

Ecopedologisch en biogeochemisch onderzoek Hazelbekke



Opdrachtgever: LTO Noord • Projectnummer: 16.101

Rapportnummer: RP-16.101.16.65 • Auteurs: FS, EBV & BD • Datum: 19-02-2017

Titel project: Ecopedologisch en biogeochemisch onderzoek Hazelbekke

Projectnummer: PR-16.101

Rapportnummer: RP-16.101.16.65

Datum: 19 februari 2017

Status: Concept

Auteurs: Fons Smolders¹, Evi Bohnen-Verbaarschot¹ en Bas van Delft²

B-WARE Research Centre (1)

Wageningen Environmental Research (Alterra) (2)

Bezoekadres

Radboud Universiteit Nijmegen

Toernooiveld 1

6525 ED Nijmegen

Postadres

Postbus 6558

6503 GB Nijmegen

© B-WARE Research Centre, Nijmegen, 2017.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	<i>Aanleiding en probleemstelling</i>	5
1.2	<i>Doel en onderzoeksvragen</i>	7
1.3	<i>Veldonderzoek en bemonstering</i>	8
1.4	<i>Analyses</i>	9
2	Resultaten & discussie	11
2.1	<i>Ecopedologische resultaten</i>	11
2.2	<i>Hazelbekke Raai 1</i>	19
2.3	<i>Hazelbekke Raai 2</i>	26
2.4	<i>Hazelbekke Raai 3</i>	32
2.5	<i>Hazelbekke Raai 4</i>	38
2.6	<i>Grondwaterkwaliteitsdata</i>	43
2.7	<i>Bodemkwaliteit</i>	47
2.8	<i>Conclusies</i>	49
2.9	<i>Aanbeveling</i>	50
3	Literatuur	52
Bijlage 1	pH-profielen	53
Bijlage 2	Bodemanalyses	56
Bijlage 3	Wateranalyses	58
Bijlage 4	Bronlocatie raai 2	59

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en probleemstelling

In het noordoosten van Twente ligt het stroomgebied van de Hazelbekke. Het betreft een beekdalgebied met waardevolle bronnen, beeklopen, bronbossen, beekdalmoerassen en beekdalgraslanden.

Het Fieldlab¹ dat de maatregelen voor het Natura2000-gebied Springendal /Dal van de Mosbeek moet uitwerken wil meer inzicht hebben in de processen die bepalend zijn voor de huidige en toekomstige kwaliteit van de natuur in deze beekdalsystemen. Leidend bij de maatregelen is behoud c.q. herstel c.q. uitbreiding van habitattypen, in het bijzonder elzenbroekbos (habitatype H91EOC - Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen)). Er zijn meerdere mogelijke oorzaken voor achteruitgang van het type:

1. Verdroging door te diepe voorjaarsgrondwaterstanden (GVG). Dit kan een gevolg zijn van insnijding van de beek waardoor het beekpeil te laag is. Dit kan uitdroging van de bovengrond tot gevolg hebben waardoor het veen gaat oxideren en mineralen vrijkomen, met eutrofiëring tot gevolg;
2. Verdroging door te diepe zomergrondwaterstanden (GLG). Ook dat kan een gevolg zijn van insnijding van de beek, maar ook van een diepere ontwatering, bijvoorbeeld door grondwateronttrekking of ontwateringsmiddelen in de omgeving. De gevolgen ten aanzien van veraarding van het veen zijn vergelijkbaar met de verlaging van GVG, maar door een toename van de bergingscapaciteit van de bodem kan ook de regenwaterinvloed groter worden, ten kostte van de kwelinvloed. Dit leidt tot verzuring;
3. Vermindering van kweldruk door verbeterde afwatering in het inrijgebied. Dit heeft ook vaak een verlaging van de GLG tot gevolg en een vermindering van de zuurbuffer;
4. Overstroming met slibrijk water waaraan nutriënten gebonden zijn (benedenstroomse delen);
5. Atmosferische depositie van stikstof;
6. Interne eutrofiëring door mineralisatie van het veen onderin het profiel, als gevolg van nitraat- en/of sulfaathoudende kwel, waarbij het aanwezige veen wordt afgebroken en nutriënten vrijkomen die voor verruiging van de vegetatie zorgen.

Een essentiële vraag is in hoeverre de standplaatsen van diverse habitattypen hebben gereageerd op de gesignaleerde bedreigingen waar dus maatregelen voor nodig zijn. Die maatregelen betreffen veelal het stoppen van bemesting en verwijderen van drainage in landbouwpercelen. In een eerdere fase is in maart 2016 de hypothese onderzocht dat de achteruitgang vooral of uitsluitend is veroorzaakt door insnijding van de naastliggende beek met verdroging tot gevolg. Hiervoor is een ecopedologische² verkenning uitgevoerd (Van Delft 2016). Bij deze (beperkte) veldverkenning werd geconcludeerd dat:

¹ Binnen het gebiedsproces Springendal – Dal van de Mosbeek in het kader van Natura2000/PAS, is een deskundigenteam/fieldlab ingesteld, bestaande uit Fons Eysink (ecoloog), Jan van Bakel (agrohydroloog) en Inge Hageman (agro-expert).

² Ecopedologie is een richting binnen de bodemkunde die zich bezighoudt met de bodem als ecosysteem en als standplaats voor natuurlijke vegetaties. Hierbij zijn vooral ecohydrologische, bodembologische en bodemchemische eigenschappen van belang. Deze kenmerken komen o.a. tot uiting in het humusprofiel (Van Delft et al. 2006).

- Verdroging door te diepe GVG of GLG niet lijkt te spelen, hoewel plaatselijk wel wat veraarding van het veen lijkt op te treden (punt 1 en 2);
- Ook zijn er geen aanwijzingen voor afname van kweldruk (punt 3);
- Overstroming met voedselrijk slib (punt 4) kan benedenstrooms een rol spelen in de Hazelbekke bovenstroom van De Mast. Om dit te kunnen beoordelen zijn echter bodemchemische monsters nodig;
- In hoeverre atmosferische depositie van stikstof (Punt 5) een rol speelt kon uit de verkenning niet afgeleid worden. Hiervoor kan een vergelijking gemaakt worden van de depositie en de te verwachten mineralisatie uit de bodem (De Waal & Van Delft 2014);
- Voor interne eutrofiëring als gevolg van nitraat- en/of sulfaathoudende kwel (punt 6) konden in het veld geen directe aanwijzingen gevonden worden, maar uit de literatuur werd wel opgemaakt dat dit een rol kan spelen, met name in de Hazelbekke.

De conclusies ten aanzien van punt 4 t/m 6 gaven aanleiding tot een vervolgonderzoek in de Hazelbekke waarvoor opdracht gegeven is aan een consortium van Onderzoekcentrum B-WARE en Wageningen Environmental Research (Alterra). Dat vervolgonderzoek wordt beschreven in dit rapport.

1.1.1 Globale gebiedsbeschrijving

Het stroomgebied van de Hazelbekke is gesitueerd op de westflank van de stuwwal van Ootmarsum, die hoofdzakelijk bestaat uit gestuwde tertiaire groenzanden en kleien. Door smeltwater zijn in de stuwwal diepe erosiedalen uitgesleten. In sommige delen is op de tertiaire ondergrond zand afgezet. In deze delen stroomt het infiltrerende regenwater via de dunne maar goed doorlatende oppervlakkige zandlagen af. Langs de randen van de beekdalen worden de zandlagen aangesneden wat resulteert in het optreden van laterale kwel en dagzoom-bronnen. Dit lateraal afstromende water wordt voor een deel beïnvloed door uitspoeling van meststoffen vanuit de landbouw en is daardoor (sterk) verrijkt met nitraat en sulfaat (o.a. Van 't Hullenaar & Bell 2004).

Een deel van het regenwater infiltreert in de diepere ondergrond, wat zorgt voor voeding van het diepere, traag afstromende grondwater via de matig doorlatende groenzanden. In de erosiedalen wordt dit watervoerende pakket aangesneden wat resulteert in diepe, verticale kwel en dalbodem-bronnen. Op plekken waar scheef gestelde slecht doorlatende tertiaire kleilagen de westelijk gerichte grondwaterstroming via de groenzanden belemmeren wordt het grondwater nog sterker naar de oppervlakte geperst, wat resulteert in zones met sterke verticale kwel en overloop-bronnen. Dit diepere kwelwater is relatief schoon en basenrijk.

In samenhang met het optreden van diepe, schone, basenrijke kwel (dalbodem- en overloopbronnen) komen met name in het centrale deel van het natuurgebied zeer waardevolle elzenbronbossen, natte schraalgraslanden (veldrusschraalland) en beekdalmoerassen voor. In het dal van de zuidelijke bovenloop is als gevolg van laterale toestroming van eutroof en sulfaatrijk, ondiep kwelwater (dagzoombronnen) vanuit de aangrenzende landbouwgronden (Boven Esch) de vroegere brongemeenschap verdwenen, het veldrusschraalland in kwaliteit achteruitgegaan en is het elzenbronbos sterk vervuurd met grote brandnetel. Ook in de noordelijke bovenloop laat de waterkwaliteit te wensen over (Van 't Hullenaar & Bell 2004).

Beschikbare analyses van het grondwater zijn minstens tien jaar oud (o.a. Runhaar et al 2003, Van 't Hullenaar & Bell 2004). Recente analyses van het grondwater waren niet beschikbaar. Binnen het gebiedsproces Springendal – Dal van de Mosbeek in het kader van Natura2000/PAS, is er vanuit het deskundigenteam/fieldlab dan ook behoefte aan metingen (en mogelijk monitoring in de toekomst) van de grondwater-, oppervlaktewater- en bodemkwaliteit. Combinatie van waterkwaliteits-

gegevens met bodemchemische gegevens en profielopbouw kan inzicht geven in mogelijke knelpunten als gevolg van verdroging en/of degradatie als gevolg van uitspoeling uit landbouwgronden.

Eerdere analyses hebben dus al laten zien dat de kwaliteit van met name het ondiepe grondwater kunnen worden beïnvloed door de uitspoeling van nitraat en mogelijk ook sulfaat vanuit de omliggende landbouwgebieden. Nitraatuitspoeling kan ook indirect leiden tot een toename van de sulfaatconcentraties in het grondwater omdat het door oxidatie van pyriet sulfaat kan vrijmaken in de ondergrond. Zowel nitraat als sulfaat kunnen direct of indirect leiden tot eutrofiering. Daarnaast is er mogelijk sprake van verdroging. Bij een bodemkundige veldverkenning in maart 2016 bleek dat het grondwaterstandsverloop in de meeste bezochte locaties valt binnen de marges voor broekbossen, hoewel bij enkele locaties aanwijzingen gevonden werden voor een oppervlakkige verdroging (Van Delft 2016). Deze verdroging kan leiden tot verzuring, door de verminderde aanvoer van basen via grondwater en een toename van de uitspoeling van basen, maar ook tot eutrofiering/verruiging als gevolg van een toename van de mineralisatie van organisch materiaal.

In de benedenloop van de Hazelbekke, bovenstrooms van De Mast, speelt daarnaast mogelijk ook eutrofiëring door inundatie van met nutriënten belast beekwater een rol.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

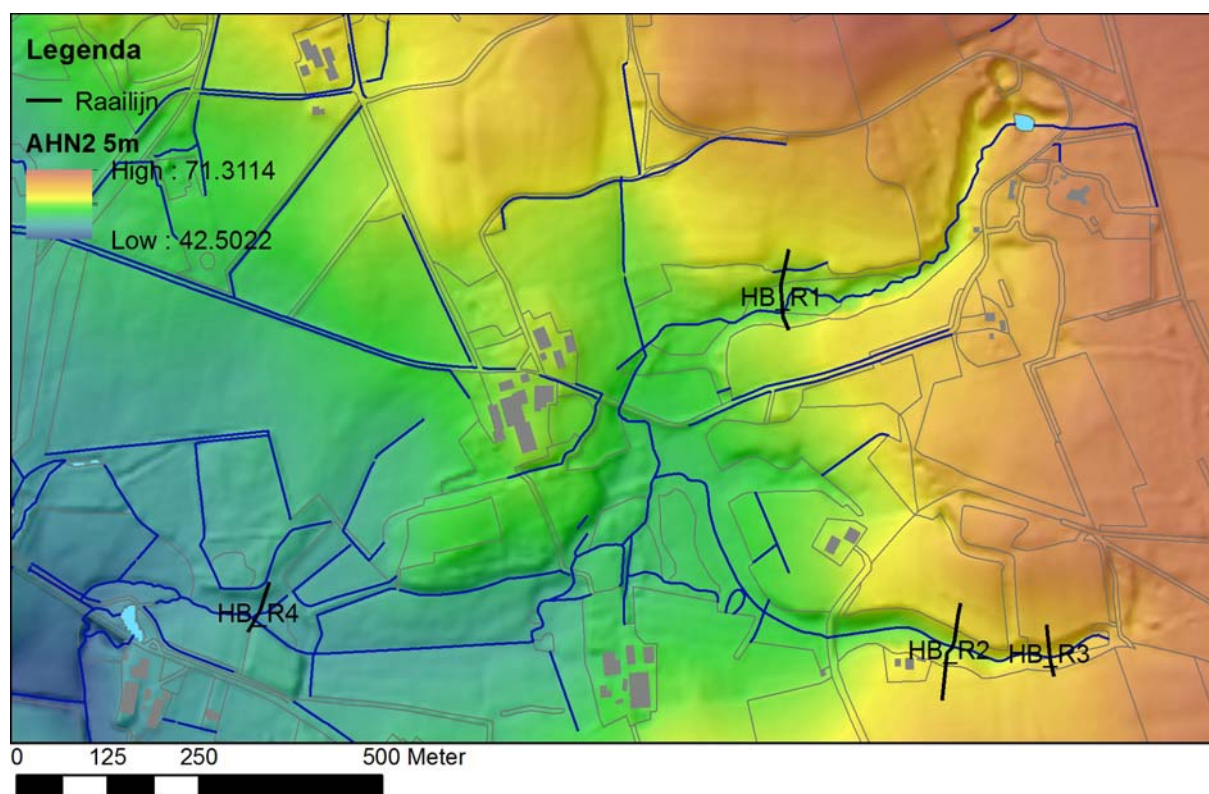
Het doel van het Ecopedologisch en biogeochemisch onderzoek in de Hazelbekke dat in dit rapport beschreven wordt is om te beoordelen hoe de beekdalen functioneren en welke van in de vorige paragraaf beschreven mogelijke oorzaken voor achteruitgang van het habitatype een rol spelen. Dat is noodzakelijk om te beoordelen welke maatregelen noodzakelijk en zinvol zijn.

Op de volgende onderzoeksvragen is een antwoord gezocht:

- 1) Wat is de geologische/bodemkundige/hydrologische opbouw van de beekdalen en wat betekent dat voor het functioneren van de daarin aanwezige natuur?
 - a) Voldoen de grondwaterstanden aan de abiotische randvoorwaarden?
 - b) Voldoet de kwaliteit van kwelwater in de bronnen en in het veen aan de vereisten?
 - c) Wat vertellen bodem- en humusopbouw over de processen (verdroging, interne eutrofiëring) die mogelijk een rol spelen?
- 2) In hoeverre vindt uitspoeling van nutriënten (N en P) uit bovenliggende (landbouw)percelen een rol?
- 3) In hoeverre wordt door het infiltrerende grondwater pyriet geoxideerd waarbij sulfaat vrijkomt wat tot afbraak van het veen en interne eutrofiëring kan leiden?
- 4) Vindt in het de beekdalen interne eutrofiëring plaats?
- 5) Wordt benedenstrooms, zoals bij De Mast, voedselrijk slib gesedimenteerd?

1.3 Veldonderzoek en bemonstering

Om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden is in vier transecten dwars op het beekdal samenhangende veldbodemkundige informatie verzameld en zijn monsters genomen van de bodem, het grondwater en oppervlaktewater. De ligging van de raaien is opgenomen in figuur 1.1, de locaties worden meer in detail besproken in hoofdstuk 2.



Figuur 1.1 Ligging van de vier onderzoeksraaien in de verschillende takken van de Hazelbekke. De kleuren in de achtergrond stellen de maaiveldhoogte voor op basis van AHN2.

Het veldwerk is uitgevoerd op 20 en 21 september 2016. Afhankelijk van de lengte van de raai zijn 2 tot 5 profielen bodemkundig (ecopedologisch) beschreven, is het grondwaterstandsverloop geschat, pH-profiel vastgesteld met indicatorstrookjes en is het humusprofiel beschreven (Van Delft et al. 2006). In totaal zijn 14 profielbeschrijvingen gemaakt tot maximaal 2,45 m - mv. Om de onderlinge samenhang binnen een raai te kunnen beschrijven zijn de boringen uitgezet in dwarsdoorsneden, waarbij de maaiveldhoogte is afgeleid van AHN2 met een dichtheid van één hoogtecijfer per gridcel van 0,5 m.

Op de locaties van de profielbeschrijvingen zijn bodemonsters genomen en indien grondwater werd aangeboord ook grondwatermonsters. Daarnaast zijn aanvullend op nabijgelegen locaties bodemonsters genomen en zijn oppervlaktewatermonsters uit de beek verzameld.

1.4 Analyses

De geselecteerde bodemonsters werden na het verzamelen in het veld zo snel mogelijk geanalyseerd. Hieronder worden de verschillende analysetechnieken kort beschreven.

1. Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen wordt het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal per monster af te wegen in aluminium bakjes en gedurende minimaal 48 uur te drogen in een stoof bij 60 °C. Het percentage organisch stof in de bodem wordt berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe wordt het bodemmateriaal per monster, na het drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Het gloeiverlies komt in dit type bodems goed overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

2. Olsen-extractie

Bij de Olsen-extractie (paragraaf 2.2) wordt de hoeveelheid plantenbeschikbaar-P vrijgemaakt door verdringing van fosfor door bicarbonaat. Tevens worden ijzer- en aluminiumhydroxides gehydroliseerd waardoor geadsorbeerd P vrijkomt. De Olsen-P concentratie is een goede maat voor de concentratie plantenbeschikbaar P. Uit onderzoek op voormalige landbouwgebieden is gebleken dat een Olsen-P concentratie van 250-350 μmol per liter bodem als een grenswaarde kan worden beschouwd waarboven een ernstige verzuuring van de vegetatie optreedt. Dit is een goede streefconcentratie voor de ontwikkeling van natte schraallanden. Op zeer ijzerrijke bodems en kleibodems kan een streefconcentratie van 300-800 μmol per liter bodem worden gehanteerd voor de ontwikkeling van bijvoorbeeld een vochtig hooiland (dotterbloemhooiland). De combinatie van een Olsen-P extractie en een destructie maakt het mogelijk om de (indicatieve) verschrallingsduur per bodemlaag uit te rekenen bij maaien en afvoeren (P-afvoer: 10 kg P/ha/jaar) en uitmijnen (P-afvoer: 40 kg P/ha/jaar). Hiermee wordt duidelijk in hoeverre verschrallingsbeheer een reële beheeroptie is of dat een (beperkte) ontgronding de voorkeur heeft.

Methodiek:

Bij deze extractie, wordt aan 3 gram droog bodemmateriaal 100 ml 0,5 M natriumbicarbonaat (NaHCO_3) toegevoegd. De pH van het extractiemedium wordt op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten worden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het supernatant onder vacuüm wordt verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract wordt bij 4 °C bewaard tot verdere analyse met de ICP-OES.

3. Destructie

Met behulp van een destructie worden de totale concentraties in de bodem bepaald. Destructieanalyses zijn van groot belang om de P-voorraad en de potentiële P nalevering van de bodems te bepalen. Daarnaast wordt ook de calcium-, ijzer- en aluminiumconcentratie van de bodem bepaald. Dit zijn belangrijke fosfaatbinders die de beschikbaarheid voor planten kunnen beperken. De totaal-calcium concentratie in de bodem geeft daarnaast een beeld van de mate van buffering en de totaal-aluminiumconcentratie van de kleigehoudendheid/het lutumgehalte van de bodem. Anders parameters die worden gemeten zijn S, Al, Mg en K. Destructieanalyses geven ook inzicht in de verhouding tussen ijzer en zwavel in de bodem (Fe/S ratio). De Fe/S ratio is van groot belang om in te kunnen schatten hoe goed ijzer nog in staat is om fosfaat te binden na eventuele vernatting van de toplaag. De S/(Ca+Mg) ratio geeft een beeld van de verzuringsgevoeligheid van de bodem bij droogval.

Methodiek:

Van gedroogde bodemonsters wordt 0,5 gram met 4 ml salpeterzuur en 1 ml waterstofperoxide in gesloten teflon cups gedestruëerd (ontsloten) in een magnetron. Hierbij wordt stapsgewijs energie toegediend waarbij alle verweerbare bodemdeeltjes oplossen. Vervolgens worden de monsters verdund tot 50 ml. Op de ICP-OES worden vervolgens de concentraties gemeten voor de verschillende elementen (P, Ca, Fe, Mg, Al, S, K).

4. Zoutextractie

Deze bepaling bestaat uit het schudden van verse bodem met natriumchloride. De pH-zout, de Al/Ca-ratio en de Ca-zout concentratie geven een indicatie voor de mate van buffering. Tevens wordt een indicatieve basenverzadiging berekend. De ammonium- en nitraatconcentraties geven een beeld van de hoeveelheid beschikbaar stikstof. De P-z concentratie geeft een indicatie van het labiel gebonden P wat kan uit- of afspoelen naar het grond- en/of oppervlaktewater. De concentratie uitwisselbaar calcium is (in combinatie met het bodemtype, de P- concentraties, de concentraties totaal Ca, Fe en Al en de hydrologische omstandigheden) zeer indicatief voor de natuurtypen die tot ontwikkeling kunnen komen.

Methodiek:

Aan 17,5 gram verse bodem wordt 50 ml milli Q water (0,2 M NaCl) toegevoegd. Gedurende 60 minuten worden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH wordt gemeten. Op de ICP-OES worden vervolgens de concentraties gemeten voor de verschillende

5. Oxalaatextractie

De oxalaatextractie bepaalt de adsorptiecapaciteit aan amorfe ijzer- en aluminiumhydroxiden waarmee de PSI (phosphate saturation index) kan worden berekend.

Methodiek:

Hiervoor wordt vers materiaal ingewogen dat overeenkomt met 2,5 gram droog materiaal met 50 ml extractiemedium ((COONH₄)₂.H₂O: 0,12M en H₂C₂O₄: 0,12 M), geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De extracten worden gefilterd met behulp van rhizons. Vervolgens wordt de hoeveelheid ijzer-gebonden en aluminium-gebonden fosfaat gemeten op de ICP-OES.

6. Analyse oppervlaktewater en grondwater

Van de watermonsters wordt de pH, alkaliniteit, EGV en hoeveelheid anorganisch koolstof (TIC) bepaald. Daarnaast vindt een uitgebreide analyse plaats op de ICP (o.a. P, S, Ca, Mg, Al en Fe) en de auto-analyser (NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, Na⁺, K⁺ en Cl⁻). Tevens zal de totaal-stikstof en de concentratie DOC worden bepaald.

Bij de interpretatie van de gegevens zijn de resultaten van water- en bodemanalyses vergeleken in relatie tot de profielopbouw en de positie in de gradiënt. De resultaten van het onderzoek zijn verwerkt in deze rapportage.

2 Resultaten & discussie

2.1 Ecopedologische resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van het ecopedologisch onderzoek in algemene zin beschreven, in de hierop volgende paragrafen wordt per transect aangegeven welke eenheden zijn aangetroffen.

Geologische afzettingen

In de beschreven profielen is een aantal geologische afzettingen onderscheiden en weergegeven in de transecten.

Tertiaire klei

Deze zeekleien uit het tertiair komen in Twente op grote schaal voor en zijn vaak glauconiethoudend waardoor zij een groene of blauwe kleur hebben. In deze afzettingen kan ook pyriet voorkomen. Op de stuwwal zijn zij door het landijs opgestuwd en komen vaak als scheefgestelde schollen voor. In de omgeving van Hazelbekke komen zij ondiep voor in de gestuwde afzettingen. Ze kunnen erg ondoorlatend zijn voor water. Bij raai HB2 is de tertiaire klei deels kalkrijk.

