

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Kennisnetwerk OBN

Herstel van de Zuid-Limburgse
hellingmoerassen, het
Kalkmoeras in het bijzonder



provincie limburg
gesubsidieerd door de Provincie Limburg



 VBNE

Herstel van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen, het Kalkmoeras in het bijzonder



provincie limburg

gesubsidieerd door de Provincie Limburg



ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

2017 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren
Rapport OBN2017/213-HE
Driebergen, 2017

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Dit onderzoek is financieel mede mogelijk gemaakt door het ministerie van
Economische Zaken, Bij12 en de Provincie Limburg

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het VBNE onder
vermelding van code OBN2017/213-HE en het aantal exemplaren.

Oplage 75

Samenstelling Hans de Mars (Royal HaskoningDHV), eindredactie
Boy Possen (Royal HaskoningDHV)
Bas van Delft (Wageningen Environmental Research)
Eddy Weeda (Wageningen Environmental Research)
Joop Schaminée (Wageningen Environmental Research)
Michiel Wallis de Vries (De Vlinderstichting)

Druk KNNV Uitgeverij/Publishing

Foto voorkant Kalkmoeras Carex-weide. Fotograaf: Hans de Mars

Productie VBNE, Vereniging voor Bos- en Natuurterreineigenaren
Adres : Princenhof Park 9, 3972 NG, Driebergen
Telefoon : 0343-745250
E-mail : info@vbne.nl

Woord vooraf

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, PAS, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

De Zuid-Limburgse beekdalen zijn uniek: zowel de rijkdom aan planten en dieren als aan levensgemeenschappen blijkt bijzonder groot te zijn. De hellingmoerassen dragen daar, ondanks hun vaak geringe afmetingen, in hoge mate aan bij. In het beleid komt deze grote betekenis van de Zuid-Limburgse beekdalen tot uitdrukking in de aanmelding van een respectabel aantal gebieden voor Natura-2000: Bunder- en Elslooërbos, Geleenbeekdal, Geuldal, Sint Pietersberg & Jekerdal en Noorbeemden & Hoogbos. Dit is gedaan op grond van diverse habitatsoorten en habitattypen, onder meer kalktufbronnen, vochtige alluviale bossen en kalk-moerassen.

Het behoud en herstel van Zuid-Limburgse beekdalen en de hellingmoerassen in het bijzonder lijkt niet eenvoudig te realiseren, gezien de ingewikkelde geomorfologie en geohydrologie van het gebied en de complexe ontstaansgeschiedenis ervan, alsook de sterke antropogene beïnvloeding. Van de oorspronkelijke diversiteit van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen is naar verhouding weinig bekend, maar er lijken op diverse plekken kansen te zijn voor herstel.

Rode draad in het onderzoek binnen vier verschillende Natura2000-gebieden in Zuid Limburg is het Natura2000-habitatype Kalkmoeras (H7230). Dit onderzoek legt een basis voor herstel- en uitbreidingsmaatregelen voor de Zuid-Limburgse hellingmoerassen, en het Kalkmoeras in het bijzonder. Het onderzoek richt zich dus ook op het identificeren van kansrijke (nieuwe) locaties in het heuvellandschap. In het verlengde daarvan draagt het onderzoek ook bij aan het formuleren van inrichtings- en beheermaatregelen voor herstel van de belangrijkste nat-droog gradiënten in de Zuid-Limburgse beekdalen op basenrijke bodem met de daarin aanwezige biotopen en levensgemeenschappen (c.q. Natura2000-habitattypen). In hoofdstuk 8 leest u specifiek over de mogelijkheden van uitbreiding en herstel van deze bijzonder waardevolle natuur.

Ik wens u veel leesplezier.

Teo Wams

Voorzitter van de OBN Adviescommissie

Dankwoord

Het onderzoek aan de Zuid-Limburgse hellingmoerassen zou niet mogelijk zijn geweest zonder de inhoudelijke bijdragen, kennis, adviezen en ondersteuning van tal van personen en instanties.

Om te beginnen willen wij de terreinbeheerders van Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten, Stichting Limburgs Landschap en Waterschap Roer en Overmaas (thans Waterschap Limburg) bedanken voor de toestemming om dit langjarige onderzoek uit te voeren in hun terreinen.

Voor het verrichten van aanvullende vlinderwaarnemingen in de terreinen gaat onze dank gaat uit naar John Adams, Sandra Lamberts, Mark de Mooij en Paul Vossen van de Vlinderwerkgroep van het Natuurhistorisch Genootschap en Sicco Ens en Kim Huskens van De Vlinderstichting.

Fons Smolders (BWARE) voor het in bruikleen geven van een EGV-'prikstok' en Jean Hacking (Provincie Limburg) voor het beschikbaar stellen van de kwaliteits- en kwantiteitsgegevens van het OGOR-meetnet.

Verder willen wij Bas van der Weijden en Erik van Rijsselt (Royal HaskoningDHV) bedanken voor de assistentie bij de verschillende bemonsteringsronden en de verwerking van de verzamelde (hydrologische) gegevens.

Voorts de leden van OBN Deskundigenteam Heuvelland voor hun inbreng en opbouwende adviezen gedurende de looptijd van het project.

Tot slot gaat onze dank uit naar VBNE en de Provincie Limburg die dit onderzoek financieel hebben mogelijk gemaakt.

Samenvatting

De Zuid-Limburgse beekdalen nemen binnen Nederland een unieke plaats in. Zowel de rijkdom aan planten en dieren als levensgemeenschappen blijkt bijzonder groot. De vele natte biotopen in het gebied dragen daar aan bij. Geomorfologie en landschappelijk gezien hebben we hierbij te maken met *hellingmoerassen* en incidenteel *kwelmoerassen*. Tegelijkertijd zijn er vragen hoe deze natuurwaarden duurzaam te laten voortbestaan in een regio waar het grondwater sterk vervuild is geraakt.

Het onderzoeksproject '*Ecohydrologie van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen*' spitst zich toe op de sleutelfactoren achter het ecohydrologisch functioneren van de hellingmoerassen, meer in het bijzonder het Kalkmoeras H7230. Mede op grond daarvan is bekeken waar zich kansrijke locaties voor herstel en uitbreiding bevinden, gegeven de kwaliteits- en uitbreidingsdoelstellingen voor het habitatype.

Het onderzoek kent enerzijds een historisch ecologische invalshoek waarmee meer inzicht is gekregen in het voormalige verspreidingsgebied van dit habitatype en in de toenmalige landschappelijke samenhang binnen de beekdalen. Anderzijds is standplaatsonderzoek (vegetatie, bodemchemie, bodembioïecologie hydrologie) uitgevoerd in acht sterk uiteenlopende terreinen verspreid door Zuid-Limburg.

De Zuid-Limburgse hellingmoerassen omvatten zonder uitzondering zeer basenrijke tot uitgesproken kalkrijke moerassen. Daarbinnen komen ook veenvormende of zelfs kalktuf vormende moerasvegetaties voor die kunnen worden aangemerkt als H7230 Kalkmoeras. Vegetatiekundig zijn die onder te brengen in het:

- *Campylo-Caricetum dioicae* (Associatie van Vetblad en Vlozegge) of het Continentaal-Midden-Europese en recent voor Nederland beschreven
- *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* (Schubzegge associatie).

Actueel zijn deze Kalkmoerasvegetaties in Zuid-Limburg alleen aanwezig in een mozaïek dan wel met elementen uit het Dotterbloemhooiland (*Calthion palustris*), en in een vorm van Veldrusbeemd (*Crepido-Juncetum*) met *Junco-Molinion* elementen. Al deze vormen en mozaïeken zijn, in combinatie met bepaalde indicatorsoorten, ook toe te delen aan het habitatype H7230 Kalkmoeras.

Het onderzoek wijst uit dat zwaartepunt in het voorkomen van hellingmoerassen in Zuid-Limburg rond het Plateau van Vaals en in het Boven-Geleenbeekdal, stroomopwaarts van Nuth ligt. De meeste nog aanwezige open hellingmoerassen kenmerken zich vaak enkel door een moerige bovengrond. Toch komen er wel degelijk veensystemen voor in Zuid-Limburg. Afgaand op de beschikbare informatie blijkt dat kalkmoerassen voor 1950 een veel ruimere verspreiding kenden binnen Zuid-Limburg dan tegenwoordig. Het zwaartepunt lag in de noordelijke löss-regio. De vindplaatsen concentreerden zich hier in het Roode beekdal, het Geleenbeekdal met haar zijdalen, en meer lokaal, in het Bunder- en Elslooërbos en het Geuldal.

Veel van de toenmalige hellingmoerassen werden al rond 1960-1965 ingenomen door bos. Wijzigingen in de vlinderfauna wijzen op een te sterke versnippering van de hellingmoerassen en daarbuiten een verlies aan habitatkwaliteit (intensivering landgebruik en bebossing), waardoor de landschappelijke samenhang verloren is gegaan.

De huidige Zuid-Limburgse hellingmoerassen worden gekenmerkt door hard, mineraalrijk neutraal- tot licht basisch grondwater (pH 6,5-7,5). Het grondwater vertoont daarbij duidelijke sporen van antropogene beïnvloeding. Dat komt onder meer tot uiting in het hoge sulfaat-, - chloride- en nitraatgehalte.

Het bodemonderzoek maakt duidelijk dat de hellingmoerassen, uitgezonderd de Veldrusbeemden, worden gekenmerkt door kalkhoudende tot uitgesproken kalkrijke bodems waarbij in meer of mindere mate ook sprake is van kalkneerslag (tufvorming). Daarnaast hebben de meeste profielen een grote pyrietvoorraad, die op locaties met Kalkmoeras(indicaties) zelfs het hoogste zijn ($>7,4 \text{ g/dm}^2$ binnen 30 cm onder maaiveld).

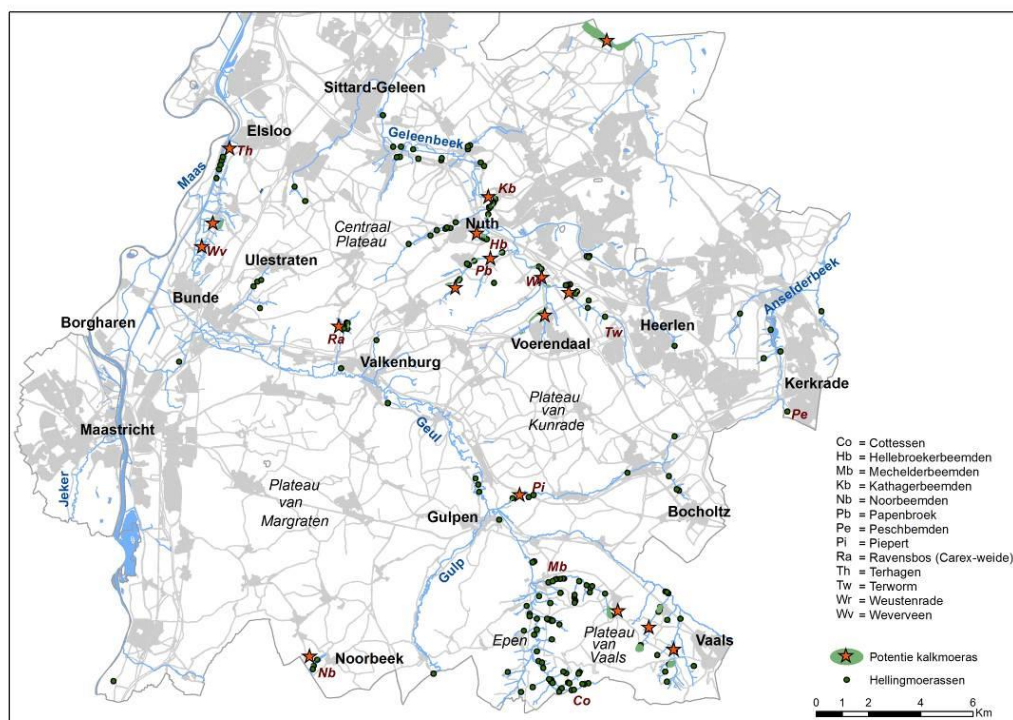
De microbiële biomassa vervult zowel een rol in de nutriëntenhuishouding als bij de pyrietvorming. Er zijn sterke aanwijzingen dat verschillende P-fracties worden vastgelegd in de microbiële biomassa. Daarnaast wijzen zowel groeisnelheid van - en de correlatie tussen de bacteriële biomassa en mineraliseerbare N op stikstof-immobilisatie in de microbiële biomassa. De bacteriële groeisnelheid blijkt daarnaast sterk gecorreleerd aan het zwavelgehalte van de bodem, wat op een verband wijst met de pyrietvorming. De vegetatie op de meeste locaties blijkt stikstof-gelimiteerd te zijn. Binnen de hellingmoerassen is vrijwel altijd wel een zone te identificeren waar de waterstanden zelden dieper uitzakken dan de voor Kalkmoeras kritisch geachte 20-25 cm. De grondwaterstand is daarmee voor dit habitatype dus geen kritische factor. Afgaand op de gemeten basisafvoeren blijkt het waterherkomstgebied van de meeste hellingmoerassen slechts een beperkte omvang te hebben ($<10 \text{ ha}$). De geconstateerde vervuiling moet dan uit de directe omgeving komen. Het wettigt ook het vermoeden dat de meeste hellingmoerassen hun bestaan danken aan de middeleeuwse ontginning van de plateau's (toename infiltratie en afstroming van grondwater). Een eventuele bebossing van het intrekgebied kan dan verdroging tot gevolg hebben.

Het belangrijkste sturende proces voor de instandhouding van het hellingmoeras is het constant - en over een breed front diffuus uitreden van grondwater. In het bijzonder voor Kalkmoerassen geldt daarbij dat het watervoerend pakket waaruit het hellingmoeras wordt gevoed moet bestaan uit goed doorlatende afzettingen om voldoende constante toevoer te garanderen.

Onder invloed van de sterk verhoogde sulfaatgehalten van het toestromende grondwater treedt in de ondiepe ondergrond van de hellingmoerassen pyrietvorming op. Tegelijkertijd wordt daardoor aan maaiveld vaak kalktufvorming gestimuleerd. De mate waarmee dat proces tegenwoordig plaatsvindt, zal aanzienlijk groter zijn en wijder verbreid voorkomen dan vroeger toen de nitraat- en sulfaatgehalten in het grondwater nog lang niet zo hoog waren als nu het geval is.

Het al of niet aanwezig zijn van kalk in het profiel maakt de P huishouding complex. Kalkmoeraslocaties zijn te vinden op plaatsen waar kalk ook in de diepere delen van het profiel aanwezig is. De aanwezigheid van kalk blijkt echter niet zonder meer een garantie voor P-beperking van de vegetatie. Daarbij moet ook de aanwezigheid van actief ijzer (Fe_{ox}) of pyrietvorming (FeS_2) worden betrokken, evenals een actieve microbiële biomassa, meer in het bijzonder de bodemschimmels. Daarnaast speelt ook het voormalig (agrarisch) gebruik van de percelen een rol.

Figuur S1 Kansrijke locaties voor uitbreiding en herstel van kalkmoeras
Figure S1 Potential locations for restoration and redevelopment of Calcareous spring fed fens.



Teruggrijpend op het historisch voorkomen worden, mede aan de hand van de bevindingen, kansrijke locaties beschreven voor herstel en uitbreiding van het Kalkmoeras in Zuid-Limburg, evenals (mogelijke) herstelmaatregelen. Binnen de N2000-gebieden liggen de kansrijke locaties vaak op plaatsen die nu zijn aangeduid als Alluviaal bos. Verder zijn er enkele kansrijke locaties die in de directe nabijheid van - of in aansluiting op bestaande Kalkmoeras-locaties liggen (bijv. bij Weustenrade, Kathagerbroek). Verschillende interessante locaties (Figuur S1) blijken echter buiten de begrenzing van de huidige N2000-gebieden te liggen of het habitatype is voor het desbetreffende gebied niet aangewezen.

Summary

Restoration of calcaerous spring fed fens in South Limburg (NL), the 7230 Alkaline fens in particular

The aim of the research project *Ecohydrology of the spring fed fens in South Limburg (NL)* is to define the key processes behind the ecohydrological functioning of these fens and their chances for restoration and nature development of 7230 Alkaline fens in particular. Nowadays this type of calcaerous spring fed fen vegetation in the hills of South Limburg is almost extinct. The research not only focused on the site conditions and the landscape ecological setting of these fens. The study also focused on the historical distribution of 7230 Alkaline fens in South Limburg based on historical records of the specific species.

The Alkaline fens of South Limburg can be classified to the Mid-European *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* (*Caricion davallianae*). At present this vegetation type is only found in a mosaic with the *Calthion palustris* and the *Junco-Molinion* (6410 *Molinia* meadows on calcaerous, peaty or clayey-silt-laden soils).

The main distribution of Alkaline fens was situated in the so called Löss-area in the northern part of South Limburg, mainly in the upper course of the Geleen valley and her small tributaries. Furthermore there were some scattered locations near Gulpen and between Epen - Vaals in the most south eastern part of South Limburg.

During the first half of the 20th century a lot of spring fed fens among which also most of the Alkaline fens were abandoned and planted with poplars or broad leaf forest or were destroyed by land use intensification. Due to their small surface increasing isolation amidst forests or agricultural land the remaining fens also lost part of their faunal value as is illustrated for the decreasing species diversity of the butterfly communities in the remaining spring fed fens.

Nowadays the distribution of Alkaline fens is restricted to only four small sites protected under N2000 (Carex-meadow in Ravenswood Forest, Weustenrade fen, Kathagen fen and Curfs quarry). Nevertheless, during the last two decades some of the specific species such as the Yellow sedge (*Carex flava*) were often found temporarily at or near formerly known locations of Alkaline fens, indicating the potential for restoration of Alkaline fens on such places. Moreover Weustenrade fen (1995) and the small fen in the Curfs quarry (2008) developed accidentally after digging.

Based on the measured water regimes it appears that restoration of 7230 Alkaline fens is quite easy. In almost every spring fed fen a zone can be identified on the slopes where the critical water regime for Alkaline fens is met; Groundwater levels not less than 25 cm below the surface. The draining effect of artificial runnels must be eliminated anyway.

More than previously expected the spring fed fens show (active) deposits of chalk close to the surface but sometimes also deeper down the soil profile. The latter is mostly the case for the locations with Alkaline fen vegetation. But we also found the highest quantities of pyrite there (>7.4 g/dm² within 30 cm) in the subsoil.

At present the spring fed fens of South Limburg are fed by very mineral rich (EC: 400-1400 µS/cm) near neutral to slightly alkaline groundwater (at 50 cm below surface: pH=6.5-7.5) but it contains a severe contamination by nitrate (up to 257 mg/l) and sulphate (up to 170 mg/l). Most of the sulphate comes from the oxidation of sediments rich in pyrite in the subsoil of the infiltration areas due to denitrification of nitrate. The

high nitrate loads of the groundwater are mainly the result of intensively fertilized agriculture areas on the higher grounds. High microbial activity in the fens often reduces to a large extent the high nitrate and sulphate content coming in by groundwater but at cost of the organic matter content. Besides, the high microbial activity also results in pyrite formation that may cause the chalk deposition at surface and may also improve phosphorus availability to plants. However a large part of the nutrient made available appear to end up in the microbial biomass so far, though this is not considered a sustainable situation. Fen vegetation of only two out of eight locations appeared to be limited by P, even despite the presence of considerable amounts of chalk in soil. So the presence of chalk is not considered to be a guarantee for P-limitation. Although the availability may be reduced also other factors must be considered such the presence of microbial biomass and its activity but also the presence of iron and pyrite.

Mowing in early summer and in autumn as well as a strong reduction of the nitrate content in percolating groundwater is necessary to achieve sustainable development of spring fed fens including the Alkaline fens. Luckily most of the fens have a limited recharge area (c. 2-25 ha), which means that the nitrate pollution is rather easy to counteract by introducing extensive land use there. Afforestation of these recharge areas must be avoided as this may significantly affected infiltration of rainwater (increasing evaporation) which will result in a reduction of the amount of discharging groundwater in the fens.

Based on the results of this study a number of potential locations for the restoration of Alkaline fens are presented (Figure S1). Potential locations are found close to or even adjacent to existing sites located within N2000 areas. However in several cases the selected locations of high potential are presently covered by Alluvial alder woods also a N2000 protected habitat type (91E0). Furthermore several other locations appeared to lay outside the current boundaries of the N2000 areas, as for instance the promising locations of the once largest calcareous fens in South Limburg near Voerendaal and along the German border near Jabeek. Finally a roadmap is presented how to proof the suitability of the selected locations for the development of 7230 Alkaline fen including necessary landscape ecological measures hydrological restoration measures and future management of these newly developed sites.

Sod removal on locations formerly intensively used by agriculture (P-rich) is the only effective measure to full fill the demands for sustainable development of Alkaline fens ($P_w < 0,05$ mg/l dry matter). Sometimes these locations have been filled up previously.

This OBN project was financed by the Province of Limburg (NL) and the OBN-Knowledge Network coordinated by the VBNE (Association of Forest - and Nature site owners) on behalf of BIJ12 and the Ministry of Economic Affairs. The scientific guidance of this research project was given by the members of the regional OBN-Expert Team 'Colline Areas' (DT Heuvelland)¹.

¹ For further information on OBN Expert Team 'Colline Areas' please contact the secretary: friso.vanderZee@wur.nl or the VBNE: m.brunsveld@vbne.nl
See also http://dt.natuurkennis.nl/uploads/OBN_English_Brochure_2016.pdf

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary	3
1 Inleiding	9
1.2 Achtergronden	9
1.3 Kennisbehoefte	9
1.4 Kennisvragen	11
1.5 Globale opzet van het onderzoeksproject	11
1.6 Leeswijzer	13
2 De Zuid-Limburgse hellingmoerassen in bredere (historische) context	14
2.1 Typering	14
2.2 Hellingmoerassen in Zuid-Limburg	15
2.2.1 Ontwikkeling van hellingmoerassystemen in Zuid-Limburg	15
2.2.2 Actuele verspreiding van de open hellingmoerassen	17
2.2.3 Verspreiding van het Kalkmoeras in Zuid-Limburg, 1800 – 2000.	20
2.2.4 Dagvlinders van het hellingmoeras - historische waarnemingen	25
3 Vegetaties van het hellingmoeras	30
3.1 Inleiding	30
3.2 Het kalkmoeras in Zuid-Limburg vegetatiekundig beschouwd	30
3.2.1 Kalkmoerasvegetaties in Noordwest-Europees verband	30
3.2.2 Kalkmoerasvegetaties in Zuid-Limburg	31
3.2.3 Het kalkmoeras in de landschapgradiënt	33
3.2.4 Resumé	35
3.3 Plantengemeenschappen van het Zuid-Limburgse hellingmoeras	35
3.3.1 Vegetatietypen en soortgroepen	35
3.3.2 Biomassaproductie & nutriëntenlimitatie	38
4 Dagvlinderfauna van de hellingmoerassen: indicatoren van landschappelijke samenhang	40
4.1 Inleiding	40
4.2 Actuele vlindergemeenschappen	40
4.2.1 Aangetroffen soorten	40
4.2.2 Functionele veranderingen in de vlinderfauna	40
4.2.3 Herstel	43
4.2.4 Resumé: Dagvlinders in de hellingmoerassen	44
5 Standplaatscondities in de helling-moerassen, het Kalkmoeras in het bijzonder	45
5.1 Bodemkundige karakteristiek	45

5.2	Bodemchemische en bodembioologische eigenschappen	46
5.2.1	Inleiding	46
5.2.2	Bodem pH en Kalkgehalte	47
5.2.3	Pyrietgehalte	49
5.2.4	C/N versus C/P	51
5.2.5	Fosfaatbeschikbaarheid	52
5.2.6	Bodembioologische eigenschappen	54
5.2.7	Resumé	55
5.3	Waterregime	56
5.3.1	Inleiding	56
5.3.2	Het waterregime in hellingmoerassen	57
5.3.3	Waterregime kort samengevat	60
5.4	Grondwaterkwaliteit	61
5.4.1	Inleiding	61
5.4.2	De grondwaterkwaliteit in het hellingmoeras in het algemeen	61
5.4.3	Grondwaterkwaliteit in het Kalkmoeras	62
5.4.4	Waterkwaliteit, kort samengevat	66
5.5	Waterherkomstgebieden	66
5.5.1	Inleiding	66
5.5.2	Ruimtelijke afbakening intrekgebied	67
6	Sleutelprocessen	70
6.1	Hydrologische systeemwerking	70
6.2	Bodemchemische sleutelprocessen	71
6.3	Nutriëntenhuishouding en rol van het bodemleven	75
6.4	Tot besluit	78
7	Antropogene invloeden	79
7.1	Inleiding	79
7.2	Verlies landschappelijke samenhang	79
7.3	Verdroging	80
7.3.1	Ontginning en bebossing	80
7.3.2	Ontwatering	80
7.4	Vermesting van het grondwater	81
7.4.1	Herkomst	81
7.4.2	Verstoring kalktuf- en pyriethuishouding	81
8	Uitbreidingsmogelijkheden en herstel	82
8.1	Uitbreidingsmogelijkheden	82
8.1.1	Inleiding	82
8.1.2	Zoekgebieden voor uitbreiding	82
8.2	Herstelmaatregelen	85
8.2.1	Stappenplan	85
8.2.2	Hydrologische maatregelen	86
8.2.3	Inrichtingsmaatregelen	87
9	Literatuur	89

BIJLAGE 1: Resultaten Fase I in kort bestek.	98
BIJLAGE 2: Fase 2 - Korte schets van de nader onderzochte terreinen	99
BIJLAGE 3: Vegetatiekundige beschrijvingen van de onderzoekslocaties	101
BIJLAGE 4: Synoptische tabel van de vegetatie in de onderzochte gebieden	109
BIJLAGE 5: Kennisoverzicht habitatcondities en knelpunten voor purperstreepparelmoervlinder en Rode vuurvlinder	113
BIJLAGE 6: Geologische, bodemkundige en humusprofiel beschrijvingen van de onderzochte locaties	117
BIJLAGE 7: Profielbeschrijvingen	138
BIJLAGE 8: pH-profielen	142
BIJLAGE 9: Bodemchemie	147
BIJLAGE 10: Bodembioologische analyseresultaten	152
BIJLAGE 11: Correlaties bodemchemie, biologie en gewas	153
BIJLAGE 12: Regionale geohydrologische systemen	156
BIJLAGE 13: Kwaliteitsgegevens grond- en oppervlaktewater	157
BIJLAGE 14: Veldmetingen op de transecten (2013-2017)	161
BIJLAGE 15: EGV-profielen van de transecten (2016)	165
BIJLAGE 16: Waterkwaliteitsgegevens van aanvullende locaties en referentielocaties van het Kalkmoeras	169
BIJLAGE 17: Bepaling en inpassing intrekgebieden	170

1 Inleiding

1.2 Achtergronden

In het Preadvies Beekdalen Heuvelland, dat in opdracht van de toenmalige directie Kennis van LNV is opgesteld, wordt de bijzondere positie van de Zuid Limburgse beekdalen onderstreept. In het beleid komt dat bijzondere karakter van de regio ook tot uitdrukking in het grote aantal Natura2000-gebieden dat is aangewezen, onder meer vanwege het voorkomen van bijzondere, natte Natura 2000-habitattypen zoals Alluviale bossen, Kalktufbronnen en Kalkmoerassen.

