RESEARCH CENTRE

BIOGEOCHEMICAL WATER-MANAGEMENT & APPLIED RESEARCH ON ECOSYSTEMS

Quick-scan bodemchemie Voltherbroek, Agelerbroek en Achter de Voort



Opdrachtgever: Staatsbosbeheer• Projectnummer: PR-11.012

Rapportnummer: 2011.32• Auteurs: RL, FS • Datum: 5 juli 2011

Uit dit rapport mag alleen geciteerd worden met bronvermelding.

Titel rapport:
Quick-scan bodemchemie Voltherbroek, Agelerbroek en Achter de Voort

Opdrachtgever:
Staatsbosbeheer

Auteurs:
Roos Loeb & Fons Smolders

Rapportnummer: 2011.32

Informatie:
Onderzoekcentrum B-WARE
Postbus 6558
6503 GB Nijmegen
Tel: 024-3652812
r.loeb@b-ware.eu

© B-WARE Research Centre, Nijmegen, 2011.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave 3
Inleiding 4
Aanleiding 4
Gebiedsbeschrijving 4
Belangrijke bodemchemische processen 8
Materiaal& Methode 12
Monstername 12
Bodemextracties 12
Chemische analyses 14
Resultaten 15
Algemene resultaten 15
Blauwgraslanden (H6410) 24
Vochtige alluviale bossen (H91E0C) 28
Eiken-haagbeukenbossen (H9160A) 39
Overige typen monsterpunten 42
Grasland De Broekmaten 44
Conclusies 48
Synthese 55
Literatuur 56
Bijlage 1. Analyseresultaten 58
Bijlage 2 Kaarten 69
Bijlage 3 Profielbeschrijvingen 74

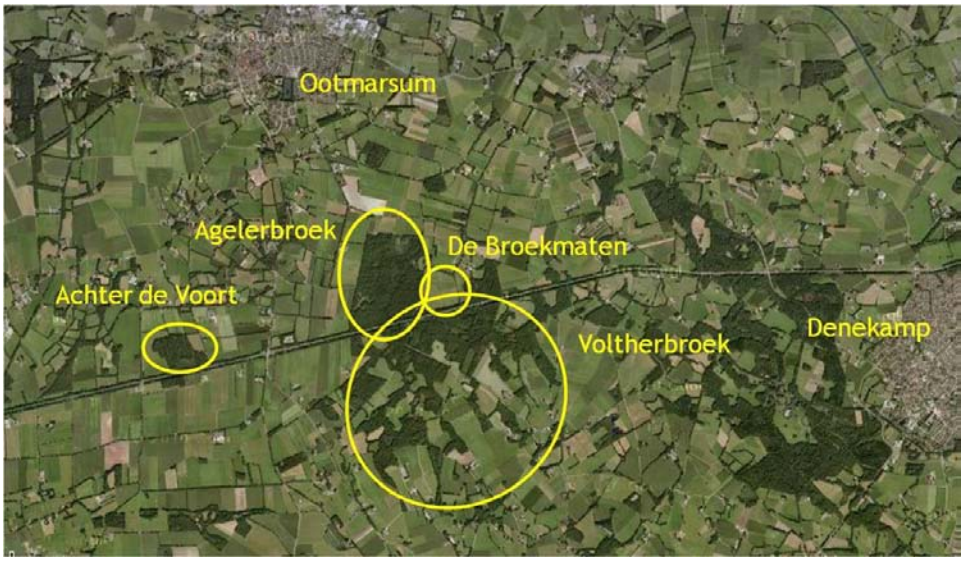
Inleiding

Aanleiding

Staatsbosbeheer beheert Natura 2000-gebied Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek. Voor het opstellen van het Natura 2000-beheerplan en de Programmatische Aanpak Stikstof is er informatie nodig over de nutriëntenrijkdom, verzuringsgevoeligheid en hydrologie van het gebied. Daarnaast is er in De Broekmaten een voormalig agrarisch grasland aanwezig dat omgevormd dient te worden naar schraallandvegetatie en moeras. Hier dient onderzocht te worden welke maatregelen noodzakelijk zijn voor deze omvorming. Staatsbosbeheer heeft Onderzoekcentrum B-ware gevraagd om een quickscan uit te voeren naar de bodemchemie van het gebied om inzicht te krijgen in de bodemchemische parameters die het belangrijkste zijn voor het beheer.

Gebiedsbeschrijving

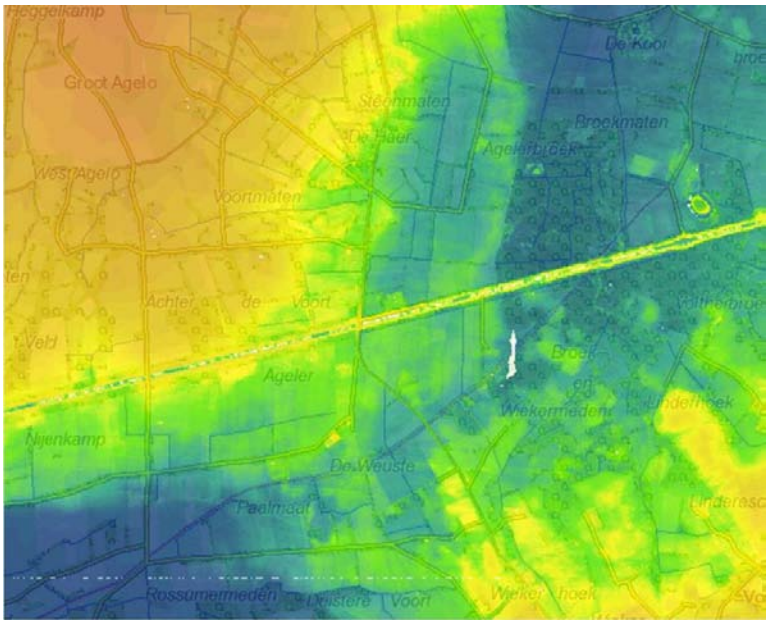
Het Natura-2000-gebied Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek ligt in Twente tussen Oldenzaal en Ootmarsum, ten westen van Denekamp (figuur 1). Het gebied wordt doorsneden door het kanaal Almelo-Nordhorn.



Figuur 1. *De ligging van het onderzoeksgebied. Bron: Google Earth.*

Het gebied ligt tussen de stuwwallen van Ootmarsum in het noordoosten en van Oldenzaal in het zuidwesten (figuur 2). Het hoogste deel van het gebied, Achter de Voort, heeft een hoogte van ongeveer 25 m +NAP. Het laagst gelegen deel is het Agelerbroek op ongeveer 20 m +NAP (www.ahn.nl). Achter de Voort is een infiltratiegebied (Kiwa Water Research & EGG, 2007), waar door de slecht doorlatende ondergrond wel natte gedeeltes voorkomen. In het Voltherbroek en het Agelerbroek treedt er ook kwel op. In het Voltherbroek vanuit de stuwwal van Oldenzaal, in het Agelerbroek ook vanuit de stuwwal van Ootmarsum (Kiwa Water Research & EGG, 2007). Ter hoogte van Achter de Voort is het peil in het kanaal Almelo-Nordhorn lager

dan de grondwaterstand en werkt het kanaal dus drainerend. Ter hoogte van het Agelerbroek is het peil juist hoger en kan er juist kwel vanuit het kanaal optreden (Kiwa Water Research & EGG, 2007). De Tilligterbeek loopt van zuid naar noord door het Voltherbroek en langs het Agelerbroek en de Broekmaten. De beek is diep ingegraven in het landschap en heeft daardoor een sterk drainerende werking. De beek wordt onder het kanaal doorgeleid en is ter hoogte van het kanaal aan de zuidkant gestuwd.



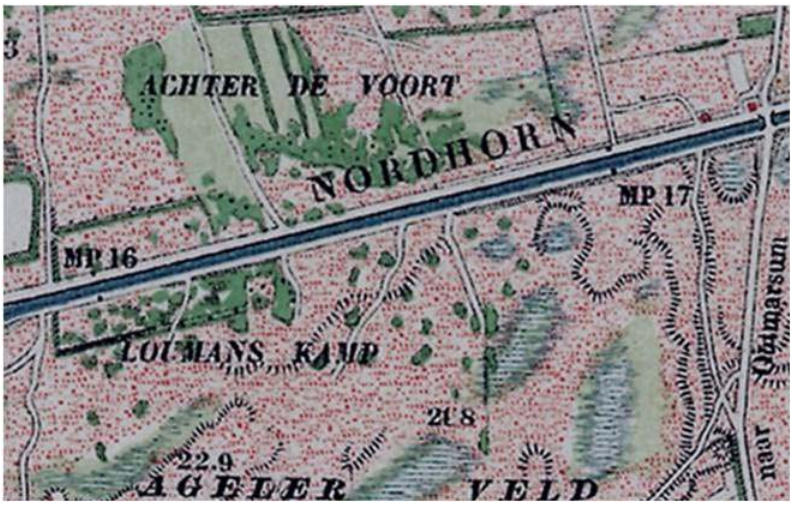
Figuur 2. *Hoogtekaart met linksboven de stuwwal van Ootmarsum, linksonder het begin van de stuwwal van Oldenzaal en aan de rechterkant het onderzoeksgebied. Kleuren variëren van donkerblauw (circa 20 m +NAP) tot oranje (meer dan 40 m +NAP). Bron: www.ahn.nl.*

Het gebied bestaat uit kleiige en venige beekdalgronden, met veldpodzolen en enkeerdgronden op de hogere delen. Op de meeste plekken komt keileem of klei binnen enkele decimeters diepte voor in de bodem (www.bodemdata.nl).

Het onderzoeksgebied is al vroeg ontgonnen. In het begin van de 20^{e} eeuw bestond het Voltherbroek uit heide met natte gedeelten, weide- en hooilanden met houtwallen, en enkele akkers (figuur 3). Achter de Voort bestond uit heide, grasland en enkele bosjes (figuur 4). Het Agelerbroek en De Broekmaten bestonden uit natte hooilanden en houtwallen (figuur 5). Op figuur 5 is de hogere rug net ten westen van het Agelerbroek goed te onderscheiden door de heide die er toen aanwezig was. Pas vanaf de jaren '30 van de vorige eeuw zijn de gebieden bebost geraakt (www.watwaswaar.nl).



Figuur 3. *Het Voltherbroek in 1911 (www.watwaswaar.nl).*



Figuur 4. *Achter de Voort (ten noorden van het kanaal) in 1905 (www.watwaswaar.nl)*



Figuur 5. *Het Agelerbroek en de Broekmaten in 1905 (www.watwaswaar.nl).*

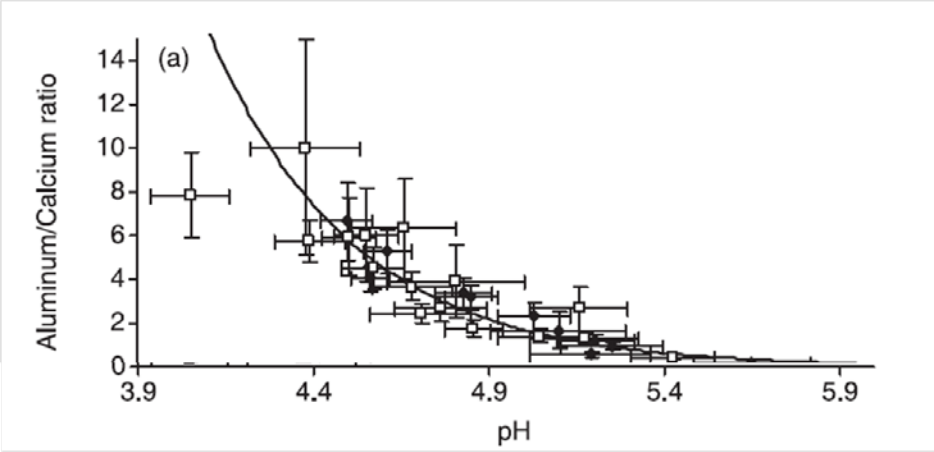
Het Voltherbroek, Agelerbroek en Achter de Voort zijn in ontwerp aangewezen als Natura-2000 gebied. De gebieden zijn van belang voor de habitattypen Blauwgraslanden (H6410), Eiken-haagbeukenbossen (hogere zandgronden) (H9160A) en Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen) (H91E0C). Het habitattype Blauwgrasland komt in de vorm van Vochtig schraalgrasland voor in het Voltherbroek en het Agelerbroek. Elzenbroekbos en Vogelkers-Essenbos (Vochtige alluviale bossen) zijn te vinden in het Agelerbroek, Achter de Voort en het Voltherbroek. Deze bossen variëren van zeer nat met een ondergroei van Elzenzegge of Zwarte bes tot droog (verdroogd) met een ondergroei van Braam of Framboos. Eikenbossen komen voor in Achter de Voort, waar een zeer rijke ondergroei van voorjaarssoorten te vinden is.

Belangrijke bodemchemische processen

De kationenuitwisselcapaciteit, pH en basenverzadiging

In blauwgraslanden is zuurbuffering door de bodem essentieel om effecten van verzuring te voorkomen. In kalkrijke bodems (pH>7) wordt de pH gebufferd door het in oplossing gaan van kalk ($CaCO_3$). In kalkarme bodem moet buffering komen van het uitwisselen van H^+ ('zuurionen') tegen andere ionen aan het adsorptiecomplex (Ca, Mg, K en Na). Als deze basen zijn uitgeput, gaan aluminiumsilicaten in oplossing en wordt de pH gebufferd rond pH 3. Vanaf een pH lager dan 4,5 gaan er al aluminiumverbindingen in oplossing (De Graaf et al., 2009). Aluminium is toxisch voor planten en het is bekend dat de zeldzamere planten van blauwgraslanden en heischrale graslanden meer last hebben van aluminiumtoxiciteit dan algemene soorten zoals Struikheide. Calcium gaat de opname van aluminium tegen, waardoor de toxiciteit van aluminium vooral afhangt van de Al/Ca-ratio. De Al/Ca-ratio is afhankelijk van de pH van de bodem (figuur 6). Het maximum voor de Al/Ca-ratio voor blauwgraslanden ligt ongeveer tussen 0,06 (B-WARE, ongepubliceerde resultaten uit NaCl-extractie) en 0,7 (De Graaf et al., 2009; resultaten uit H_2O-extractie). Ook in bossen is de pH en basenverzadiging erg bepalend voor de ondergroei. Basenrijke bosbodems hebben vaak een rijke ondergroei met veel voorjaarssoorten. Ook is bijvoorbeeld van de Es bekend dat hij gevoelig is voor aluminiumtoxiciteit (Hommel et al., 2007). Bosbodems kunnen een zeer lage pH krijgen. Hoewel er wel nitrificatie op kan treden in zure bodems (Attiwill & Adams, 1993), kan dit proces in praktijk sterk geremd worden bij een pH beneden 4,0 (bijv. Persson & Wirén, 1995).

De verzuringsgevoeligheid van bodems hangt af van zowel de basenverzadiging (de relatieve bezetting van het adsorptiecomplex met 'basische' kationen) en de grootte van het adsorptiecomplex (CEC). Bij een hoge basenverzadiging leidt belasting met verzurende stoffen minder snel tot een verlaging van de pH dan bij een lage basenverzadiging vanwege de aanwezige buffering. Bij een lage CEC heeft eenzelfde zuurbelasting en basenverzadiging echter een groter effect dan als er een groot adsorptiecomplex aanwezig is. Bodems met een lage CEC zijn humusarme zandgronden. Klei- en leembodems en bodems met veel organische stof hebben een grotere CEC.



Figuur 6. *Al/Ca-ratio en pH (H_2O-extractie) van locaties met heide, heischraal grasland en blauwgrasland. Uit: Kleijn et al., 2008.*

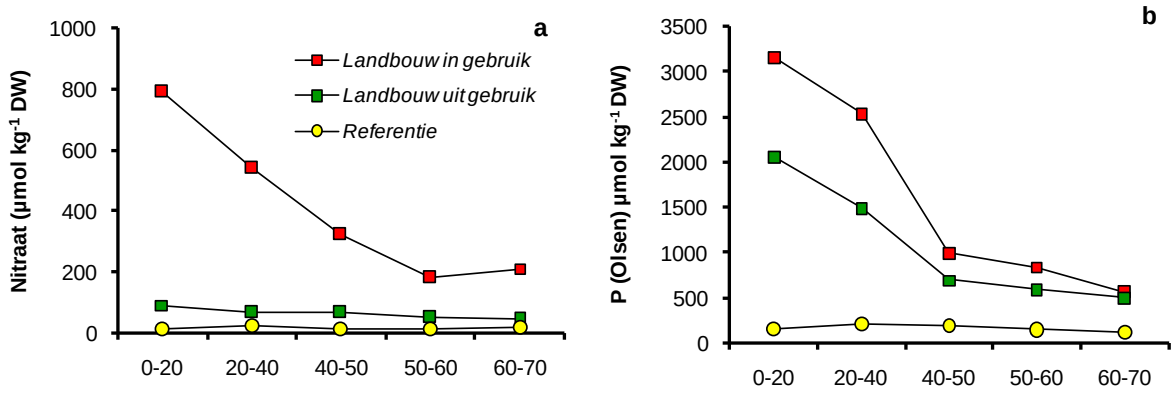
Grondwaterstand en redoxprocessen

Onder aerobe omstandigheden wordt organische stof in de bodem afgebroken met behulp van zuurstof. Bij hoge grondwaterstanden is het zuurstof in het water snel verbruikt en treedt afbraak op met behulp van andere oxidatoren: nitraat, mangaan, ijzer en sulfaat (in afnemende volgorde van redoxpotentiaal). Bij de afbraak met nitraat ontstaat stikstofgas, bij gebruik van mangaan (IV) en ijzer (III) respectievelijk de mobiele ionen mangaan(II) en ijzer (II). Bij aanwezigheid van sulfaat kan organische stof uiteindelijk door micro-organismen worden geoxideerd, waarbij sulfaat wordt gereduceerd tot sulfide. Sulfide is een voor planten en dieren giftig ion, maar in ijzerrijke bodems wordt sulfide vastgelegd aan ijzer (pyriet of ijzersulfide), waarbij het niet meer giftig is. Al deze anaerobe reductieprocessen consumeren zuur en komt anorganisch koolstof vrij, waardoor bodems waarin anaerobe afbraak van organische stof plaatsvindt, hoge bicarbonaatconcentraties hebben. Dit bicarbonaat zorgt voor zuurbuffering, voordat er buffering vanuit het adsorptiecomplex van de bodem optreedt. Ook kan bij hoge ijzergehaltes in de bodem, onder gereduceerde omstandigheden een deel van het adsorptiecomplex bezet worden met ijzer(II).

Bij een dalende grondwaterspiegel kan er weer zuurstof in de bodem intreden en worden het gevormde sulfide, ijzer(II) en mangaan(II) weer geoxideerd. Daarnaast vindt er weer oxidatie van ammonium plaats, waarbij nitraat ontstaat (nitrificatie); een proces dat onder anaerobe omstandigheden geremd wordt, waardoor organisch stikstof alleen wordt omgezet in ammonium en niet verder in nitraat. Bij deze oxidatieprocessen wordt zuur geproduceerd. In broekbossen die rijk zijn aan pyriet kan bij droogval de pH hierdoor zelfs dalen van neutraal tot beneden pH 3 (Lucassen et al., 2002).

Invloed van bemesting en stikstofdepositie

De kansen op ontwikkeling van soortenrijke natuur op voormalige landbouwgronden, zoals De Broekmaten, hangt samen met de beschikbaarheid van fosfor (P) in de bodem. Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid op minerale bodems vaak sterk af als gevolg van nitraatuitspoeling en denitrificatie. Voor de fosfaatbeschikbaarheid gaat dit niet op (figuur 7) omdat dit in de bodem sterk wordt gebonden aan ijzer(oxiden), aluminiumoxiden en calcium.



Figuur 7. *Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) in de bodem op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de bodem niet meer in landbouwkundig gebruik is doordat het uitspoelt naar het grondwater of wordt gedenitrificeerd. Het sterk in de bodem gebonden (immobiele) fosfaat verdwijnt echter niet op een natuurlijke wijze uit de bodem (Lamers et al., (2005)).*

In het geval dat de natuurontwikkeling gepaard gaat met vernatting is het van belang om rekening te houden met veranderende redoxcondities (Smolders *et al.*, 2006). Met name ijzer(hydr)oxiden zorgen voor de vastlegging van fosfaat in de bodem. Onder anaërobe condities wordt het ijzer gereduceerd waarbij fosfaat vrijkomt. Als er veel sulfaat aanwezig is, kan er nog meer fosfaat vrijkomen, doordat sulfaat wordt omgezet in sulfide, vervolgens aan ijzer bindt en nog meer fosfaat van het ijzer verdringt. Indien de bodemlaag sterk verrijkt is met fosfaat zullen ongewenste snelgroeiende plantensoorten gaan domineren waardoor uiteindelijk een soortenarme plantengemeenschap ontwikkelt. In nattere delen zal Pitrus (*Juncus effusus*) gaan domineren. Door middel van maaien en afvoeren kan de P-beschikbaarheid op voormalige landbouwgronden vaak onvoldoende worden teruggebracht om binnen een termijn van enkele tientallen jaren een voedselarme uitgangssituatie te krijgen (zeer kalkrijke bodems vormen hierop een uitzondering).

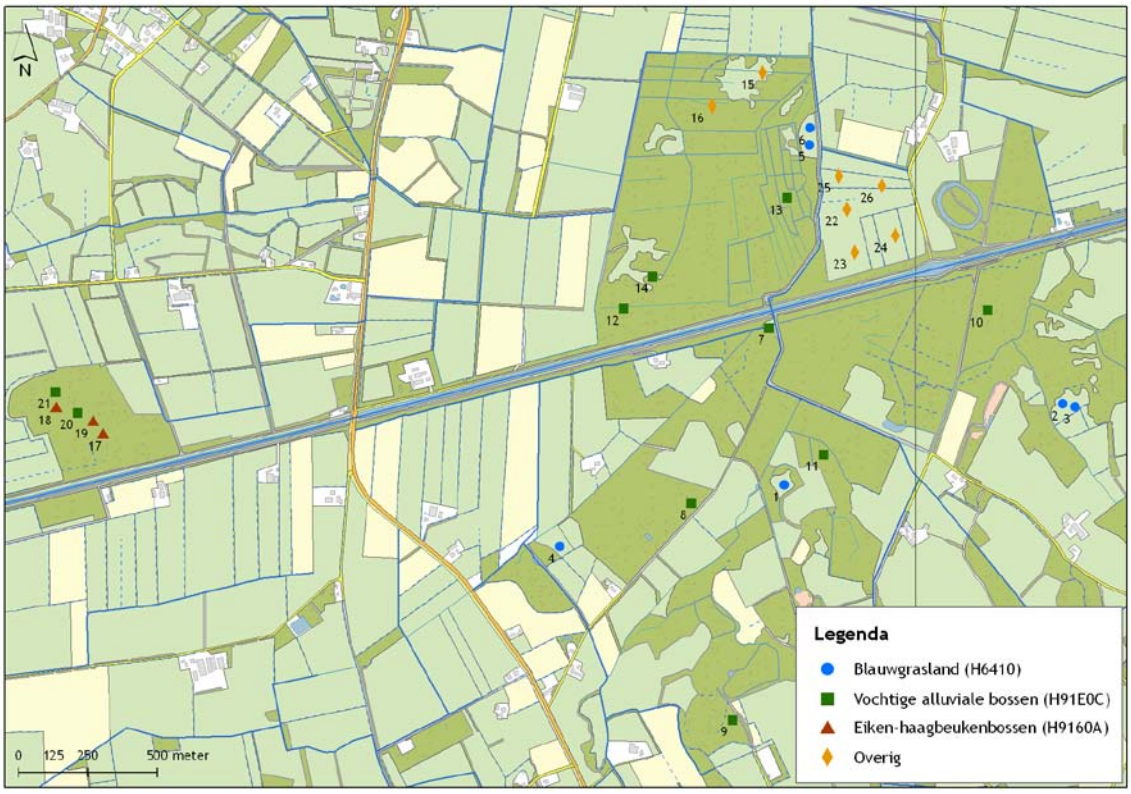
Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag daarom meestal onontkoombaar, zeker in natte situaties. Hierbij is het belangrijk om vast te stellen tot hoe diep ontgrond moet worden om een voldoende P-arme uitgangssituatie te creëren. Dit kan door op verschillende diepten de P-beschikbaarheid te meten.