Keileem

Morene-afzettingen van het landijs. Deze afzettingen bestaan uit een compact mengsel van stenen, zand en leem, wat deels met het landijs is meegenomen uit het oorsprongsgebied in Scandinavië (o.a. graniet), maar ook een lokale oorsprong kan hebben in de vorm van pleistocene rivierafzettingen (leem, zand, grind) en tertiaire kleien. De keileem ligt over de stuwwal waar het ijs overheen geschoven is, maar is op veel plaatsen ook weer verdwenen door latere erosie. In het dal van de Hazelbekke komt het niet voor, wel plaatselijk op de plateau's waarin het dal is ingesneden. Keileem kan slecht doorlatend zijn, maar als er zandige lagen in voorkomen is de doorlatendheid groter.

Dekzand en Fluvioperiglaciaal

Over de oudere afzettingen (tertiaire kleien, gestuwde afzettingen en keileem) is een laag dekzand (windafzettingen) en fluvioperiglaciale afzettingen (door sneeuwsmeltwater) afgezet. Het betreft goed doorlatende zanden met soms wat grind.

Hellingafzettingen

Op de flanken en bodem van de erosiedalen waar nu de beekdalen in liggen komen hellingafzettingen voor die bestaan uit zand met grind en leem en door hellingprocessen (solifluctie) in het dal zijn afgezet.

Beekafzettingen

Door afstromend water is in de beekdalen klei, leem en zand meegevoerd dat bij inundaties op lage delen is afgezet. Dit hebben wij in alle dalen aangetroffen, afgewisseld met lagen veen.

Veen

In delen van de beekdalen die permanent nat zijn, door kwel of stagnerend water is veen ontstaan omdat de plantenresten langzamer afgebroken worden dan dat de nieuwe aanvoer plaats heeft. Dit is overwegend broekveen (van elzenbroekbossen) of zeggeveen uit zeggemoerassen. Veel veen in de beschreven boringen is echter niet meer herkenbaar als broekveen of zeggeveen omdat het deels is afgebroken, verweerd of veraard. Waar door ontwatering lucht in het veen doordringt wordt het veen door bacteriën, schimmels en bodemdieren (zoals regenwormen) afgebroken tot zwart veraard veen. Ook onder zeer natte omstandigheden vindt wel afbraak plaats van het veen, maar door gebrek aan zuurstof verlopen deze processen langzamer dan in ontwaterd veen. Hiervoor zorgen bacteriën die aangepast zijn aan zuurstofloze omstandigheden. Hierbij ontstaat een slap gliedachtig onherkenbaar veen. Het veen in de beekdalen komt vaak voor in lagen, afgewisseld door de hierboven beschreven beekafzettingen.

Bodemtypen

De boringen zijn volgens de bodemclassificatie van Nederland ingedeeld bij bodemtypen, waarbij de legenda voor grootschalige karteringen is aangehouden (De Bakker & Schelling 1989, Ten Cate et al. 1995). In deze beekdalen zijn vooral de veendikte en veraardingsgraad, samen met de aard van de onderliggende minerale afzettingen bepalend voor de indeling bij een bodemtype. Op de stuwwaal, boven de beekdalen is de dikte van de minerale eerdlaag doorslaggevend. De volgende bodemtypen hebben wij aangetroffen:



Figuur 2.1 Bronmilieu bij raai HB4. Door de vlakke ligging is hier een dik pakket veen ontstaan (bodemtype oVo). Over het veenpakket stroomt ijzerrijk water af dat hoger in de beekdalflank is uitgetreden.

oVo – Vlietveengronden: Niet gerijpte rauwveengronden – HB1-02, HB1-03, HB4-01, HB402

Omdat het veenpakket hier dikker is dan 40 cm worden deze profielen tot de veengronden gerekend. Het zijn zeer natte gronden waarbij het veen niet gerijpt en vaak zeer slap is. Hoewel het veen permanent verzadigd is met (kwel)water bestaat het grotendeels uit onherkenbaar veen (zonder herkenbare plantenresten) en is het vaak wat kleiig. Het betreft vaak wat vlakker gelegen

delen van het beekdal waar het kwelwater wel oppervlakkig afstroomt naar de beek, maar lang genoeg blijft staan om zeer natte condities te laten bestaan. Plantaardig materiaal wordt langzaam afgebroken door bacteriën die onder anaerobe omstandigheden kunnen leven (zie ook bij Humusvormen hieronder). Omdat deze bacteriën zwavel reduceren om in hun energiebehoefte te voorzien kan dit proces versterkt worden door toestroom van sulfaathoudend water. Het veen is vaak leem- of kleihoudend door minerale deeltjes die aangevoerd worden met water dat vanaf de flanken van het beekdal toestroomt. Bij raai HB4, op de overgang naar de benedenloop van de Hazelbeek komen ook inundaties van de beek voor waardoor kleideeltjes worden afgezet. Vanuit een zijbeekje stroomt hier ook ijzerrijk water over het veenpakket (zie figuur 2.1).

vWzt – Moerige eerdgrond met een moerige bovengrond op zand zonder podzol-B, met tertiaire klei in de ondergrond – HB1-4

Bij moerige eerdgronden is de veenlaag dunner dan 40 cm. Het veen is door oxidatie als gevolg van verdroging deels verdwenen waarbij een veraarde moerige bovengrond over is gebleven. Bij deze eenheid ligt het restant veen op zandige hellingafzettingen, waaronder tertiaire klei voorkomt.

aWzt - Moerige eerdgrond met een kleiarne moerige bovengrond op zand zonder podzol-B, met tertiaire klei in de ondergrond – HB3-1, HB3-2

Deze bodems zijn vergelijkbaar met het vorige type vWzt, maar het veen is verder veraard.

Wgt – Broekeerdgrond, moerige eerdgrond op gerijpte zavel of klei (hier tertiaire klei) – HB2-2, HB2-3

Deze bodems zijn vergelijkbaar met de vorige twee typen (vWzt en aWzt), maar hier ontbreekt de zandige tussenlaag en ligt de veenrest direct op de tertiaire klei.

zEZ33, zEZ55 – Hoge zwarte enkeerdgrond in zwak lemig zeerfijn zand (zEZ33) of in sterk lemig matig fijn zand (zEZ55). – HB1-05, HB2-05

Op de stuwwal komen oude bouwlandgronden voor waar door ophoging met potstalmest, maar ook door het opbrengen van grond van elders een dikke minerale eerdlaag is ontstaan (> 50 cm). Deze gronden komen op enkele plaatsen boven het beekdal voor.

tZg17, tZg53x – Zwarte beekeerdgronden met een minerale eerdlaag van 15-30 cm dikte in uiterst fijn, zeer sterk lemig zand (tZg17) en zwak lemig matig fijn zand met ondiep keileem (tZg53x) – HB1-01, HB2-01

Bij beekeerdgronden komt ondiep in de bodem roest voor. In beekdalen is dat het gevolg van aanvoer van ijzer met kwelwater. De beekeerdgronden in deze boringen liggen echter boven het beekdal. Hier is de aanwezigheid van ijzer te verklaren door het ondiep voorkomen van een voor water slecht doorlatende laag, waardoor periodiek waterverzadigde omstandigheden optreden. Bij HB1-01 is de onderliggende tertiaire klei niet aangeboord, maar speelt de textuur van het uiterst fijne zeer sterk lemige dekzand een rol waardoor deze bodem snel waterverzadigd is en een hoge capillaire opstijging kent. Bij HB2-01 is de ondiep voorkomende keileem de reden van het voorkomen van roest in de bovengrond.

Zn55 – Vlakvaaggrond in sterk lemig matig fijn zand – HB2-04

Bij de vlakvaaggrond ontbreekt een minerale eerdlaag of een moerige bovengrond. Het profiel bestaat geheel uit zand, zonder bodemvorming. In dit geval komt dat door de ligging van de bodem in een bronsituatie in de dalflank van de zuidelijke bovenloop. Er treedt continue water uit, maar door de ligging op een helling stroomt het water direct af, waardoor geen veenvorming of bodemvorming plaats vindt.

Humusvormen

De mate waarin organische stof in de bodem wordt afgebroken, wordt opgenomen door homogenisatie of juist accumuleert in de vorm van strooisellagen, wortelmatten of veenlagen wordt bepaald door de input van organisch materiaal en de activiteit van het bodemleven (wormen, insecten, bacteriën, schimmels). De activiteit van dit bodemleven hangt op haar beurt weer af van milieuomstandigheden als vochttoestand, zuurgraad en voedselrijkdom van de bodem. Omdat onder verschillende omstandigheden deze activiteit varieert, zal vers organische materiaal (bladeren, takjes, wortels) meer of minder snel worden afgebroken en opgenomen in de bodem (homogenisatie), of juist accumuleren op de bodem. Dit komt tot uiting in verschillende soorten humushorizonten met meer of minder verteerd organisch materiaal óp en ín de bodem. Door deze verschillende horizonten te beschrijven kunnen 'humusvormen' onderscheiden worden, vergelijkbaar met bodemtypen op de bodemkaart.

Bij de beschrijving van de laaginformatie zijn de moerige horizonten gecodeerd volgens de humusvorm classificatie (Van delft et al. 2006). Daarbij worden veen- en moerige horizonten van semi-terrestrische milieu's aangeduid met een hoofdletter O, gevolgd door een kleine letter die de mate van omzetting van het veen aangeeft en informatie geeft over de aard van de omzetting, als gevolg van het milieu waarin dat heeft plaatsgevonden:

- Of (fibric) – Veen waarin nog bijna geen afbraak heeft plaatsgevonden (hier niet aangetroffen, vooral in hoogveen);
- Om (mesic) – Het veen is gedeeltelijk afgebroken, plantenresten zijn nog wel herkenbaar, maar er komt ook vrij veel fijn organisch materiaal in voor. Het veen bestaat in deze beekdalen uit mesotroof broekveen. De Oh- en Og-horizonten zijn ook uit dit veentype ontstaan. Hier wordt Om-horizont aangetroffen bovenin zeer natte profielen;
- Oh (humic) – Veraard veen zonder herkenbare plantenresten. Bij deze veraarding onder invloed van zuurstof bovenin min of meer ontwaterde bodems kunnen veel nutriënten vrijkomen.
- Og (gyttja) – Onder zeer natte omstandigheden in zuurstofloos kwelmilieu omgezet veen waarbij ook geen herkenbare plantenresten meer voorkomen. Deze horizonten ontstaan onder mesotrofe, neutraal- basische omstandigheden zoals in bronmilieu 's. Afbraak vindt plaats door (zwavel)bacteriën. Dit kan mogelijk versterkt worden door aanvoer van sulfaathoudend kwelwater.

Afhankelijk van de aard van de omzetting en de dikte van de horizonten kunnen we, op basis van de humusvormclassificatie, in de profielen 7 humusvormen onderscheiden, vijf met een venige of moerige bovengrond (mor- en moder-humusvormen) en twee met een minerale bovengrond (mull humusvormen).

Mor en moder humusvormen:

Alle hier beschreven mor- en moder humusvormen worden tot de semiterrestrische humusvormen gerekend omdat zij ontstaan zijn onder directe invloed van grond of oppervlaktewater.

fRmf – Fluviatiele Beekmesimor (HB1-02)

Hierbij is de weinig omgezette Om-horizont dominant. De humusvorm wordt aangetroffen in de natste locaties met de bodemtype oVo. In de vlietveengronden wordt onder de Om-horizont wordt nog een Og-horizont aangetroffen. De humushorizonten bevatten ook slappe kleilaagjes, waardoor de fase 'fluviatiel' wordt onderscheiden (figuur 2.2).



Figuur 2.2 Vegetatieaspect en humusprofiel bij HB1-02. De humusvorm is een Fluviatiele Beekmesimor met weinig omgezet broekveen (Om-horizont) en kleilaagjes. Het bodemtype is een vlietveengrond (oVo).

fDEm – Fluviatiele Meereerdmoder (HB4-01, HB4-02)

Op zeer natte bodems met duidelijke kwelinvloed in bronmilieus (Vlietveengronden – oVo) bestaat het profiel vanaf maaiveld uit slap veen zonder herkenbare plantenresten (og-horizont). Hierin komen ook slappe kleilaagjes voor (fase 'fluviatiel'). Vertering van het veen heeft mogelijk plaats gevonden onder invloed van sulfaatreductie.

fDEf – Fluviatiele Beekeerdmoder (HB1-03)

Deze humusvormen worden gekenmerkt door een dominante Oh-horizont, waarin de veraarding heeft plaatsgevonden onder invloed van zuurstof. Hierbij spelen bacteriën een rol, maar ook regenwormen kunnen een rol spelen, deze zijn in de bovengrond ook aangetroffen. Vanaf 10 cm

komt echter ook weer weinig omgezet veen en vanaf 45 cm beekafzettingen en slap, anaeroob verteerd veen (Og-horizont) voor. Ook hier wordt de faseaanduiding 'fluviaal' gebruikt vanwege het voorkomen van kleilaagjes in het veen.

DEo - Moereerdmoder (HB2-02, HB3-01)

Bij de moereerdmoder is het veen zo sterk veraard dat het organische stof gehalte lager is dan 30% (OAh -horizont) en daarmee een overgang is naar een minerale bodem (figuur 2.9).

DEv - Vaageerdmoder (HB1-04, HB3-02)

fDEv - Fluviale Vaageerdmoder (HB2-03,)

Wanneer de O-horizont dunner is dan 15 cm wordt geen onderscheid gemaakt naar de aard van de omzetting en wordt de humusvorm aangeduid als 'Vaageerdmoder'. Dit is het geval bij profielen met een relatief diepe GLG waar ook een vrij hoge activiteit van regenwormen werd waargenomen. Hier is dus duidelijk sprake van aerobe veraarding.

Mull humusvormen:

In een mull-humusvorm ontbreken moerige lagen en strooisellagen, het profiel bestaat geheel uit mineraal materiaal waarin de organische stof is opgenomen en gehomogeniseerd.

LHf - Beekhydromull (HB1-01, HB2-04)

Dit is, net als de hiervoor beschreven humusvormen een semi-terrestrische humusvorm die ontstaan is onder invloed van grond- of oppervlaktewater. Kenmerkend zijn hydromorfe kenmerken binnen 25 cm - mv. De twee locaties onderscheiden zich wel in ontstaanswijze en profiel. Bij HB1-01 wordt organisch materiaal door een actief bodemleven (o.a. regenwormen) gehomogeniseerd waarbij een Ah-horizont ontstaat. Bij HB2-04 is geen duidelijke Ah-horizont ontstaan omdat in de zeer natte bronssituatie organisch materiaal wegspoelt. Vanwege het ontbreken van strooisel en veenvorming worden beiden tot de beekhydromull gerekend.

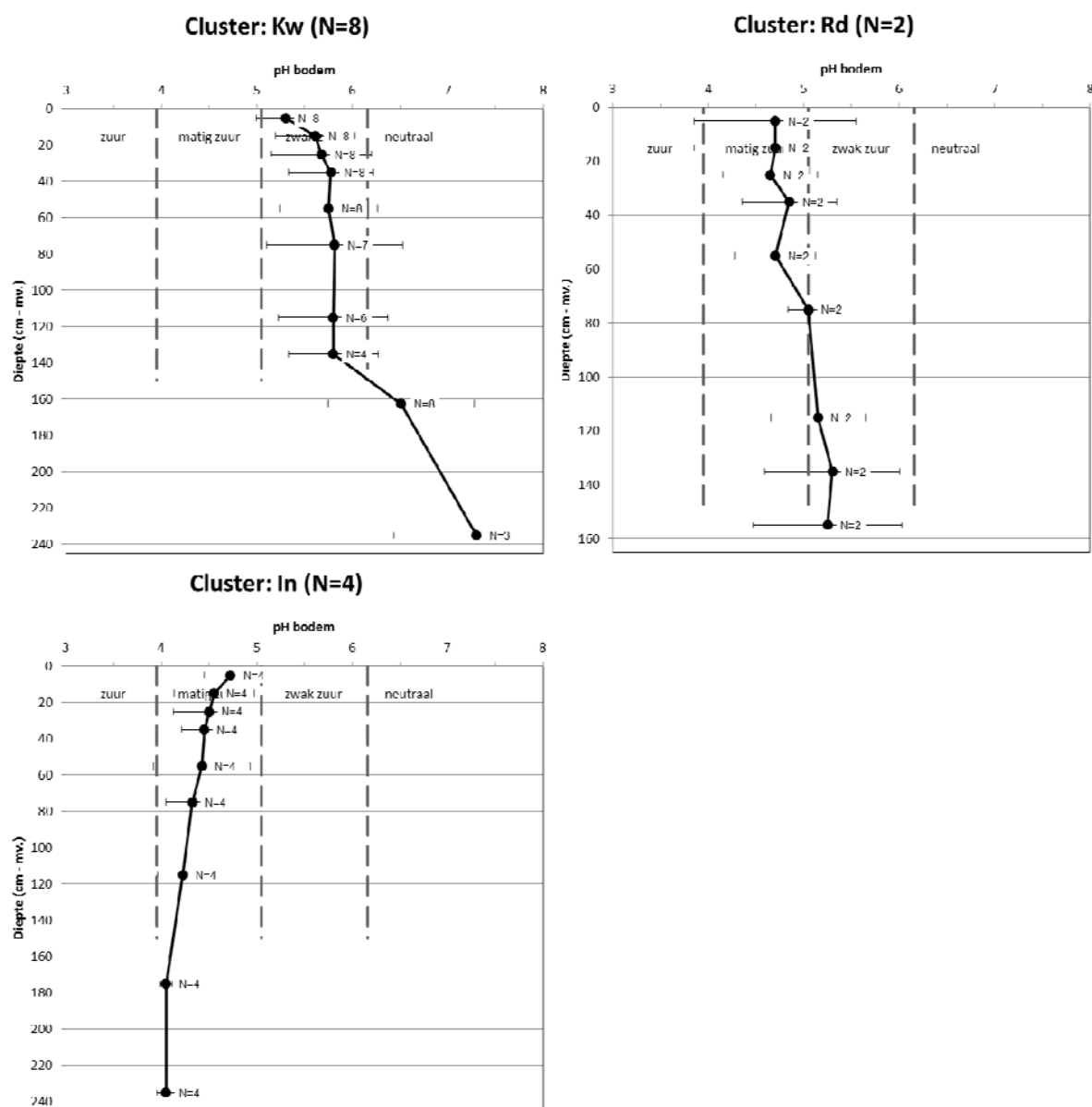
LAe - Enkakkermull (HB1-05, HB2-05)

Bij de enkakkermull ontbreken ook strooisellagen, wortelmatten of veenlagen maar is dat niet te verklaren vanuit de ecologische processen die leiden tot homogenisatie of juist accumulatie van organisch materiaal. Bij deze profielen is de homogenisatie het gevolg van grondbewerking. Hierdoor is op basis van de humusvorm geen informatie te achterhalen over de ecopedologische positie van het profiel.

pH-profielen

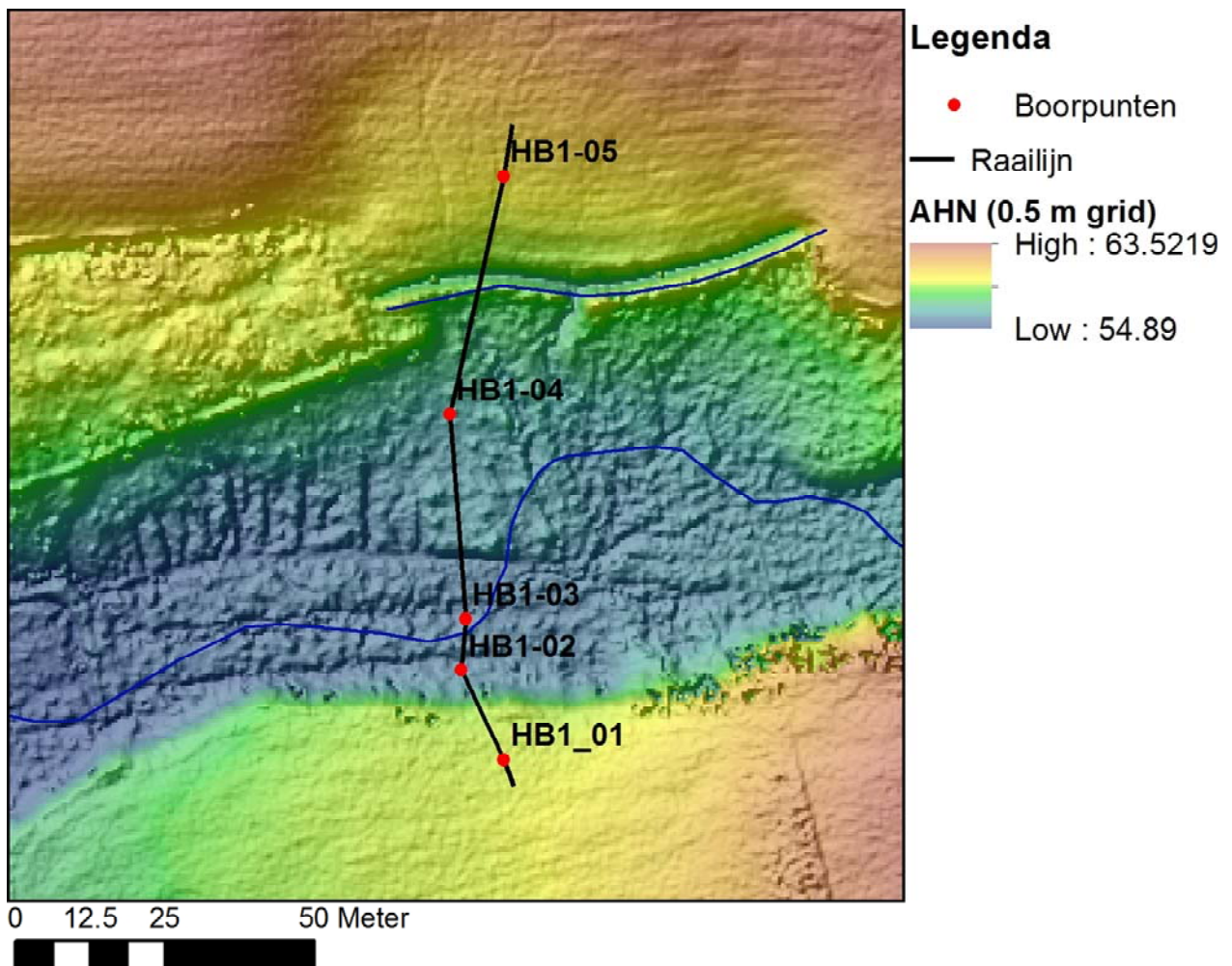
De zuurgraad in de bodem wordt door een aantal factoren bepaald. In de eerste plaats door de zuurbufferende eigenschappen van het moedermateriaal. In de kalkrijke tertiaire klei bij raai HB2 wordt het zuur gebufferd door het aanwezig kalk. Bij de kalkloze afzettingen die in het grootste deel van de overige boringen voorkomen is uitwisseling van kationen aan het adsorptiecomplex bepalend. Deze kationen (positief geladen ionen vooral calcium, Ca^{2+}) worden geadsorbeerd aan de licht negatief geladen klei- en humusdeeltjes. Bij input van zuur in de bodem, met zuur

neerslagwater, door stikstofdepositie en door natuurlijke afbraakprocessen in de bodem worden geadsorbeerde kationen omgewisseld voor waterstofionen (H^+) waardoor de zuurgraad (bepaald door de concentratie van deze waterstofionen) gebufferd wordt rond $pH-KCl = 5,0$. Als de aanvoer van zuur groter is dan de buffercapaciteit daalt de pH. Als de buffercapaciteit wordt aangevuld door nieuwe kationen (bijvoorbeeld calcium met kwelwater) neemt deze weer toe. Het verloop van de zuurgraad met de diepte in een profiel geeft daarom een indicatie voor de aanwezigheid van kwel, of dat juist infiltratie van neerslagwater dominant is. Door Wageningen Environmental Research (Alterra) is een methode ontwikkeld om aan de hand van het pH-profiel te bepalen of kwel voorkomt, of juist infiltratie, of dat er sprake is van een neerslaglens, waardoor de kwelinvloed wordt beperkt (Van Delft & Kemmers 2013, De Waal & Van Delft 2014). Bij de profielbeschrijvingen zijn op ca. 9 dieptes pH-bepalingen gedaan met indicatorstrookjes waarbij het pH-verloop met de diepte is vertaald naar een pH-profieltype. De pH-profielen zijn opgenomen in bijlage 1. In de transecten is het pH-verloop met de diepte weergegeven in het onderste deel van het figuur. In figuur 2.3 is het gemiddeld pH-verloop in drie pH-profieltypen samengevat. Op de stuwwal, boven de beekdalen, wordt een infiltratietype gevonden, met pH-waarden overwegend lager dan 4,5. In de beekdalen worden overwegend pH-waarden gevonden in het zwak zure bereik met in de ondergrond hogere waarden. In twee gevallen (HB3-01 en HB4-02) is de pH tot onder GLG niveau lager dan 5 en lijkt sprake van een diepe neerslaglens.