Rode draad vormt het habitatype Kalkmoeras (H7230). Meer inzicht in de standplaatskenmerken binnen het heuvelland zal kunnen leiden tot adviezen om bestaande natuurterreinen (nog) beter te beheren en tot de uitbreiding van het nu nog geringe areaal van dit specifieke habitatype, vooral die waarin neerslag van kalktuf plaatsvindt. Niet alleen in Nederland, ook op Noordwest-Europese schaal gezien is dit tegenwoordig een zeldzaam fenomeen geworden (Grootjans et al., 2006). Het onderzoek werd eind 2012 in voorbereiding genomen. Het zwaartepunt in het veldonderzoek lag in de periode 2013 tot en met medio 2015 maar kon dankzij een bijdrage van de Provincie Limburg worden voortgezet tot september 2016.

Afbakening studiegebied

Het onderzoeksgebied in de ruimste zin, laat zich globaal begrenzen tot het gebied ten zuiden van de lijn Stein, Sittard, Etzenrade, Hoensbroek, Schaesberg, Rimburch. Dat gebied omvat het löss- en kalksteengebied van Zuid-Limburg. De zandige gebieden van de Schinveldse bossen, de Brunsummerheide en het Leiffenderveen (Gangelter Bruch), vallen er dus buiten.

1.3 Kennisbehoefte

Tot voor kort werd aan de Zuid-Limburgse hellingmoerassen weinig gericht onderzoek uitgevoerd, afgezien van vegetatieonderzoek (Weeda, 2008) en botanisch archiefonderzoek (Weeda & Keulen, 2007) dat in de jaren voorafgaand aan het OBN-preadvies plaatsvond. Dat OBN-Preadvies onderstreepte dat behoud en herstel van dit type terreinen niet eenvoudig was te realiseren, omdat onvoldoende inzicht bestond in de onderliggende abiotische condities en processen (Schaminée et al., 2009). Een belangrijke kennislacune betrof de ecohydrologische condities en landschappelijke inbedding van een aantal specifieke natte biotopen in het Zuid-Limburgse beekdallandschap; kalkmoeras, bronweiden, natte hooilanden en soortenrijke moerasruigten. Tot voor kort zijn deze natte terreinen vaak aan de (wetenschappelijke) aandacht ontsnapt en soms zelfs aan doelgericht beheer. Ten aanzien van de landschapsgradiënten geldt dat ze, voor zover nu bekend, nauwelijks nog voorkomen en als ze er al zijn een geringe oppervlakte hebben (De Mars et al., 1998; zie ook §2.2.2). Voor de hoge biodiversiteit in de beekdalen wordt echter juist het mozaïek en de overgangen tussen de natte biotopen en drogere levensgemeenschappen van het Glanshaverhooiland, van grote betekenis geacht. De habitattypen Kalkmoeras (H7230) en Glanshaver- en Vossenstaarthooiland (H6510) zijn wat dat betreft te beschouwen als uitersten van het *nat - droog* spectrum van de Zuid-Limburgse beekdalen.

H7230 - Alkalisch laagveen (Kalkmoeras)

H7230

versie 1 sept 2008.doc

Habitatrichtlijn Bijlage 1 (1994)

Het habitattypen Kalkmoeras betreft begroeiingen van kleine zeggen, andere schijngrassen en slaapmossen in basenrijke kwelmilieus. De meeste van deze kalkmoerassen in Nederland zijn gelegen op de flanken van beekdalen. Ze komen ook wel voor in kwelzones op de overgang van hogere (pleistocene) zandgronden naar het rivierengebied.

In het Heuvelland is het kalkmoeras zo goed als verdwenen maar kan het voorkomen op natte kwelplekken in de beekdalen en in brongebiedjes op de beekdalhelling. Waar het habitattypen nu nog voorkomt gaat het om kwelplekken met gele zegge en schubzegge die liggen in hooilanden behorende tot het dotterbloemverbond.

De in Hoog-Nederland (dus in beekdalen en in het heuvelland) voorkomende kalkmoerassen worden gekenmerkt door een hoge bedekking aan mossen, vooral slaapmossen. Deze kunnen in brongebieden een verend tapijt vormen dat doet denken aan trilvenen. Ondanks deze venige toplaag is van echte veenvorming meestal geen sprake. Vanwege de basenrijkdom en daarmee de hoge bacteriële activiteit is de afbraak van organisch materiaal waarschijnlijk te groot voor het ontstaan van dikke veenpakketten.

In sommige brongebieden spoelt het organisch materiaal weg en vormt zich geen veen. Onder dergelijke omstandigheden kan zich eventueel in het kalkmoeras van dit habitattypen kalktuf vormen, maar dit gebeurt zelden.

Relatief belang binnen Europa: - groot

Binnen Nederland behoort dit habitattypen tot de zeer soortenrijke, kwetsbare, zeldzame en bedreigde ecosystemen.



Figuur 1.1: Enkele voorbeelden van kalkmoeras in Zuid-Limburg

(Links: Weustenrade, Rechts: Carex-weide - Ravensbos)

Figure 1.1: Some examples of calcareous spring fed fens in South-Limburg.

(Left: Weustenrade fen, Right: Carex fen - Ravenswood)

Toch houden dergelijke kleine locaties tot op heden vaak verrassend goed stand in een danig versnipperd landschap. Daarmee vormen ze nog steeds een belangrijk bastion voor de aanwezige biodiversiteit. De herrijzenis van een hellingmoeras in het dal van de Noorbeek (Bijlage B3.9) en bovenal het ontstaan van een echt kalkmoeras bij Weustenrade (Figuur 1.1; Bijlage B3.6) laten zien dat er nog steeds goede kansen zijn voor herstel. Dit ondanks de zeer hoge nitraatlast van het grondwater waarmee deze regio kampt. Eerdere aanwijzingen (OGOR meetnet Limburg) suggereren dat het nitraatprobleem op lokaal niveau hier en daar op de beekdalflanken lijkt mee te vallen. Toch is het bronwater ter plaatse wel zwaar overbelast. Het mechanisme dat hierachter schuilgaat, is nog niet duidelijk. Op de achtergrond speelt daarbij nadrukkelijk ook de aard en omvang van het intrekgebied van de betreffende complexen wellicht een rol.

Het onderzoek dient een basis te leggen voor herstel- en uitbreidingsmaatregelen voor de Zuid-Limburgse hellingmoeras, en het Kalkmoeras in het bijzonder.

Het onderzoek richt zich dus ook op het identificeren van kansrijke (nieuwe) locaties in het heuvellandschap. Het gaat dus niet alleen om de optimalisatie van het bestaande beheer van die kalkmoerassen.

In het verlengde daarvan beoogt het onderzoek ook bij te dragen aan het formuleren van inrichtings- en beheermaatregelen voor herstel van de belangrijkste nat-droog gradiënten in de Zuid-Limburgse beekdalen op basenrijke bodem met de daarin aanwezige biotopen en levensgemeenschappen (c.q. Natura2000-habitattypen).

1.4 Kennisvragen

De belangrijkste kennisvragen voor de hellingmoerassen en de Kalkmoerassen (H7230) in het bijzonder, zijn de volgende:

- Welke sleutelfactoren liggen ten grondslag aan de karakteristieke (vroegere en huidige) flora, vegetatie en fauna van de gradiënten in de heuvelland-beekdalen?
- Hoe is de kwaliteit van het toestromende (regionale) grondwater, in het bijzonder het kalk- en nitraatgehalte in de hellingmoerassen gerelateerd aan de kalkrijkdom en nutriëntentoestand van bodem en vegetatie. Wat zijn de consequenties daarvan voor duurzaam herstel van de Zuid-Limburgse bronvenen en hellingmoerassen en van het Kalkmoeras in het bijzonder?
- Hoe kan door middel van water- en terreinbeheer en inrichting worden ingespeeld op deze sleutelfactoren, zodat de kwaliteit van bronvenen, hellingmoerassen en de samenhangende landschappelijke gradiënten in de beekdalen kunnen worden hersteld en versterkt?

Deze drie vragen dienen te worden beantwoord met het oog op de feitelijke **kernvraag** voor dit onderzoek:

- *Welke nieuwe locaties zijn (op termijn) kansrijk voor herstel van vooral bronvenen en hellingmoerassen (Kalkmoeras) en welke voor het herstel van complete gradiënten?*

1.5 Globale opzet van het onderzoeksproject

Het OBN onderzoekproject *'Ecohydrologie van de Zuid-Limburgse helling-moerassen'* is in twee fasen opgedeeld. De rode draad in het project was steeds het Natura2000 habitatype Kalkmoeras (H7230).

In Fase I is mede op basis van aanvullende inventarisaties een gedetailleerd overzicht opgesteld van de actuele natuurkwaliteit en ecohydrologische karakteristieken (vegetatiesamenstelling, bodemopbouw en waterkwaliteit) van 42 (half-)open hellingmoerassen verspreid door het Zuid-Limburgse heuvelland (De Mars et al., 2012; zie ook Bijlage 1).

Fase II van het onderzoek werd eind 2012 opgestart waarbij de nadruk lag op het nader definiëren van de standplaatscondities. Voor de selectie van de onderzoeklocaties werd gebruik gemaakt van de resultaten uit Fase 1.

Het Fase 2-onderzoek op hoofdlijnen

Fase 2 van het onderzoek is onder te verdelen in voorbereidende studies en verschillende, op elkaar afgestemde en deels naast elkaar uitgevoerde onderzoeksporen, inclusief veldwerk, die ook tussentijds, zijn geïntegreerd. Het gaat om:

- Stap 1: Desktop studies naar standplaatscondities mede gericht op de selectie van de onderzoeklocaties.
- Stap 2: Inrichten van het onderzoeksmeetnet, eind 2012.
- Stap 3: Seizoen 2013 en 2014: onderzoeksporen hydrologie, bodemchemie & biologie, vegetatie en fauna.

- Stap 4: Seizoen 2015 en 2016: onderzoekspoor hydrologie, vegetatie en uitbreiding meetnet.
- Stap 5: Definitieve integratie en Afronding van het onderzoek

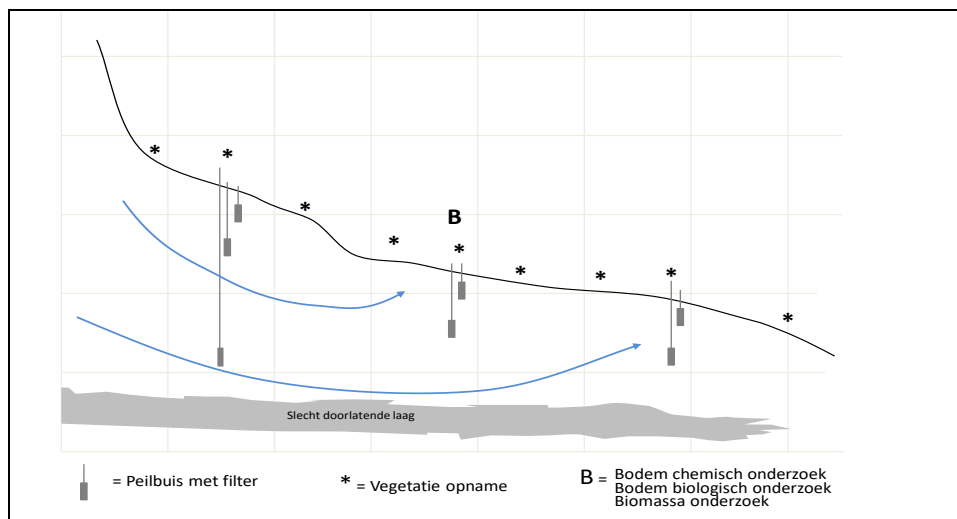
Behoudens de eerder verzamelde informatie uit de onderzochte terreinen uit Fase 1 zijn voor Fase 2 detailstudies uitgevoerd in acht hellingmoerassen, verspreid door Zuid-Limburg (Tabel 1.1; Figuur B2.1). Deze terreinen omvatten het base-spectrum (licht zuur – basisch) zoals dat binnen de landschapsgradiënt in het Zuid-Limburgse heuvelland, de hellingmoerassen in het bijzonder, aanwezig is (Schaminée et al., 2009). Maar ook om daarmee de abiotische condities van het Kalkmoeras binnen deze gradient duidelijker te kunnen afbakenen.

Tabel 1.1: Locatie informatie van de detail-onderzoekgebieden uit Fase 2

Table 1.1: General information of the sites studied in more detail.

Hellingmoeras	N2000	dorp	code
Mechelder beemden (Malleziep)	Geuldal	Mechelen	MECH
Ravensbos (Carex weide)	Geuldal	Gr Haasdal	RAVE
Papenbroek	Geleenbeekdal	Wijnandsrade	PAPE
Weustenrade (Oliemolen)	Geleenbeekdal	Weustenrade	WEUS
Terworm (Eykendermolen)	Geleenbeekdal	Terworm	TERW
Kasteelpark Elsloo (Terhagen)	Bunder- Elslooërbos	Terhagen	BUND
Weerverveen	Bunder- Elslooërbos	Kasen (Bunde)	WEVE
Noorbeemden (Onderstraat)	Noorbeemden & Hoogbos	Noorbeek	NOOR

In elk van deze detail-studiegebieden is een transect uitgezet met meetpunten, ten behoeve van het onderzoek aan grondwater, bodem en vegetatie, zoveel mogelijk in de landschapgradiënt van hoog naar laag (Figuur 1.2). Waar mogelijk is daarbij aansluiting gezocht op het al langer bestaande OGOR-meetnet van de Provincie Limburg. Zo kon worden beschikt over langjarige meetreeksen van grondwaterstanden en waterkwaliteit. Dat bood de mogelijkheid om de verzamelde gegevens op de andere locaties in een wat langer perspectief te plaatsen.



Figuur 1.2: Schematische weergave van de opzet van een meetnet in een hellingmoeras.

Figure 1.2: Schematic overview of the research network in a spring fen

Het gaat in deze studie echter niet om die individuele terreinen. Toch kan de ter plaatse verzamelde informatie in een ander verband voor terreinbeheerders van belang zijn. Voor uitvoerige beschrijvingen van de diverse terreinen wordt verwezen naar Bijlage 3 en 4 (vegetatie) en Bijlage 6-10 (bodem) en Bijlage 13-17 (water).

Naast informatie uit de internationale literatuur, zijn in dit rapport ook gegevens geïntegreerd uit twee recente studies die op initiatief van de Provincie Limburg zijn uitgevoerd in het kader van het PAS onderzoeksprogramma. Deze studies hebben duidelijke raakvlakken met het onderhavig project.

Eén van die onderzoeken is in OBN-verband uitgevoerd en richtte zich op de kalktufbronnen (De Mars et al., 2016). Hieruit kwam onder meer naar voren dat er een zeer nauwe relatie kan bestaan, zowel in ruimte als in tijd, tussen H7220-Kalktufbronnen en H7230-Kalkmoeras. Verder heeft de Provincie in 2016 binnen de Natura2000-gebieden in deze habitattypen debietmetingen en aanvullende bemonsteringen laten uitvoeren (De Mars et al., 2017b), mede met het oog op het afbakenen van intrekgebieden.

Tot slot zijn van twee gebieden, de Kathager Beemden (Bus, 2011; RHDHV, 2014) en de Noorbeemden (Kessels, 2012), (geo)hydrologisch gedetailleerde onderzoeken beschikbaar die bij de interpretatie en integratie ook dankbaar zijn benut.

Fauna

Binnen het huidige onderzoeksproject krijgt de fauna slechts beperkte aandacht. Om de betekenis van de hellingmoerassen voor de fauna te verkennen is gekozen voor dagvlinders als soortengroep. Hier is een aantal belangrijke redenen voor (zie ook Schaminée et al., 2009):

- Het voorkomen en de ecologische eigenschappen van dagvlinders zijn goed bekend
- Dagvlinders reageren sterk en snel op veranderingen in lokale habitatcondities
- Verschillende soorten dagvlinders, waaronder Purperstreepparelmoervlinder (*Brenthis ino*) en Rode vuurvlinder (*Lycaena hippothoe*) kwamen in het verleden voor in de moerassen van het Heuvelland en zouden er kunnen terugkeren indien de habitatcondities verbeteren, omdat bronpopulaties voorkomen in naburig Duitsland (Eifel) en België (Ardennen).

In het kader van dit onderzoeksproject zijn twee sporen verkend. Ten eerste is een literatuurstudie verricht naar de ecologische randvoorwaarden voor het leefgebied van de twee bovengenoemde kenmerkende soorten. Ten tweede is onderzoek verricht naar de historische en actuele samenstelling van de soortengemeenschap van dagvlinders in de onderzoeksgebieden.

1.6 Leeswijzer

De opzet van het voor u liggende rapport vormt niet louter de verslaglegging van het Fase II onderzoek. Het is eerder de synthese van het uitgevoerde onderzoeksproject, waarbij met oog op de voorliggende kennisvragen ook direct gebruik is gemaakt van een aantal andere studies.

Het rapport bestaat daarmee dus ook uit een integratie van de verkregen resultaten van de uitgevoerde veldonderzoeken en literatuur-onderzoek. Aan bod komen een algemene kenschets van Zuid-Limburgse hellingmoerassen, een beknopte historisch ecologische ontwikkeling, de belangrijkste natuurwaarden, standplaatscondities en sleutelprocessen. Dit alles met specifieke aandacht voor het Kalkmoeras. Afgesloten wordt met een beknopt overzicht van herstelmaatregelen en uitbreidingsmogelijkheden c.q. locaties.

Voor een meer uitvoerige toelichting op de in Fase 2 bij de verschillende onderdelen toegepaste technieken, gebruikte materialen en de verwerking van de gegevens verzameld in de onderzochte hellingmoerassystemen, wordt verwezen naar de specialistische bijlagen van dit rapport. In de onderstaande hoofdstukken van het hoofd rapport komen die, waar nodig, terloops aan bod indien dat voor een beter begrip van de gepresenteerde resultaten van belang is.

2 De Zuid-Limburgse hellingmoerassen in bredere (historische) context

2.1 Typering

Het Europese landschap biedt nog altijd plaats aan een grote verscheidenheid aan moeras-ecosystemen (Succow, 1988; Dierssen & Dierssen, 2001). Om die grote verscheidenheid nader te kunnen duiden wordt binnen de ecohydrologie vaak gebruik gemaakt van een indelingsmethodiek die gebaseerd is op zowel de landschappelijke positionering van een moerassysteem als functionele kenmerken van het onderliggende hydrologische systeem (Succow & Jeschke, 1986; Succow, 1988). Behoudens het hoogveenmoeras, onderscheiden zij voor het meer gebufferde milieu in rivier- en beekdalen een vijftal hoofdtypen, te weten.

- Overstromingsmoeras
- Verlandingsmoeras
- Vermorsingsmoeras
- Doorstroommoeras
- Hellingmoeras
- Kwel/bronmoeras

Overstromingsmoerassen zijn te vinden langs de grotere beken en rivieren en worden steevast gekenmerkt door sterke waterstand fluctuaties. Die zijn een direct gevolg van de overstromingen met (voedselrijk) oppervlaktewater tijdens hoge afvoeren. Tijdens die overstromingen wordt gewoonlijk ook sediment afgezet. De milieucondities zijn daardoor voedselrijk.

Verlandingsmoerassen zijn vooral te vinden in minder dynamische oude rivier- en beek meanders en langs oevers van meren en plassen. Afhankelijk van de schaal, maakt vroeg of laat het oppervlaktewater plaats voor een veengebied. Naast oppervlaktewater is ook de toestroom van grondwater en regenwater mede bepalend voor de aard van het systeem.

Vermorsingsmoerassen zijn te vinden in morfologisch min of meer afgesnoerde laagten in het landschap. Behalve een bescheiden toevoer vanuit het grondwater stagneert er ook regenwater. Daardoor kunnen de waterstanden vrij sterk wisselen. Veenvorming komt daardoor vaak niet verder dan de opbouw van een moerige bovengrond of een dunne veenlaag (<1 m). De locaties worden in Nederland niet zelden aangeduid met het toponiem "goor".

Doorstroommoerassen waren ooit te vinden in onze rivier en beekdalen aan de voet van hoger gelegen gebieden. Hier stonden ze onder invloed van een gestage toestroom van grondwater uit de dalflanken. De waterstanden in het veen zijn daardoor zeer stabiel. Afhankelijk van de ouderdom en de kweldruk kunnen zich in deze, vaak grootschalige systemen veenlagen ontwikkelen van enkele meters tot ruim 10 m dikte. Het maaiveldoppervlak loopt in dit soort veensystemen vanaf de dalflank langzaam af in de richting van de rivier.

Hellingmoerassen zijn bij uitstek gebonden aan heuvel landschappen. Daar zijn ze te vinden op hellingen waar in bepaalde zones grondwater dagzoomt en vervolgens tot afstroming komt. Ondanks het natte karakter worden ze veelal gekenmerkt door een moerige bovengrond of een dunne veenlaag (<1 m). Dat kan het gevolg zijn van periodieke droge fasen in de watertoevoer of in geval van een goed gebufferd milieu, een relatief snelle afbraak van organisch stof.

Kwelmoerassen zijn gebonden aan hydrologisch specifieke locaties met een sterke kweldruk (soms zelfs artesisch) met een forse toevoer van grondwater naar maaiveld (kwelvensters). Hierdoor bouwt zich ter plaatse een koepelvormig veensysteem op. Doordat het water zich op die koepel steeds een andere weg naar beneden zoekt, kan de veenkoepel in de tijd een aanzienlijke ruimtelijke heterogeniteit laten zien qua vochttoestand.

De kwelmoerassen liggen vaak ingebed in grotere complexen van *helling-moerassen* en *doorstromingsmoerassen*.

Samengevat hebben we dus in het Zuid-Limburgse heuvellandschap, gezien de geomorfologie en landschappelijke opbouw in hydrologische zin, te maken met *hellingmoerassen*. Incidenteel kan ook sprake zijn van *kwelmoerassen*.

Voor zover nu bekend hebben, op mogelijk één uitzondering na, grootschalige doorstroom-moerassen in het heuvelland ontbroken (zie verder hs. 2.2).

Buiten Zuid-Limburg zijn hellingmoerassen in Nederland beperkt tot andere, meer geaccidenteerde gebieden, bijvoorbeeld op de stuwwalcomplexen van Ootmarsum-Enschede en de Veluwe. Incidenteel ook wel aan de voet van steilere rivierterrassen hoewel het dan vaak gaat om van oorsprong voedselarme, vrij zure systemen (bijv. Meinweg). De meeste beekdalvenen in de zandgebieden van Zuid- en Noordoost Nederland vinden hun oorsprong in overstromings-, vermorsings- of doorstroommoerassen.

2.2 Hellingmoerassen in Zuid-Limburg

2.2.1 Ontwikkeling van hellingmoerassystemen in Zuid-Limburg

Er zijn aanwijzingen dat de aanwezigheid en ontwikkeling van hellingmoerassen in hoge mate samenhangt met de bewoningsgeschiedenis van het landschap. Op de plateaus in het heuvelland wordt die tot voor een 1000 jaar geleden gekenmerkt door enkele 'tijdelijke' bewoningfasen. In de beekdalen lijkt echter sprake van een grotere continuïteit, maar met wisselende bewoningsdichtheden (Janssen, 1960; Renes, 1988; Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990).