Alhoewel de stikstofdepositie in Nederland de afgelopen decennia fors is afgenomen, ligt deze in veel natuurgebieden nog steeds boven de kritische depositiewaarde. Stikstofdepositie kan enerzijds eutrofiëring van gebieden veroorzaken en anderzijds in minder gebufferde systemen ook verzuring, omdat bij de omzetting van ammoniak uit de lucht zuur wordt geproduceerd. De hoeveelheid stikstofdepositie hangt onder andere af van de afstand tot lokale bronnen en van de 'ruwheid' van de vegetatie. Bossen hebben een hoge 'ruwheid', waardoor ze veel stikstof invangen (Sutton et al., 1994). Zowel blauwgraslanden als bossen kunnen gevoelig zijn voor stikstofdepositie. In Blauwgraslanden veroorzaakt stikstofdepositie onder andere vergrassing en een afname van de biodiversiteit; in bossen verandering in de ondergroei, zoals een toename van de bedekking met Bramen (Bobbink & Hettelingh, 2011).

Materiaal& Methode

Monstername

Monsterlocaties die zijn van te voren door Camiel Aggenbach (SBB) geselecteerd op grond van vegetatiekarteringen. In het veld zijn op 9 maart 2011 de boorpunten nader bepaald samen met Geert Euverman (SBB), zodat ze voldeden aan de gewenste typering. Bodemmonsters zijn op 10 en 11 maart 2011 genomen door Grontmij en op 21 maart door B-WARE. Ook werd door Grontmij een profielbeschrijving tot 1 m diepte opgesteld. Van elke bodem werd een monster genomen op 0-10 en op 10-20 cm onder maaiveld. Van de bosbodems en het rietland werd ook de strooisellaag (ectolaag) verzameld.



Figuur 8. *Monsterpunten in het Voltherbroek, Agelerbroek, Broekmaten en Achter de Voort.*

Bodemextracties

Per bodemmonster werden vervolgens de volgende variabelen bepaald:

- Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid
- Olsen-P (plantenbeschikbare P fractie)

- totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na destructie met salpeterzuur en waterstofperoxide)

- labiel gebonden elementen en pH met een waterextractie

- uitwisselbare kationen en CEC met een $SrCl_2$-extractie

Vochtpercentage, organische stofconcentratie en bodemdichtheid

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 24 uur bij 70^{o}C. Uit het vaste volume van deze bakjes werd de bodemdichtheid berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550^{o}C. Het gloeiverlies komt goed overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Olsen-extractie

Plantbeschikbaar fosfaat werd met behulp van een Olsen-extractie (Olsen *et al.*,1954) bepaald. De fosfaatconcentratie bepaald met een Olsen-extractie is sterk gecorreleerd met de opname van P door de vegetatie en geeft een goede voorspelling van de soortenrijkdom van halfnatuurlijke graslanden (Gilbert et al., 2009). Het principe van deze extractiemethode is dat natriumbicarbonaat ($NaHCO_3$) zorgt voor een daling van de concentratie opgeloste calciumionen via de vorming van onoplosbaar calciumcarbonaat ($CaCO_3$). Hierdoor stijgt de concentratie opgelost fosfaat. Natriumbicarbonaat brengt ook de labiele, voor planten snel beschikbare, proportie van de organische fractie in oplossing. Voor de Olsen-extractie werd aan 3 gram droog bodemmateriaal 100 ml 0,5 mol l^{-1} natriumbicarbonaat ($NaHCO_3$) toegevoegd. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bij 4^{o}C bewaard tot verdere analyse.

Bodemdestructie

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

Waterextractie

Met een waterextractie worden niet of labiel gebonden ionen geëxtraheerd. Een waterextractie geeft een beeld van de concentraties van ionen (o.a. pH) in het bodemvocht in het wortelmilieu. Voor de extractie werd 17,5 g verse bodem geëxtraheerd met 50 ml milliQ. De monsters werden gedurende 2 uur uitgeschut, waarna de pH in het supernatant werd gemeten en het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon rhizonsamplers. Het extract werd bij 4^{o}C bewaard tot verdere analyse.

Strontiumchloride-extractie

Bij een strontiumchloride-extractie worden aan het kationadsorptiecomplex gebonden kationen verdrongen door een overmaat strontium. De kationen Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, K^{+}, Na^{+}, Al^{3+}, NH_4^{+}, Zn^{2+} en H^{+} worden vervolgens teruggemeten in het extract. De kationuitwisselcapciteit (CEC) wordt vervolgens berekend uit de som van de ladingen van bovengenoemde ionen, waarbij deze concentraties eerst gecorrigeerd worden met behulp van de concentraties in het waterextract voor de kationen niet aan het adsorptiecomplex gebonden zijn. De basenverzadiging wordt vervolgens berekend uit de som van de ladingen van de concentraties Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} en Na^{+} gedeeld door de CEC (gecorrigeerd voor de concentraties in het waterextract). Voor het extract werd een hoeveelheid verse bodem overeenkomend met 2,5 g drooggewicht geëxtraheerd met 200 ml 0,2 M $SrCl_2$. De bodemmonsters werden gedurende 1 uur uitgeschut bij 100 rpm, waarna de pH werd gemeten en het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon rhizonsamplers. Het extract werd bij 4^{o}C bewaard tot verdere analyse.

Concentraties in de bodem zijn uitgedrukt per liter bodem omdat dit een beter beeld geeft van de daadwerkelijk voor planten beschikbare concentratie dan uitgedrukt per massa-eenheid.

Chemische analyses

De pH werd gemeten met een standaard $Ag/AgCl_2$ elektrode verbonden met een radiometer Copenhagen type PHM 82. De analyses van calcium, magnesium, kalium, ijzer, aluminium, silicium, zink, mangaan, totaal fosfor en totaal zwavel en Olsen-P werden uitgevoerd met behulp van Inductief Gekoppeld Plasma - Optische Emissie Spectrometrie (ICP-OES; Techno Electron Cooperation). Nitraat (inclusief nitriet) werd colometrisch bepaald met behulp van hydrazinesulfaat, ammonium met een salicylaatreagens, ortho-fosfaat met ammoniummolybdaat en ascorbinezuur en chloride met ferri-ammoniumsulfaat op een Bran+Luebbe AutoAnalyser 3.

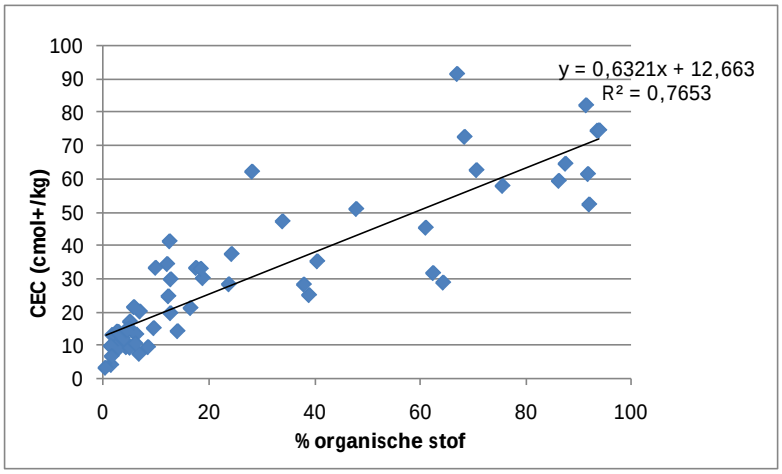
Resultaten

Algemene resultaten

De resultaten van de chemische analyses zijn samengevat in tabel 3 tot en met 9 in Bijlage 1 en ruimtelijk op kaart in figuur 49 tot en met 56 in Bijlage 2. In de volgende paragrafen worden de resultaten per habitattype en per monsterpunt besproken. Als de dataset als geheel beschouwd wordt, valt een aantal zaken op die aangeven welke relaties tussen parameters in het onderzoeksgebied van belang zijn.

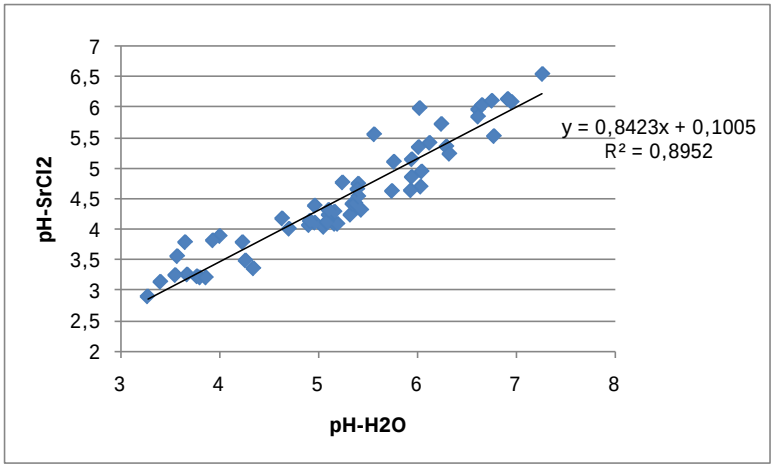
pH, basenverzadiging en CEC

De kationenuitwisselcapaciteit wordt gevormd door uitwisselingsplaatsen aan geladen minerale deeltjes, zoals kleiplaatjes (ook aanwezig in leemdeeltjes), en door organische stof. De bodem van het onderzoeksgebied is op veel plaatsen lemig en op sommige plaatsen ook venig of humeus. Uit figuur 9 blijkt dat de CEC (uitgedrukt per kg bodem) goed correleert met het organische stofgehalte. Overigens is de spreiding bij een vergelijkbaar organisch stofgehalte vrij hoog omdat de CEC mede wordt bepaald door uitwisseling aan minerale deeltjes, zoals kleimineralen.



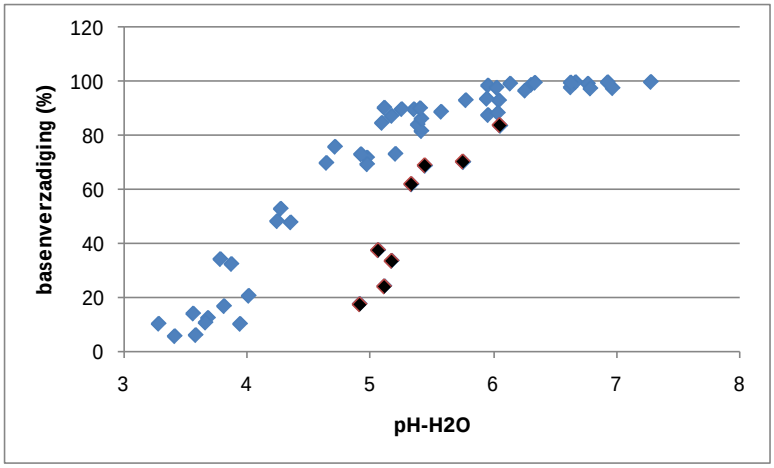
Figuur 9. *Samenhang tussen het organische stofgehalte van de bodem en de CEC.*

De pH is in dit onderzoek op twee manieren bepaald: in het waterextract en in het strontiumchloride-extract. Bij de extractie met strontiumchloride wordt strontium uitgewisseld met H^+ aan het adsorptiecomplex, waardoor er in het extract een lagere pH gemeten wordt. Beide typen pH's correleerden sterk met elkaar (figuur 10) en pH-$SrCl_2$ bleek gemiddeld 0,8 eenheid onder pH-H_2O te liggen. In het vervolg van het rapport wordt de pH uitgedrukt als pH-H_2O, omdat dit de meest gebruikte manier is om de bodem-pH uit te drukken.



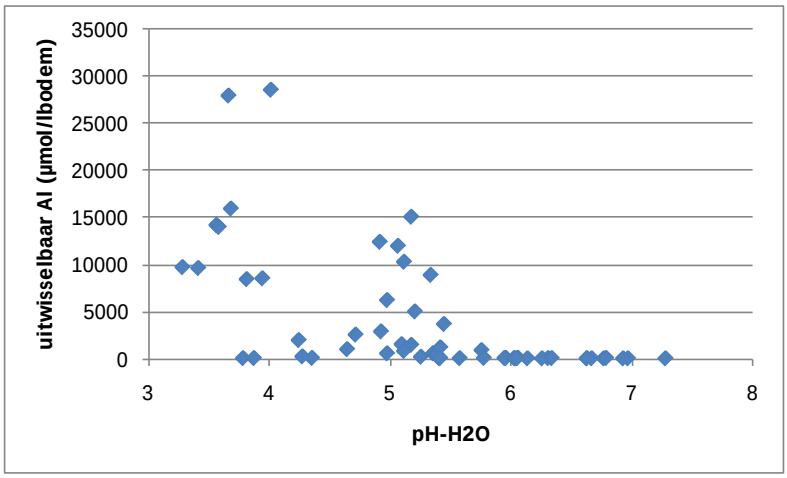
Figuur 10. *Relatie tussen de pH bepaald met een waterextractie en een strontiumchloride-extractie.*

De pH-H_2O van de bodem geeft een goede indicatie van de basenverzadiging in het onderzoeksgebied (figuur 11). Beneden een pH van 4 is de basenverzadiging laag (lager dan circa 40%) en boven een pH van 5,5 is de basenverzadiging doorgaans hoog (hoger dan 80%). Opmerkelijk is dat het verband in de schraalgraslanden waarin monsterpunten 1, 2, 3 en 4 lagen, anders is. De bodem van deze schraalgraslanden heeft bij een vrij hoge pH nog een lage basenverzadiging. Schraallanden 1 en 2&3 zijn niet afgeplagd, waardoor de verzuurde toplaag nooit is verwijderd en er is al zeer lange tijd maaisel afgevoerd. Dit verklaart de lagere basenverzadiging van deze graslanden, maar niet de andere relatie tussen de basenverzadiging en de pH.

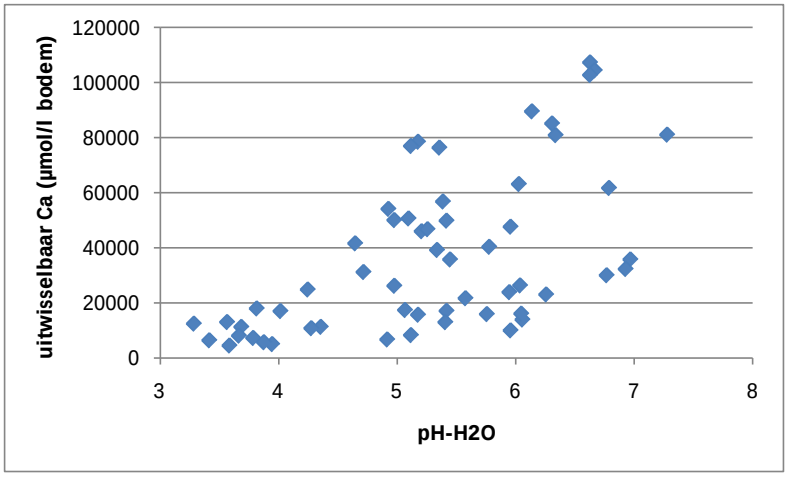


Figuur 11. *basenverzadinging als functie van de pH-H_2O met in het zwart de schraalgraslanden van monsterpunt 1, 2&3 en 4*

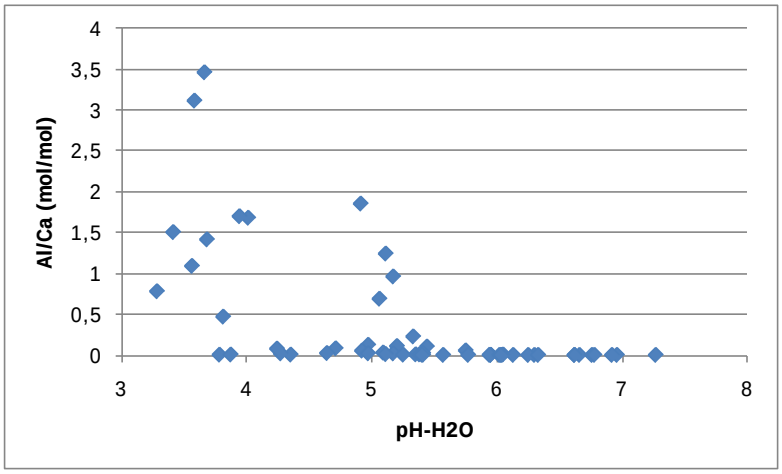
Alleen bij een lage pH is er aluminium aanwezig aan het adsorptiecomplex (figuur 12). Bij een lage pH is de concentratie calcium aan het adsorptiecomplex juist lager (figuur 13). Hierdoor neemt de aluminium/calcium-ratio aan het adsorptiecomplex flink toe bij een lagere pH (figuur 14).



Figuur 12. *De concentratie uitwisselbaar Al ($SrCl_2$-extractie) als functie van de pH-H_2O.*

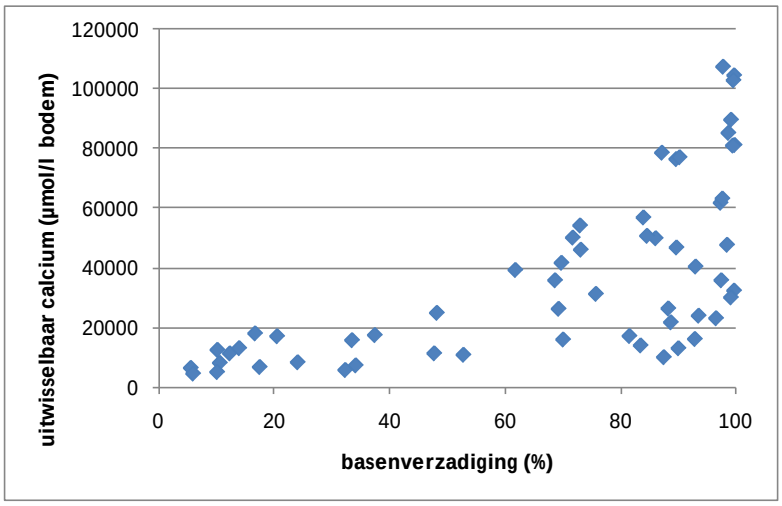


Figuur 13. *De concentratie uitwisselbaar Ca ($SrCl_2$-extractie) als functie van de pH-H_2O.*



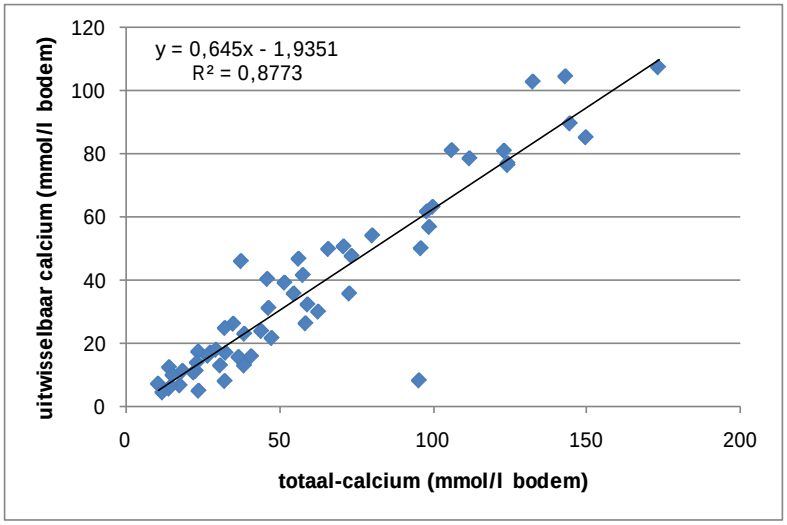
Figuur 14. *De Al/Ca-ratio ($SrCl_2$-extractie) als functie van de pH-H_2O.*

De calciumconcentratie aan het kationuitwisselcomplex is alleen hoog bij een hoge basenverzadiging, maar kan zowel bij een lage als bij een hoge basenverzadiging laag zijn (figuur 15). Dit hangt met name samen met de grootte van het adsorptiecomplex: bij een lage CEC met een hoge basenverzadiging kan de absolute concentratie calcium toch niet hoog zijn.



Figuur 15. *De concentratie uitwisselbaar Ca ($SrCl_2$-extractie) als functie van de basenverzadiging.*

De concentratie calcium aan het adsorptiecomplex ($SrCl_2$-extractie) is sterk gecorreleerd met de concentratie totaal-calcium (destructie) (figuur 16). Een destructie is een eenvoudigere bodembewerking dan een $SrCl_2$-extractie en kan dus als een eenvoudigere maat gebruikt worden voor de concentratie geadsorbeerd calcium. Voor magnesium is de relatie tussen totaal- en uitwisselbaar in de dataset echter minder sterk (R^2 = 0,36), omdat magnesium onderdeel vormt van de mineralen in de lutumfractie.

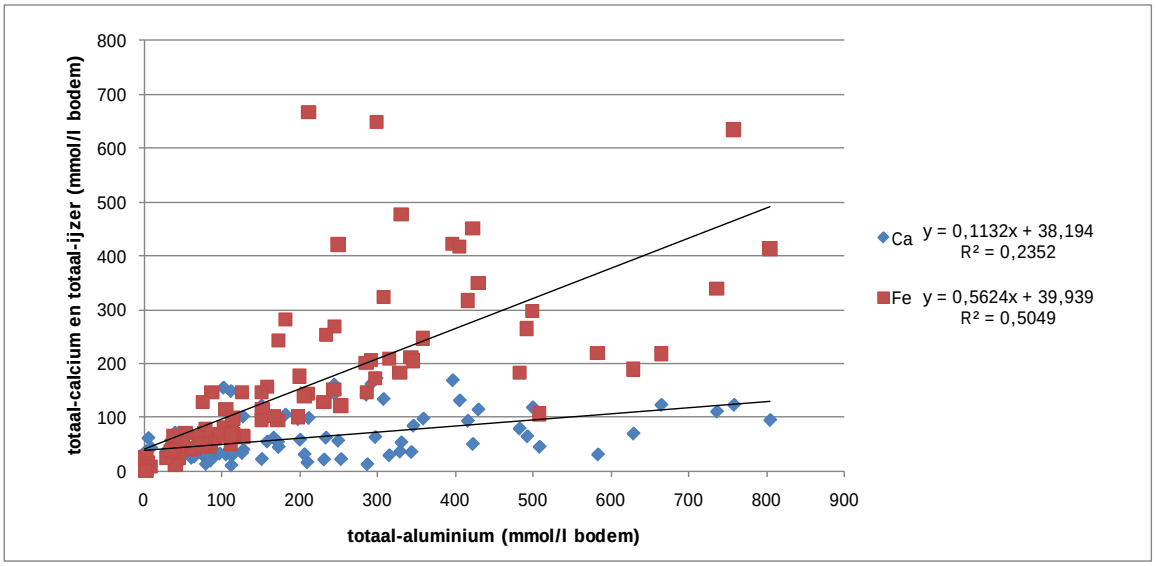


Figuur 16. *relatie tussen de concentratie totaal-calcium (destructie) en de concentratie uitwisselbaar calcium ($SrCl_2$-extractie).*

Bodemopbouw en P-beschikbaarheid

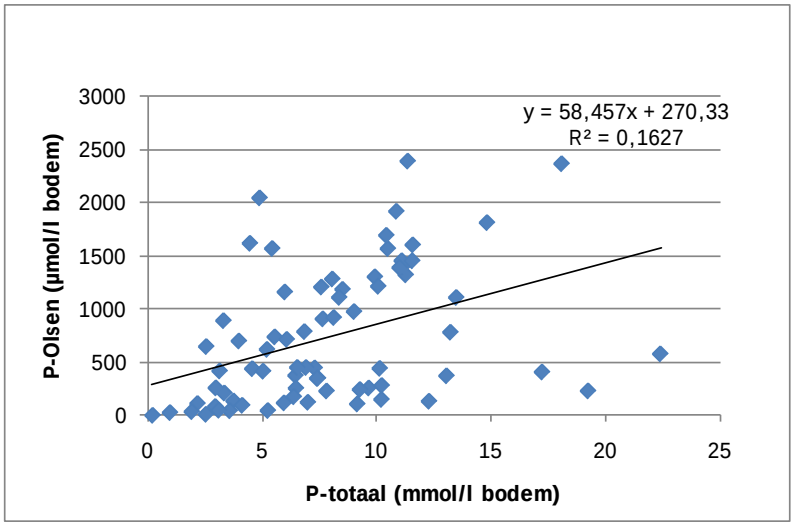
Fosfor adsorbeert sterk aan aluminium- en ijzer(hydr)oxiden en kan neerslaan met calcium. De concentraties van deze elementen in de bodem zijn daarom bepalend voor de beschikbaarheid van fosfor. Aluminium wordt voornamelijk aangevoerd bij afzetting van sediment. Klei-, leem- en siltbodems bevatten hoge concentraties van het element aluminium. Calcium en ijzer kunnen zowel met sediment worden afgezet (hoge concentraties in sediment met een groot adsorptiecomplex, zoals klei en leem) of via het grondwater worden aangevoerd. Alleen als dit grondwater anaeroob is, kan het ijzer bevatten, omdat ijzer bij normale pH-waarden alleen oplosbaar is in de gereduceerde toestand.