Figuur 2.3 Gemiddeld pH-profiel in drie pH-profieltypen.

2.2 Hazelbekke Raai 1



Figuur 2.4 Ligging van de boorpunten in raai HB1. De maaiveldhoogte is weergegeven op basis van het 0.5 m grid van AHN2.

In figuur 2.4 is de ligging van raai HB1 weergegeven. Deze is beschreven in de noordelijke tak van de Hazelbekke. Opvallend is het geulenpatroon in het dal. Van oost naar west zijn drie vrij recht verlopende geulen te herkennen die mogelijk terug te voeren zijn op het voormalig gebruik van het dal als hooiland, voordat hier elzenbroekbos tot ontwikkeling kwam. Dit deel is zeer nat. In de noordelijke flank is ook een patroon van greppels herkenbaar die verklaard kunnen worden uit een grote aanvoer van kwelwater in deze flank. In verband daarmee is op de overgang tussen plateau en flank een diepe sloot gegraven waarin drains uitmonden uit het noordelijk perceel (fig. 2.5). Het beekdal is begroeid met elzenbroekbos, tussen HB1-03 en HB1-04 is een iets lichter gekleurd, hoger gelegen deel herkenbaar waar elzen-essenbos op groeit.



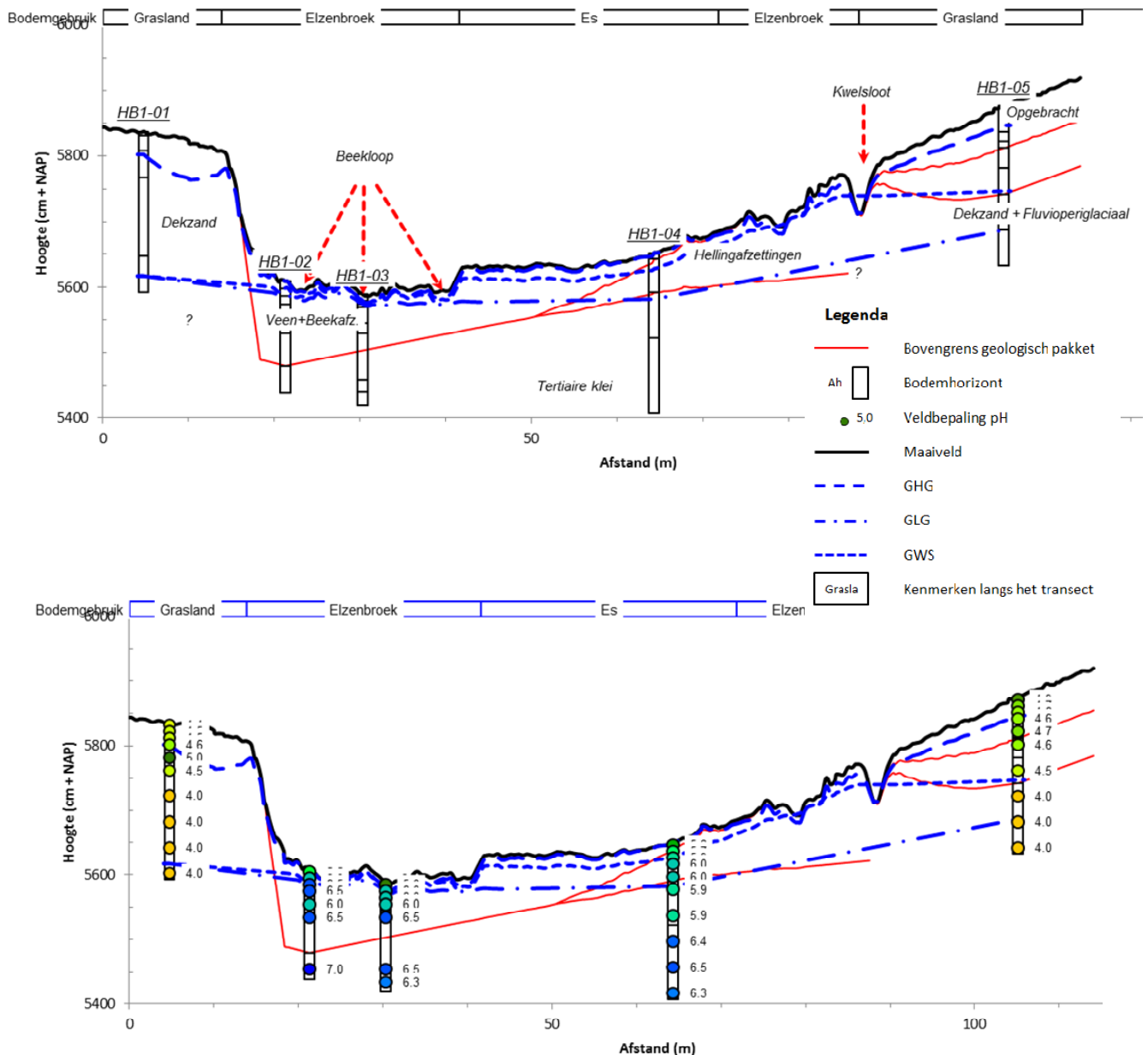
Figuur 2.5 Kwelsloot aan de rand van het beekdal op de noordelijke flank.

De opbouw van het beekdal is weergegeven in de dwarsdoorsnede in figuur 2.6. Het betreft een asymmetrisch dal dat is uitgesleten in de tertiaire kleien van de stuwwal en deels is afgedekt met hellingafzettingen en dekzanden. In het noordelijk plateau is ook een deel opgebracht. De dalbodem wordt gevormd door beekafzettingen en broekveen waardoor drie beekloopjes stromen. In dit laagste deel zijn de grondwaterstanden zeer ondiep, in het iets hoger gelegen deel met Elzenessenbos is het wat droger. Grondwater infiltreert op de hogere delen aan weerszijde van het dal en stroomt over de slecht doorlatende tertiaire klei naar het beekdal waar het als kwelwater toestroomt. Een deel van het kwelwater wordt afgevangen in de kwelsloot aan de noordzijde (figuur 2.5) en omgeleid naar de beek.

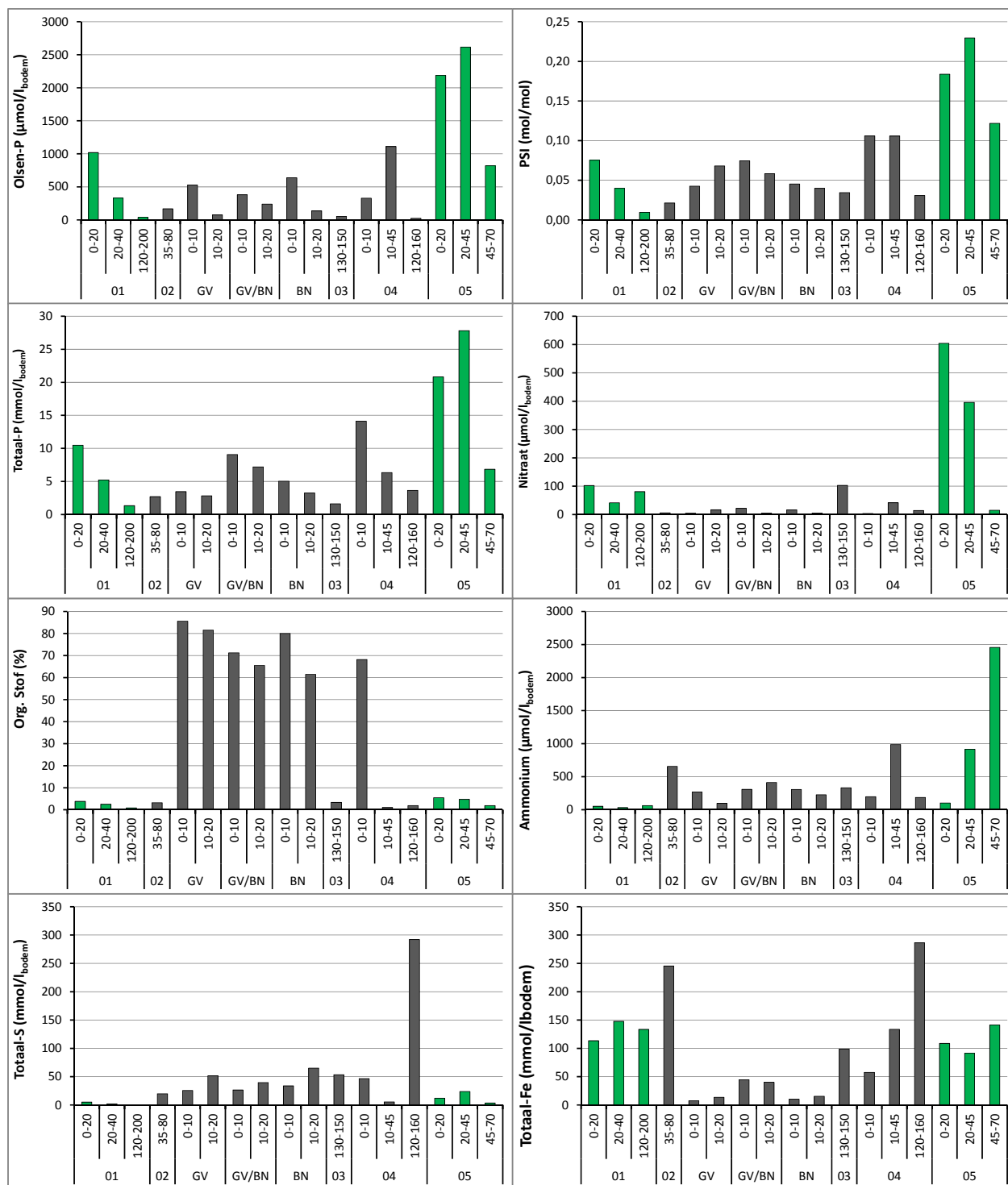
Tabel 2.1 Kenmerken van de boringen in raai HB1. Bodem: Bodemtype volgens Ten Cate et al. 1995a; GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand; GVG Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (berekend volgens Ten Cate et al 1995b); VD: dikte veen; HV: Humusvorm volgens Van Delft et al 2006), pH: pH-profieltype volgens De Waal & Van Delft 2014.

Boring	Bodem	Gt	GHG	GLG	GVG	GWS	VD	HV	pH	OPMERKING
HB1-01	tZg17	Vbd	35	220	66	220	0	LHf	In	Natuurgrasland. Zeer sterk lemig uiterst fijn zand, waarschijnlijk dekzand. Geen tertiaire klei binnen boorbereik, waarschijnlijk wel dieper.
HB1-02	oVo	wla	0	20	7	10	130	fRMf	Kw	Nat Elzenbroek in beekdalflank. Venige dalopvulling met kleinschakeling op tertiaire klei.
HB1-03	oVo	wla	10	15	14	10	150	fDEf	Kw	Nat elzenbroek. 1,5 m van beek, ca 15 cm boven beekpeil. Venige dalopvulling met kleinschakeling, binnen 170 cm geen tertiaire klei.
HB1-04	vWzt	lla	0	70	15	24	10	DEv	Kw	Es en Els met Bitterzoet, Brandnetel, Zwarte bes, Engelwortel. Dunne moerige

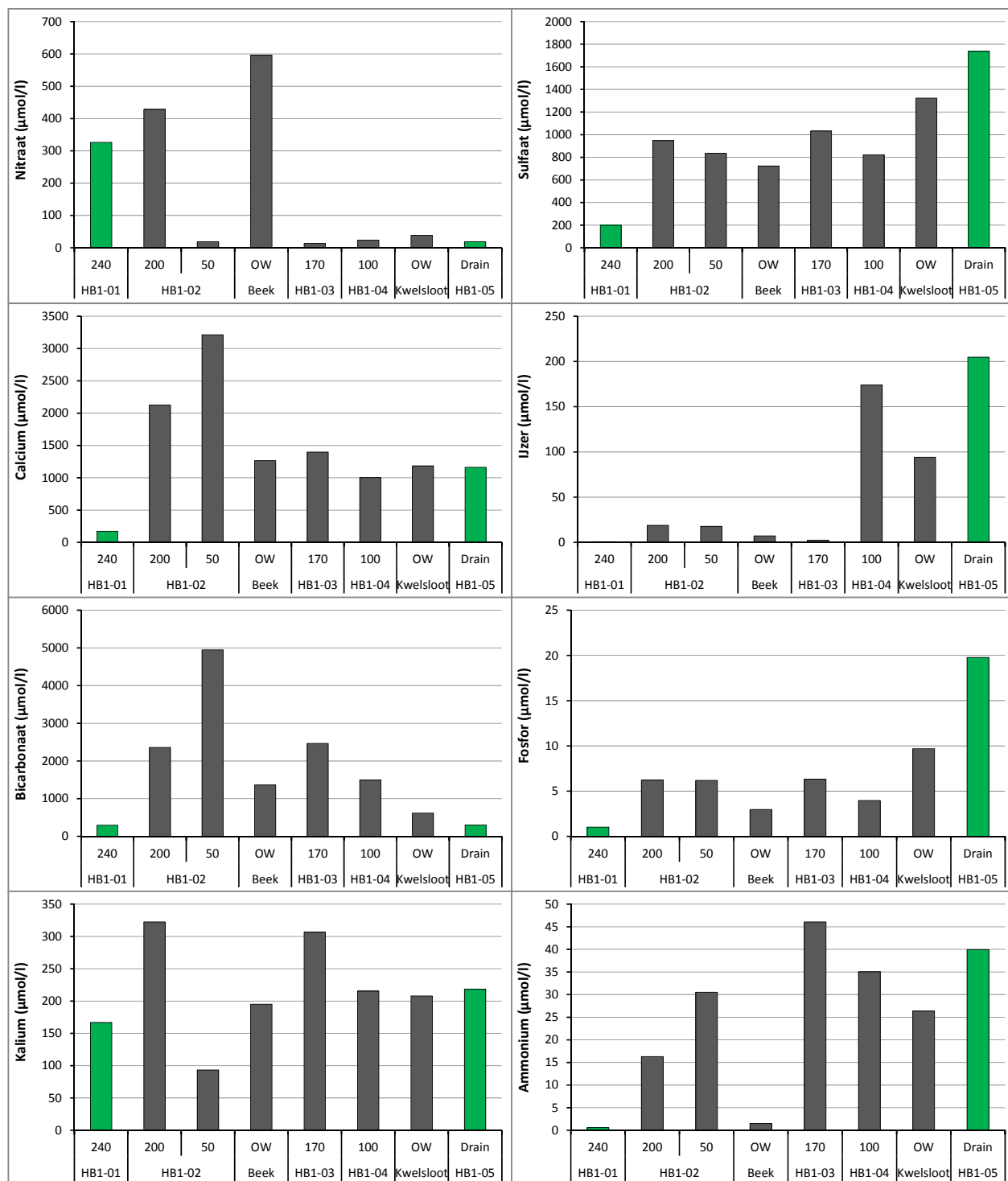
Boring	Bodem	Gt	GHG	GLG	GVG	GWS	VD	HV	pH	OPMERKING
										bovengrond, op hellingafzettingen. Vanaf 60 cm tertiaire klei.
HB1-05	zEZ33	Vbd	30	190	57	130	0	L Ae	In	Agrarisch grasland, bovengrond deels opgebracht op dekzand en fluvioperiglaciaal. Binnen boorbereik geen tertiaire klei.



Figuur 2.6 Schematische weergave van de dwarsdoorsnede van het beekdal bij HB1. In de bovenste tekening zijn de boringen en andere landschapkenmerken aangegeven, alsmede de geologische afzettingen, in de onderste tekening is het verloop van de pH met de diepte aangegeven.



Figuur 2.7 Bodemchemische eigenschappen in raai HB1. 01 t/m 05 correspondeert met de locatieaanduiding uit figuur 2.4 en 2.6. GV, GV/BN en BN staan voor locaties gelegen tussen de locatie HB02 en de beek die gedomineerd werden door Paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*) (GV), Grote brandnetel (*Urtica dioica*) (BN, of door een gemengde vegetatie van Paarbladig goudveil en Grote brandnetel (GV/BN). Op de x-as wordt het diepte interval aangegeven (in cm onder maaiveld) waarover de grondmonsters verzameld zijn.



Figuur 2.8. Grondwater eigenschappen in raai HB1. 01 t/m 05 correspondeert met de locatieaanduiding uit figuur 2.4 en 2.6. Beek staat voor het oppervlaktewater uit de beek bemonsterd tussen de locaties HB1-02 en HB1-03. 'Kwelsloot' staat voor het water dat werd bemonsterd uit de kwelsloot. Op de x-as wordt de diepte aangegeven (in cm onder maaiveld) waarop de grondwatermonsters werden genomen.

Op locaties HB1-01 is er sprake van een inzijsituatie in een weiland dat al sinds langere tijd verschaald wordt en waar geen bemesting meer plaatsvindt. Er is een grondwater monster genomen op een diepte van 240 cm onder maaiveld. Het bemonsterde grondwater (grondwater stand 170 cm onder maaiveld) vertoont, zoals verwacht, alle eigenschappen van infiltrerend regenwater. Het water is zwak gebufferd met een lage bicarbonaat- en calciumconcentratie. Het water bevat $\pm 330 \mu\text{mol/l}$ nitraat (20 mg/l NO_3^-) en $200 \mu\text{mol/l}$ sulfaat ($19 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$). De verhoogde nitraatconcentratie wordt veroorzaakt door uitspoeling van nitraat uit de (in het verleden) bemeste landbouwbodem en/of wordt veroorzaakt door van buiten komend en onder het perceel toestromend grondwater. De ijzerconcentratie van het grondwater is laag.

Op deze locatie is op drie verschildte dieptes de bodem geanalyseerd. Er is sprake van een afname van de fosforconcentratie in de diepte. De toplaag is duidelijk rijker aan fosfor (de Olsen-P concentratie bedraagt $1000 \mu\text{mol/l}_{\text{bodem}}$ en de totaal-P concentratie $10,5 \text{ mmol/l}_{\text{bodem}}$). Deze concentraties zijn hoger dan de achtergrondconcentraties die doorgaans in zandige onbemeste bodems worden gemeten ($<250 \mu\text{mol/l}_{\text{bodem}}$ Olsen-P en $3 \text{ mmol/l}_{\text{bodem}}$ totaal-P), maar in intensief gebruikte landbouwkundige percelen worden doorgaans (veel) hogere concentraties gemeten in de toplaag (2 tot 5 maal hoger). De nitraatconcentraties in de toplaag zijn voor landbouwbodems relatief laag maar er wordt wel nitraat gemeten tot op een diepte van meer dan 2 meter. In tegenstelling tot fosfaat, dat goed wordt gebonden in de toplaag van de bodems, is nitraat erg mobiel waardoor het uit kan spoelen naar diepere bodemlagen. De bodems zijn verder ijzerhoudend en zwavelarm.

Nabij locatie HB 1-02 werden 2 peilbuizen bemonsterd, een ondiepe peilbuis (B12B) met een filter tot op 50 cm onder maaiveld en een diepere buis (B12A) met een filter tot op 200 cm onder maaiveld. In het ondiepe filter stond het grondwater tot op 5 cm onder maaiveld terwijl in het diepere filter het grondwater 20 cm boven maaiveld stond. Er is op deze locatie dus duidelijk sprake van kweldruk. Het grondwater wordt gekenmerkt door hoge calcium-, bicarbonaat- en sulfaatconcentraties. De nitraatconcentratie van het diepere grondwater bedraagt $430 \mu\text{mol/l}$ (20 mg/l NO_3^-) terwijl in het ondiepe grondwater maar $18 \mu\text{mol/l}$ nitraat wordt gemeten. Dit laat zien dat het nitraat uit het opkwellende grondwater wordt gedenitrificeerd in de organische toplaag van de bodems. Ook de sulfaatconcentratie is iets lager in het ondiepe grondwater ($835 \mu\text{mol/l}$) dan in het diepere grondwater ($950 \mu\text{mol/l}$).

De ijzerconcentratie van het grondwater is laag ($18 \mu\text{mol/l}$) en er wordt dus met het grondwater veel meer sulfaat dan ijzer aangevoerd. Dit is ongunstig omdat onder natte condities sulfaat reductie kan leiden tot de vorming van sulfide. Dit sulfide kan binden aan ijzer waarbij ijzersulfide worden gevormd. De beschikbaarheid van ijzer neemt hierdoor af waardoor er minder ijzer(III)hydroxide kan worden gevormd waaraan fosfaat kan binden. Uiteindelijk kan er ook (giftig) sulfide accumuleren in het bodemwater. In de bodems werd lokaal ook duidelijk een sulfidegeur waargenomen. Zowel nitraat als sulfaat stimuleren ook de anaerobe afbraak (decompositie) van organisch materiaal, waardoor aanvoer van nitraat en sulfaatrijk water kan leiden tot een degeneratie van de bodemstructuur.

Tussen locatie HB1-02 en de beek werden op een drietal locaties bodemonsters genomen van de toplaag van de bodem. Het ging hierbij om een locatie die werd gedomineerd door Paarbladig goudveil, een locatie die werd gedomineerd door brandnetel en een locatie die werd gedomineerd door zowel goudveil als brandnetel. In de organische toplaag is overwegend meer zwavel dan ijzer aanwezig. Dit maakt de bodems gevoelig voor sulfaatrijk water. Op locatie 2 werd een kleilaag bemonsterd die hier als beekafzetting aanwezig was op een diepte van 35 tot 80 cm. Deze kleilaag was relatief ijzerrijk en zwavelarm. In de natte en meer organische bodem in het beekdal zijn de ammoniumconcentraties van de bodem hoger dan de nitraatconcentraties. Toch meten we ook hier nog nitraat terug in de bodem. De nitraat- en ammoniumconcentraties lijken het laagste te zijn

voor de locatie die door Goudveil wordt gedomineerd. De verschillen met de locaties met brandnetel zijn echter niet heel erg groot. Mogelijk speelt naast de aanvoer van sulfaat en nitraat via het grondwater ook de inundatie met beekwater een rol bij de brandnetelverruiging. Het beekwater is rijk aan nitraat ($600 \mu\text{mol/l}$; 37 mg/l NO_3^-) en sulfaat ($723 \mu\text{mol/l}$; $69 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$). Ook elders in Nederland zien we dat locaties in broekbossen die worden overstroomd met nitratrijk water worden gekenmerkt door een sterke verruiging met brandnetel. Overigens zijn de gemeten nitraat- en sulfaatconcentraties in de beek vergelijkbaar met de concentraties die worden genoemd in het rapport van van Bell Hullenaar uit 2004.

