



Uitwerking natuurinrichting Landgoed Achtervoorde

Datum: 21 oktober 2020
Project: 2651
Status: Definitief
Opdrachtgever: W. van der Rijt

Voorwoord

Dhr. Van der Rijt, eigenaar van een perceel in het buurtschap Achtereind (gemeente Waalre), heeft Bureau van Nierop gevraagd om een inrichtingsplan op te stellen voor de natuurstukken van het toekomstige Landgoed Achtervoorde. Dit rapport presenteert het inrichtingsplan, dat is gebaseerd op de inrichtingsvisie van landschapsarchitect Jan Hein Ruijgrok. Bureau van Nierop is iedereen dankbaar die heeft bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport.

Het rapport is opgesteld door F. Meijer, L. van Nierop en D. Custers.

Riethoven, 21 oktober 2020

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	2
Inhoudsopgave.....	4
Inleiding.....	6
Hoofdstuk 1: Historie van het landschap.....	7
Hoofdstuk 2: Abiotische factoren	10
2.1 Geomorfologie	10
2.2 Bodem	11
2.4 Grondwater en hoogte	11
2.5 Bodemgeschiktheid.....	12
Hoofdstuk 3: Natuurbeheerplan.....	14
Hoofdstuk 4: Gebiedsinrichting.....	16
4.1 Schetsontwerp	16
4.2 Definitieve inrichting.....	17
Hoofdstuk 5: Natuurtypen	21
5.1 Kruidachtige vegetatie.....	21
5.1.1 Kruiden- en faunarijk grasland	21
5.1.2 Ruigteveld	22
5.2 Bossen en singels.....	23
5.2.1 Gedegradieerd Wintereiken-Beukenbos	24
5.2.2 Elzen-Eikenbos	25
5.2.3 Gewoon Elzenbroekbos.....	26
5.3 Solitaire bomen	27
5.4 Poelen	28
Hoofdstuk 6: Openstelling	30
Referenties.....	31
Literatuur	31
Websites.....	31

BIJLAGE

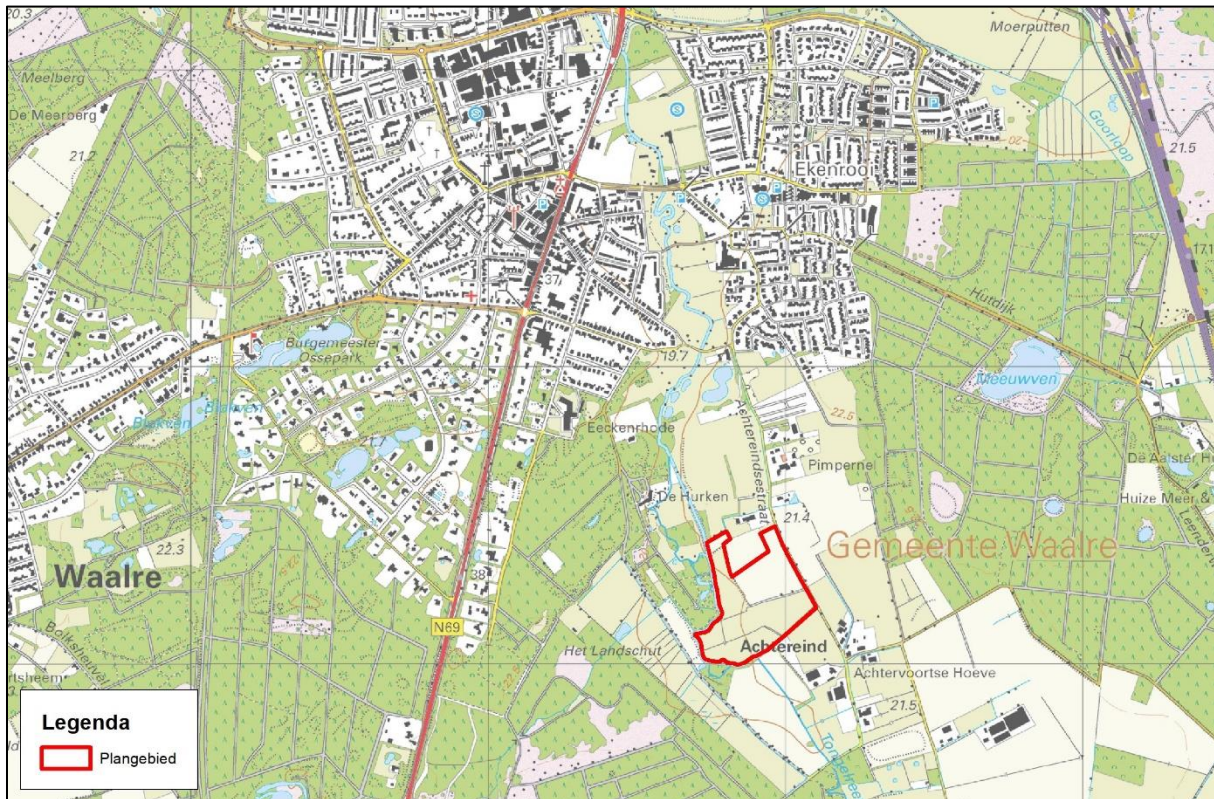
1. Bodemonderzoek Landgoed Achtervoorde, Waalre

Figuren

Figuur 1	Ligging plangebied	6
Figuur 2	Topografie 1850	7
Figuur 3	Topografie 1901	8
Figuur 4	Topografie 1960	8
Figuur 5	Topografie 2000	9
Figuur 6	Detailkaart topografie 1930.....	9
Figuur 7	Geomorfologische kaart.....	10
Figuur 8	Bodemsoorten op basis van Stiboka 1952.....	11
Figuur 9	Grondwatertrappen op basis van Stiboka 1952	12
Figuur 10	Hoogtekaart AHN	13
Figuur 11	Natuurbeheerkaart.....	14
Figuur 12	Ambitiekaart	15
Figuur 13	Schetsontwerp.....	16
Figuur 14	Inrichtingsplan	17
Figuur 15	Oppervlakten singels	19
Figuur 16	Oppervlaktes per terreintype	19
Figuur 17	Kruiden- en faunarijk grasland.....	21
Figuur 18	Ruigteveld	22
Figuur 20	Solitaire bomen	27
Figuur 21	Poelen	28

Inleiding

Het plangebied voor het toekomstige Landgoed Achtervoorde heeft een oppervlakte van 10,27 hectare en is gesitueerd ten zuiden van Aalst nabij het buurtschap Achtereind in de gemeente Waalre (figuur 1). De eigenaar van het plangebied, Dhr. W. van der Rijt, wil hier middels de aanleg van nieuwe natuur in het kader van de landgoedregeling van de Verordening Ruimte Noord-Brabant twee nieuwe woningen met bijgebouwen realiseren. In ruil hiervoor wordt vijf hectare nieuwe natuur gecreëerd. De ambitie is om hiermee een kwaliteitsimpuls te geven aan de plaatselijk verdwenen elementen van het oorspronkelijke beekdallandschap van de Tongelreep en te streven naar hoogwaardige en duurzame natuur én verhoging van de belevingswaarde van het landschap.



Figuur 1 Ligging plangebied

Leeswijzer

Dit rapport bevat de uitwerking van de natuurstukken op het toekomstige Landgoed Achtervoorde. Allereerst wordt er aandacht besteed aan de historie van het landgebruik in het plangebied en de directe omgeving. In het daaropvolgende hoofdstuk worden de abiotische eigenschappen van de bodem beschreven, waarop de inrichting van het landgoed in belangrijke mate is gebaseerd. Vervolgens wordt het ruimtelijk beleid dat de provincie in de omgeving van het plangebied voert, besproken.

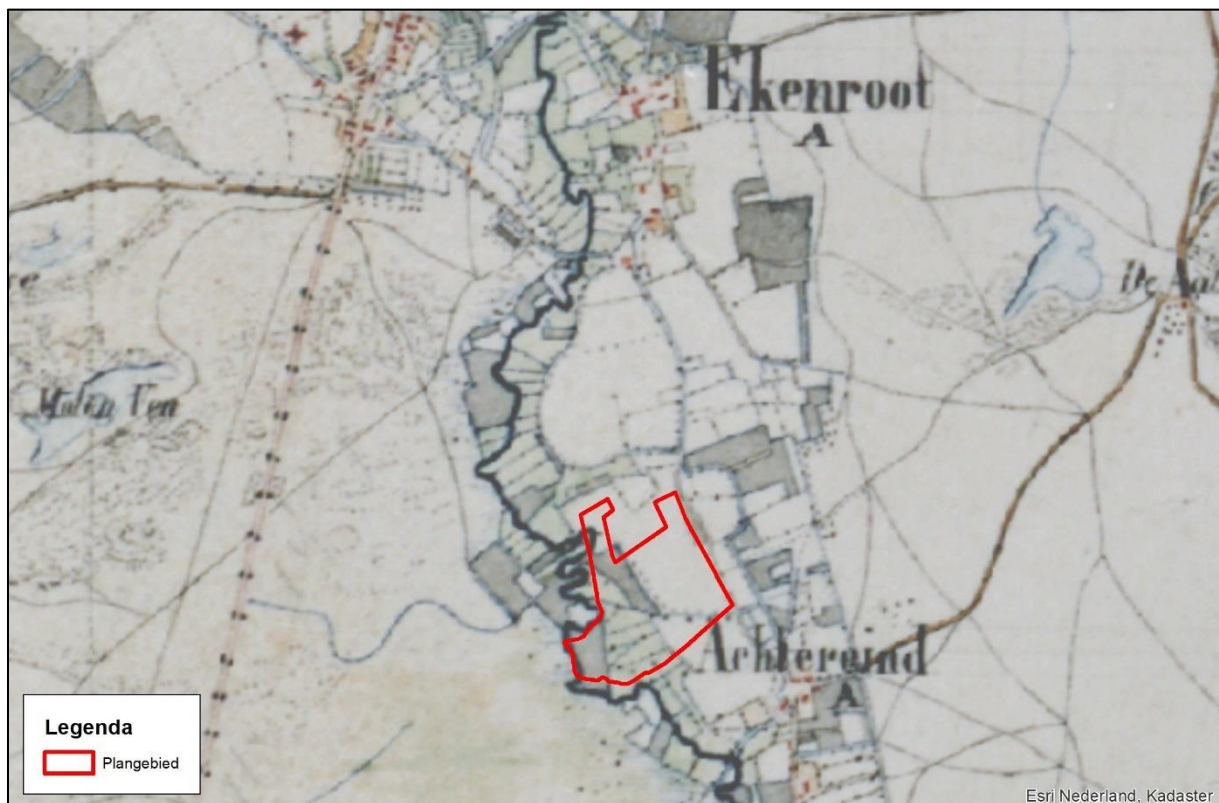
In hoofdstuk 4 wordt het inrichtingsplan van Landgoed Achtervoorde gepresenteerd, waarna in hoofdstuk 5 de aan te leggen natuurtypen in detail worden beschreven.

Hoofdstuk 1: Historie van het landschap

Het plangebied bevindt zich in een oud beekdal, het dal van de Tongelreep, dat landschappelijk en cultuurhistorisch van grote waarde is. De beek de Tongelreep stroomt aan de westzijde langs het plangebied en aan de oostzijde bevindt zich een hoge dekzandrug. Midden door het plangebied, van noordwest naar zuidoost, loopt van oudsher een steilrand.

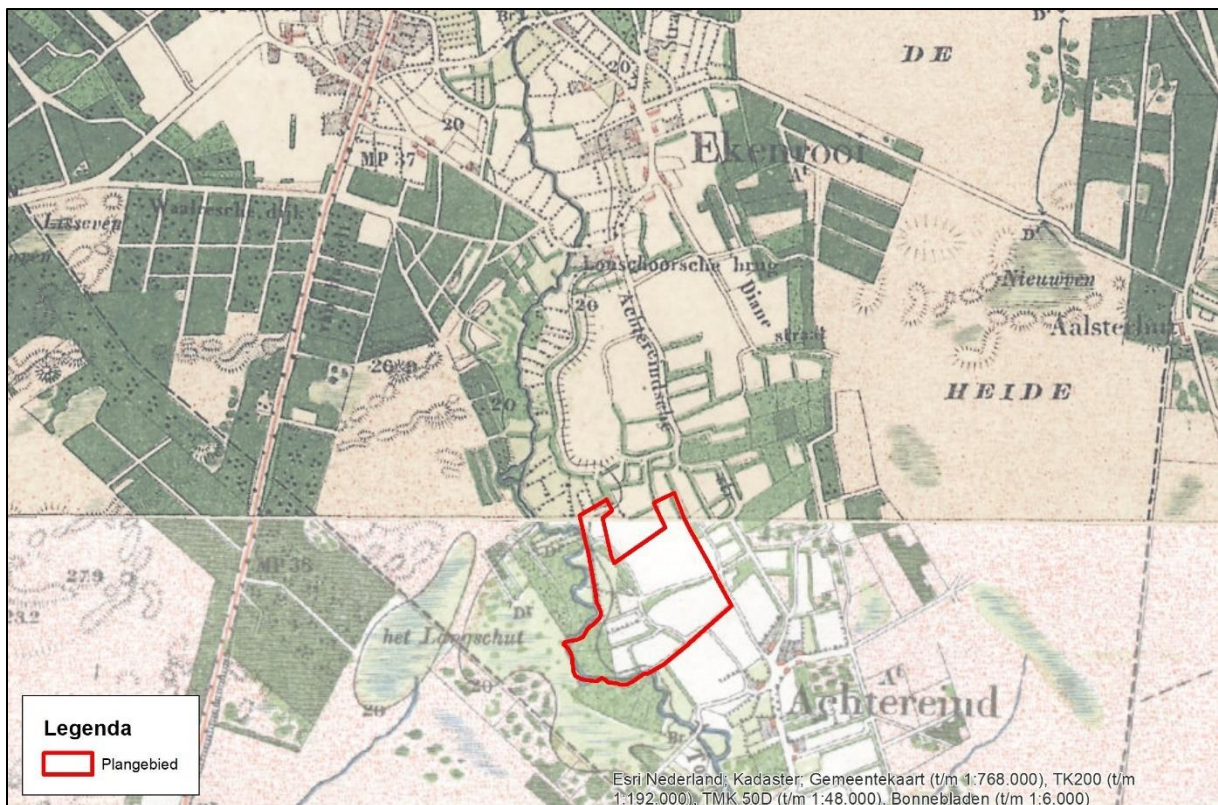
Aan de hand van oude kaarten wordt hieronder de geschiedenis van het landgebruik in het plangebied en in de directe omgeving beschreven.