Figuur 17 geeft de relatie aan tussen de concentratie totaal-aluminium in de bodem en de concentraties totaal-calcium en totaal-ijzer. Bij beide is een duidelijke positieve trend te zien met de toename van totaal-aluminium. Bij ijzer is het verband duidelijker (R^2= 0,50) dan bij calcium (R^2= 0,24). In monsters die sterk afwijken van deze relatie, kan aangenomen worden dat een deel van het calcium of ijzer aangevoerd is via een andere route, zoals met kwel, of juist is verdwenen, zoals met calcium kan gebeuren wanneer het bij verzuring wordt uitgewisseld tegen H^+-ionen en vervolgens uitspoelt. Verschillen in organisch stofgehalte kunnen ook van invloed zijn op de concentratie van deze kationen, omdat organische stof de adsorptiecapaciteit van de bodem verhoogt.

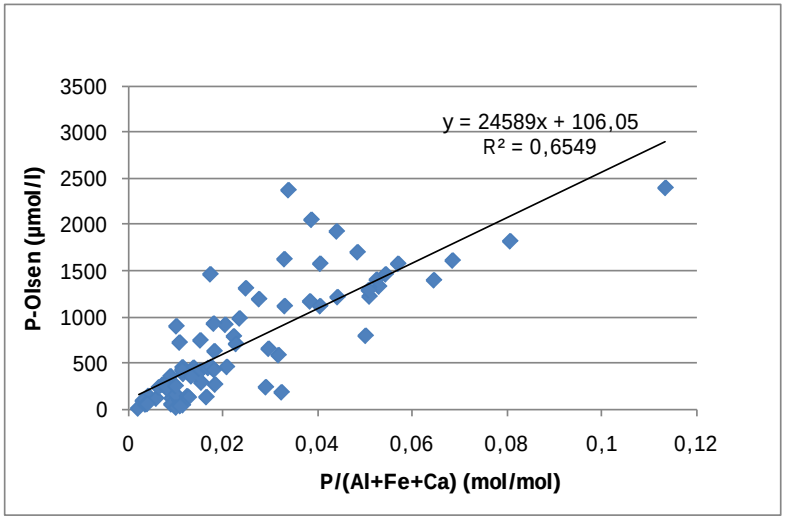


Figuur 17. *Relatie tussen de concentratie totaal-aluminium in de bodem (destructie) en de concentraties totaal-ijzer en totaal-calcium.*

De concentratie plantbeschikbaar P hangt logischerwijs samen met de concentratie totaal-P, maar dit verband is niet erg duidelijk (figuur 18). Als de totale concentratie van fosfor wordt bezien ten opzichte van de aanwezige adsorptiecapaciteit (in wezen is deze verhouding een maat voor de fosfaatverzadiging), dan is de relatie veel groter (figuur 19).



Figuur 18. *De relatie tussen de concentratie totaal-P en de concentratie Olsen-P in de bodemmonsters van het onderzoeksgebied (exclusief strooisellaag).*



Figuur 19. *De relatie tussen de verhouding tussen totaal-P en de som van Al, Fe en Ca en de concentratie Olsen-P in de bodemmonsters van het onderzoeksgebied (exclusief strooisellaag).*

Hydrologie

In dit bodemchemisch onderzoek is geen hydrologisch onderzoek uitgevoerd. In het gebied komen zeer uiteenlopende hydrologische omstandigheden voor, die elk de bodemchemie kunnen beïnvloeden. Grondwaterinvloed heeft onder meer effect op de aanvoer van basen (Ca, Mg) en daarmee op de oplading van het adsorptiecomplex en op de aanvoer van ijzer en daarmee op de beschikbaarheid van fosfor. In het onderzoeksgebied kan kwelwater afkomstig zijn uit lokale systemen, uit regionale systemen (stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal) en uit infiltrerend kanaalwater. Elk van deze grondwaterstromen heeft zijn eigen samenstelling. De aanwezigheid van goed gebufferde leemlagen kan ervoor zorgen dat ook lokaal grondwater of stagnerend regenwater aangerijkt wordt met basen. IJzer is een element dat in een vrij hoge concentratie voorkomt in leemrijke bodems (zie hierboven), maar dat onder anaerobe omstandigheden ook aangevoerd kan worden met anaeroob grondwater. Dit grondwater hoeft niet noodzakelijkerwijs afkomstig te zijn uit een regionaal systeem. Onder invloed van hoge concentraties organische stof in de bodem kan ook lokaal grondwater snel anaeroob worden. Op standplaatsniveau zijn de concentraties van stoffen als calcium en ijzer dus een resultante van de sedimentsamenstelling, bodemchemische processen zoals verzuring en aanvoer (kwel) of afvoer (infiltratie). Het is daarom niet mogelijk om bodemchemische parameters te vinden die gebruikt kunnen worden als proxy voor voeding vanuit een regionaal, dan wel lokaal systeem.

Een duidelijk verschil tussen regen- en oppervlaktewater is de chlorideconcentratie. Regenwater heeft een chlorideconcentratie van ongeveer 45 µmol/l (regenwater station Eibergen, 2004) (Van der Swaluw, et al., 2010). Oppervlaktewater heeft een veel hogere chlorideconcentratie, vaak een factor 10 tot 20 hoger. Hoge chlorideconcentraties in het grondwater hangen in het binnenland sterk samen met de antropogene beïnvloeding die er in de afgelopen eeuw heeft plaatsgevonden. De chlorideconcentraties in het grondwater verschillen daardoor vaak afhankelijk van de ouderdom van het grondwater, maar zullen in elk

geval hoger liggen dan dat van regenwater. Chloride is een mobiel ion in de bodem, dat slecht adsorbeert. De concentratie van dit ion in de bodem wordt daarom alleen beïnvloed door aanvoer, afvoer en verdamping (indamping). Het onderzoeksgebied is begin maart, aan het eind van de winter toen de grondwaterstanden nog hoog waren en de luchttemperatuur nog laag was, bemonsterd. Hierdoor is het naar verwachting mogelijk om aan de hand van de chlorideconcentratie een onderscheid te maken tussen bodems waarvan de toplaag voornamelijk door regenwater wordt gevoed en bodems die tot in de toplaag door grondwater gevoed worden. Hierbij moet worden opgemerkt dat het mogelijk is dat het grondwater uit het regionale systeem armer is aan chloride dan het lokale grondwater en het kwelwater uit het kanaal Almelo-Nordhorn. Hierdoor kan de invloed van regionale kwel onderschat worden als de concentratie chloride in de bodem als maat wordt gebruikt voor grondwaterinvloed. De verhouding tussen chloride en calcium in de bodem, een maat die in grondwater gebruikt wordt om een onderscheid te maken tussen atmoclien, lithoclien en thallassoclien grondwater (Van Wirdum,1979), kan hier niet gebruikt worden omdat de bodem zelf veel calcium kan leveren.

Tabel 1. *De chlorideconcentratie in de bodem verkregen met een waterextract (µmol/l bodem), gemiddeld over de diepte (0-20 cm), waarbij uitgegaan is van 1 cm strooisel.*

Laag (<500 µmol/l bodem)	Middelhoog (500- 1000 µmol/l bodem)	Hoog (>1000 µmol/l bodem)
monsterpunten 1 t/m 6 (schraalgrasland) monsterpunt 10 monsterpunt 11 monsterpunt 13 monsterpunt 15 monsterpunt 17 monsterpunt 18 monsterpunt 19 monsterpunt 20 monsterpunt 21 monsterpunten 22 t/m 26 (grasland Broekmaten)	- monsterpunt 7 - monsterpunt 8 - monsterpunt 9 - monsterpunt 12 - monsterpunt 16	- monsterpunt 14

Bij deze indeling vallen alle bodems die ten tijde van de bemonstering in maart droog waren, en waarvan het dus aannemelijk is dat zij geen kwel in de toplaag van de bodem ontvangen, in de categorie met de lage chlorideconcentraties. In deze categorie vallen echter ook monsterpunten 15 (het rietmoeras) en 21 (natte Vogelkers-Essenbos met Zwarte bes in Achter de Voort). De hoogste chlorideconcentraties werden aangetroffen in de bodem van monsterpunt 14: het zeer natte Elzenbroekbos met de ondergroei van Elzenzegge in het westen van het Agelerbroek.

Blauwgraslanden (H6410)

In het onderzoek zijn vier vochtige tot natte schraallanden in het Voltherbroek en Agelerbroek betrokken (figuur 8). In twee schraalgraslanden zijn elk twee monsterpunten gelegen (2&3, respectievelijk 5&6) en twee schraalgraslanden hadden elk één monsterpunt (punten 1 en 4).

Schraalgrasland monsterpunt 1



Figuur 20. *Het schraalland bij monsterpunt 1.*

Dit schraalland is al zeer lang in verschralingsbeheer en is nooit geplagd. De bodem in dit schraalgrasland bestaat uit een 10 cm dikke humeuze zandlaag (14% organische stof), waaronder een zandige leemlaag begint van 30 cm dik. Tot 65 cm diepte is er nog leem in de ondergrond aanwezig. Van 65 cm diepte tot 100 cm diepte wordt in het zand nog leem aangetroffen. Over de gehele diepte worden sporen van roest (ijzeroxiden) aangetroffen.

De bovenste 10 cm van de bodem is al vrij rijk aan aluminium (250 mmol/l bodem), wat aangeeft dat ook in deze toplaag de siltfractie al vrij hoog is. De bodem bevat op 10-20 cm diepte zeer veel ijzer (476 mmol Fe/l bodem), op 0-10 cm diepte is de ijzerconcentratie nog steeds vrij hoog (120 mmol Fe/l bodem).

De concentratie beschikbaar fosfaat is circa 1300 µmol/l bodem op 0-10 cm diepte, wat hoog is voor een schraalgrasland, en slechts 135 µmol/l bodem op 10-20 cm diepte. De totaal-P-concentratie is in de bovenste 10 cm hoger (ca 10 mmol/l bodem) dan daaronder (ca 4 mmol/l bodem). Nitraatconcentraties in de bodem waren op het moment van monstername erg laag (30-40 µmol/l bodem). De concentratie uitwisselbaar ammonium is wat hoger (200-300 µmol/l bodem).

De pH-H_2O is zwak zuur: in de toplaag 5,1, op 10-20 cm 5,4. De toplaag van de bodem heeft een relatief lage CEC (37%), leemlaag eronder een hogere (69%). Uitwisselbaar en totaal Ca en Mg zijn in de leemlaag ongeveer 2x zo hoog als in de toplaag. Hoewel de concentratie

uitwisselbaar aluminium al wel verhoogd is in de toplaag (ca 12000 µmol/l bodem), is de Al/Ca ratio nog laag (0,7).

Schraalland monsterpunten 2 en 3



Figuur 21. *Het schraalland bij monsterpunt 2 en 3.*

Ook dit schraalland heeft een dun, siltig zanddek op een dunne leemlaag. Net als schraalland 1 heeft dit schraalland een zeer lange verschralingshistorie en is het nooit geplagd. Op monsterpunt 2 begint deze leemlaag op 20 cm diepte, op monsterpunt 3 op 10 cm diepte. De leemlaag varieert sterk in dikte: op monsterpunt 2 is hij slechts 20 cm dik, op monsterpunt 3 50 cm. Op monsterpunt 2 zijn zowel het monster op 0-10 cm, als het monster op 10-20 cm in het zand genomen, op monsterpunt 3 is het monster op 10-20 cm diepte in de leemlaag genomen.

De bodem in monsterpunt 3 is rijk aan aluminium (silt) (342 mmol/l op 0-10 cm diepte; 421 op 10-20 cm diepte) en ijzer (211, respectievelijk 450 mmol/l bodem). Bij het meer zandige monsterpunt 2 zijn deze concentraties lager (gemiddeld 180 mmol Al/l bodem en 130 mmol/l bodem).

De concentratie beschikbaar fosfaat is 700 - 900 µmol/l bodem in het zand (monsterpunt 2 0-20 cm diepte; monsterpunt 3 0-10 cm diepte), wat aan de hoge kant is voor een schraalgrasland, en zeer laag in de leemlaag op monsterpunt 3 (10-20 cm diepte): 83 µmol P/l bodem. Totaal-P concentraties zijn laag (monsterpunt 2 8 mmol P/l op 0-10 cm diepte en 6 op 10-20 cm diepte; monsterpunt 3 13 mmol P/l op 0-10 cm diepte en slechts 3 mmol P/l bodem in de leemlaag). De nitraatconcentratie in de bodem zijn erg laag ten tijde van monstername (< 20 µmol/l bodem), concentraties uitwisselbaar ammonium zijn hoger (circa 300 µmol/l bodem).

De pH-H_2O is zwak-zuur (4,9 in de bovenste 10 cm van monsterpunt 2 tot 5,3 in de leemlaag bij monsterpunt 3 op 10-20 cm diepte). De basenverzadiging in de zandlaag is laag (17- 24 op monsterpunt 2 en 33 % op monsterpunt 3). De leemlaag is beter gebufferd met een basenverzadiging van 62%. Op monsterpunt 2 is de aluminiumconcentratie verhoogd (>10.000 µmol/l bodem), maar de Al/Ca-ratio ligt onder de twee en is dus nog niet ongunstig.

Schraalland monsterpunt 4



Figuur 22. *Het schraalland bij monsterpunt 4.*

Het schraalland bij monsterpunt 4 zag er bij het veldbezoek wat ruiger uit dan de andere schraallanden. Het perceel is vrij recent opnieuw ingericht, waarbij er ook geplagd is. In het schraalland is hierbij een poel aangelegd met een flauw aflopende oever die er schraler uitzag. Het monsterpunt 4 is hoog op deze oever gelegen. De bodem bovenste meter van de bodem bestaat geheel uit zand, waar op 10 tot 40 cm wel dunne lemige laagjes in worden aangetroffen.

De totaal-concentraties aluminium zijn hier laag, vooral op 10-20 cm diepte (40 mmol Al/l bodem en de totaalconcentraties ijzer eveneens (65 mmol Fe /l op 0-10 cm diepte, 31 mmol/l op 10-20 cm diepte.

De concentraties beschikbaar fosfaat zijn zeer laag: iets meer dan 100 µmol/l bodem op 0-10 cm diepte en op 10-20 cm diepte zelfs onder de detectielimiet. De concentraties totaal fosfor zijn eveneens zeer laag: 2 mmol/l op 0-10 cm diepte en 0,2 mmol/l op 10-20 cm. De nitraatconcentraties zijn ook zeer laag. De concentraties uitwisselbaar ammonium zijn wat hoger (circa 450 µmol/l bodem).

De bodem heeft een neutrale pH (pH-H_2O circa 6), die hoger ligt dan bij de andere schraallanden. De basenverzadinging is hier vrij hoog (>70 %). Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de CEC hier vrij laag is (3-4 cmol+/kg bodem) doordat de ondergrond overwegend uit zand bestaat. Dit betekent dat bij depositie van eenzelfde hoeveelheid zuur, de basenverzadiging meer zal afnemen dan op locaties met een hogere CEC en de bodem ondanks de hoge basenverzadiging vrij verzuringsgevoelig is.

Schraalland monsterpunten 5 en 6



Figuur 23. *Het schraalland bij monsterpunten 5 en 6.*

Dit schraalland, gelegen naast de Tilligterbeek, is een schraalland met voorkomen van de rompgemeenschap van Blauweknoop/Blauwe zegge [Pijpestrootjesverbond]. Dit perceel is circa 10 cm diep geplagd in 1983-1984 (med. Camiel Aggenbach). In de bodem bevindt zich vanaf circa 10 cm diepte een leemlaag die circa 20 tot 30 cm dik is. Daaronder bevindt zich zand, dat nog steeds siltig is. De bovenste 10 cm van de bodem bestaat uit siltig veen (monsterpunt 5), dan wel siltig zand (monsterpunt 6).

Aan de hoge aluminiumconcentraties (circa 740 mmol/l bodem in de leemlaag) is te zien dat de bodem er siltig is. De ijzerconcentraties in de siltige bodem zijn eveneens erg hoog (tot meer dan 600 mmol/l).

De concentraties beschikbaar fosfaat zijn laag: circa 250-400 µmol/l bodem op 0-10 cm diepte en circa 100-200 op 10-20 cm diepte. Totaal-P-concentraties zijn laag (6,5 – 10 mmol/l bodem). De nitraatconcentraties in de bodem zijn zeer laag (onder de detectielimiet). Concentraties uitwisselbaar ammonium zijn iets hoger: 200 µmol/l bodem.

Het schraalland heeft een zwak zure pH (5,0-5,4) en de buffering is hoog (72% in de bovenste 10 cm, 90 % op 10 tot 20 cm diepte. Door de aanwezigheid van leem is de CEC hoog (circa 20 cmol+/kg bodem).

Vochtige alluviale bossen (H91E0C)

Elzenbroek met ondergroei van grote zeggen (monsterpunt 7)



Figuur 24. *Het broekbos naast het kanaal en de gestuwde Tilligterbeek bij monsterpunt 7.*



Figuur 25. *De stuw in de Tilligterbeek vlak voor de beek onder het kanaal doorgaat.*

Dit elzenbroekbos ligt ten zuiden van het kanaal aan de Tilligterbeek. Het bos was vroeger sterk verdroogd doordat de beek erg laag in het landschap lag. Nu wordt de beek opgestuwd en is dit broekbos natter. Ten tijde van bemonstering stond er circa 40 cm water op het maaiveld. De ondergroei van het bos bestaat uit grote zegges en riet. Het monsterpunt is gekozen op de plek waar riet niet domineerde. Op de bodem ligt ongeveer 7 cm onverteerd strooisel. De bovenste 10 cm van de bodem bestaat uit klei met erg veel organische stof (ca. 19%). Daaronder, tot ongeveer 40 cm diepte bevindt zich een laag zware, groengrijze klei met iets minder organisch materiaal (13% op 10-20 cm diepte). Daaronder is de bodem zandiger. De drie monsters die van deze locatie geanalyseerd zijn, zijn een monster van de strooisellaag, een monster van de sterk organische klei op 0-10 cm diepte en de klei op 10-20 cm diepte.

Door de vrij hoge siltfractie van de klei is de concentratie aluminium vrij hoog op 0-20 cm diepte (ca 300 mmol Al/l bodem). Ook de ijzerconcentratie is hoog: op 0-10 cm diepte circa 250 mmol/l bodem en op 10-20 cm diepte zelfs 650 mmol/l. Deze laatstgenoemde concentratie is veel hoger dan op grond van de concentratie aluminium verwacht zou worden als het ijzer samen met de klei zou zijn afgezet. Dit is een aanwijzing dat het ijzer dat op 10-20 cm diepte wordt aangetroffen hier deels door kwel terecht is gekomen.

De kleilaag is erg rijk aan fosfor: 17-22 mmol P/l bodem. Door de hoge concentraties aan ijzer, aluminium en calcium is de beschikbaarheid van fosfaat echter vrij laag. De concentratie Olsen-P (plantbeschikbaar P) ligt op circa 400-600 µmol/l bodem. In de strooisellaag is deze lager: 128 µmol P/l strooisel. In de strooisellaag is de totaal-P-concentratie ook erg laag (3 mmol/l strooisel), De nitraatconcentraties in de klei zijn erg laag. Uitwisselbaar ammonium is erg hoog in het strooisel: meer dan 1000 µmol/l strooisel. In de bodem is de concentratie uitwisselbaar ammonium lager (ca 550 µmol/l bodem).

De pH van de bodem is hier zwak zuur, 5,4 in de strooisellaag en in de bovenste 10 cm van de bodem, 6,6 op 10-20 cm diepte. De bodem is sterk gebufferd: de basenverzadiging in de strooisellaag en de bovenste 10 cm van de bodem is 84%, daaronder is deze zelfs 98%. De CEC van zowel de kleilaag als van de strooisellaag is hoog (30-40 cmol+/kg in de klei, 50 cmol +/kg in het strooisel). Per vierkante meter is de CEC van de strooisellaag weliswaar lager dan van de klei (4,5 cmol+/l bodem tov 20 cmol+/l bodem), maar het strooisel levert hier nog steeds een belangrijke bijdrage aan de zuurbuffering.

Elzenbroekbos (monsterpunt 8)



Figuur 26. *Het elzenbroekbos bij monsterpunt 8.*

Dit Elzenbroekbos is vroeger getypeerd als Elzenzeggen-Elzenbroek met Zwarte bes. Op het moment van monstername komt Elzenzegge slechts sporadisch voor. Er is één exemplaar van een Zwarte bes aangetroffen, waarnaast het monsterpunt is gelegd. Het bos heeft een vrij dunne strooisellaag, die apart is bemonsterd. De bovenste 10 cm van de bodem is lemig, maar nog sterk organisch (13% organische stof). Deze leemlaag loopt tot ongeveer 60 cm onder

maaiveld door en is dieper in de bodem minder humeus. Vanaf 60 cm diepte wordt de bodem zandiger, maar is nog steeds vrij siltig.

De bodem is vrij rijk aan totaal-aluminium (180-280 mmol/l bodem), samenhangend met het lemige karakter en aan calcium (100-140 mmol/l) en ijzer (200-280 mmol/l).

Zowel het strooisel als de toplaag van de leem zijn vrij arm aan fosfor: de bodem bevat tussen 4 en 7 mmol P/l bodem. De concentratie plantbeschikbaar fosfaat is ook laag: tussen 450 en 500 µmol/l in het strooisel en in de bodem op 0-10 cm diepte en minder dan 50 µmol/l bodem op 10-20 cm diepte. Het strooisel bevat vrij weinig nitraat (25 µmol/l bodem); het leem is iets rijker aan nitraat (ca 140 µmol/l). De concentratie uitwisselbaar ammonium is in de strooisellaag bijna 1600 µmol/l bodem. De ammoniumconcentraties in de bodem zijn wat lager (rond 400 µmol/l bodem uitwisselbaar ammonium).

De pH van de bodem is erg hoog: zowel in het strooisel als in de leem is de pH-H_2O ongeveer 7,0. Dit hangt samen met de zeer hoge buffering van de bodem. De basenverzadiging is hier ongeveer 100%.

Vogelkers-Essenbos (monsterpunt 9)



Figuur 27. *Het bos bij monsterpunt 9.*

Het bemonsterde Vogelkers-Essenbos ligt aan de zuidkant van het Voltherbroek. In 2010 heeft de zomerstorm hier een deel van de bomen aan de bosrand omgeworpen. Dit hout wordt nu weggehaald. Het monsterpunt is daarom iets verder van de zuidelijke bosrand af gelegd dan oorspronkelijk gepland. Het bos bestaat vooral uit eiken met enkele kleinere elzen en veel jonge essen. De bodem heeft een dunne strooisellaag met veel eikenblad. De bodem heeft een circa 25 dik leemdek, waarvan de bovenste 10 cm met veel organische stof (24%). Onder deze leemlaag loopt een zeer siltige zandlaag verder tot 45 cm diepte. Daaronder wordt het zand minder siltig. Het bos was vrij droog. De bodemmonsters zijn hier genomen op 0-10 en 10-20 cm diepte in de leemlaag. De strooisellaag is apart geanalyseerd.

De bodem is rijk aan aluminium (tot 400 mmol/l bodem) door de aanwezigheid van leem. Hierdoor is de bodem ook rijk aan ijzer (tot 400 mmol/l) en aan calcium (ca 130 mmol/l).

Totaal-fosforconcentraties zijn laag in de bodem: circa 3 mmol/l in de strooisellaag, 10 mmol/l op 0-10 cm diepte en 3,6 op 10-20 cm diepte. De concentratie plantbeschikbaar fosfaat is ook erg laag: 240-280 µmol/l in het strooisel en in de bovenste 10 cm van de bodem en minder dan 50 µmol/l bodem op 10-20 cm diepte. Nitraatconcentraties liggen over de gehele diepte rond 180 µmol/l bodem. De concentratie uitwisselbaar ammonium is ongeveer 350 µmol/l bodem in de bodem en is met circa 200 µmol/l strooisel erg laag in de strooisellaag.

De pH van de bodem is met 6-7 vrij hoog. De basenverzadiging is overeenkomstig hoog: zowel in de strooisellaag als in het leem is deze ongeveer 100%.

Elzenbroek met veel braam of framboos (monsterpunt 10)



Figuur 28. *Het bos bij monsterpunt 10.*

Dit bos betreft een vrij droog elzenbos waarin in de ondergroei veel framboos en braam staat. Op de bosgrond ligt een dunne strooisellaag, die apart is bemonsterd. De bovenste 10 cm van de bodem bestaat uit humeus zand (organische stofpercentage 17%). Daaronder begint een kleilaag die tot op 90 cm onder maaiveld doorloopt en die eerst vrij zandig is en dieper meer siltig.