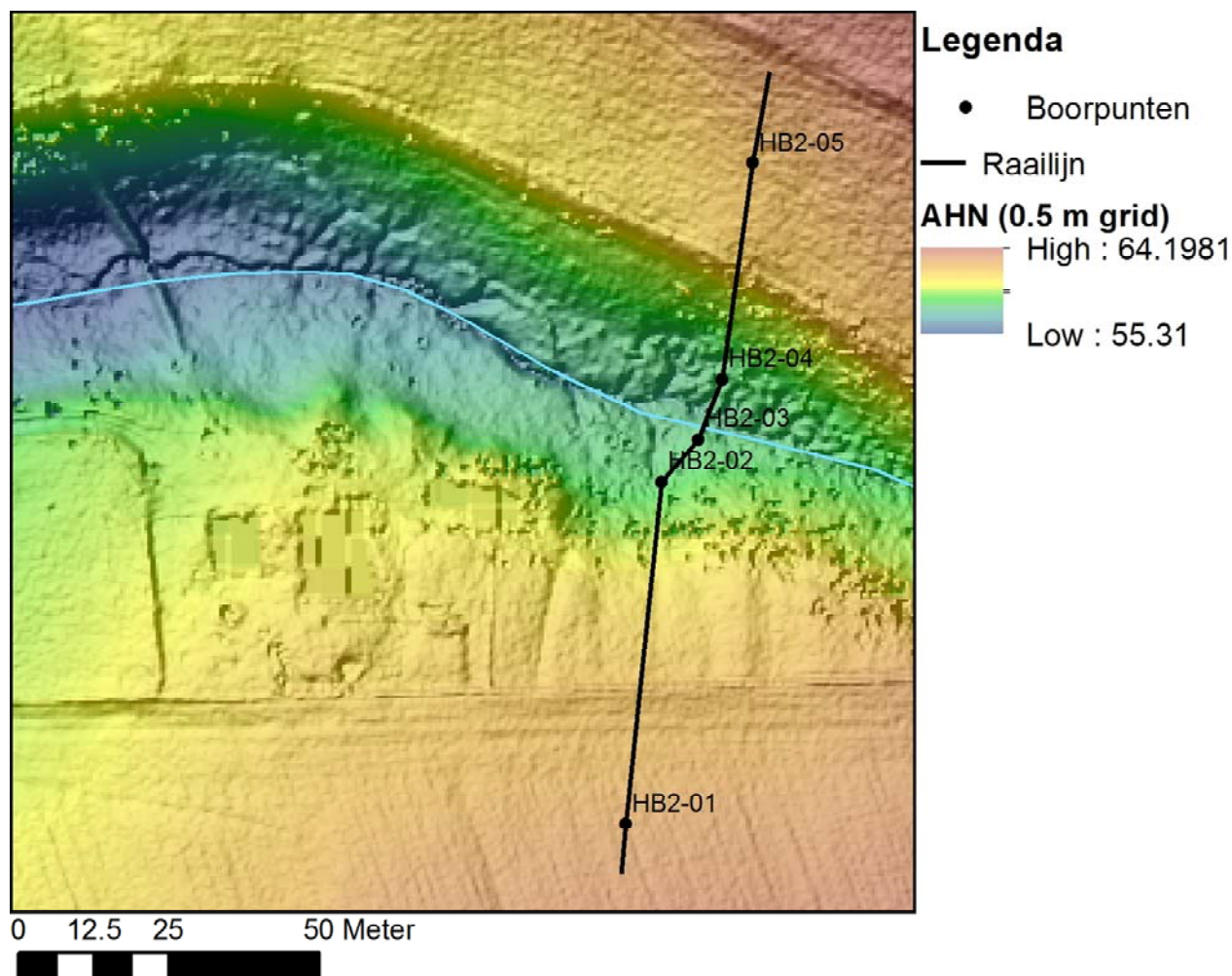
Locatie HB1-05 ligt in het weiland dat ten noorden van het beekdal ligt. Het perceel grenst aan een zogenaamde kwelsloot die ook water afvangt van het perceel. In het perceel zijn een aantal drainage buizen aangelegd die water uit het perceel afvoeren naar de sloot. Uit een van deze buizen is stromend drainagewater opgevangen. Deze drainagebuis voert grondwater af dat hier opwelt in het perceel (bron). Het water is zwak gebufferd met een lage bicarbonaatconcentratie ($300 \mu\text{mol/l}$). De sulfaatconcentratie van het grondwater is hoog ($1700 \mu\text{mol/l}$) ($166 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$) en we hebben hier dan ook duidelijk te maken met een calciumsulfaattype water. Dit kan ontstaan door oxidatie van pyriet houdende bodemlagen in de ondergrond. Veelal vindt deze oxidatie plaats door uitspoeling van nitraat uit landbouwgronden of bossen. Hierbij kan pyriet volledig of onvolledig geoxideerd worden. Bij onvolledige oxidatie komt ook Fe^{2+} vrij. We zien dat het grondwater rijk is aan ijzer ($200 \mu\text{mol/l}$), zodat er in ieder geval geen volledige oxidatie van pyriet plaatsvindt. In het grondwater wordt vrijwel geen nitraat meer aangetroffen ($18 \mu\text{mol/l}$; $1,2 \text{ mg/l NO}_3^-$).

In tegenstelling tot locatie HB1-01 worden er in de bodem veel hogere concentraties aan Olsen-P en totaal-P aangetroffen en ook de fosfaatverzadiging (PSI) van de bodem is veel hoger. De fosfaatconcentratie in het grondwater onder het perceel bedraagt $20 \mu\text{mol/l}$ ($0,61 \text{ mg/l P}$). Het gaat hier dus duidelijk om een veel intensiever gebruikt landbouwperceel. Ook de nitraat- en de ammoniumconcentraties zijn veel hoger op locatie HB1-05 dan op locatie HB1-01. In de toplaag is het stikstof vooral aanwezig als nitraat. Dieper in de bodem nemen de ammoniumconcentraties sterk toe. Dit ammonium accumuleert hier omdat het wordt geadsorbeerd aan lutumdeeltjes en omdat de nitrificatie hier slecht verloopt. Overigens zou het sulfaat ook nog deels afkomstig kunnen zijn uit bemesting van het perceel met ammoniumsulfaat. In de bodemlaag van 20-45 cm diepte wordt ook $3000 \mu\text{mol/l}$ (ruim $2400 \mu\text{mol/kg}$) aan sulfaat gemeten (bijlage 2).

De waterkwaliteit van de kwelsloot lijkt op die van het bemonsterde grondwater uit het perceel en ook het grondwater dat is bemonsterd op locatie HB1-04 lijkt qua samenstelling op het water dat onder het perceel is bemonsterd. Het water is ijzerhoudend, sulfaatrijk en nitraatarm. Het grondwater op locatie HB1-4 heeft wel een hogere bicarbonaatconcentratie en een lagere sulfaatconcentratie.

Er is in de bemonsterde HB1 raai duidelijk sprake van een verschillende grondwaterkwaliteit tussen het water in het zuiden en het water in het noorden. Het water is steeds sulfaatrijk maar in het zuiden bevat het opwellende grondwater nog nitraat terwijl het uit het noordelijke deel toestromende grondwater geen nitraat meer bevat maar wel ijzer. Het sulfaat kan afkomstig zijn van sulfaat dat uitspoelt uit de bouwvoor (zowel dierlijke mest als kunstmest bevat sulfaat) maar kan ook vrijkomen door de reactie van uitspoelend nitraat met pyriet (ijzersulfides) in de ondergrond. Op locatie HB1-04 wordt op 120–150 cm diepte veel zwavel en ijzer gemeten. Het gaat hier om een tertiaire kleibodem. Dit laat in ieder geval zien dat de tertiaire klei gereduceerd zwavel (pyriet) kan bevatten, waaruit sulfaat kan worden vrijgemaakt door reactie met uitspoelend nitraat. Zolang het grondwater nitraat bevat kan er geen ijzer oplossen door ijzerreductie omdat nitraat als redoxbuffer werkt (nitraat is een energetische gunstigere electronenacceptor dan ijzer).

2.3 Hazelbekke Raai 2



Figuur 2.9 Ligging van de boorpunten in raai HB2. De maaiveldhoogte is weergegeven op basis van het 0.5 m grid van AHN2.

Tabel 2.2 Kenmerken van de boringen in raai HB2. Bodem: Bodemtype volgens Ten Cate et al. 1995a; GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand; GVG Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (berekend volgens Ten Cate et al 1995b); VD: dikte veen; HV: Humusvorm volgens Van Delft et al 2006), pH: pH-profieltype volgens De Waal & Van Delft 2014.

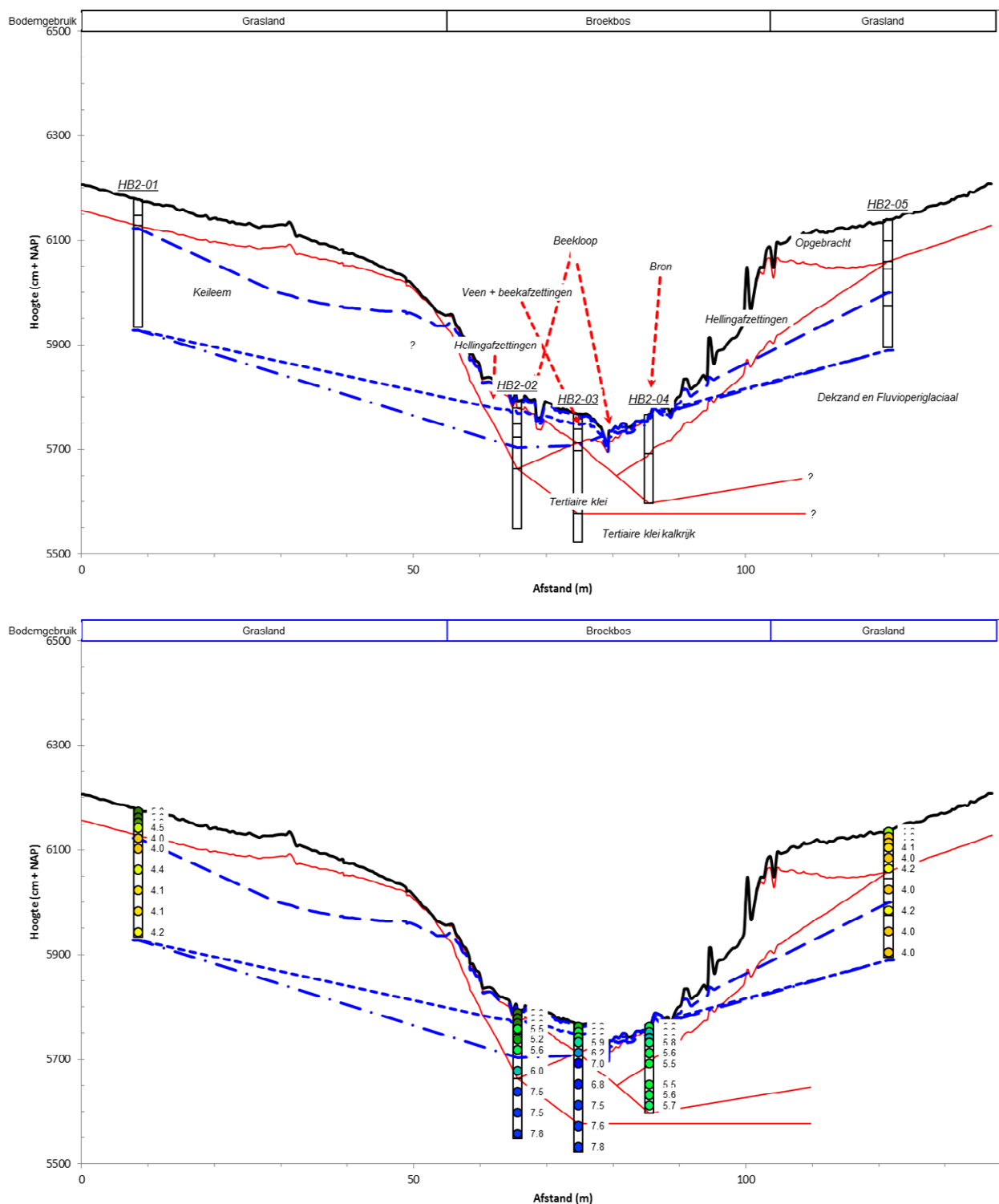
Boring	Bodem	Gt	GHG	GLG	GVG	GWS	VD	HV	pH	OPMERKING
HB2-01	tZg53x	Vld	55	250	87	250	0	LAe	In	Agrarisch grasland boven beekdal. Ondiep keileem, binnen boorbereik geen teritaire klei, waarschijnlijk wel dieper.
HB2-02	Wgt	IIIa	5	90	22	24	14	DEo	Kw	Nat elzenbroek in beekdalflank. Brandnetel, Vlier Zwarte bes. Dunne moerige bovengrond op hellingafzettingen. Vanaf 130 cm tertiaire klei.
HB2-03	Wgt	IIa	5	60	17	20	9	fDEv	Kw	Nat elzenbroek. 1.5 m van beek 70 cm boven beekbodem. Dunne moerige bovengrond met regenworm op gelaagde beekafzettingen. Vanaf 55 cm tertiaire klei.

Boring	Bodem	Gt	GHG	GLG	GVG	GWS	VD	HV	pH	OPMERKING
HB2-04	Zn55	wla	-5	5	1	0	0	LHf	Kw	Bron in beekdalflank, water aan maaiveld. Geen veen, geen klei, hellingafzettingen op fluvioperiglaciaal zand.
HB2-05	zEZ55	VIIId	140	300	164	250	0	LAe	In	Natuurgrasland op sterk lemig oud bouwlanddek. Hieronder fluvioperiglaciaal- en dekzand.

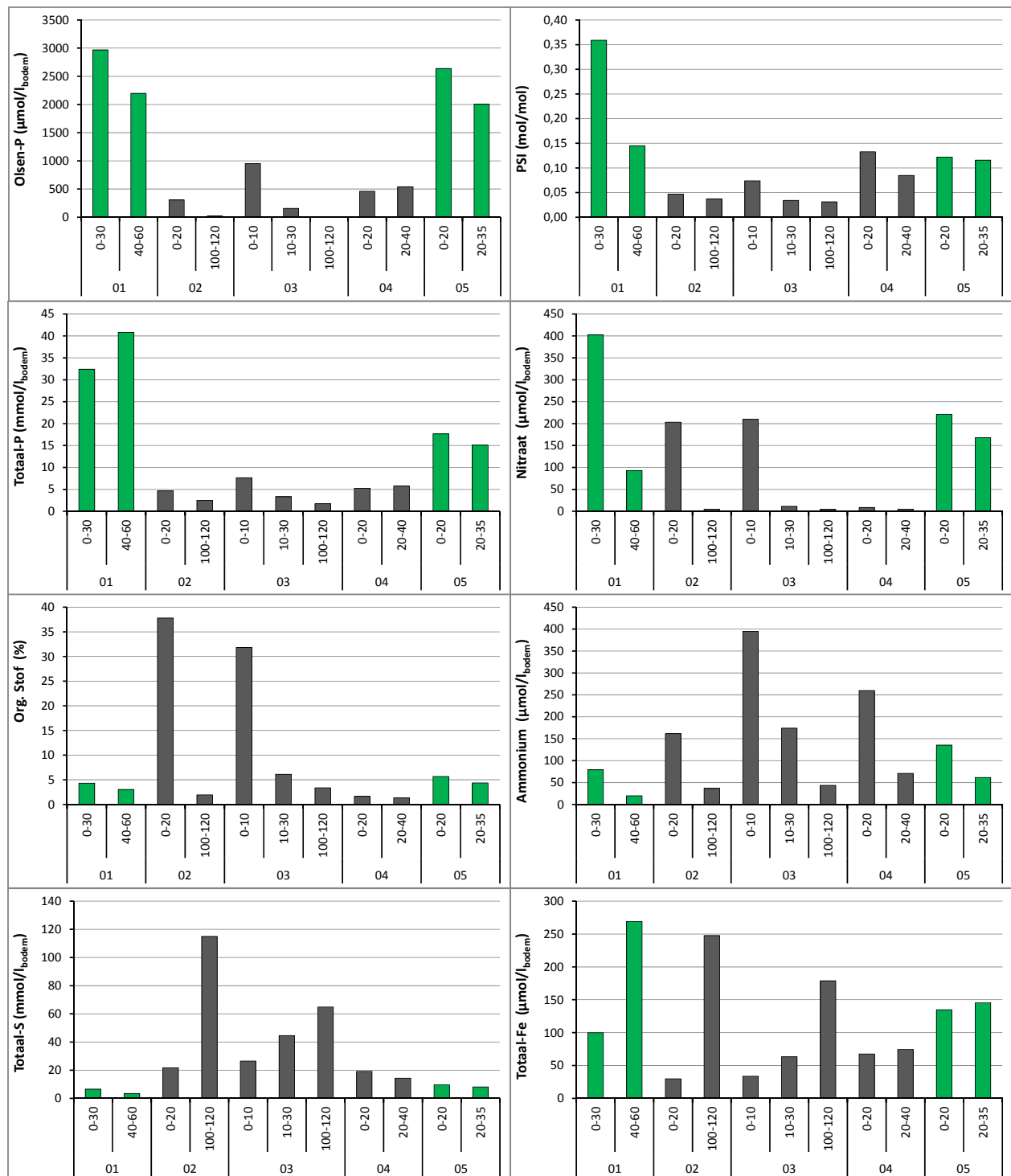


Figuur 2.10 Vegetatieaspect en ingesneden beek bij HB2-02. Rechts het humusprofiel, een Moereerdmoder (DEo) met een sterk veraarde, dunne moerige bovengrond op gelaagde beekafzettingen met broekveen in de ondergrond (vanaf 28 cm). Het bodemtype is een broekeerdgrond op gerijpte klei met tertiaire klei in de ondergrond (Wgt).

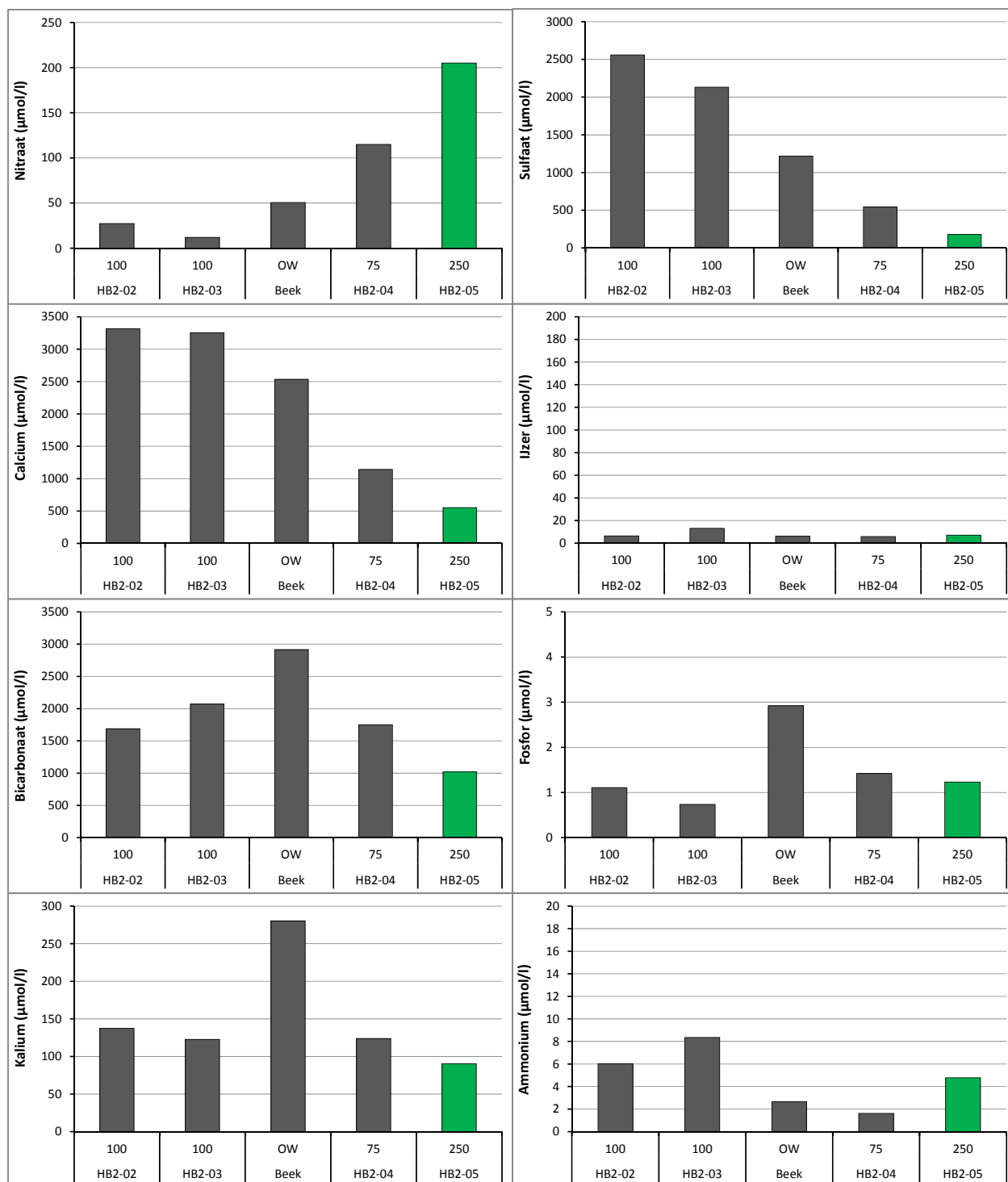
Op de zuidelijke flank van raai HB2 is een pakket keileem aangetroffen. Binnen boorbereik kon geen tertiaire klei gevonden worden, maar bij de boringen in het dal (HB2-02 en HB2-03) was dat wel het geval. In dit dal is deze klei kalkrijk. Ook hier is sprake van een asymmetrisch dal met aan de zuidkant een steilere helling dan aan de noordkant. Vooral op de noordflank zijn hellingafzettingen aangetroffen. Het diepste deel is opgevuld met veen en beekafzettingen. Hoe de ondergrond aan de noordkant verloopt is niet geheel duidelijk, maar het voorkomen van bronnen in deze flank doet vermoeden dat ook hier tertiaire klei voorkomt waarover water afstroomt. De beek is hier dieper ingesneden dan in de noordelijke tak (raai HB1), waardoor het veen sterker veraard en deels verdwenen is (figuur 2.10).



Figuur 2.11 Schematische weergave van de dwarsdoorsnede van het beekdal bij HB2. In de bovenste tekening zijn de boringen en andere landschapkenmerken aangegeven, alsmede de geologische afzettingen, in de onderste tekening is het verloop van de pH met de diepte aangegeven.



Figuur 2.12 Bodemchemische eigenschappen in raai HB2. 01 t/m 05 correspondeert met de locatieaanduiding uit figuur 2.9 en 2.11. Op de x-as wordt het diepte interval aangegeven (in cm onder maaiveld) waarover de grondmonsters verzameld zijn.



Figuur 2.13. Grondwatereigenschappen in raai HB2. De nummering correspondeert met de locatieaanduiding uit figuur 2.9 en 2.11. Beek staat voor het oppervlaktewater uit de beek bemonsterd ten noorden van locatie HB2-03. Op de x-as wordt de diepte aangegeven (in cm onder maaiveld) waarop de grondwatermonsters werden genomen.

In de bemonsterde raai HB2 liggen de locaties HB2-01 en locatie HB2-05 op een grasland dat respectievelijk ten zuiden en noorden van de zuidelijke tak ligt. Het gaat om percelen die zijn verrijkt met fosfor. De fosforconcentraties (Olsen-P, totaal-P) zijn echter duidelijk het hoogste op locatie HB2-01. Dit perceel wordt intensiever gebruikt dan perceel HB2-05. Ook de P verzadiging (PSI) van de toplaag is erg hoog voor dit perceel (0,36). Bij een PSI hoger dan 0,25 kan er van uit worden gegaan dat de bodem fosfaatverzadigd is en dat er uitspoeling van fosfaat naar diepere bodemlagen of het grondwater kan plaatsvinden. De toplagen van de landbouwbodems zijn, zoals verwacht, ook rijk aan nitraat waarbij op de meest voedselrijke locatie HB2-1 ook de hoogste nitraatconcentratie wordt gemeten. Op locatie HB2-05 is ook het grondwater bemonsterd. Dit grondwater bevatte 205 $\mu\text{mol/l}$ nitraat (12,7 mg/l NO_3^-) en was relatief arm aan sulfaat (179 $\mu\text{mol/l}$, 17 mg/l SO_4^{2-}).