Omstreeks 7000 jaar geleden doet in Zuid-Limburg de landbouw zijn intrede (Bandkeramiek). Gedurende een periode van ca 1500 jaar worden dan voor het eerst bossen ontgonnen tot akkerland. Zo wordt in het noordelijke heuvelland het Graetheide-plateau vrij intensief in gebruik genomen, getuige de vele archeologische sporen, onder meer bij Elsloo en rond Sittard-Geleen. Pollenprofielen uit de rest van Zuid-Limburg getuigen niet van menselijke invloed. Pas vanaf 3700 jaar geleden wordt die invloed van menselijke activiteiten echt evident (aanvang Bronstijd), voornamelijk in de beekdalen. Het bos op plateaus blijft vooralsnog grotendeels ongemoeid (Janssen, 1960; Haartsen et al., 1989). Zeer lokaal zal daar ook wel ontginning van bos hebben plaatsgevonden, zoals blijkt uit de aanwezigheid van bijvoorbeeld een groep grafheuvels boven op het plateau in het Vijlenerbos bij Vaals. Met het oog op hun zichtbaarheid lagen die in de regel in open veld.

Vanaf de IJzertijd (v.a. 800 v. Chr.) maar vooral in de Romeinse tijd (50 v. Chr. tot ca 400 na Chr.), werden ook de plateaus grootschalig in gebruik genomen. Uit deze periode dateren ook veel archeologische sporen, onder meer van talloze Romeinse villa's. Na het vertrek van de Romeinen werden echter ook bijna alle nederzettingen en landbouwgronden op de plateaus weer verlaten waarna die weer dichtgroeiden met bos. Maar niet voor lang.

Vanaf omstreeks het jaar 1000 wordt in een periode van 300 jaar het overgrote deel van de plateaus weer volledig ontbost en opnieuw in gebruik genomen, evenals aanzienlijke delen van de beekdalen (Renes 1988; Vleeshouwer & Damoiseaux 1990). Daarna is vanaf de Middeleeuwen tot in de tweede helft van de 19^e eeuw aan de

inrichting en het gebruik van de plateaus weinig meer veranderd. Bossen (voornamelijk hakhout) waren terug gedrongen tot agrarisch gezien de minst interessante gebieden, veelal de hellingen. Begin 20^e eeuw begint een sterke intensivering van het landgebruik en breiden de nederzettingen zich sterk uit. In de beekdalen doet zich vanaf ongeveer het midden van de 20^e eeuw het omkeerde voor. Vooral binnen het stroomgebied van de Geleenbeek en de Noorbeek neemt in de dalen het aandeel (beekbegeleidend) bos weer toe. Zo bestaan tegenwoordig bijvoorbeeld zowel de Kathagerbeemden, Hulsberger- beemden als de Noorbeemden, in weerwil van het toponiem 'beemd', niet langer uit natte- vochtige graslanden maar gaat het voornamelijk om opgaande bossen of, tot voor kort, ook veel populierenaanplanten. Dit fenomeen is echter zeker niet beperkt gebleven tot alleen deze locaties.

De ontbossing had ook een keerzijde; sterke erosie en de afzetting van dikke, verspoelde lemige afzettingen lager in het afwateringsbekken (Diriken, 1982; Tornqvist & Joosten, 1988; De Moor, 2006). Daar aanwezige venen werden er ook door bedolven. Maar ook hogerop langs bovenlopen treft men wel bedolven veen aan in de ondergrond. Zo worden vooral rond het Plateau van Vaals op diverse plaatsen onder lemige lagen op enige diepte onder maaiveld relatief dikke veenlagen aangetroffen (De Mars et al., 2012; Figuur 2.3B). In sommige gevallen heeft de veenontwikkeling zich daarna weer voortgezet.

Het ontstaan van hellingmoerassen in bovenloop-systemen lijkt echter ook samen te hangen met de grootschalige ontbossing van de plateaus (Tornqvist & Joosten, 1988; Streef & Luthers, 2009; Hájková et al., 2012; Jamrichová et al., 2014). Zo wees paleobotanisch onderzoek in een kalkmoeras in het klimatologisch Atlantisch getinte Galicië (NW Spanje) uit dat de start van de veengroei samenviel met ontbossing, 2500 jaar geleden (Tornqvist & Joosten, 1988). In de Westelijke Karpaten deed zich dat op verschillende plaatsen op verschillende tijdstippen in de periode 10^e- 14^e eeuw ook voor. Verandering in de klimatologische condities speelden daar geen rol bij (Jamrichová et al., 2014). Afname van de verdamping door ontbossing deed de aanvulling van het grondwater toenemen. Daarmee werd ook de afstroming van grondwater naar de dalen versterkt waardoor ter plaatse veengroei in gang werd gezet. Zeer recent heeft paleobotanisch onderzoek op de Stuwwal van Ootmarsum uitgewezen dat ook daar, in het Mosbeekdal en in lokale depressies daarbuiten, de veenvorming pas na de ontbossing en de ontginning in de Middeleeuwen op gang kwam (mondelinge mededeling H. Smeege, Univ. Groningen). Dit heuvellandschap vertoont landschappelijk opvallende gelijkenissen met delen van Zuid-Limburg.

Het voorgaande doet daarmee sterk vermoeden dat ook veel, zo niet de meeste hellingmoerassen in het Zuid-Limburgse heuvelland hun ontstaan mede te danken hebben aan de laatste ontbossingfase van de plateaus. Een aanzienlijk oppervlak aan hellingmoeras is echter in de 20^e eeuw dichtgegroeid of doelbewust beplant. Aanvankelijk vaak met populieren. Eind 20^e eeuw worden gaandeweg steeds meer van die percelen omgevormd naar elzenbos.

2.2.2 Actuele verspreiding van de open hellingmoerassen

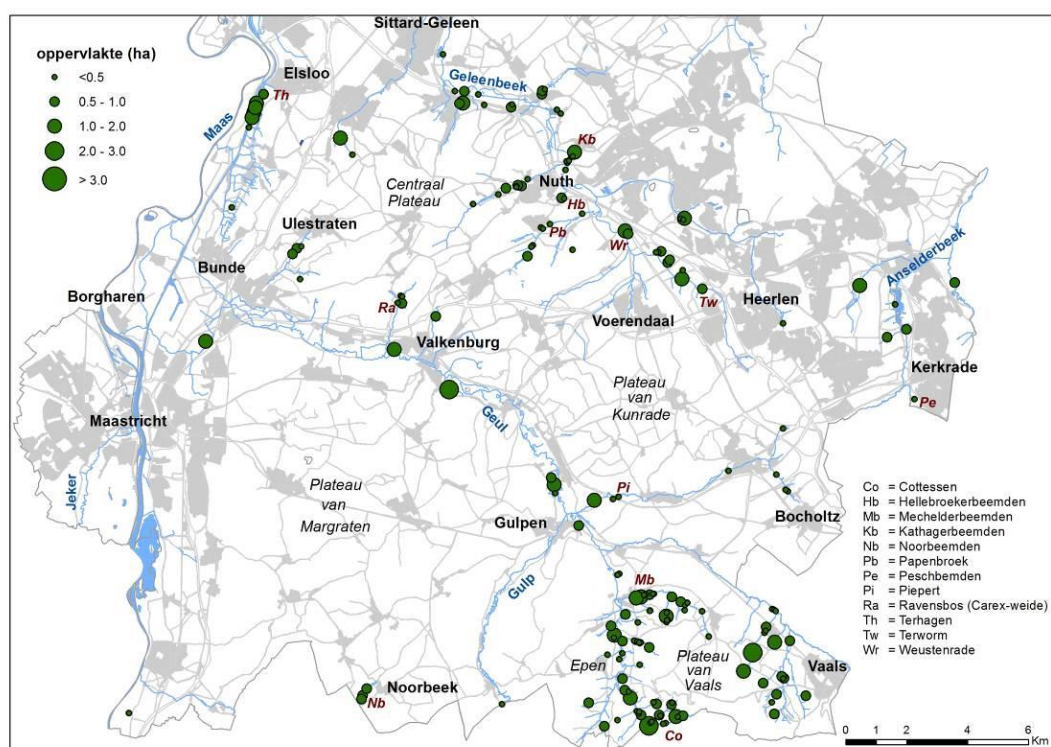
Binnen Zuid-Limburg worden de open hellingmoerassen en de relictten daarvan vooral aangetroffen in het Geleenbeekdal, haar zijdal en tussen Heerlen en Sittard-Geleen en op de flanken van het Plateau van Vaals (Figuur 2.1). Daarnaast zijn er kleinere voorkomens bij Elsloo-Terhagen, bij Gulpen-Wittem en bij Noorbeek (Noorbeemden) en in het Anselderbeekdal (Kerkrade).

De hoogteligging van deze terreinen varieert tussen de 40-45 m aan de voet van het Bunder- en Elslooërbos tot 175 - 225 m NAP rond het Plateau van Vaals.

De Zuid-Limburgse hellingmoerassen beslaan veelal een beperkte oppervlakte. Zo hebben van de iets meer dan 180 nog aanwezige natte terreintjes in het Heuvelland slechts een dertigtal terreinen een oppervlakte van meer dan 1 ha (zie Figuur 2.2).

Figuur 2.1: Zuid-Limburgse hellingmoerassen, natte graslanden en ruigten in het studiegebied (bron: De Mars et al., 1998; bewerkt).

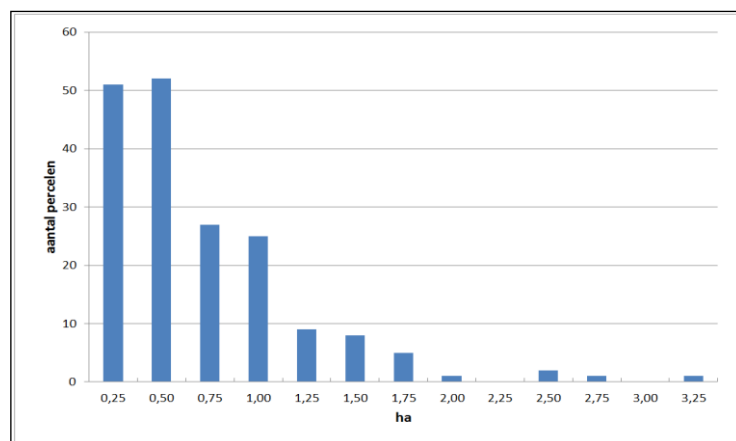
Figure 2.1: Distribution of spring fed fens, wet grasslands and wet roughs in the study



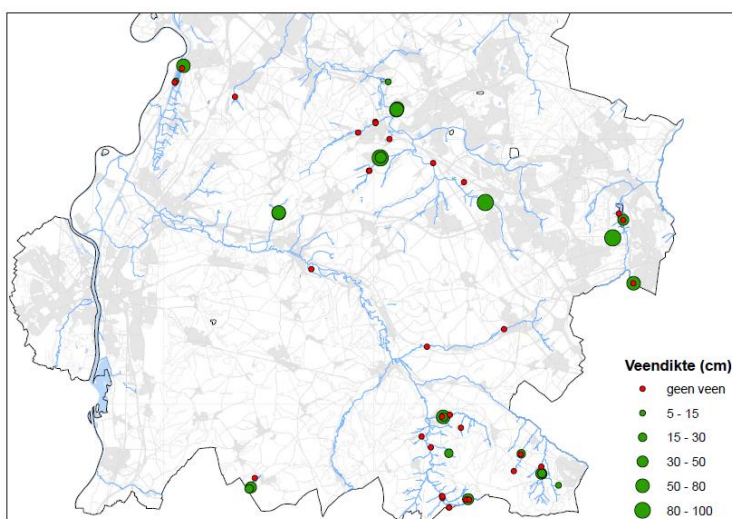
area.

Figuur 2.2: Oppervlakte verdeling Zuid-Limburgse hellingmoerassen (bron: De Mars et al., 1998; bewerkt).

Figure 2.2: Surface area distribution of spring fed fens in the study area.



Opmerkelijk is, dat de bodemopbouw van het gros van de onderzochte natte percelen (ongeacht het vegetatietype) zich laat kenmerken als een lemige bodem (colluvium), hooguit voorzien van een dun (<5-10 cm) amorf organisch ontwikkelde wortelzone (Figuur 2.3A). Veenvan betekenis komt maar zelden voor en dan eigenlijk vooral in het noordelijk deel van het studiegebied (Bunderbos, Ravensbos, Geleenbeek- en Anselderbeek-systeem). In aansluiting daarop is het bekend dat op de flanken van het Geleenbeekdal bij Hoeve Struijver en bij wat zuidelijker gelegen Prickenis veenlagen aanwezig zijn met een dikte tot 1 a 1,3 meter (eigen wrn. H. de Mars, 2010).

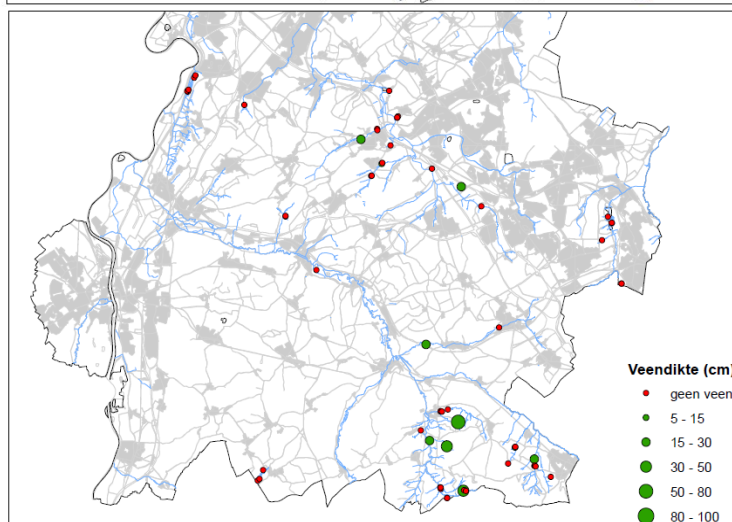


Figuur 2.3: Veendikte in de Zuid-Limburgse helling-moerassen, zoals onderzocht tijdens Fase1

(A: bovengrond, B: ondergrond)

Figure 2.3: Thickness of peat layers in the studied spring fed fens of Phase 1 in South Limburg.

(A: top soil, B: sub soil).



A: veen aan maaiveld

B: veen in ondergrond

Veenlagen van enige betekenis (>30 cm) komen in het zuidoosten, rond het Plateau van Vaals - Vijlenerbos zo op het eerste gezicht niet voor, uitgezonderd een locatie bij Mechelen. Zoals eerder gemeld is het opvallend dat juist in deze regio vaak op enige diepte onder maaiveld, veenlagen worden aangetroffen (zie ook §2.2.1). Dit fenomeen ziet men in het noordelijke deel van het studiegebied veel minder (Figuur 2.3B).

Op de 1:50.000 bodemkaarten is geen van de locaties zoals weergegeven in Figuur 2.3, terug te vinden. Op zich is dat ook al een aanwijzing voor de vaak beperkte omvang. Toch zijn op beperkte schaal wel wat grotere veenvoorkomens bekend uit Zuid-Limburg (Janssen, 1960; Stiboka, 1970; RGD, 1988; Tabel 2.1). Het gaat hierbij deels om veen op de dalvlakte. Zo lagen in het Wormdal bij Rimburg (1,4 m) en in het Geleenbeekdal bij Brommelen (3 m) venen in oude afgesnoerde beekarmen. Ook in de mondingszones van Platsbeek bij Nuth en de Eyserbeek bij Cartils liggen voor Zuid-Limburgs begrippen aanzienlijke veen-voorkomens, evenals in het Roode beekdal stroomafwaarts van Etzenrade.

Tabel 2.1: Veenvoorkomens in Zuid-Limburg met veendikte uit overzichtsliteratuur

Table 2.1: Distribution of peat soils and peat depth in South Limburg

locatie	nr	beekdal	veentype	veendikte	opm.
(Roodborn) Spoortunnel Zuid	J5	Eyserbeek	veen	40	
Cartils - monding Eyserbeek	VD	Eyserbeek	broekveen	>60	
Terzieter bronbos	J10	Sijlerbeek	kleilig veen	30	brongebied
Noorbeemden, grens (N)	J20	Noorbeek	venige klei	20	bronzone
Kaffeberger bos-Noord	J48	Anselderbeek	broekveen	100	bronzone
Rimburg	J52	Worm	zegge/broekveen	140	oude meander
Benzenrade	J53	Geleenbeek	veen	60	brongebied
Voerendaal-Cortenbach	J56	Cortenbacherbeek	rietzegge/broekveen+kalk	300	brongebied
Voerendaal-Haaren	J60	Hoensbeek	broekveen+kalk	80	brongebied
Craubeek	J61	Retersbeek	veen	30	brongebied
Retersbeek	J63	Retersbeek	veen	10	
Brommelen	J65	Geleenbeek	broekveen	300	oude meander
Nuth-Leeuw	J67	Platsbeek	broekveen	240	
Hulsberg	J68	Hulsbergerbeek	veen	60	brongebied
Ravensbos	J71	Strabeker voedgraaf	veen	60	bronzone
Geulle-Snijdersberg	Sti	Armsterbeek	broekveen (+kalk)	100	brongebied
Geulle-Hulsen (achter molen)	J80	Molenbeek	veen	25	
Geulle-Moorveld	Sti	Heiligenbeek	broekveen (+kalk)	100	brongebied
Etzenrade & Roermolen	Sti	Roode beek	broekveen	>120	

*J** = Janssen (1960)

Sti = Stiboka (1970)

VD = Vleeshouwer & Damoiseaux (1990)

* = volgnummer Janssen

brongebied = veen in het oorspronggebied van de beek; bronzone = veen in het stroomgebied van de genoemde beek

Het grootste samenhangende veencomplex in het heuvelland lag echter bij Voerendaal en vormde het brongebied van zowel de Hoensbeek, de Molenbeek als de Cortenbacherbeek. Het veen had hier een dikte variërend van 0,8 tot 3 m. Het bijzondere aan dit veencomplex is dat het veen bij Cortenbach en in mindere mate ook bij Haaren ingeschakelde kalkrijke afzettingen en kalktuf bevat (Janssen, 1960). Het ontstaan van dit veen wordt mede in verband gebracht met de opvulling van een Pleistoceen meer (RGD, 1980). Het veen heeft echter qua opbouw (ook) veel weg van een kalkrijk doorstroomveen, zoals dat ook uit Oost-Europa bekend is (Grootjans et al., 2012; De Mars et al., 2016).

De enige twee locaties op de bodemkaart waar onmiskenbaar sprake moet zijn van hellingvenen, zijn te vinden bij Geulle op de steile flanken van de Blomberg (Moorveld) en de Snijdersberg (Hussenberg), direct boven de spoorlijn. Stiboka (1970) beschrijft die locaties als volgt: *"In de uiterste zuidwesthoek van het kaartblad ligt in twee kleine gebieden ca 100 cm broekveen op grijs, sterk lemig, uiterst fijn zand. Dit veen is sterk verteerd en zwart van kleur, maar niet veraard. Het is ontstaan beneden het niveau van een aantal bronnen, die ontspringen op de grens van het Hoogterras en het daaronder aanwezige tertiaire zand met ondoorlatende kleilagen. In deze gebiedjes komen diep ingesneden geulen voor die zeer kalkrijk water afvoeren"* Recente studies laten zien dat de genoemde beekjes daarbij ook kalktuf afzetten (De Mars & Smolders, 2014; DE Mars et al., 2016).

Samenvattend kan worden gesteld dat het zwaartepunt in het voorkomen van hellingmoerassen in Zuid-Limburg rond het Plateau van Vaals en in het Boven-Geleenbeekdal, stroomopwaarts van Nuth, ligt. Vooral in dat laatste gebied komen in de hellingmoerassen op tal van plaatsen voor Zuid-Limburgse begrippen dikke veenlagen voor (1-3 m). Daarbij is duidelijk dat er meer veen voorkomt in Zuid-Limburg dan de bodemkaarten aangeven, al betreft het veelal voorkomens van lokale betekenis. Verreweg het grootste veencomplex van Zuid-Limburg ligt ook in dit laatstgenoemde gebied, bij Voerendaal. Echter, vrijwel alle hierboven genoemde veenlocaties lagen al in 1960-1965 onder (elzen)bos (Janssen, 1960; Stiboka, 1970). De overige, nog aanwezige open hellingmoerassen in het huidige heuvelland kenmerken zich vaak door minder uitgesproken veenlagen of een dunne, moerige bovengrond.

2.2.3 Verspreiding van het Kalkmoeras in Zuid-Limburg, 1800 – 2000.

De verspreiding van het Kalkmoeras (H7230) in Zuid-Limburg is aan de hand van vondsten van een aantal karakteristieke soorten (Tabel 2.2) gedurende de laatste 150 jaar redelijk nauwkeurig in kaart te brengen. De oudste aanwijzingen voor de aanwezigheid van Kalkmoeras komen al uit de eerste helft van de 19^e eeuw. Terwijl vanaf het begin van de 20^e eeuw de Zuid-Limburgse flora intensief is gedocumenteerd door August de Wever (1874-1947).

Het voormalige verspreidings-patroon van Gele zegge (*Carex flava*), Breed wollegras (*Eriophorum latifolium*) en Moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*) en, voor zover ze op venige bodem groeide, Parnassia (*Parnassia palustris*), biedt een goede indicatie voor het toenmalige verspreidingsgebied van het Kalkmoeras. Genoemde soorten kwamen ooit vrij veel voor (Figuur 2.4) Ze zijn gebonden aan natte, basenrijke kwelmilieus. Andere karakteristieke soorten van het kalkmoeras, waarover de

Tabel 2.2 Karakteristieke soorten van het Kalkmoeras

Table 2.2 Characteristic species of Calcareous Fens

Carex davalliana	veenzegge
Carex flava	gele zegge
Carex lepidocarpa	schubzegge
Carex dioica	tweehuizige zegge
Carex hostiana	blonde zegge
Carex panicea	blauwe zegge
Cladium mariscus	galigaan
Eriophorum latifolium	breed wollegras
Schoenus nigricans	knopbies
Juncus subnodulosus	paddenrus
Liparis loeselii	groenknolorchis
Pinguicula vulgaris	vetblad
Equisetum variegatum	bonte paardenstaart
Bryum pseudotriquetrum	veenknikmos
Campylium stellatum	sterrengoudmos
Parnassia palustris	parnassia
Gymnadenia conopsea	grote muggenorchis
Epipactis palustris	moeraswespenorchis
Orchis incarnata	vleeskleurige orchis
Eleocharis quinqueflora	armbloemige waterbies
Juncus alpino-articulatus	rechte rus
Drepanocladus polygamus	goudsikkelmos
Scorpidium cossonii	groen schorpioenmos
Palustriella commutata	geveerd diknerfmos
Aneur pinquis	echt vetmos
Fissidens adianthoides	groot staartjesmos
Ctenidium molluscum	kammos

informatie vaak beduidend sparsamer is, bevestigen dat beeld in de regel. Van mossen zoals Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) en Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*), die in de resterende kalkmoerassen een belangrijke rol spelen, zijn jammer genoeg nauwelijks historische gegevens bekend uit de Zuid-Limburgse hellingmoerassen. Toch zijn het mos-vondsten die de eerste aanwijzingen voor de aanwezigheid van het Kalkmoeras opleveren. Omstreeks 1840 vond J.L. Franquinet in de vestingwerken rond Maastricht de typische kalkmoeras-mossen Geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*), Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*), Veenknikmos (*Bryum pseudotriquetrum*) en de kranswieren Gewoon en Stekelharig kranblad (*Chara vulgaris* en *C. hispida*) (Weeda et al., 2013). Uit deze vondsten

blijkt dat zelfs menselijke constructies kansen kunnen bieden voor de ontwikkeling van Kalkmoeras.

Voerendaal e.o.

Franquinet's mossen bevinden zich in het Natuurhistorisch Museum te Maastricht, dat ook het herbarium herbergt van Adhémart de Villers-Masbourg (1851-1927), geboren in de Waalse stad Namen en later woonachtig op kasteel Schaloen te Oud-Valkenburg. Eén van de terreinen waar hij verzamelde, was Hoenshuis ('Terre Hoen-Schuys') bij Voerendaal. Op een moerassige plek vond hij Pluimzegge (*Carex paniculata*) en Moerasvaren (*Thelypteris palustris*), planten van basenrijk veen; en in natte weiden Veenpluis (*Eriophorum angustifolium*), Egelboterbloem (*Ranunculus flammula*), Kleine valeriana (*Valeriana dioica*), Parnassia (*Parnassia palustris*) en Breed wollegras

(*Eriophorum latifolium*). In 1866 was in dezelfde omgeving, bij Voerendaal, ook Gele zegge (*Carex flava*) aangetroffen (Vuyck, 1916). Ook Ronde zegge (*Carex diandra*) was uit deze omgeving bekend. Parnassia werd hier begin 20^e eeuw door de Wever nog volop aangetroffen in een vochtige bloemrijke beemd op veen bij Kasteel Haaren (Willems, 1982). Daarnaast hield Moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*) bij kasteel Puth tot eind jaren 60 van de 20^e eeuw stand in een verruigend en dichtgroeïend perceel langs de Hoensbeek (Kreutz, 1992). Daar werd ook Addertong (*Ophioglossum vulgare*) aangetroffen. De zes laatstgenoemde soorten indiceren, mede gezien de natte standplaats, onmiskenbaar de aanwezigheid van een kalkmoeras-vegetatie in de zin van H7230. De Gele zegge is in Voerendaal ruim anderhalve eeuw later nog eens teruggevonden aan de door kalkrijke kwel en bronnen gevoede parkvijver (mondelinge mededeling Minne Feenstra). Dit veengebied vormde ooit het grootste veencomplex in het heuvelland, met forse kalktuf-afzettingen in de ondergrond (zie §2.2.1; Janssen, 1960). Het broekbos en de bronnen bij Kasteel Cortenbach staan tot op de dag van vandaag bekend om hun zeer hoge kalkrijkdom met lokaal kalktufvorming (De Mars et al., 1998). Tegelijk lag dit voormalige veencomplex lange tijd wel binnen de invloedssfeer van twee dichtbij gelegen, begin 21^e eeuw gesloten drinkwaterwinningen Barrier en Rivieren.