De bodem wordt gekenmerkt door vrij hoge totaal-aluminiumconcentraties (230 mmol/l op 0-10 cm diepte, 490 op 10-20 cm diepte) en vrij hoge ijzerconcentraties (128 mmol/l op 0-10 cm diepte; 265 mmol/l op 10-20 cm diepte). De concentraties totaal-calcium zijn echter vrij laag (22 mmol/l op 0-10 cm diepte en 66 mmol/l op 10-20 cm diepte).

De fosforconcentraties zijn vrij laag in de bodem: circa 3 mmol/l in de strooisellaag, 9 mmol/l bodem op 0-10 cm diepte en 7 mmol/l bodem op 10-20 cm diepte. De concentratie plantbeschikbaar fosfaat is wat hoger dan in het natte elzenbroekbos: 770 µmol/l strooisel, 980 µmol/l bodem in de bodem op 0-10 cm diepte en 350 µmol/l bodem op 10-20 cm diepte. Het

strooisel bevat een vrij hoge nitraatconcentratie (365 µmol/l strooisel), in tegenstelling tot de bodem, die vrij arm is aan nitraat (73 µmol/l op 0-10 cm diepte; 24 µmol/l op 10-20 cm diepte). De concentratie uitwisselbaar ammonium is met bijna 1900 µmol/l strooisel erg hoog in de strooisellaag. In de bodem ligt de concentratie van ammonium rond 200-400 µmol/l.

Hoewel de strooisellaag nog een hoge pH heeft (pH 6), is de minerale toplaag van de bodem wel al sterk verzuurd (pH 3,7 op 0-10 cm diepte). De pH op 10-20 cm diepte is hoger (5,4). De strooisellaag heeft een hoge basenverzadiging van ongeveer 97%, terwijl de bovenste 10 cm nog slechts een basenverzadiging van 12% heeft. Mogelijk heeft er vanuit een nabijgelegen opgestuwde sloot een keer inundatie plaatsgevonden, waarbij de strooisellaag weer met basen is opgeladen (med. Camiel Aggenbach). De basenverzadiging op 10-20 cm diepte is met 86% wel hoog. Door de lage pH bevat de bodem op 0-10 cm diepte relatief veel uitwisselbaar aluminium (16000 µmol/l bodem). De verhouding tussen uitwisselbaar aluminium en calcium is met 1,4 nog niet ongunstig.

Elzenbroek met veel braam of framboos (monsterpunt 11)



Figuur 29. *Het bos bij monsterpunt 11.*

Dit elzenbos betreft eveneens een droog bos met braam of framboos in de ondergroei. De bodem heeft een circa 2 cm dikke strooisellaag. De bovenste 10 cm van de bodem is nog humeus (19% organische stof), daaronder begint een circa 15 cm dikke leemlaag. Het zand eronder is nog steeds sterk siltig.

Aan de vrij hoge totaal-aluminiumconcentraties is te zien dat de bodem siltig is (200-300 mmol/l bodem). Ook de ijzerconcentraties in de bodem zijn hoog (140-200 mmol/l bodem). Ondanks de aanwezigheid van leem, is de concentratie totaal-calcium vrij laag (30 mmol/l).

De concentratie totaal-P in de bodem is vrij laag: 2 mmol/l in het strooisel, 6 mmol/l bodem in de bovenste 10 cm van de bodem en 4 mmol/l bodem op 10-20 cm diepte. De concentratie plantbeschikbaar fosfaat is met circa 700 µmol P-Olsen/l in de strooisellaag en de bodem vergelijkbaar met de fosfaatbeschikbaarheid van monsterpunt 10. Op 10-20 cm diepte is de

fosfaatbeschikbaarheid minder dan 100 µmol/l bodem. De nitraatconcentratie in het strooisel is vrij hoog (ca 470 µmol/l bodem) en is lager in de bodem (76 µmol/l op 0-10 cm diepte; 31 µmol/l op 10-20 cm diepte). De concentratie uitwisselbaar ammonium ligt rond 300 µmol/l bodem en in de strooisellaag rond 750 µmol/l strooisel.

De pH van het strooisel is al vrij laag (4,4), maar is in de bodem nog lager (3,6 op 0-10 cm diepte, 4,0 op 10-20 cm diepte). De basenverzadiging van de bodem is hier dan ook erg laag: 48% in het strooisel, 14% op 0-10 cm diepte en 21% op 10-20 cm diepte. Ondanks de hoge concentratie uitwisselbaar aluminium (bijna 30000 µmol/l op 10-20 cm diepte), ligt de aluminium-calcium ratio nog steeds onder de 2 en neemt dus nog geen toxische waarden aan.

Elzenbroek – subassociatie met Bittere veldkers en Kleine valeriaan (monsterpunt 12)



Figuur 30. *Het bos bij monsterpunt 12.*



Figuur 31. *Kleine valeriaan bij monsterpunt 12.*

Dit monsterpunt ligt aan de westrand van het Agelerbroek. Het betreft een vrij vochtig deel van het bos, waar ten tijde van de bemonstering net geen water op het maaiveld stond. Het

bos wordt sterk ontwaterd door de watergang die de scheiding vormt tussen het Agelerbroek en de landbouwgrond ten westen van het Agelerbroek. Het effect van de ontwatering en de daardoor veroorzaakte maaivelddaling is te zien aan de wortels van de Elzen, die boven het maaiveld uitsteken. Op de bodem lag een strooisellaag van ongeveer 0,2 cm, voornamelijk bestaand uit Elzenblad. Daaronder bevond zich circa 10 cm leem dat zeer rijk was aan organisch materiaal (34% organische stof. Vanaf 10 cm diepte was het leem arm aan organische stof. Deze leemlaag is enkele decimeters dik en gaat over in siltig zand.

Het lemige karakter van de bodem correspondeert met vrij hoge concentraties totaal-aluminium (100-200 mmol/l bodem). De bodem is vrij rijk aan ijzer (100 mmol/l op 10-20 cm diepte). Opvallend is de hoge concentratie aan totaal-calcium van 150 mmol/l die in het humeuze leem op 0-10 cm diepte wordt aangetroffen. Deze concentratie calcium is hoger dan op grond van de aluminiumconcentratie verwacht zou worden.

De bodem is vrij arm aan totaal fosfor: op 0-10 cm diepte wordt een concentratie van 7 mmol/l aangetroffen; in de strooisellaag is de concentratie 2 mmol/l en op 0-10 cm diepte ongeveer 3 mmol/l bodem. De fosfaatbeschikbaarheid in de bodem is eveneens laag: 250-400 µmol/l in de bodem en het strooisel. De nitraatconcentratie in het strooisel is ongeveer 50 µmol/l en ongeveer 90 µmol/l in de bodem. De concentratie uitwisselbaar ammonium is 430-490 µmol/l in het strooisel en de bovenste 10 cm van de bodem en het strooisel. Op 10-20 cm diepte is de concentratie hoger: circa 900 µmol/l bodem.

De bodem heeft een neutrale pH van 6,3 op 0-10 cm diepte en 6,8 in de strooisellaag en op 10-20 cm diepte. De bodem heeft een hoge basenverzadiging van bijna 100%. De basenverzadiging wordt hier voornamelijk bepaald door calcium, waarvan de concentratie aan het adsorptiecomplex meer dan 10x zo hoog ligt als die van magnesium.

Elzenbroekbos met veel braam of framboos (monsterpunt 13)



Figuur 32. *Het bos bij monsterpunt 13.*



Figuur 33. *De diep aangelegde en rechtgetrokken Tilligterbeek tussen monsterpunt 13 in het westen (rechts) en het om te vormen grasland van de Broekmaten in het oosten (links).*

Dit monsterpunt ligt in het oosten van het Agelerbroek, net ten westen van de Tilligterbeek, die hier diep ingesneden in het landschap ligt. Het betreft een vrij droog elzenbos met een ondergroei van braam en framboos. De strooisellaag is hier vrij dik: circa 4 cm. Daaronder ligt een leem/kleilaag die doorloopt tot circa 30 cm diepte en waarvan de bovenste 10 cm sterk organisch is. Onder de leem/kleilaag ligt tot 1 m diepte siltig zand.

De bodem wordt gekenmerkt door hoge concentraties totaal-aluminium (tot 580 mmol/l bodem), overeenkomend met het hoge siltgehalte in de bodem. Door de aanwezigheid van klei/leem is ook de ijzerconcentratie vrij hoog (tot 220 mmol/l).

De concentratie totaal-P is vrij laag: het strooisel bevat slechts 2 mmol P/l strooisel, de bodem op 0-10 cm diepte 8 mmol/l bodem en de bodem op 10-20 cm diepte 6,5 mmol/l bodem. De fosfaatbeschikbaarheid is hier eveneens het hoogst op 0-10 cm diepte. De Olsen-P-concentratie is daar ongeveer 900 µmol/l bodem. In het strooisel is deze concentratie circa 600 µmol/l bodem en op 10-20 cm diepte 250 µmol/l bodem. De nitraatconcentratie in de bodem is met 300-400 µmol/l bodem of strooisel vrij hoog. De concentratie uitwisselbaar ammonium is met 400-600 µmol/l bodem ook vrij hoog. In het strooisel is de concentratie uitwisselbaar ammonium ongeveer 740 µmol/l bodem.

De bodem is zuur: het strooisel heeft een pH van 3,8, de bodem op 0-10 cm diepte van 3,3 en op 10-20 cm diepte van 3,7. Het strooisel heeft een basenverzadiging van ongeveer 35%, de bodem van slechts 10%. Op 10-20 cm diepte is er daardoor al veel aluminium aan het adsorptiecomplex aanwezig

Elzenzegge-Elzenbroekbos - typische subassociatie (monsterpunt 14)



Figuur 34. *Het bos bij monsterpunt 14.*

Dit deel van het Agelerbroek vormt het natste Elzenbroekbos dat bemonsterd is. Ten tijde van de bemonstering stond hier ongeveer 20 cm water. De strooisellaag was hier ongeveer 1 cm dik. Hieronder begon een siltrijke veenbodem (ca 70 % organische stof). Op 30 cm diepte ging deze veenlaag over in een bruine klei met afwisselend veenlagen. Op 110 cm diepte werd weer een veenlaag aangetroffen.

Het siltrijke veen is redelijk rijk aan aluminium, ijzer en calcium (alle 120-150 mmol/l op 10-20 cm diepte).

De bodem is vrij arm aan totaal-fosfor: 2 mmol/l strooisel in de strooisellaag en 6-7 mmol/l in de bodem tot 20 cm diepte. De concentratie plantbeschikbaar fosfaat is in de bodem eveneens erg laag: 100-200 µmol/l bodem. In de strooisellaag is de concentratie hoger: 645 µmol P-Olsen/l strooisel. De concentratie nitraat in de bodem is vrij laag: 40-90 µmol/l. De ammoniumconcentratie aan het adsorptiecomplex is laag in de bodem: 165 µmol/l bodem. In het strooisel is de concentratie uitwisselbaar ammonium juist erg hoog: 1800 µmol/l strooisel.

De pH van de bodem is neutraal (6,0-6,3) en de bodem heeft een erg hoge basenverzadiging (circa 100%). Door de aanwezigheid van zowel organische stof als klei is de CEC van de bodem zeer hoog (60-70 cmol+/kg).

Vogelkers-essenbos (monsterpunt 20)



Figuur 35. *Het bos bij monsterpunt 20.*

Dit monsterpunt ligt in een iets lager en natter deel van Achter de Voort. De bovenste 10 cm van de bodem bestaat uit siltig, zeer fijn zand. Op 10 tot 50 cm diepte is de bodem te karakteriseren als zandige leem/klei en daaronder weer als siltig zand.

Het siltige karakter van de bodem is af te lezen aan de vrij hoge aluminiumconcentraties (250 mmol/l bodem op 10-20 cm diepte). De bodem is op 10-20 cm diepte zeer rijk aan ijzer (420 mmol/l bodem). De concentratie totaal-calcium is met 30-60 mmol/l bodem niet bijzonder hoog.

De concentratie totaal- P is vrij laag: circa 6 mmol/l strooisel in de strooisellaag en 8 mmol/l bodem op 0-10 cm diepte. De concentratie beschikbaar fosfaat is echter erg hoog op 0 tot 10 cm diepte: circa 1100 µmol/l bodem. In de strooisellaag en op 10-20 cm diepte is deze lager (330-440 µmol/l). De nitraatconcentratie is in het strooisel en op 10-20 cm diepte laag; op 0-10 cm diepte is deze wat hoger (ongeveer 142 µmol/l). De ammoniumconcentratie in het strooisel is erg hoog: meer dan 1600 µmol/l strooisel. In de bodem is deze concentratie wat lager: rond 500 µmol/l bodem.

De pH van de strooisellaag is met 5,6 zwak zuur/neutraal en het strooisel is goed gebufferd. De basenverzadiging is 89%. De bovenste 10 cm van de bodem heeft pH 4,2 en heeft daarmee overeenkomend een veel lagere basenverzadiging dan de strooisellaag. De pH op 10-20 cm diepte is met 4,6 wat hoger en de basenverzadiging is hier 70%.

Vogelkers-essenbos/elzenbroekbos met zwarte bes (monsterpunt 21)



Figuur 36. *Het bos bij monsterpunt 21.*

Dit monsterpunt in Achter de Voort ligt in het natste gedeelte en heeft een ondergroei van Zwarte bes. Ten tijde van de bemonstering staat het grondwater net onder maaiveld. De bovenste 70 cm van de bodem bestaat uit fijn siltig zand met af en toe leemlaagjes. Pas op 70 cm diepte wordt een 20 cm dikke leem/kleilaag aangetroffen, die grijsgroen is.

Het siltige karakter van het zand blijkt uit de matig hoge concentraties totaal-aluminium (ca 160 mmol/l bodem). De concentratie ijzer is vrij hoog (150-240 mmol/l bodem); de totaal-calciumconcentratie ligt een stukje lager (circa 50 mmol/l bodem).

De concentratie totaal-P is laag: ca 4 mmol/l strooisel in het strooisel en ca 6 mmol/l bodem in de bovenste 20 cm. De fosfaatbeschikbaarheid (Olsen-P) is vrij laag in het strooisel en de bovenste 10 cm van de bodem (ca 400 µmol/l bodem) en zeer laag op 10-20 cm diepte (120 µmol/l bodem). De nitraatconcentratie in het strooisel is erg laag, en is in de bodem met circa 80 tot 100 µmol/l bodem hoger, maar nog steeds vrij laag. De concentratie uitwisselbaar ammonium is in de strooisellaag zeer hoog met meer dan 2200 µmol/l strooisel. In de bodem ligt deze concentratie met 480-600 µmol/l bodem een stuk lager.

De pH is neutraal: 6,0 in het strooisel, 5,3 in de bovenste 10 cm van de bodem en 5,8 in de bodem op 10-20 cm diepte. De basenverzadiging is zeer hoog (ca 90%).

Eiken-haagbeukenbossen (H9160A)

In Achter de Voort zijn 3 eikenbossen bemonsterd.

Eikenbos met bosanemoon (monsterpunt 17)



Figuur 37. *Het bos bij monsterpunt 17.*

Dit deel van het eikenbos ligt net ten noorden van het voormalige heideterreintje. De bodem bestaat uit leem en siltig zand. Een dikke leemlaag begint op circa 25 cm diepte.

De concentratie aluminium, samenhangend met de siltfractie, is op 10 tot 20 cm diepte wat hoger (150 mmol/l bodem) dan in de bovenste 10 cm (64 mmol/l). Hier is ook de ijzerconcentratie nog vrij hoog (94 mmol/l), terwijl deze in de toplaag laag is (43 mmol/l). De concentratie totaal-calcium in de bodem is laag: onder 30 mmol/l bodem

De P-beschikbaarheid is het hoogst op 0-10 cm diepte met circa 800 µmol/l bodem. De concentratie P-totaal is hier ook het hoogste (7 mmol/l). De concentratie P-Olsen op 10-20 cm diepte is 439 µmol/l bodem (P-totaal 5 mmol/l) en in het strooisel is dit 574 µmol/l bodem (P-totaal 2 mmol/l). De nitraatconcentratie is in de bodem zeer laag (ca 20 µmol/l bodem) en met 425 µmol/l een stuk hoger in het strooisel. De concentratie uitwisselbaar ammonium is hoog: circa 900 µmol/l in het strooisel en circa 1200 µmol/l bodem op 0-10 cm diepte.

Dit deel van het eikenbos is zuur met een pH van circa 3,8. De basenverzadiging is laag: 17% op 0-10 cm diepte en slechts 10% op 10-20 cm diepte. Het strooisel is beter gebufferd en heeft een pH van 4,3 en een basenverzadiging van 53%.

Eikenbos (monsterpunt 18)

Dit monsterpunt ligt in het midden van Achter de Voort. De bovenste 10 cm van de bodem bestaat hier uit siltig fijn zand. Op 10 cm diepte begint een klei/leemlaag die tot verder dan 1 m diepte doorloopt.

Het siltige karakter van de bodem is af te lezen aan de hand van de vrij hoge concentratie aluminium (126 mmol/l bodem op 0-10 cm diepte en 211 mmol/l op 10-20 cm diepte). Opvallend is de zeer hoge ijzerconcentratie op 10-20 cm diepte: circa 670 mmol/l. Deze concentratie ligt veel hoger dan op grond van de totaal-aluminiumconcentratie verwacht zou worden. Dit wijst erop dat dit ijzer mee is gekomen met grondwater, en op deze plek is geoxideerd. Samenhangend met de hoge ijzerconcentraties, zijn ook de concentraties calcium en mangaan op deze diepte vrij hoog.

Ook de concentratie totaal-P is in de ijzerrijke laag op 10-20 cm diepte vrij hoog: 12 mmol/l bodem. Door de zeer hoge ijzerconcentraties is de beschikbaarheid van fosfaat hier echter laag: slechts 133 mmol/l. Op 0-10 cm diepte is de concentratie totaal-fosfor lager (9 mmol/l), maar de concentratie Olsen-P veel hoger: 1100 µmol/l bodem. In het strooisel is de concentratie totaal-P ongeveer 4 mmol/l en de Olsen-P-concentratie ongeveer 500 µmol/l strooisel. De nitraatconcentratie in zowel de bodem als de strooisellaag is vrij laag (50-120 µmol/l bodem), maar de concentratie uitwisselbaar ammonium is zeer hoog in zowel het strooisel (ca 1200 µmol/l) als in de bovenste 10 cm van de bodem (1600 µmol/l bodem).

In tegenstelling tot het bos bij monsterpunt 17, heeft het bos bij monsterpunt 18 een neutrale pH (5,0 - 6,0). De basenverzadiging is hier ook hoog: tussen de 70 en de 98%.

Eikenbos met bosanemoon (monsterpunt 19)



Figuur 38. *Het bos bij monsterpunt 19.*

Dit monsterpunt ligt in het noorden van Achter de Voort. De bodemopbouw lijkt sterk op die bij monsterpunt 17.

Net als bij monsterpunt 17 is de totaal-aluminiumconcentratie iets hoger op 10-20 cm diepte dan op 0-10 cm diepte en zijn de totaalconcentraties ijzer en calcium laag.

De totaalconcentraties fosfor zijn vrij laag: 8 mmol op 0-10 cm diepte, 4 op 10-20 cm diepte en 2 mmol/l in het strooisel. De fosfaatbeschikbaarheid is hoog, vooral op 0-10 cm diepte (1200 µmol/l bodem). De nitraatconcentratie in bodem en strooisel zijn vrij hoog (260 - 500 µmol/l). De concentratie uitwisselbaar ammonium is in het strooisel hoog (990 µmol/l strooisel).

De bodem en het strooisel zijn zuur (pH 3,4 - 3,9) en de bodem heeft een zeer lage basenverzadiging (6%). Het strooisel is iets meer gebufferd met een basenverzadiging 32%. Met name op 10-20 cm diepte zit er een zeer hoge concentratie aluminium aan het adsorptiecomplex (circa 14000 µmol/l bodem), waardoor de verhouding tussen aluminium en calcium aan het adsorptiecomplex vrij hoog is (3).

Overige typen monsterpunten

Rietmoeras (monsterpunt 15)



Figuur 39. *Het rietmoeras bij monsterpunt 15.*

In het noorden van het Agelerbroek ligt een klein Rietmoeras. Ten tijde van de bemonstering stond het water hier enkele centimeters boven het maaiveld. De bovenste 10 cm van de bodem bestaat uit venig, siltrijk zand (organische stofpercentage 28 %). Daaronder bevindt zich een zeer siltige klei of leemlaag die doorloopt tot 80 cm diepte. Daaronder gaat de bodem weer over in siltig zand.

Het zeer siltige karakter van de bodem blijkt uit de hoge concentratie totaal-aluminium (ca. 500-600 µmol/l bodem). De bodem bevat daarmee samenhangend ook een redelijk hoge concentratie ijzer (180 mmol/l). De concentratie totaal-calcium in de bodem is niet heel hoog (70-80 mmol/l).

De concentratie totaal-fosfor in de bovenste 10 cm van de bodem is met 13 mmol/l bodem vrij hoog. De concentratie in het strooisel en op 10-20 cm diepte is lager (3-4 mmol/l bodem). De concentratie P-Olsen is echter laag in de bodem: 372 µmol/l bodem op 0-10 cm diepte en slechts 48 µmol/l bodem op 10-20 cm diepte. In het strooisel is de concentratie Olsen-P 691 µmol/l strooisel. De nitraatconcentraties in de bodem zijn laag (< 30 µmol/l bodem of strooisel), maar de ammoniumconcentraties zijn met 800-1100 µmol/l bodem zeer hoog. De ammoniumconcentratie in het strooisel is zelfs 2500 µmol/l strooisel.

De pH van de strooisellaag is neutraal (6,0), maar de bodem eronder is iets zuurder (rond 5,0). De bodem en het strooisel hebben een vrij hoge basenverzadiging (73-88%).

Wilgenbroekbos (monsterpunt 16)



Figuur 40. *Het wilgenbroekbos bij monsterpunt 16.*

Het bemonsterde wilgenbroekbos ligt in het noordwesten van het Agelerbroek. Dit wilgenbroekbos heeft een ondergroei van onder andere Waterviolier en Gele lis. Ten tijde van de bemonstering stond er ongeveer 50 cm water op het maaiveld. De bovenste 30 cm van de bodem bestaat uit humeus leem, waarvan de bovenste 10 cm van de bodem meer venig dan lemig is. De leem of kleilaag is vanaf 30 cm diepte minder humeus en loopt door tot op meer dan 1m diepte.

De bodem bevat hoge concentraties totaal-aluminium, samenhangend met de hoge concentraties silt in de bodem 500-660 mmol/l). De concentratie ijzer is met name op 10-20 cm diepte redelijk hoog (218 mmol/l).

De bodem bevat vrij hoge concentraties totaal-P: circa 19 mmol/l op 0-10 cm diepte en circa 10 mmol/l op 10-20 cm diepte. De concentratie totaal-P is in het strooisel wel laag: circa 4 mmol/l strooisel. De fosfaatbeschikbaarheid is echter vrij laag met 150 tot 250 µmol/l bodem in de bodem en 485 µmol/l in de strooisellaag. De nitraatconcentratie in de bodem en het strooisel is laag (< 40 µmol/l), maar de concentratie uitwisselbaar ammonium is hoog met 740 µmol/l in het strooisel en de bodem op 0-10 cm en 325 µmol/l bodem op 10-20 cm diepte.

De bodem en het strooisel hebben een neutrale tot licht zure pH (5,9 in het strooisel, 4,7 op 0-10 cm diepte en 5,3 op 10- 20 cm diepte) en een hoge basenverzadiging (respectievelijk 95%, 76% en 90%).

Grasland De Broekmaten



Figuur 41. *Het grasland in de Broekmaten bij monsterpunt 24.*



Figuur 42. *Greppel ten zuiden van monsterpunt 25 met neerslag van ijzer*.