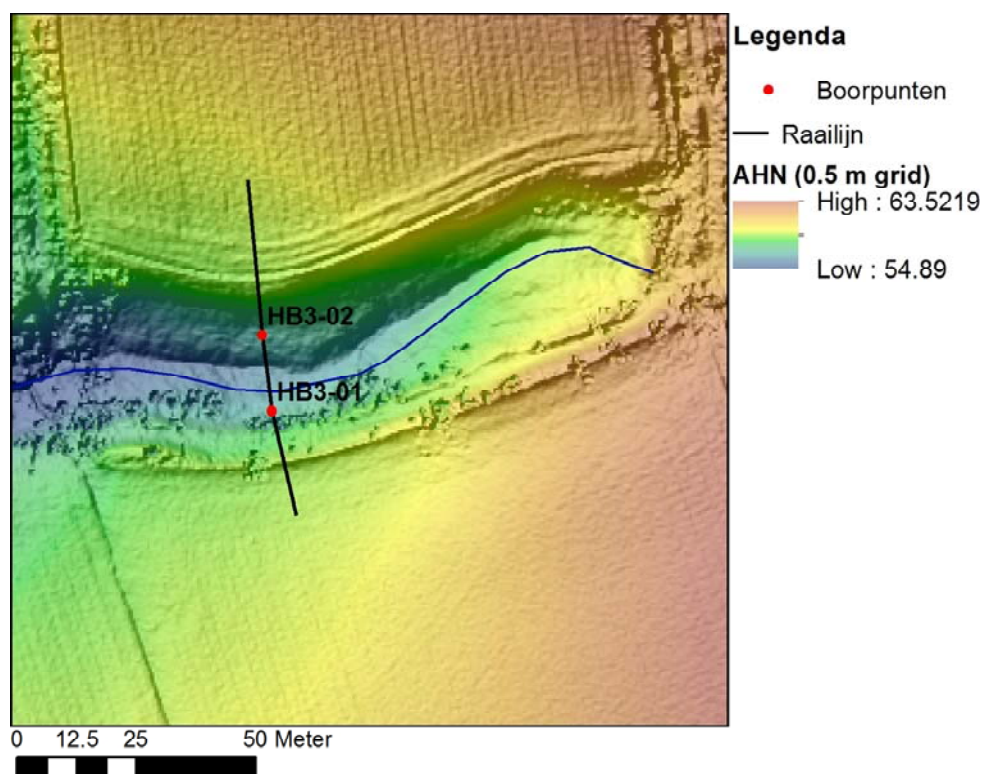
De locaties HB2-02 en HB2-03 liggen ten zuiden van de beek. De toplaag van deze locaties wordt gekenmerkt door een organisch stofgehalte van rond de 30 %. De nitraatconcentratie in de toplaag van deze bodem is duidelijk hoger dan in de nattere beekdallocaties in raai HB1 (gelegen ten zuiden van de noordelijke tak). De GLG op deze locaties ligt meer dan 60 cm onder maaiveld. De drogere omstandigheden leiden hier tot de oxidatie van organisch stof waardoor er minder organisch materiaal ophoopt en er ook sprake is van een accumulatie van nitraat (en ammonium) in de toplaag van de bodems. Locatie HB2-04 is een veel nattere minerale locatie met relatief weinig organisch stof in de toplaag van de bodem.

Het grondwater op de locaties HB2-02 en HB2-03 is zeer rijk aan sulfaat (>2000 $\mu\text{mol/l}$; >200 mg/l SO_4^{2-}) en ook rijk aan calcium (>3000 $\mu\text{mol/l}$) en bicarbonaat (1500-2000 $\mu\text{mol/l}$). Het grondwater is relatief arm aan nitraat (10-30 $\mu\text{mol/l}$; 0,8-1,7 mg/l NO_3^-). De sulfaatrijkdom van het grondwater kan ook hier worden veroorzaakt door uitspoeling van nitraat in het inrijgebied. De bemonsterde diepere bodems onder de locaties HB2-02 en HB2-03 zijn relatief rijk aan zwavel en ijzer. Vermoedelijk bevatte deze bodem zwavel in de vorm van pyriet of ijzersulfide waaruit sulfaat kan worden vrijgemaakt door oxidatiereacties met nitraat. De ijzerconcentraties in het grondwater zijn laag. Via het grondwater wordt hier dus veel meer sulfaat dan ijzer aangevoerd. Dit is ongunstig.

Op locatie HB2-4 (gelegen ten noorden van de zuidelijke tak) is het grondwater armer aan sulfaat (540 $\mu\text{mol/l}$; 53 mg/l SO_4^{2-}) en bevat het grondwater meer nitraat (115 $\mu\text{mol/l}$; 7,2 mg/l NO_3^-). Ook hier is het grondwater arm aan ijzer. De bicarbonaatconcentratie is vergelijk met de waarde die werd gemeten ten zuiden van de beek (1700 $\mu\text{mol/l}$) maar de calciumconcentratie is veel lager (1150 $\mu\text{mol/l}$).

Overeenkomstig de bemonsterde grondwaterkwaliteitsmonsters werd het beekwater gekenmerkt door een hoge sulfaatconcentratie (1220 $\mu\text{mol/l}$; 117 mg/l SO_4^{2-}) en een relatief lage nitraatconcentratie (51 $\mu\text{mol/l}$; 3,1 mg/l NO_3^-).

2.4 Hazelbekke Raai 3



Figuur 2.14 Ligging van de boorpunten in raai HB3. De maaiveldhoogte is weergegeven op basis van het 0.5 m grid van AHN2.

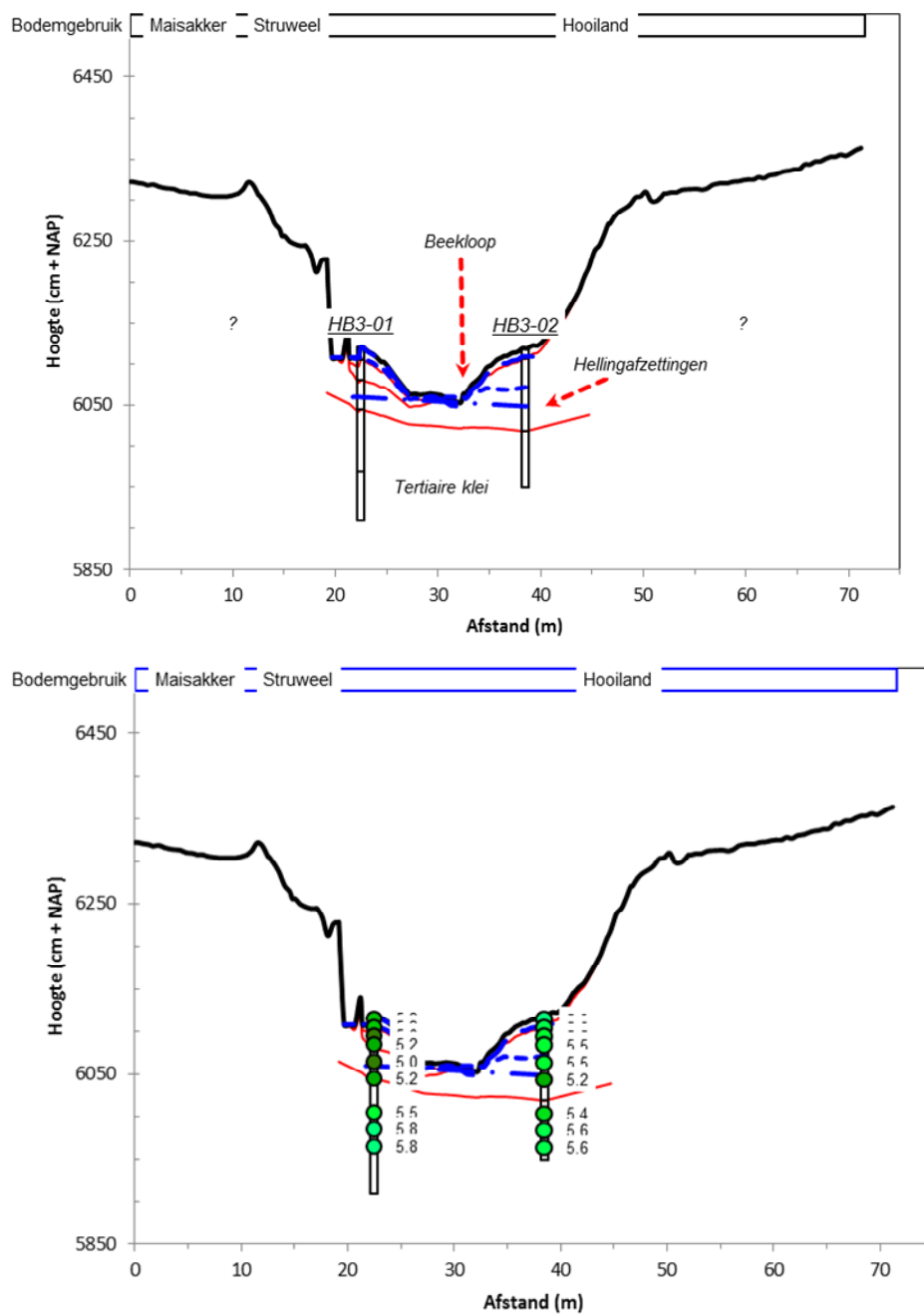


Figuur 2.15 Brongebied van de zuidelijke tak van de Hazelbekke bij Raai HB3, rechts het humusprofiel bij HB3-02 met 14 cm veraard veen op zandig hellingmateriaal met tertiaire klei in de ondergrond. De humusvorm is een vaageerdmoder (DEv) en het bodemtype een aWzt.

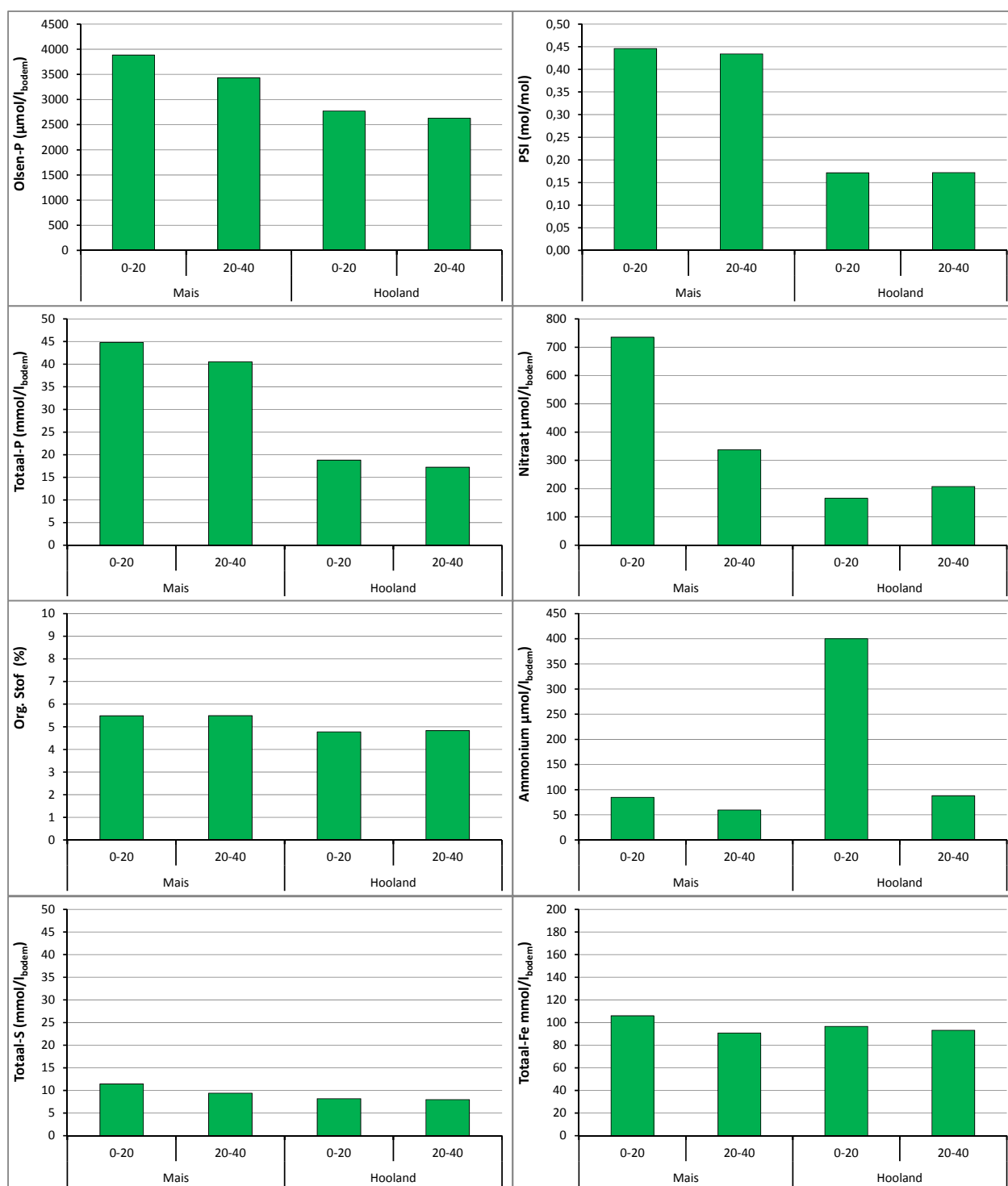
De raai HB3 is beschreven in het brongebied van de zuidelijke tak van de Hazelbekke. Hier zijn alleen boringen verricht in het dal zelf, waardoor de bodemopbouw in de flanken niet bekend is. In het dal is tertiaire klei aangetroffen met enkele dm's hellingafzettingen en een dunne moerige bovengrond. Deze bovengrond is sterk veraard.

Tabel 2.3 Kenmerken van de boringen in raai HB3. Bodem: Bodemtype volgens Ten Cate et al. 1995a; GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand; GVG Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (berekend volgens Ten Cate et al 1995b); VD: dikte veen; HV: Humusvorm volgens Van Delft et al 2006), pH: pH-profieltype volgens De Waal & Van Delft 2014.

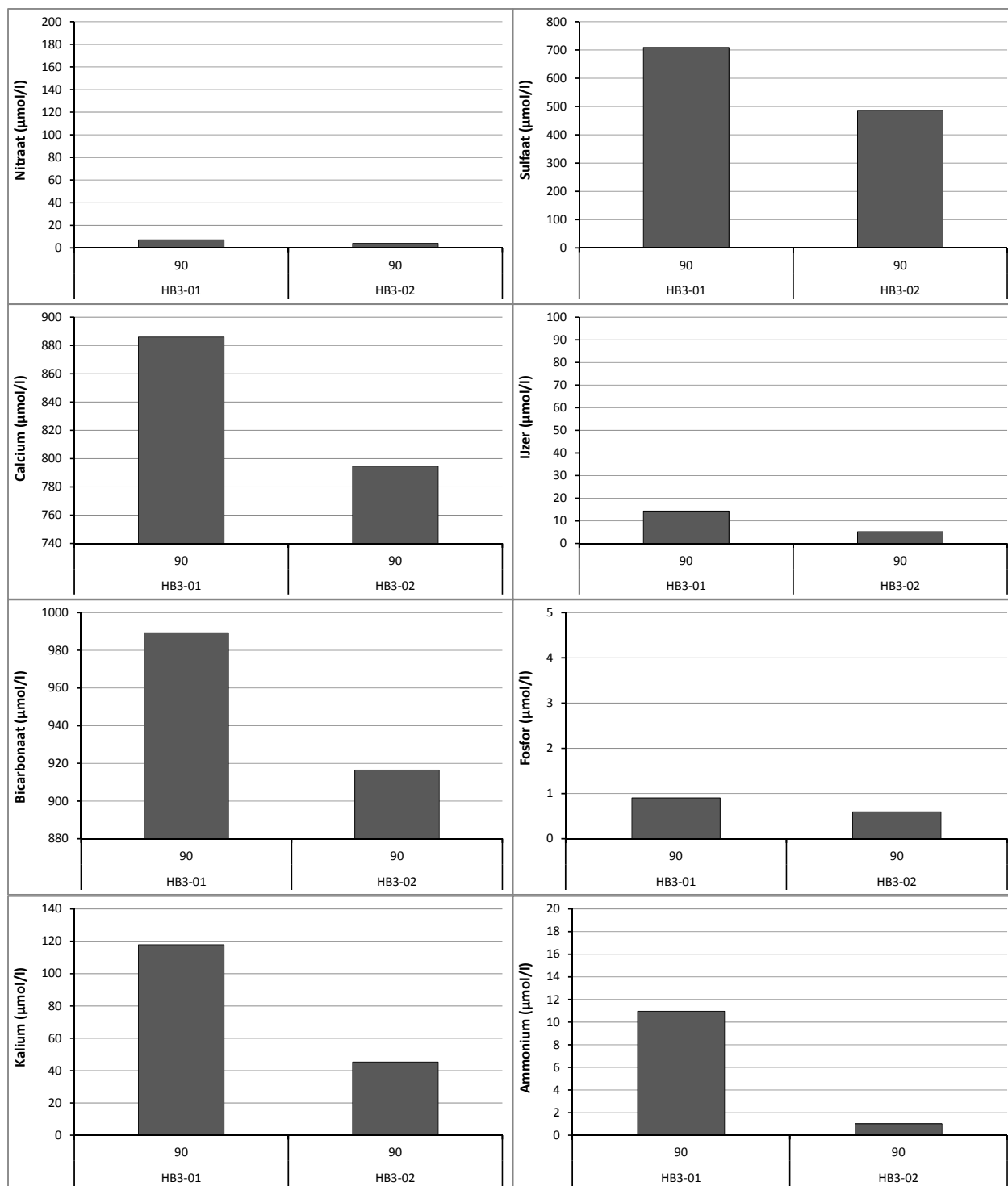
Boring	Bodem	Gt	GHG	GLG	GVG	GWS	VD	HV	pH	OPMERKING
HB3-01	aWzt	Ila	0	60	13	12	15	DEo	Rd	Hooiland. Zuidelijke flank van brongebied. Hellingafzettingen op tertiaire klei
HB3-02	aWzt	Ila	10	70	23	47	20	DEv	Kw	Hooiland. Noordelijke flank van brongebied. Hellingafzettingen op tertiaire klei



Figuur 2.16 Schematische weergave van de dwarsdoorsnede van het beekdal bij HB3. In de bovenste tekening zijn de boringen en andere landschapskenmerken aangegeven, alsmede de geologische afzettingen, in de onderste tekening is het verloop van de pH met de diepte aangegeven.



Figuur 2.17 Bodemchemische eigenschappen in raai HB3. Mais staat voor bodem die verzameld zijn van de maisakker op de Hoge Esch (zuidelijk van locatie HB3-01 (figuur 2.14 en 2.16) en hooiland voor het grasland noordelijk van de locatie HB3-02 (zie figuur 2.1). Op de x-as wordt het diepte interval aangegeven (in cm onder maaiveld) waarover de grondmonsters verzameld zijn.

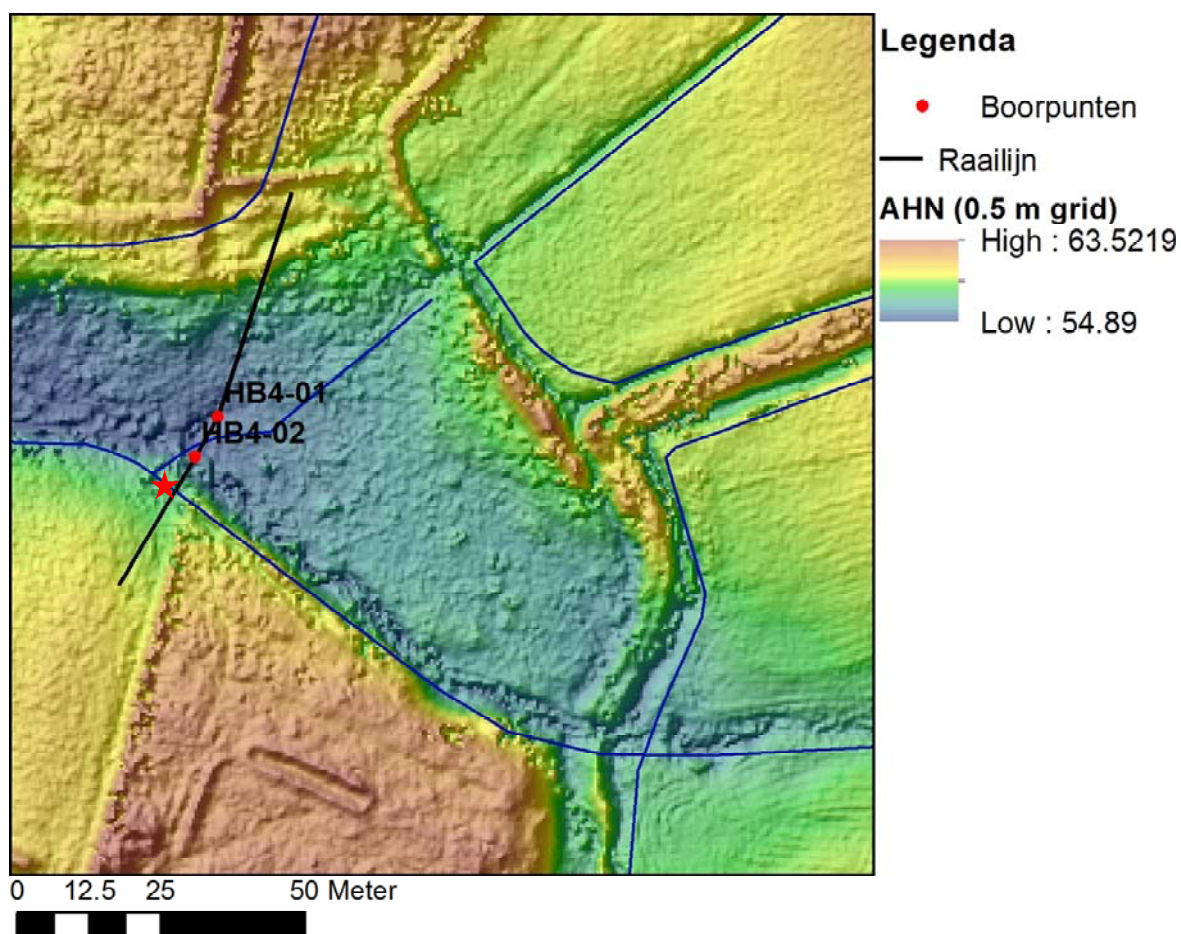


Figuur 2.18 Grondwatereigenschappen in raai HB3. De nummering correspondeert met de locatieaanduiding uit figuur 2.14 en 2.16. Op de x-as wordt de diepte aangegeven (in cm onder maaiveld) waarop de grondwatermonsters werden genomen.

In het verlengde van de bemonsterde raai HB3 hebben we bodemonsters verzameld op de maisakker die ten zuiden van de locaties HB3-01 ligt en in het hooiland dat ten noorden van de locatie HB3-02 ligt. Beide locaties zijn duidelijk verrijkt met fosfor. De fosforconcentraties (Olsen-P, totaal-P) zijn echter duidelijk het hoogste op de maisakker. De gemeten concentraties zijn hier ook hoger dan op alle andere locaties die we bemonsterd hebben. De P verzadiging (PSI) van de toplaag is erg hoog voor dit perceel (0,43). Bij een PSI hoger dan 0,25 kan er van uit worden gegaan dat de bodem fosfaatverzadigd is en dat er uitspoeling van fosfaat naar diepere bodemlagen of het grondwater kan plaatsvinden. In de bemonsterde bodems op dit perceel hebben we ook zeer hoge zoutextraheerbare P concentraties gemeten ($>100 \mu\text{mol/l}_{\text{bodem}}$) (bijlage 2, figuur 2.25). Deze zoutextraheerbare fractie is mobiel en kan gemakkelijk uitspoelen naar diepere bodemlagen. Op de maisakker worden ook hoge nitraatconcentraties gemeten. Op het hooiland worden hogere ammonium- dan nitraatconcentraties gemeten. De bodem pH en de calciumconcentraties gemeten in het zoutextract zijn hier ook relatief laag (pH 4 en $3000 \mu\text{mol/l}_{\text{bodem}}$) en zeer waarschijnlijk is er hier sprake van een geremde denitrificatie als gevolg van verzuring waardoor ammonium accumuleert in de toplaag.

Het bemonsterde grondwater op de locaties HB3-01 en HB3-02 wordt gekenmerkt door calcium- en bicarbonaatconcentraties die respectievelijk rond de 800 en 900 $\mu\text{mol/l}$ liggen. De sulfaatconcentratie is hoger op locatie HB3-01 ($710 \mu\text{mol/l}$, $68 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$) dan op locatie HB3-02 ($490 \mu\text{mol/l}$, $47 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$). De nitraatconcentratie van het grondwater is op beide locaties laag ($4\text{-}7 \mu\text{mol/l}$; $0,25\text{ - }0,45 \text{ mg/l NO}_3^-$) net als de ijzerconcentratie ($5\text{-}14 \mu\text{mol/l}$).

2.5 Hazelbekke Raai 4



Figuur 2.19 Ligging van de boorpunten in raai HB4. De maaiveldhoogte is weergegeven op basis van het 0.5 m grid van AHN2.