Uit oude kaarten blijkt dat met name op het oostelijke deel van het plangebied al vóór 1850 landbouw werd bedreven (figuur 2). De kleine akkers worden door houtwallen omzoomd. Langs de vrij meanderende beek zijn in deze tijd vooral hooilanden aanwezig met smalle singels. Het landschap heeft hierdoor een kleinschalig karakter. In de directe omgeving is nog maar weinig bos aangelegd. In en rondom Aalst zijn enkele akkers aanwezig. De overige gronden rondom het dorp bestaan voornamelijk uit woeste gronden (heide en enkele vennen) en hebben een grootschaliger karakter. Hier werden strooisel en plaggen verzameld voor de bemesting van de akkers.

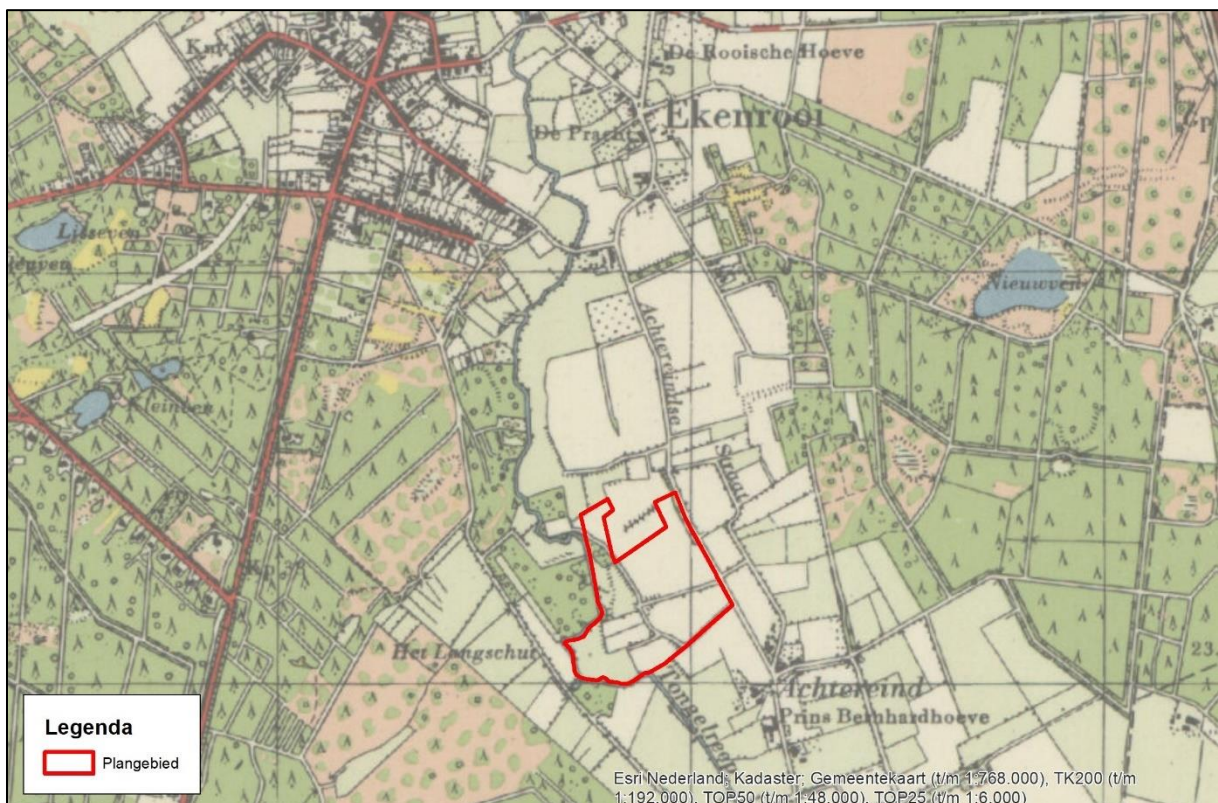


Figuur 2 Topografie 1850

In 1900 is een duidelijke verandering waarneembaar. Grote oppervlakten grond zijn in cultuur gebracht, waarop bos is aangeplant (figuur 3). In de beekdalen zijn nog steeds hooilanden aanwezig en rondom de bossen en dorpen liggen grote oppervlakten woeste gronden die nog niet in cultuur zijn gebracht.



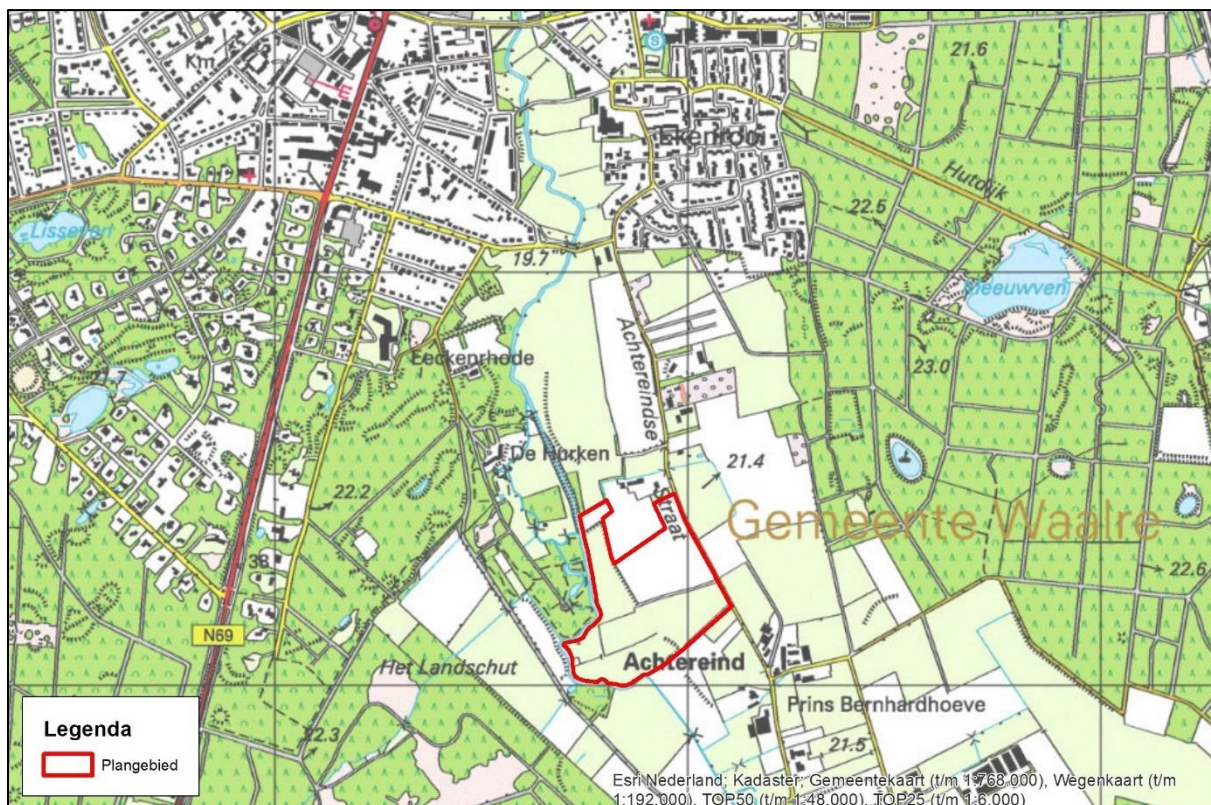
Figuur 3 Topografie 1901



Figuur 4 Topografie 1960

Op de meer recente topografische kaarten (figuur 4 en 5) is goed te zien dat het kleinschalige karakter van het beekdal grotendeels is verdwenen. De ontginning van de heide is vanaf 1900 doorgezet en de hele omgeving is in cultuur gebracht. Bovendien zijn de dorpen sterk uitgebreid. Tussen 1930 en 1960 zijn delen van de Tongelreep gekanaliseerd. Aan de

westzijde van het plangebied, langs de beek, is het broekbos verdwenen. Vandaag de dag overheerst de intensieve, grootschalige landbouw. Ook de karakteristieke steilrand in het landschap is hierbij voor een groot deel weggeploegd.



Figuur 5 Topografie 2000

De historische kaart van 1930 is gebruikt als uitgangspunt voor het schetsontwerp (bijlage 1 Bestemmingsplan Landgoed Achtervoorde). Deze kaart geeft de wegenstructuur en groene elementen het beste weer. Door deze kaart te gebruiken kunnen verdwenen elementen op de juiste locaties teruggebracht worden in het landschap.



Figuur 6 Detailkaart topografie 1930

Hoofdstuk 2: Abiotische factoren

Om te bepalen welke vegetatie geschikt is om op het landgoed aan te planten en waar welke vegetatie het beste tot zijn recht komt, is – naast kennis van de historie van het landgebruik – kennis van de geologie van het landschap, de bodem en het grondwaterpeil van groot belang. Zowel door bodemkaarten te raadplegen als met grondboringen tijdens veldbezoeken, is er veel informatie verzameld die in dit hoofdstuk wordt behandeld.

2.1 Geomorfologie

De geomorfologie beschrijft de vorm van het landschap en de processen die een rol hebben gespeeld bij de vorming ervan. Op de pleistocene zandgronden van Noord-Brabant zijn met name wind en water hiervoor verantwoordelijk.

In figuur 7 is de geomorfologische opbouw van het plangebied weergegeven. Het plangebied is opgebouwd uit de volgende geologische componenten:

- Beekdalbodem, zonder veen, relatief laaggelegen; deze gronden zijn ontstaan onder invloed van de Tongelreep. Het dal is reeds in het Weichselien (>100.000 jaar geleden) ontstaan.
- Beekdalglooiing; Een beekdalglooiing is een overgang in een terrein die kenmerkend is voor een beekdal. Hier gaat het beekdal geleidelijk over in het hoger gelegen, licht golvende dekzand.
- Dekzandruggen (oud bouwlanddek); aan het einde van de laatste ijstijd vonden er op grote schaal zandverstuivingen plaats. Dit zand is afgezet in de vorm van langgerekte of paraboolvormige ruggen. Het oude bouwlanddek verwijst naar het agrarische gebruik in het verleden.

De lage beekdalbodem bevindt zich aan de zijde van de beek, aan de westzijde van het plangebied. Naar het noordoosten toe gaat het terrein geleidelijk over in een dekzandrug.



Figuur 7 Geomorfologische kaart

2.2 Bodem

De bodem van het plangebied bestaat grotendeels uit leemarm of zwak lemig, fijn zand. Op basis van de geomorfologie van het landschap en de geschiedenis van het landgebruik, kunnen drie verschillende bodemtypen worden onderscheiden (figuur 8). Meer dan tweederde deel van het perceel behoort tot de hoge zwarte enkeerdgronden. Deze hoge en droge gronden bestaan uit een antropogeen, donkergekleurd humushoudend, mineraal dek, dikker dan 50 cm. In alle pleistocene zandlandschappen is deze bodem door de mens gevormd. Aan de westkant van het perceel wordt de bodem tot de lage enkeerdgronden gerekend, die wat betreft samenstelling vergelijkbaar zijn met de hoge zwarte enkeerdgronden, maar in het landschap lager gelegen zijn. Een klein deel van het plangebied behoort tot de gooreerdgronden, die - vanwege een nog lagere ligging en meer lemige grond - van nature een vochtminnende vegetatie herbergen.