Figuur 43. *De Tilligterbeek met daarachter het om te vormen grasland van de Broekmaten.*

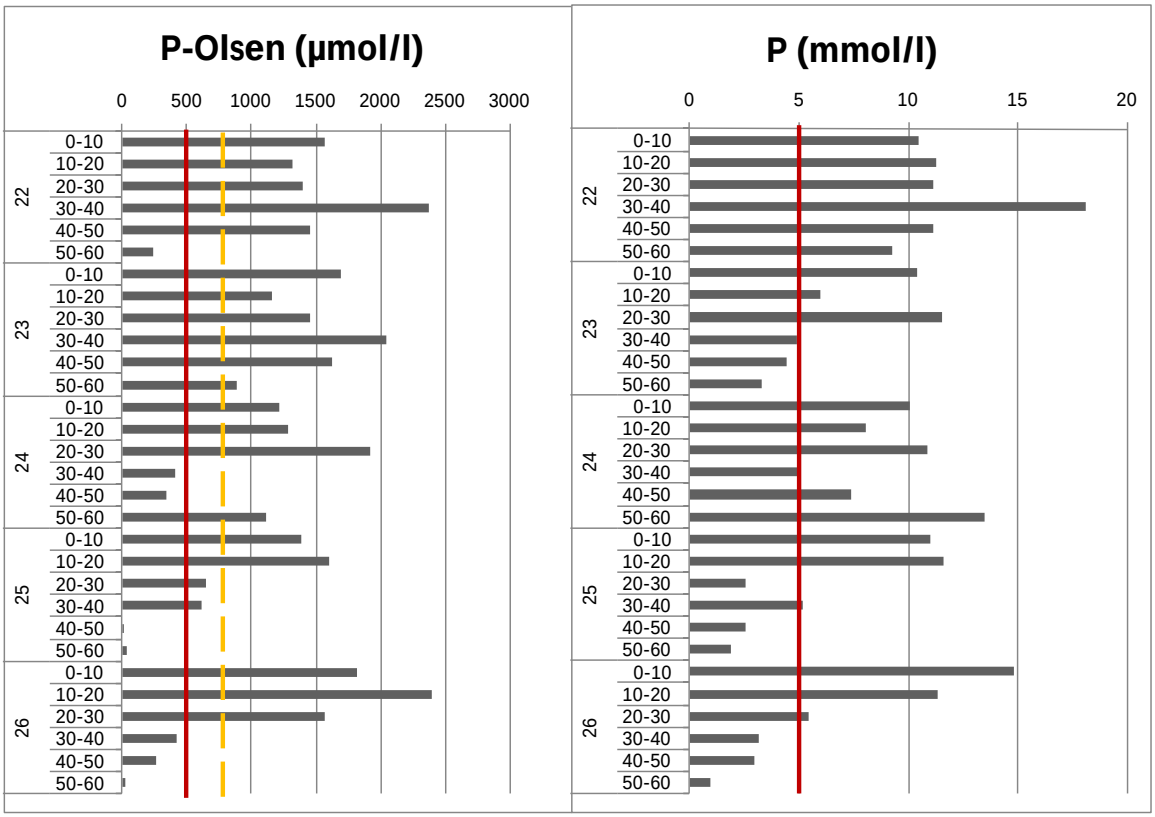
Het grasland in De Broekmaten bestaat uit verschillende percelen die uit productie zijn. De Broekmaten liggen aan de oostkant van de Tilligterbeek. De bodem van De Broekmaten bestaat uit siltig zand met leemlaagjes. Op monsterpunten 24 en 25 werd een echte leemlaag aangetroffen. Bij monsterpunt 24 begon deze leemlaag op 30 cm diepte en was de laag 20 cm dik. Bij monsterpunt 25 begon de leemlaag al op 20 cm diepte en was deze 45 cm dik. Bij monsterpunt 24 werd in het profiel net onder de leemlaag een laag veraardend veen aangetroffen van 10 cm dik. De bouwvoor varieerde in dikte van 10 cm tot 30 cm.

Het siltige karakter van de bodem blijkt uit de vrij hoge totaal-aluminiumconcentraties (tot 500 mmol/l op 50-60 cm diepte op monsterpunt 22). In het noorden van het gebied zijn deze concentraties juist laag (gemiddeld 65 mmol/l op monsterpunt 25 en 26). Ten opzichte van de ijzerconcentraties in het Ageler- en Voltherbroek, zijn de ijzerconcentraties in de Broekmaten vrij laag. Alleen op monsterpunten 22, 24 en 25 komt de ijzerconcentratie op 30 of 40 cm diepte boven 100 mmol/l bodem. Ook de totaal-calciumconcentraties van de bodem zijn vrij laag: gemiddeld 40 mmol/l bodem.

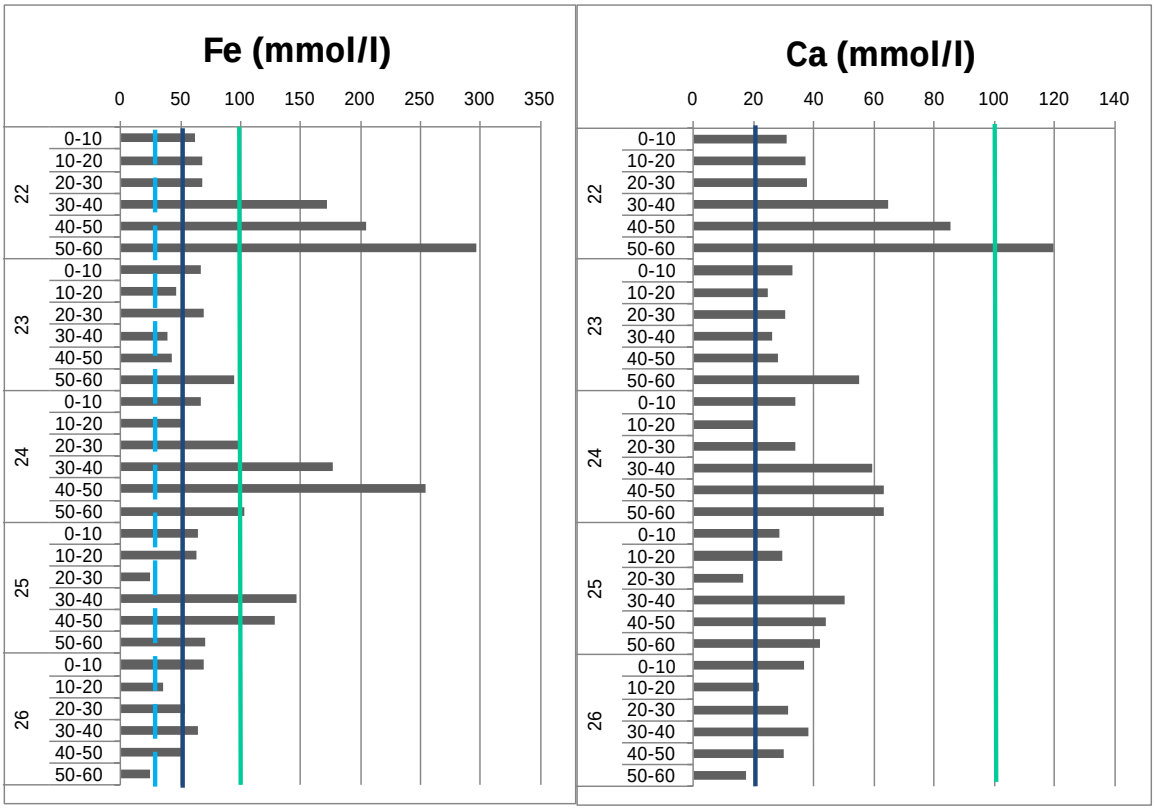
Totaal-P en plantbeschikbaar P zijn door het agrarisch gebruik in de toplaag van de bodem verhoogd, maar de concentraties zijn voor een landbouwgrond niet heel erg hoog (circa 1500 tot 2000 µmol Olsen-P/l bodem en 10 tot 15 mmol totaal-P/l bodem). Op monsterpunten 22 en 23 is de fosfaatbeschikbaarheid verhoogd tot op grote diepte (figuur 44). De concentratie totaal-fosfor is zelfs op 50-60 cm diepte op monsterpunt 22 nog ongeveer even hoog als daarboven, maar op deze diepte is de beschikbaarheid van fosfaat laag, doordat op deze diepte de ijzerconcentratie erg hoog is, waardoor het fosfor veel minder goed beschikbaar is voor opname door de vegetatie. Ondanks de wat hoge fosfaatbeschikbaarheid op monsterpunt 23 dieper in het profiel, is hier de concentratie totaal-fosfor vanaf 30 cm diepte wel laag.

Op monsterpunt 24 zijn de concentraties totaal-fosfor en plantbeschikbaar fosfaat vanaf 30 cm diepte vrij laag. Op 50-60 cm diepte zijn deze concentraties hoger, door de aanwezigheid van een veraardende veenlaag. Op monsterpunt 25 is het fosfaatfront slechts 20 cm dik. Daaronder

zijn de concentraties laag. Op monsterpunt 26 zijn de concentraties Olsen-P en totaal-P vanaf 30 cm diepte laag.



Figuur 44. *Plantbeschikbaar fosfaat (P-Olsen) (links) en totaal fosfor (rechts) op verschillende dieptes op de monsterpunten in de Broekmaten. De rode ononderbroken lijn geeft de maximumconcentratie van P-Olsen voor Blauwgraslanden en voor vochtige Elzenbroekbossen zoals deze in het Ageler- en Voltherbroek voorkomen, de oranje onderbroken lijn geeft het maximum aan voor Grote zeggenmoeras. In de rechter figuur geeft de rode lijn de maximumconcentratie voor P-totaal voor al deze typen aan.*



Figuur 45. *Concentraties totaal ijzer (links) en totaal calcium (rechts) op verschillende dieptes op de monsterpunten in de Broekmaten. De blauwe ononderbroken lijn geeft de minimumconcentratie voor totaal ijzer aan voor Blauwgraslanden, de lichtblauwe onderbroken lijn geeft het minimum aan voor Grote zeggenmoeras en de turquoise ononderbroken lijn voor Elzenbroekbos (gegevens Elzenbroekbos uit data Volther- en Agelerbroek). In de rechterfiguur geeft de blauwe lijn de minimumconcentratie voor totaal calcium aan voor Blauwgrasland en Grote zeggenmoeras, de turquoise lijn voor Elzenbroekbos.*

De verhouding tussen totaal-Fe en totaal-P varieert in tussen circa 6, wat vrij laag is voor de binding van P, in de bovenste 20 tot 30 cm van de bodem tot circa 20 tot 50 op 40 tot 60 cm diepte. Er is zeer veel ijzer aanwezig ten opzichte van zwavel. Door de lage waterstand zal er ook geen zwavel in de vorm van pyriet aanwezig zijn binnen de bemonsterde bovenste 60 cm. Extra mobilisatie van P door sulfaatreductie, bovenop de mobilisatie bij vernatting die plaatsvindt bij een lage Fe/P-ratio, is hier daarom niet te verwachten, tenzij het water waarmee het peil wordt opgezet veel sulfaat zou bevatten.

De bovenste 10 tot 30 cm van de bodem is met een pH- H_2O van ongeveer 4,8 vrij zuur voor een voormalige landbouwgrond. Daaronder is de pH hoger en ligt deze tussen 5 en 6. De nitraatconcentraties in de bodem zijn door het agrarische gebruik ook enigszins verhoogd (circa 100-400 µmol/l), wat voor een agrarisch grasland vrij laag is.

Conclusies

Blauwgraslanden (H6410)

De bemonsterde blauwgraslanden verschillen onderling sterk in bodemchemie. De drie graslanden waar monsterpunt 1, 2&3 en 5&6 in liggen hebben alle drie een erg siltig karakter met leem in de ondergrond, waardoor de concentraties aluminium, ijzer en calcium (vrij) hoog zijn. Het schraalgrasland waar monsterpunt 4 in ligt, heeft een zandbodem, en daardoor een lagere CEC en lagere concentraties aluminium, ijzer en calcium. De pH en de basenverzadiging zijn in dit grasland echter wel hoog, net als in het schraalgrasland van monsterpunten 5&6. Deze percelen zijn in een recent verleden geplagd. De basenverzadiging in de toplaag van de schraalgraslanden van monsterpunt 1 en 2&3, waar niet geplagd is, is echter laag (17-37%). De leemlaag in deze percelen, die vaak al op 10 cm diepte begint, is echter nog wel goed gebufferd (basenverzadiging >60%). Ook is in deze twee graslanden de concentratie plantbeschikbaar P hoog in de bovenste 10 cm van de bodem (circa 800 – 1300 µmol Olsen-P/l bodem). Ook van de concentratie plantbeschikbaar P blijkt dat de concentratie in de leemlaag een stuk gunstiger is (rond 100 µmol Olsen-P/l bodem). In de graslanden van monsterpunt 4 en 5&6 is de concentratie plantbeschikbaar P laag. Hierbij moet opgemerkt worden dat monsterpunt 4 op een helling ligt, waarbij de P-concentratie bovenaan mogelijk iets hoger kan zijn. Zowel de nitraatconcentraties als de concentraties uitwisselbaar ammonium die in de bodem van de schraalgraslanden werden gemeten, waren in alle vier de graslanden laag. Ten tijde van de bemonstering aan het eind van de winter waren alle schraalgraslanden droog, behalve het schraalgrasland van monsterpunt 4. Ook de lage chlorideconcentraties in de bodem van deze graslanden (zie ‘hydrologie en basenverzadiging’) wijst erop dat er waarschijnlijk sprake is van weinig grondwaterinvloed waarmee de basenverzadiging weer omhoog zou kunnen worden gebracht. Om verdergaande verzuring te voorkomen is het aan te raden de hydrologie zoveel mogelijk te herstellen, zodat er weer basenrijk grondwater tot in het maaiveld kan komen. Uit de verhouding tussen ijzer en fosfor (gecorrigeerd voor de concentratie zwavel), blijkt dat er voldoende ijzer aanwezig is om interne eutrofiëring bij vernatting te voorkomen. Bij de schraallanden van monsterpunt 1 en 2&3 zou aanvullend plaggen tot op de leemlaag die binnen 10 tot 20 cm aanwezig is, naast het herstellen van de waterhuishouding, helpen om de basenverzadiging te verhogen en de nutriëntenrijkdom te verlagen.

Vochtige alluviale bossen (H91E0C), Eiken-haagbeukenbossen (H9160A) en overige typen

Deze elzenbroekbossen, vogelkers-essenbossen, eikenbossen, wilgenbroekbos en rietland lagen alle op siltige, leemrijke bodem. Er is bij alle sprake van een strooisellaag, die enkele millimeters tot enkele centimeters (elzenbroek met grote zeggen) dik is. Onder deze onverteerde laag met bladeren en takjes, begint een minerale bodem waarin veel organische stof uit de strooisellaag was bijgemengd. Hier gaat het om grotendeels verteerd organisch materiaal. Op 10-20 cm diepte is in de bodem nauwelijks meer extra organisch materiaal afkomstig uit de strooisellaag aanwezig. Uitzondering hierop zijn het elzenbroekbos van monsterpunt 14, dat zich op een venige bodem heeft ontwikkeld, en het wilgenbroekbos, waar de bodem op 10-20 cm diepte nog licht verrijkt is met organisch materiaal (12% organische stof).

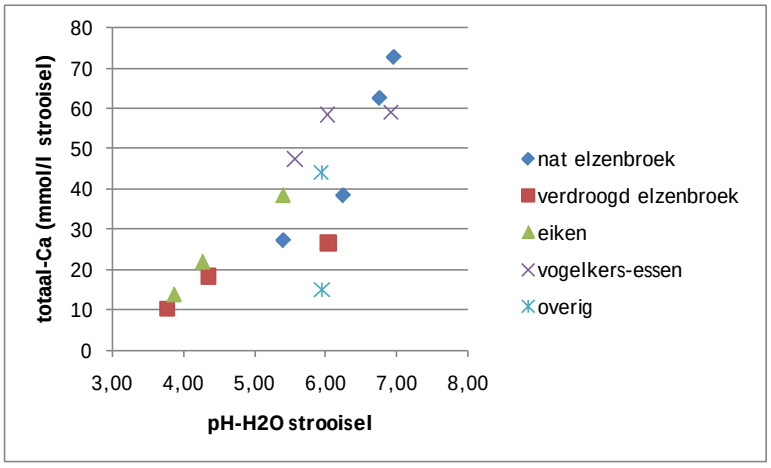
De concentratie totaal-fosfor was het hoogst op 0-10 cm diepte in de bodem. Per liter was de strooisellaag een stuk armer aan fosfor. Dit effect kan verklaard worden doordat de bodem op 0 tot 10 cm diepte een hogere dichtheid heeft dan de strooisellaag. Op het moment dat het verterende strooisel door de minerale bodem gemengd wordt, kan deze bodem per liter meer fosfor afkomstig uit de strooisellaag gaan bevatten. Naast totaal-P was op deze diepte ook de P-beschikbaarheid veel hoger. Naast het effect van verdichting, speelt hierin ook de afbraak van organische stof een rol, waarbij P uit het organische materiaal vrijkomt als anorganisch P. De verhouding van totaal-ijzer ten opzichte van fosfaat (gecorrigeerd voor zwavel) lag in de minerale ondergrond tussen 10 en 60 in de van oorsprong vochtige tot natte bossen, wat aangeeft dat er voldoende bindingsplaatsen zijn voor fosfor en dat er geen grote effecten van interne eutrofiëring te verwachten zijn bij vernatting. De concentraties uitwisselbaar ammonium die in de bodem werden aangetroffen, waren zeer hoog. De hoogste concentraties ammonium werden aangetroffen in het strooisel (tot meer dan 2500 µmol/l strooisel). In het algemeen werd er op 0-10 cm diepte een lagere concentratie ammonium aangetroffen dan in de strooisellaag, behalve in twee van de drie eikenbossen. Mogelijk verloopt in deze eikenbossen de afbraak van organisch materiaal sneller nadat er menging heeft plaatsgevonden met de minerale bodem dan in de organische strooisellaag zelf. Hierdoor zou er juist in de bovenste laag van de minerale bodem mineralisatie van organische stof plaats kunnen vinden, waarbij organisch stikstof wordt omgezet in ammonium. Hoge nitraatconcentraties (>300 µmol/l) worden gevonden in alle droge elzen- en eikenbossen (1 eikenbos daargelaten) en in geen enkel nat bos. Dit komt doordat organisch stikstof eerst wordt afgebroken tot ammonium en alleen onder aerobe, dus droge, condities wordt geoxideerd tot nitraat. De hoge input van stikstof met het strooisel in de bossen ontbreekt in de schraalgraslanden, waar door maaibeheer nauwelijks sprake is van een strooisellaag. Enerzijds hangen de hoge stikstofconcentraties in het strooisel samen met hoge stikstofconcentratie in het bladmateriaal, anderzijds kan deze concentratie ook hoger zijn doordat bomen meer stikstof invangen dan grasland (o.a. Sutton et al., 1994) en dit stikstof met het bladmateriaal of door inspoeling met regen op de bodem terechtkomt. Elzen zijn daarnaast in staat om stikstof uit de lucht te fixeren.

Opvallend is het verschil in pH en basenverzadiging tussen de natte elzenbroekbossen, wilgenbroekbos en rietland enerzijds en de drogere (verdroogde) elzenbroekbossen met ondergroei van braam/framboos en de eikenbossen (met 1 uitzondering) anderzijds. Eerstgenoemde natte bossen hebben een relatief hoge pH (4,7-6,7) en basenverzadiging (76-100%). De droge bossen hebben een lage pH (3,3-3,8) en basenverzadiging (6-17 %) in de toplaag van de bodem. De gemeten pH en basenverzadiging van het strooisel zijn hier echter hoger dan de pH en basenverzadiging van de bodem op 0-10 cm diepte. Dit wijst erop dat de lage pH en basenverzadiging waarschijnlijk niet het gevolg zijn van input van 'zuur strooisel' met een lage basenverzadiging, maar dat er processen in de bodem spelen die deze verzuring veroorzaken.

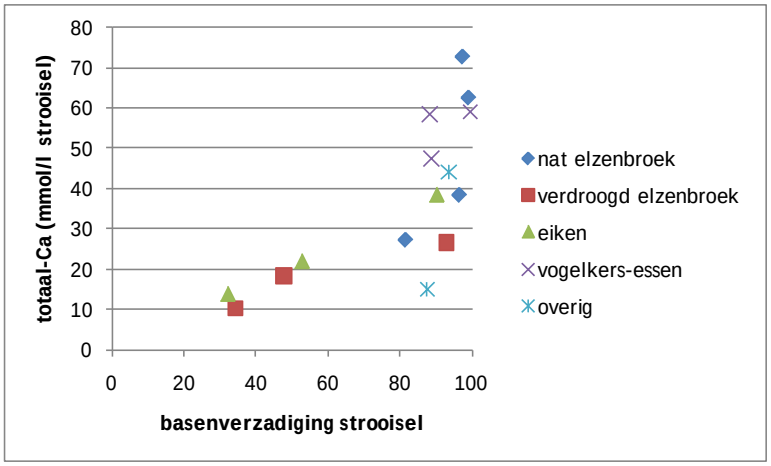
Met verdroging vinden verschillende oxidatieprocessen plaats waarbij zuur geproduceerd wordt. Een bekend verschijnsel in droogvallende broekbossen is de oxidatie van pyriet (FeS_x), waarbij veel zuur vrijkomt. Globaal kan voor de verzuringsgevoeligheid voor de oxidatie van pyriet de verhouding tussen totaal zwavel en totaal calcium en magnesium worden aangehouden (S/(Ca+Mg) (Lucassen, 2002). Komt deze verhouding boven 0,7 uit, dan kan bij

het droogvallen van de bodem een sterke verzuring optreden. In het onderzoeksgebied is de concentratie totaal-S in de broekbossen echter laag (circa 10 tot 40 mmol/l bodem) en komt deze verhouding nergens boven de 0,5 uit. Dit betekent dat er nu geen ernstige verzuring meer te verwachten is door pyrietoxidatie bij droogval, maar dit vertelt niet of dit proces in het verleden van belang is geweest bij verzuring of verlaging van de basenverzadiging in het gebied. Sulfide dat toentertijd geoxideerd is tot sulfaat, is nu uitgespoeld en niet meer in de bodem aanwezig. Ook gereduceerd ijzer waaraan geen zwavel is gebonden, produceert zuur bij oxidatie. Hierbij worden onoplosbare ijzer(hydr)oxides gevormd. Hoge concentraties ijzer worden wel in het gebied gevonden. Als pyriet- of ijzeroxidatie een belangrijke rol zouden hebben gespeeld bij de verzuring en verlaging van de basenverzadiging in het gebied, zou het te verwachten zijn dat deze verzuring overal op zou treden waar grondwaterstandsverlaging heeft plaatsgevonden, zonder dat daarbij een groot onderscheid zou zijn tussen vegetatietypen. Er is echter een groot verschil in basenverzadiging van de bodems van de graslanden op de dieptes met een hoge ijzerconcentratie (monsterpunt 1 op 10-20 cm diepte, monsterpunt 3, monsterpunten 5 en 6), waar de waterstand ook laag is, en de basenverzadiging van de verdroogde elzenbossen en de eikenbossen, waar de basenverzadiging veel lager is. Het lijkt er daarom op dat er andere processen zijn die een grotere rol spelen bij de verzuring van de toplaag. Zeer waarschijnlijk is de oxidatie van ammonium naar nitraat, waarbij zuur geproduceerd wordt, hier een belangrijk proces. De strooisellaag van de bossen bevat veel ammonium, dat in de droge bossen omgezet wordt naar nitraat. In de schraallanden is nauwelijks sprake van een strooisellaag, omdat het maaisel wordt afgevoerd. Anders dan de eenmalige oxidatie van ijzer en sulfide bij een waterstandverlaging is ammoniumoxidatie een proces dat continu doorgaat.

Er wordt aangenomen dat de kwaliteit van strooisel in bossen een grote invloed heeft op de basenhuishouding van bossen. Boomsoorten van arme, zure bodems hebben doorgaans zuur, basenarm strooisel, terwijl het strooisel van boomsoorten van rijke bodems neutraler van pH is en een hogere basenverzadiging heeft. Behalve dat dit te maken heeft met de kwaliteit van de bodem wordt aangenomen dat dit ook afhankelijk is van de boomsoort en dat op kalkarme, maar niet zure bodems de boomsoort bepalend is voor de ontwikkeling van de bosbodemkwaliteit (Hommel et al., 2007). Uit dit onderzoek blijkt echter dat dit voor elzen, waarover nog weinig bekend is (Hommel et al., 2007) niet op lijkt te gaan (figuur 46 en 47). Strooisel uit verdroogd elzenbroekbos heeft een even lage pH en een even hoog calciumgehalte en basenverzadiging als strooisel van het bemonsterde eikenbos. Strooisel van nat elzenbroekbos heeft een veel hoger calciumgehalte en een zeer hoge pH en basenverzadiging. Hier blijkt de ondergrond dus bepalend voor de strooiselkwaliteit en het boomtype niet of nauwelijks.



