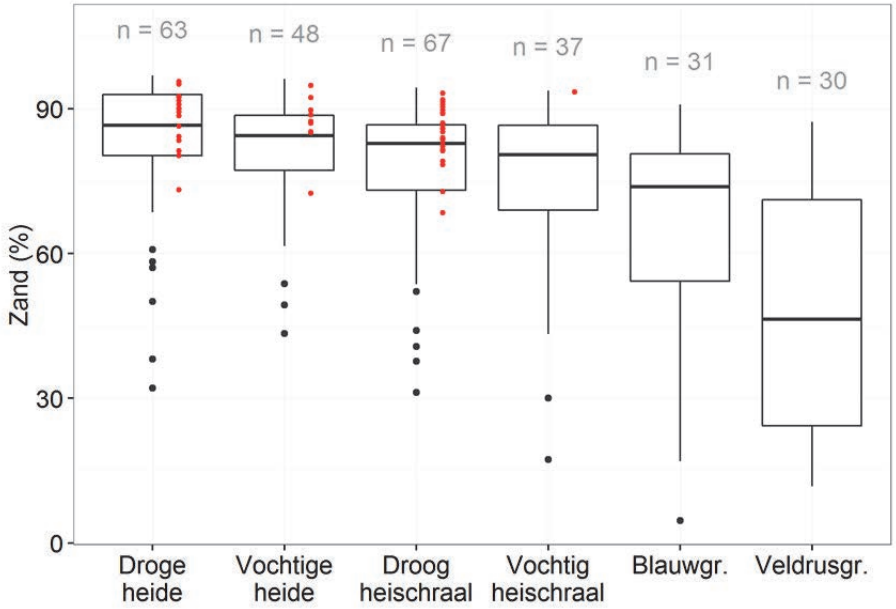

N (%)
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
n = 84
n = 83
n = 68
n = 37
n = 46
n = 30
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

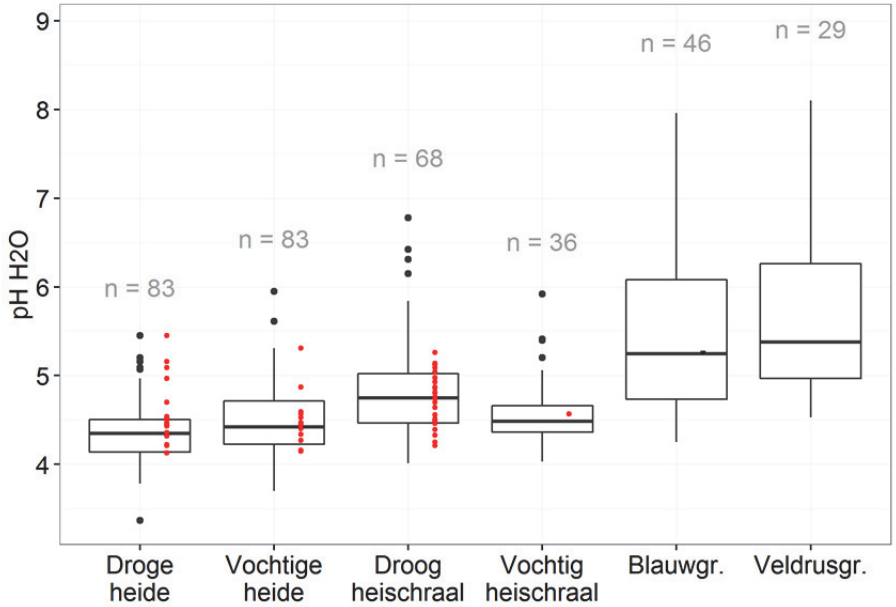

n = 84
n = 82
n = 68
n = 37
n = 45
n = 28
CEC (cmol+/kg)
0
10
20
30
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

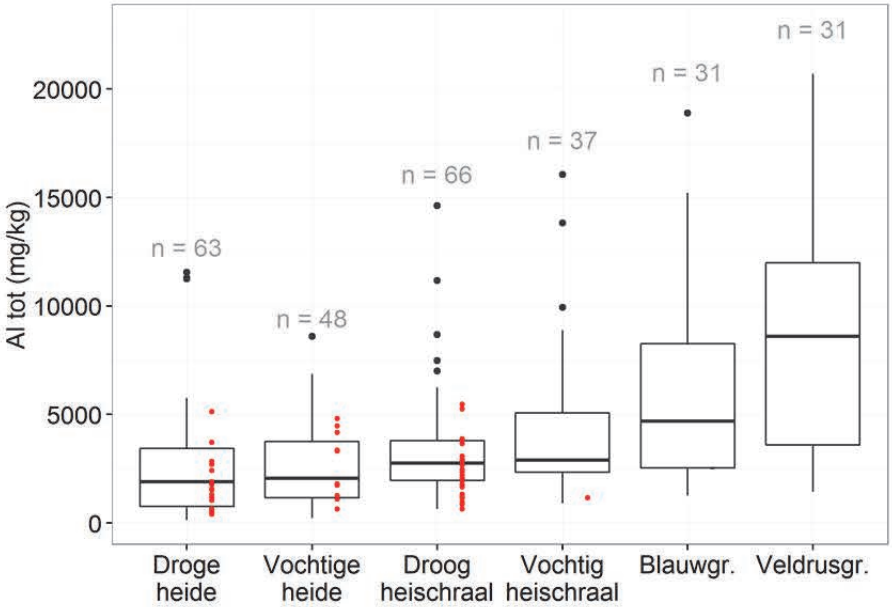

n = 83
n = 81
n = 66
n = 37
n = 45
n = 27
Basenverzadiging (%)
0
30
60
90
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