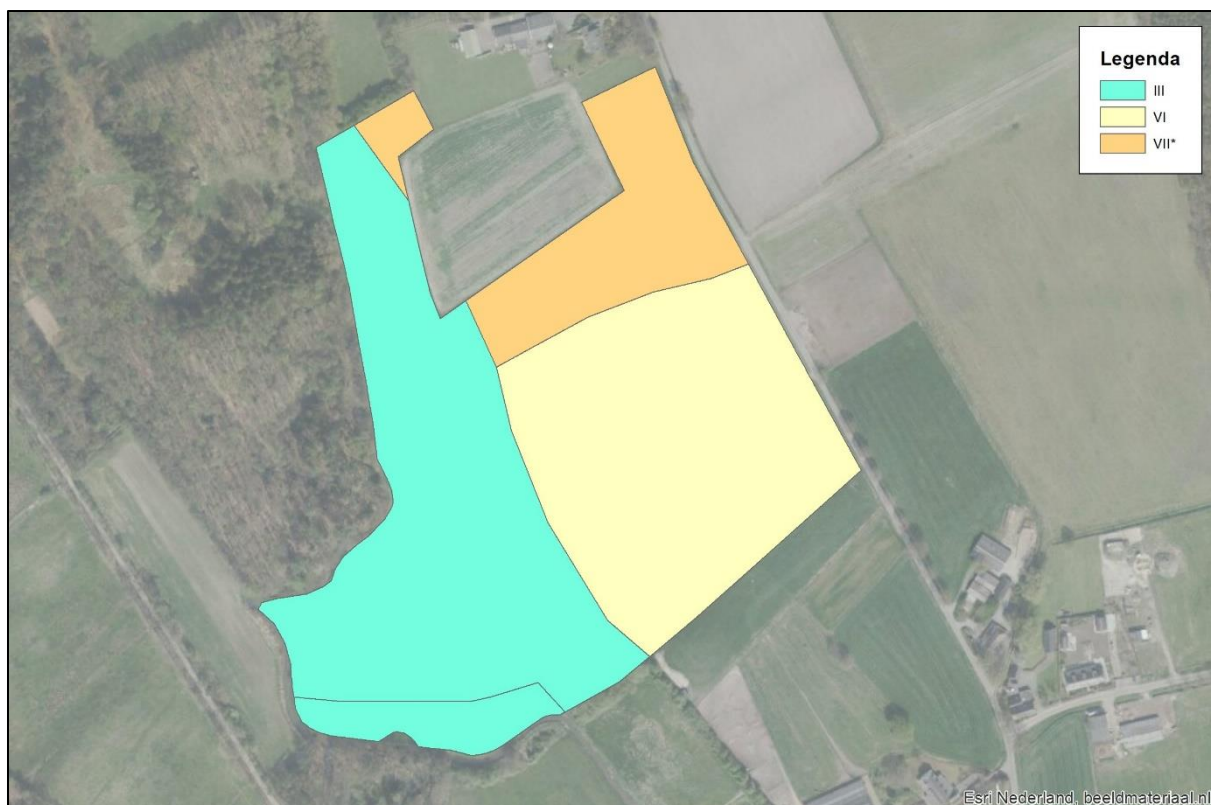


Figuur 8 Bodemsoorten op basis van Stiboka 1952

2.4 Grondwater en hoogte

Grondwater

Zoals figuur 9 laat zien, bestaat er een aanzienlijk verschil in grondwaterstand in het plangebied. In overeenstemming met de geomorfologie verloopt een gradiënt van zeer droog (grondwatertrap VII*) aan de noordzijde tot relatief nat (grondwatertrap III) aan de westzijde, waar de Tongelreep langs het plangebied stroomt. Zie tabel 1 voor de oppervlakten van de verschillende bodemsoort-grondwatertrapcombinaties.



Figuur 9 Grondwatertrappen op basis van Stiboka 1952

Bodemsoort	Grondwatertrap	Opp (ha)
Hoge zwarte enkeerdgronden	VII*	1,67
Hoge zwarte enkeerdgronden	VI	3,86
Lage enkeerdgronden	III	4,27
Gooreerdgronden	III	0,48
Totaal		10,27

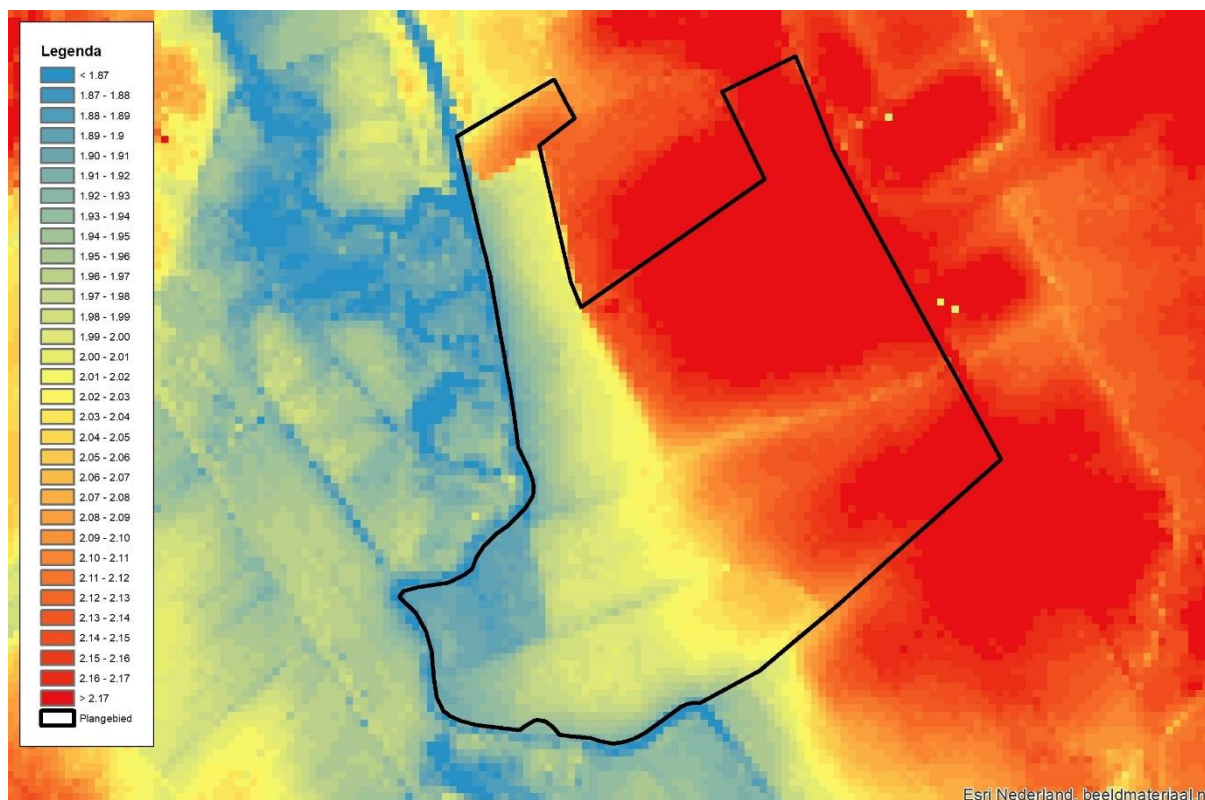
Tabel 1 Oppervlakte van bodemsoort en grondwatertrap van het plangebied

Hoogte

Het terrein loopt van oost naar west sterk af waarbij de hoogste gronden (rood in figuur 10) boven het landschap uitsteken en de laagste gronden (blauw in figuur 10) aan de Tongelreep liggen. Tussen de Achtereindsestraat en de Tongelreep is het hoogteverschil circa 3,60 meter. De hoge en lage gronden worden gescheiden door een scherpe steilrand die deels in het verleden is verdwenen.

2.5 Bodemgeschiktheid

Om te bepalen welke vegetatietypen haalbaar zijn in de open natuurstukken van het toekomstige landgoed en om de vormgeving van de poel te bepalen, zijn er op een viertal locaties bodemmonsters genomen. Op iedere locatie is er een ondiepe en een diepere boring uitgevoerd, respectievelijk van de bouwvoor en van de onderliggende bodemlaag die op 60 tot 80 cm diepte begint. Deze bodemmonsters zijn door B-WARE geanalyseerd en beoordeeld. Hieronder worden de resultaten van de bemonstering besproken. Het bodemchemierapport is als bijlage bij dit rapport opgenomen.



Figuur 10 Hoogtekaart AHN

De bodem van het plangebied is zandig, zeer licht lemig, matig ijzerhoudend en zwak tot matig gebufferd. Uit de resultaten van het bodemonderzoek blijkt dat de bovengrond vanwege het gebruik als landbouwgrond sterk verrijkt is met fosfaat.

Ook op grotere diepte zijn op monsterpunt 3 nog hoge fosfaatconcentraties gevonden. Dit komt voornamelijk doordat de ondergrond hier deels vergraven was waardoor de bouwvoor deels was vermengd met de ondergrond. Op de andere punten waren de fosfaatconcentraties op 60 à 80 cm diepte veel beter voor de ontwikkeling van een kruidenrijk grasland of zelfs schraalgrasland.

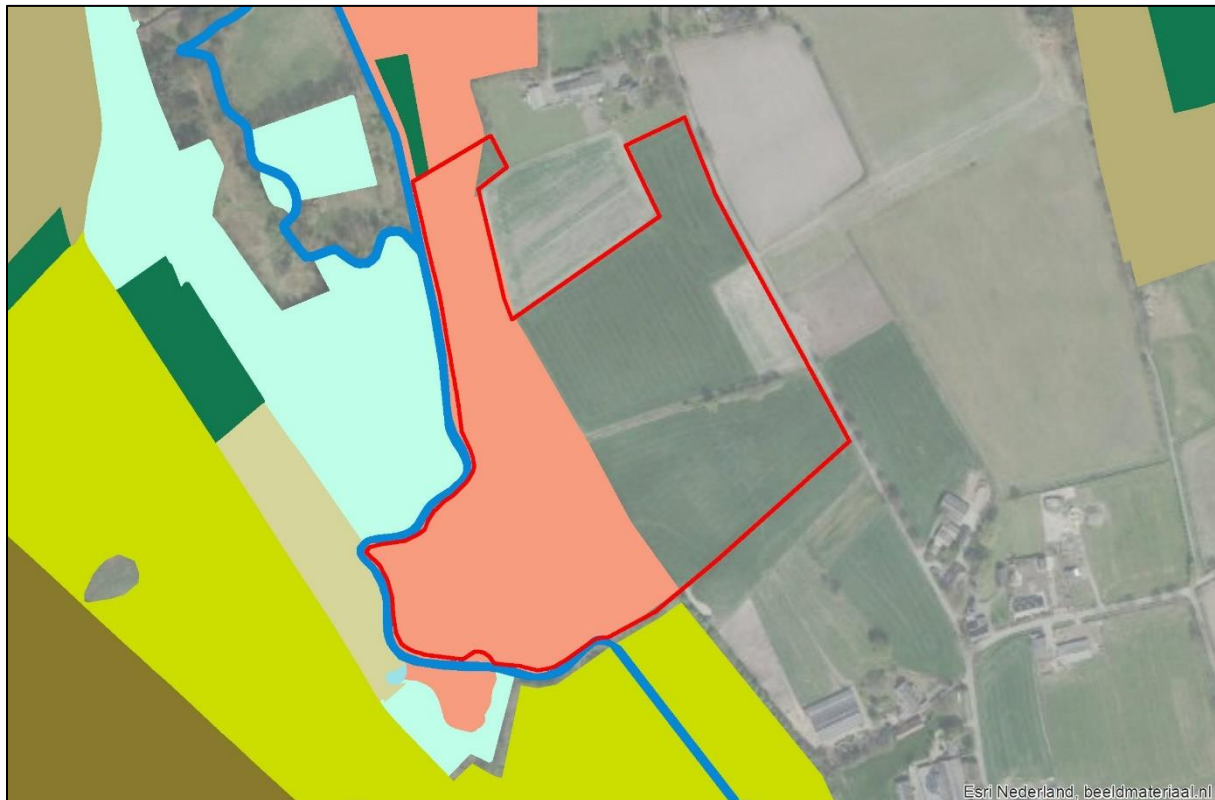
Tabel 3.1: Bodemchemie en bodemomschrijving per monsterlocatie (diepte in cm-mv). V = vochtpercentage; MV = massa/volumeverhouding van de bodem in kg droog/l verse bodem; OS = percentage organische stof (gloeiverlies); Ols-P = plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in μmol per liter bodem; -t = totaalconcentratie element in mmol per liter bodem, -z = concentraties in $\mu\text{mol/l}$ bodem en pH in een zoutextractie. Pbs = voor planten beschikbare fosfaatfractie (Olsen-P/totaal-P in mol/mol), FC/P = totaal-(Fe+Ca)/totaal-P ratio in mol/mol, BV = indicatieve basenverzadiging op basis van een zoutextractie (%). MA3, -12 = indicatieve verschralingsduur per bemonsterde laag door middel van maaien en afvoeren (in jaren) bij een P-afvoer van 10 kg/ha/jaar op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 300 en 1200 $\mu\text{mol/l}$ (totaal-P ondergrens 3 mmol/l).