Figuur 46. *Relatie tussen de pH en de totaal-concentratie calcium in het strooisel voor de verschillende typen bossen en het rietland.*

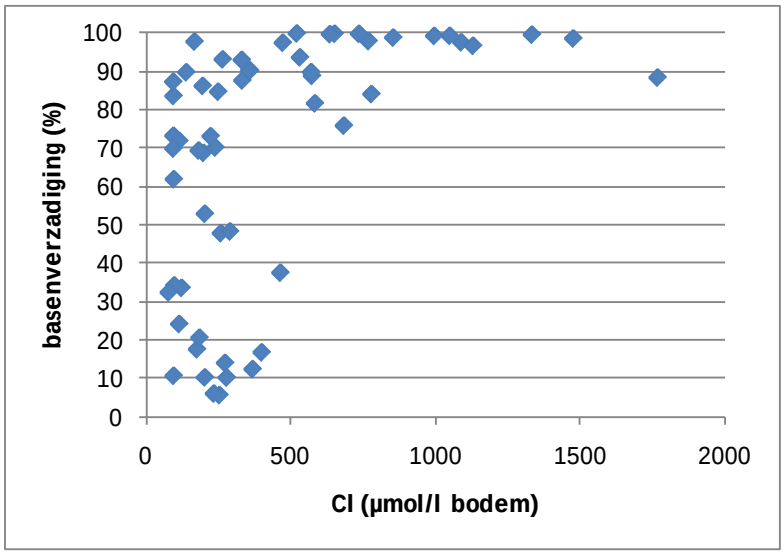


Figuur 47. *Relatie tussen de basenverzadiging en de totaal-concentratie calcium in het strooisel voor de verschillende typen bossen en het rietland.*

Hydrologie en basenverzadiging

In de zomer valt het grootste deel van de bossen droog. Tijdens de zomer zal er dus overal enige verzuring optreden door oxidatieprocessen. Op de plekken waar gedurende de winter toestroming van basenrijk grondwater plaatsvindt, kan de basenverzadiging echter weer opgeladen worden door de aanvoer van kationen met het grondwater. In het hoofdstuk Resultaten is besproken dat de chlorideconcentratie in de bodem op het moment van monstername een indicatie kan geven voor de grondwaterinvloed op de monsterpunten, bij afwezigheid van hydrologische gegevens. De monsters met een hoge chlorideconcentratie lagen alle, behalve punt 9, in een laaggelegen gedeelte van het onderzoeksgebied (figuur 2, figuur 56). Dit maakt de invloed van grondwater hier aannemelijk. Langs het kanaal in het laaggelegen gebied, zeker bij monsterpunt 7, is er kans op kanaalkwel. In figuur 48 is te zien dat monsters met een hoge chlorideconcentratie in de bodem op het moment van de monstername een hoge basenverzadiging hadden. Monsters met een chlorideconcentratie

boven 500 µmol/l hadden alle een basenverzadiging hoger dan 75%. Een chlorideconcentratie van meer dan 1000 µmol/l stond garant voor een basenverzadiging van 88% of hoger. Andersom hadden niet alle monsters met een lage chlorideconcentratie een lage basenverzadiging. Monsters met een lage chlorideconcentratie en een hoge basenverzadiging van de momenteel droge monsterlocaties betroffen voornamelijk monsters uit de schraalgraslanden uit de percelen die de afgelopen 30 jaar geplagd zijn, en monsters van 10-20 cm diepte, waar er minder invloed is van zuurvormende processen aan het oppervlak. Het natte rietland (monsterpunt 15) en het wilgenbroekbos op 10-20 cm diepte (monsterpunt 16) hadden ook zowel een lage chlorideconcentratie als een hoge basenverzadiging, terwijl beide monsterpunten een hoge grondwaterstand hadden. Het water zou hier ander grondwater kunnen betreffen, met een lagere chlorideconcentratie, of stagnerend regenwater. Nabij monsterpunt 15 wordt het grondwater opgestuwd, maar net ten noorden hiervan, in het agrarische perceel, is er sprake van diepe drainage. Hierdoor is invloed van infiltrerend regenwater hier aannemelijk. Ook in een dergelijke regenwaterlens wordt de bodem anoxisch door afbraak van organische stof, wat zuurconsumerende processen zoals mangaan-, ijzer- en sulfaatreductie stimuleert en de oxidatie van ammonium naar nitraat remt. Ook hierdoor kan de pH van de bodem hoog worden en de basenverzadiging op peil blijven. Mogelijk heeft een veenbrand die hier in het verleden zou hebben gewoed, ook bijgedragen aan de nu nog hoge basenrijkdom (med. Camiel Aggenbach).



Figuur 48. *De relatie tussen de chlorideconcentratie in de bodemmonsters (waterextract) als maat voor de grondwaterinvloed en de basenverzadiging.*

Grasland De Broekmaten

De bodemopbouw van de Broekmaten wijkt enigszins af van die van het aangrenzende Agelerbroek. In tegenstelling tot het Agelerbroek is er in De Broekmaten geen sprake van een ononderbroken leemlaag die dicht aan het oppervlak ligt. De concentraties calcium en ijzer zijn hierdoor in De Broekmaten lager. In De Broekmaten is het agrarische gebruik terug te zien aan een hogere beschikbaarheid van fosfaat en nitraat. Voor een agrarisch grasland zijn de concentraties aan deze meststoffen echter relatief laag. Voor een goede ontwikkeling van een botanisch waardevol hooiland, zoals blauwgrasland, kleine zeggenmoeras of grote zeggenmoeras of voor de ontwikkeling van elzenbroekbos in De Broekmaten is het aan te raden ongeveer 30 cm van de toplaag van De Broekmaten af te graven, zodat de concentraties beschikbaar- en totaal-P zoveel mogelijk aan de randvoorwaarden voor deze typen voldoen. Uit de analyses van monsterpunten 22 en 23 blijkt dat de P-beschikbaarheid op sommige plekken in het gebied dan nog iets te hoog zal zijn. Alleen op monsterpunt 22 is ook een hoge totaal-P-concentratie op grotere diepte gevonden. Als de P-beschikbaarheid na afgraven van 30 cm nog iets te hoog is, zoals op bij monsterpunt 23, dan kan deze omlaag gebracht worden met frequenter maaien & afvoeren. De beschikbaarheid van P zal op monsterpunt 23 onder invloed van maaien &afvoeren naar verwachting snel kunnen afnemen, omdat de totaal-concentratie van P op 30 cm diepte wel al laag is. Het afgraven van 30 cm heeft tevens als voordeel dat de ijzer- en calciumconcentraties dan ook wat hoger zijn dan in de toplaag van de bodem en dat de verhouding tussen ijzer en fosfor wordt verhoogd, waardoor er bij vernatting minder snel interne eutrofiering op zal treden. De concentraties van ijzer en calcium zijn nu aan de lage kant voor de ontwikkeling van Blauwgrasland of Grote zeggenmoeras. In vergelijking met lokale goedontwikkelde elzenbroekbossen in het Volther- en Agelerbroek zijn de ijzer- en calciumconcentraties zelfs veel te laag, hoewel er elders in Nederland wel elzenbroekbossen bij deze concentraties voorkomen (referentiedatabase B-ware).

De hydrologie is zeer belangrijk voor de ontwikkeling van botanisch waardevol nat schraalgrasland, moeras of broekbos (tabel 2). Hiervoor dient de grondwaterstand in de winter minimaal slechts enkele decimeters onder, of net boven maaiveld te staan. Ook in de zomer mogen de standen niet al te ver wegzakken. Gezien de momenteel lage concentraties ijzer en calcium in de bodem van De Broekmaten zal ook de aanvoer van basenrijke kwel tot in het maaiveld van groot belang zijn voor handhaven van een hoge basenrijkdom en relatief lage voedselrijkdom. Bij de huidige ontwatering door de Tilligterbeek zal het niet mogelijk zijn aan deze voorwaarden te voldoen. Hiervoor zal de beek in elk geval verondiept moeten worden.

Tabel 2. *Gemiddelde pH en fosfaatconcentraties in de bodem van enkel natte natuurdoeltypen (optimumranges) en een weergave van de gemiddelde hoogste (GHG) en gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand. Bronnen: Ertsen et al. (2005); Bobbink et al. (2007), B-WARE BV (niet gepubliceerde data) & De Becker et al. (2004). Onder zeer ijzerrijke omstandigheden kunnen bij een optimale ontwikkeling ook hogere fosforconcentraties voorkomen (aangegeven tussen haakjes). In bossen gelden de genoemde waarden niet voor de humus-/strooisellaag en dient de uitgangssituatie veelal lager te zijn. In het Volther- en Agelerbroek ligt het maximum voor P-Olsen voor goed ontwikkelde elzenbroekbossen op 500 µmol/l bodem en voor totaal-P op 5 mmol/l, dus lager dan in onderstaande tabel.*

Natuurbeheertype	Specificatie	GHG (cm)	GLG (cm)	pH-H2O	Olsen-P (umol/l FW)	totaal-P (mmol/l FW)
Hoogveen		10 + mv	5 -mv	3.5-5	100-300	0.5-2.5
Vochtige heide		10+ tot 20- mv	20- tot 50- mv	3.5-5	100-500	0.5-2.5
Schraalgrasland	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	40- tot 120 - mv	4.5-6	150-400	1-3
	Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	4.5-6.5	100-500	1-6
	Blauwgrasland	0 tot 25- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	200-500	2-10 (tot 20)
Vochtig hooiland	Dotterbloemhooiland / Veldrusschraalland	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
Moeras	Grote zeggenmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 50- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
	Rietmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 40- mv	>5	-	-
Hoog- en laagveenbos	Berkenbroekbos	10+ tot 0 mv	40- tot 80- mv	<5	200-600	1-5
	Elzenbroekbos	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-6.5	300-800 (tot 1200)	5-20 (tot 50)

Synthese

De pH en basenverzadiging van zowel de bos- als de schraallandbodems in het onderzoeksgebied variëren sterk. Deze variatie lijkt, zeker in de bossen, samen te hangen met waterstanden in de winter: de basenverzadiging is hoog waar de in de winter de grondwaterstand hoog is en overwegend laag in de droge delen van het gebied. Een beperkte inschatting van grondwaterinvloed aan de hand van chlorideconcentraties in de bodem ondersteunt de bevindingen van de Knelpunten- en Kansenanalyse (KWR & EGG, 2007) dat alleen een beperkt deel van het gebied kwel ontvangt. Door kwel gedurende hoge grondwaterstanden in de winter kan er aanvulling van basen aan het adsorptiecomplex plaatsvinden in de toplaag van de bodem. In de verdroogde elzenbroekbossen extra verzuring op te treden, door een verhoogde omzetting van ammonium in nitraat. In natte elzenbroekbossen vindt er minder omzetting plaats van ammonium naar nitraat, vanwege de lage redoxpotentiaal. De hoge ammoniumconcentraties in het strooisel van de bossen zou samen kunnen hangen met een hoge depositie, maar dit is niet met zekerheid te zeggen op grond van dit onderzoek. In de schraallanden die in de afgelopen decennia geplagd zijn, is de basenverzadiging nog hoog. De vraag is hoe lang deze hoge basenverzadiging stand kan houden zonder dat de hydrologie wordt hersteld en er weer kwel in de percelen op kan treden. Een te diepe drainage van het gebied door diverse waterlopen en sloten, vormt de belangrijkste oorzaak die deze verdroging en verzuring veroorzaakt.

In het voormalige agrarische grasland is, wat betreft voedselrijkdom, herstel van voedselarmere, natte systemen zoals Schraalgrasland, Grote zeggenmoeras of Elzenbroekbos goed mogelijk. Hiervoor kan het beste 30 cm van de toplaag verwijderd worden. Belangrijk is dat daarnaast de hydrologie zodanig hersteld wordt, dat er weer kwel tot in het maaiveld kan komen.

Literatuur

- Attiwill, P.M. & M.A. Adams (1993). Nutrient cycling in forest soils. New Phytologist 124: 561-582.

- Bobbink, R. & J-P Hetteling (red) (2011). Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. RIVM, Bilthoven.

- De Becker, P. (2004). Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende Alno/Padion en Alnion incanae/gemeenschappen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.

- Bobbink, R., M. Hart, M. van Kempen, F. Smolders & J. Roelofs (2007). Grondwaterkwaliteit bij vernatting van verdroogde natte natuurparels in Noord-Brabant. B-ware, Nijmegen.

- Ertsen, D., P. de Louw & J. Buma (2005). OGOR Natuur in Noord-Brabant. Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen. Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.

- De Graaf, M.C.C., R. Bobbink, N.A.C. Smits, R. van Diggelen & J.G.M. Roelofs (2009). Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. Biological Conservation 142: 2191-2201.

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

- Hommel, P., R. de Waal, B. Muys, J. den Ouden & Th. Spek (2007). Terug naar het lindewoud. Strooiselkwaliteit als basis voor ecologisch bosbeheer. KNNV Uitgeverij, Zeist.

- Kiwa Water Research & EGG-consult (2007). Knelpunten- en kansenanalyse Natura 2000-gebieden. Natura 2000-gebied 47 - Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek. Kiwa Water Research, Nieuwegein/ EGG, Groningen.

- Kleijn D., R.M. Bekker, R. Bobbink, M.C.C. de Graaf & J.G.M. Roelofs (2008). In search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands:a comparison of common and rare species. Journal of Applied Ecology 45: 680-687.

- Lamers, L., E. Lucassen, F. Smolders & J. Roelofs (2005). Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. H_2O 38(17): 28-30.

- Lucassen, E.C.H.E.T, A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs (2002). Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+Mg) ratio as diagnostic tool. Environmental Pollution 120: 635-646.

- Olsen S.R., Cole C.W., Watanabe R. & Dean L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Dpt. of Agriculture circular 939.

- Persson, T. & A. Wirén (1995). Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depths in acid forest soils. Plant & Soil 168-169: 55-65.

- 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.

- Sutton, M.A., W.A.H. Asman & J.K. Schjørring (1994). Dry deposition of reduced nitrogen. Tellus 46B: 255-273.

- Van der Swaluw, E., W.A.H. Asman & R. Hoogerbrugge (2010). The Dutch National Precipitation Chemistry Monitoring Network over the period 1992-2004. Report 680704009/2010. RIVM, Bilthoven.

- Van Wirdum, G., 1979. Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. In: Proceedings and Information 25, TNO Comm. Hydrol. Res., Den Haag.

Bijlage 1. Analyseresultaten

Tabel 3. *Nummering van de monsterpunten, omschrijving en x- en y-coördinaten.*

monsterpunt	omschrijving	x	y
1	schraalgrasland Voltherbroek	259528	488767
2	schraalgrasland Voltherbroek	260529	489059
3	schraalgrasland Voltherbroek	260574	489047
4	schraalgrasland Voltherbroek	258720	488546
5	schraalgrasland Agelerbroek	259619	489990
6	schraalgrasland Agelerbroek	259621	490051
7	elzenbroekbos met grote zeggen Voltherbroek	259473	489332
8	elzenbroekbos met een enkele zwarte bes Voltherbroek	259195	488701
9	vogelkers-essenbos Voltherbroek	259342	487921
10	droog elzenbroekbos met braam/framboos Voltherbroek	260260	489395
11	droog elzenbroekbos met braam/framboos Voltherbroek	259670	488876
12	elzenbroekbos met kleine valeriaan Agelerbroek	258952	489401
13	droog elzenbroekbos met braam/framboos Agelerbroek	259539	489799
14	elzenbroekbos met elzenzegge Agelerbroek	259055	489517
15	rietmoeras Agelerbroek	259449	490248
16	wilgenbroekbos Agelerbroek	259268	490130
17	eikenbos Achter de Voort	257078	488954
18	eikenbos Achter de Voort	256911	489047
19	eikenbos Achter de Voort	257042	488999
20	vogelkers-essenbos Achter de Voort	256988	489026
21	vogelkers-essenbos met zwarte bes Achter de Voort	256908	489102
22	grasland De Broekmaten	259751	489758
23	grasland De Broekmaten	259780	489604
24	grasland De Broekmaten	259926	489662
25	grasland De Broekmaten	259722	489877
26	grasland De Broekmaten	259877	489842

Tabel 4. *Overzicht bodemchemische parameters voor monsterpunten 1 t/m 21 uit destructie en Olsen-extractie, %om = organische stof percentage. De Olsen-P-concentratie is weergegeven in µmol/l bodem. De concentraties totaal aluminium, calcium, ijzer, kalium, magnesium, fosfor, zwavel, silicium en zink zijn weergegeven in mmol/l bodem. Diepte in cm-mv. Dichtheid in kg/l.*

nr	diepte	%om	%vocht	dichtheid	P-Olsen	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn
1	0-10	14	45	0,72	1304	252	23	122	8	20	0	3	10	14	11	0,5
	10-20	4	25	1,24	135	330	55	477	10	29	1	7	4	7	24	0,6
2	0-10	9	36	0,90	908	209	17	144	6	13	0	5	8	11	14	0,4
	10-20	7	34	0,98	739	151	95	114	4	10	0	5	6	8	9	1,2
3	0-10	6	39	0,86	782	343	37	211	13	29	2	9	13	17	12	0,6
	10-20	3	20	1,38	83	422	52	450	9	33	1	8	3	5	25	0,7
4	0-10	2	16	1,38	111	127	41	65	5	12	1	8	2	7	20	0,4
	10-20	0	12	1,54	0	39	23	31	2	6	0	7	0	2	12	0,4
5	0-10	17	42	0,68	375	328	37	183	11	27	1	4	6	10	6	0,4
	10-20	5	28	1,11	107	757	124	635	17	61	5	4	9	9	17	0,7
6	0-10	13	37	0,83	258	803	96	414	15	48	2	5	10	14	16	0,8
	10-20	7	33	0,96	229	735	112	339	14	46	2	8	8	14	25	0,7
7	strooisel	92	91	0,09	128	2	27	25	1	2	1	1	3	24	1	0,4
	0-10	19	58	0,51	579	358	99	247	9	26	2	4	22	27	7	0,7
	10-20	13	52	0,60	408	298	173	649	10	37	7	5	17	16	11	0,6
8	strooisel	61	84	0,16	484	39	73	49	4	8	0	2	4	12	2	0,2
	0-10	13	46	0,76	446	285	143	202	11	37	0	5	7	19	11	0,7
	10-20	2	21	1,39	45	181	106	282	8	32	1	4	5	5	18	0,5
9	strooisel	48	62	0,13	241	36	59	39	3	6	5	1	3	6	2	0,2
	0-10	24	58	0,53	281	244	145	268	9	31	4	4	10	21	8	0,8
	10-20	6	31	1,08	43	405	132	417	9	44	5	5	4	7	19	0,7
10	strooisel	71	64	0,07	772	3	27	2	3	5	0	0	3	5	1	0,1
	0-10	18	50	0,64	977	231	23	128	7	15	0	2	9	14	8	0,4
	10-20	4	26	1,27	349	492	66	265	13	34	1	4	7	9	17	0,7
11	strooisel	93	73	0,08	716	1	18	1	2	3	1	0	2	5	1	0,1
	0-10	19	49	0,66	715	314	31	208	9	24	1	2	6	13	12	0,4
	10-20	3	21	1,41	94	206	32	139	7	16	0	2	4	9	3	0,6
12	strooisel	76	84	0,11	274	5	63	16	2	3	2	2	2	8	2	0,2
	0-10	34	66	0,40	450	111	150	69	6	16	1	4	7	35	4	0,5
	10-20	4	29	1,17	210	197	98	101	17	26	1	3	3	15	10	0,6
13	strooisel	94	68	0,07	636	1	10	1	2	2	1	0	2	6	1	0,1
	0-10	28	50	0,47	920	286	14	147	7	19	0	2	8	17	6	0,3
	10-20	5	24	1,14	255	582	32	220	9	30	1	3	6	13	14	0,6
14	strooisel	92	89	0,09	645	2	38	9	1	4	0	2	3	16	1	0,1
	0-10	68	81	0,17	175	74	73	49	4	16	0	4	6	43	2	0,4

	10-20	67	76	0,23	123	150	123	147	5	27	0	5	7	42	3	0,3
15	strooisel	64	85	0,10	691	40	15	11	4	5	1	1	4	9	1	0,2
	0-10	24	59	0,52	372	628	71	190	19	46	2	4	13	31	10	1,0
	10-20	3	24	1,32	48	482	80	183	29	58	2	6	3	10	15	0,6
16	strooisel	86	85	0,10	485	9	44	8	2	5	1	2	4	25	1	0,4
	0-10	38	69	0,35	230	507	46	106	9	28	0	5	19	35	5	0,4
	10-20	12	42	0,81	149	664	124	218	14	47	2	7	10	35	12	0,6
17	strooisel	87	73	0,08	574	3	22	2	2	3	2	0	2	5	1	0,1
	0-10	12	44	0,73	788	64	29	43	6	9	0	3	7	21	8	0,3
	10-20	3	22	1,37	439	151	24	94	14	24	0	1	5	15	15	0,5
18	strooisel	39	57	0,14	509	28	38	24	7	8	2	1	4	5	1	0,2
	0-10	5	33	1,05	1186	126	35	146	17	28	1	1	9	6	13	0,5
	10-20	2	18	1,56	133	211	100	667	48	67	79	2	12	2	21	0,9
19	strooisel	91	70	0,06	632	1	14	1	1	3	1	0	2	4	1	0,1
	0-10	10	36	0,90	1208	79	15	78	6	10	0	1	8	12	11	0,3
	10-20	4	26	1,27	700	112	12	50	5	11	0	2	4	6	13	0,4
20	strooisel	62	71	0,18	328	37	47	66	9	10	3	1	6	7	1	0,2
	0-10	10	42	0,84	1110	105	32	115	19	22	1	2	8	10	12	0,4
	10-20	1	17	1,53	442	249	58	422	57	71	31	0	10	3	49	1,2
21	strooisel	41	80	0,17	435	34	58	38	6	9	3	2	4	7	1	0,2
	0-10	6	33	1,12	451	158	56	156	10	24	2	2	7	10	14	0,6
	10-20	2	20	1,48	117	172	46	243	20	35	15	2	6	3	18	0,6

Tabel 5. *Overzicht bodemchemische parameters voor monsterpunten 1 t/m 21 uit H_2O-extractie. Concentraties weergegeven in µmol/l bodem. Diepte in cm-mv.*

nr	diepte	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO_3	NH_4	K	Na	Cl	PO_4
1	0-10	5,06	15	193	8	18	1	1,8	49	216	3	39	77	58	274	464	0,12
	10-20	5,44	8	133	1	14	0	0,9	18	323	2	29	19	24	205	198	0,85
2	0-10	4,91	17	91	4	8	0	0,3	58	190	3	8	10	28	299	176	0,46
	10-20	5,11	13	63	3	6	0	0,0	37	175	2	10	24	12	203	115	0,27
3	0-10	5,17	7	70	0	10	0	0,0	32	240	2	7	13	20	222	123	0,35
	10-20	5,33	19	140	1	15	0	0,0	29	289	3	17	39	28	162	96	0,24
4	0-10	5,75	17	197	6	43	0	0,0	43	69	4	26	8	46	379	239	0,47
	10-20	6,05	12	170	6	43	0	1,6	16	158	4	6	13	19	79	95	0,19
5	0-10	5,2	10	72	2	12	0	0,0	49	303	2	4	6	13	285	95	0,32
	10-20	5,35	5	123	1	14	1	0,0	42	635	3	3	7	5	237	139	0,34
6	0-10	4,97	40	94	3	11	0	0,0	68	384	2	8	5	6	391	115	0,19
	10-20	5,17	10	107	5	10	0	0,1	40	699	3	13	31	18	179	94	0,29
7	strooisel	5,41	1	636	9	116	4	2,1	796	243	4	38	183	282	541	583	0,29
	0-10	5,38	10	443	3	63	2	2,5	516	805	2	17	53	87	1153	778	0,29
	10-20	6,62	10	2518	0	348	16	2,9	316	603	3	5	20	20	1632	768	0,21
8	strooisel	6,96	89	3443	32	511	5	2,9	487	275	8	25	83	267	1018	1088	0,36
	0-10	6,66	26	2301	16	296	0	0,3	642	471	3	127	43	42	1098	651	0,25
	10-20	7,27	32	1588	1	194	0	0,0	835	504	4	146	17	23	1229	521	0,42
9	strooisel	6,92	12	1284	2	182	2	1,4	297	193	2	180	34	129	692	735	0,06
	0-10	6,13	48	1378	13	174	5	0,0	487	491	3	167	16	55	1456	1048	0,19
	10-20	6,62	5	1145	1	141	0	0,0	380	553	3	187	19	26	1568	635	0,15
10	strooisel	6,04	13	504	7	222	3	8,0	72	144	2	365	185	335	126	330	4,00
	0-10	3,68	202	359	132	82	5	13,0	218	283	4	73	147	142	451	368	5,74
	10-20	5,41	28	396	11	56	1	0,2	344	759	4	24	10	14	1007	196	0,56
11	strooisel	4,35	18	320	10	110	8	22,9	87	52	7	471	242	251	146	258	15,87
	0-10	3,56	115	339	94	61	3	3,8	167	247	5	76	26	79	395	273	1,37
	10-20	4,01	26	148	10	21	0	1,5	137	492	3	31	20	25	367	185	0,56
12	strooisel	6,76	33	1771	31	231	7	2,0	70	197	9	48	119	226	1142	995	0,40
	0-10	6,3	11	648	20	73	0	2,1	189	186	7	92	159	169	1211	853	0,59
	10-20	6,78	13	325	10	27	0	6,3	93	308	14	93	87	171	834	472	1,37
13	strooisel	3,78	4	186	2	63	6	31,4	34	12	1	427	109	191	50	98	31,68
	0-10	3,28	108	253	73	59	9	16,4	150	167	3	397	195	180	127	203	9,06
	10-20	3,66	42	233	12	38	3	0,6	176	339	4	298	35	63	155	95	0,69
14	strooisel	6,25	26	1098	11	290	2	10,0	121	317	3	37	32	278	1501	1128	4,45
	0-10	5,95	53	599	58	168	0	3,8	474	340	8	54	247	173	1834	1474	0,97
	10-20	6,33	26	559	28	152	0	1,6	632	309	11	89	91	186	2135	1332	0,46
15	strooisel	5,95	54	181	5	33	1	39,4	84	329	5	38	413	273	375	332	35,70