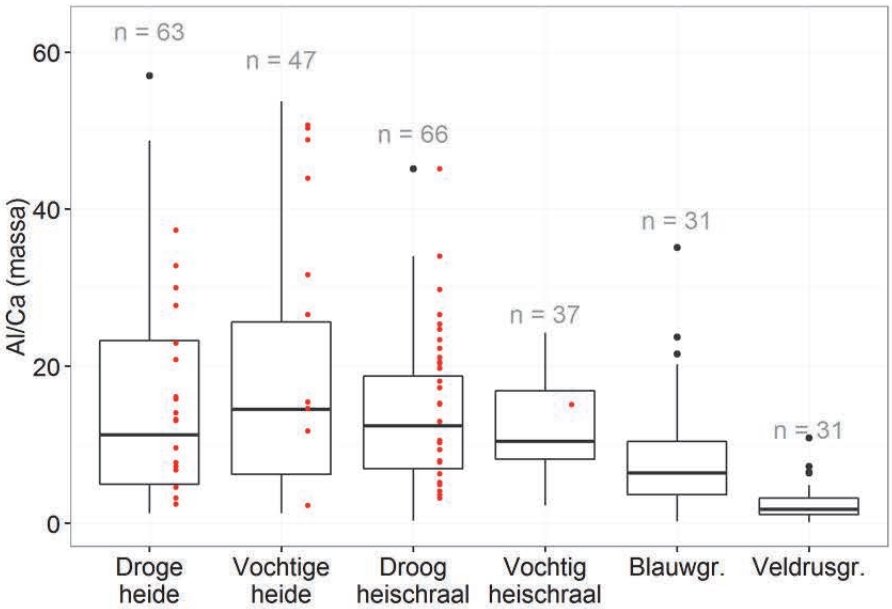

Uitwisselbare basische kationen (cmol+/kg)
0
10
20
30
n = 83
n = 81
n = 66
n = 37
n = 45
n = 27
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

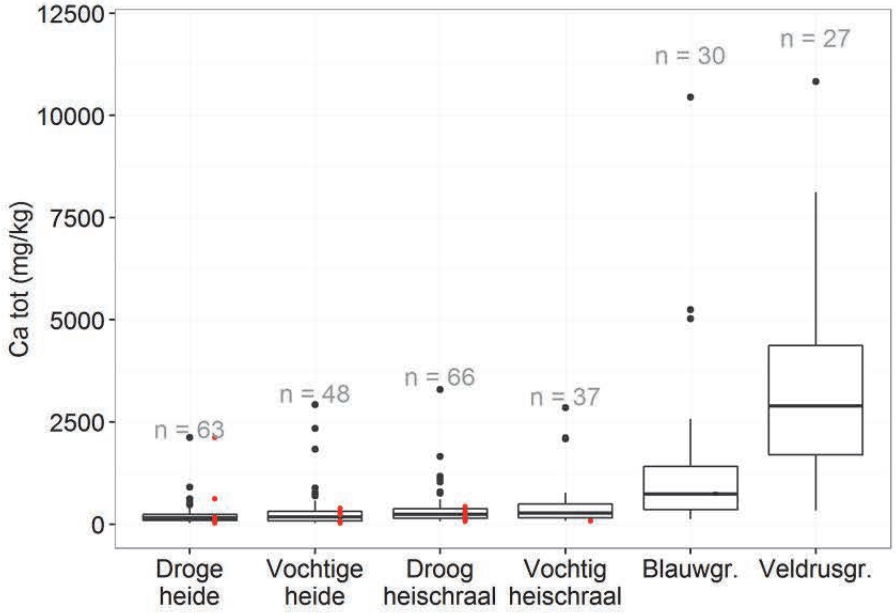

Klei (%)
0
10
20
30
40
n = 63
n = 48
n = 67
n = 37
n = 31
n = 30
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

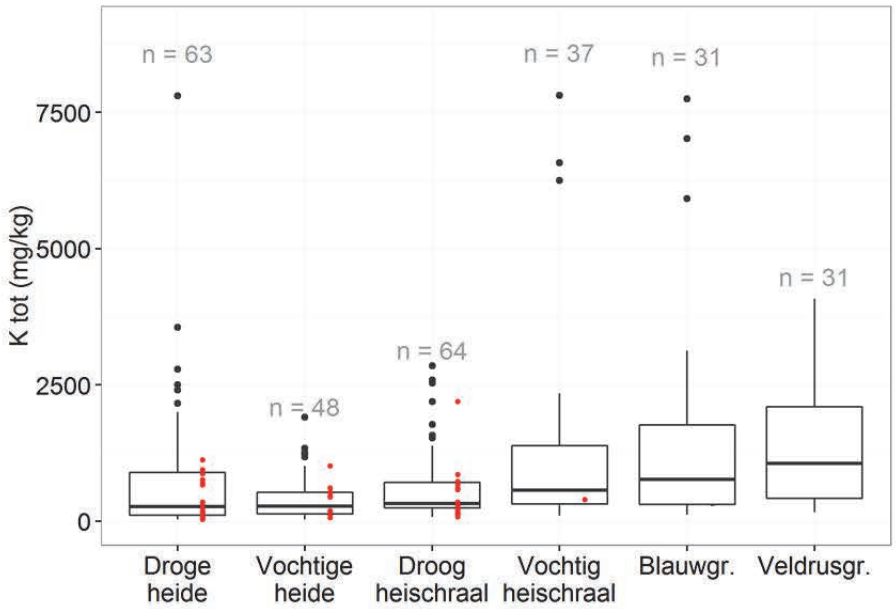

n = 63
n = 48
n = 67
n = 37
n = 31
n = 30
Zand (%)
0
30
60
90
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