Nr	Diepte	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	MA3	MA12
1	10-20	4	19	1.3	2258	15.5	0.15	134	31	56	6	4	12	7	34	9727	1267	2715	5.1	98.73	4.8	806	152	78	45
	70-80	2	18	1.5	379	2.9	0.13	99	13	21	12	3	10	4	56	7017	653.1	2272	5.7	98.02	0.4	363	196	0	0
2	10-20	5	19	1.2	3184	28.8	0.11	115	40	69	4	4	12	8	43	13582	761	2780	5.5	95	12.6	2840	1665	161	112
	70-80	1	15	1.5	92	1.4	0.06	86	11	177	131	2	6	1	44	8901	724	2185	5.0	99	0.0	87	108	0	0
3	10-20	4	19	1.3	2259	17.7	0.13	82	24	82	6	3	7	7	89	11297	1553	1897	5.0	97	4.2	3098	335	92	52
	50-60	3	17	1.4	2136	10.9	0.20	130	12	58	6	4	11	5	92	6733	775	1980	4.9	97	1.3	621	162	50	30
4	10-20	4	17	1.3	3842	22.8	0.17	100	27	56	4	5	11	5	72	8985	1780	2425	5.0	97	27.3	1213	387	124	98
	50-60	4	21	1.5	687	5.5	0.12	144	30	101	24	4	10	4	47	13435	1001	3379	5.8	99	0.6	483	165	16	0

Tabel 2 Bodemchemie per locatie (rapport B-ware)

Hoofdstuk 3: Natuurbeheerplan

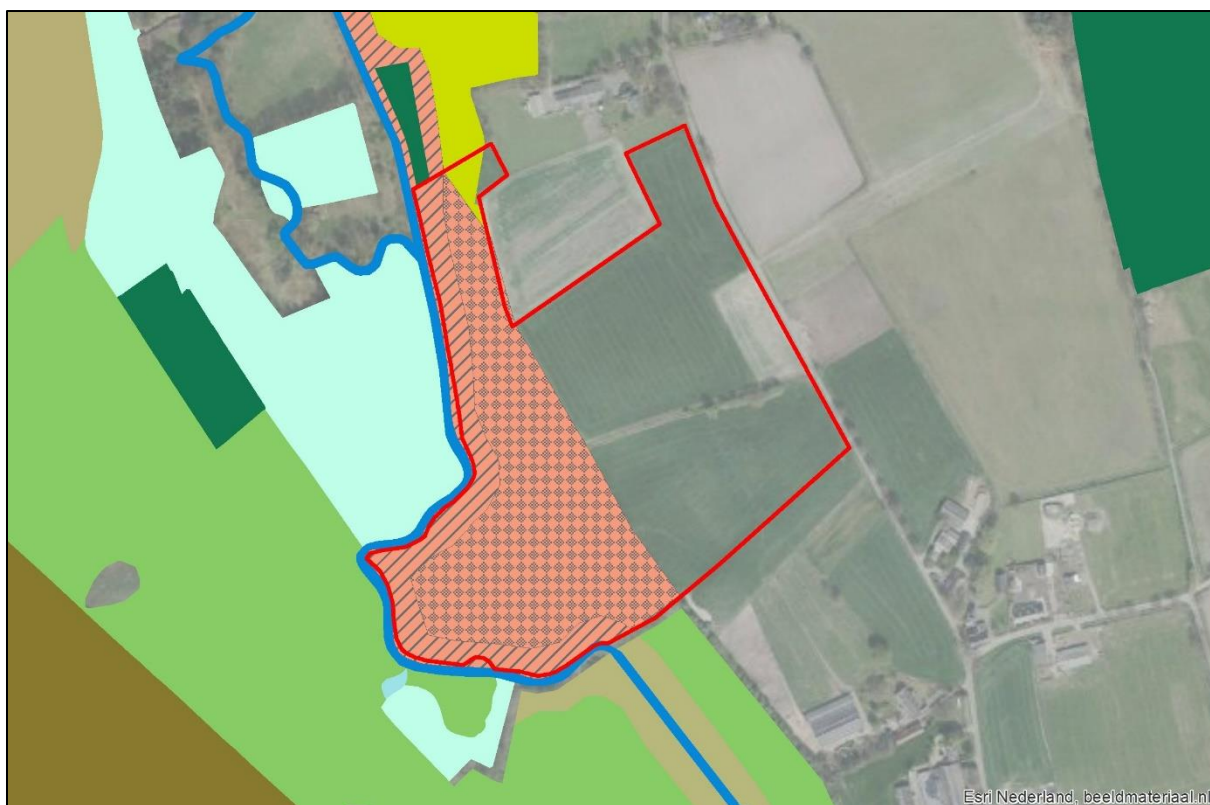
In de onderstaande figuur 11 is het Natuur Netwerk Brabant weergegeven binnen het plangebied. Binnen het plangebied komt nog geen ingerichte natuur voor. In figuur 12 is de ambitiekaart weergegeven. Hierop staat voor de strook langs de beek een zoekgebied getekend dat moet worden ingericht als rivier- en beekbegeleidend bos, kruiden- en faunarijke grasland en nat ruigteveld. Voor de overige nog in te richten natuur is een zoekgebied getekend voor kruiden- en faunarijke grasland.



Legenda

- Plangebied
- N00.01 Nog om te vormen landbouwgrond naar natuur (inrichting)
- N03.01 Beek en Bron
- N04.02 Zoete Plas
- N12.02 Kruiden- en faunarijke grasland
- N12.05 Kruiden- of faunarijke akker
- N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos
- N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos
- N16.03 Droog bos met productie
- N16.04 Vochtig bos met productie

Figuur 11 Natuurbeheerkaart



Legenda

- Plangebied
- N00.01 Zoekgebied 2 Algemeen Hoge CHW
- N00.01 Zoekgebied 3 Algemeen Zeer Hoge CHW
- N03.01 Beek en Bron
- N04.02 Zoete Plas
- N10.02 Vochtig hooiland
- N12.02 Kruiden- en faunarijk grasland
- N12.06 Ruigteveld
- N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos
- N15.02 Dennen-, eiken- en beukenbos
- N16.04 Vochtig bos met productie

Figuur 12 Ambitiekaart

Hoofdstuk 4: Gebiedsinrichting

4.1 Schetsontwerp

Op basis van de wensen van de initiatiefnemer, de historie van het landschap en de richtlijnen in de Verordening Ruimte en de Natuurschoonwet, is een schetsontwerp gemaakt voor de inrichting van het landgoed (Bijlage 1 Inrichtingsvisie Landgoed Achtervoorde, Jan Hein Ruijgrok, 21 oktober 2020). Hiervan wordt een navolgende tekst slechts een zeer beknopte samenvatting gegeven van de belangrijkste punten.

Het ontwerp is grotendeels gebaseerd op de historische kaart van 1930 en kenmerkt zich door een afwisseling van struweelsingels, bossen, kruidenrijk grasland, ruigteveld, poelen en akkerland en wil op deze wijze de oorspronkelijke kleinschaligheid van het cultuurlandschap herstellen. De woningen zijn centraal op het landgoed gesitueerd, zodat de openheid van het Achtereind wordt behouden en er geen aanzet ontstaat van een lintbebouwing die de buurtschappen Ekenrooi en Achtereind ruimtelijk met elkaar zou verbinden.

Over het landgoed lopen verschillende zichtlijnen die oost - west zijn georiënteerd.



Figuur 13 Schetsontwerp

De openstelling wordt in banen geleid door een wandelroute die tegen de buitenkant van het landgoed loopt langs de Tongelreep en aansluit bij het "Landgoederenpad" dat doorloopt van Aalst langs Landgoed de Hurken en vervolgt via een reeds bestaande route langs de Tongelreep en Landgoed Gagelhof. Om de Tongelreep te kunnen oversteken wordt een bruggetje geplaatst, bij voorkeur aan de zuidkant van het landgoed. De route loopt hiermee door het meest interessante gedeelte van het landgoed waarbij, verschillende terreintypen; ruigte, bos, singels en natuurlijk grasland, en hoogteverschillen tijdens de wandeling voorbij komen. Hiermee worden tevens de kwetsbare graslanden van het landgoed ontzien en is er ook privacy voor de woningen. Om doorkijken in het landschap te creëren zijn brede zichtlijnen

aangebracht. Verder worden geen hoge hagen geplant (maximaal 1 meter) die het zicht op het landschap kunnen belemmeren.

4.2 Definitieve inrichting

Op basis van de eigenschappen van de bodem en met oog voor natuurwaarden is het schetsontwerp in detail uitgewerkt (figuur 14). De definitieve oppervlakte van het landgoed is 10,27 hectare. Het landgoed voldoet zo aan de eis van een oppervlakte van minimaal tien hectare bij de realisatie van twee woningen. Hiermee is het tegelijk groot genoeg om een wezenlijk verschil te maken wat betreft de natuurwaarden in de omgeving van het buurtschap.

Tussen de beek (Tongelreep) en het bos is gekozen voor een bloemrijk ruigteveld, zoals dat van nature langs beekoevers voorkomt. Daarnaast is aan de noordzijde de struiksingel uitgebreid. Deze vergroten de natuurwaarden op het landgoed en zorgen er bovendien voor dat aan de richtlijnen voor de minimale oppervlakte nieuw gecreëerde natuur van de Verordening Ruimte (te weten vijf hectare) wordt voldaan. Het aandeel nieuwe natuur op het landgoed zal in totaal 5,65 hectare bedragen (tabel 5).



Figuur 14 Inrichtingsplan

Bestemming	Oppervlakte (ha.)
Agrarisch met waarde	4,25
Natuur	5,65
Wonen	0,37
Totaal	10,27

Tabel 3 Oppervlakten van de verschillende bestemmingen in het plangebied

Inrichting	Oppervlakte (ha.)
Agrarisch perceel	3,86
Zandpad	0,24
Oprit	0,16
Tuin	0,27
Woning	0,10
Ruigte	1,60
Natuurgrasland	1,70
Poel	0,16
Gewoon Elzenbroekbos	0,40
Elzen-Eikenbos	0,72
Bosrand	0,31
Boomsingel	0,68
Struiksingel	0,08
Totaal	10,27

Tabel 4 Oppervlakten van de terreintypen in het plangebied

Landschapselement	Oppervlakte (ha.)
Bos	1,43
Natuurgrasland	1,70
Ruigte	1,60
Singel	0,76
Water	0,16
Totaal	5,65

Tabel 5 Oppervlakten van de nieuwe natuur in het plangebied

Potentieel Natuurlijke Vegetatie (PNV)	Oppervlakte (ha.)
Elzen - Eikenbos	1,08
Gedegradeerd Wintereiken - Beukenbos	0,48
Gewoon Elzenbroekbos	0,63
Totaal	2,19

Tabel 6 Oppervlakten van de Potentieel Natuurlijke Vegetatie (PNV) in het plangebied

De noordelijke woning kijkt naar het westen uit op een ruigteveld dat leefgebied biedt aan diverse soorten vochtminnende planten, vlinders en wilde bijen. De zuidelijke woning kijkt naar het westen uit op het natuurgrasland, dat onderdak biedt aan vochtminnende kruidensoorten, vlinders en andere insecten. Twee grote poelen versterken de natuurwaarden verder en zorgen ervoor dat ook amfibieën en libellen zich er thuis voelen.

Aan de noordzijde van de beide bouwkavels vormt een lage en smalle struiksingel de begrenzing.



Figuur 15 Oppervlakten singels



Figuur 16 Oppervlaktes per terreintype

Deze lopen richting de westzijde door tot het zandpad, wat refereert aan de cultuurhistorie binnen het gebied. Aan de oostzijde van de kavels liggen akkers (samen 3,86 hectare) die zullen worden ingericht conform de mogelijkheden van het ONNB (Ondernemend Natuur



Netwerk Brabant), een combinatie tussen natuurinvulling en natuurvriendelijk agrarisch gebruik. Hierbij wordt gedacht aan een boomgaard, akkergewas of weide. Deze verschillende teelten naast elkaar en de wisselingen van teelt vergroten de aantrekkelijkheid van dit open landschap.

Indeling patchwork percelen onder ONNB

De overige singels binnen het landgoed betreffen allen boomsingels en hebben in het totaal een oppervlakte van 0,76 hectare. Deze boomsingels zullen nestgelegenheid en voedsel bieden aan verschillende soorten vogels, insecten en knaagdieren.

In de meest vochtige hoek van het plangebied zullen nog drie percelen bos worden aangelegd. In de bosranden zullen tevens bloem- en besdragende struiken worden aangeplant. Verspreid over het terrein worden hier en daar solitaire bomen aangeplant.

Tenslotte zorgen enkele wegen en paden voor de toegankelijkheid van het landgoed. Het openbaar toegankelijke wandelpad leidt langs en door de bossen, over het grasland en langs de akker.

Op dit moment staat er langs Achtereindsestraat voor een deel een houten hek (type 'post and rail'). Dit hek wordt over de gehele straatzijde langs het landgoed doorgezet. Er komen twee houten draaihekken om de toeritten naar de erven af te kunnen sluiten. Voor zover nodig bestaan alle andere perceelsgrenzen uit palen met draad.