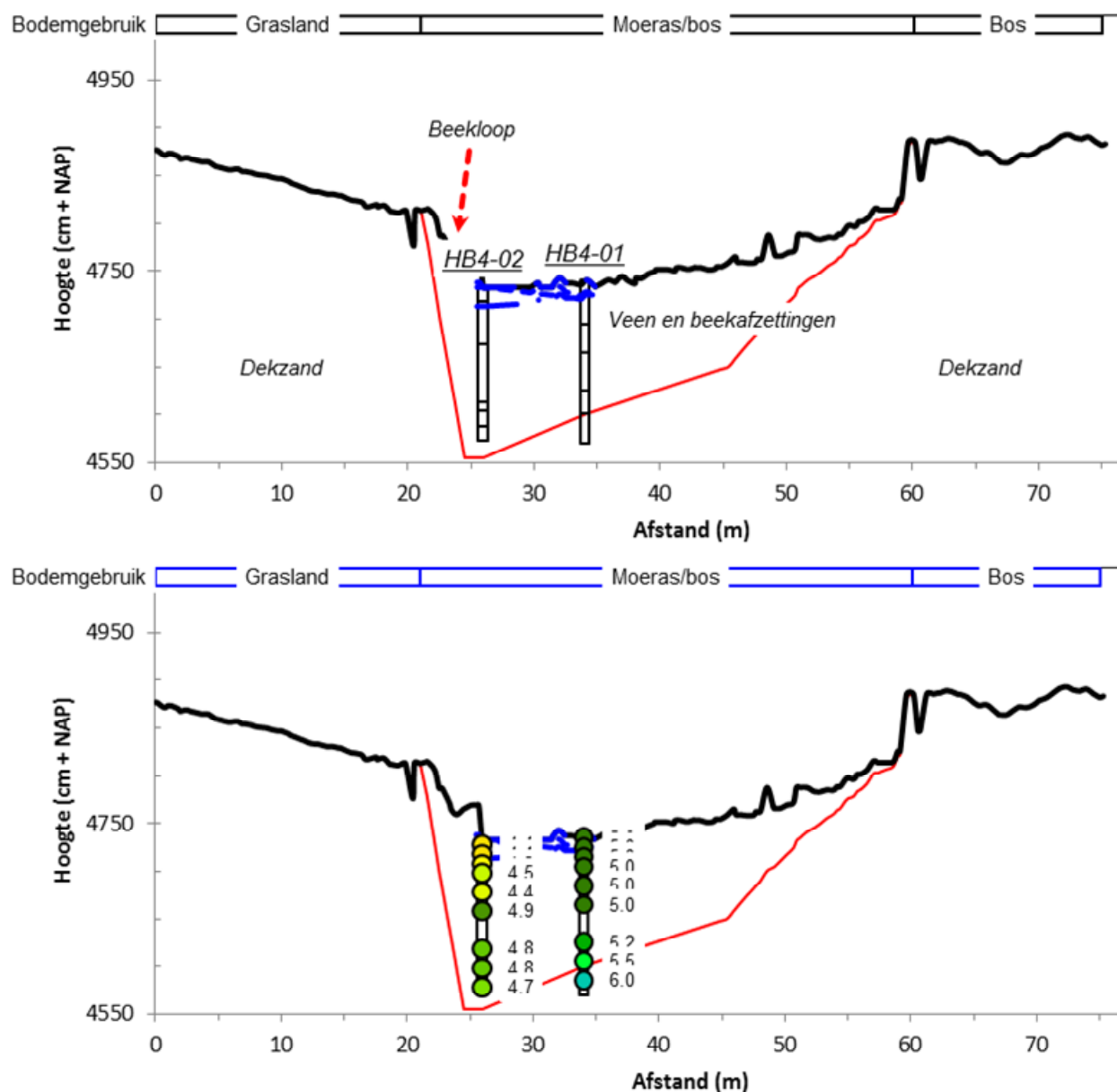


Figuur 2.20 Vegetatieaspect en humusprofiel bij HB4-01. Het humusprofiel wordt gekenmerkt door slap, kleiig veen, humusvorm: Fluviale Meereerdmoder (fDEm), bodem: Vlietveengrond (oVo).

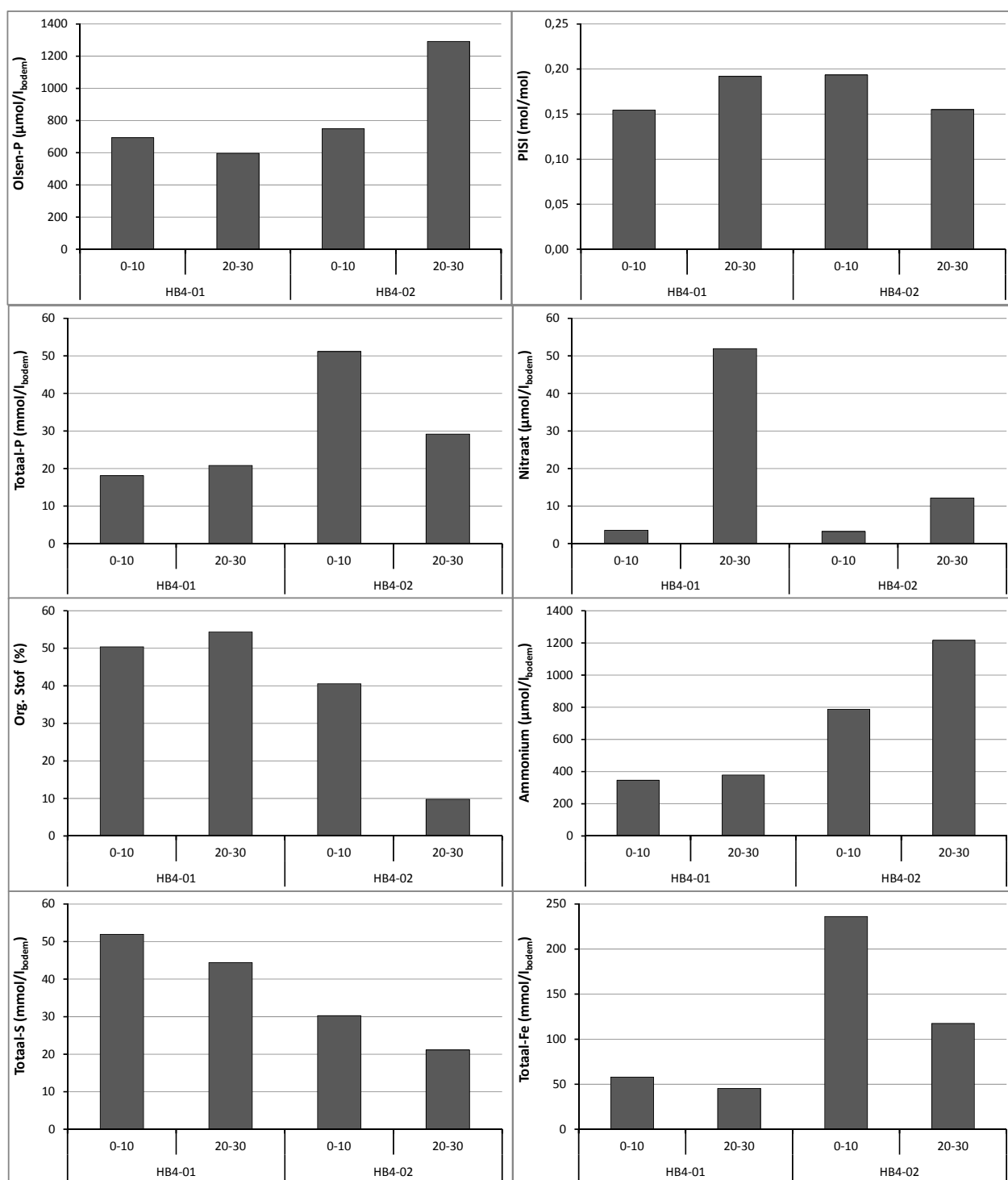
Raai HB4 is beschreven in de benedenloop bij De Mast. Het betreft een vlakke laagte waarlangs de Hazelbekke langs de zuidkant stroomt en vanuit het landbouwgebied ten noorden een tweede waterloop samenvloeit. Bepalend is slap kleiig veen dat ruim een meter dik is en bestaat uit onherkenbaar verweerd broekveen met lagen beekafzettingen.

Tabel 2.4 Kenmerken van de boringen in raai HB4. Bodem: Bodemtype volgens Ten Cate et al. 1995a; GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand; GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand; GVG Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (berekend volgens Ten Cate et al 1995b); VD: dikte veen; HV: Humusvorm volgens Van Delft et al 2006), pH: pH-profieltype volgens De Waal & Van Delft 2014.

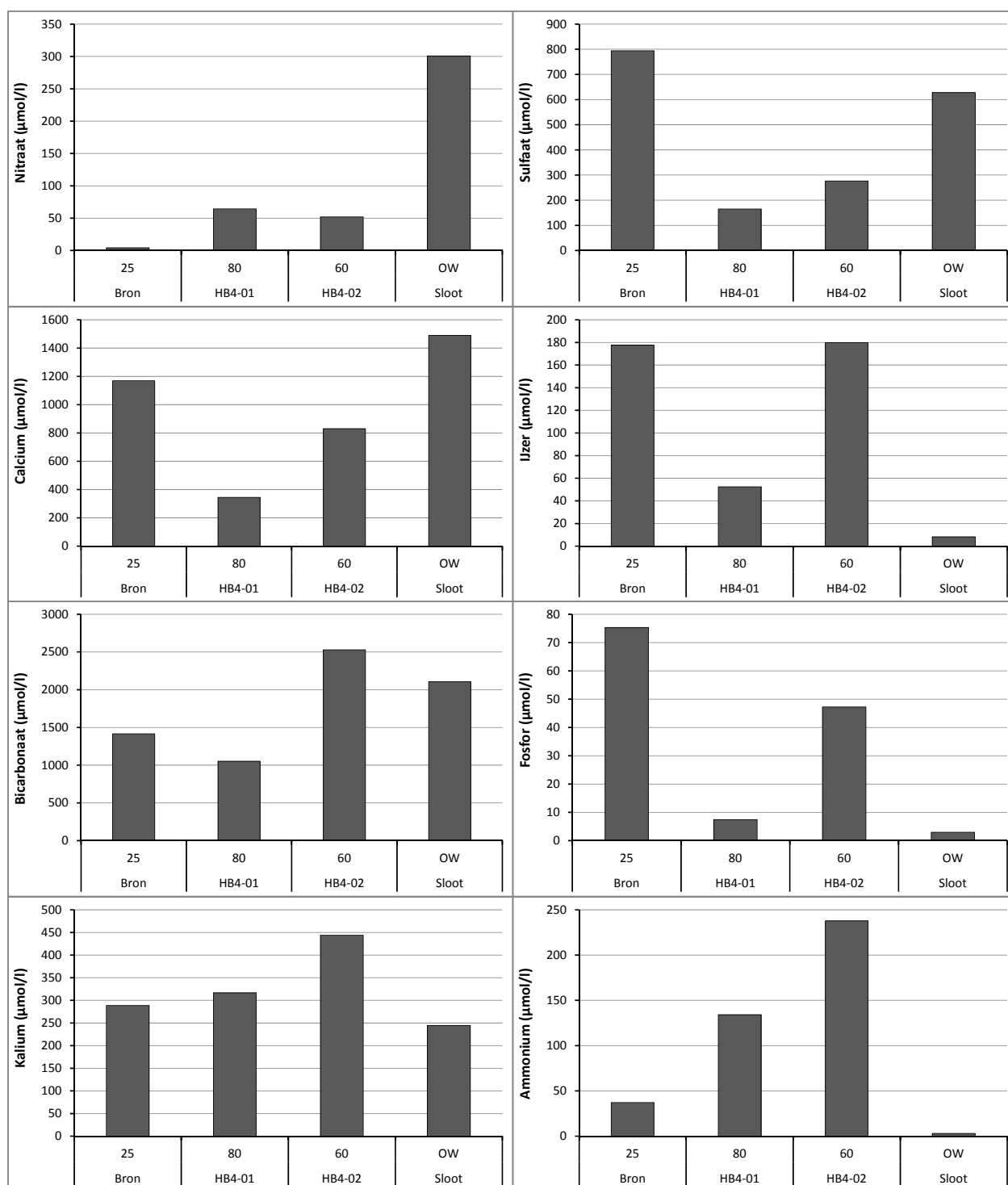
Boring	Bodem	Gt	GHG	GLG	GVG	GWS	VD	HV	pH	OPMERKING
HB4-01	oVo	wla	-5	15	2	12	115	fDEm	Kw	Iets ruiger deel met Brandnetel, Holpijp, Walstro Watermunt. 75 cm slap veen op kleiige beekafzettingen. Vanaf 140 cm fluvioperiglaciaal zand.
HB4-02	oVo	wla	-5	20	3	0	120	fDEm	Rd	Goudveil, Holpijp, Moerasspirea, Watermunt met wat Brandnetel. Gelaagd slap veen met beekafzettingen.



Figuur 2.21 Schematische weergave van de dwarsdoorsnede van het beekdal bij HB4. In de bovenste tekening zijn de boringen en andere landschapkenmerken aangegeven, alsmede de geologische afzettingen, in de onderste tekening is het verloop van de pH met de diepte aangegeven.



Figuur 2.22 Bodemchemische eigenschappen in raai HB4 (zie figuur 2.19 en 21). Op de x-as wordt het diepte interval aangegeven (in cm onder maaiveld) waarover de grondmonsters verzameld zijn.



Figuur 2.23 Grondwatereigenschappen in raai HB4. De nummering correspondeert met de locatieaanduiding uit figuur 2.19 en 21. Ow staat voor het oppervlakte watermonster dat is genomen in de sloot bij locatie HB4.1 (sterretje), en 'Bron' voor een watermonster dat is genomen uit een bron waar ijzerrijk grondwater opwelt, gelegen ten westen van de raai HB2. Op de x-as wordt de diepte aangegeven (in cm onder maaiveld) waarop de grondwatermonsters werden genomen.

In het gedeelte 'de Mast' zijn op twee locaties bodem en grondwatermonsters genomen. Het doel was om te kijken of afzetting van nutriëntenrijk slib hier kan leiden tot eutrofiering. Wat opvalt, is dat de totaal-fosforconcentraties van de bodems hier zeer hoog zijn. De concentraties liggen rond de $30 \text{ mmol/l}_{\text{bodem}}$ op locatie HB4-01 en tussen de $30 \text{ mmol/l}_{\text{bodem}}$ (10-30 cm diepte) en $50 \text{ mmol/l}_{\text{bodem}}$ (bovenste 10 cm van de bodem), op locatie HB4-02. Dit zijn zeer hoge waarden die elders in de Hazelbekke alleen op landbouwbodems worden aangetroffen. De totaal-P concentratie laat voor deze locaties een correlatie zien met de totaal-ijzerconcentratie. Ook de PSI (fosfaatverzadiging) is relatief hoog maar is nog wel lager dan 0,2. De hoge ijzerconcentraties dragen hier bij aan een immobilisatie van fosfor waardoor de beschikbaarheid (ook de Olsen-P concentratie), ondanks de zeer hoge totaal-P concentratie (met name op locatie HB4-02), relatief laag blijft. Ook de gemeten ammoniumconcentraties zijn hoog.

De nutrietenrijkdom van deze locatie kan worden veroorzaakt door de afzetting van ijzer- en fosforrijk slib, maar er kan ook sprake zijn van ijzer en fosfaatrijke kwel. De ijzer- en de fosforconcentraties in het grondwater zijn (zeer) hoog en deze zijn ook het hoogste op locatie HB4-02, de locatie waar de bodem ook het rijkste is aan ijzer en fosfor. Een stukje oostelijker is ook een locatie bemonsterd waar ijzerrijk water opkwelt (locatie bron zie bijlage 4). Ook op deze locatie werden hoge concentraties ijzer- en fosforgemeten in het grondwater. Opvallend is dat er ten opzichte van de ijzerconcentraties zeer hoge fosforconcentraties worden gemeten.

Het is dus niet helemaal duidelijk of de ijzerrijkdom en fosforrijkdom van het grondwater wordt veroorzaakt door de reductie van de ijzer en fosforrijke bodem of dat de bodem ijzer- en fosforrijk is door de aanvoer van ijzer- en fosforrijk grondwater. Opvallend is dat er geen relatie is tussen de totaal-aluminium en totaal-ijzerconcentratie van de bodems. Voor veel van nature ijzerrijke bodems vinden we wel een dergelijke correlatie. Dit suggereert dat er in het gebiedje stroomopwaarts van de Mast mogelijk sprake is van een verrijking van de bodem met ijzer en fosfor via de aanvoer van grondwater. In de ondergrond kunnen van nature hoge ijzer- en fosforconcentraties aanwezig zijn door het voorkomen van vivianiet ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$).

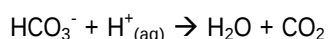
2.6 Grondwaterkwaliteitsdata

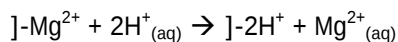
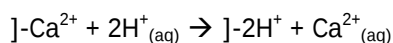
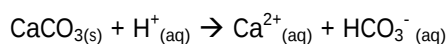
Door inspoeling van meststoffen met infiltrerend regenwater kan er vermesting optreden van grondwater. Dit kan leiden tot verhoogde nitraatconcentraties in het grondwater. Nitraat ontstaat door nitrificatie van ammonium in de bouwvoor van het landbouwgebied. Daarnaast kan nitraat als kunstmest in de bodem terecht komen. In dit onderzoek hebben we op drie locaties grondwatermonsters genomen direct onder landbouwbodems. Het gaat hierbij om de locaties HB1-01, HB1-05 en HB2-05. De locaties HB1-01 en HB2-05 zijn gelegen op extensief beheerde percelen die nog maar weinig (of niet) bemest worden. Op deze locaties worden nitraatconcentraties gemeten van respectievelijk 330 en 200 $\mu\text{mol/l}$. Deze concentraties laten zien dat er uitspoeling van nitraat plaatsvindt maar onder intensief gebruikte landbouwgronden meten we vaak nog veel hogere nitraatconcentraties ($>1000 \mu\text{mol/l}$, data set onderzoekcentrum B-WARE). Op locatie HB1-05 (een intensief gebruik perceel met drainage) meten we een lage nitraatconcentratie maar hier meten we wel een zeer hoge sulfaatconcentratie.

Bij de nitrificatie van ammonium wordt zuur gevormd.

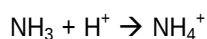


Door de reactie van het zuur met carbonaten en de uitwisseling van zuur met calcium en magnesium aan het bodemadsorptiecomplex treedt zuurbuffering op:



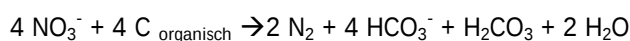


Door de zuurbuffering wordt dus calcium, magnesium en (in carbonaathoudende bodems) bicarbonaat vrijgemaakt in de bodem. Hierdoor verzuren landbouwbodems wanneer er geen bekalking plaatsvindt om voor deze zuurvorming te compenseren. In Nederland vond en vindt er depositie plaats van sulfaat, nitraat en ammonium. Sulfaat en nitraat ontstaan in de atmosfeer door de reactie van zuurstof en water met respectievelijk zwaveloxides (SO_x) en stikstofoxides (NO_x) die vrijkomen bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Hierbij worden deze gassen omgezet in salpeterzuur (HNO_3) en zwavelzuur (H_2SO_4). Dit leidde tot de bekende zure regen. In Nederland was en is de regen echter veelal niet echt zuur omdat het zuur reageert met ammoniak, dat vrijkomt uit dierlijke mest. Hierbij wordt ammonium gevormd waardoor het zuur verdwijnt uit de regen:



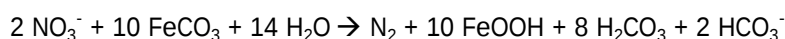
Uiteindelijk treedt er echter toch verzuring op in de bodem omdat ammonium in de toplaag van de bodems wordt genitrificeerd waarbij nitraat wordt gevormd en zuur vrijkomt (zie hierboven). De toplaag van veel slecht gebufferde bodems in Nederland, met name gelegen in natuurgebieden, zijn door deze processen verzuurd. Omdat met name naaldbossen relatief veel stikstofdepositie invangen kan er ook uit bosbodems veel nitraat uitspoelen naar het grondwater.

Nitraatconcentraties in het grondwater kunnen afnemen door denitrificatieprocessen. Zo kan nitraat reageren met organisch materiaal in de bodem.

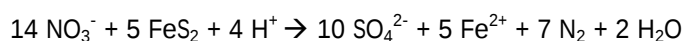


Het kan wat betreft dit organische materiaal gaan om reactief materiaal dat zich in de bodem bevindt maar ook om DOC (opgelost organische materiaal) dat uitspoelt naar het grondwater. Bij de denitrificatie met organisch materiaal treedt wordt bicarbonaat gevormd en wordt het nitraat omgezet in het inerte stikstofgas.

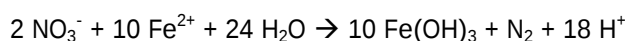
Wanneer er meer nitraat uitspoelt dan er kan worden gedenitrificeerd door organisch materiaal kan nitraat ook reageren met gereduceerde ijzer- en zwavelverbindingen in de bodem. Deze gereduceerde verbindingen komen voor in (semi)permanent waterverzadigde zuurstofloze (anaerobe) delen van de bodem. Het gaat hierbij vooral om sideriet (FeCO_3) en ijzersulfides (FeS_x , o.a. pyriet). Bij de reactie met sideriet wordt het gereduceerde ijzer geoxideerd waarbij ijzer(hydr)oxide wordt gevormd.



Bij de reactie met ijzersulfiden (FeS_x) kan zowel het gereduceerde zwavel als het gereduceerde ijzer worden geoxideerd door nitraat. Wanneer alleen het gereduceerde zwavel wordt geoxideerd spreken we van een onvolledige oxidatie.



Wanneer ook het gereduceerde ijzer wordt geoxideerd spreken we van een volledige oxidatie.

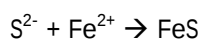
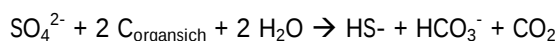


In alle gevallen wordt het nitraat omgezet in stikstofgas.

Wanneer nitraat in de ondergrond reageert met pyrietrijke afzettingen verdwijnt het nitraat en wordt het grondwater verrijkt met sulfaat en, bij onvolledige oxidatie van pyriet, ook met ijzer. Bij de volledige oxidatie van pyriet komt ook weer zuur vrij. Dit zuur reageert weer verder zoals hierboven beschreven waardoor er calcium en magnesium vrijkomt.

In het grondwater meten we ook verhoogde sulfaatconcentraties (figuur 2.24). Op de meeste locaties liggen de waardes tussen de 500 en 1000 $\mu\text{mol/l}$ en op twee locaties (HB2-02 en HB2-03) boven de 2000 $\mu\text{mol/l}$. We zien dat het grondwater vrijwel overal arm is aan ijzer. Op de locaties HB1-5 (onder het grasland) en op de locatie HB1-04 meten we wel ijzer in het grondwater (170-200 $\mu\text{mol/l}$).

Hoge nitraatconcentraties in het grondwater voorkomen ook dat er in de ondergrond ijzerreductie plaatsvindt. Op de meeste locaties zijn de nitraatconcentraties echter laag als gevolg van de denitrificatie reacties. De lage ijzerconcentraties kunnen samenhangen met het feit dat er op veel locaties een volledige oxidatie van pyriet plaatsvindt waarbij het ijzer volledig wordt geoxideerd. Daarnaast kan er ook sprake zijn van de reductie van sulfaat waarbij bicarbonaat sulfide vrijkomt. Dit sulfide kan reageren met opgelost ijzer waardoor het ijzer weer wordt geïmmobiliseerd.