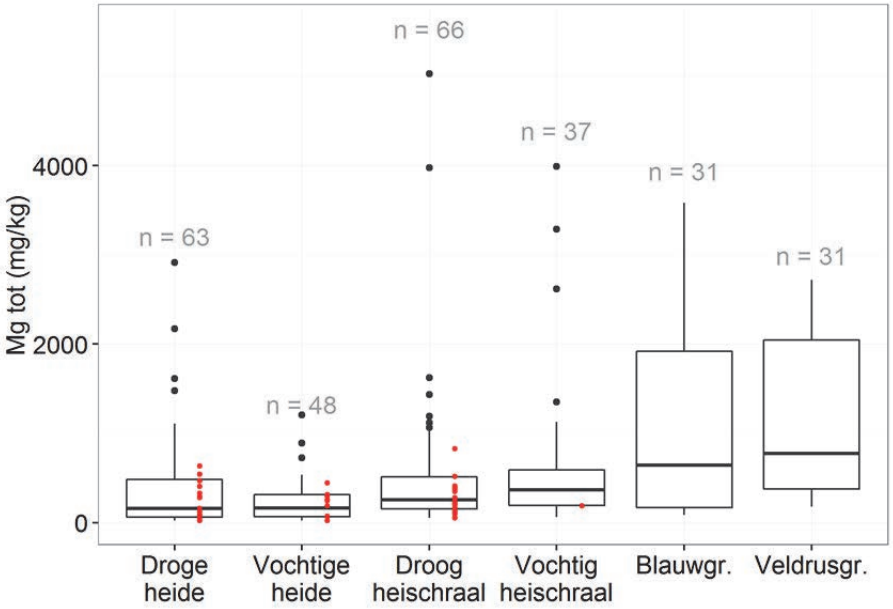

n = 83
n = 83
n = 68
n = 36
n = 46
n = 29
pH H2O
4
5
6
7
8
9
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

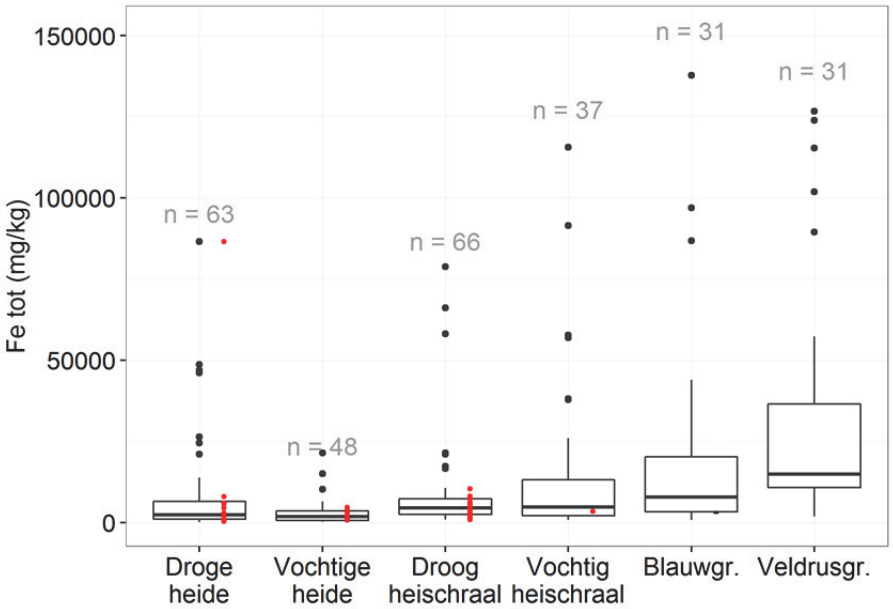

Al tot (mg/kg)
20000
15000
10000
5000
0
n = 63
n = 48
n = 66
n = 37
n = 31
n = 31
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.


Al/Ca (massa)
60
40
20
0
n = 63
n = 47
n = 66
n = 37
n = 31
n = 31
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.


Ca tot (mg/kg)
12500
10000
7500
5000
2500
0
n = 63
n = 48
n = 66
n = 37
n = 30
n = 27
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.


K tot (mg/kg)
7500
5000
2500
0
n = 63
n = 48
n = 64
n = 37
n = 31
n = 31
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.


Mg tot (mg/kg)
4000
2000
0
n = 63
n = 48
n = 66
n = 37
n = 31
n = 31
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