Hoofdstuk 5: Natuurtypen

5.1 Kruidachtige vegetatie

Zoals de ambitiekaart van het Natuurnetwerk Brabant laat zien, wordt op de westelijke helft van het plangebied de ontwikkeling van de volgende natuurbeheertypen nagestreefd:

- N12.02 Kruiden en faunarijk grasland (bovenste puntje figuur 12);
- N12.02 Nat kruiden- en faunarijk grasland (grootste deel van het terrein);
- 25% N14.01 Rivier- en beekbegeleidend bos; 40% N12.02 Nat kruiden- en faunarijk grasland; 35% N12.06 Nat ruigteveld (zone van ca. 20 meter breed langs de Tongelreep)

Bij de uitwerking van de inrichting zijn er deels veranderingen aangebracht in de uitwerking van de ambitiekaart.

5.1.1 Kruiden- en faunarijk grasland

Het deel van het plangebied dat als kruiden- en faunarijk grasland zal worden ingericht, is in figuur 17 weergegeven.



Figuur 17 Kruiden- en faunarijk grasland

Vanwege de hoge concentraties plantbeschikbare fosfaat en totale fosfaat die in de bodem zijn aangetroffen, behoort ontwikkeling tot een schraal grasland op de huidige bodem ook op langere termijn niet tot de mogelijkheden. Zelfs voor de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland, waarbij plantbeschikbare fosfaatconcentraties van ca. 1.200 micromol per liter maximaal zijn, liggen de huidige waarden ver boven de gestelde norm.

Afgraving van de bouwvoor is geen optie vanwege de dikte van de bouwvoor en de ligging in een beekdal. De ruimte ten opzichte van het grondwater is te klein waardoor er bij afgraven

altijd een deel rijke grond zou blijven zitten. In de nog vochtigere condities die dan gecreëerd worden, zou het terrein heel gemakkelijk vollopen met pitrus.

Door twee- of driemaal per jaar te maaien en het maaisel af te voeren (in de zomer met nabeweiding), zal op den duur de voedselrijkdom afnemen en de plantensoortenrijkdom toenemen tot een gras-kruidenmix. Toch zijn ook de tussenfasen van een Kruiden- en faunarijk grasland waardevol voor insecten, vogels en kleine zoogdieren (website BIJ12).

5.1.2 Ruigteveld

In figuur 18 is de ligging van een ruigtevegetatie aangegeven. Dit gebied omvat overwegend open droge ruigten met plaatselijk struweel. Aan de westzijde van het landgoed tegen de Tongelreep, ligt een strook van circa 10 meter breed die wordt ontwikkeld tot een oevervegetatie. Dit is de natuurlijke vegetatie die langs een beek optreedt. Door deze strook loopt een onverharde struinroute en een strook van 5 meter vanaf de insteek voor de schouw van het Waterschap de Dommel. Er wordt naar gestreefd om beide als één geheel te ontwikkelen om zodoende samen met de naastliggende blokjes bos meer structuur te creëren en het doorzicht in het landschap te behouden. Hoewel de plantensoortenrijkdom van een dergelijke vegetatie niet bijzonder groot is, trekt de complexe structuur ervan veel soorten insecten, spinnen en vogels aan.



Figuur 18 Ruigteveld

5.2 Bossen en singels

De soortensamenstelling van de bossen en singels die aangeplant zullen worden, is gebaseerd op de abiotische bodemeigenschappen. Op basis van deze informatie kan de Potentieel Natuurlijke Vegetatie (PNV) worden bepaald. Dit is de begroeiing die na verloop van tijd van nature, bij het uitblijven van menselijke invloed, op deze gronden zou ontstaan. Door deze soortensamenstelling als leidraad te nemen voor de keuze van boom- en struiksoorten, wordt de duurzaamheid van de aangeplante vegetatie gegarandeerd en is in de toekomst slechts gering onderhoud vereist.

Dwars door het landgoed loopt een beekdalrand. Deze rand vormt ook de overgang binnen het plangebied wat betreft de potentie van de bostypen die voorkomen binnen het landgoed. Het hogere, oostelijke gedeelte van het landgoed wordt gerekend tot het Gedegradeerde Wintereiken-Beukenbos. De gronden waarop dit bostype voorkomt, werden in het verleden gerekend tot het Wintereiken-Beukenbos maar door het grondgebruik hebben ze deze potentie deels verloren. Hierdoor worden dergelijke locaties op dit moment vaak gedomineerd door soorten uit het Berken-Zomereikenbos.

De lagere delen van het landgoed worden gerekend tot het Elzen-Eikenbos, waarbij de natste delen overgaan in Gewoon Elzenbroekbos. In figuur 19 wordt weergegeven wat de PNV is van de verschillende bossen en singels binnen het landgoed. De onderstaande paragrafen werken de verschillende bostypen binnen het landgoed nader uit. Tabel 6 geeft een overzicht van de oppervlakten van de verschillende bostypen in het plangebied.



Figuur 19 PNV bossen en singels inclusief oppervlakten.

5.2.1 Gedegradeerd Wintereiken-Beukenbos

Binnen de locaties op het landgoed die gerekend kunnen worden tot het Gedegradeerd Wintereiken-Beukenbos, aan de droge oostzijde van het plangebied, is een onderscheid te maken tussen twee inrichtingstypen, te weten boomsingel (hoog, rijk aan bomen) en struiksingel (laag, slechts struiken). Deze twee typen zullen met verschillende soortensamenstellingen worden aangelegd. Hieronder volgt een nadere toelichting. De locaties van de verschillende elementen van het Gedegradeerd Wintereiken-Beukenbos in het plangebied zijn weergegeven in figuur 19.

Boomsingel

De hoge boomsingels zullen worden aangeplant in de verhouding 50% boomvormers en 50% struikvormers. De boomvormers zullen bestaan uit 80% Zomereik en 20% Ruwe berk. De struikvormers zullen in gelijke verhouding bestaan uit: Amerikaans krentenboompje, Lijsterbes, Sporkehout, Hazelaar en Gewone vlier. Om overschaduwning op buurpercelen te voorkomen worden de bomen in opgaande en volwassen toestand gesnoeid.

Struiksingel

Beide singels zullen worden aangeplant met slechts struikvormende soorten. Hierbij wordt er met de soortensamenstelling gericht op insecten en vogels. Er is gekozen voor veelal uitbundig bloeiende en/of vruchtdragende soorten. De struiksoorten die voor de singels gebruikt gaan worden zijn: Eenstijlige meidoorn (30%), Gaspeldoorn (10%), Brem (10%), Wegedoorn (10%), Hondсроos (10%), Gewone vlier (10%), Rode kornoelje (10%) en Gelderse roos (10%).

5.2.2 Elzen-Eikenbos

Binnen het plangebied komen twee bosjes en drie boomsingels voor die - op basis van de bodemsoort en de grondwatertrap - gerekend zouden kunnen worden tot het Elzen-Eikenbos. De locaties van de bossen en singels zijn weergegeven in figuur 19.

Bos

De boom- en struiksamenstelling van de twee bosjes is als volgt: Zomereik (30%), Zwarte els (40%), Esp (5%), Zachte berk (10%) en Hazelaar (15%). In de gehele opstand zal een aandeel Hazelaar worden geplant ter bevordering van de strooiselontwikkeling. De twee bosjes zijn gelegen op locaties waar in het historische landschap tevens bosschages aanwezig waren. De bosrand in het zuidelijke bosje zal bestaan uit esp, wilde lijsterbes, vogelkers, eenstijlige meidoorn en hazelaar.

Boomsingels

De boomsingels zullen worden aangeplant in de verhouding 50% boomvormers en 50% struikvormers. De boomvormers zullen bestaan uit 60% zwarte els en 40% zomereik. De struikvormers zullen in gelijke verhouding bestaan uit: Esp, wilde lijsterbes, vogelkers, eenstijlige meidoorn en hazelaar. Om overschaduw op buurpercelen te voorkomen worden de bomen in opgaande en volwassen toestand gesnoeid.



Impressie van het climaxstadium van een Elzen-Eikenbos

5.2.3 Gewoon Elzenbroekbos

De drie bosjes die direct tegen de tongelreep aanliggen worden gerekend tot het Gewoon Elzenbroek. De locaties van de bosjes zijn weergegeven in figuur 19. De aanplant zal bestaan uit Zwarte Els (80%), Grauwe Wilg (15%) en Geoorde wilg (5%). Deze zullen groepsgewijs gemengd aangeplant worden. Onderstaande foto geeft een impressie van het climaxstadium van een Gewoon Elzenbroekbos. De bosranden aanwezig binnen het Gewoon Elzenbroekbos zullen, afhankelijk van diens expositie, bestaan uit zwarte bes, grauwe wilg, Gelderse roos, sprokenhout en framboos.

Op aangeven van het Waterschap de Dommel zal een strook van 5 meter aan de Tongelreep worden ingericht als ruigte (oevervegetatie) zoals is aangegeven in §5.1.2 Ruigteveld indien maaien vanaf de beek met een maaiboot niet mogelijk is.



Impressie van het climaxstadium van een Gewoon Elzenbroekbos

5.3 Solitaire bomen

Verspreid over het landgoed zullen solitaire bomen en laanbomen worden aangeplant, zie figuur 20. De bomen in het lager gelegen natuurgrasland zullen bestaan uit soorten van natte groeiplaats zoals populier. Op de hoge gronden moet meer gedacht worden soorten van droge groeiplaatsen aangelegd met linde en zomereik.



Figuur 20 Solitaire bomen

5.4 Poelen

Binnen het plangebied worden direct achter de bouwkavels twee poelen gerealiseerd met een oppervlakte van respectievelijk ca. 700 m² en 900 m² (figuur 21). Beide poelen zullen een zeer geleidelijk aflopende oever bezitten, met een hellingshoek van 1 meter per 10 meter, wat ten goede komt aan oeverplanten en amfibieën.

Om het gehele jaar een watervoerende poel te hebben, moet deze in verbinding staan met het grondwater. Aangezien de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) zich op deze plaats ca. 140 cm onder het maaiveld bevindt, zullen de poelen 2 meter diep worden gemaakt ten opzichte van het maaiveld.

Om de invloed van de voedselrijke bouwvoor op de oevervegetatie van de poel te verminderen, zal de oever eerst afgegraven worden, waarna fosfaatarm zand (Ols-P van 687) uit diepere bodemlagen (onder de bouwvoor die hier 60 cm diep is) bij het uitgraven van de poel op de oever aangebracht zal worden. Op deze manier kan een soortenrijke oevervegetatie ontstaan. Het is niet toegestaan om de poelen te verlichten.



Doorsnede van de aan te leggen poelen



Figuur 21 Poelen



Impressie van een poel op lemige zandgrond

Hoofdstuk 6: Openstelling

Om het landgoed toegankelijk te maken voor wandelaars, zal over het landgoed een wandelroute komen te liggen, die langs de diverse landschapselementen voert. De route van bijna een kilometer lang begint aan de noordzijde en leidt door het ruigteveld, langs het Elzen-Eikenbos, door het Elzenbroekbos, over het natuurgrasland en nog een stukje Elzen-Eikenbos, waarna hij over de akker naar het oosten het landgoed weer verlaat (figuur 14).

Aangezien de route van laag naar hoog door het beekdal loopt, geeft hij een mooi beeld van het cultuurhistorische landschap.

Langs de route komen onder andere een informatiepaneel, enkele bankjes op beeldbepalende plaatsen en een wandelbrug om de Tongelreep te kunnen oversteken. De route maakt onderdeel uit van een landgoederenpad die in samenwerking met de gemeente wordt gerealiseerd.



Impressie van een wandelpad langs een struiksingel.

Referenties

Literatuur

- Bal, D., H.M. Beije, M. Fellingier, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal en F.J. van Zadelhoff (2001), Handboek Natuurdoeltypen, Expertisecentrum LNV
- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda (1996), De Vegetatie van Nederland; Deel 3. Plantengemeenschappen van graslanden, zomen en droge heiden, Opulus Press, Uppsala - Leiden
- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda (1999), De Vegetatie van Nederland; Deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen, Opulus Press, Uppsala - Leiden
- Werf, F. van der (1991), Bosgemeenschappen, Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie, Wageningen

Websites

- Bij12.nl voor informatie over natuurbeheertypen
- <https://www.synbiosys.alterra.nl/>
- www.verspreidingsatlas.nl



Bodemonderzoek Landgoed Achtervoorde, Waalre

Notitie Concept

Opdrachtgever: Bureau van Nierop • Projectnummer: PR 18.065 • Rapportnummer: RP-18.065.18.28
Auteurs: Yvon Verstijnen & Mark van Mullekom • Datum: 18-6-2018

Titel rapport:
Bodemonderzoek Landgoed Achtervoorde, Waalre

Auteurs:
Yvon Verstijnen & Mark van Mullekom

Opdrachtgever:
Bureau van Nierop

Rapportnummer:
RP-18.065.18.28

Contactgegevens:

Onderzoekcentrum B-WARE BV
Radboud Universiteit Nijmegen
Mercator III, Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

Contactpersoon:
Yvon Verstijnen
Tel: 024-2122206
y.verstijnen@b-ware.eu
www.b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, 2018.