3. *E. palustris* Cratz., Moeraswespenorchis.
 Hoensbroek: veen in 't bosch te Vaesrade.
 Brunssum: veen bij Staatsmijn H.
 Etzenrade: veen langs de Rode Beek.
 Bunde, Geulle: veen langs 't spoor.
 Ulestraten: veen bij Vlieck.
 Houthem: veen in 't Ravensbosch.

Figuur 2.4: Vindplaatsen op veen van Moeraswespenorchis en Parnassia in Zuid-Limburg (De Wever, 1913; 1915).

Figure 2.4: Former sites of the Marsh helleborine and Grass-of-Parnassus on peaty soil in South Limburg

Parnassia palustris L. Parnaskruid.
 In veenachtige beemden te:
 Wijnandsrade: Niethuizen.
 Hulsberg: Wissegracht; Pannenbroek.
 Klimmen: Oliemolen, Retersbeek, Slakkenbeemd.
 Vaals: Vaalsbroek, Wolfshaag.
 Els-Wittem: Weilanden langs de Geul; Epen, Nyswylre.
 Nuth: Kathagen, Reymersbeek, de Keel.
 Voerendaal: Cortenbach, Haaren, de Koning, Put, Steinenis.
 Broeksittard: Schinveld, Brunssum, Jabeek.
 Noorbeek: weilanden l. d. Noor.
 Heerlen: beemden bij Weltermolen, Benzraderhoeve, Terworm, Gitsbrig, Heerlerheide (Vrank, Husken, Koningsbeemd,) Schandelen.
 Kerkrade: beemden l. d. Wurm, Teutelbruch, Haenrade.
 Geulle: op natte hellingen te Moorveld, beemden te Oost en Westbroek.
 Beek-Elsloo: Terhagen, Elsloo, Geverik.
 Bunde: Vuilwammes, Brommelen.

Geleenbeekdal

In het dal van de Geleenbeek en zijn zijbeken tussen Heerlen en Schinnen lag een aantal kalkmoerassen met talrijke zeldzame planten (De Wever, 1911-1923; De Wever z.j.; Vuyck, 1916; Hilgers, 1972; Mennema et al., 1985), waaronder een bronveentje bij Nuth en de Kathagerbeemden. Tot het assortiment exquisite cypergrassen in dit gebied behoorden Breed wollegras (*Eriophorum latifolium*), Gele zegge (*Carex flava*; Figuur 2.5), Schubzegge (*Carex lepidocarpa*), Ronde zegge (*Carex diandra*) en Platte bies (*Blysmus compressus*), ook groeiden er veel orchideeën, waaronder Vleeskleurige orchis (*Dactylorhiza incarnata*) en Moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*). Vermeldenswaard zijn verder onder meer Kleine valeriaan (*Valeriana dioica*) en Moeraszoutgras (*Triglochin palustris*). Een aantal soorten is alleen in de Kathagerbeemden aangetroffen. In de loop van de tijd zijn hier achtereenvolgens Vlozegge (*Carex pulicaris*), Teer guichelheil (*Anagallis tenella*), Rechte rus (*Juncus alpinoarticulatus*), Groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*), Groot diknerfmos (*Palustriella commutata*) en Veenzegge (*Carex davalliana*) ontdekt, maar de eerste drie zijn sinds lang niet meer waargenomen (Willems, 1982; Weeda et al., 2006;

Weeda & Keulen, 2007; Hermans & Spreuwenberg, 2015). De meeste kalkmoerassen verdwenen door ontginning en ontwatering tussen 1920 en 1950, mede onder invloed van de sterke expansie van de mijnindustrie en verstedelijking.

Buiten de Kathager Beemden werden relictten van het kalkmoeras in het Geleenbeekdal tot omstreeks 1960 nog bij de huidige Mulderplas bij Thull aangetroffen, totdat ook dit gebied verloren ging als gevolg van mijnverzakking, vergravingen en het storten van mijnslik. Tegenwoordig indiceren volop voorkomende soorten als Heelblaadjes (*Pulicaria dysenterica*), Zeegroene rus (*Juncus inflexus*) en Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*) in deze omgeving de nog altijd aanwezige potenties voor H7230 Kalkmoeras. Zo komt bij Oude Kerk op een afgetrapte steilrand, in gezelschap van Zeegroene rus en Heelblaadjes, nog steeds de Gele zegge voor (Hermans & Spreuwenberg, 2015). Daarnaast is onlangs naar voren gekomen dat ook aan een onbestendige soort als Bruin cypergras (*Cyperus fuscus*) een dergelijke indicator-kwalificatie kan worden verbonden (zie ook Intermezzo 2.1). De soort verscheen de afgelopen twintig jaar op verschillende plaatsen langs de Geleenbeek na herinrichtingswerken.

Intermezzo 2.1: De terugkeer van Bruin cypergras

In de nazomer van 2013 werd tijdens het onderzoek op de Carex-weide (Ravensbos), voor het eerst na anderhalve eeuw weer Bruin cypergras (*Cyperus fuscus*) teruggevonden. Deze onbestendige soort is in het Zuid-Limburgse heuvelland zeldzaam. In de laatste twee eeuwen is zij op een reeks van vindplaatsen aangetroffen. Het gezamenlijke verspreidingspatroon vertoont sterke gelijkenis met dat van kalkmoerasplanten. In het recente verleden (na 1980) is de soort nog aangetroffen op de onderzoeklocaties van Terhagen en Weustenrade. Een aparte publicatie over deze bijzondere soort en haar vegetatiekundige positie binnen de Zuid-Limburgse hellingmoerassen is gepubliceerd in het Natuurhistorisch Maandblad (De Mars et al., 2017a).

Bunder- en Elslooërbos

Ook in het Bunder- en Elslooërbos lagen vanouds vindplaatsen van indicatoren van het H7230 Kalkmoeras. Eén van die voormalige vindplaatsen is een hellingveen onder Kasen, nabij Bunde, dat nog steeds blijkt te bestaan maar sterk verbost en verarmd is, in deze studie aangeduid als Weverveen. Lager op de helling zijn in een berm nog altijd de kalkminnende Zeegroene zegge (*Carex flacca*) en Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*) te vinden. De laatstgenoemde soort is in dit zuidelijke deel van het boscomplex juist zeldzaam. Enkele jaren geleden is vlakbij Gele zegge (*Carex flava*) ook weer terug gevonden (mondellinge mededeling Jan Hermans, 2013) eveneens in gezelschap van Zeegroene zegge. Op een andere locatie, meer noordwaarts, op de voet van de Slingerberg – onder Hussenberg - is Gele zegge (*Carex flava*) tussen 1875 en 1950 zelfs meerdere malen verzameld (Van der Meijden & Holverda, 2006), maar ook Parnassia en Moeraswespenorchis zijn van venige standplaatsen uit deze omgeving bekend. Het is precies deze omgeving waar op de bodemkaart nog expliciet hellingvenen staan aangegeven gevoed met kalkrijk water (Stiboka, 1970; zie ook §2.2.2). Het is bekend dat deze omgeving tot begin 20^e eeuw nog als schrale (schapen)weide werd gebruikt (De Mars, 2010). Een grote bijzonderheid hier was decennia lang de aanwezigheid van Zilte zegge (*Carex distans*), een soort die bij ons vooral uit het kustgebied bekend is, maar in Midden Europa te vinden is in kalkmoerassen (Hermans & Spreuwenberg, 2015). Ze hield stand tot omstreeks 1973. De laatste vindplaats lag in een wegberm, op de voet van de Slingerberg.



Figuur 2.5: Gele zegge (*Carex flava*) (foto: J. Schaminée)

Figure 2.5: Yellow green sedge (*Carex flava*)

Geuldal

Dumoulin (1868) noemt voor de zuidflank van het Geuldal nabij Meerssen verscheidene soorten van het H7230 Kalkmoeras, waaronder Vetblad (*Pinguicula vulgaris*) Parnassia en Tweehuizige zegge (*Carex dioica*). Het ging om een erosiedal met venige hellingveentjes in de Dellen (Hillegers, 1998). Door verdroging als gevolg van bebossing en kalksteenwinning (Curfsgroeven) is hier niets van over gebleven. In 2013 werd echter op een natte kwelplek, uitgerekend in de gewraakte kalksteengroeven, Parnassia (*Parnassia palustris*) aangetroffen (pers. med. Jan Hermans, 2013). Uit deze groeven zijn al langer de kalkmoerasindicatoren Zeegroene rus en Heelblaadjes (*Pulicaria dysenterica*) bekend.

Elders in dit stroomgebied zijn de meer kritische kalkmoeras-indicatoren sporadisch aanwezig geweest, behalve op een paar locaties in het Geuldal-Eyserbeekdal stroomopwaarts van Wijlre-Cartils, waar onder meer Gele zegge en Breed wollegras en Moeraswespenorchis groeiden. Nabij Cartils zijn buiten de huidige Natura2000-begrenzing, in het Eyserbeekdal bedolven kalktuf-afzettingen aangetroffen. In 1985 werd daar na lange afwezigheid Gele zegge (*Carex flava*) opnieuw aangetroffen (Cortenraad, 1988). Eind jaren tachtig van de vorige eeuw is in de directe omgeving, aan de voet van de Gulpenerberg, bij een kwelplas ook nog Gele zegge gevonden. Verder is dankzij herbarium-collecties bekend dat Gele zegge en Schubzegge (*Carex lepidocarpa*) ooit hoog op de westelijke dalflank nabij Eperheide zijn aangetroffen. Daarnaast is er een eenmalige vondst van de Gele zegge ergens bij Vaals (Van der Meijden & Holverda, 2006), terwijl bekend is dat Vleeskleurige orchis (*Orchis incarnata*), Moeraswespenorchis en Parnassia bij Vaalsbroek groeiden (Figuur 2.4). De eerstgenoemde orchis hield hier stand tot 1970 (Kreutz, 1992). De locaties Eperheide en de omgeving van Vaals-Vaalsbroek hebben gemeen dat hier hoog op de dalflanken nog kalksteenformaties dagzomen waaruit bronnen (mede) ontspringen. De samenstelling van het grondwater uit de Vaalsergroenzenden lijkt dan ook op de chemische samenstelling van het kalksteenpakket (Nota et al., 1988). Dat geldt ook voor Cottessen, waar nog steeds enkele kalkmoeras-soorten voorkomen, namelijk Zeegroene zegge (*Carex flacca*), Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) en de minder specifieke maar eveneens kalkminnende Zeegroene rus (*Juncus inflexus*).

Roode beekdal

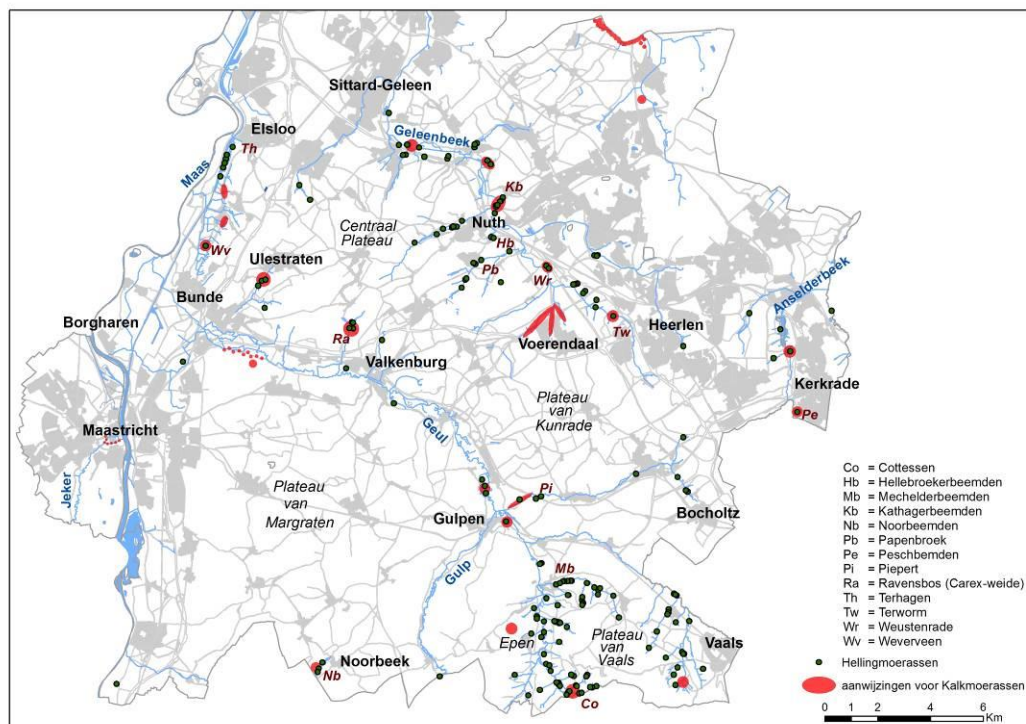
Langs de Roode beek tussen Etzenrade en Sittard moeten ooit ook Kalkmoeras vegetaties in de zin van H7230 aanwezig zijn geweest. Moeraswespenorchis (*Epipactis palustris*) kwam hier op vochtige plaatsen in de beemden volop voor. Daarnaast zijn hier Parnassia, Teer guichelheil (*Anagallis tenella*), Veenmosorchis (*Hammarbya paludosa*), Tweehuizige zegge (*Carex dioica*), Vlozegge (*Carex pulicaris*) en is zelfs Knopbies (*Schoenus nigricans*) verzameld (Kreutz, 1992; De Mars et al., 1998). Hier is echter niets meer van over. De bloemrijke beemden gingen verloren door (over)bemesting, ophoging, intensivering van de ontwatering en kanalisatie en sterke verdieping van de Roode beek. De resterende natte percelen die de dans ontsprongen, zijn bebost, veelal met populieren. Dat bepaalde delen van dit beekdal nog altijd kalkrijk genoeg zijn, komt onder andere naar voren in een hooilandperceel stroomafwaarts van de Roermolen, waarin de uitgesproken kalkminnende Moesdistel

(*Cirsium oleraceum*) talrijk voor komt (e-mail L. Wortel, mei 2017). Daarnaast is onlangs op een ondiep afgegraven perceel bij de St Janshof op enkele plekken ook kalktuf aangetroffen (pers. wrn. H. de Mars, februari 2017).

Anselderbeekdal

Tot slot moeten nog enkele locaties worden genoemd op de oostflank van het Anselderbeekdal bij Kerkrade, eveneens buiten Natura2000-gebied. Hier worden spaarzaam ook enkele indicatoren van het kalkmoeras aangetroffen in drie hellingmoerasjes met een heischrale en/of blauwgrasland-achtige vegetatie. Van noord naar zuid gaat het om de Peschbenden (Hermans et al., 1983; Weeda, 2008; De Mars et al., 2012), het 'Hangveen Boermans' en een stukje beemd aan de voet van de Kaffeberg dat nu langs de oever van het stuwmeer Cranenweyer ligt. Van de indicatoren van het kalkmoeras komen Zeegroene zegge en Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*) in de Peschbenden voor, Heelblaadjes in het Hangveen Boermans en in de kleine beemd aan de voet van de Kaffeberg. De kalkmoeras-indicator Zeegroene rus is alleen in het Hangveen Boermans te vinden terwijl Brede orchis (*Dactylorhiza majalis* subsp. *majalis*) daar eveneens op meer gebufferde condities wijst. Verder groeien in het Anselderbeekdal, net als in de Kathagerbeemden en het Ravensbos, verscheidene bosplanten buiten het bos. Opvallend is vooral hoe Boswederik (*Lysimachia nemorum*) in de twee hangveentjes uitbundig groeit in de volle zon.

Voor de beemd aan de voet van de Kaffeberg noteerde Victor Westhoff in een opname uit 1940 nog Blonde zegge (*Carex hostiana*), een typische soort van het blauwgrasland. Nu wordt blauwgrasland zowel in de Peschbenden als aan de voet van de Kaffeberg nog steeds vertegenwoordigd door Blauwe knoop (*Succisa pratensis*) en Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*). Beiden zijn echter geen uitgesproken kalkminnaars.



Figuur 2.6: Aanwijzingen voor het (historisch) voorkomen van kalkmoeras in Zuid-Limburg op basis van indicatorsoorten

Figure 2.5: Indications for the (historic) presence of calcareous fen in South Limburg based on indicator species

Resumé

Zoals uit het voorgaande en de bovenstaande verspreidingskaart naar voren komt, lag het zwaartepunt voor het kalkmoeras in de noordelijke helft van Zuid-Limburg, in het löss-gebied (Figuur 2.6). De vindplaatsen van het kalkmoeras lijken zich dus te concentreren in het Roode beekdal, het Geleenbeekdal met zijn zijdalen en lokaal in het Bunder- en Elslooërbos en het Geuldal. De belangrijkste complexen lagen echter buiten de huidige Natura2000 gebieden bij Voerendaal en Jabeek. Ook de vindplaats bij Cartils valt buiten de huidige begrenzing.

Verder valt op dat een aantal indicatoren en in het bijzonder Gele zegge en Bruin cypergras, tot in onze tijd steeds weer opduikt op de bekende vindplaatsen.

Vermoedelijk hangt dit samen met bodemverstoring. Dat herstel van kalkmoeras sensu H7230 op dergelijke plaatsen mogelijk is bewijzen de eerdergenoemde ontwikkelingen bij Weustenrade en in de Curfsgroeve (zie ook §3.2.2).

Afgaand op de beschikbare informatie blijkt dus dat het kalkmoeras voor 1950 een veel ruimere verspreiding kende binnen Zuid-Limburg dan tegenwoordig. Die achteruitgang komt in heel Europa naar voren. Het is op veel plaatsen al verdwenen en in de resterende regio's ernstig bedreigd (Eur28, 2013; European Union, 2016).

2.2.4 Dagvlinders van het hellingmoeras - historische waarnemingen

Sommige, meer kritische soorten dagvlinders worden wel aangemerkt als indicatoren voor een goede landschappelijke samenhang en habitatkwaliteit (Bink, 1992), waarvan hellingmoerassen en hun gradiënten als ook hun plaats in de beekdalen nadrukkelijk onderdeel zijn. Uitgaande van de historische omvang van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen, waar ook het Kalkmoeras deel van uit maakt, kan herstel en ontwikkeling hiervan bijdragen aan een herstel van een goede landschappelijke samenhang met de bijbehorende levensgemeenschappen. Het is met oog op het afwisseld ruimtegebruik gedurende de levenscyclus van veel soorten uitermate belangrijk dat de gehele gradient (droog-nat / voedselarm-voedselrijk) wordt ontwikkeld, en niet alleen het Kalkmoeras.

Een aantal van de kritische soorten is al langere tijd uit de voor hellingmoerassen relevante regio verdwenen (tussen haakjes de laatste waarneming):

Moerasparelmoervlinder (1920), Bruine vuurvlinder (1945), Klaverblauwtje (1949), Zilveren maan (1956), Bont dikkopje (1957), Kleine ijsvogelvlinder (1969), Grote weerschijnvlinder (1972) en Grote ijsvogelvlinder (1983). Daarbij valt op dat de meeste graslandsoorten hiervan al kort na de intensivering van de landbouw zijn verdwenen (laatste waarnemingen 1945-1957; de Moerasparelmoervlinder was al eerder verdwenen), terwijl de bossoorten het langer hebben volgehouden (laatste waarnemingen 1969-1983), wellicht omdat dat het bosoppervlak in veel beekdalen nog is toegenomen in de eerste helft van de 20^e eeuw (§2.2.1; §2.2.2).

In het recente verleden zijn nog twee indicatorsoorten voor een goede landschappelijke kwaliteit in het Heuvelland aangetroffen (Tabel 2.3), die ook gebonden zijn aan beekdal- en hellingmoerasvegetaties, te weten de Puperstreepparelmoervlinder (*Brenthis ino*; Figuur 2.7) en de Rode vuurvlinder (*Lycaena hippothoe*). Beide soorten zijn redelijk mobiel. De Purperstreepparelmoervlinder heeft daarbij een voorkeur voor productievriendelijke milieus dan de Rode vuurvlinder. Het zijn veelal licht eutrofe, vochtige-natte plaatsen met begroeiingen verwant aan het *Filipendulion* en het *Calthion* (Sawchik et al. 2005; Tabel 2.3). De Rode vuurvlinder wordt hier ook wel aangetroffen maar is toch meer een soort van de soortenrijke beemden van het *Arrhenatherion*, *Calthion* en schraallanden van het *Junco-Molinion*, hoewel drogere locaties niet worden geschuwd (Sawchik et al., 2003). Voor uitgebreidere informatie over de ruimtelijke vereisten, habitatkwaliteit en beheer wordt voor deze soorten verwezen naar Bijlage 5.

Tabel 2.3: Historische waarnemingen van Purperstreepparelmoervlinder en Rode vuurvlinder in Zuid-Limburg.

Table 2.3: Historical records of Brenthis ino and Lycaena hippotoe in South-Limburg.

plaats	periode
Purperstreepparelmoervlinder (<i>Brenthis ino</i>)	
Schinveld	1900-1951
Etzenrade	1930-1951
Jabeek	1900-1962
Kerkrade	1867-1951 en 1998-2011
Meerssen en Houthem	1891
Bemelen	1937
Noorbeek	2006
Epen	1950 en 2011
Vaals	2015
Rode vuurvlinder (<i>Lycaena hippotoe</i>)	
Sittard	1925
Valkenburg	1921
Vaals	1981 en 2013

Van de Puperstreepparelmoervlinder zijn 110 waarnemingen uit Zuid-Limburg bekend uit de periode 1891-1962 en recenter uit 1998-2015 (Tabel 2.3). De soort was vooral bekend uit het dal van de Roode beek, het Geuldal en de omgeving van Kerkrade. Camping (1951) vond enkele exemplaren aan de rand van het Onderste Bos bij Epen. Bij Kerkrade is de Purperstreep-parelmoervlinder ook recent weer herhaaldelijk waargenomen, maar onduidelijk is of de soort hier nog aanwezig is. Daarnaast zijn er incidentele waarnemingen bij Noorbeek (2006), Epen (2011) en Vaals (2015, 2 ex).

Van de Rode Vuurvlinder zijn slechts twee oude waarnemingen uit Zuid-Limburg bekend, bij Sittard en Valkenburg (Tabel 2.3). Recenter zijn echter in 1981 en 2013 in de omgeving van Vaals twee zwervende exemplaren van de Rode vuurvlinder waargenomen. Het voorkomen van de waardplant Veldzuring (*Rumex acetosa*) is overduidelijk niet de beperkende factor. De knelpunten moeten op een ander vlak liggen, naast versnippering mogelijk speelt de trofiegraad een rol.



Figuur 2.7: Bij een goede ruimtelijke structuur kan de purperstreep-parelmoervlinder zelfs op kleine oppervlakte met de waardplant moerasspirea worden aangetroffen (foto M. Wallis de Vries)

Figure 2.7: *Brenthis ino* may even be found on small patches of its hostplant meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) when habitat connectivity is high

Tabel 2.4: Samenvatting van oude vegetatieopnamen uit het Calthion/Filipendulion op vroegere vindplaatsen van de Purperstreepparelmoervlinder in Zuid-Limburg (bron: SynBiosys).

Alleen soorten die in meer dan de helft van de opnamen voorkwamen zijn weergegeven.

Table 2.4: Summary of historical vegetation relevés from Calthion/Filipendulion communities at former locations with records of the butterfly *Brenthis ino* in Zuid-Limburg (source: SynBiosys).

Only species present in more than half of the relevés are listed.

	Plaats X-Y (km.hok)	Kerkrade 201-320 jaar 1939 Opnamenr. 659	Boven-Geuldal				Etzenrade	
			192-310 1938	193-308 1941	193-308 1956	193-307 1949	195-333 1951	195-333 1951
Grote valeriaan	<i>Valeriana officinalis</i>		2	+	+			1
Gewone engelwortel	<i>Angelica sylvestris</i>	2		+	1		1	2
Kale jonker	<i>Cirsium palustre</i>	1	+	+	+	+	1	
Moerasspirea	<i>Filipendula ulmaria</i>		1	2	1	1	9	39
Echte koekoeksbloem	<i>Lychnis flos-cuculi</i>			+	+	+	1	1
Pinksterbloem	<i>Cardamine pratensis</i>				1	1	1	1
Moerasstreepzaad	<i>Crepis paludosa</i>				+	2	1	1
Ruw beemdgras	<i>Poa trivialis</i>				1	3	8	1
Lidrus	<i>Equisetum palustre</i>				+	+	21	4
Veldzuring	<i>Rumex acetosa</i>	1				2	2	1
Scherpe boterbloem	<i>Ranunculus acris</i>	1				2	2	1
Ruw walstro	<i>Galium uliginosum</i>	2				+	2	1
Moerasrolklaver	<i>Lotus pedunculatus</i>	+	2	1		1	2	1
Pitrus	<i>Juncus effusus</i>		1	+		+	4	1
Kruipende boterbloem	<i>Ranunculus repens</i>		2	1	+	1	5	
	 totaal aantal soorten	16	22	26	45	47	51	40

Er zijn 7 oude vegetatieopnamen uit het Calthion/Filipendulion gevonden in SynBiosys van vroegere vliegplaatsen van de Purperstreepmoervlinder in Zuid-Limburg (Tabel 2.4). De opnamen stammen uit de periode 1939-1956. Moerasspirea, Kale jonker en Moerasrolklaver kwamen in bijna elke opname voor. Moerasspirea was slechts in één opname bij Etzenrade abundant aanwezig. Lokaal zullen door deze soort gedomineerde ruigten wel aanwezig zijn geweest, maar doorgaans zijn dit niet de plaatsen waar vegetatieopnamen worden gemaakt. De opnamen wijzen in de richting van de natte beemden en hellingmoeras van het Dotterbloem-verbond (*Calthion palustris*), en een enkele maal een Moerasspirea-ruigte (*Filipendulion*). Gezien het geringe aantal locaties mogen geen ver reikende conclusies worden getrokken. De beschikbare opnamen doen echter wel vermoeden dat de Purperstreepmoervlinder op extensief graslandbeheer is aangewezen, waardoor enerzijds de open vegetatiestructuur in stand wordt gehouden en anderzijds de voor overwintering essentiële strooisellaag intact blijft. In essentie voorwaarden waaraan ook hellingmoerassen kunnen voldoen.