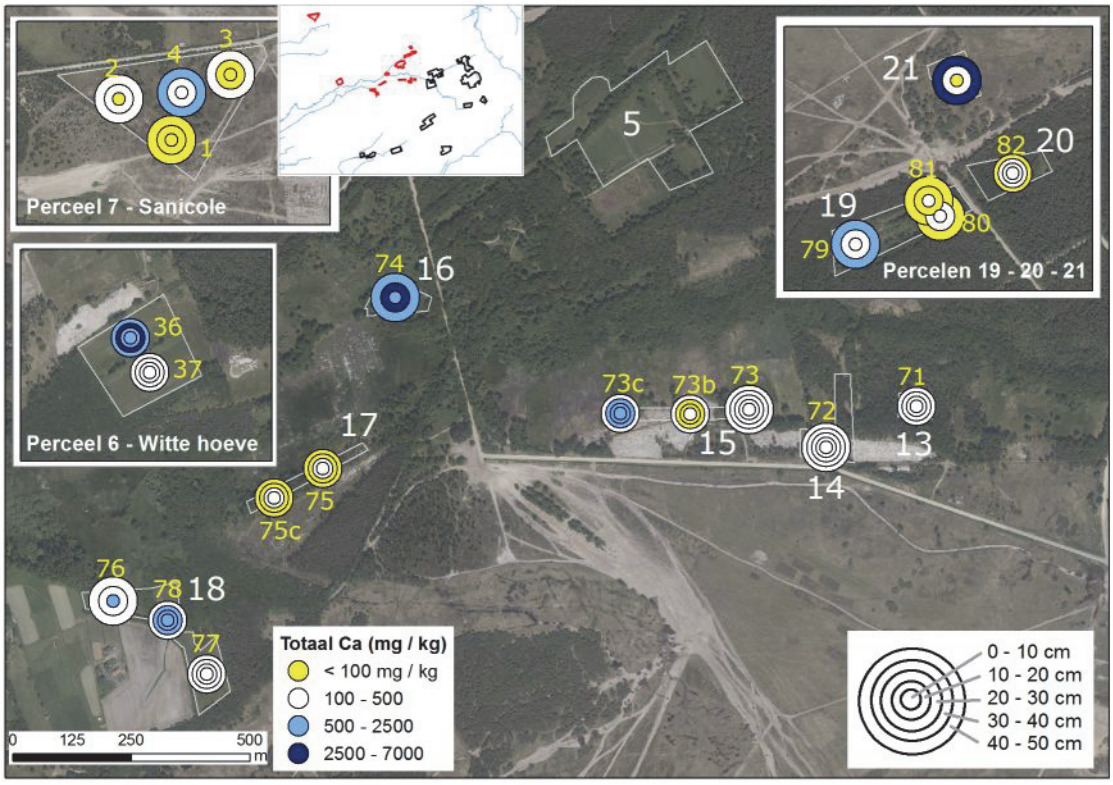

Fe tot (mg/kg)
150000
100000
50000
0
n = 63
n = 48
n = 66
n = 37
n = 31
n = 31
Droge heide
Vochtige heide
Droog heischraal
Vochtig heischraal
Blauwgr.
Veldrusgr.

Bijlage II: totaal Ca, Fe en Al-gehalte in de 23 te onderzoeken percelen

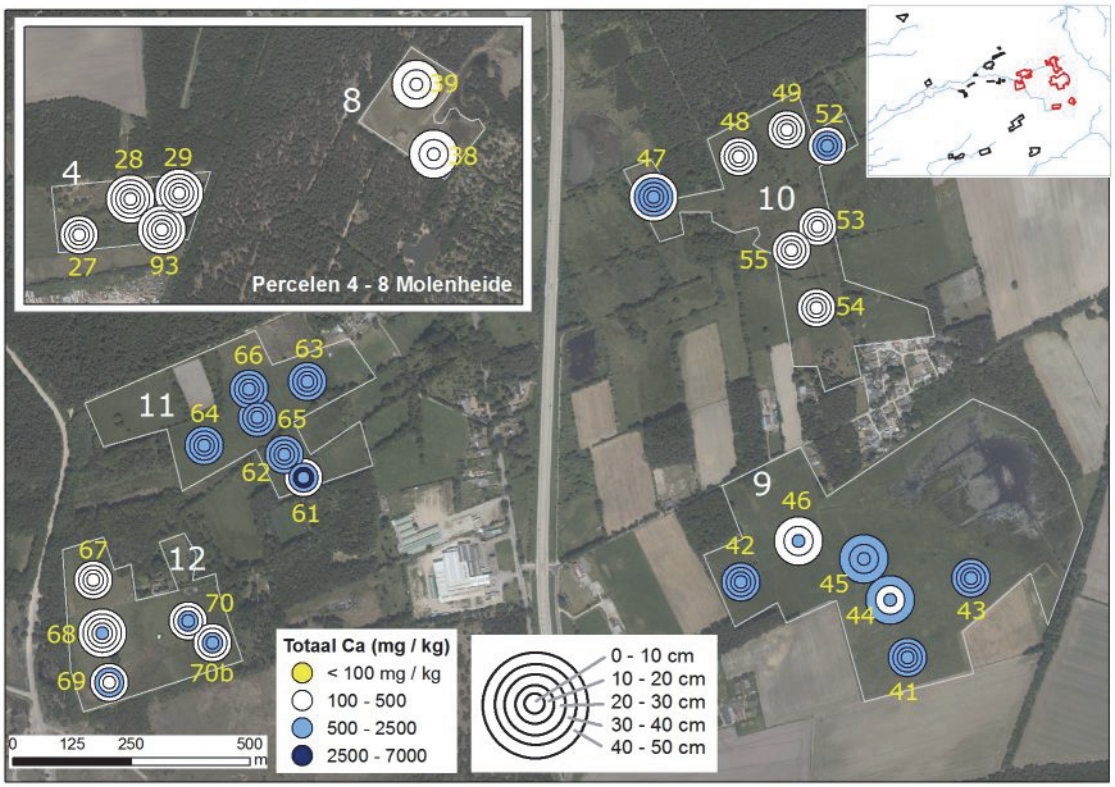
De concentrische cirkels tonen de concentratie met toenemende diepte, gaande van de toplaag (centrale kleine cirkel) tot de laag van 40-50 cm diepte (buitenste en grootste cirkel). Een bepaalde cirkelgrootte heeft altijd betrekking op dezelfde diepte, maar niet alle diepten zijn systematisch geanalyseerd voor alle parameters.