.....

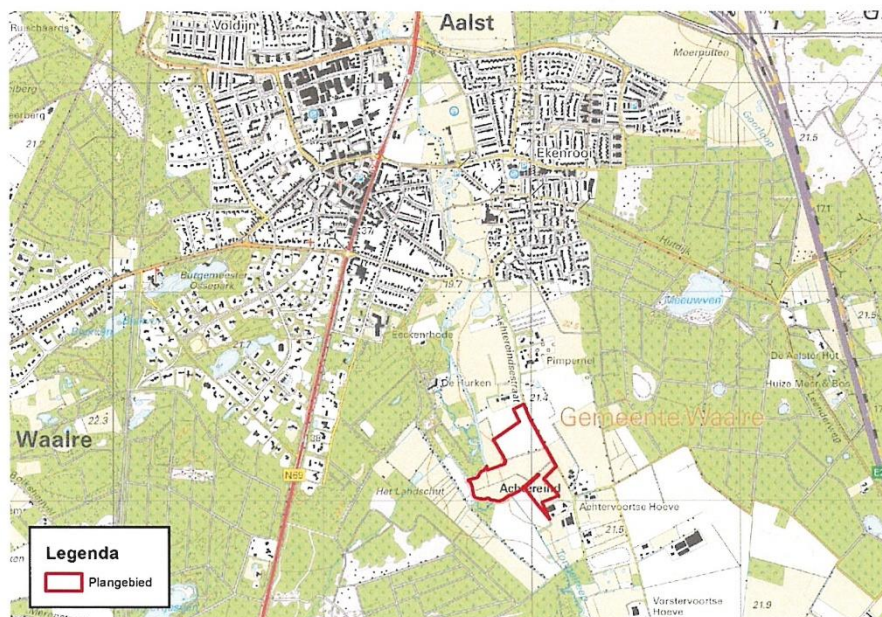
INHOUD

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding.....	4
1.2	Achtergrond natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden	4
2	Methode.....	8
2.1	Monstername	8
2.2	Analyses B-ware	8
3	Resultaten	10
3.1	Algemene bodemchemie	10
3.2	Bodemkwaliteit	10
3.3	Synthese en aanvullende maatregelen	12
4	Literatuur	14

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Bureau van Nierop heeft Onderzoekcentrum B-WARE gevraagd om bodemonsters van het Landgoed Achtervoorde, bij Waalre, te analyseren (Figuur 1). Deze bodemanalyse maakt onderdeel uit van een groeiplaatsbeoordeling. Op het particuliere landgoed wordt minimaal 5 hectare landbouwgrond heringericht ten behoeve van natuurontwikkeling. De betreffende percelen zijn recent opgehoogd ten behoeve van natuuraanleg op naastgelegen percelen en zijn daarom relatief droog. Voor de graslanden wil Bureau van Nierop weten wat haalbaar is voor mogelijk te ontwikkelen (natte) natuurtypen (na afgraven) of kruidenrijk grasland. De toekomstige natuurgraslanden gaan onderdeel uitmaken van het beekdal van de Tongelreep. Een steilrand vormt de overgang van grasland naar agrarisch land.



Figuur 1. Globale ligging van het plangebied Landgoed Achtervoorde (rood-omlijnd), ten oosten van Waalre. Kaart: Bureau van Nierop.

1.2 Achtergrond natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden

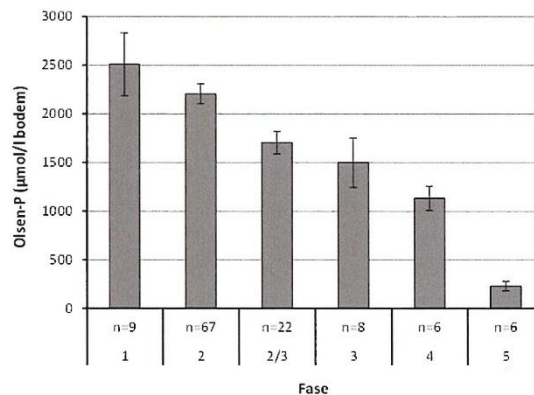
De bodem is geen statische entiteit. Bodembiota hebben een belangrijke invloed op de bodemstructuur, humusopbouw, vorming van bodemhorizonten en nutriëntenbeschikbaarheid (Smolders e.a., 2011). De abiotische bodemcondities zijn in belangrijke mate sturend voor de vegetatie. Ze zijn relatief eenvoudig te meten en te interpreteren en worden dan ook vaak gebruikt om veranderingen in de vegetatiesamenstelling te begrijpen en beheers- of herstelmaatregelen op te stellen in het kader van bijvoorbeeld natuurontwikkelingsprojecten (Smolders e.a., 2011).

Als gevolg van het zeer intensieve gebruik van het agrarisch gebied in Nederland levert de omvorming van voormalige landbouwgronden tot voedselarme (natte) natuurgebieden vaak problemen op (onder andere Klooker e.a., 1999; Verhagen e.a., 2001; Loeb en Weijters, 2013 en van Mullekom e.a., 2013). Wanneer bijvoorbeeld gestreefd wordt naar de ontwikkeling van natuurbeheertypen als nat schraalland (N10-01) of vochtig hooiland (N10-02) is een (matig) voedselarm milieu vereist. Als er in de bodem een overmaat is aan alle voedingstoffen gaan enkele snelgroeiende soorten (Gestreepte witbol, Gewoon struisgras, Akkerdistel, Witte klaver of Engels raaigras) overheersen en ontstaat een soortenarme vegetatie (Smolders e.a. 2009).

De kansen op een goede natuurontwikkeling en herstel op voormalige landbouwgronden wordt in eerste instantie sterk bepaald door de beschikbaarheid van fosfor (P) (Lamers e.a., 2005; Gilbert e.a., 2009). Stikstoflimitatie is moeilijk te bereiken vanwege de nog steeds hoge stikstofdepositie en ook omdat onder relatief stikstofarme omstandigheden stikstofbindende soorten zich sterk uitbreiden. Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid vaak sterk af als gevolg van nitraatuitspoeling en denitrificatie (Lamers e.a., 2005; Lucassen & Roelofs, 2005; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009).

In tegenstelling tot stikstof neemt de fosforbeschikbaarheid niet door uitspoeling sterk af (Marrs e.a., 1991). Fosfaat hoopt zich op in de bovenlaag, doordat het onder droge omstandigheden zeer goed aan de bodemdeeltjes gebonden blijft (Smolders e.a., 2006). In dit onderzoek zijn twee fosfaatconcentraties leidend: de totaal-P concentratie (totale hoeveelheid fosfor in de bodem) en de Olsen-P concentratie (de voor planten beschikbare hoeveelheid fosfor). Welke natuurbeheertypen zich kunnen ontwikkelen is echter niet alleen afhankelijk van de fosfaatconcentraties maar ook, onder andere, van de pH en de mate van buffering van de bodem en de stijghoogte en kwaliteit van het grondwater.

Een bruikbare grenswaarde voor P-deficiëntie van bodems is een Olsen-P concentratie van 200-350 micromol P per liter verse bodem ($\mu\text{mol/l FW}$) (Smolders e.a., 2009). Deze concentraties worden over het algemeen gemeten in soortenrijke vegetatietypen van voedselarme gronden (Figuur 1.1: Chambers e.a., 1999; Gilbert e.a., 2000; Smolders e.a., 2009, 2011; Database B-WARE). De Olsen-P concentraties in de toplaag van landbouwgronden liggen meestal echter ver boven de vereiste niveaus (Smolders e.a., 2009, 2011). Daarnaast zijn de totaal-P concentraties van de bodems van belang. Uit de totale fosfaatvoorraad kan door bodemprocessen weer P vrijkomen in de plantbeschikbare P-fractie. IJzerrijke bodems, kalkrijke gronden en kleibodems zijn van nature vaak relatief rijk aan totaal-P. Dergelijke bodems binden namelijk zeer goed fosfaat (Sival e.a., 2002; Smolders e.a., 2009). Aangezien het fosfaat ook voor een groot deel wordt geïmmobiliseerd, kan op dit soort bodems de P-beschikbaarheid toch relatief laag blijven. Wel zullen dan veelal wat minder schrale graslandtypen kunnen worden ontwikkeld, zoals Dotterbloemhooilanden, Glanshaverhooilanden en Kamgrasweiden. Voor dit soort vegetatietype kan een Olsen-P grenswaarde worden gehanteerd van $\pm 500-900$ micromol per liter verse bodem (Smolders e.a., 2009). Concentraties tussen 900 en 1200 $\mu\text{mol/l FW}$ bieden op termijn mogelijkheden voor het creëren van voedselarme natuur, mits aanvullende maatregelen (maaien en afvoeren) worden toegepast.

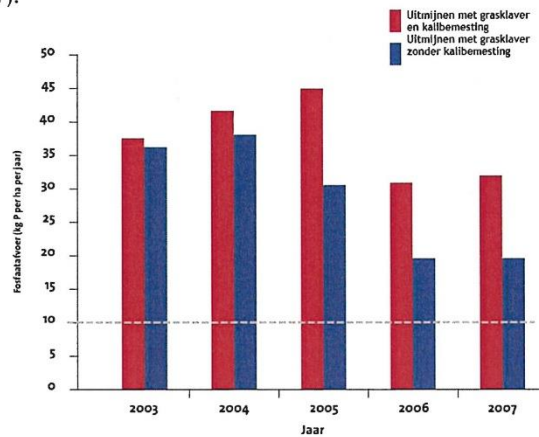


Figuur 1.1: Olsen-P concentratie in µmol/l verse bodem van graslandpercelen in Overijssel ingedeeld per graslandfase naar Schippers et al., (2012). Verklaring graslandfasen (van voedselrijk naar schraal): fase 1 = raaigrasland, fase 2 = witbolgraslanden, fase 3 = gras-kruidentmix, fase 4 = bloemrijk/kruidentrijk grasland en fase 5 = schraalland.

Wanneer de vereiste inrichtingsmaatregelen te ingrijpend of niet te realiseren zijn kan een lager ambitieniveau worden nagestreefd. Hierbij past de ontwikkeling van een kruiden- en faunarijk grasland. 'Kruidenrijk grasland' is een breed begrip waardoor er eigenlijk geen harde streefconcentratie voor te hanteren is. In dit onderzoek wordt gerekend met een indicatieve Olsen-P streefconcentratie van circa 1200 µmol/l verse bodem. Het kruidenpercentage zal waarschijnlijk al eerder toenemen wanneer niet meer wordt bemest (met P) en het maaien en afvoeren wordt voortgezet. De soortenrijkdom (ook paddenstoelen) neemt naar verwachting toe zodra de labiele P-fractie voldoende laag is ($P-z < 1$ µmol/l bodem; lopend onderzoek Brouwer, E). Uit onderzoek blijkt dat op de meest waardevolle kruiden- en faunarijke graslanden ook de Olsen-P concentratie relatief laag is (± 1000 µmol/l FW; Verbaarschot e.a., 2014).

Het afvoeren van de overmaat aan nutriënten via het gewas gaat langzaam, omdat slechts een klein deel van de droge stof uit N, P of K bestaat (Smolders e.a., 2009). Verschraling van (voormalige landbouw-)gronden door middel van maaien en afvoeren (P-afvoer 10 kg/ha/jaar; Chardon e.a., 2008) duurt veelal tientallen tot honderden jaren (Lamers e.a., 2005). Dit neemt echter niet weg dat het goed kan worden toegepast om, eventueel in combinatie met andere maatregelen, fosfaat af te voeren. Daarnaast voorkomt maaien het ontwikkelen van bomen en struiken. Een mogelijk nadeel van verschralingsbeheer is dat doorgaans slechts de bovenste 25(-30) cm van de bodem wordt verschaald wat een probleem kan zijn in grondwatergevoede systemen met een relatief dikke (>40 cm) voedselrijke bouwvoor. Door middel van uitmijnen kan fosfaat ongeveer vier keer zo snel aan de bodem worden onttrokken (Sival & Chardon, 2004; Timmermans & van Eekeren, 2012). Uitmijnen is een 'natuurvriendelijke' vorm van het voeren van intensieve landbouw met een productieve zode (inclusief stikstof en/of kalibemesting) of met een grasklavermengsel (inclusief kalibemesting) opdat de P-afvoer wordt vergroot. Door middel van het zaaien van grasklaver in combinatie met kalibemesting en een maai-beheer kan fosfaat versneld (40 kg P/ha/jr: 4x sneller als met maaien en afvoeren) aan de bodem worden onttrokken (Figuur 1.2). Klaver houdt haar stikstofbinding de productie gaande en kalibemesting wordt gebruikt om klaver optimaal te laten groeien (Timmermans & van Eekeren, 2016). Ook met deze beheersmaatregel duurt het op voormalige landbouwgronden vaak tientallen jaren voordat het gewenste verschralingsniveau is bereikt (van Mullekom e.a., 2013).