Knelpunten in het Heuvelland

Beide soorten kunnen ten aanzien van het ruimtelijk voorkomen worden getypeerd als soorten met een klassieke metapopulatie structuur; Een verzameling lokale populaties die onderling uitwisselen (Sawchik et al., 2005; Zimmermann et al., 2005; Cozzi et al., 2008; Turlure et al., 2010). Lokale populaties beslaan doorgaans minimaal 1 ha. De waargenomen dichtheden aan vlinders bij beide soorten zijn daarbij behoorlijk hoog. Voor de totale oppervlakte van een duurzame metapopulatie moet dan in de orde van grootte van enige tientallen hectares worden gedacht, wat het belang van een goede landschappelijke samenhang tussen de hellingmoerassen moerassen onderstreept. Een groot nectaraanbod is belangrijk, maar ze zijn allebei verder niet zo kieskeurig wat betreft nectarplanten.

Afgaand op de recente waarnemingen, doen beide soorten geregeld pogingen tot herkolonisatie. Soms leidt dat tot een tijdelijke populatie (Anselderbeekdal, Kerkrade). Duurzame herkolonisatie blijft vooralsnog uit. De knelpunten voor Purperstreepmoervlinder en Rode vuurvlinder in het huidige landschap liggen vooral op de volgende punten:

- onvoldoende aanbod van leefgebied van geschikte kwaliteit, zoals hieronder samengevat:
 - vochtig tot nat, open terrein, extensief gebruikt
 - hoogstens matig voedselrijk voor de Rode vuurvlinder (Purperstreepmoervlinder is minder kritisch)
 - bloemrijk met in elk geval distels en koekoeksbloemen
 - gefaseerd beheerd met tijdelijk overstaande delen
 - voldoende beschut, maar ook voldoende door de zon beschenen
- onvoldoende ruimtelijke samenhang: dit geldt zowel voor de kolonisatie als voor de vestiging
 - Incidentele koloniaties worden waargenomen, maar het is de vraag of deze bij voldoende geschikt leefgebied ook toereikend zouden zijn om tot duurzame vestiging te leiden. Daarvoor is de isolatie ten opzichte van bronpopulaties mogelijk te groot.
 - Voor de opbouw van een metapopulatie is een netwerk van plekken vereist op onderlinge afstanden van hooguit één kilometer voor een effectieve uitwisseling van deelpopulaties

Beide soorten bereiken in Nederland de grens van hun areaal. Klimaat-verandering zou in de toekomst dus een knelpunt kunnen gaan vormen. De onzekerheden hierin zijn, zoals eerder genoemd, echter groot en een goede habitatkwaliteit, vooral een stabiele hydrologie, blijkt veel van de klimatologische variatie te kunnen opvangen (zie bijv. Franco et al., 2006). Vooral de invloed van kwelwater kan een koeler microklimaat waarborgen. Daarom wordt klimaatverandering hier vooralsnog niet als doorslaggevend knelpunt gezien, maar het herstel van de hydrologie des te meer! Al met al kan herstel en ontwikkeling van hellingmoerassen -en daarmee herstel van de natuurlijke gradiënt- een bijdrage leveren aan het duurzame behoud van kritische dagvlinders (zie ook §4.2.2).

3 Vegetaties van het hellingmoeras

3.1 Inleiding

De hellingmoerassen die in het kader van dit OBN-onderzoek onder de loep zijn genomen, kennen een grote botanische diversiteit (De Mars et al., 2009). Deze verscheidenheid wordt hieronder op twee manieren nader aan de orde gesteld. Allereerst wordt het kalkmoeras botanisch gekarakteriseerd vanuit een Europese invalshoek.

Vervolgens wordt mede aan de hand van recente publicaties en het uitgevoerde Fase2-onderzoek, op basis van circa 60 vegetatieopnamen en aanvullende biomassabepalingen, een nadere plaats- en toestandsbepaling besproken van het Kalkmoeras (H7230) en de overige hellingmoerasvegetaties in het Zuid-Limburgse heuvelland. De biomassabepalingen geven hierbij een beeld van de productiviteit van de verschillende moerasvegetaties. In het verlengde daarvan wordt het kalkmoeras vanuit een landschappelijke optiek ingepast binnen de vegetatiegradiënt.

In totaal zijn negen soortengroepen onderscheiden en acht vegetatietypen waar-mee in een later stadium (hs. 5.4) de verschillende standplaatsen zijn gelabeld.

Een uitgebreide beschrijving van de vegetatie op perceelniveau van de acht nader onderzochte terreinen is te vinden in Bijlage 3.

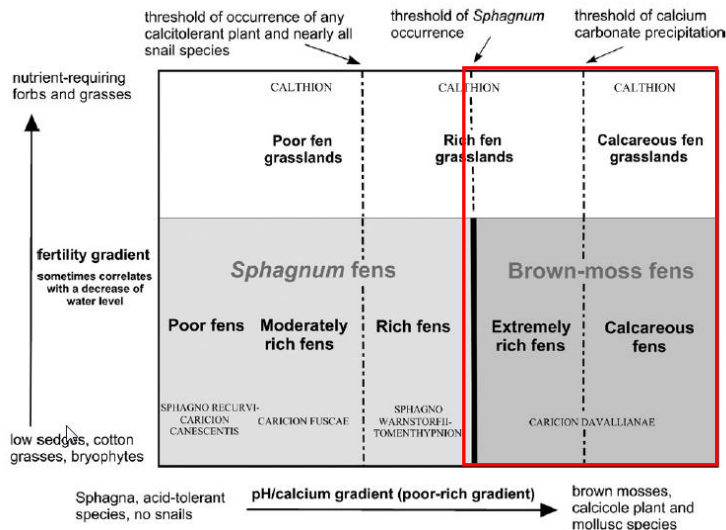
3.2 Het kalkmoeras in Zuid-Limburg vegetatiekundig beschouwd

3.2.1 Kalkmoerasvegetaties in Noordwest-Europees verband

Hoofdstuk2 heeft laten zien dat de Zuid-Limburgse moerassen behoren tot de helling- en kwelmoerassen. De geohydrologische opbouw van Zuid-Limburg, met zijn kalkhoudende tot uitgesproken kalkrijke bodems en dito grondwater maakt dat de hellingmoerassen in deze regio vrijwel zonder uitzondering behoren tot een groep moerassystemen die in Europa worden aangeduid als zeer basenrijk - en kalkmoeras (Figuur 3.1).

Dergelijke veenvormende of zelfs kalktuf vormende systemen worden vegetatiekundig gerekend tot het *Caricion davallianae* (*Knopbies-verbond*). Afgezien van het kalkrijke water dat deze hellingmoerassen voedt, overheersen in de moslaag de slaapmossen. Binnen de Zuid-Limburgse hellingmoerassen spelen veenmossen dan ook nauwelijks een rol van betekenis (De Mars et al., 2009).

De staat van instandhouding van het H7230 Kalkmoeras varieert aanzienlijk over Europa. De beste voorbeelden worden tegenwoordig vooral aangetroffen in dun bevolkte gebieden, waar de cultuurdruk afwezig of laag is. In de dichter bevolkte gebieden van vooral West Europa is de cultuurdruk van dien aard dat niet alleen de kwaliteit maar ook het areaal tegenwoordig zwaar onder druk staat waardoor tal van kritische soorten in hun voortbestaan worden bedreigd (Sundseth, 2009; Grootjans et al., 2012; European Union, 2016). De hoofdoorzaken van deze trend zijn ingrepen in de waterhuishouding, drainage, ontginning, bebossing en eutrofiering. Hydrologisch aangetaste hellingmoerassen ontwikkelen zich vaak tot Dotter-graslanden (*Calthion palustris*), die dan vaak niet meer als H7230 Kalkmoeras zijn aan te merken.



Figuur 3.1: Het verband tussen veenmoeras typen, kalkarm-kalkrijk en voedselrijkdom gradiënten, syntaxonomische indeling en belangrijke functionele en structurele grenzen (bron: Hájek et al., 2006).

Rood omrand: positie van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen.

Figure 3.1: The relationships between fen types and the poor–rich and fertility gradients, syntaxonomical system and major functional and structural boundaries within fens (Hájek et al., 2006).

Red square: position of the spring fed fens of South Limburg.

3.2.2 Kalkmoerasvegetaties in Zuid-Limburg

Als het gaat om H7230 Kalkmoeras, zou dat voor Zuid-Limburg² kunnen worden ondergebracht in het:

- *Campylio-Caricetum dioicae* (Associatie van Vetblad en Vlozegge) of het recent ook voor Nederland beschreven
- *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* (Schubzegge associatie)

Recent onderzoek aan de botanische samenstelling van het kalkmoeras in de Zuid-Limburgse hellingmoerassen heeft duidelijk gemaakt dat deze vegetaties zijn te rekenen tot het Continentaal Midden-Europese getinte *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* (Weeda, 2008; Weeda et al., 2011). Zuid-Limburg ligt biogeografisch gezien in de overgang van de Atlantische regio naar de Continentale regio van Europa (Sundseth, 2009). Bij de begrenzing van de regio's, lijkt in geval van de toedeling van Zuid-Limburg, de landsgrens meer bepalend te zijn geweest, dan een landschapsecologische benadering.

Het *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* vormt voor Nederland een nieuwe associatie binnen het Knopbies verbond (*CARICION DAVALLIANAEE*; Schaminée et al., 2017). Deze associatie (r9Ba6), is in Nederland alleen bekend uit Zuid-Limburg, beantwoordt qua samenstelling volledig aan de beschrijving van het Kalkmoeras (H7230) in het profieldocument: er is onder meer sprake van een goed ontwikkeld alkalisch moerassysteem als daar begroeiingen van het Knopbies-verbond voorkomen, waarin gele zegge, schubzegge en/of veenzegge aanwezig is.

Gele zegge (*Carex flava*), Schubzegge (*Carex lepidocarpa*), Veenzegge (*Carex davalliana*), Paddenrus (*Juncus subnodulosus*) en Parnassia (*Parnassia palustris*) zijn tegenwoordig de enige overgebleven vaatplanten van het kalkmoeras in Zuid-Limburg. Hierbij moet echter wel met nadruk worden vermeld dat elk van de laatste drie genoemde soorten momenteel slechts van één vindplaats bekend zijn. Dit selecte

² Het *Equiseto variegati – Salicetum repentis* (Associatie van Bonte paardenstaart en Moeraswespenorchis) en het *Eleocharitetum quiquefloarae* (Associatie van Armbloemige waterbies), die ook deel uitmaken van het *Caricion davallianaee*, zijn Atlantisch getinte vegetaties die in Nederland hun zwaartepunt langs de kust hebben.

groepje karakteriseert samen met Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) en Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*) het *Caricion davallianae* in Zuid-Limburg. Echter, in combinatie met de aanwezigheid van Zeegroene rus (*Juncus inflexus*), Zeegroene zegge (*Carex flacca*), Kleine hoefblad (*Tussilago farfara*), Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*) en Geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) wijst de samenstelling meer in de richting van het *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* dan naar het *Campylio-Caricetum dioicae* (Weeda, 2008). Het *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* is een type van kalkrijke hellingmoerassen. Indien naast beide diknerfmossen ook Groot staartjesmos (*Philonotis calcarea*) aanwezig is kan, in het geval van een bronmilieu met kalktufvorming, ook worden gesproken van een kalktufbron (H7220), zoals in Weustenrade lokaal (nog) het geval is. De vegetatie is daar echter nog in ontwikkeling en evolueert vanuit de pioniersituatie ook daar naar kalkmoeras in de zin van H7230.

Het voorgaande wil echter niet zeggen dat het *Campylio-Caricetum dioicae* niet zou kunnen voorkomen in Zuid-Limburg. In de huidige tijd is dat wel het geval, maar waarnemingen uit het verleden (vanaf midden 19^e eeuw) van Parnassia, Vlozegge, Vetblad en Gele zegge voor de voet van de Meerssenerhei (Hilligers, 1998; zie ook Figuur 3.3) wijzen toch sterk op de toenmalige aanwezigheid van deze associatie. Ook de historische soortensamenstelling van het Weerverveen (zie §2.2.3) lijkt te wijzen in de richting van het *Campylio-Caricetum dioicae*.

Een ander gebied waar deze associatie mogelijk een plaats had, is het Roode beekdal tussen Etzenrade en Sittard. In dit beekdalsysteem zijn tal van kalkmoeras-soorten aangetroffen waaronder, naast Parnassia en Moeraswespenorchis ook Tweehuizige zegge (*Carex dioica*) en Vlozegge. Echter, juist veel opvallender soorten als Gele zegge en Schubzegge zijn niet uit deze omgeving bekend.

Intermezzo 3.1: Bevestiging voorkomen Paddenrus in het Heuvelland

Tot voor kort waren opgaven van Paddenrus (*Juncus subnodulosus*) uit het Zuid-Limburgse heuvelland onzeker bij gebrek aan herbariumcollecties (Weeda, 2014). Als uitvloeisel van het veldwerk voor dit onderzoek werd deze 'lastige' soort bij Terworm voor het eerst met zekerheid in het Heuvelland aangetroffen; herbariumexemplaren zijn gedeponneerd in musea te Maastricht en Leiden. Een aanvullende publicatie over deze indicator van kalkmoeras-vegetaties en haar positie binnen de Zuid-Limburgse moerasvegetatie is gepubliceerd in het Natuurhistorisch Maandblad (Weeda, 2014).

De kalkmoerasvegetaties in Zuid-Limburg zijn tegenwoordig uitsluitend aanwezig in combinatie met elementen uit het Dotterbloemhooiland (*Calthion palustris*), wat suggereert dat de standplaatscondities op de bestaande locaties niet helemaal op orde zijn. Daarnaast vormt die gemeenschap op haar beurt een subtiel mozaïek met andere vegetatietypen van het hellingmoeras. Vooral aan de voedselarme kant van het spectrum betreft dat een schraal, soortenrijk Veldrus-hooiland (*Crepido-Juncetum*), volgens de meest recente inzichten een schraallandvegetatie uit het *Junco-Molinion* (Schaminée et al., 2017; zie voor meer details hs 3.3). Stuk voor stuk zijn deze vormen en mozaïeken volgens de richtlijnen toe te delen aan het habitatype 7230 Kalkmoeras (Eur28, 2013; Weeda et al., 2011).

Zonder de aanwezigheid van kalkmoerasindicatoren, kwalificeert het hierboven genoemde *Crepido-Juncetum* dan als H6410 Grasland met Molinia op kalkhoudende venige of lemige kleibodem (Weeda et al., 2011; Schaminée et al., 2017).

Daarbuiten is tijdens het onderzoeksproject aan het licht gekomen dat in het bronmoeras van Terworm (Eykenmolen) ook nog relicten van het kalkmoeras worden aangetroffen. Het betreft een omvangrijke populatie Paddenrus (*Juncus subnodulosus*; zie ook Intermezzo 3.1; Weeda 2014), in de randzone van een rietveld (*Phragmition*) en daar sinds een opschoningsactie in 2015, in goed gezelschap van de meer onbestendige soorten Bruin cypergras (*Cyperus fuscus*) en Gewoon kransblad (*Chara vulgaris*) (De Mars et al., 2017a). Hoewel de kwalificerende, exclusieve soorten uit het profieldocument voor het habitatype verder (nog) ontbreken, staat deze locatie daar vegetatiekundig gezien wel dichtbij.

Op het grote hellingmoeras bij Cottessen is in §2.2.3 al kort ingegaan. De kalkmoerasindicaties maken hier deel uit van een bronzone met een uitgesproken *Calthion palustris* aspect met lokaal wat Zeegroene zegge (*Carex flacca*) en Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*).

De in 2013 ontdekte Parnassia in de kleine bronzone in de Curfsgroeve ontwikkelt zich voorspoedig (Figuur 3.2). Vanuit een in 2009 nog volledig kale lemige bodem laat zich sinds 2013 een opvallende ontwikkeling zien met Gekroesd plakkaatmos (*Pellia endiviifolia*), Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*), Zeegroene rus (*Juncus inflexus*), Klein hoefblad (*Tussilago farfara*) en Parnassia in combinatie met lichte kalktufvorming. Ook hier lijkt dus een ontwikkeling in gang gezet richting het *Carici flavae*-*Cratoneuretum filicini*.



Figuur 3.2: Spontaan ontwikkelend kalkmoeras in de Curfsgroeve.

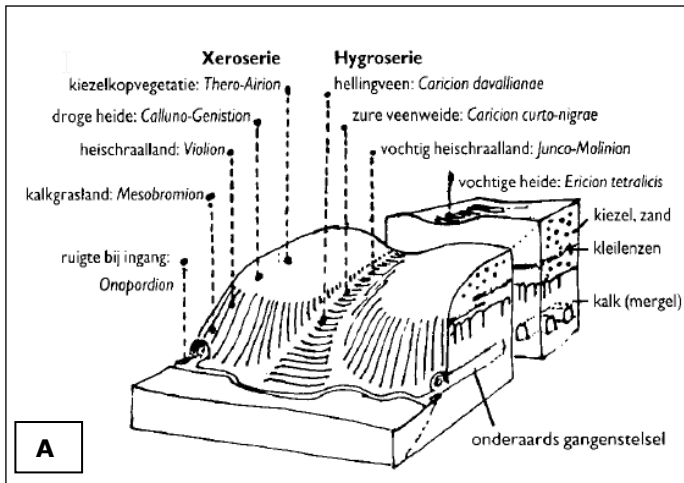
(foto: H. de Mars)

Figure 3.2: Spontaneous development of a new calcareous fen in the Curfs quarry

3.2.3 Het kalkmoeras in de landschapgradiënt

Hilligers (1998) heeft op basis van de aantekeningen van Franquinet en Dumoulin uit het midden van de 19^e eeuw een vegetatiereconstructie gemaakt voor de landschappelijke inpassing van de kalkmoerasjes, zoals die aan de voet van de plateaurand bij Meerssenerhei aanwezig waren (Figuur 3.3). De door deze auteur onderscheiden (korte) kalkarm-kalkrijk gradiënt is bij de onderzochte terreinen in meer of mindere mate ook herkenbaar. Op de Carex-weide in het Ravensbos maar ook in de Kathagerbeemden (Weeda et al., 2011) is die gradiënt nog steeds vrijwel intact. De hoogste delen worden in beide terreinen ingenomen door al of niet relatief veenmosrijke vegetaties verwant aan het Molinion. Op de Carex-weide treedt in het hellingveen vervolgens een subtiele vermenging op tussen het *Junco-Molinion* en het *Carici flavae*-*Cratoneuretum*, waarmee het geheel klassificeert als Kalkmoeras (H7230). Langs de brongeultjes en op kwelplekken voert daarbij vooral het kalkmoeras-accent de boventoon. In de Kathagerbeemden is dat ook het geval maar is in het hellingmoeras het kalkmoeras accent lokaal ook sterk vertegenwoordigd, met onder meer Groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*) en vooral Geveerd diknerfmos (*Palustriella commutata*) waarbij lokaal dan ook nog een kalkminnende (oud) bosplant als Eenbes (*Paris quadrifolia*) in het hellingveen verschijnt. Anderzijds wordt in beide terreinen Wolmos (*Trichocolea tomentella*) aangetroffen, een soort van zwak gebufferd water.

In het verboste Weverveen, onder Kasen bij Bunde, valt een dergelijke (korte) kalkarm-kalkrijk gradiënt ook nog wel te herkennen. Op de helling direct boven het veen groeien op de grindhoudende lemige zanden Grote veldbies (*Luzula sylvatica*) en Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*) talrijk, terwijl laatstgenoemde naast Koningsvaren (*Osmunda regalis*) ook in het hellingveen aanwezig is (net als op de Carex-weide en Kathagerbeemden). Bovendien wordt ook hier Wolmos aangetroffen. Het basenarme karakter was begin 20^e eeuw nog duidelijker. Toen werden hier nog veenmoskussens en Ronde zonnedauw (*Drosera rotundifolia*) aangetroffen (De Wever, 1915; Hilligers, 1998).



Figuur 3.3: Schematisch weergave van Kalkmoeras in de vegetatiegradiënt:

A: vegetatiezonering op de noordflank van de Meerssenerhei.
B: standplaatsaanduidingen van Dumoulin en Franquinet bij hun

vondsten (midden 19^e eeuw).

(bron: Hilligers1998)

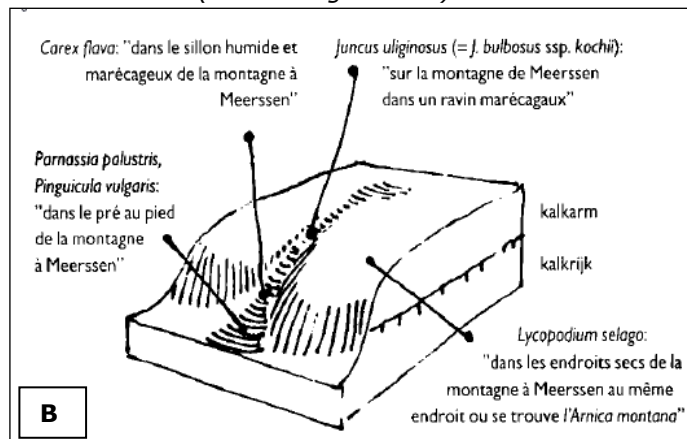


Figure 3.3: Schematic diagram of Calcareous fen in the vegetation gradient:

A: Zonation of the vegetation on the north face of Meerssener Heath.

B: Brief site descriptions by Dumoulin and Franquinet (mid 19th century)

De onderrand van het Weverveen is echter kalkrijker getint; Zo groeit daar in het veen o.a. Eenbes (*Paris uniflora*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Gele dovenetel (*Lamiastrum galeobdolon*) en Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*). Bovendien zijn uit verleden ook nog Bleke zegge (*Carex pallescens*), Vlozegge (*Carex pulicaris*) en Armbloemige waterbies (*Eleocharis uniglumis*) bekend. Aan de voet van de helling waarop dit veen ligt, groeit in de bosrand zowel Zeegroene zegge (*Carex flacca*) als Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*). Bovendien groeien anno 2016 vlakbij nog steeds Bleke zegge en een pol Gele zegge (*Carex flava*).

Voor de oude vindplaats bij Eperheide maar ook die bij Vaals, lijkt een dergelijke setting eveneens aanwijsbaar. Hogerop de helling waren hier vanouds heischrale condities aanwezig, zoals de naam Eperheide ook al aanduidt, op een ondergrond van basenarm vuursteeneluvium en verspoeld hellingmateriaal. Van Vaals-Holset is bekend dat in de jaren '50 van de vorige eeuw op de hellingen onder het Vijlnerbos nog opvallend schrale weiden lagen (Ministerie LVV, 1953). Op die hellingen zit echter in de ondiepe ondergrond nog een laag Gulpens kalksteen (RGD, 1980; 1988), die voor de

noodzakelijke kalkrijkdom zorgt van het bronwater. Deze positionering met kalksteen in de ondergrond lijkt op de beschreven situatie aan de voet van de Meerssenerhei (Figuur 3.3).

De enige uitzondering op deze landschappelijke sequentie lijkt het hellingmoeras van Weustenrade te zijn. Hier ontbreekt boven het Kalkmoeras de voedselarme component. De kalkrijke zone zet zich hogerop gewoon voort in de vorm van een Moeraszegge-ruigte met Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*) en bosopslag. Bij nader inzien blijkt echter dat het huidige kalkmoerasje in 1991/1992 is ontgraven in de voet van een al bestaand kalkrijk hellingmoeras. Dat moeras zet zich hogerop namelijk door tot in het aangrenzende grasland. Dit 'oude' bovenste deel van het hellingmoeras dreigt echter te verbossen en dat lijkt met oog op de watervoorziening van het 'nieuwe' Kalkmoeras minder gewenst (zie §2.2.1). Het bovenliggende weiland werd tot voor kort intensief gebruikt, zodat de voedselarme component in de gradiënt hier verloren is gegaan.

Ook in veel andere terreinen met kalkmoeras-indicatoren, zoals Papenbroek bij Wijnandsrade en het bronmoeras van Terworm ontbreekt die voedselarme component hogerop in het terrein door sterke intensivering van het (agrarisch) landgebruik, bebossing en soms bebouwing. Juist de aanwezigheid van een hogerop liggende voedselarme component, zoals op de Carex-weide (Ravensbos) en de Kathagerbeemden lijkt een factor die bijdraagt aan de instandhouding ervan en dankzij de aanwezige (kalkarm-kalkrijk) gradiënten ook bijdraagt aan de botanische kwaliteiten van een terrein.

3.2.4 Resumé

De kalkmoerasvegetaties binnen de Zuid-Limburgse hellingmoerassen maken zonder uitzondering deel uit van zeer basenrijke - dan wel kalkrijke moerassen. Dergelijke veenvormende en/of kalktuf vormende systemen zijn vegetatiekundig onder te brengen in het:

- *Campylio-Caricetum dioicae* (Associatie van Vetblad en Vlozegge) of het Continentaal-Midden-Europese
- *Carici flavae-Cratoneuretum filicini* (Schubzegge associatie).