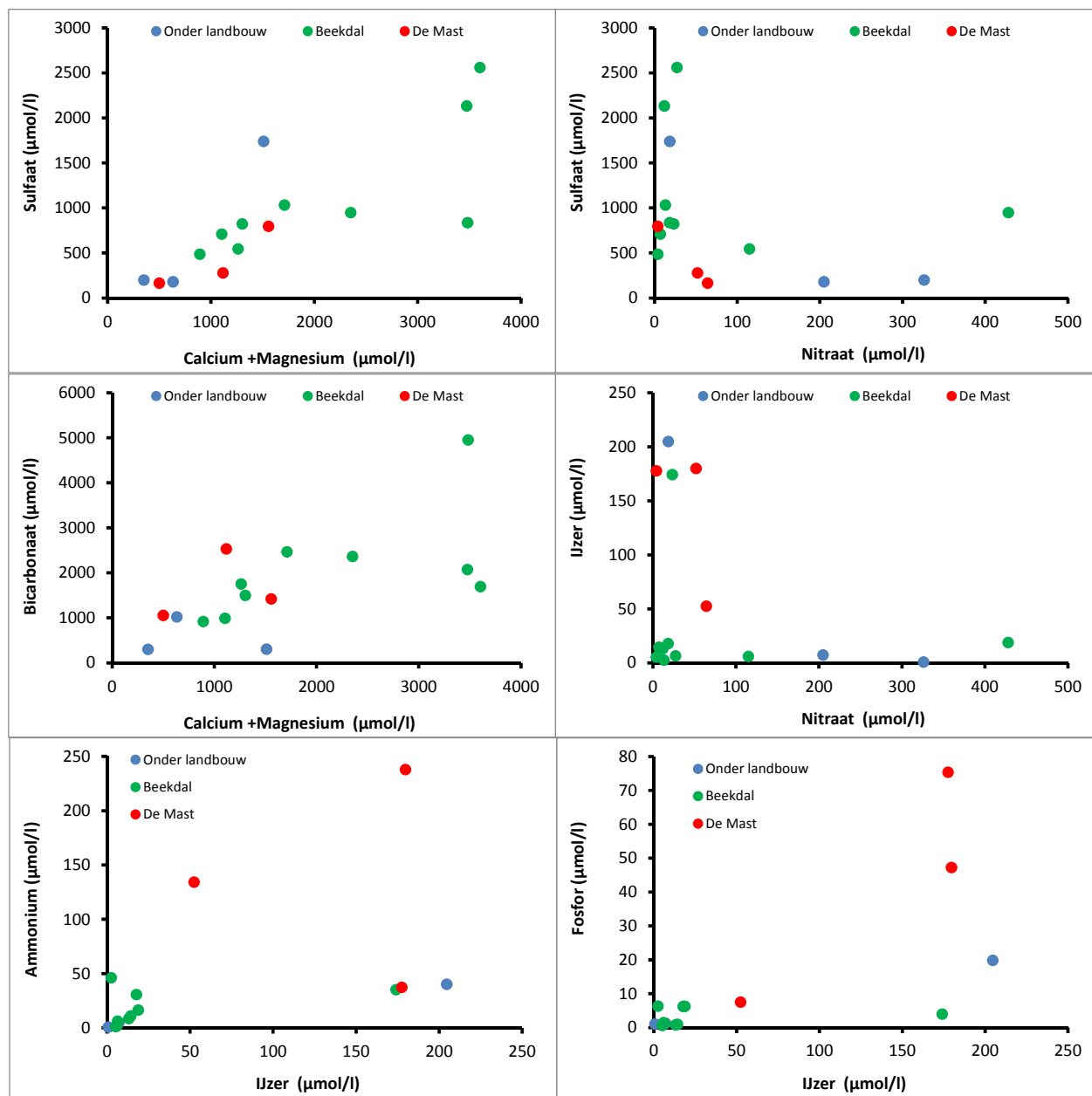
De resultaten van de bodemprocessen leiden er toe dat op de meeste locaties het grondwater dat in de Hazelbekke wordt aangevoerd relatief rijk is aan sulfaat en arm aan ijzer. De resultaten laten ook zien dat in het beekdal de natte bodems met een hoog organisch stofgehalte worden gekenmerkt door een relatief lage totaal-ijzer/totaal-zwavel ratio. Omdat sulfaat (net als nitraat) als alternatieve elektronenacceptor voor de afbraak van organisch materiaal functioneert, zal een verhoogde aanvoer van sulfaat via kwelwater leiden tot een toename van de sulfaatreductie en hiermee ook anaerobe afbraak van organisch materiaal. Dit leidt tot een toename van de stikstof en fosforbeschikbaarheid onder natte omstandigheden. Het gevaar bestaat ook dat als er grondwater wordt aangevoerd dat veel meer sulfaat dan ijzer bevat er onder natte omstandigheden als gevolg van sulfaatreductie meer sulfide wordt gevormd dan er kan worden gebonden aan ijzer. Hierdoor kan giftig sulfide accumuleren in de natte organische bodems. Daarnaast neemt de beschikbaarheid van amorfe ijzer(hydr)oxides af waardoor ook de P beschikbaarheid kan toenemen. Met name in de raai HB1 was er ten zuiden van de noordelijk zijtak ook duidelijk een sulfide geur waarneembaar.

Sulfaatrijk grondwater maakt kwelsystemen kwetsbaar en leiden tot een management dilemma. Droge condities voorkomen sulfaatreductie maar leiden tot mineralisatie van organisch stof en hiermee ook tot verzuuring en verzuring. Natte omstandigheden kunnen echter ook leiden tot eutrofiering en bovendien tot accumulatie van giftig sulfide.

Op dit moment wordt een groot deel van het nitraat gedenitrificeerd langs de stroombaan van het grondwater en tijdens het opstijgen van het grondwater tot aan maaiveld. Hierdoor is de nitraatbelasting van de Hazelbekke veel lager dan dat hij zou zijn zonder dat deze denitrificatie zou plaatsvinden. De keerzijde is dat er in plaats van nitraat sulfaat wordt aangevoerd.

Op drie locaties werd ijzerrijk grondwater gemeten dat tevens erg rijk was aan fosfor (raai HB4, bij de mast) en bij de bronlocatie (bijlage 4; figuur 2.24). Ook het grondwater op de landbouwlocatie HB1-05 is rijk aan ijzer en fosfor. Een verhoogde ijzer- en fosforconcentratie in het grondwater kan ontstaan door reductie van ijzer(hydr)oxides onder natte omstandigheden. Aan driewaardig ijzer kan veel fosfor binden. Dit ijzer(hydr)oxide kan zijn ontstaan door de oxidatie van pyriet of vivianiet ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$) onder invloed van uitzakkende grondwaterstanden en of oxidatie onder invloed van nitraatuitspoeling. Ook kan het van nature aanwezig zijn in de ondergrond (ijzeroerbank). Onder natte omstandigheden kan ijzer(III)hydroxide worden gereduceerd, bij aanwezigheid van organisch

materiaal, waardoor ijzer en het hieraan gebonden fosfor in oplossing gaan. Op plaatsen waar dit ijzerrijke en fosforrijke water uitreedt oxideert het ijzer waarna het accumuleert aan maaiveld. Het meegevoerde fosfor bindt aan het ijzer. Op locaties waar dit ijzer en fosforrijke slib accumuleert zal er zich een relatief eutrofe vegetatie ontwikkelen. Interessant is dat op de meest ijzerrijke plekken de vervuiling relatief minder is. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de zeer hoge ijzerrijkdom van de toplaag. Gereduceerd ijzer dat vrijkomt bij de reductie van de ijzeroxides is toxisch en remt de biomassa productie van planten die hier relatief slecht tegen kunnen.



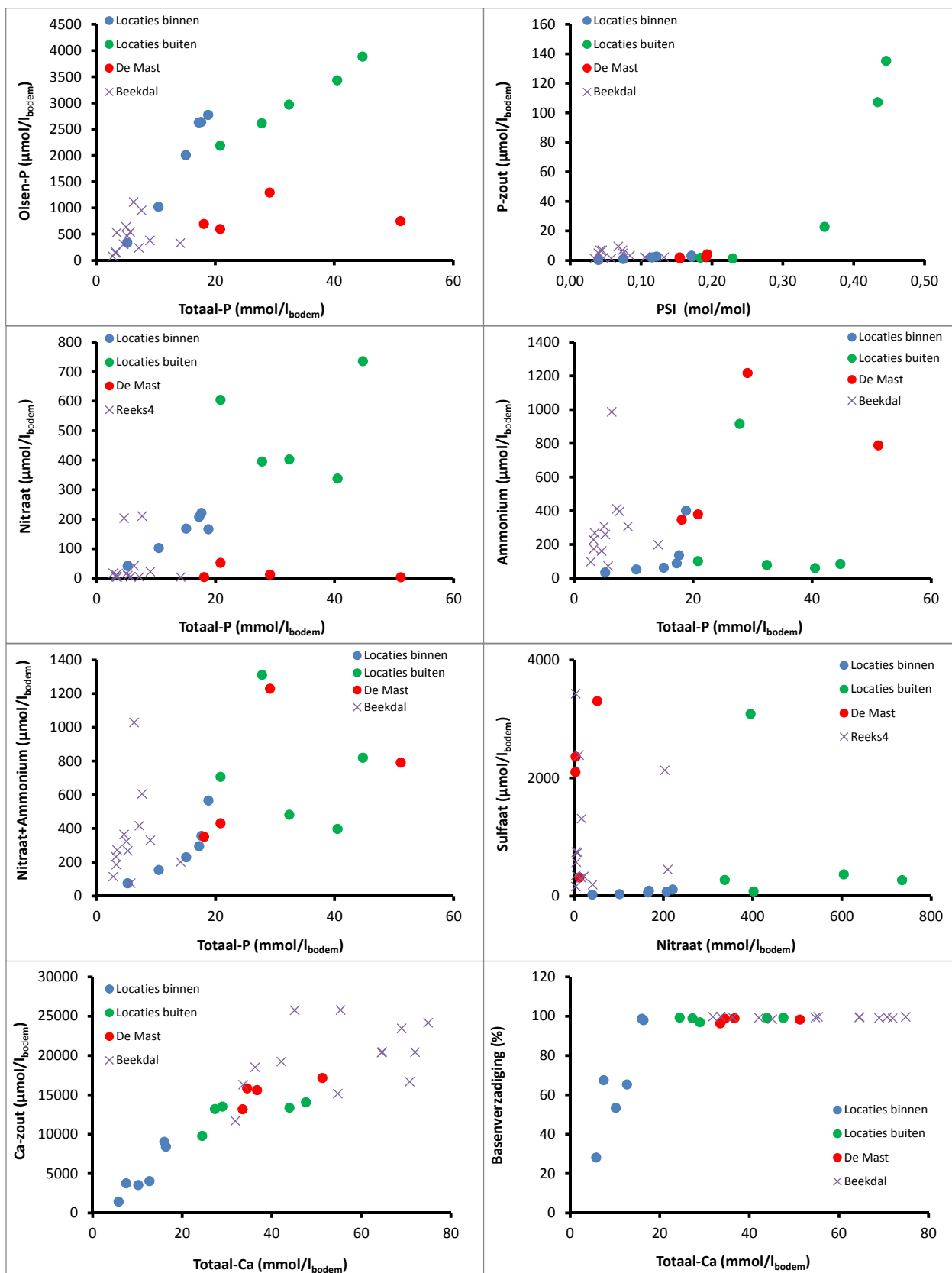
Figuur 2.23 Relatie tussen verschillende chemische parameters in het grondwater. De locaties onder de (voormalige) landbouwbodems (zowel agrarisch als natuurgrasland), de locaties bij de Mast en de overige locaties in het beekdal worden met verschillende symbolen weergegeven.

2.7 Bodemkwaliteit

Binnen dit onderzoek hebben we op een zestal locaties bodemonsters genomen van percelen die een landbouwkundig gebruik kennen of hebben gekend. Daarnaast hebben we op een aantal locaties bodemonsters genomen in het beekdal. In figuur 2.26 worden een aantal correlaties gegeven voor bodems die steeds afkomstig zijn van de toplaag. We maken hierbij onderscheid tussen de bodems die verzameld zijn van natuurgraslanden die tussen de Noordelijke en de Zuidelijke loop liggen(binnen), het gaat hierbij om de blauwe sterretjes op het kaartje van figuur 2.25, en de agrarische percelen die ten noorden of ten zuiden van de Hazelbekke liggen (buiten), de groene sterretjes in figuur 2.25. Daarnaast worden voor de beekdallocaties de ijzer- en fosforrijke bodems gelegen stroomopwaarts van de Mast, nog apart beschouwd, rode sterretjes.



Figuur 2.24 Ligging van de bemonsterde locaties op natuurgraslanden (blauwe sterren) en de bemonsterde agrarische percelen (groene sterren). De rode sterren staan voor de ijzerrijke locatie bij de Mast.



Figuur 2.25 Relatie tussen verschillende bodemchemische parameters in de toplaag van de bodems (0-40 cm diepte). ‘Locaties binnen’ staat voor de natuurgraslanden, ‘locaties buiten’ voor de agrarische percelen en ‘De Mast’ voor de locaties bij de Mast (figuur 2.24). Met beekdal worden de bemonsterde bodems monsters uit de toplaag in het beekdal aangeduid.

We zien dat de concentraties aan fosfor en stikstof hoger zijn in de bodems van de 'buiten' percelen dan in de bodems van de 'binnen' percelen. De bemonsterde buitenpercelen zijn dus duidelijk rijker aan nutriënten. De fosfaatverzadiging (PSI) van de bodem is ook het hoogste voor de buitenpercelen. Bij een PSI hoger dan 0,25 worden ook duidelijk verhoogde concentraties aan, mobiel (zoutextraheerbaar) fosfor gemeten. Uit deze fosfaatverzadigde percelen kan fosfaat uitspoelen naar diepere bodemlagen. Op de maisakker hebben we de hoogste totaal-P en Olsen-P concentraties en PSI gemeten.

Voor de bodems uit de landbouwpercelen (binnen en buiten) is de nitraatconcentratie in de toplaag van de bodems gecorreleerd met de fosforrijkdom. Ook hier zijn de nitraatconcentraties duidelijk het hoogste voor de fosfaatrijkere buitenpercelen. De bodems uit het beekdal laten veel lagere fosfor- en nitraatconcentraties zien. Voor de beekdalbodems geldt echter dat de ammoniumconcentraties overwegend hoger zijn dan op de landbouwbodems. Dit komt omdat hier onder de veel nattere omstandigheden minder nitrificatie optreedt en er ammonium accumuleert in de bodems. Ammonium komt vrij bij de mineralisatie van organisch materiaal.

De bodem in het beekdal zijn relatief goed gebufferd met totaal-Ca concentraties van meer dan 20 mmol per liter bodemvolume, een zoutextraheerbare calciumconcentraties van meer dan 10000 μmol per liter bodemvolume en een indicatieve basenverzadiging van meer dan 100 %. Er is duidelijk geen sprake van verzuring. De toplaag van de bodems van de binnen percelen zijn duidelijk armer aan calcium, Hier is zeer waarschijnlijk sprake van ontkalking als gevolg van infiltratie en mogelijk verschraling. Voor de bodem van de buitenpercelen is dit niet het geval; zeer waarschijnlijk worden deze percelen ook regelmatig bekalkt.

De bemonsterde bodems uit het gebiedje stroomopwaarts van de Mast worden gekenmerkt door zeer hoge ijzer- en fosforconcentraties. De totaal-fosforconcentraties die hier worden gemeten zijn even hoog als op de landbouwpercelen. De plantbeschikbare P concentratie (Olsen-P) is echter veel lager dan op de landbouwgronden (zie paragraaf 2.6).

2.8 Conclusies

- 1) Wat is de geologische/bodemkundige/hydrologische opbouw van de beekdalen en wat betekent dat voor het functioneren van de daarin aanwezige natuur?

Omdat de beekdalen bij HB1, HB2 en HB3 zijn ingesneden in slecht doorlatende tertiaire kleien, vindt toestroming van kwelwater over korte afstand plaats.

- a) Voldoen de grondwaterstanden aan de abiotische randvoorwaarden (Runhaar & Hennekens 2014)?

In raai HB1 voldoen de grondwaterstanden bij HB1-02 en HB1-03 aan de abiotisch randvoorwaarden voor habitatype H91E0C - Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen), Bij HB1-04 is de GLG te droog, waardoor ook een ander type bos voorkomt, met meer Es. In de zuidelijke tak, bij HB2 is de beek dieper ingesneden dan in de noordelijke tak en heeft ook een sterkere drainerende werking. Hierdoor vallen de grondwaterstanden voor GLG bij HB2-02 en HB2-03 in het suboptimale bereik voor de randvoorwaarden, de GVG is wel ondiep genoeg. Dit geldt ook voor de beide boringen in raai HB3. De grondwaterstanden in raai HB4 zijn permanent zeer ondiep en voldoen daarmee aan de randvoorwaarden voor het habitatype.

- b) Voldoet de kwaliteit van kwelwater in de bronnen en in het veen aan de vereisten?

Met kwelwater in het noordelijk deel van raai HB1 en het zuidelijk deel van HB2 wordt veel sulfaat aangevoerd, waardoor het veen in de ondergrond wordt aangetast.

- c) Wat vertellen bodem- en humusopbouw over de processen (verdroging, interne eutrofiëring) die mogelijk een rol spelen?

Het voorkomen van slap onherkenbaar veen in de ondergrond van de beekdalen wijst op veenafbraak als gevolg van sulfaataanvoer. Bij HB1-04 en in raai HB2 en HB3 is het veen vrijwel verdwenen door oxidatie als gevolg van diepere grondwaterstanden (GLG).

- 2) In hoeverre vindt uitspoeling van nutriënten (N en P) uit bovenliggende (landbouw)percelen een rol?

In de toplaag van de bemonsterde meer intensief gebruikte agrarische percelen (locaties buiten in figuur 2.25) worden hogere fosfor- en stikstofconcentraties gemeten dan in de bemonsterde natuurpercelen (locaties binnen figuur 2.25). Gelet op de hoge PSI van deze bodems is het mogelijk dat er uit deze percelen fosfaat uitspoelt naar diepere bodemlagen. Ook de nitraatconcentraties zijn duidelijk hoger voor deze percelen waardoor de uitspoeling van nitraat naar het grondwater voor deze buiten percelen waarschijnlijk hoger is dan voor de 'binnen' percelen. Nitraat wordt slecht gebonden aan het bodemcomplex en spoelt gemakkelijk uit. Een gedegen langjarige monitoring van de grondwaterkwaliteit in het gebied zou hier meer inzicht in kunnen geven.

- 3) In hoeverre wordt door het infiltrerende grondwater pyriet geoxideerd waarbij sulfaat vrijkomt wat tot afbraak van het veen en interne eutrofiëring kan leiden?

In het noordelijk deel van raai HB1 en het zuidelijk deel van HB2 lijkt aanvoer van sulfaat door pyrietoxidatie een rol te spelen.

- 4) Vindt in het de beekdalen interne eutrofiëring plaats?

Dit kans hierop is groot, met name voor de natte grondwater gevoede delen van het beekdal. In deze bodems werd ook een sulfide geur (rotte eieren) waargenomen. Dit duidt erop dat er sulfaatreductie plaatsvindt in deze venige bodems. In de hoger gelegen drogere delen van het beekdal vindt juist oxidatie van organisch stof plaats door verdroging.

- 5) Wordt benedenstrooms, zoals bovenstrooms van De Mast, voedselrijk slib gesedimenteerd?

De bodems zijn hier net als het grondwater erg rijk aan ijzer en fosfor. Dit kan veroorzaakt worden door de sedimentatie van ijzer en fosforrijk slib, maar ook door de aanvoer van ijzer en fosforrijk grondwater. De oorsprong van het ijzer- en fosfor: aanvoer via slib dan wel grondwater zou verder uitgezocht moeten worden.

2.9 Aanbeveling

Dit rapport vormt de weerslag van een biogeochemische quickscan en verschaft inzicht in de biogeochemische processen die spelen rondom het Natura 2000 gebied Hazelbekke. Uiteraard is de omvang van het uitgevoerde onderzoek beperkt.

Wij raden aan om een langjarig monitoringsnetwerk van grondwaterbuizen in te richten die het mogelijk maken om de hydrologie en de grondwaterkwaliteit in de Hazelbekke en omgeving in meer detail in kaart te brengen en ook de ontwikkelingen van de grondwaterkwaliteit in de tijd te volgen. Hierdoor wordt het mogelijk om de effecten van eventuele te nemen maatregelen in het inzigggebied te beoordelen en te evalueren en wordt inzicht verkregen in de trends.

Omdat een dergelijk meetnet ontbreekt, is het lastig om in te schatten of er sprake is van een verbetering dan wel van een verslechtering van de grondwaterkwaliteit over de laatste decennia.

Ook is het zinvol om uit te zoeken waar de ijzerrijke en tevens fosforrijke bodem en grondwater in het deelgebied stroomopwaarts van de Mast vandaan komt. Het is onduidelijk of hier sprake is van een 'natuurlijke belasting' van het grondwater met ijzer en fosfaat dat vrij komt uit de oxidatie/verwerking van bodems die rijk zijn aan vivianiet ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$)

3 Literatuur

Bakker, H. d. & J. Schelling, 1989. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. Wageningen, Pudoc.

Beek, K. v., M. Jalink & A. Meuleman (2001). "De verzwaveling van grondwater in zandgronden." *Landschap* 18(4): 263-272.

Cate, J. A. M. t., A. F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp, 1995A. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel A: Bodem. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19A.

Cate, J. A. M. t., A. F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp, 1995B. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; Richtlijnen en voorschriften; Deel B: Grondwater. Wageningen, SC-DLO. Technisch document 19B.

Delft, B. v., R. d. Waal, R. Kemmers, P. Mekking & J. Sevink, 2006. Field guide Humus Forms; Description and classification of humus forms for ecological applications. Wageningen, Alterra.

Delft, S. P. J. v. & R. Kemmers, 2013. Natuurontwikkeling graslanden kwelrijke flank Oostelijke Vechtplassen; Resultaten van een ecopedologisch en bodemchemisch onderzoek. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 2415.

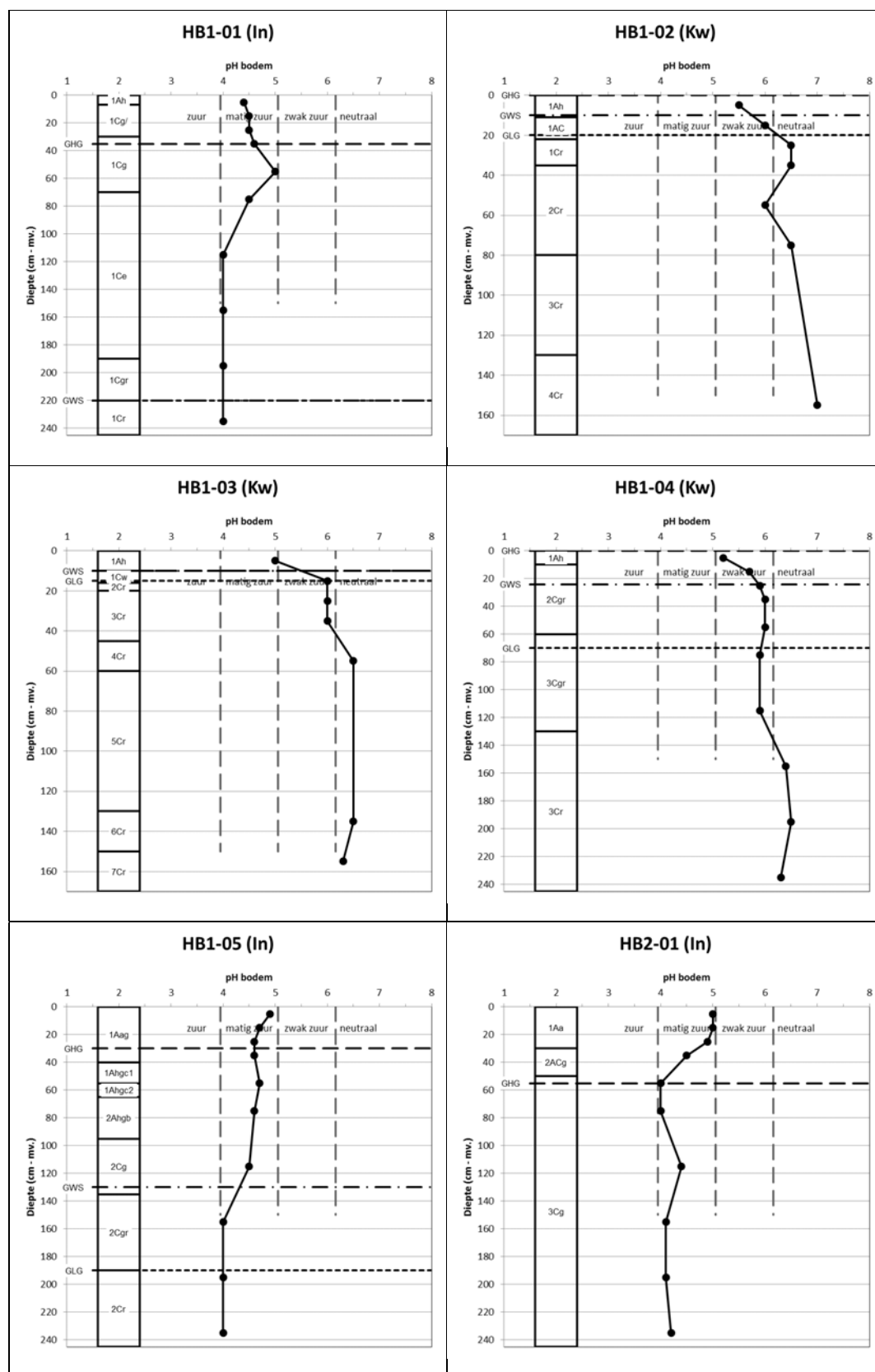
Delft, S. P. J. v., 2016. Bodemkundige verkenning van broekbossen in twee beekdalen in Twente. Wageningen, Alterra WageningenUR. Briefadvies.