	0-10	5,09	17	117	9	17	0	0,3	112	372	2	20	101	82	561	249	0,17
	10-20	4,92	24	126	2	15	0	0,7	150	334	3	35	18	38	601	223	0,57
16	strooisel	5,94	8	187	4	31	0	2,0	159	148	2	44	89	126	639	531	0,42
	0-10	4,71	97	300	46	65	1	3,0	264	438	3	8	146	116	931	683	0,85
	10-20	5,11	31	207	11	34	1	0,0	179	491	3	13	15	10	824	357	0,09
17	strooisel	4,27	13	279	6	98	9	53,0	110	59	2	425	340	272	144	203	49,55
	0-10	3,81	146	307	52	70	4	5,9	347	208	5	23	244	156	412	399	3,33
	10-20	3,94	117	212	21	40	1	3,9	250	153	4	21	122	105	291	279	1,44
18	strooisel	5,4	44	303	22	73	3	4,0	85	118	3	121	386	433	246	359	0,21
	0-10	4,97	58	225	69	37	7	5,5	125	357	4	62	259	350	190	182	1,64
	10-20	6,02	21	361	2	49	0	0,3	114	890	3	46	16	35	545	168	0,58
19	strooisel	3,87	8	149	3	60	5	28,5	27	19	4	298	101	163	43	79	26,27
	0-10	3,41	146	280	77	88	9	44,8	132	157	5	487	20	328	92	254	29,60
	10-20	3,58	159	247	65	56	4	17,6	139	149	4	261	22	280	133	234	11,26
20	strooisel	5,57	24	1270	51	246	23	2,8	181	158	8	43	106	541	414	573	0,07
	0-10	4,24	80	373	105	62	8	3,5	149	261	5	142	14	384	288	290	0,71
	10-20	4,64	8	131	1	15	0	0,0	99	594	3	8	9	57	270	95	0,42
21	strooisel	6,03	16	2906	119	465	104	3,7	145	154	7	21	177	834	950	1765	0,57
	0-10	5,25	27	771	22	107	5	0,8	456	398	4	79	90	155	771	570	0,22
	10-20	5,77	18	363	2	42	0	0,0	105	1077	3	106	14	21	617	265	0,31

Tabel 6. *Overzicht kationconcentraties voor monsterpunten 1 t/m 21 uit $SrCl_2$-extractie. Concentraties weergegeven in µmol/l bodem. Diepte in cm-mv.*

nr	diepte	pH-extract	H	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	Zn	NH4
1	0-10	4,03	933	11974	17379	17	1053	1226	66	244	53	195
	10-20	4,31	490	3658	35731	9	397	3832	187	0	29	300
2	0-10	4,06	871	12401	6682	45	255	563	39	376	49	309
	10-20	4,23	589	10279	8271	31	289	382	24	0	40	273
3	0-10	4,08	832	15071	15666	14	246	3049	199	303	55	179
	10-20	4,23	589	8876	39184	14	298	9556	341	0	32	414
4	0-10	4,62	240	875	15893	5	556	3442	31	0	64	393
	10-20	4,94	115	64	13907	1	715	6031	61	0	11	522
5	0-10	4,08	832	4991	45981	5	338	5637	159	877	21	192
	10-20	4,41	389	547	76333	0	0	7947	231	510	9	210
6	0-10	4,1	794	6202	50035	5	467	7101	246	1723	40	206
	10-20	4,28	525	1436	78471	1	108	5509	71	472	7	192
7	strooisel	4,74	182	28	17069	2753	884	1888	402	862	22	1082
	0-10	4,42	380	385	56774	2831	1328	6475	894	2885	81	550
	10-20	5,96	11	12	107272	202	328	14593	2048	3710	4	500
8	strooisel	6,08	8	2	35738	21	1154	3572	273	1377	5	1589
	0-10	6,03	9	8	104376	2	920	9580	60	1936	6	419
	10-20	6,54	3	3	81045	0	365	10429	14	1735	7	332
9	strooisel	6,13	7	1	32276	0	481	2824	8	1162	4	195
	0-10	5,41	39	3	89504	1	685	7901	313	2960	25	358
	10-20	5,84	14	4	102718	1	783	11401	19	3362	12	316
10	strooisel	4,69	204	9	16062	4	940	5463	191	278	23	1883
	0-10	3,25	5623	15944	11252	130	938	1904	78	484	30	239
	10-20	4,53	295	1169	49813	68	964	9426	194	1974	41	420
11	strooisel	3,35	4467	45	11263	6	712	2982	503	243	34	742
	0-10	3,24	5754	14199	13007	129	725	1950	107	635	42	287
	10-20	3,88	1318	28590	16992	47	335	3279	130	98	40	350
12	strooisel	6,1	8	1	29995	0	647	2506	166	1811	9	430
	0-10	5,35	45	29	85107	2	966	6338	289	2962	22	486
	10-20	5,52	30	40	61693	1	1497	5536	19	2022	27	903
13	strooisel	3,22	6026	23	7232	8	1221	1895	375	148	29	743
	0-10	2,89	12882	9710	12432	97	1139	2205	340	182	54	595
	10-20	3,78	1660	27969	8067	29	644	894	67	0	30	393
14	strooisel	5,72	19	0	23018	0	927	4058	44	2724	4	1800
	0-10	4,85	141	47	47621	1	752	11045	32	4329	38	165

	10-20	5,23	59	26	80870	0	1339	20338	4	5520	9	165
15	strooisel	5,14	72	10	9972	2	1513	2048	542	711	6	2505
	0-10	4,11	776	1509	50619	6	3122	9337	290	2626	100	1081
	10-20	4,13	741	2865	54094	48	1143	11754	654	2301	26	844
16	strooisel	4,63	234	51	23871	97	722	3721	454	1425	9	740
	0-10	4	1000	2526	31177	826	1478	4979	186	2554	25	747
	10-20	4,31	490	786	76938	46	298	11667	464	3645	12	326
17	strooisel	3,48	3311	206	10775	5	765	2729	544	364	25	933
	0-10	3,2	6310	8429	17942	115	901	2708	186	837	47	1198
	10-20	3,81	1549	8518	5005	74	933	862	27	0	21	571
18	strooisel	4,65	224	38	12966	3	1835	2814	121	437	16	1157
	0-10	4,38	417	533	26174	3397	5232	4998	1399	0	42	1619
	10-20	5,34	46	40	63107	8	852	9259	94	947	14	412
19	strooisel	3,2	6310	30	5682	2	822	2170	388	138	19	986
	0-10	3,13	7413	9616	6380	164	1886	1578	120	0	26	284
	10-20	3,55	2818	13982	4482	160	1358	839	64	0	17	362
20	strooisel	5,55	28	18	21656	848	2942	3039	1386	680	12	1652
	0-10	3,78	1660	1941	24818	2131	4204	4151	610	67	47	455
	10-20	4,17	676	977	41584	21	2673	8880	400	150	18	518
21	strooisel	5,98	10	4	26303	32	1572	2950	2634	1269	13	2215
	0-10	4,76	174	169	46718	708	1923	5211	1031	1259	27	575
	10-20	5,1	79	46	40326	0	779	4820	796	858	15	490

Tabel 7. *CEC en basenverzadiging voor monsterpunten 1 t/m 21 berekend uit H_2O- en SrCl2-extractie. CEC zowel weergegeven per liter als per kg bodem. Diepte in cm-mv. Basenverzadiging als percentage bezetting met Ca, Mg, Na en K.*

nr	diepte	CEC (µmol+/l bodem)	CEC (cmol+/kg bodem)	basenverzadiging (%)
1	0-10	100834	14	37
	10-20	115048	9	69
2	0-10	83410	9	17
	10-20	71613	7	24
3	0-10	112192	13	33
	10-20	157436	11	62
4	0-10	54698	4	70
	10-20	47995	3	83
5	0-10	142197	21	73
	10-20	187996	17	90
6	0-10	161496	19	72
	10-20	192834	20	87
7	strooisel	45776	52	82
	0-10	152970	30	84
	10-20	245857	41	98
8	strooisel	73831	45	97
	0-10	225132	30	100
	10-20	180651	13	100
9	strooisel	68312	51	100
	0-10	195498	37	99
	10-20	229184	21	100
10	strooisel	45599	62	93
	0-10	213084	33	12
	10-20	138784	11	86
11	strooisel	59050	74	48
	0-10	215105	33	14
	10-20	196155	14	21
12	strooisel	62635	58	99
	0-10	186437	47	99
	10-20	139987	12	97
13	strooisel	55327	74	34
	0-10	291659	62	10
	10-20	168053	15	11
14	strooisel	55149	61	97
	0-10	120725	72	98
	10-20	206647	91	99

15	strooisel	28783	29	88
	0-10	147471	28	85
	10-20	183858	14	73
16	strooisel	60004	59	94
	0-10	98444	28	76
	10-20	199280	25	90
17	strooisel	51074	64	53
	0-10	249738	34	17
	10-20	116213	9	10
18	strooisel	35984	25	90
	0-10	96009	9	69
	10-20	148619	10	98
19	strooisel	49638	82	32
	0-10	299137	33	6
	10-20	183994	14	6
20	strooisel	55254	32	89
	0-10	125890	15	48
	10-20	147799	10	70
21	strooisel	59833	35	88
	0-10	116344	10	90
	10-20	97278	7	93

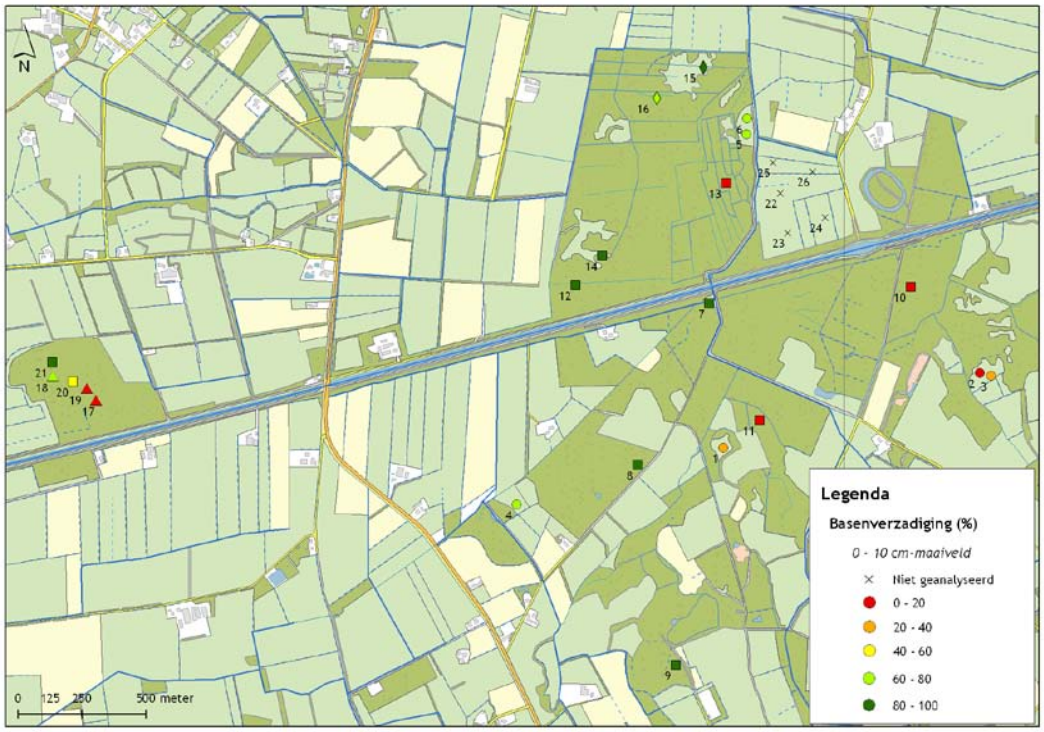
Tabel 8. *Overzicht bodemchemische parameters voor de Broekmaten uit destructie en Olsen-extractie, %om = organische stof percentage. De Olsen-P-concentratie is weergegeven in µmol/l bodem. De concentraties totaal aluminium, calcium, ijzer, kalium, magnesium, fosfor, zwavel, silicium en zink zijn weergegeven in mmol/l bodem. Diepte in cm-mv. Dichtheid in kg/l.*

nr	diepte	%om	%vocht	dichtheid	P-Olsen	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn
22	0-10	2	17	1,5	1570	91	31	62	8	21	0	2	10	6	16	0,6
	10-20	2	15	1,4	1323	107	37	68	11	24	1	2	11	5	14	0,7
	20-30	2	14	1,4	1397	107	38	68	11	23	1	2	11	5	17	0,8
	30-40	6	23	1,2	2369	296	64	172	18	39	1	2	18	8	14	0,5
	40-50	5	26	1,2	1456	345	86	205	20	40	1	3	11	9	14	0,6
	50-60	6	33	1,0	243	499	120	297	20	47	1	2	9	14	17	0,5
23	0-10	2	17	1,3	1695	115	33	67	10	19	0	2	10	6	10	0,7
	10-20	3	19	1,3	1161	84	25	46	8	14	0	2	6	4	10	0,6
	20-30	2	16	1,4	1455	112	31	69	11	22	1	1	12	6	13	0,7
	30-40	1	11	1,4	2047	60	26	39	6	11	0	1	5	2	13	0,4
	40-50	0	12	1,5	1619	64	28	42	7	13	1	1	4	1	12	0,5
	50-60	1	14	1,6	891	171	55	94	24	32	1	1	3	2	14	0,5
24	0-10	5	24	1,1	1214	97	34	67	10	19	0	2	10	9	9	0,7
	10-20	3	23	1,2	1283	85	21	53	10	18	0	2	8	9	10	0,6
	20-30	2	19	1,4	1921	114	34	99	4	19	1	2	11	3	14	0,6
	30-40	4	21	1,3	415	200	59	177	9	23	1	2	5	3	21	0,3
	40-50	7	28	1,1	348	233	63	254	8	23	1	2	7	8	20	0,5
	50-60	12	44	0,7	1110	166	63	103	6	20	1	1	13	15	12	0,5
25	0-10	5	20	1,1	1391	78	28	64	5	18	1	2	11	4	14	0,5
	10-20	3	17	1,4	1605	77	29	63	6	19	1	2	12	4	14	0,5
	20-30	1	13	1,5	648	45	17	25	6	13	0	2	3	1	14	0,3
	30-40	2	20	1,4	621	87	50	147	5	23	1	3	5	2	21	0,3
	40-50	3	24	1,3	10	75	44	129	2	17	1	1	3	2	16	0,3
	50-60	1	18	1,4	35	52	42	70	3	12	0	1	2	1	12	0,5
26	0-10	4	23	1,2	1814	78	37	70	6	14	1	2	15	8	14	0,9
	10-20	2	16	1,3	2393	43	22	35	2	8	0	1	11	3	10	0,5
	20-30	1	13	1,4	1571	49	32	53	3	10	1	1	5	1	15	0,5
	30-40	1	16	1,4	418	69	38	64	5	12	1	2	3	2	13	0,5
	40-50	1	15	1,4	259	79	30	52	7	14	0	2	3	3	14	0,4
	50-60	0	12	1,6	26	45	17	25	6	11	0	2	1	0	14	0,4

Tabel 9. *Overzicht bodemchemische parameters voor voor de Broekmaten uit H_2O-extractie. Concentraties weergegeven in µmol/l bodem. Diepte in cm-mv.*

nr	diepte	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO_3	NH_4	K	Na	Cl	PO_4
22	0-10	4,76	32	211	10	72	1	11	75	203	3	98	13	7	51	83	10
	10-20	4,88	40	259	7	82	0	6	80	186	4	305	63	27	41	55	5
	20-30	4,84	18	280	6	95	0	6	87	205	3	379	64	41	29	52	5
	30-40	5,76	7	194	2	52	0	5	47	1103	3	192	9	344	116	61	5
	40-50	6,07	8	301	3	60	0	0	97	1051	3	351	20	440	181	96	1
	50-60	5,76	17	231	4	58	0	1	81	841	3	81	14	400	151	62	1
23	0-10	4,77	19	199	8	53	0	9	54	140	4	137	26	27	26	51	8
	10-20	4,68	14	249	6	80	0	6	95	154	4	179	25	40	29	59	6
	20-30	4,91	23	324	5	88	0	17	88	158	5	293	7	37	28	64	16
	30-40	5,71	26	233	4	77	0	184	35	245	4	36	11	143	18	51	171
	40-50	5,7	11	279	5	100	0	226	37	218	4	36	17	109	22	50	209
	50-60	6,01	12	254	4	63	0	39	59	754	4	102	18	311	265	170	40
24	0-10	4,52	21	180	22	71	1	4	89	203	7	75	22	82	175	147	3
	10-20	4,82	19	250	13	90	0	4	120	187	4	225	55	61	130	91	4
	20-30	5,2	16	332	13	70	0	1	128	294	5	261	51	171	137	90	1
	30-40	6,14	7	237	2	53	0	1	123	629	4	164	39	360	232	104	0
	40-50	6,07	148	347	5	123	0	0	79	887	3	314	15	294	200	82	0
	50-60	5,87	16	477	9	150	0	4	113	631	4	180	52	249	170	124	3
25	0-10	4,86	14	135	22	52	1	4	105	210	3	75	269	50	75	70	2
	10-20	5,33	17	363	9	118	0	22	75	281	4	260	10	15	16	67	20
	20-30	5,89	33	247	3	66	0	23	37	324	3	20	6	2	-4	41	21
	30-40	6,14	13	339	6	96	0	0	52	772	3	84	8	8	13	39	1
	40-50	6,27	13	471	3	127	0	0	96	861	4	216	7	12	65	50	1
	50-60	6,4	7	369	2	106	0	0	65	697	3	238	14	3	18	32	0
26	0-10	4,77	45	361	22	136	1	25	120	216	5	250	13	2	59	79	22
	10-20	5,32	14	481	12	189	0	94	74	227	5	387	11	0	1	71	88
	20-30	6,04	162	270	5	93	0	46	44	400	3	62	9	12	11	42	44
	30-40	6,33	32	349	4	86	0	0	95	583	4	68	13	31	198	78	1
	40-50	6,62	21	590	4	195	0	0	435	266	3	21	9	97	24	33	0
	50-60	6,71	11	310	0	98	0	1	91	391	5	124	8	63	96	85	1

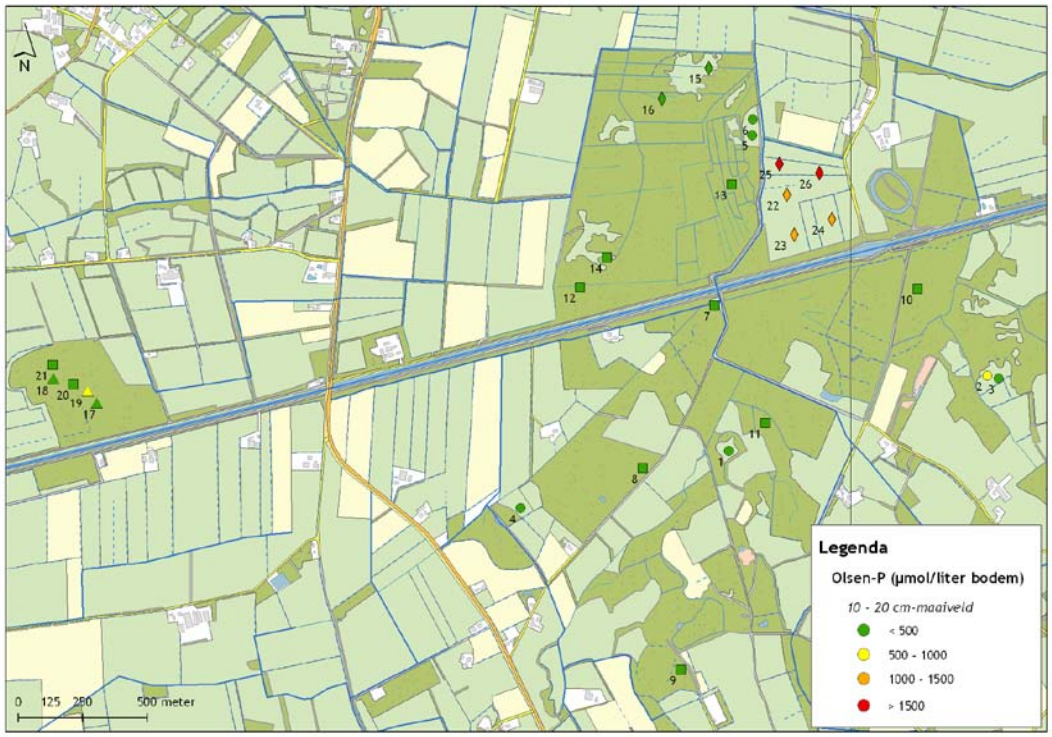
Bijlage 2 Kaarten



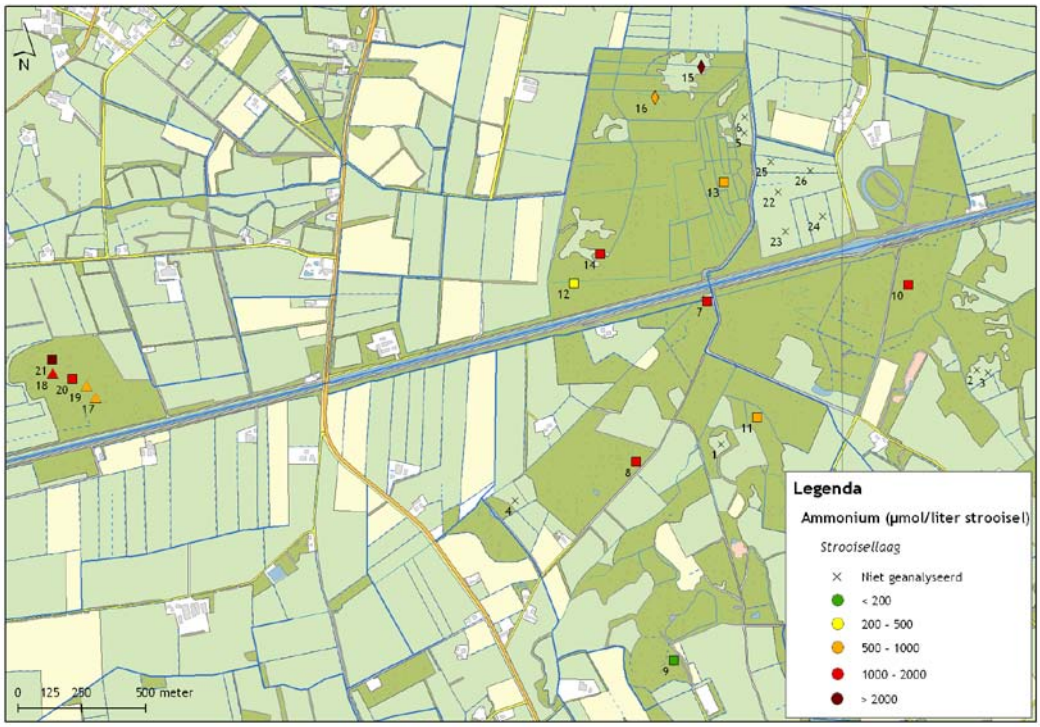
Figuur 49. *Basenverzadiging op 0 tot 10 cm diepte. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