Het uitmijnen kan versneld worden door het verwijderen van de extreem voedselrijke toplaag (van Eekeren e.a., 2007).



Figuur 1.2. Fosfaatafvoer (in kg fosfor per ha per jaar) door uitmijnen met grasklaver en kalibemesting (start eind 2002) en even frequent maaien (vier tot vijf maaisneden per jaar) zonder aanvullende bemesting in het Hengstven. Na enkele jaren daalt de afvoer van fosfaat in het deel waar alleen wordt gemaaid ten opzichte van het gedeelte waar wordt uitgemijnd. Stikstof- en kalibronnen zijn dus nodig voor een hoge fosfaatafvoer. Op de lange termijn is de gemiddelde afvoer bij uitmijnen ongeveer 40 kg fosfor per ha per jaar. Dit komt overeen met circa 90 kg fosforpentoxide (P_2O_5) per ha per jaar. Bron: Timmermans & van Eekeren (2012).

Inzet van grazers in weiden en halfopen landschappen voorkomt het dichtgroeien waardoor variatie in het gebied ontstaat. De netto afvoer van nutriënten door middel van begrazen is echter beperkt. Bij extensieve begrazing worden nutriënten opgenomen door grazers, via mest en urine komen ze dan elders weer vrij. Probleem hiervan is echter dat dit vooral leidt tot herverdeling van nutriënten binnen het gebied en veel minder tot de afvoer van nutriënten. Daarnaast worden bepaalde soorten als Pitrus (*Juncus effusus*) niet of weinig gegeten en door betreding ontstaan bovendien open plekken in de vegetatie waar Pitrus weer kan kiemen en de dominantie hiervan juist toeneemt (Kemmers e.a., 2004; Smolders e.a., 2006; Lamers e.a., 2009). Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag daarom in veel gevallen een geschikt alternatief. De ontgrondingsdiepte kan worden bepaald door op verschillende diepten de Olsen-P en totaal-P concentratie te meten, de diepte van het fosfaatfront komt namelijk niet altijd overeen met de dikte van de bouwvoor (Smolders e.a., 2009). Fosfaat kan door uitspoeling namelijk dieper in de bodem terecht komen. Door middel van ontgroning kan een snelle vershraling plaatsvinden. Daarbij wordt ook meteen de afstand tot het grondwater verlaagd, wat positieve effecten kan opleveren (van Mullekom e.a., 2007; 2013). Bij onvolledige ontgroning (zeker in combinatie met vernatting) kan alsnog verrijking met nutriënten plaatsvinden. Deze maatregel dient te worden getoetst op de inpasbaarheid in het hydrologische systeem.

2 METHODE

2.1 Monsternamen

De bodemonsters zijn half april 2018 verzameld door Bureau van Nierop op vier locaties (Figuur 2.1). Op elke locatie zijn op twee dieptes een bodemonster genomen, resulterend in acht monsters. Op elke locatie is op 10-20 cm-maaiveld bemonsterd. Op locatie 1 en 2 is tevens bemonsterd op 70-80 cm-mv en op locatie 3 en 4 op 50-60 cm-mv (oorspronkelijke maaiveld).

Op de bodemonsters werden de volgende analyses uitgevoerd:

- Drooggewicht en organische stofgehalte;
- Destructie;
- Olsen-P-extractie;
- Zoutextractie.



Figuur 2.1: Monsterlocaties op Landgoed Achtervoorde, Waalre. De weergegeven dieptes zijn van de diepste monsters.

2.2 Analyses B-ware

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie

Door de bodem te destrukeren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle

.....

elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. De destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Olsenextractie

Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l⁻¹ natriumbicarbonaat (NaHCO_3) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,4 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonstersaars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Zoutextractie

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

Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

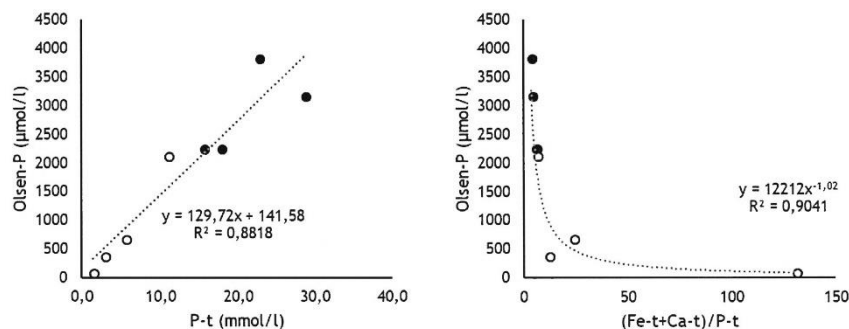
De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en fosfaat (PO_4^{3-}) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl^-) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na^+) en kalium (K^+) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3 RESULTATEN

3.1 Algemene bodemchemie

In het onderzoeksgebied is overwegend sprake van een zandige bodem op de bemonsterde dieptes. De totaal-aluminium concentratie (Al-t) van de bodem is een goede maat voor de lutumfractie. Al-t is doorgaans laag in de bodems (<150 mmol/l). De bodems worden gekenmerkt door lage tot matigrijke totaal ijzerconcentraties (27-177 mmol/l) en arme tot matige totaal calciumconcentraties (Ca-t 11-40 mmol/l). De diepere laag van locatie 3 heeft de hoogste Fe-t en laagste Ca-t concentratie. De bodem is verder (zeer) zwak tot matig gebufferd met uitwisselbaar calciumconcentraties (Ca-z) van circa 6.700-13.600 $\mu\text{mol/l}$ en een pH-z van 4,9 (locatie 3, diepere laag) tot 5,8 (locatie 4, diepere laag).

De bemonsterde locaties zijn in het algemeen beperkt tot sterk verrijkt met fosfaat met plantbeschikbare (Olsen-P) concentraties variërend van 2258-3842 $\mu\text{mol/l}$ in de toplaag en 92-2136 in de diepere laag, en totaal-P concentraties variërend van 15,5-28,8 mmol/l in de toplaag en 1,4-10,8 in de diepere laag (Figuur 3.1). De Olsen-P en totaal-P concentraties zijn sterk positief gecorreleerd. Verder neemt de Olsen-P concentratie af naarmate de totaal-Fe+Ca/totaal-P toeneemt.



Figuur 3.1. Correlaties tussen de Olsen-P en de totaal-P concentratie van de bodems (links) en tussen de Olsen-P en de totaal-(Fe+Ca)/P ratio van de bodems (rechts). Gevulde markeringen betreffen de toplagen (10-20 cm-mv), open cirkels betreffen de diepere lagen (50-60 of 70-80 cm-mv).

3.2 Bodemkwaliteit

De resultaten van de bodemchemische analyses worden per monsterlocatie in een tabel weergegeven. Hierin zijn onder andere de fosfaatconcentraties opgenomen (Olsen-P en totaal-P). Op basis van de verhouding tussen de Olsen-P en P-totaal concentratie (beschikbare P-fractie) is een P-totaal streefconcentratie berekend (deze varieert op basis van de P-beschikbaarheid die beïnvloed wordt door o.a. de ijzer- en calciumconcentraties van de bodem). Op basis van het verschil tussen de streefconcentratie en de actuele totaal-P concentratie is per bemonsterde laag een verschrallingsduur berekend bij maaien en afvoeren (P-afvoer: 10 kg/ha/jr). Voor het berekenen van de totale verschrallingsduur op een bepaalde diepte dienen, in verband met de worteldiepte van planten, de verschrallingsduren van een bodempakket van 25-30 cm bij elkaar te worden opgeteld, echter zijn er in dit onderzoek geen meerdere op elkaar liggende lagen geanalyseerd. In Tabel 3.1 zijn daarom de maai en afvoertijden berekend uitgaande van een uniform bodempakket van 20 cm. Wanneer wordt ingezet op verschralling van een fosfaatrijke toplaag is het belangrijk om te realiseren dat vernatting

van een fosfaatrijke toplaag kan leiden tot P-mobilisatie en vervuiling in de vorm van pitrusontwikkeling. In de tabel is met verschillende kleuren aangegeven tot welke klasse de bodems behoren. Hierbij zijn de volgende kleuren en klasse-indelingen gebruikt:

Org. Stof	Al-t	Ca-t	Ca-z	Fe-t	Maaien en afvoeren (jaren)
%	mmol/l	mmol/l	μmol/l	mmol/l	0
≤5	≤150	≤10	≤4000	≤20	≤10
6-10	151-250	11-20	4001-8000	21-50	11-40
11-25	251-400	21-30	8001-15000	51-100	41-80
26-50	401-750	31-50	15001-25000	101-150	81-200
>50	>750	51-80	25001-40000	151-300	201-400
		>80	>40000	>300	>400

Tabel 3.1: Bodemchemie en bodemomschrijving per monsterlocatie (diepte in cm-mv). V = vochtpercentage; MV = massa/volumeverhouding van de bodem in kg droog/l verse bodem; OS = percentage organische stof (gloeiverties); Ols-P = plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in μmol per liter bodem; -t = totaalconcentratie element in mmol per liter bodem, -z = concentraties in μmol/l bodem en pH in een zoutextractie. Pbs = voor planten beschikbare fosfaatfractie (Olsen-P/totaal-P in mol/mol), FC/P = totaal-(Fe+Ca)/totaal-P ratio in mol/mol, BV = indicatieve basenverzadiging op basis van een zoutextractie (%). MA3, -12 = indicatieve verschrallingsduur per bemonsterde laag door middel van maaien en afvoeren (in jaren) bij een P-afvoer van 10 kg/ha/jaar op basis van een Olsen-P streefconcentratie van 300 en 1200 μmol/l (totaal-P ondergrens 3 mmol/l).

Nr	Diepte	OS	V	MV	Ols-P	P-t	Pbs	Al-t	Ca-t	Fe-t	FC/P	K-t	Mg-t	S-t	Al-z	Ca-z	K-z	Mg-z	pH-z	BV	P-z	NO3-z	NH4-z	MA3	MA12
1	10-20	4	19	1.3	2258	15.5	0.15	134	31	56	6	4	12	7	34	9727	1267	2715	5.1	98.73	4.8	806	152	78	45
	70-80	2	18	1.5	379	2.9	0.13	99	13	21	12	3	10	4	56	7017	653.1	2272	5.7	98.02	0.4	363	196	0	0
2	10-20	5	19	1.2	3184	28.8	0.11	115	40	69	4	4	12	8	43	13582	761	2780	5.5	95	12.6	2840	1665	161	112
	70-80	1	15	1.5	92	1.4	0.06	86	11	177	131	2	6	1	44	8901	724	2185	5.0	99	0.0	87	108	0	0
3	10-20	4	19	1.3	2259	17.7	0.13	82	24	82	6	3	7	7	89	11297	1553	1897	5.0	97	4.2	3098	335	92	52
	50-80	3	17	1.4	2136	10.9	0.20	130	12	58	6	4	11	5	92	6733	775	1980	4.9	97	1.3	621	162	50	30
4	10-20	4	17	1.3	3842	22.8	0.17	100	27	56	4	5	11	5	72	8585	1780	2425	5.0	97	27.3	1213	387	124	98
	50-80	4	21	1.5	687	5.5	0.12	144	30	101	24	4	10	4	47	13435	1001	3379	5.8	99	0.6	483	165	16	9

Locatie 1

Op locatie 1 is op 10-20 cm-mv een zandige bodem aangetroffen met 4% organische stof. De bodem is zeer licht lemig (Al-t 134 mmol/l), matig ijzerhoudend (Fe-t 56 mmol/l) en zwak-matig gebufferd (Ca-t 31 mmol/l en Ca-z ± 9.700 μmol/l). De bodem is verrijkt met fosfaat (P-t 15,5 mmol/l en Olsen-P 2258 μmol/l). Voor de ontwikkeling van kruidenrijk grasland (Olsen-P streefconcentratie van 1200 μmol/l) zal een verschrallingsbeheer in de vorm van circa 45 jaar maaien en afvoeren nodig zijn (of circa 11 jaar uitmijnen). Het kruidenpercentage zal waarschijnlijk al eerder toenemen wanneer niet meer wordt bemest (met P) en het maaien en afvoeren wordt voortgezet waardoor de P-z concentratie afneemt (<2 μmol/l). Op 70-80 cm-mv (oorspronkelijk maaiveld) is de bodem fosfaatarm (P-t 2,9 mmol/l en Olsen-P 379 μmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van vochtig heischraal grasland (Olsen-P streefconcentratie van 300 μmol/l).