Totaal Ca

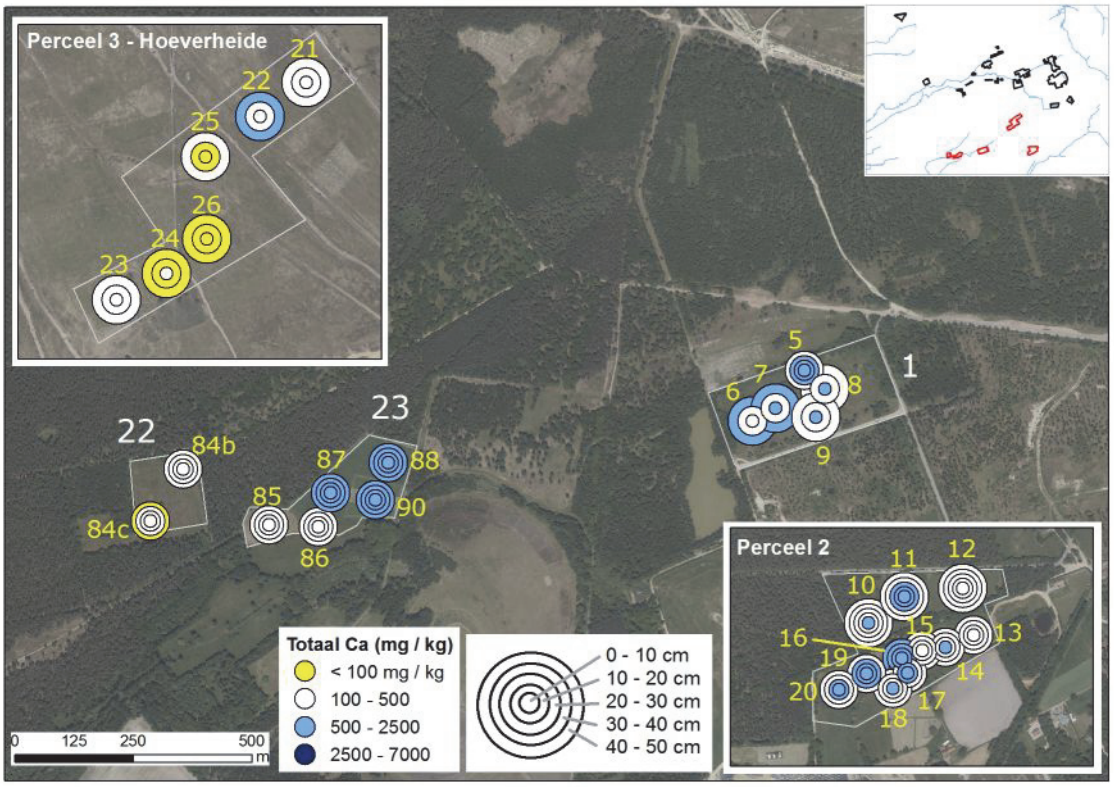
Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole



Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide

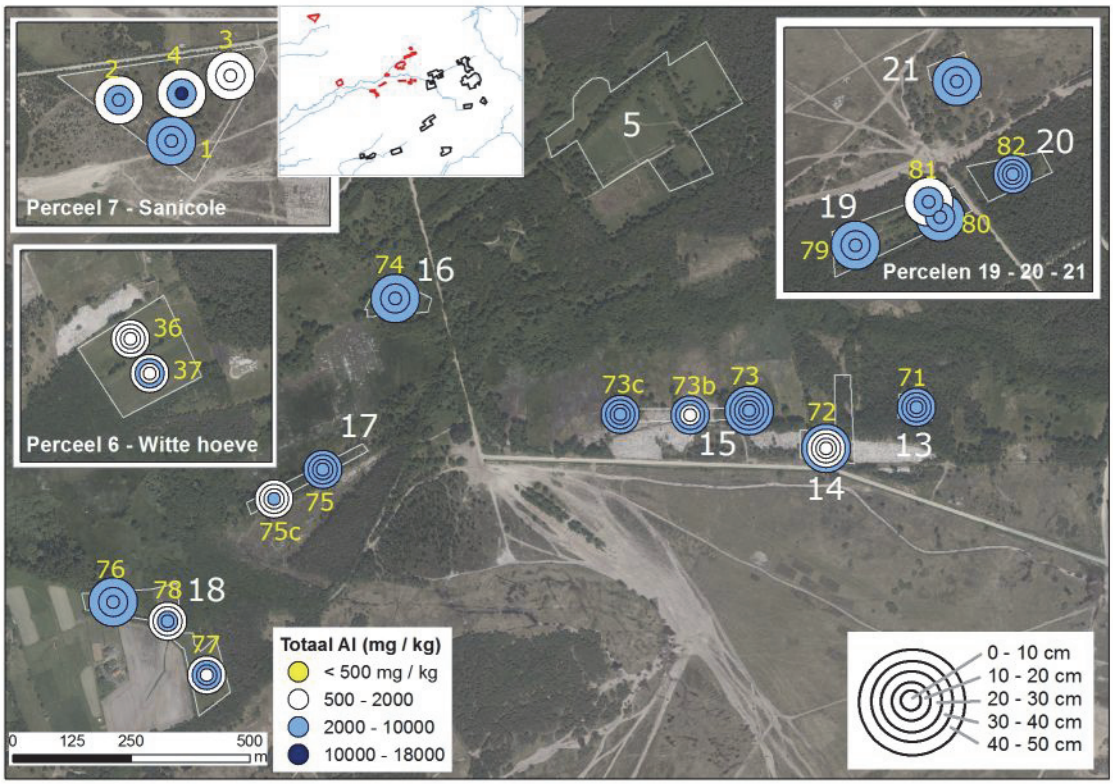


Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei

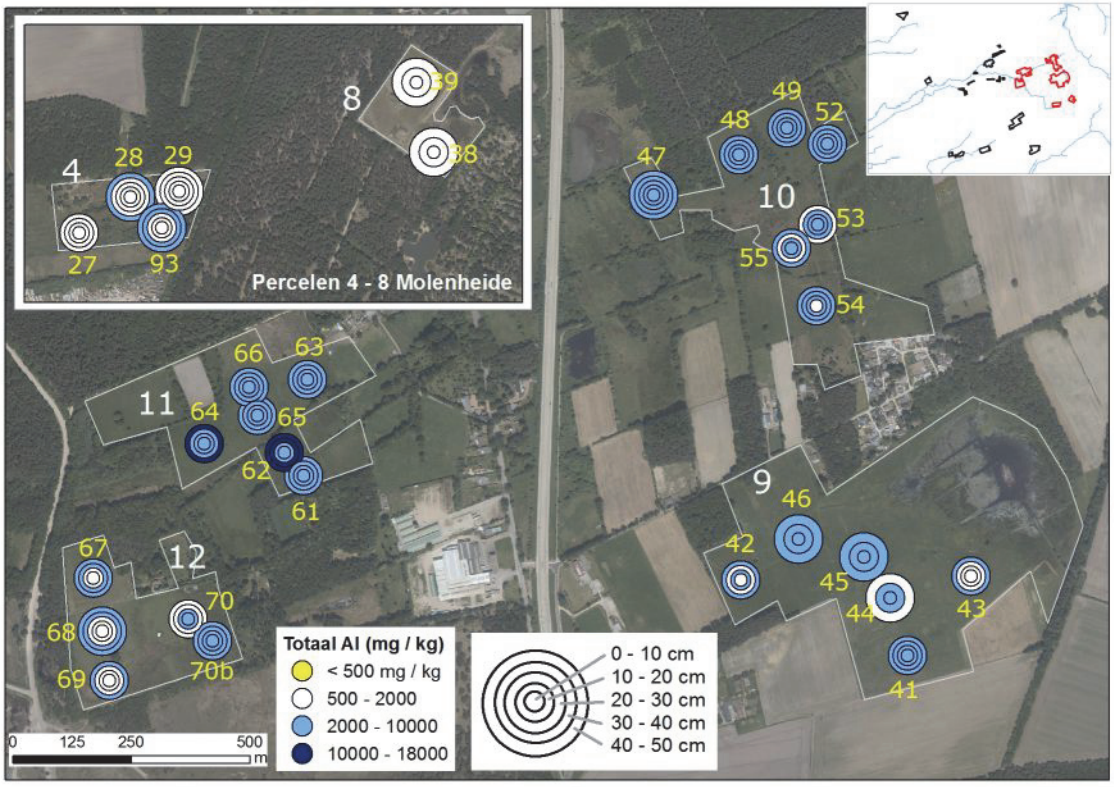


Totaal Al

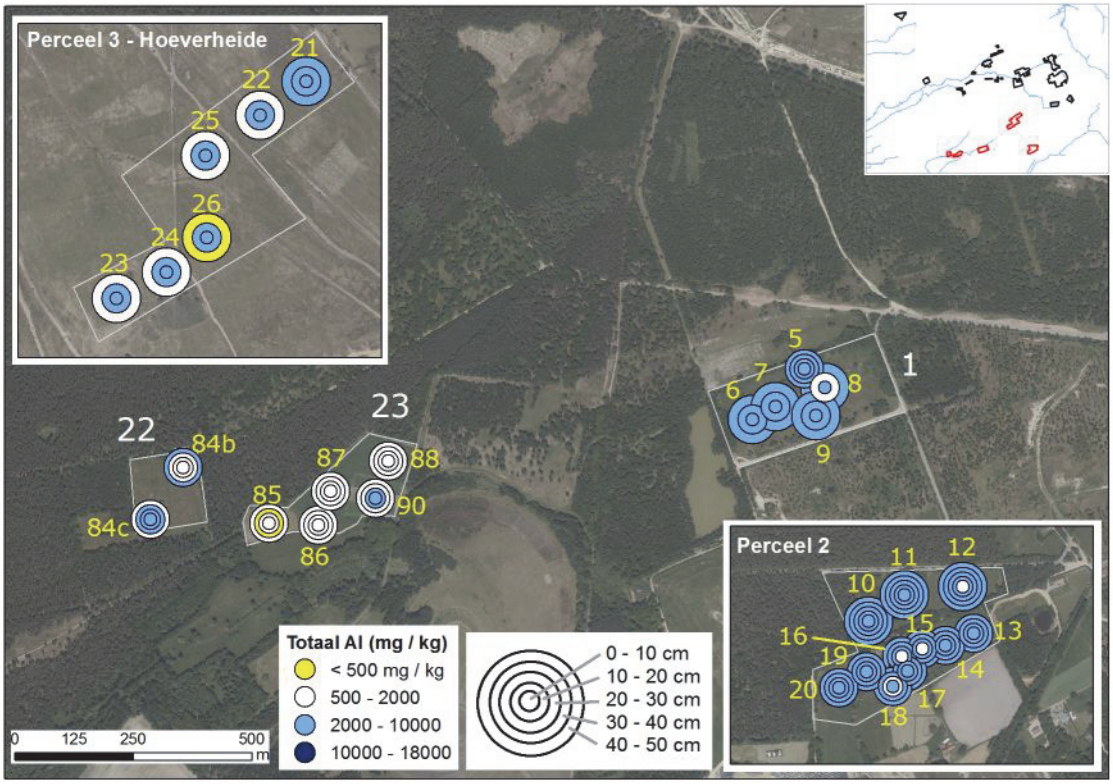
Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole



Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide

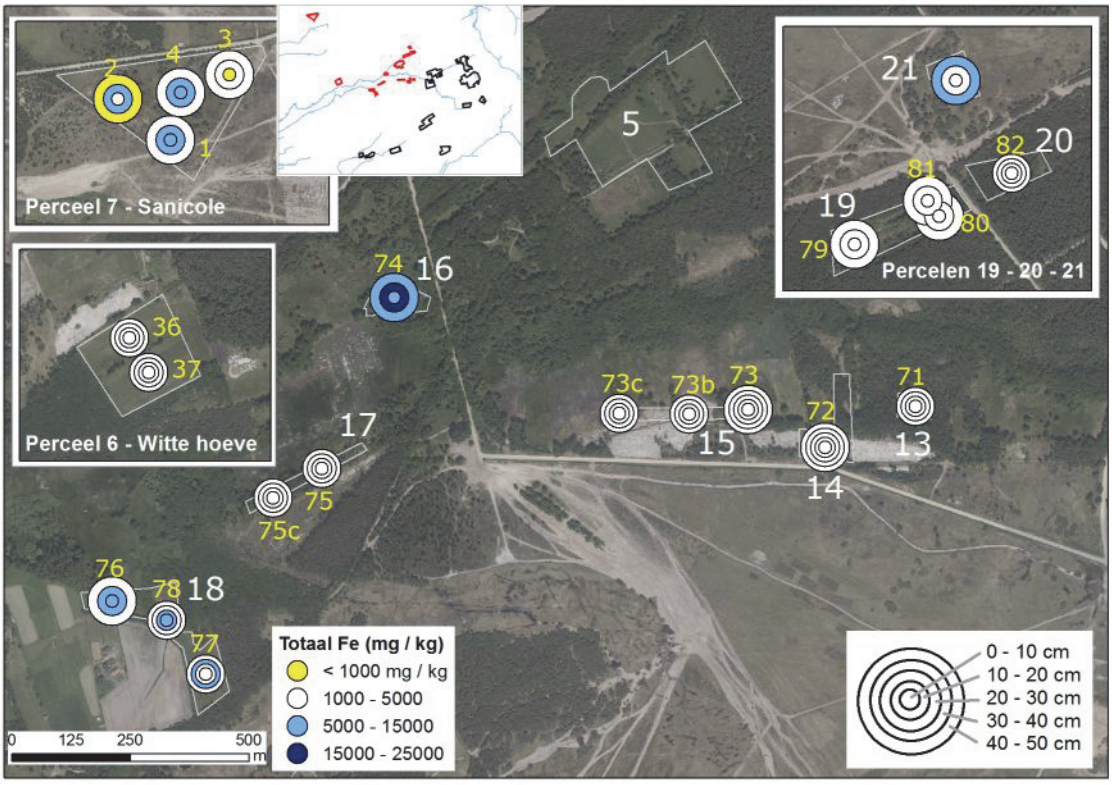


Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei

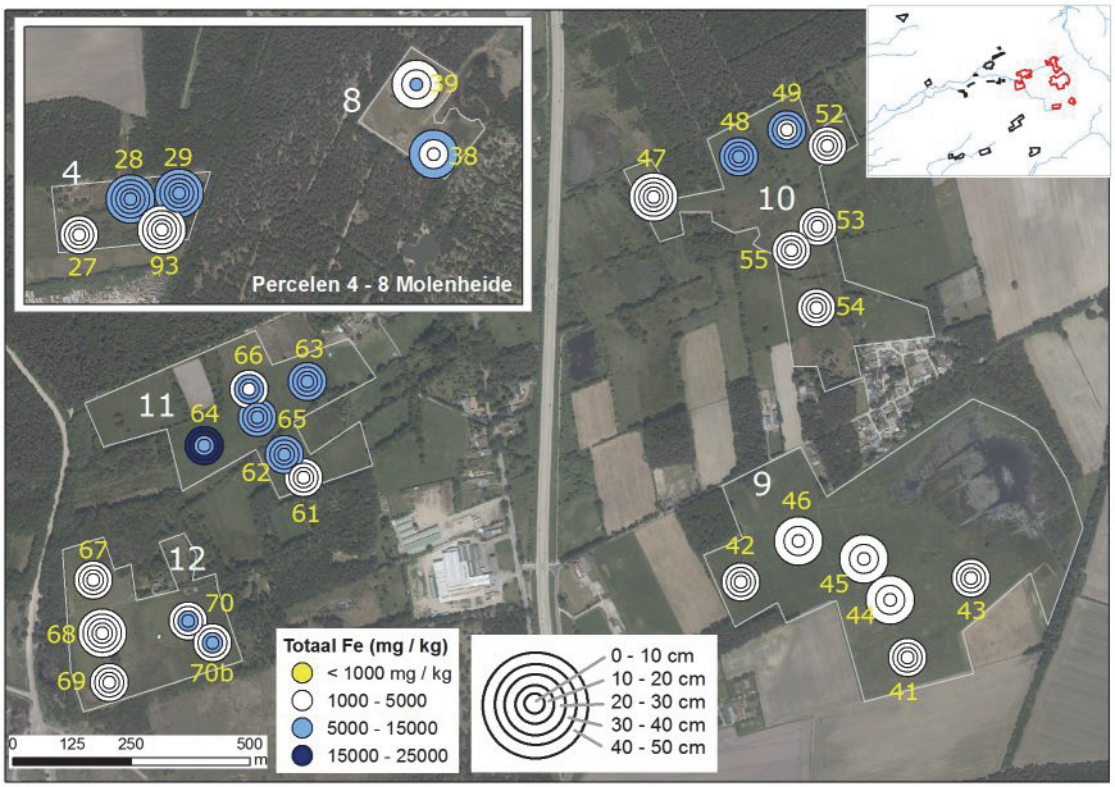


Totaal Fe

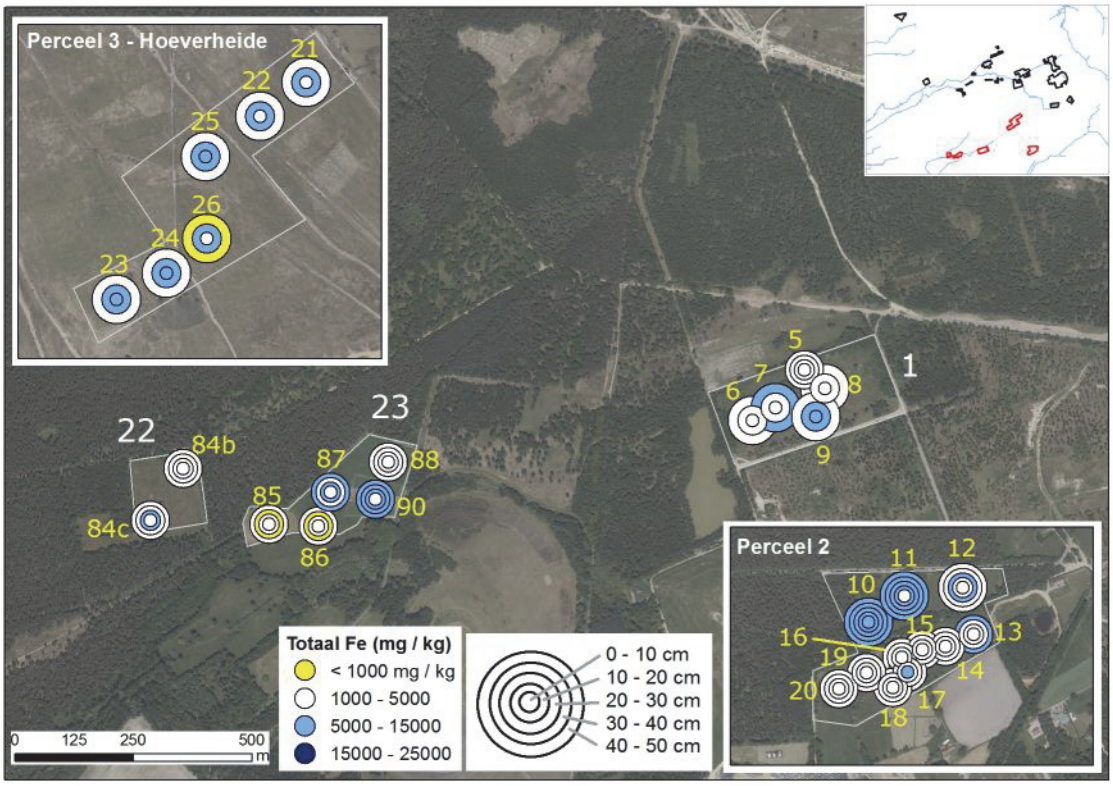
Westelijk deel: vallei van de Zwarte Beek en Sanicole



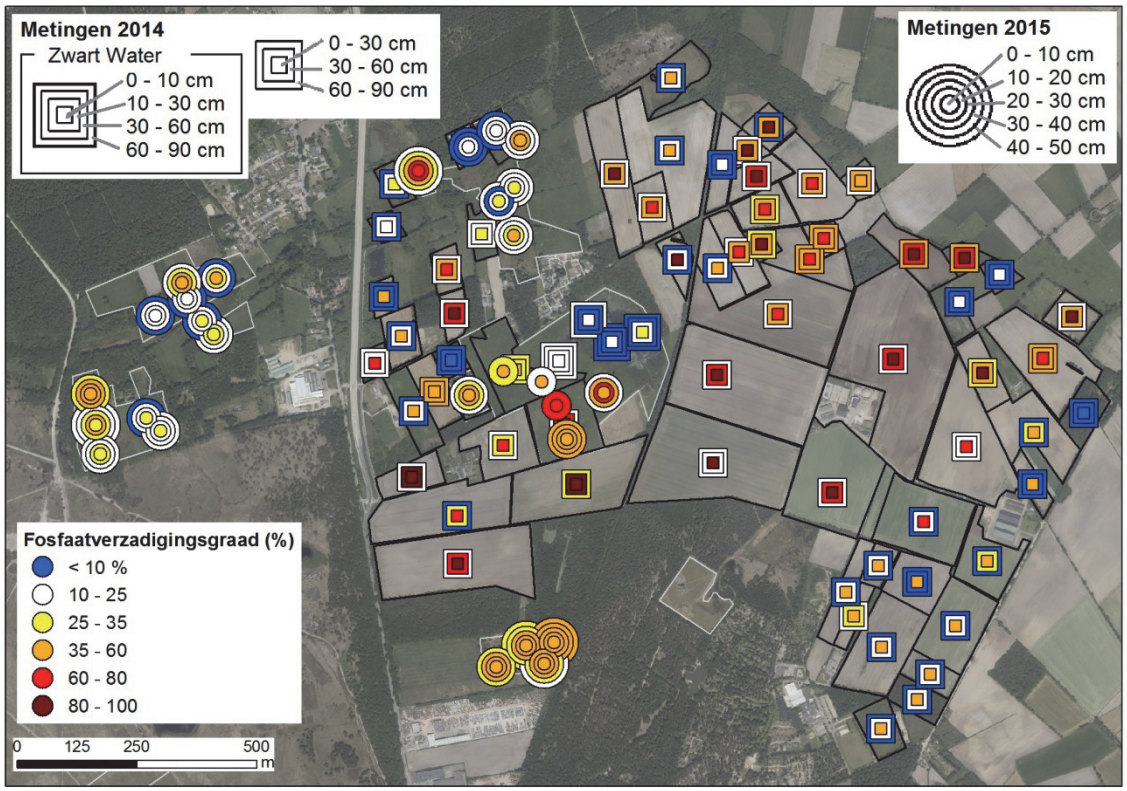
Oostelijk deel: brongebied van de Zwarte Beek en Molenheide



Zuidelijk deel: Hoeverheide en Helderbeekvallei



Bijlage III: Fosfaatverzadigingsgraad in het brongebied van de Zwarte Beek

Data: Herr et al. 2015 (metingen 2014) en deze studie (metingen 2015)

De metingen van 2014 zijn op een mengstaal per perceel (zwarte percelen op de kaart) per diepte uitgevoerd, op uitzondering na van de punten in het Zwart Water (waarbij een mengstaal rond de locatie genomen en geanalyseerd werd).