Actueel zijn de kalkmoerasvegetaties in de zin van H7230 in Zuid-Limburg uitsluitend aanwezig in combinatie met elementen uit het Dotterbloemhooiland (*Calthion palustris*). Daarnaast vormt die gemeenschap op haar beurt een mozaïek met andere vegetatietypen van het hellingmoeras, in het bijzonder met het natte, schrale Veldrus-hooiland (*Crepido-Juncetum*: Associatie van Veldrus en Gevekte orchis), dat naar recente inzichten onder het *Junco-Molinion* valt.

Al deze vormen en mozaïeken zijn toe te delen aan het habitatype H7230 Kalkmoeras.

De aanwezigheid van een kalkarm-kalkrijk gradiënt in een perceel draagt bij aan de botanisch-ecologische kwaliteiten van een terrein.

3.3 Plantengemeenschappen van het Zuid-Limburgse hellingmoeras

3.3.1 Vegetatietypen en soortgroepen

Door de kleinschalige abiotische verschillen (bodem, hellingshoek, microreliëf en vochthuis-houding) zijn de in de hellingmoerassen tal van overgangen aanwezig waarbij vaak een fijnschalig mozaïek aan begroeiingstypen en overgangsvormen aan te treffen, waarbij de vegetaties veelal niet goed passen binnen de bestaande classificaties. Dergelijke complexe vegetatiemozaïeken worden echter ook tot de aangemerkte habitattypen gerekend (Eur28, 2013).

Desalniettemin is getracht de onderscheiden typen in dit onderzoek toch zoveel mogelijk te classificeren aan de hand van soortengroepen.

In het Fase2 onderzoek zijn in acht hellingmoerassen gedetailleerd onderzocht op hun vegetatiesamenstelling. Binnen deze acht terreinen zijn na ordening (Twinspan) negen

vegetatietypen te onderscheiden, die gekenmerkt worden door combinaties van een of meerdere soortengroepen. De soortengroepen zijn:

- Cd = Kalkmoerasplanten (*Caricion davallianae*, *Carici flavae-Cratoneuretum filicini*)
- JN = Planten van natte schraallanden (*Junco-Molinion*, *Nardetea*)
- MC = Planten van brongebieden en natte pioniermilieus (*Montio-Cardaminetea*, *Isoeto-Nanojuncetea*)
- Cp = Planten van natte beemden (Dotterbloemhooilanden; *Calthion palustris*)
- PC = Planten van voedselrijke moerassen en natte ruigten (*Phragmitetea*, *Convolvulo-Filipenduletea*)
- MA = Planten van matig voedselrijke graslanden (*Molinio-Arrhenatheretea*)
- QF = Planten van rijke loofbossen (*Quercu-Fagetea*)
- Qr = Planten van armere loofbossen (*Quercetea robori-petraea*)
- GU = Planten van stikstofrijke zomen (*Galio-Urticetea*)

Hieronder worden de na ordening negen onderscheiden vegetatietypen beschreven. Daarbij is tussen [.] de code vermeld die in onderstaande Tabel 3.1 wordt gebruikt. De planten-sociologische classificatie is waar nodig aangepast aan de Revisie van de Vegetatie van Nederland (Schaminée et al., 2017).

De vegetatietypen met hun combinatie van soortengroepen (**vet** = sterk vertegenwoordigd) en hun steeds aanwezige soorten (**vet** = gemiddelde bedekking > 20%) zijn de volgende:

1. **Kalkmoeras [K]**

Soortengroepen: **Cd + PC**

Steeds aanwezige vaatplanten: Gewone engelwortel (*Angelica sylvestris*), Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Lidrus (*Equisetum palustre*), Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*), Grote kattenstaart (*Lythrum salicaria*), Watermunt (*Mentha aquatica*), Grauwe wilg (*Salix cinerea*)
Steeds aanwezige mossen: Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*), **Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*)**.

Plantensociologische classificatie: *Carici flavae-Cratoneuretum filicini*

Natura 2000: H7230

2. **Hellingmoerassen met grote zeggen**

2.1. **Moeraszeggebeemden met kalkmoeras indicaties [Mk]**

Soortengroepen: Cd + MC + **PC** + **Cp** + MA + (QF) + GU

Steeds aanwezige vaatplanten: Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*), Ruw beemdgras (*Poa trivialis*); in >66% van de opnamen: Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*), Kale jonker (*Cirsium palustre*), Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*), Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*).
Mos in > 66 % van de opnamen: Geel boogsterrenmos (*Plagiothecium elatum*).

Plantensociologische classificatie: Rg *Carex acutiformis*-[*Calthion palustris*]

2.2. **Riet-zeggenmoeras [M]**

Soortengroepen: (Cd), **CP**, **PC**, MA, (QF)

Steeds aanwezige vaatplant: **Moeraszegge (*Carex acutiformis*)**; in >66% van de opnamen Grote kattenstaart (*Lythrum salicaria*), Watermunt (*Mentha aquatica*), Ruw beemdgras (*Poa trivialis*).

Mos in >66% van de opnamen: Gewoon dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*), Gerimpeld boog sterrenmos (*Plagiothecium undulatum*), Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*).

Plantensociologische classificatie: Rg *Carex acutiformis*-[Phragmietalia] / Rg *Carex acutiformis*-[*Calthion palustris*]. Een klein subgroepje laat zich classificeren als *Caricetum paniculatae*.

2.3. *Verbost moeraszeggebeemd* [Mb]

Soortengroepen: PC + Cp + QF + QR

Steeds aanwezige vaatplanten: **Moeraszegge (*Carex acutiformis*)**, Grote wederik (*Lysimachia vulgaris*) en bramen (*Rubus spec.*). Daarnaast diverse bossoorten van zowel rijke (Groot heksenkruid [*Circaea lutetiana*] en Gerimpeld boogsterrenmos [*Eurynchium striatum*]) als arme bossen (Koningsvaren [*Osmunda regalis*] en Adelaarsvaren [*Pteridium aquilinum*]).

Plantensociologische classificatie: Rg *Carex acutiformis*-[*Alnion glutinosae*] / Rg *Carex acutiformis*-[*Calthion palustris*].

2.4. *Moerasspirearuigte met Scherpe zegge* [S]

Soortengroepen: (MC) + PC + Cp + MA + QF + GU

Steeds aanwezige vaatplanten: Gewone engelwortel (*Angelica sylvestris*), Glanshaver (*Arrhenatherum elatius* subsp. *elatius*), Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*), Scherpe zegge (*Carex acuta*), Haagwinde (*Convolvulus sepium*), **Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*)**, Kleefkruid (*Galium aparine*), Ruw beemdgras (*Poa trivialis*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*), Gewone smeewortel (*Symphytum officinale*), Grote brandnetel (*Urtica dioica*).

Plantensociologische classificatie: *Valeriano-Filipenduletum symphytetosum*

3. *Natte bloemrijke hooilanden*

3.1. *Veldrusbeemd* [V]

Soortengroepen: Cd + PC + Cp + MA + (QF)

Specifiek voor dit vegetatietype: Beemdvergeet-mij-nietje (*Myosotis scorpioides* subsp. *nemorosa*).

Vrijwel steeds aanwezige vaatplanten: Veldrus (*Juncus acutiflorus*), Lidrus (*Equisetum palustre*), Moeraswalstro (*Galium palustre*), Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), Moerasvergeet-mij-nietje (*Myosotis scorpioides* subsp. *scorpioides*), Ruw beemdgras (*Poa trivialis*), Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*)

Vrijwel steeds aanwezig mos: Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*),

Plantensociologische classificatie: Rg *Juncus acutiflorus*-[*Molinietalia*]

3.2. *Nat schraalland met bos- en kalkmoerasplanten* [Bk]

Soortengroepen: Cd + PC + Cp + JN + QF + Qr

Specifiek voor dit vegetatietype: Gele zegge (*Carex flava*), Boompjesmos (*Climacium dendroides*).

Vrijwel steeds aanwezige vaatplanten: Zeegroene zegge (*Carex flacca*), Veldrus (*Juncus acutiflorus*), Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Grote wederik (*Lysimachia vulgaris*), Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*).

Vrijwel steeds aanwezige mossen: **Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*)**, Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*), Rond boogsterrenmos (*Plagiomium affine*).

Plantensociologische classificatie: *Crepido-Juncetum acutiflori*, vorm met *Caricion davallianae*-elementen, lokaal *Scirpetum sylvatici* (dito).

Natura 2000: H6410 en voor zover Gele zegge en/of Schubzegge aanwezig: H7230

3.3. *Schraal hooiland met bosplanten* [JM]

Soortengroep: JN + QR

Specifiek voor dit type: Blauwe knoop (*Succisa pratensis*) en Fraai hertshooi (*Hypericum pulchrum*; vondst mei 2017).

Dit type omvat slecht 1 opname van de Carex-weide. Die opname weerspiegelt wel het beeld van de schrale vegetatie die ter plaatse, direct boven het eigenlijke hellingmoeras aanwezig is. Kenmerkend daarvoor zijn ter plaatse onder meer Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Lelietje van dalen (*Convallaria majalis*), Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Ruige veldbies (*Luzula pilosa*), Bleke zegge (*Carex pallescens*), Pilzegge (*Carex pilulifera*),

Veldrus (*Juncus acutiflorus*), Tormentil (*Potentilla erecta*), Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*), Valse salie (*Teucrium scorodonia*) en bramen (*Rubus spec.*).

Plantensociologische classificatie: *Crepido-Juncetum acutiflori* / *Hyperico pulchri-Melampyretum*. **Natura 2000: H6410**

Afgezien van de bovenstaande beschreven typen, deels contactgemeenschappen van het kalkmoeras, is binnen de bestaande hellingmoerassen nog een type aan te duiden. Zo treft men in de Mechelderbeemden en de Noorbeemden zowel aan de bovenrand als aan de onderrand vaak hooilandvegetaties aan die een zekere verwantschap vertonen met het (wisselvochtige) Vossestaartgrasland (Bijlage 3). Binnen het beschikbare opnamenmateriaal zijn de eerste indicaties daarvan soms zichtbaar. Echter, er zijn te weinig, meer typische opnamen beschikbaar om een zelfstandige eenheid te onderscheiden.

3.3.2 Biomassaproductie & nutriëntenlimitatie

Biomassa-productie

De biomassa-bemonstering (1 m² in duplo), en de daarop uitgevoerde nutriëntenbepalingen (N, P, K), geven een eerste inzicht in de nutriëntenhuishouding op de onderzochte standplaatsen.

De resultaten (Tabel 3.1) laten zien dat de Kalkmoerasvegetatie van RAVE1 en WEUS1 een lage biomassaproductie hebben (vers gewicht: 300-350 g/m²). Die biomassaproductie ligt in lijn met literatuuropgaven voor het *Caricion davallianae* en de daar nauw aan verwante c.q. daarvan afgeleide vegetatietypen, zoals kalkrijke natte schraallanden van het *Molinion caeruleae* (De Mars et al., 1996; Olde Venterink et al., 2001 & 2003, Kemmers et al., 2004). De overige locaties laten echter een veel hogere productiviteit zien (vers gewicht: >700 g/m²), waarbij de verschillende terreinen, ondanks duidelijke vegetatiekundige verschillen, elkaar nauwelijks ontlopen. Deze mate van biomassaproductie komt overeen met opgaven voor het *Caricion gracilis* en *Valeriano-Filipenduletum* (Olde Venterink et al., 2001). Met uitzondering van de Veldrus-vegetaties van MECH1 en NOOR2 en NOOR3, is daarmee op de onderzochte locaties ook wel een duidelijke verwantschap aan te wijzen (zie Bijlage 4). De Veldrus-vegetaties, zeker die van NOOR2 en NOOR3, vallen echter uit de toon. Hier zou men gelet op de soortensamenstelling een lagere productie verwachten. Het voormalige, intensieve grondgebruik speelt hier ongetwijfeld een rol bij (zie Bijlage B3.9)

Boven een biomassaproductie van >450-500 g/m² zijn geen of nauwelijks nog in termen van trofie kritische soorten te verwachten (Olde Venterink et al., 2003).

Nutriëntengehalte en limitaties

De biomassaproductie mag dan voor de verschillende locaties vaak in overeenstemming zijn met de N-, P- en K-gehalten, ze laten nog wel duidelijke verschillen zien (Tabel 3.1). De biomassa op het transect in het hellingveentje onder Terhagen (Kasteelpark: BUND1) is zeer rijk aan kalium, wat in mindere mate ook voor Weustenrade (WEUS1) en Terworm (TERW1) geldt. Op de locatie Mechelen (MECH1) is het kaliumgehalte in de biomassa met 8,6 g/kg juist opvallend laag.

Het biomassa-monster van Terworm (TERW1) bezit het hoogste P-gehalte (2,9 g/kg). Het monster van de Kalkmoerasvegetatie op de Carex-weide (RAVE1) en de (licht verdroogde) Moeraszegge-vegetatie van Weverveen (WEVE2) zijn echter juist arm aan P (0,7-0,8 g/kg).

Tabel 3.1: Biomassa-productie en N, P, K gehalte voor verschillende bemonsterde vegetatietypen en afgeleide nutriënten-ratio's

Table 3.1: Biomass production (dry weight) and N, P, K content of different vegetation types and related nutrient ratios

H7230= Kalkmoeras; V=Veldrus-beemd; M= Moeraszegge beemd; S= Moerasspirearuijgte+Scherpe zegge

	Locatie	Veg.type	droog gewicht (70°C) g/m ²	K [g/kg]	Nt [g/kg]	Pt [g/kg]	N/P ratio	N/K ratio	K/P ratio	limiterend nutriënt
2013	RAVE 1	H7230	88	13,4	16,9	0,7	25,2	1,3	20,0	P
2013	WEUS 1	H7230	79	21,0	13,3	1,1	12,0	0,6	18,9	N
2013	MECH 1	V	235	8,6	14,1	2,2	6,6	1,6	4,0	N
2016	NOOR 2	V	519	12,9	13,0	2,0	6,5	1,0	6,5	N
2016	NOOR 3	V	503	15,4	15,1	2,2	6,7	1,0	6,9	N
2013	PAPE 2	M	243	15,5	13,6	1,5	9,3	0,9	10,6	N
2013	TERW 1	M	204	22,0	16,7	2,9	5,8	0,8	7,6	N
2016	WEVE 2	M	378	18,5	14,1	0,8	18,6	0,8	24,3	P
2013	BUND 1	S	244	30,8	17,8	1,4	13,2	0,6	22,8	N

detectiegrens

0,98

1,1

0,25

De N/P-ratio in combinatie met de N/K-ratio wijst voor het kalkmoeras RAVE1³ en het voormalige kalkmoeras van WEVE2 onmiskenbaar op een P-beperking dan wel een P + N co-limitatie (N:P-ratio >14,5 & K:P-ratio >3,4; conform Olde Venterink et al., 2003). De genoemde auteurs wijzen er op dat nutriëntenratio's niet geschikt zijn om in dit geval onderscheid te maken tussen P of P+N co-limitatie. Goed ontwikkelde kalkmoerassen worden gewoonlijk gekenmerkt door P-beperking (Kemmers et al., 2004; Rozbrojova & Hájek, 2008). Opvallend genoeg is de kalkmoerasvegetatie van Weustenrade (WEUS1) juist N-beperkt (N/P-ratio <14,5 & N/K <2.1). Ook voor de andere onderzochte locaties geldt stikstof als het belangrijkste groei beperkende nutriënt. Wel opvallend zijn daarbij de lage K:P-ratio's (4-7) voor de Veldrusbeemden (zonder dat dit een beperking met zich mee brengt).

³ In tegenstelling tot Weusterade, is het biomassa-monster van RAVE1 niet representatief voor het hele terrein. Er zijn gedeelten die veel produktiever zijn, zoals direct onder de kalktufbron bij RAVE5. Naar verwachting zijn deze delen niet P-beperkt.

4 Dagvlinderfauna van de hellingmoerassen: indicatoren van landschappelijke samenhang

4.1 Inleiding

Uit de Nationale Databank Flora en Fauna (NDFF) zijn in eerste instantie de waarnemingen van dagvlinders op zes van de acht onderzoeklocaties inzichtelijk gemaakt (Tabel 1.1; Tabel 4.1). De twee in 2016 toegevoegde locaties zijn buiten beschouwing gebleven. Alleen de soorten waarvan bekend is dat ze zich geregeld in moerassen en beekdalen voortplanten, zijn weergegeven: van de 39 waarschijnlijke soorten zijn er 30 in de omgeving van de hier relevante gebieden gezien. Daarbij moet worden aangetekend dat de oudere waarnemingen (zie ook §2.2.4) met geringe precisie zijn gelokaliseerd (doorgaans is alleen een plaatsnaam opgetekend). Van slechts 103 van de 2698 waarnemingen lag het centrum ook daadwerkelijk binnen de onderzoeksgebieden.

Omdat de onderzoeklocaties tot op heden niet goed in detail onderzocht op het voorkomen van dagvlinders. Daarom zijn door eigen waarnemingen en via vrijwilligers van de Vlinderstudiegroep van het Natuurhistorisch Genootschap aanvullende inventarisaties verricht in zes onderzoeksgebieden. Voor de jaren 2013-2014 zijn daar 91 nieuwe waarnemingen uit voort gekomen (Tabel 1.1; Tabel 4.1).

4.2 Actuele vlindergemeenschappen

4.2.1 Aangetroffen soorten

In de onderzochte gebieden zijn van de 29 soorten historisch waargenomen dagvlinders die zich in moerassen en beekdalen voortplanten in de periode 2000-2014 21 soorten waargenomen (Tabel 4.1). In 2013-2014 zijn daarvan 15 soorten gezien, wat deels met de onderzoeksintensiteit en deels met de geringere omvang van het onderzochte gebied te maken zal hebben. In Weustenrade werd daarnaast ook de dagactieve nachtvlinder en Habitatrichtlijn II-soort Spaanse vlag (*Euplagia quadripunctaria*) waargenomen.

4.2.2 Functionele veranderingen in de vlinderfauna

De soortenrijkdom van de actuele vlindergemeenschappen op de zes onderzochte locaties is dus bijna gehalveerd. Gemiddeld komen er nu (na 2000) nog 12,3 soorten voor (s.d.±1,6) ten opzichte van 21,8 (s.d.±1,7) voor de historische periode vóór 2000 (verschil significant bij $P < 0,05$; Wilcoxon signed rank test). De afname geldt voor alle terreinen (Figuur 4.1). Het Ravensbos is tegenwoordig uitgesproken arm aan soorten, terwijl de soortenrijkdom bij Terworm nog redelijk hoog is. Dit laatste gebied ligt ingebed in een groter, afwisselend gebied met bonte graslanden, vochtige en natte ruigten en bossen.

De open hellingmoerassen zijn op de schaal van vlinderpopulaties in alle gevallen vrij klein en/of geïsoleerd geraakt. Voor de Carex-weide (Ravensbos) komt daar nog de voor vlinders nadelige invloed bij van beschaduwing door de omringende hoge bomen. Qua vochthuishouding en waardplanten lijken de condities voor de meeste soorten niet ongunstig.

Enkele soorten van voedselarme hellingmoerassen, zoals Moerasparelmoervlinder en Zilveren maan, zijn aangewezen op specifiek voedselarmere hellingmoerassen met Blauwe knoop (*Succisa pratensis*), respectievelijk Moerasviooltje (*Viola palustris*). Het is onwaarschijnlijk dat deze ooit over grotere oppervlakten in Zuid-Limburg terugkeren, al moet men beseffen dat deze soorten vroeger waarschijnlijk ook juist voorkwamen in een landschappelijk mozaïek van verschillende biotopen: met kalkgraslanden voor de Moerasparelmoervlinder en hakhoutbossen en zinkweiden voor de Zilveren maan (Schaminée et al., 2009).

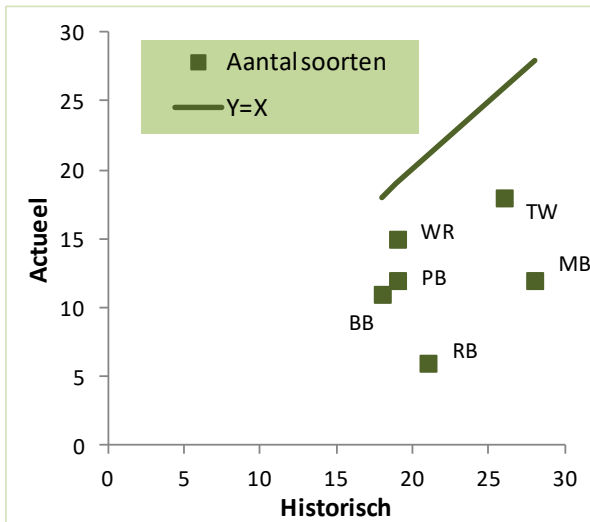
Tabel 4.1: Aantal waarnemingen van dagvlinders in de omgeving van de zes onderzoekslocaties (bron: NDFF).

Alleen soorten die zich in moerassen en beekdalen voortplanten zijn weergegeven. Onderstreept zijn soorten met waarnemingen na 2000 en met * gemarkeerde soorten zijn recent alleen in 2013-2014 waargenomen. Vetgedrukt zijn de Rode Lijst-soorten. Vetgedrukt cursief: verdwenen voor 1985 (§2.2.4).

Table 4.1: Number of observation records for butterflies in the neighborhood of the six study areas (source: NDFF).

*Only species reproducing in wetlands and stream valleys are listed. Underlined are species with records after 2000 and the * mark denotes species recently observed only in 2013-2014. Species in bold print are on the Red List. Species in bold and italic print are extinct before 1985 (see §2.2.4).*

Soort	Terhagen	Mechelderbeek	Ravensbos	Terworm	Weustenrade	Papenbroek
	BB	MB	RB	TW	WE	PB
Argusvlinder	<u>1</u>	3	7	20	<u>5</u>	2
Bont dikkopje		3		2		
Bont zandoogje	<u>4</u>	<u>5</u>		<u>10</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Boomblauwtje	<u>7</u>	<u>5</u>	5	<u>37</u>	<u>6</u>	<u>11*</u>
Bruin zandoogje	<u>19</u>	<u>6</u>	5	<u>28</u>	<u>15</u>	<u>9</u>
Bruine vuurvlinder	1	2	1	1	2	2
Citroenvlinder	<u>9</u>	<u>5</u>	<u>3</u>	<u>25*</u>	<u>7</u>	6
Dagpauwoog	<u>27</u>	<u>14*</u>	<u>17</u>	<u>71</u>	<u>18</u>	<u>9</u>
Eikenpage		1		<u>11</u>		
Geelsprietdikkopje		11	4	<u>13</u>	<u>10</u>	2
Gehakkelde aurelia	<u>14</u>	15	<u>11</u>	<u>52</u>	<u>9</u>	<u>6*</u>
Groot dikkopje	1	<u>7</u>	5	<u>12</u>		
Groot koolwitje	8	<u>6*</u>	<u>13*</u>	<u>60</u>	<u>5</u>	<u>4*</u>
Grote ijsvogelvlinder		11		2		
Grote weerschijnvlinder		7		2		
Hooibeestje	5		9	<u>7</u>		
Icarusblauwtje	6	<u>8</u>	12	<u>5</u>	<u>21</u>	<u>5</u>
Klaverblauwtje		3	2		4	4
Klein geaderd witje	<u>25</u>	<u>15*</u>	<u>19</u>	<u>51</u>	<u>19</u>	<u>7*</u>
Klein koolwitje	<u>31</u>	<u>21*</u>	<u>25*</u>	<u>142</u>	<u>21</u>	<u>13</u>
Kleine ijsvogelvlinder		3	1			
Kleine vos	<u>18</u>	<u>21</u>	26	<u>51</u>	<u>15</u>	<u>2</u>
Koelvinkje		<u>10</u>	1	<u>5</u>		<u>1*</u>
Landkaartje	2	34	4	37	<u>9</u>	1
Moerasparelmoervlinder		1				
Oranje zandoogje		1	1	<u>3</u>	1	<u>3</u>
Oranjetipje	<u>24</u>	<u>21</u>	<u>12</u>	<u>30</u>	<u>2</u>	<u>2*</u>
Zilveren maan		2		4		
Zwartsprietdikkopje	5	2		<u>4</u>	1	



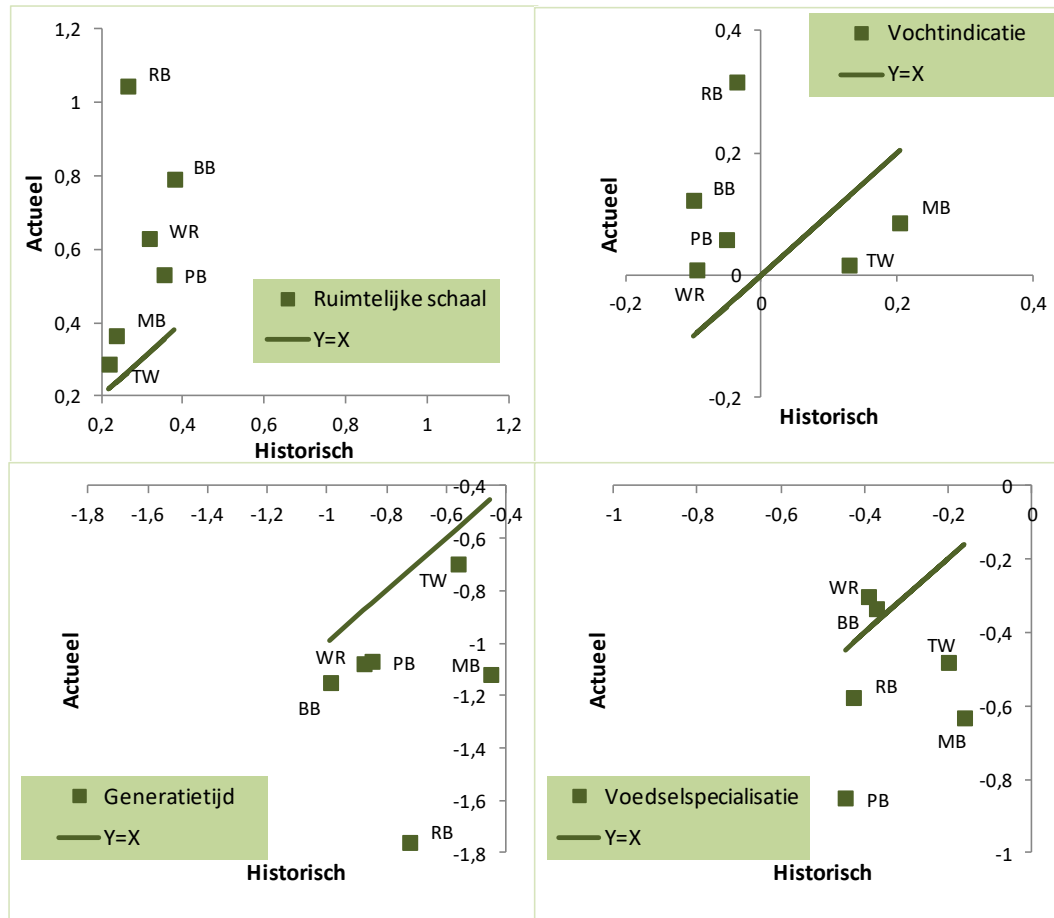
Figuur 4.1: Aantal waargenomen soorten dagvlinders in historische tijd (tot 2000) en in de actuele situatie (na 2000) in de zes onderzoeksgebieden.