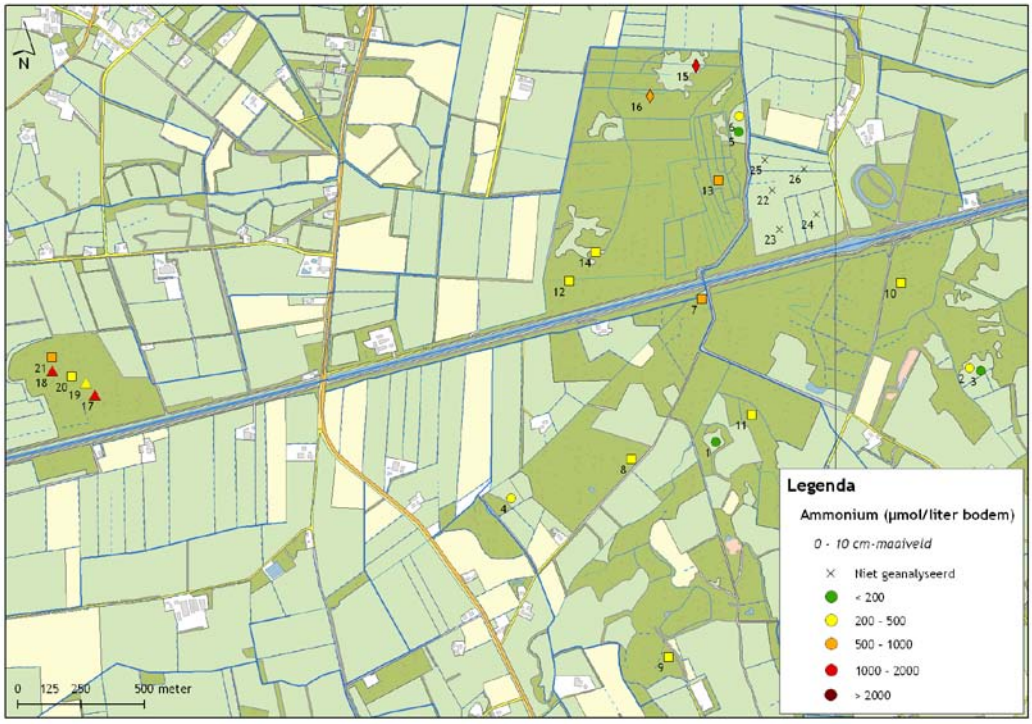
Figuur 50. *Concentratie Olsen-P (als maat voor plantbeschikbaar P) op 0 tot 10 cm diepte. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



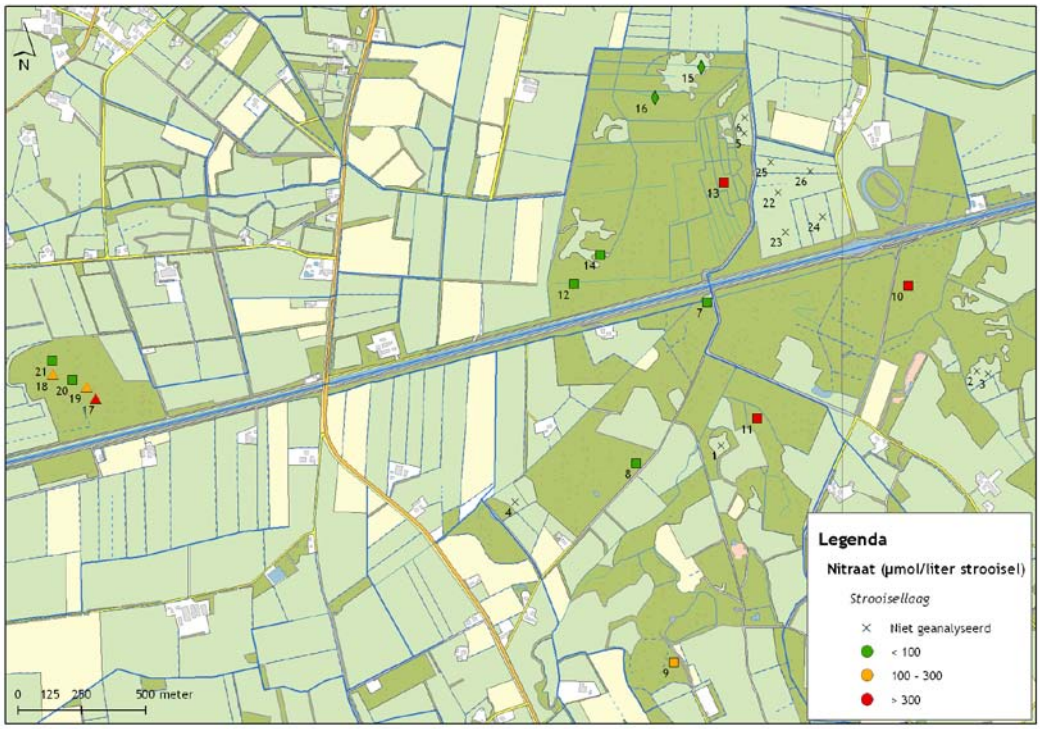
Figuur 51. *Concentratie Olsen-P (als maat voor plantbeschikbaar P) op 10 tot 20 cm diepte. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



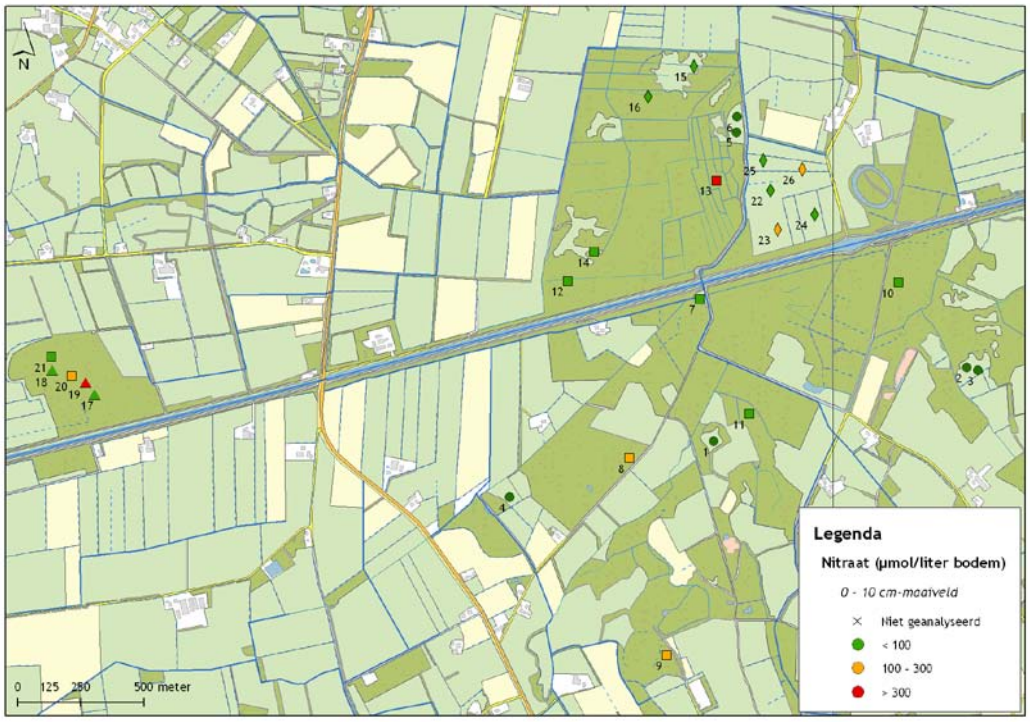
Figuur 52. *Concentratie uitwisselbaar ammonium in de strooisellaag. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



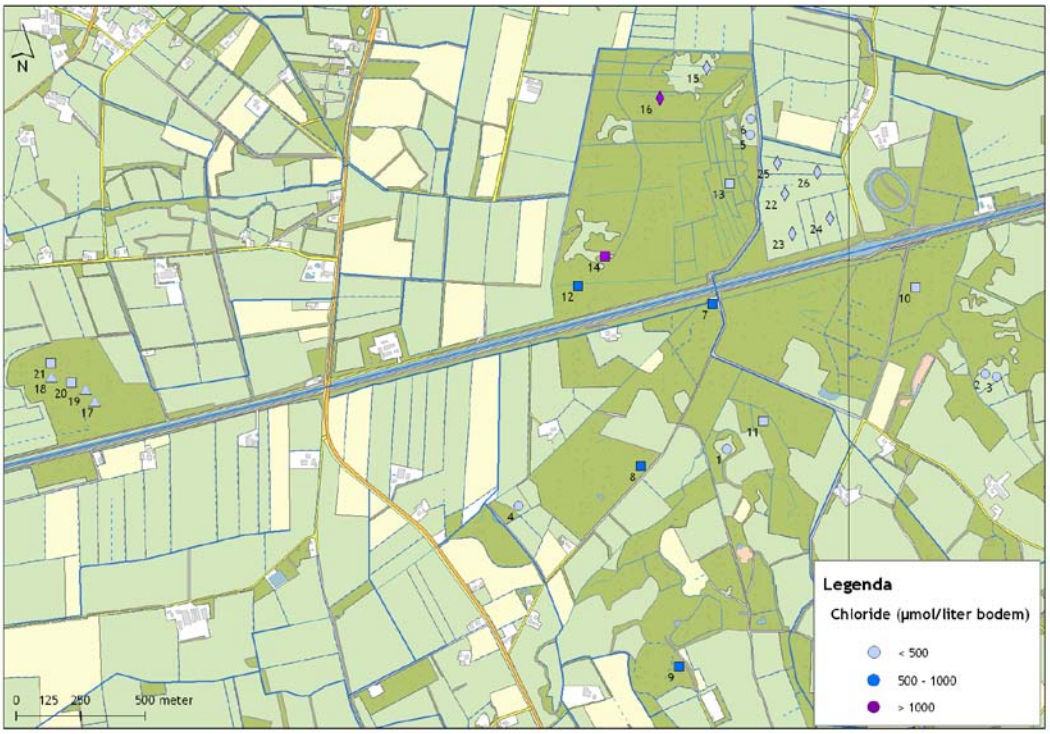
Figuur 53. *Concentratie uitwisselbaar ammonium op 0-10 cm diepte. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



Figuur 54. *Concentratie nitraat in de strooisellaag. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



Figuur 55. *Concentratie nitraat op 0-10 cm diepte. Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*



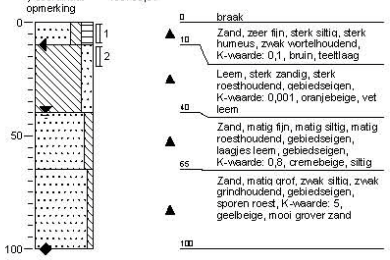
Figuur 56. *Concentratie chloride (geheel bemonsterde diepte incl. strooisel). Voor legenda symbolen voor de verschillende habitattypen: zie figuur 8.*

Bijlage 3 Profielbeschrijvingen

Grontmij

Boring 01

boormeester	jan vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	259527,29
y-coördinaat	488766,31
opmerking	



0 braak

10 Zand, zeer fijn, sterk siltig, sterk humeus, zwak wortelhoudend, K-waarde: 0,1, bruin, teeltlaag

40 Leem, sterk zandig, sterk roesthoudend, gebiedseigen, K-waarde: 0,001, oranjebeige, vet leem

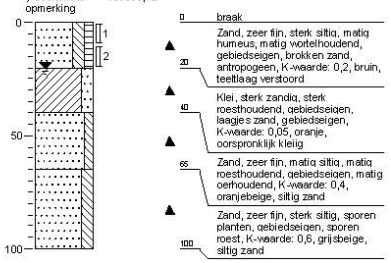
65 Zand, matig fijn, matig siltig, matig roesthoudend, gebiedseigen, laagjes leem, gebiedseigen, K-waarde: 0,8, cremebeige, siltig

Zand, matig grof, zwak siltig, zwak grindhoudend, gebiedseigen, sporen roest, K-waarde: 5, geelbeige, mooi grover zand

100

Boring 02

boormeester	jan vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	260525,95
y-coördinaat	489059,12
opmerking	



0 braak

20 Zand, zeer fijn, sterk siltig, matig humeus, matig wortelhoudend, gebiedseigen, brokken zand, antropogeen, K-waarde: 0,2, bruin, teeltlaag verstoord

40 Klei, sterk zandig, sterk roesthoudend, gebiedseigen, laagjes zand, gebiedseigen, K-waarde: 0,05, oranje, oorspronklijk kleig

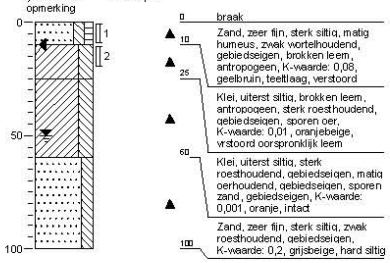
65 Zand, zeer fijn, matig siltig, matig roesthoudend, gebiedseigen, matig oerhoudend, K-waarde: 0,4, oranjebeige, siltig zand

Zand, zeer fijn, sterk siltig, sporen planten, gebiedseigen, sporen roest, K-waarde: 0,6, grijsbeige, siltig zand

100

Boring 03

boormeester	jan vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	260572,27
y-coördinaat	489047,54
opmerking	



0 braak

10 Zand, zeer fijn, sterk siltig, matig humeus, zwak wortelhoudend, gebiedseigen, brokken leem, antropogeen, K-waarde: 0,08, geelbruin, teeltlaag, verstoord

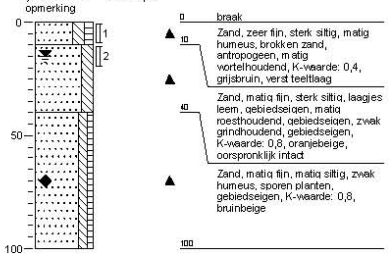
25 Klei, uiterst siltig, brokken leem, antropogeen, sterk roesthoudend, gebiedseigen, sporen oer, K-waarde: 0,01, oranjebeige, vrstoord oorspronklijk leem

60 Klei, uiterst siltig, sterk roesthoudend, gebiedseigen, matig oerhoudend, gebiedseigen, sporen zand, gebiedseigen, K-waarde: 0,001, oranje, intact

100 Zand, zeer fijn, sterk siltig, zwak roesthoudend, gebiedseigen, K-waarde: 0,2, grijsbeige, hard siltig

Boring 04

boormeester	jan vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	258720,5
y-coördinaat	488543,52
opmerking	



0 braak

10 Zand, zeer fijn, sterk siltig, matig humeus, brokken zand, antropogeen, matig wortelhoudend, K-waarde: 0,4, grijsbruin, verst teeltlaag

40 Zand, matig fijn, sterk siltig, laagjes leem, gebiedseigen, matig roesthoudend, gebiedseigen, zwak grindhoudend, gebiedseigen, K-waarde: 0,8, oranjebeige, oorspronklijk intact

Zand, matig fijn, matig siltig, zwak humeus, sporen planten, gebiedseigen, K-waarde: 0,8, bruinbeige

100

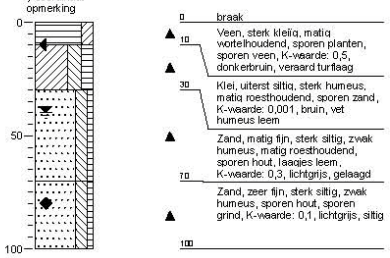
Projectnummer: 307831
Projectnaam: b-ware voltherbroek
Projectleider: V. Lange
Opdrachtgever: b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 1 van 7

Grontmij

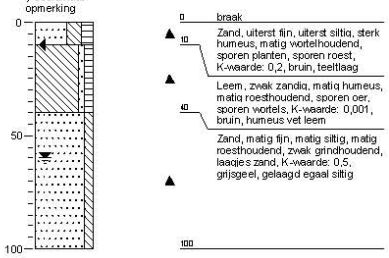
Boring 05

boormeester	jan vermeer
datum	11-3-2011
x-coördinaat	
y-coördinaat	
opmerking	



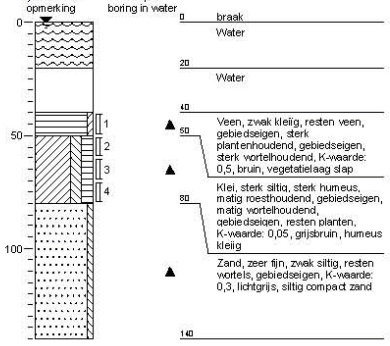
Boring 06

boormeester	jan vermeer
datum	11-3-2011
x-coördinaat	
y-coördinaat	
opmerking	



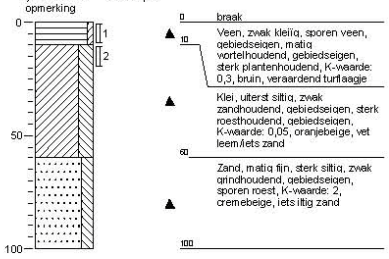
Boring 07

boormeester	Jan Vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	259471,81
y-coördinaat	489328,93
opmerking	boring in water



Boring 08

boormeester	jan vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	259196,58
y-coördinaat	488705,55
opmerking	



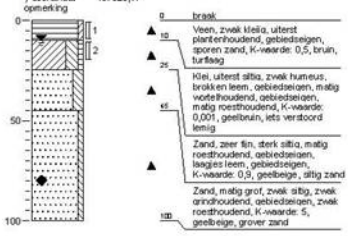
Projectnummer:	307831
Projectnaam:	b-ware voltherbroek
Projectleider:	V. Lange
Opdrachtgever:	b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 2 van 7

Grontmij

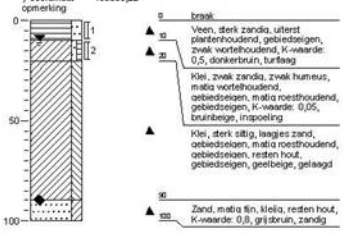
Boring 09

boormeester	Jan Vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	259337,53
y-coördinaat	487923,17
opmerking	



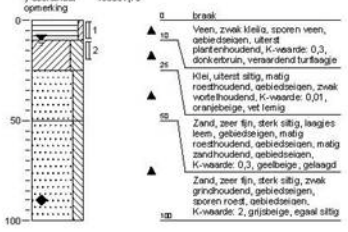
Boring 10

boormeester	Jan Vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	260254,66
y-coördinaat	489396,22
opmerking	



Boring 11

boormeester	jan vermeer
datum	10-3-2011
x-coördinaat	259666,24
y-coördinaat	488881,73
opmerking	



Boring 12
B-ware
0-10 donkerbruin veen met leem/klei
20-30 geel zandig leem

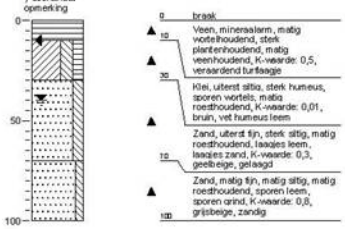
Projectnummer:	307831
Projectnaam:	b-ware voltherbroek
Projectleider:	V. Lange
Opdrachtgever:	b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 3 van 7

Grontmij

Boring 13

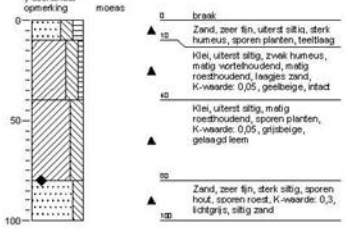
boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



Boring 14
B-ware
0-30 bruin veen
30-50 bruine venige klei
50-100 bruin kleiig veen
100-110 grijze klei
>110 veen

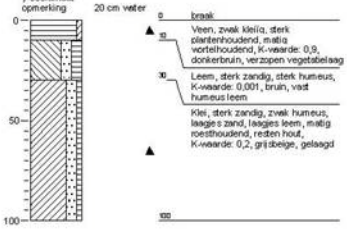
Boring 15

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking moeas



Boring 16

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking 20 cm water



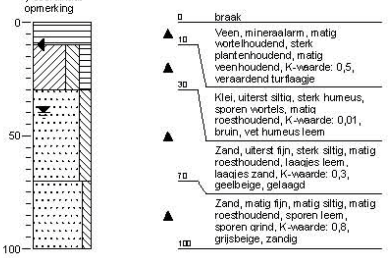
Projectnummer: 307831
Projectnaam: b-ware voltherbroek
Projectleider: V. Lange
Opdrachtgever: b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 4 van 7

Grontmij

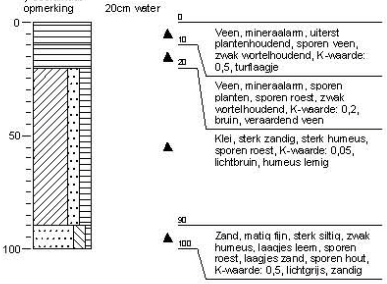
Boring 13

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



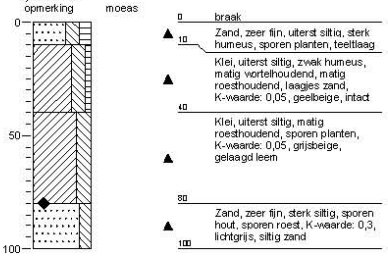
Boring 14

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking 20cm water



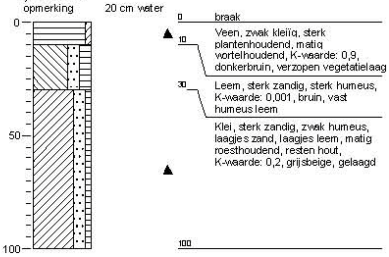
Boring 15

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking moeas



Boring 16

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking 20 cm water



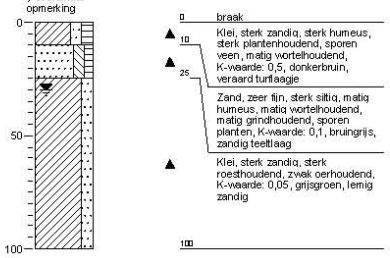
Projectnummer: 307831
Projectnaam: b-ware voltherbroek
Projectleider: V. Lange
Opdrachtgever: b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 4 van 7

Grontmij

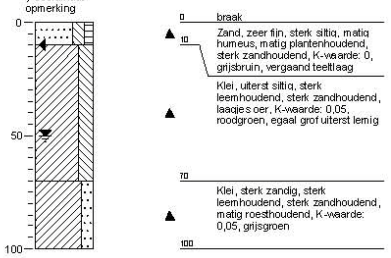
Boring 17

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



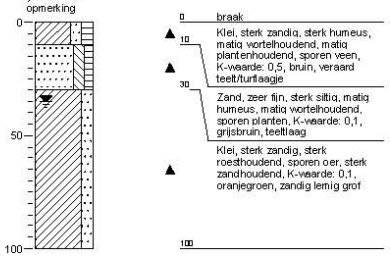
Boring 18

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



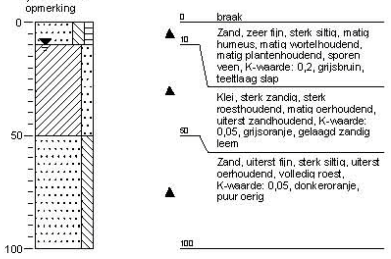
Boring 19

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



Boring 20

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



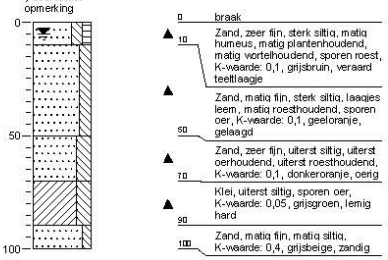
Projectnummer: 307831
Projectnaam: b-ware voltherbroek
Projectleider: V. Lange
Opdrachtgever: b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 5 van 7

Grontmij

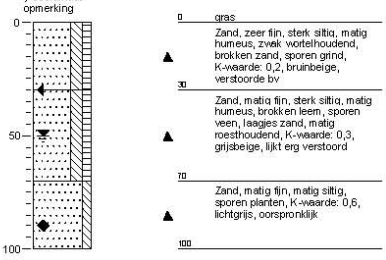
Boring 21

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



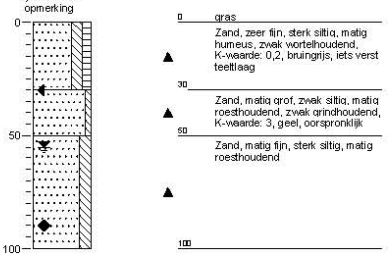
Boring 22

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



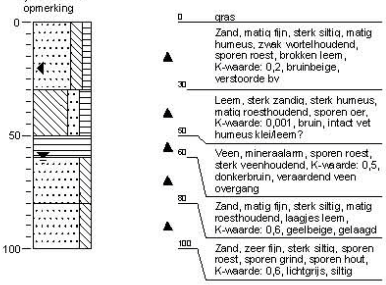
Boring 23

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



Boring 24

boormeester jan vermeer
datum 11-3-2011
x-coördinaat
y-coördinaat
opmerking



Projectnummer: 307831
Projectnaam: b-ware voltherbroek
Projectleider: V. Lange
Opdrachtgever: b-ware

Schaal (A4): 1: 25
Pagina: 6 van 7



www.b-ware.eu