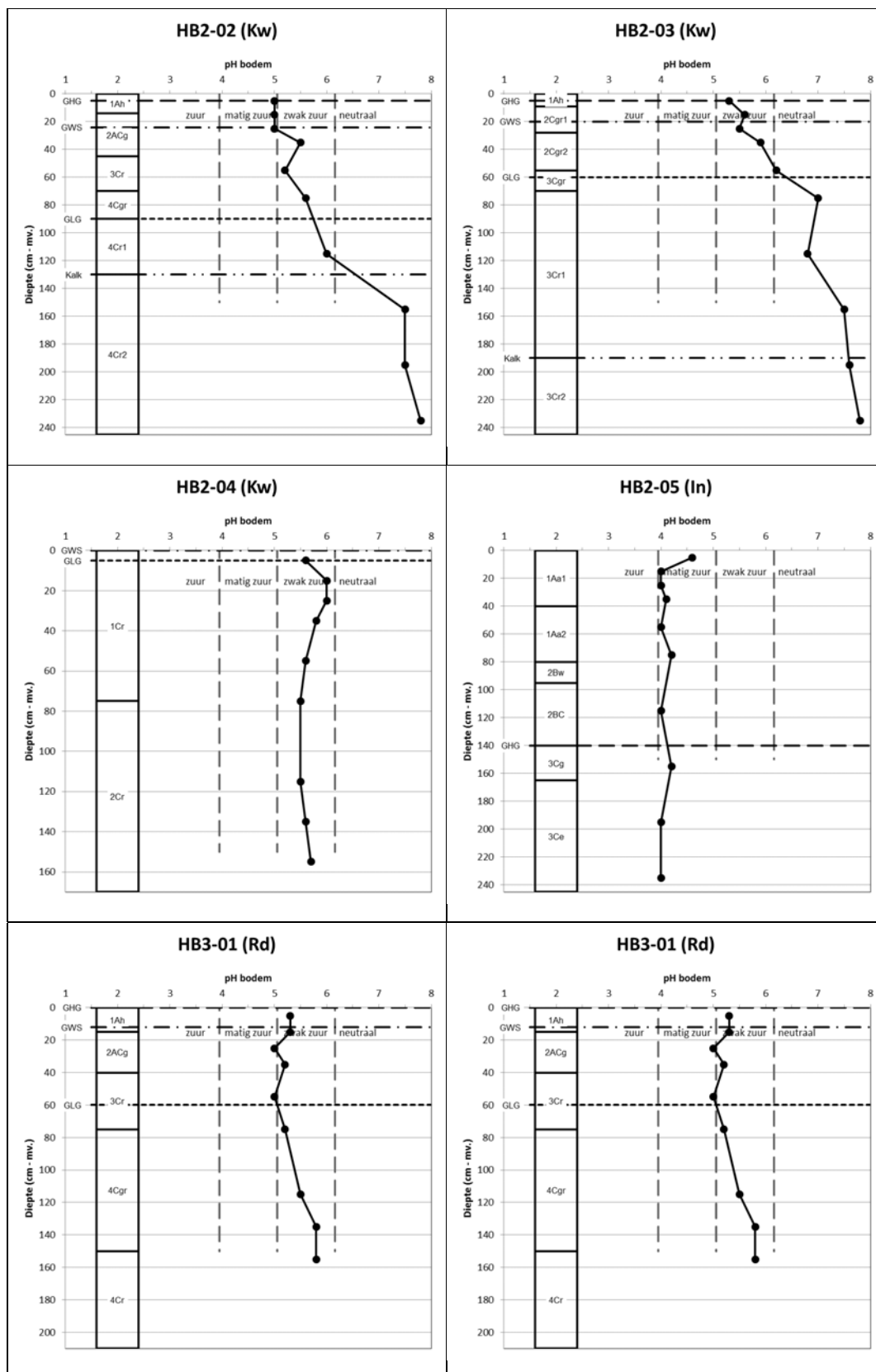
Runhaar, J., P. C. Jansen, H. Timmermans, F. P. Sival, W. C. Knol, S. P. J. v. Delft, P. Mekking, H. A. Gijsbertse & H. Kramer, 2003. Historische waterhuishouding en historisch grondgebruik in het waterschap Regge en Dinkel. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 801.

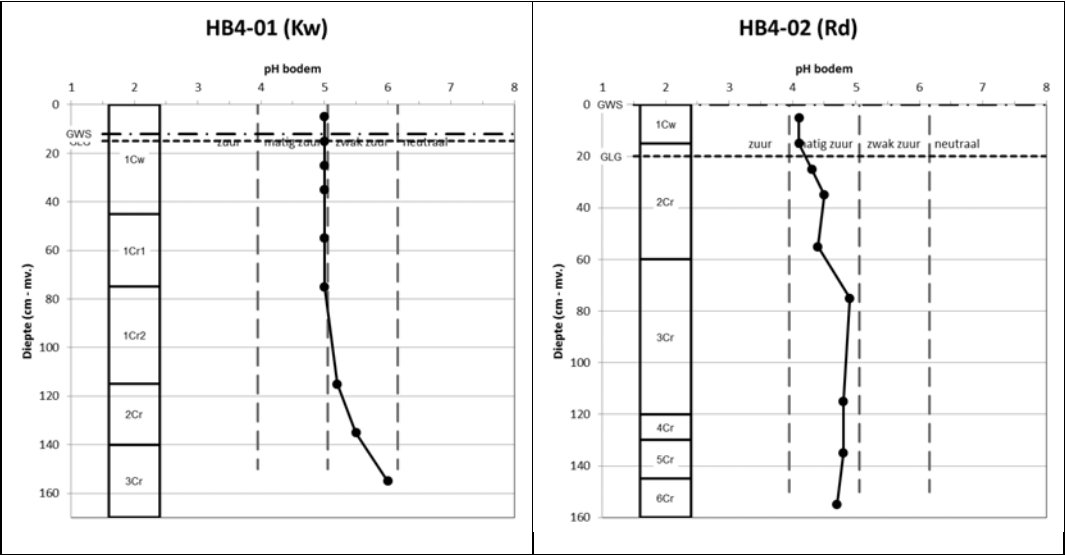
Runhaar, H. & S. Hennekens, 2014. 'Hydrologische Randvoorwaarden Natuur' Versie 3; Gebruikershandleiding. Wageningen, Nieuwegein, Utrecht, Alterra Wageningen UR, KWR Watercycle Research Institute, STOWA.

Waal, R. W. d. & S. P. J. v. Delft, 2014. Bodemonderzoek Liefstinghsbroek; Ecopedologisch en bodemchemisch onderzoek voor maatregelen tegen de effecten van stikstofdepositie. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2580.

Bijlage 1 pH-profielen







Bijlage 2 Bodemanalyses

Analyseresultaten voor de bodemonsters. De diepte staat voor de diepte-intervallen in cm waarover de bodems zijn verzameld. Vocht stat voor vochtgehalte, 'Org Stof' voor organisch stofgehalte, MV voor massavolume van de bodem in kg droge bodem per liter bodemvolume. PSI stat voor 'Phosphate Saturation Index' (fosfor in oxalaat extract gedeeld door ijzer plus aluminium in oxalaatextract). Tot staat voor totaalconcentratie gemeten in een bodemontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide en (z) voor de concentraties gemeten in een NaCl extractie.

Let op deze waarden worden gegeven per kg droge bodem. In de figuren in het rapport worden de waarden gegeven per liter bodemvolume. Dat is het Massavolume (MV in kg droge bodem per liter verse bodem) vermenigvuldigd met de waarden in onderstaande tabel.

		Vocht	Org Stof	MV	Olsen-P	tot-P	PSI	tot-Ca	tot-Mg	tot-Fe	tot-S	tot-Mn	tot-K	tot-Al
Locatie	Diepte	(%)	(%)	kg/l	µmol/kg	mmol/kg	mol/mol	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg
Noord														
HB1-01	0-20	15,2	3,8	0,84	1217	12,5	0,08	19,6	29,5	135	5,9	0,4	27	125
	20-40	14,4	2,5	0,97	340	5,4	0,04	16,5	27,8	152	1,9	0,7	24	131
	120-200	22,2	0,8	1,35	28	1,0	0,01	2,3	31,1	99	0,0	0,1	37	100
HB1-02	35-80	25,2	3,2	1,41	119	1,9	0,02	75,5	71,6	173	14,0	0,2	79	211
HB1-beek_GV	0-10	87,7	85,6	0,12	4405	29,0	0,04	459,1	81,2	64	214,3	1,0	13	56
	10-20	92,6	81,5	0,08	990	36,8	0,07	416,9	84,3	178	673,0	0,3	20	81
HB1-beek_GV/BN	0-10	84,0	71,2	0,18	2154	51,3	0,07	365,4	106,8	253	149,6	11,2	60	298
	10-20	82,6	65,5	0,20	1192	35,9	0,06	358,6	96,8	200	197,3	6,5	56	290
HB1-beek_BN	0-10	86,9	80,0	0,13	5082	40,1	0,05	514,5	89,0	80	268,7	3,9	27	92
	10-20	84,0	61,5	0,15	890	21,1	0,04	459,0	83,4	100	421,8	1,1	23	92
HB1-03	130-150	30,8	3,3	1,24	44	1,3	0,03	29,1	33,7	80	43,4	0,1	37	59
HB1-04	0-10	83,4	68,2	0,19	1733	74,6	0,11	395,6	40,1	304	246,3	5,1	21	131
	10-45	17,4	1,0	1,79	621	3,5	0,11	25,2	21,3	75	3,1	0,2	28	94
	120-160	23,3	1,9	1,45	17	2,5	0,03	75,1	97,1	198	201,5	0,7	61	155
HB1-05	0-20	23,1	5,5	1,12	1947	18,6	0,18	24,3	23,2	97	10,7	0,5	24	81
	20-45	21,1	4,7	1,27	2057	21,9	0,23	22,8	14,6	72	18,7	0,9	12	74
	45-70	21,2	1,9	1,41	579	4,8	0,12	11,5	39,1	100	2,4	0,3	48	116
Zuid														
HB2-01	0-30	11,3	4,3	1,01	2947	32,2	0,36	24,3	23,6	99	6,5	2,1	22	91
	40-60	14,2	3,0	1,26	1747	32,5	0,14	41,2	59,2	214	2,8	4,7	53	213
HB2-02	0-20	65,5	37,8	0,42	740	11,2	0,05	133,2	17,2	72	52,3	1,0	14	73
	100-120	26,3	1,9	1,43	14	1,7	0,04	69,1	73,0	173	80,1	0,4	73	136
HB2-03	0-10	64,3	31,8	0,43	2238	18,0	0,07	162,3	20,9	79	62,3	2,3	19	71
	10-30	35,3	6,1	1,09	144	3,0	0,03	38,6	14,0	58	40,9	0,3	14	62
	100-120	31,8	3,4	1,12	4	1,5	0,03	112,6	104,6	159	57,7	0,8	56	188
HB2-04	0-20	18,2	1,6	1,67	276	3,1	0,13	21,7	13,2	40	11,5	0,1	12	74
	20-40	17,7	1,3	1,71	316	3,4	0,08	19,6	13,6	44	8,4	0,1	13	80
HB2-05	0-20	18,3	5,7	1,22	2163	14,5	0,12	6,2	16,3	111	7,9	1,7	14	81
	20-35	16,2	4,4	1,18	1701	12,8	0,12	4,9	19,1	123	7,0	1,0	19	96
Mais	0-20	9,7	5,5	1,17	3317	38,2	0,45	40,7	20,0	91	9,8	1,4	16	87
	20-40	7,9	5,5	1,01	3397	40,1	0,43	43,5	19,7	90	9,3	1,6	15	83
Grasland	0-20	13,0	4,8	1,28	2172	14,7	0,17	8,0	11,2	76	6,4	0,8	9	74
	20-40	13,9	4,8	1,24	2124	13,9	0,17	10,3	12,6	75	6,4	0,8	11	79
De Mast														
HB4-01	0-10	82,2	50,4	0,21	3292	85,9	0,15	174,4	51,5	275	246,6	2,0	29	303
	20-30	81,3	54,3	0,20	2927	102,2	0,19	169,5	58,0	222	218,0	1,5	29	382
HB4-02	0-10	78,6	40,5	0,24	3101	212,0	0,19	212,6	52,8	979	125,4	10,5	33	140
	20-30	46,5	9,8	0,82	1583	35,8	0,16	41,1	25,3	144	25,9	1,4	19	123

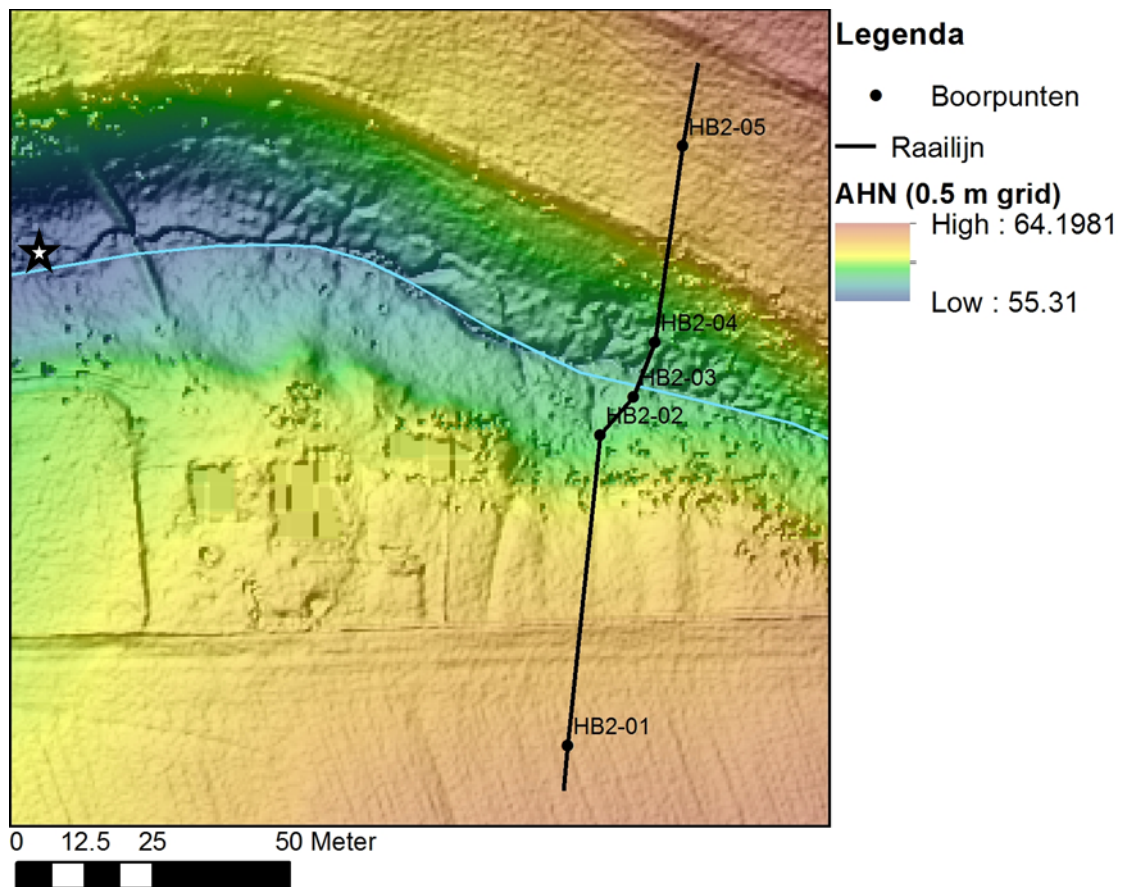
		pH(z)	Al(z)	Ca(z)	Mg(z)	K(z)	NO3(z)	NH4(z)	Fe(z)	Mn(z)	P(z)	S(z)
Locatie	Diepte		μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg	μmol/kg
Noord												
HB1-01	0-20	4,9	63,2	10042	3773	489	121,9	61,4	3,7	4,8	1,1	35,2
	20-40	5,1	28,4	9305	2896	634	42,3	34,8	2,7	2,5	0,2	21,5
	120-200	4,0	4135,5	723	488	629	59,9	46,2	3,7	3,7	0,0	96,1
HB1-02	35-80	7,4	4,8	35699	1623	640	4,0	463,6	0,2	0,4	1,8	196,6
HB1-beek_GV	0-10	5,2	262,5	126843	40293	4425	32,9	2247,3	139,8	167,4	57,0	1340,9
	10-20	6,5	52,5	152654	40298	8628	219,7	1270,8	10,3	4,2	122,1	17104,6
HB1-beek_GV/BN	0-10	5,7	61,0	115544	34292	10175	123,6	1738,0	44,4	422,6	26,4	1867,0
	10-20	5,6	397,3	101575	27455	10727	22,0	2049,2	77,6	1091,3	6,0	1755,8
HB1-beek_BN	0-10	6,0	287,2	162221	36465	9630	128,2	2447,0	11,9	100,0	53,8	2459,4
	10-20	6,5	111,7	107962	29093	7480	31,3	1473,6	5,3	16,9	31,0	4798,7
HB1-03	130-150	7,2	114,5	13323	4776	3034	82,9	269,2	1,9	0,3	2,6	1296,7
HB1-04	0-10	5,5	105,2	127497	13678	4418	18,6	1046,9	452,9	775,4	10,8	18078,9
	10-45	6,3	7,0	14355	2215	1555	23,3	550,6	1,2	30,8	1,2	107,4
	120-160	6,9	9,2	39091	5793	4611	9,6	128,4	0,5	8,5	0,0	6158,3
HB1-05	0-20	5,3	77,7	11743	4633	2453	538,2	90,5	5,7	8,1	1,5	323,8
	20-45	5,2	33,7	10639	3159	1702	311,5	720,7	3,8	198,8	1,0	2427,8
	45-70	4,8	162,9	9504	3390	1803	10,6	1738,7	129,0	242,5	0,0	946,4
Zuid												
HB2-01	0-30	5,5	15,1	9693	4287	343	399,3	78,5	3,2	2,7	22,5	74,6
	40-60	4,3	588,8	22837	8802	2075	73,8	15,7	3,4	33,0	0,8	16,6
HB2-02	0-20	5,6	56,0	61927	4343	3456	489,2	388,2	12,8	21,4	4,5	5124,7
	100-120	7,4	28,6	39915	1090	1947	3,3	25,6	0,7	0,2	0,4	4550,1
HB2-03	0-10	5,2	86,0	55084	4652	3850	494,4	929,1	50,7	288,3	15,8	1054,7
	10-30	5,8	61,3	17582	1287	1173	10,2	159,3	8,4	25,0	1,1	2186,5
	100-120	7,5	18,1	56301	1671	1507	3,7	38,7	0,3	0,6	0,4	4807,7
HB2-04	0-20	6,7	8,2	11038	810	856	5,1	155,2	1,0	2,7	1,2	441,5
	20-40	6,8	7,3	9504	712	1067	2,8	41,4	1,1	0,6	1,9	334,9
HB2-05	0-20	4,0	795,2	3076	1235	1017	181,3	111,1	12,0	238,2	2,1	87,2
	20-35	3,7	1892,4	1202	367	770	142,4	52,3	12,3	80,6	1,7	74,2
Mais	0-20	5,5	32,5	12003	3756	1536	628,0	72,3	5,3	2,4	115,4	228,3
	20-40	5,6	59,0	13237	4343	1409	334,2	59,0	4,6	1,7	106,1	268,3
Grasland	0-20	4,0	783,3	2763	341	219	130,1	313,5	4,9	48,2	2,4	46,6
	20-40	4,1	649,1	3258	698	155	167,8	71,1	5,2	39,9	1,8	58,2
De Mast												
HB4-01	0-10	5,2	152,0	74058	20412	8008	16,9	1646,3	442,8	672,5	9,4	11212,2
	20-30	5,0	341,4	77666	25070	5716	255,1	1859,2	87,0	279,5	10,7	16216,1
HB4-02	0-10	5,6	94,2	71042	22301	18408	13,3	3263,8	2744,5	1842,0	17,1	8708,8
	20-30	5,0	38,6	16142	4163	3209	14,9	1491,1	55,8	330,4	1,7	382,6

Bijlage 3 Wateranalyses

Analyseresultaten voor de poriewatermonsters die werden genomen in het controlevak. EGV staat voor elektrisch geleidingsvermogen en wordt gegeven in $\mu\text{siemens/cm}$. De diepte is in cm onder maaiveld waarop de grondwatermonsters genomen zijn. Alle overige concentraties, met uitzondering van de pH, zijn in $\mu\text{mol L}^{-1}$.

Locatie	Diepte	pH	EGV $\mu\text{S/cm}$	CO ₂ $\mu\text{mol/l}$	HCO ₃ $\mu\text{mol/l}$	Ca $\mu\text{mol/l}$	Mg $\mu\text{mol/l}$	K $\mu\text{mol/l}$	Na $\mu\text{mol/l}$	Cl $\mu\text{mol/l}$	SO ₄ $\mu\text{mol/l}$	Fe $\mu\text{mol/l}$	P $\mu\text{mol/l}$	NH ₄ $\mu\text{mol/l}$	NO ₃ $\mu\text{mol/l}$	Si $\mu\text{mol/l}$
Noord																
HB1-01	240	5,5	131	2117	296	174	178	167	281	204	199	0,7	1,0	0,6	326	259
HB1-02	200	7,2	530	359	2361	2128	225	323	427	762	948	18,8	6,2	16,3	428	529
	50	6,9	702	1597	4947	3214	270	93	612	1004	835	17,7	6,2	30,5	18,3	792
Beek	OW	7,7	419	60	1362	1264	296	195	735	327	723	7,2	3,0	1,5	596	453
HB1-03	170	7,0	324	534	2465	1398	314	307	834	288	1032	2,5	6,3	46,1	13,4	696
HB1-04	100	6,7	377	661	1497	1002	301	215	740	556	822	174,2	4,0	35,0	23,3	325
Kwelsloot	OW	6,3	409	836	617	1184	319	208	689	589	1324	94,1	9,7	26,4	38,6	363
HB1-05	150	5,9	453	942	301	1162	349	218	685	580	1738	204,7	19,8	40,0	18,5	411
Zuid																
HB2-02	100	6,4	671	1760	1689	3318	285	137	844	723	2559	6,3	1,1	6,0	27,4	617
HB2-03	100	7,1	658	431	2072	3256	220	123	491	676	2132	13,1	0,7	8,4	12,1	643
Beek	OW	6,9	579	857	2916	2535	260	280	518	732	1218	6,3	2,9	2,7	50,6	568
HB2-04	75	6,9	236	591	1752	1143	121	124	318	212	544	5,9	1,4	1,6	115	448
HB2-05	250	6,2	151	1574	1019	552	81	91	199	105	179	7,1	1,2	4,8	205	366
HB3-01	90	5,9	258	2750	989	886	219	118	307	120	709	14,3	0,9	11,0	7,3	361
HB3-02	90	5,9	197	2925	917	795	99	45	164	74	487	5,2	0,6	1,0	4,1	441
De Mast																
Bron	25	6,6	389	946	1416	1169	389	289	496	773	795	177,7	75,3	37,2	4,1	450
HB4-01	80	6,6	219	713	1053	345	157	317	799	524	165	52,4	7,4	134,1	64,4	508
HB4-02	60	6,7	330	1167	2530	830	287	444	754	248	277	179,8	47,2	237,8	52,0	440
Sloot	OW	7,5	426	162	2108	1490	317	245	851	659	628	8,3	3,0	3,1	301	507

Bijlage 4 Bronlocatie raai 2



Locatie van de bronlocatie (witte ster) nabij raai 2.