(BB=Terhagen, TW=Terworm, MB=Mechelderbeemden, PB=Papenbroek, RB=Ravensbos [Carex-weide], WR=Weustenrade).

Figure 4.1: Species richness of butterflies recorded in historical times (until 2000) and recently (after 2000) in the six study areas.

De functionele veranderingen in de vlindergemeenschappen kunnen goed worden begrepen in termen van vier onafhankelijke assen van met elkaar geassocieerde eigenschappen; deze vier assen volgen uit de eigenschappenanalyse van de Noordwest-Europese vlinderfauna door Wallis de Vries (2014). In Figuur 4.2 zijn de historische en actuele waarden voor elk van deze vier assen van vlindereigenschappen gegeven:

- Ruimtelijke schaal: de actuele waarden van deze as zijn voor alle locaties hoger dan de historische (verschil significant bij $P < 0,05$; Wilcoxon signed rank test). Dit betekent dat de vlindergemeenschap tegenwoordig sterker wordt gekenmerkt door mobiele, grotere soorten met een grote voortplantingscapaciteit die in lage lokale dichtheden maar in een groot ruimtelijk verband voorkomen;
- Vochtindicatie: de gemiddelde waarde van deze as verschilt niet significant tussen de historische en actuele vlindergemeenschappen ($P = 0,56$). Ten aanzien van de invloed van vocht- en warmtehuishouding (door Bink [1992] samengevat onder de noemer 'hardheid') is er dus geen systematische verandering opgetreden.
- Generatietijd: de actuele waarden van deze as zijn voor alle locaties lager dan de historische (verschil significant bij $P < 0,05$; Wilcoxon signed rank test). De huidige vlindergemeenschap wordt bepaald door snel groeiende soorten met meerdere generaties per jaar die overwinteren als pop of vlinder en vaak flexibel zijn ten aanzien van de wijze van overwinteren.
- Voedselspecialisatie: de actuele en historische waarden verschillen voor deze as niet significant van elkaar ($P = 0,16$). De binding van soorten aan specifieke waardplanten, kieskeurigheid van vrouwtjes bij de eiafzet en de mate van territoriaal gedrag van de mannetjes is dus niet duidelijk toe of afgenomen over het geheel van de zes studiegebieden.



Figuur 4.2: Verschuivingen in de gemiddelde waarde van de assen met eigenschappen voor de vlindergemeenschappen in de zes onderzoeksgebieden tussen de historische en de actuele periode (tot - en na 2000).

De eigenschappen geven de vier hoofdassen (principale componenten) weer van de vlindereigenschappen naar Wallis de Vries (2014), zoals uitgelegd in de tekst.

Figure 4.2: Shifts in the mean of the most important trait components in the butterfly communities for the six study areas between historical and present times (until and after 2000).

The trait components represent four principal components, based on Wallis de Vries (2014).

4.2.3 Herstel

Voor herstel van een soortenrijkere vlindergemeenschap verdient herstel van een grotere oppervlakte hellingmoeras, ingepast binnen extensief beheerde droog-nat gradiënt, op landschapsschaal de hoogste prioriteit. In en rond het Mechelderbeekdal, bovenloopssystemen tussen Vijlen en Vaals (o.a. Zieversbeekdal), en het Boven-Geuldal zouden zo ook kansen voor de Rode vuurvlieder kunnen ontstaan. Voor de Purperstrepparelmoervlieder zijn de kansen waarschijnlijk gunstiger, omdat de waardplant Moerasspirea wijd verbreid voorkomt. Maar voor deze soort is overstaande of laat (en hoog) afgemaaid vegetatie essentieel. Bij gefaseerd maaien zouden de omstandigheden, gezien de goed ontwikkelde vegetatie met veel Moerasspirea in het Papenbroek (Wijnandsrade) al geschikt moeten zijn voor een kleine lokale populatie – maar voor een duurzame metapopulatie is één enkele plek lang niet voldoende. De omgeving van Terworm en het Anelderbeekdal (Kerkrade) bieden wellicht in dat opzicht al een grotere ruimtelijke kwaliteit. Het 'vlindervriendelijk' maken van het beheer is dus pas zinvol wanneer er ook voor voldoende ruimtelijk samenhangend leefgebied wordt gezorgd.

4.2.4 Resumé: Dagvlinders in de hellingmoerassen

De soortenrijkdom in de onderzochte hellingmoerassen is sterk afgenomen waarbij de vlindergemeenschappen nu worden overheerst door mobiele soorten met een snellere groei en korte generatietijd. De soortensamenstelling wijst echter niet op een verandering in de vochtcondities.

De afname van weinig mobiele soorten met een klein ruimtebeslag weerspiegelt de toegenomen versnippering van het voorkomen van hellingmoerassen.

De toename van snel groeiende soorten met een korte generatietijd wijst op de toegenomen productiviteit van de (wijdere) omgeving onder invloed van bemesting: de traag groeiende soorten met één generatie per jaar en overwintering als rups, zoals de Moerasparelmoervlinder, zijn hier al lang geleden verdwenen (§2.2.4).

Herstel van soortenrijkere vlindergemeenschappen verdient daarom de hoogste prioriteit. Waarbij dan gaat om herstel van grotere oppervlakten, (half) open hellingmoeras, op landschapsschaal ingepast binnen extensief beheerde droog-nat gradiënten.



Figuur 4.3: Onderzoek in referentiegebieden zoals de Eifel kan inzicht bieden in de randvoorwaarden voor herstel van de vlindergemeenschappen van hellingmoerassen waar ook de zeldzame Rode vuurvlinder deel van uitmaakt (foto: M. Wallis de Vries).

*Figure 4.3: Studying reference areas such as the Eifel may provide insights into the prerequisites for the restoration of the butterfly communities of marshy slopes that includes a rare species like *Lycaena hippothoe*.*

5 Standplaatscondities in de hellingmoerassen, het Kalkmoeras in het bijzonder

5.1 Bodemkundige karakteristiek

Zoals uit het Fase1-onderzoek ook al naar voren kwam, kenmerkt het grootste deel van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen zich door overwegend lemige bodems. Het betreft voornamelijk verspoelde löss die door hellingprocessen vermengd geraakt is met andersoortig hellingmateriaal zoals grindhoudende zanden (terrasafzettingen, vnl. rond Centraal Plateau) en siltige groenzanden (vnl. rond Plateau van Vaals, Noorbeemden). Deze lössige bodems worden doorgaans gekarakteriseerd door matige tot sterke roestverschijnselen (zie ook Fase 1 en Bijlage 7). Daarnaast dagzoomt op enkele plaatsen kalkhoudende klei (vrijwel) aan maaiveld, zowel op de helling als soms op de dalvloer.

De bovengrond bestaat in de hellingmoerassen gewoonlijk uit een dunne, moerige laag (<20 cm), die in de natste zones gekenmerkt wordt door anaerobe veraarding van het organisch materiaal. Op drogere, meer wisselvochtige plaatsen speelt aerobe veraarding een rol. De dominante humusvorm is een moder; amorf organisch materiaal al of niet vermengt met het onderliggende, lemige moedermateriaal. Lokaal worden wel dikkere veenlagen aangetroffen (zie ook §2.2.2; Bijlage 6, 7; zie ook Fase 1-onderzoek).

Het Zuid-Limburgse Kalkmoeras of daaraan verwante typen, worden zowel op nagenoeg minerale bodems als op veen aangetroffen. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de vanouds al bekende locaties op veen liggen, terwijl recent tot ontwikkeling gekomen terreinen op minerale bodems voorkomen (zie §2.2.3).

Intermezzo 5.1: Kalkmoeras en kalkmoerasindicaties op de meetpunten

In dit hoofdstuk wordt herhaaldelijk de aandacht gelegd op het Kalkmoeras. Dat habitatype is -uitgaande van de Nederlandse definitie voor dit habitatype- op twee van de nader onderzochte terreinen aanwezig, maar niet op alle onderzoekplots. Daarnaast zijn er nog drie onderzoekplots in twee andere terreinen waar in meer of mindere mate sprake is van kalkmoeras-indicaties op grond van indicatoren in de vegetatie (zie ook §2.2.3). In totaal gaat het hierbij om de volgende zeven locaties:

RAVE.1 - kalkmoeras	PAPE.2 - indicatoren
RAVE.3 - kalkmoeras	(PAPE.3 - indicatoren)
WEUS.1 - kalkmoeras	TERW.2 - indicatoren
WEUS.2 - kalkmoeras	

5.2 Bodemchemische en bodembioologische eigenschappen

5.2.1 Inleiding

Tijdens het Fase 2 onderzoek zijn langs de transecten op de acht onderzoeklocaties in totaal 22 profielen uitgeboord en beschreven tot een maximale diepte van 2,5 m. De einddiepte van de boring was afhankelijk van de stevigheid van bodemmateriaal of de mate van aanwezigheid van stenen die verder boren onmogelijk maakten.

Daarnaast zijn de boorlocaties ook benut voor het bemonsteren van het boorprofiel voor bodemchemisch en bodembioologisch onderzoek (Tabel 5.1).

Tabel 5.1: Verdeling van het aantal profielbeschrijvingen en bodemmonsters over de transecten.

Table 5.1: Number of soil profile descriptions and soil samples taken from the studied sites

Terrein	Aantal profielen	Bodemmonsterpunt – aantal dieptes	Bodembioologisch monster
Papenbroek	4	PAPE.2 -3	PAPE.2
Mechelderbeemden	3	MECH.1 -2, MECH.3 -1	MECH.1
Ravensbos (Carex-weide)	3	RAVE.1 -2, RAVE.3 -1	RAVE.1
Kasteelpark Elsloo (Terhagen)	2	BUND.1 -2, BUND.2 -1	BUND.1
Weustenrade	2	WEUS.1 -2, WEUS.2 -1	WEUS.1
Terworm	2	TERW.1 -3	TERW.1
Weerveen (2016)	3	WEVE.1 -1, WEVE.2 -1, WEVE.3 -1	-
Noorbeemden (2016)	3	NOOR1 -1, NOOR.2 -1, NOOR.3 -1	-
	22	24	6

In het laboratorium zijn de volgende bodemchemische bepalingen zijn uitgevoerd op de 24 reguliere bodemmonsters:

- Organisch stofgehalte;
- N-totaal;
- P-totaal (alleen 2013);
- P-, Fe- en Al-oxalaat;
- P-CaCl₂;
- pH-CaCl₂
- % CaCO₃;
- Pyriet (FeS₂)

Daarnaast zijn op de uitgeboorde profielen op 10-16 dieptes in het profiel veldbepalingen van de pH gedaan met indicator-strips. In totaal zijn 235 veldbepalingen uitgevoerd. Daarnaast is ook op de aanwezigheid van kalk getest met verdund zoutzuur (opbruising). De pH-profielen geven een meer gedetailleerd beeld van het verloop van de zuurgraad met de diepte.

In Bijlage 6 is, naast een verdere toelichting op de verschillende onderdelen van het onderzoek, de beknopte geologische en de landschapsecologische positionering van de betreffende terreinen opgenomen, evenals de bodem- en humusprofiel beschrijving daarvan.

Hieronder wordt stil gestaan bij de belangrijkste standplaatskenmerken.

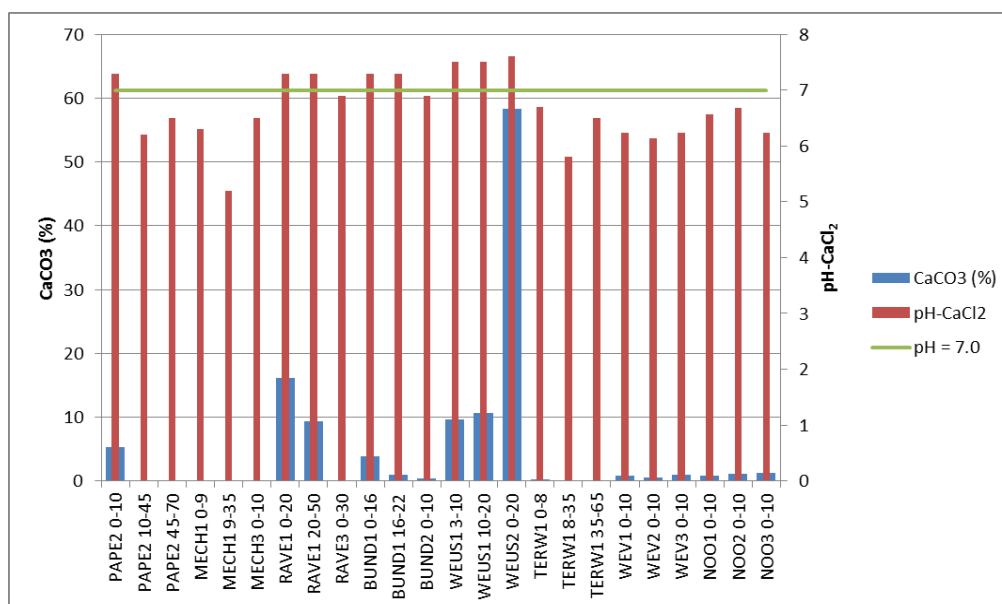
5.2.2 Bodem pH en Kalkgehalte

Figuur 5.1 laat zien dat, met uitzondering van de locatie Mechelderbeemden, alle locaties in meer of mindere mate kalk (CaCO_3) bevatten. Verder valt op dat de kalkconcentraties het hoogst zijn in de meest ondiepe bodemonsters.

Vooral op de kalkmoeras-locaties RAVE1 en WEUS1 en WEUS2 bevatten de profielen veel kalk (>10%), waarbij in het Ravensbos (RAVE1) de kalktufafzettingen in het venige deel van het profiel tot 50 cm onder maaiveld zijn aangetroffen.

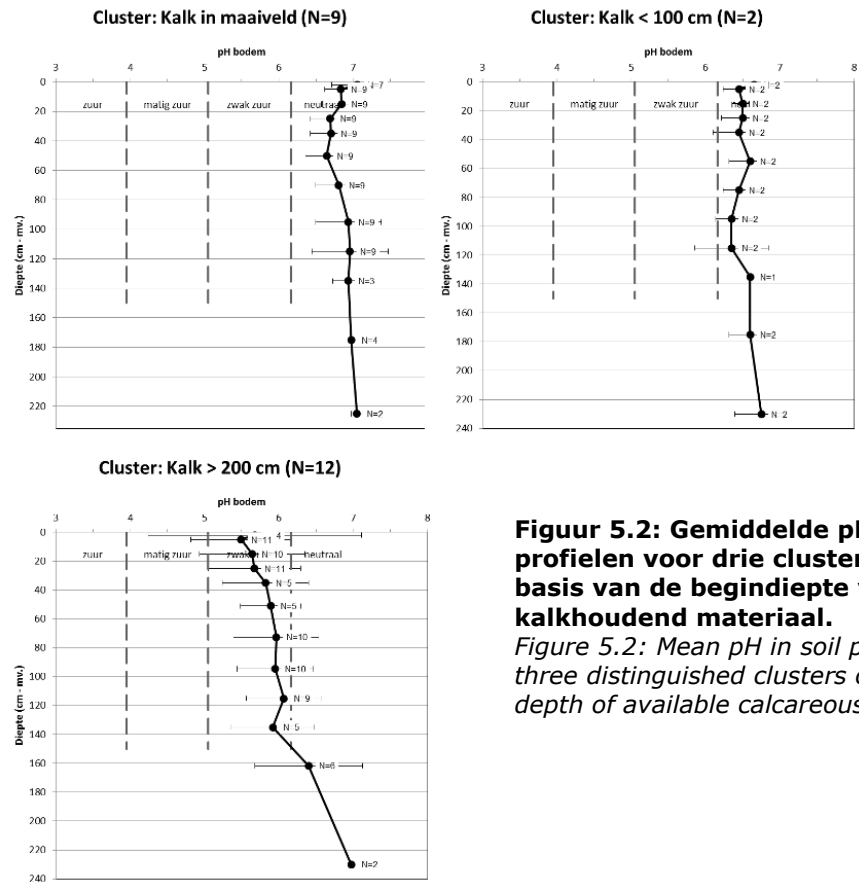
Maar ook in het profiel van BUND1 (kasteelpark Elsloo) en Papenbroek (PAPE2 en PAPE3) wordt (zichtbare) kalkneerslag aangetroffen. Verder blijken de oppervlakkige monsters van Weverveen en Noorbeemden enige kalk te bevatten, hoewel daar in het veld geen (hoorbare) opbruising kon worden vastgesteld.

Al is het in de onderstaande Figuur 5.1 amper zichtbaar, ook het meest oppervlakkige monster van TERW1 bevat enige kalk. Afgaand op de hoorbare opbruising na toedienen van verdund zoutzuur moet ook het profiel nog iets van kalk bevatten. In het verder niet onderzochte profiel van TERW2 was dit verschijnsel zelfs nog sterker aanwezig. Hier bestaat het moedermateriaal uit kalkrijke beekafzettingen. Echter, de hoeveelheid kalk die bij Papenbroek is neergeslagen aan of nabij maaiveld is beduidend hoger dan in Terworm. Zo blijkt ook in het verder niet bemonsterde profiel van PAPE3 de bovengrond kalkrijk; in het moerige materiaal zijn daar op diverse plaatsen brokjes kalktuf aan te treffen. In de zone op de helling, waar deze beide meetpunten staan, zijn op meerdere plaatsen eenvoudig kalktufafzettingen aan maaiveld waar te nemen. Daarnaast ontspringt in deze zone ook een bronbeek die volop kalktuf afzet en op de voet van de helling zelfs een kleine kalktufdelta vormt.



Figuur 5.1: Kalkgehalte van de verschillende bodemlagen in de onderzochte Zuid-Limburgse hellingmoerasen in relatie tot pH-CaCl2.

Figure 5.1: Chalk content in different soil layers related to pH-CaCl2 for the spring fed fens in South Limburg



Figuur 5.2: Gemiddelde pH-profielen voor drie clusters, op basis van de begindiepte van kalkhoudend materiaal.

Figure 5.2: Mean pH in soil profiles for three distinguished clusters of the depth of available calcareous material

De verschillen in kalkrijkdom komen ook tot uiting in de pH-profielen (zie ook Bijlage 8). In Figuur 5.2 zijn de gemiddelde pH-profielen opgenomen voor profielen die vanaf maaiveld kalkhoudend zijn (linksboven), waar het kalkhoudende materiaal ondieper dan 1 m onder maaiveld begint (rechtsboven) en waar de bodem tot minimaal 2 m beneden maaiveld kalkloos is. De eerste twee groepen verschillen weinig van elkaar, hoewel de pH bovenin het profiel bij de bodems met een kalkloze bovengrond visueel iets lager is in vergelijking met bodems met een kalkrijke bovengrond. Mede door kalkhoudende kwel wordt de zuurgraad in de kalkloze bovengronden gebufferd rond pH = 6.5.

Waar het kalkhoudende materiaal dieper dan 200 cm begint, wijkt de zuurbuffer wel sterk af van de twee voorgaande groepen. Voor een deel betreft dit ook locaties hoger op in de gradiënt, waar infiltratie overheerst, zoals bij PAPE4 en RAVE2. Daarnaast behoren naast Weverveen ook de (kalkloze) locaties van het Mechelderbeemden-transect tot deze groep.

5.2.3 Pyrietgehalte

In hellingmoerassen kan de oxidatie en vorming van pyriet (FeS_2) een belangrijke rol spelen bij de bepaling van de standplaatscondities. Pyrietoxidatie onder invloed van nitraatuitspoeling in het intrekgebied doet zich mogelijk voor in de afzettingen tussen het infiltratiegebied en de kwelzone, en kan daarmee een rol spelen in de stikstof- en fosfaathuishouding in een hellingmoeras.

In de onderstaande Tabel 5.2 staan naast het pyrietgehalte gerelateerde standplaatskenmerken vermeld die verband (kunnen) houden met de pyrietvorming (zie ook Bijlage 9).

De pyrietgehalten binnen de profielen uit de verschillende hellingmoerassen⁴ nemen globaal gezien af met de diepte, wat overeenkomt met de periodiek verzadigde zone waarin naar wordt aangenomen pyrietvorming vooral plaatsvindt. Door de specifieke gelaagdheid van de profielen kan hierin wel enige variatie optreden.

In de laatste kolom van Tabel 5.2 is de pyrietvoorraad voor de bovenste 30 cm berekend door de gehalten per laag op te tellen. Bij enkele locaties waren geen monsters beschikbaar tot 30 cm diepte. Daar is verondersteld dat het gehalte in het diepste monster ook geldt tot 30 cm. Dat zal in een aantal gevallen een overschatting geven van de voorraad, omdat het pyrietgehalte met de diepte afneemt, zeker als de laag onder de bemonsterde laag een minerale horizont is onder een veenlaag.

De meeste profielen hebben binnen 30 cm onder maaiveld een grote pyrietvoorraad (5 – 11 g/dm²). In het kalkmoeras van Weustenrade (WEUS1) is de voorraad het grootst, 11 g/dm², direct gevolgd door de kalkmoeraslocaties WEUS2 en Ravensbos (7,4-7,7 g/dm²). In de Mechelderbeemden (MECH3) en Terworm (TERW1) is de pyrietvoorraad het laagst (4,5-4,7 g/dm²). Voor een nadere toelichting per terrein wordt verder verwezen naar Bijlage B9.5.

Aan de bovenrand van de Carex-weide, is op een diepte van circa 1 - 1,2 m onder maaiveld een kalkloze, zure koolachtige laag aangetroffen met een zeer hoog pyrietgehalte, van bijna 74 g/dm² (Tabel 5.2; zie ook Bijlage 9). Hier vindt mogelijk pyrietoxidatie plaats.

⁴ *Analyseresultaten voor Weverveen en Noorbeemden bleken op dit onderdeel onbetrouwbaar en blijven hier verder buiten beschouwing.*

Tabel 5.2: Pyrietvorming in relatie tot standplaatskenmerken in de bemonsterde locaties.

Table 5.2: Pyrite formation related to site conditions at the studied sites (land use, water level, iron and sulphur content).