Locatie 2

Op locatie 2 is op 10-20 cm-mv een zandige bodem aangetroffen met 5% organische stof. De bodem is zeer licht lemig (Al-t 99 mmol/l), matig ijzerhoudend (Fe-t 69 mmol/l) en zwak-matig gebufferd (Ca-t 40 mmol/l en Ca-z ± 13.600 μmol/l). De bodem is sterk verrijkt met fosfaat (P-t 28,8 mmol/l en Olsen-P 3184 μmol/l), zeer rijk aan nitraat (2840 μmol/l), rijk aan labiel-gebonden P (P-z 12,6 μmol/l) en ongeschikt voor de ontwikkeling van schraalland. Voor de ontwikkeling van kruidenrijk grasland (Olsen-P streefconcentratie van 1200 μmol/l) zal een verschrallingsbeheer nodig zijn van circa 110 jaar maaien en afvoeren (of circa 25 jaar uitmijnen). De diepere laag op 70-80 cm-mv (oorspronkelijk

.....

maaiveld) is (zeer) ijzerrijk (177 mmol/l), arm aan fosfaat (P-t 1,4 mmol/l en Olsen-P 92 µmol/l) en geschikt voor de ontwikkeling van vochtig heischraal grasland (Ca-t 11 mmol/l en Ca-z ± 8.900 µmol/l).

Locatie 3

Op locatie 3 is op 10-20 cm-mv een zandige bodem aangetroffen met 4% organische stof. De bodem is zeer licht lemig (Al-t 82 mmol/l), matig ijzerhoudend (Fe-t 82 mmol/l) en zwak gebufferd (Ca-t 24 mmol/l en Ca-z ± 11.300 µmol/l). De bodem is verrijkt met fosfaat (P-t 17,7 mmol/l en Olsen-P 2259 µmol/l) en zeer rijk aan nitraat (3098 µmol/l). Voor de ontwikkeling van kruidenrijk grasland (Olsen-P streefconcentratie van 1200 µmol/l) zal een verschrallingsbeheer nodig zijn van circa 50 jaar maaien en afvoeren (of 13 jaar uitmijnen). Het kruidenpercentage zal waarschijnlijk al eerder toenemen wanneer niet meer wordt bemest (met P) en het maaien en afvoeren wordt voortgezet waardoor de P-z concentratie afneemt (<2 µmol/l). De diepere laag op 50-60 cm-mv (oorspronkelijk maaiveld) is nog altijd verrijkt met fosfaat (P-t 10,9 mmol/l en Olsen-P 2136 µmol/l) waardoor onder vochtige tot natte omstandigheden ruigteontwikkeling in de vorm van pitrus, wilgen of lisdodde wordt verwacht. Droogval van de toplaag in de zomerperiode is belangrijk om de P-mobilisatie te beperken. In combinatie met circa 30 jaar maaien en afvoeren is de laag geschikt voor de ontwikkeling van kruidenrijk grasland of in combinatie met circa 50 jaar maaien en afvoeren geschikt voor de ontwikkeling van vochtig heischraal grasland (Ca-t 12 mmol/l en Ca-z ± 6.700 µmol/l).

Locatie 4

De zandige bodem op locatie 4 bevat op 10-20 cm-mv 4% organische stof. De bodem is zeer licht lemig (Al-t 100 mmol/l), matig ijzerhoudend (Fe-t 56 mmol/l) en zwak gebufferd (Ca-t 27 mmol/l en Ca-z ± 9.000 µmol/l). De bodem is sterk verrijkt met fosfaat (P-t 22,8 mmol/l en Olsen-P 3842 µmol/l) en rijk aan nitraat (1213 µmol/l) en labiel gebonden P (27,3 µmol/l). Voor de ontwikkeling van kruidenrijk grasland (Olsen-P streefconcentratie van 1200 µmol/l) zal een verschrallingsbeheer nodig zijn van circa 100 jaar maaien en afvoeren (of 25 jaar uitmijnen). De diepere laag op 50-60 cm-mv (oorspronkelijk maaiveld) is ijzerrijk (101 mmol/l) en beperkt verrijkt met fosfaat (P-t 5,5 mmol/l en Olsen-P 687 µmol/l). Deze laag is in combinatie met circa 10-16 jaar maaien en afvoeren geschikt voor de ontwikkeling van blauwgrasland (Ca-t 30 mmol/l en Ca-z ± 13.400 µmol/l) onder de juiste hydrologische omstandigheden.

3.3 Synthese en aanvullende maatregelen

De zandige toplaag (10-20 cm-mv) is (sterk) verrijkt met fosfor en doorgaans slechts geschikt voor ontwikkeling van kruidenrijkgrasland na (langdurig) verschrallingsbeheer. Wanneer witboldominantie optreedt wordt geadviseerd het maaibeheer te vervroegen. De kruidenrijkdom zal waarschijnlijk toe gaan nemen vanaf het moment dat de labiele P concentratie voldoende is afgenomen (<2 µmol/l). Voor een goed ontwikkeld, soortenrijk kruiden- en faunairijk grasland is een verlaging van de Olsen-P vereist. De diepere lagen (oorspronkelijk maaiveld) zijn op locatie 1, 2 en 4 een stuk minder rijk aan fosfaat, waardoor hier kansen zijn voor de ontwikkeling van vochtig heischraal grasland of blauwgrasland, onder de juiste hydrologische omstandigheden. Op locatie 3 is de diepere laag ook nog verrijkt met fosfaat waardoor de kans op verzuuring groot is. Diepere monsters zijn niet beschikbaar.

Naast de bodemchemie en bodemtype is ook grondwaterkwaliteit en de (variatie in) waterstanden van invloed op de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen. Deze (geo)hydrologische aspecten maken geen, of slechts in zeer beperkte mate, onderdeel uit van dit bodemchemisch onderzoek. Voor grondwaterafhankelijke natuurtypen zoals natte schraallanden, vochtige hooilanden en broekbossen is grondwaterinvloed in de wortelzone of het maaiveld vereist van circa oktober/november t/m maart/april om verzuring, de vorming van regenwaterlenzen en de ontwikkeling van zure vegetaties

(op kansrijke locaties voor (zwak) gebufferde schraallande/hooilanden) tegen te gaan. Stagnatie dient te worden voorkomen. Doorstroming en droogval van de toplaag in de zomerperiode is vereist om P-mobilisatie te voorkomen.

De resultaten uit dit onderzoek kunnen sterk bepalend zijn voor de keuzes die bij de gebiedsinrichting gemaakt worden. De keuze van de uiteindelijke inrichtingsmaatregelen is echter niet alleen afhankelijk van de fosfaattoestand en de kansrijkdom qua bodemchemie. Een ontgroning kan bijvoorbeeld een geschikte maatregel zijn om de biogeochemische omstandigheden te optimaliseren, maar dient altijd te worden getoetst op de inpassing in het hydrologische systeem (zeker wanneer het onderzoeksgebied grenst aan een bestaand natuurterrein). De hoogteligging en bodemopbouw spelen hierbij een belangrijke rol. Deze toetsing maakt geen onderdeel uit van dit bodemonderzoek. Ook andere factoren zoals het beschikbare budget, het ambitieniveau en de ruimtelijke/landschappelijke waarden spelen een belangrijke rol. Wel vormen de resultaten van dit bodemchemische onderzoek een belangrijke basis voor het maken van goed onderbouwde keuzes die de kansen op een succesvolle herinrichting vergroten.

Na plaggen of afgraving wordt geadviseerd om maaisel/plagsel uit een geschikt referentieterrein op te brengen om de beoogde ontwikkeling te stimuleren. Op voormalige landbouwgronden is van de oorspronkelijke zaadbank meestal niets meer over (Bekker e. a., 1996). Natte en/of venige laagtes kunnen een uitzondering vormen. Wanneer vers plagsel of bodemmateriaal uit referentielocaties wordt opgebracht (enten), wordt ook bodemleven (o.a. mycorrhiza schimmels) geïntroduceerd. Een optimale ontwikkeling kan bovendien de woekering van watercrassula voorkomen. Watercrassula is een van oorsprong Australische plant. Deze exoot groeit dermate snel, dat andere water- en oeverplanten verdwijnen. Het probleem met watercrassula neemt nog steeds toe en doet zich vooral voor op net afgegraven landbouwgronden. Door natte bodems voldoende voedselarm te maken bij afgraven en de ontwikkeling van de doelvegetatie op de open bodem te versnellen (door middel van herintroductie) kan dit probleem worden voorkomen/onderdrukt (Brouwer et al., 2017).

Verder is het belangrijk dat wanneer bij afgraving de bodem onder water komt te staan (vernat) en er geen of weinig doorstroming van water plaatsvindt, waterkwaliteitsproblemen snel kunnen optreden bij voedselrijke bodems (zoals locatie 3). Doorstroming is dan ook van belang om nutriëntrijk water af te voeren, en zo de waterkwaliteitsproblemen te verminderen. Wanneer bodems onder water komen te staan en de bodem anaeroob wordt, wordt het fosfaat mobiel waardoor nalevering naar het oppervlaktewater kan plaatsvinden (afhankelijk van de voedselrijkdom van de bodem). Dit vindt vooral plaats bij natte condities in de warmere zomermaanden aangezien de verantwoordelijke redoxreacties temperatuurafhankelijk zijn. Droogval van de toplaag in de zomermaanden kan het risico op P-mobilisatie uit rijke bodems naar de waterlaag verlagen.

4 LITERATUUR

- Bekker, R.M., J.H.J. Schaminée, J.P. Bakker & K. Thompson (1996) Seed bank characteristics of Dutch plant communities. *Acta Botanica Neerlandica* 47: 15-26.
- Brouwer, E., E.C.H.E.T. Lucassen, M. Buiks & T. Onkelinx (2017). Competitive strength of Australian swamp stonecrop (*Crassula helmsii*). *Aquatic Invasions* 12 (3): 321-331.
- Chambers, B.J., C.N.R. Critchley, J.A. Fowbert, A. Bhogal & S.C. Rosé, 1999. Soil nutrient status and botanical composition of grasslands in English environmentally sensitive areas. *Report MAFF Project 8D1429*, ADAS Gleadthorpe & Newcastle, UK.
- Chardon, W.J. (2008) Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling. Een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Wageningen, Alterra, *Alterra-rapport 1683*. 25 pp.; 43 ref.
- Eekeren, N. van, Iepema, G. en Smeding, F. (2007) Natuurherstel in grasland door klaver en kalibemesting. *De levende Natuur* 108, nummer 1.
- Gilbert, J.C. (2000). High soil phosphorus availability and the restoration of species rich grassland. PhD Thesis Cranfield L'niv. Silsoe UK, Inst. Water & Environment.
- Gilbert, J., Gowing, D., Wallace, H. (2009) Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessments methods and community tolerances. *Biological Conservation* 142: 1074-1083.
- Klooker J., van Diggelen, R., Bakker J.P. (1999) Natuurontwikkeling op minerale gronden. Ontgronden: nieuwe kansen voor bedreigde plantensoorten? Rijksuniversiteit Groningen, Laboratorium voor plantenecologie, The Netherlands.
- Lamers, L.P.M., E.C.H.E.T. Lucassen, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2005) Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. *H₂O* 38 (17): 28-30.
- Lamers, L., E. Lucassen, H. Tomassen, A. Smolders & J. Roelofs (2009) Verpitruissing bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* 110 (1): 43-46.
- Loeb, R., en Weijters, M.J. (2013) Introductie van soorten via maaisel na herinrichting: ongeduld of wijsheid? *De levende Natuur* 114: 157-159.
- Lucassen, E. & J. Roelofs (2005) Vernatten met beleid: lessen uit het recente verleden. *Natuurhistorisch maandblad* 94: 211-215.
- Marrs, R.H., M.W. Gough & M. Griffiths (1991) Soil chemistry and leaching losses of nutrients from semigrassland and arable soils on three contrasting parent materials. *Biological Conservation* 57: 257 - 271
- Mullekom, M. van, E.C.H.E.T. Lucassen, M.J. Weijters, R. Bobbink, H. Tomassen & A.J.P. Smolders (2013) Van landbouw naar natuur: gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* 114: 120-126.
- Schippers, W., I. Bax & M. Gardenier (2012). Ontwikkeling van kruidenrijk grasland. Aardewerk Advies & Bureau Groenschrift, Wageningen.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon (2002) Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem, Gouda.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon (2004) Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. *Rapport 1090*. Wageningen, Alterra.
- Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 3(4): 5-11.
- Smolders, A., E. Lucassen, M. van Mullekom, H. Tomassen, & E. Brouwer (2009) Ontgronden op voormalige landbouwgronden: doeltreffend maar ook toereikend? *De Levende Natuur* 110: 33-38.
- Smolders, A., E. Lucassen & J. Roelofs (2011) Goede grond voor natuur. Abiotische bodemcondities sturen vegetatieontwikkelingen in natuurgebieden. *Bodem* 2.
- Timmermans & van Eekeren (2012) Uitmijnen: het bodemfosfaatgehalte verlagen met grasklaver en kalibemesting. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 1: 12-15.

- Timmermans & van Eekeren (2016) Phytoextraction of Soil Phosphorus by Potassium-Fertilized Grass-Clover Swards *Journal of Environmental Quality* 45: 701-708.
- Verbaarschot, E., E. Brouwer & R. Bobbink (2014) Potenties voor de verdere ontwikkeling van bloemrijke graslanden en akkers in Overijssel en Flevoland. *B-Ware rapport* nummer 2014.40.
- Verhagen, R., J. Klooker, J. P. Bakker and R. van Diggelen (2001) Restoration Success of Low-Production Plant Communities on Former Agricultural Soils after Top-Soil Removal. *Applied Vegetation Science* 4 (1): 75-82.