Locatie	Diepte (cm)		Organische stof		Waterverzadiging cm boven GLG	Sulfaatbron	Nitraatbron	Water 1.5 m diepte (1)		Fe-totaal mmol/dm ³ grond	Fe-ox S-totaal g/dm ³ grond	Pyriet g/dm ² < 30 cm - mv (2)			
	Boven	Onder	Horizont	% humus				Sulfaat mg/l	Nitraat mg/l						
PAPE2	0	10	Ohgc	17.4	+	40	Breda/Rupel	Bebouwing	68	0.13	704	313	34	2035	5.7
	10	45	Ahgc+Cgr	4.6	-	18					591	143	31	1853	
	45	70	Cgr	2.8	--	-13					643	94	5	296	
MECH1	0	9	Mm	36.1	++	36	Geen	Landbouw	12	0.05	176	129	34	2040	4.7
	9	35	Ahg	12.5	+	18					366	193	23	1366	
MECH3	0	10	OAMh+Oh	33.6	++	65			32	0.06	450	283	30	1818	5.5
RAVE1	0	20	Og	44.6	+	20	Rupel	Bos en Landbouw	140	73.75	38	27	41	2465	7.7
	20	50	Og	20.2	++	-5					47	6	46	2754	
RAVE3	0	30	Oh	66.6	++	25			104	115.50	68	43	42	2536	7.6
BUND1	0	16	Og+OAh	16.2	+-	22	Breda/Rupel	Bos en Landbouw	63	3.18	202	57	35	2108	5.7
	16	22	ACgr	7.5	-	11					418	90	27	1638	
BUND2	0	10	OAh	10.6	+-	60			145	9.56	298	65	30	1788	5.4
WEUS1	3	10	Ah	6.8	-	4	Tongeren	Bebouwing en landbouw	85	0.06	101	3	64	3820	10.9
	10	20	Ah	6.4	-	-5					83	3	69	4113	
WEUS2	0	20	Ah	9.1	-	30			120	0.06	55	22	41	2464	7.4
TERW1	0	8	OMm	23.3	++	26	Rupel	Bebouwing	125	0.06	320	160	49	2947	4.5
	8	35	ACr	9.2	-	9					587	201	16	982	
	35	65	Cr	13.6	+-	-20					454	112	61	3689	
RAVE2	100	125	Oh	75.8	-	-58	Rupel	Bos en Landbouw	89	5.05	79		410	24616	73.8
Bijdrage aan pyrietvorming															
Groot		Pyrietgehalte													
Matig		Zeer hoog													
Gering		Hoog													
		Matig													

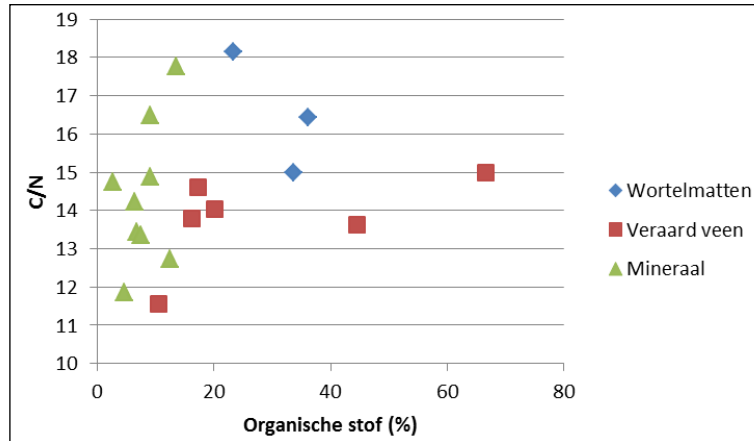
(1) - Voor TERW1 is het watermonster van 0.5 m - mv. gebruikt

(2) - Bij MECH3, BUND1, BUND2 en WEUS2 is mnsterdiepte < 30 cm, daarom waarde geextrapoleerd tot 30 cm

5.2.4 C/N versus C/P

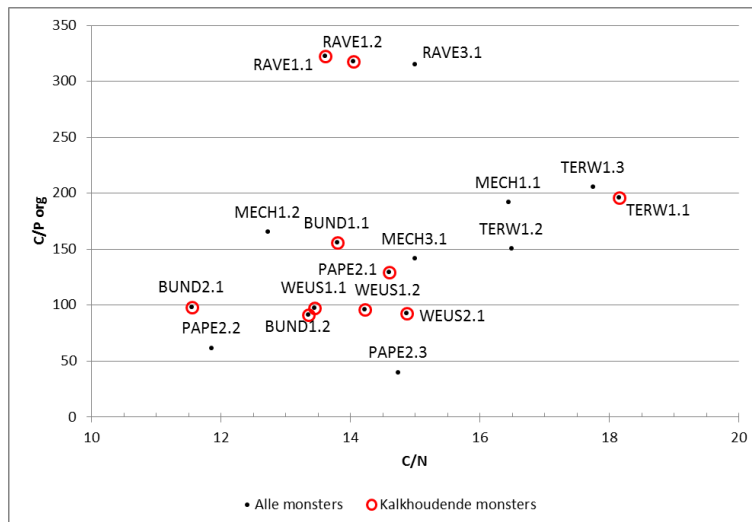
Figuur 5.3 en 5.4 zijn C/N en C/P ratio's weergegeven. Ze geven indicaties in hoeverre de aanwezige organische stof (veen, humus) rijk is aan N en P en in hoeverre mobilisatie (afbraak) dan wel immobilisatie van N en P optreedt.

In de bemonsterde bodemprofielen varieert de C/N-ratio van 11 tot 18, wat aangeeft dat de organische stof vrij stikstofrijk is. Bij $C/N < 21$ domineert N-mobilisatie over N-immobilisatie en wordt gesproken van een N-eutrofe standplaats (Succow, 1988, Van Delft, 1996; Kemmers & Van Delft, 2007). De spreiding van C/N-ratio's hangt deels samen met de verschillende horizonttypen.



Figuur 5.3: C/N-ratio in relatie tot het organisch stofgehalte bij verschillende horizonttypen

Figure 5.3: C/N ratio related to organic matter content in different soil horizons



Figuur 5.4: C/N-ratio in relatie tot de C/P_{org}-ratio van de bodemmonsters

Figure 5.4: C/N-ratio in relation to the C/P_{org}-ratio of the soil samples

Vergelijking van C/N en C/P in Figuur 5.4 laat zien dat deze relaties min of meer gelijk zijn binnen de terreinen. Afgezien van de monsters uit Ravensbos (Carex-weide), lijkt er voor de overige monsters een zwakke lineaire relatie te bestaan tussen beide variabelen.

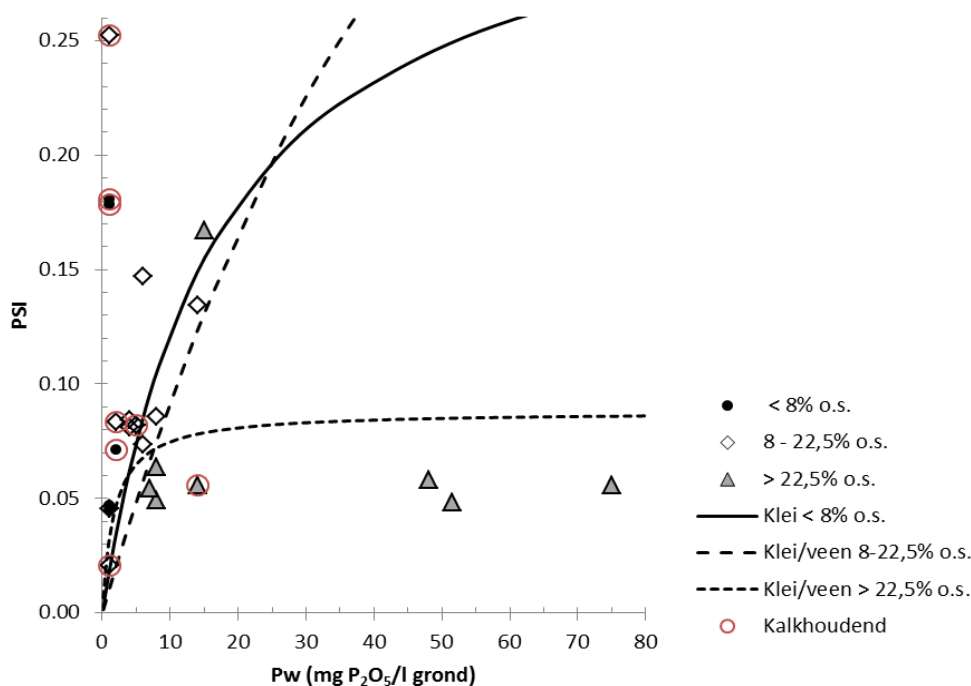
De meest N-eutrofe monsters komen uit Papenbroek en Bunderbos. Aan de andere kant van de gradiënt komen relatief minder eutrofe monsters uit Terworm. De monsters uit Ravensbos (Carex-weide) wijken hiervan af door hun wat hogere C/P-ratio. Dat betekent dat de organische stof hier minder P bevat dan op de andere locaties (en dat daar bij mineralisatie dus verhoudingsgewijs minder P beschikbaar komt).

C/P ratio is bepaald op basis van de organische P-fractie (P-org bepaald als P-totaal – P-ox). Echter, in sterk kalkhoudende bodems kan een deel van het anorganisch P (P-ox) ook gebonden zijn aan kalk, waardoor de anorganische fractie feitelijk groter is dan op basis van P-ox wordt geanalyseerd. Hierdoor wordt het aandeel P-org overschat en bijgevolg de berekende C/P ratio onderschat. Dat is echter met de beschikbare analyses niet nader te kwantificeren. In Figuur 5.4 zijn de kalkhoudende monsters waar C/P-org onderschat zou kunnen zijn, gemarkeerd met een rode cirkel.

5.2.5 Fosfaatbeschikbaarheid

De fosfaatbeschikbaarheid kan worden afgeleid uit Pw en PSI. Pw wordt geacht de actueel beschikbare hoeveelheid fosfaat aan te geven. De PSI geeft een potentiële beschikbaarheid weer. De PSI (fosfaatverzadigingsindex) geeft hierbij de fractie van de fosfaatbuffercapaciteit weer die bezet is met geadsorbeerd fosfaat.

In kalkloze bodems wordt de fosfaatbeschikbaarheid vooral gebufferd door adsorptie aan Fe- en Al-hydroxiden. Bij een oxalaat-extractie worden de gehalten van deze hydroxiden bepaald (Fe-ox en Al-ox) en de hoeveelheid daaraan gebonden P-ox. De PSI wordt bepaald door $PSI = P\text{-ox}/(Fe\text{-ox} + Al\text{-ox})$. Afhankelijk van de grootte van de PSI en de adsorptie-eigenschappen van de bodem wordt de actueel beschikbare hoeveelheid (Pw) via een adsorptie evenwicht gebufferd. Dit evenwicht wordt beschreven met een zogenaamde adsorptie-isotherm.



Figuur 5.5: Relatie tussen Pw en PSI in de bodemmonsters, vergeleken met algemene adsorptie-isothermen voor klei- en veengronden met verschillend organisch stofgehalte.

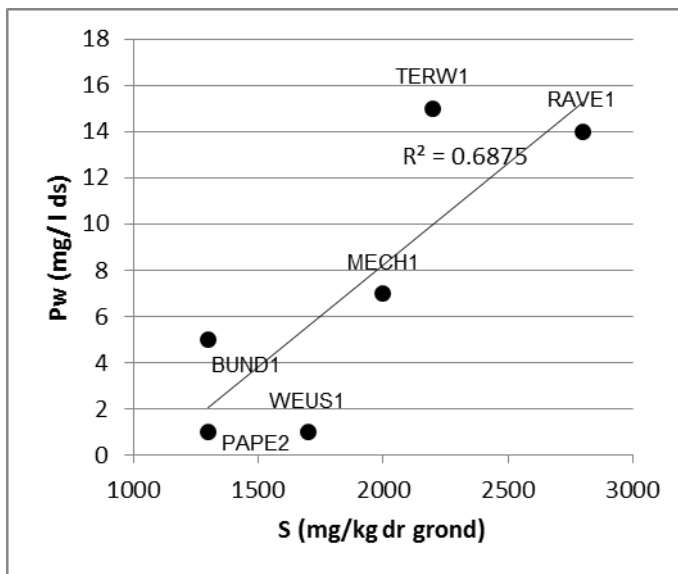
Kalkhoudende monsters zijn gemarkeerd omdat in dergelijke bodems een deel van het fosfaat gebonden is aan kalk en de algemene isothermen een beperkte geldigheid hebben.

Figure 5.5: Relation between Pw and PSI in soil samples, compared to the general adsorption isotherms of clay and peat soils with different organic matter content. Calcareous rich samples are marked by a red circle because the isotherms are of limited value due to the fact part of phosphate may be adsorbed by chalk/travertine.

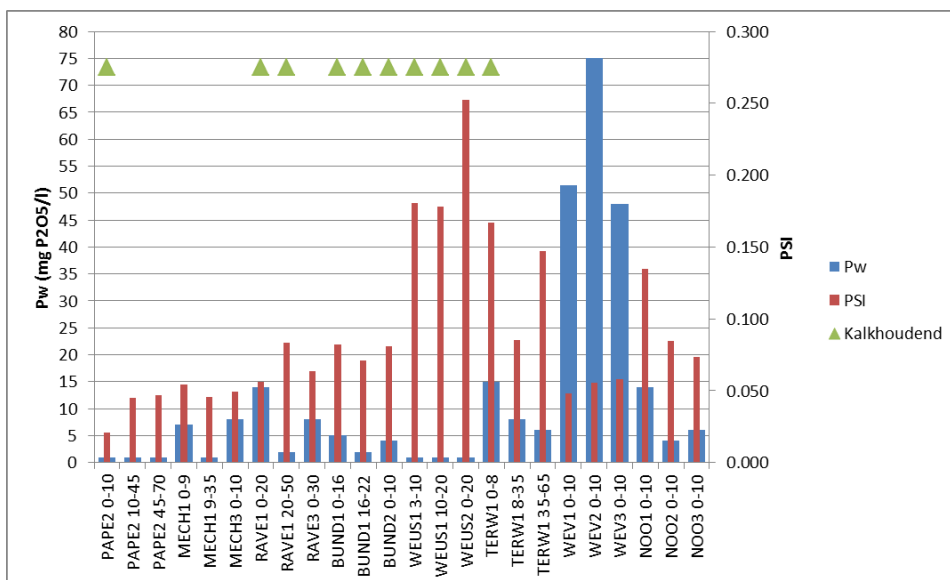
In Figuur 5.5 zijn de monsters uitgezet in relatie tot de algemene adsorptie-isothermen voor klei en veengronden in drie organische stof klassen. De kalkloze monsters laten min of meer dezelfde relatie zien als de algemene isothermen. Voor kalkhoudende monsters is dat niet het geval. Deze vertonen meestal een zeer lage actuele beschikbaarheid (Pw), ook al is de potentiële beschikbaarheid (PSI) hoog. Hier is een deel van anorganische P-fractie vastgelegd in calciumfosfaten en niet

beschikbaar voor de vegetatie. Opvallend is de hoge actuele beschikbaarheid bij RAVE1 ($P_w = 14 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{l grond}$), terwijl dit monster ook een zeer hoog kalkgehalte heeft (16.1%). Het is mogelijk dat hier bij de analyse toch een deel van het organische fosfaat is opgelost. Ook in de monsters uit Weverveen zijn zeer hoge P_w -getallen gemeten in de venige bovengrond. Dergelijke afwijkingen komen vaker voor in natte veenmonsters (Van Delft & Kemmers, 2013; Van Delft et al. 2013). Een andere verklaring is dat het adsorptie-maximum in veengronden laag is (de streepjeslijn), waardoor al snel sprake is van fosfaatverzadiging, ook al zijn de absolute fosfaatgehalten laag.

Er blijkt verder een positieve correlatie te zijn tussen P_w en S (Figuur 5.6; Bijlage 11). Dit is een aanwijzing dat hier pyrietvorming een rol speelt, waardoor fosfaat minder sterk gebonden wordt aan ijzer.



Figuur 5.6: Relatie tussen P_w en S in zes onderzochte locaties.
Figure 5.6: P_w compared to S content of the soil for six locations



Figuur 5.7: P_w en PSI waarde voor de verschillende bemonsterde bodemhorizonten

Figure 5.7: P_w and PSI in soil at different depth at the studied sites

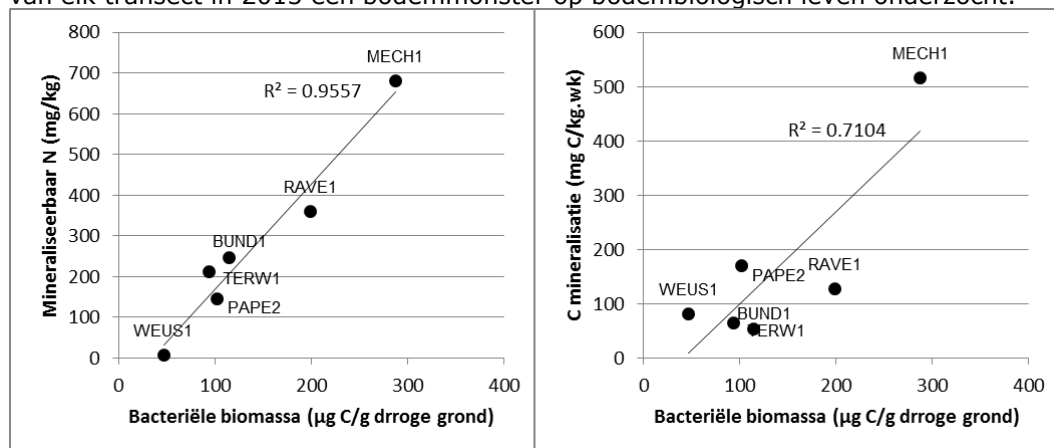
In Figuur 5.7 zijn P_w en PSI per monster uitgezet, waarbij de verschillen tussen de terreinen beter in beeld komen. P_w is in de meeste monsters laag tot zeer laag (< 5

mg P₂O₅/l grond). Wat hogere waarden worden gevonden in Mechelen, Ravensbos, Terworm en Weverveen, waarbij de hoge waarde in RAVE1 en Weverveen mogelijk overschat is (zie hiervoor). De PSI is overall zeer laag (< 0.1), met uitzondering van Weustenrade, Terworm en NOO1. In Weustenrade is de fosfaatbuffer klein, vooral Fe-ox is zeer laag. Het grootste deel van de ijzervoorraad komt hier voor in de vorm van pyriet (§5.2.3 en Tabel 5.2). Daarom is, ondanks de lage fosfaatgehalten, de PSI toch hoog. Ondanks de hoge PSI is de P_w zeer laag vanwege het hoge kalkgehalte. Voor zover fosfaat vrijkomt, zou het snel kunnen worden gebonden aan kalk. In Terworm is de PSI ook hoog en gaat dat door het ontbreken van een grote kalkrijkdom gepaard met een hoge P_w (en P_{ox}; zie Bijlage B9.1). Op een vanouds al gehooide locatie als Papenbroek (PAPE) zijn zowel de P_w als de PSI erg laag (Figuur 5.7), zodat de fosfaatbeschikbaarheid hier relatief laag moet zijn. Op deze locatie blijken de ijzerconcentraties nabij maaiveld ook hoog te zijn (Tabel 5.2).

5.2.6 Bodembioologische eigenschappen

Uit het Fase 1 onderzoek is naar voren gekomen dat de nitraathuishouding van hellingmoerassen opmerkelijk is. Ondanks de hoge nitraatbelasting van het grondwater worden op veel plaatsen vaak tegen de verwachtingen in lage nitraatgehalten aangetroffen (Bijlage 13; De Mars et al., 2012). Daaraan ligt wellicht een actief bodemleven ten grondslag.

Van goed ontwikkelde (buitenlandse) kalkmoerassen is bekend dat daar een uiterst actief microbiologisch bodemleven (groeisnelheid bacteriën, schimmels) ten grondslag ligt aan de voedselarme omstandigheden en niet zo zeer de fysisch-chemische binding van fosfaat aan kalk (kalk-oligotrofie) of ijzer (Kemmers et al., 2004). Het is dus mogelijk dat het bodemleven in de Zuid-Limburgse hellingmoerassen ook een rol speelt bij de instandhouding van deze vaak opvallend kleinschalige locaties. Daarom is van elk transect in 2013 een bodemonmonster op bodembioologisch leven onderzocht.



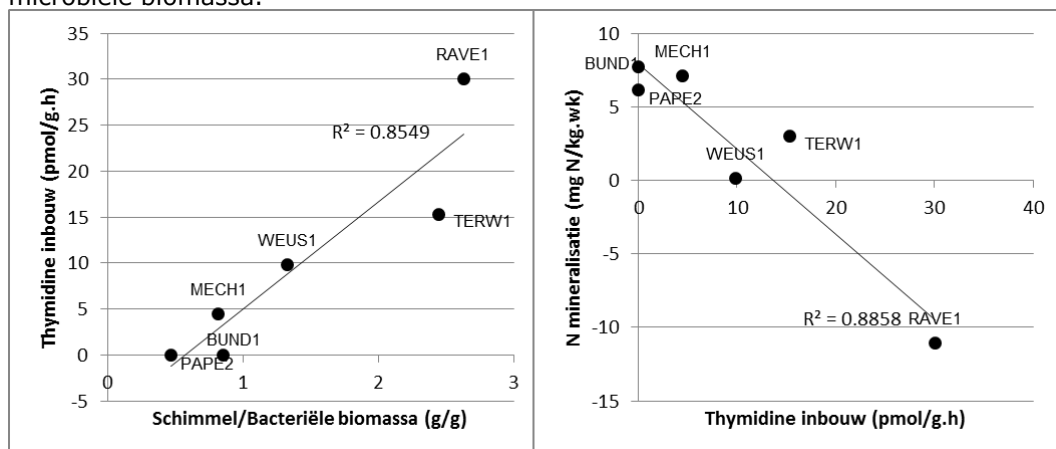
Figuur 5.8: Relatie tussen Bacteriële biomassa, mineraliseerbaar N en C-mineralisatie.

Figure 5.8: Relation between bacterial biomass and potential nitrogen (N) and carbon (C) mineralization.

Uit het onderzoek komt onder meer naar voren dat de onderzochte terreinen bodembioologisch een flinke variatie laten zien, zowel qua samenstelling van de biomassa (bacteriën, schimmels) als qua activiteit van dat bodemleven. De bodemonsters blijken veel schimmels bevatten. Toch is het vooral de bacteriebiomassa die erg goed correleert met de mineraliseerbare N, en goed correleert met de C mineralisatie zoals die wordt berekend uit het zuurstofverbruik (Figuur 5.8; Bijlage 10: Het lijkt er dus sterk op dat de microbiële activiteit in de bodem vooral samenhangt met de bacteriën en minder met de schimmels.

Hoewel in Ravensbos en Terworm de schimmel biomassa dominant is ten opzichte van bacteriële biomassa is daar de groeisnelheid van bacteriën het hoogst (Figuur 5.9; Bijlage 10). Hierbij is de groeisnelheid bepaald op basis van thymidine inbouw, wat een maat is voor de delingsactiviteit van de bacteriën (Kemmers et al., 2010). Deze

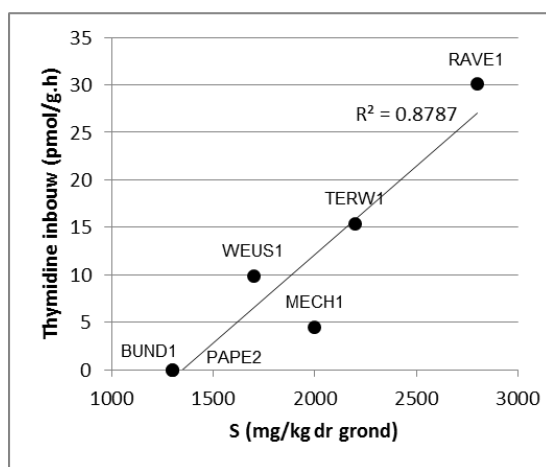
hoge groeisnelheid is sterk negatief gecorreleerd met de N-mineralisatiesnelheid (Figuur 5.9). Dat is een aanwijzing voor N-immobilisatie door opname in de bacteriële biomassa. Dit wordt ondersteund door de correlatie tussen bacteriebiomassa en mineraliseerbare N. De mineraliseerbare N omvat dus stikstof die is geïmmobiliseerd in microbiële biomassa.



Figuur 5.9: Bacteriële groeisnelheid gemeten met thymidine inbouw in relatie tot A: de verhouding tussen schimmels en bacteriën, B: N-mineralisatie.

Figure 5.9: Bacterial growth measured by thymidine incorporation in time in relation to A: the soil fungus - bacteria proxy. B: in relation to nitrogen mineralization.

De bacteriële groeisnelheid gemeten met thymidine inbouw (maat voor DNA synthese) blijkt ook sterk gecorreleerd met zwavel; S (Figuur 5.10). Mogelijk betreft het hier dus de activiteit van bacteriën die betrokken zijn bij pyrietvorming.



Figuur 5.10: Bacteriële groeisnelheid in relatie tot zwavelgehalte van de bodem.

Figure 5.10: Bacterial growth in relation to sulphur content in soil

De bacteriële groei gemeten met leucine inbouw (maat voor bacteriële eiwitsynthese (Kemmers et al. 2010)), is sterk gecorreleerd aan diverse P-parameters, waaronder Pw. Hierbij wordt aangetekend dat Pw ook gecorreleerd is aan het zwavelgehalte (Bijlage 11). Voor schimmels worden eveneens sterke correlaties gevonden met andere P-parameters (PCaCl₂, Pw en C/P).

5.2.7 Resumé

Uit het voorgaande wordt duidelijk dat in de hellingmoerassen overwegend sprake is van kalkhoudende of zeer kalkrijke bodems, waarin de zuurgraad in de bovengrond gebufferd wordt rond pH 6 - 7. Op locaties met Kalkmoeras of kalkmoerasindicaties ligt de bodem-pH zelfs boven pH 6,5 (overeenkomend met een pH_{CaCl2} >7) en is stevast sprake van een aanzienlijke kalkneerslag aan of nabij maaiveld.

De meeste profielen hebben binnen 30cm onder maaiveld een grote pyrietvoorraad (4,5-11 g/dm²) in de bodem, waarbij die op de kalkmoeras-locaties het hoogste zijn (>7,4 g/dm²).

Hoewel schimmels het grootste aandeel in de microbiële biomassa vertegenwoordigen, komt de microbiële activiteit in de bodem toch voornamelijk voor rekening van de bacteriële biomassa.

Afgaand op de C/N verhouding zijn vrijwel alle standplaatsen als N-eutroof te betitelen (in potentie N-mobilisatie). Echter, de groeisnelheid van - en de correlatie tussen de bacteriële biomassa en mineraliseerbare N, wijst juist op stikstof-immobilisatie; er wordt veel stikstof vastgelegd in de microbiële biomassa. De bacteriële groeisnelheid blijkt daarnaast sterk gecorreleerd aan het zwavelgehalte van de bodem, wat een verband doet vermoeden met pyrietvorming. Verder zijn er sterke aanwijzingen dat ook verschillende P-fracties worden vastgelegd in de microbiële biomassa (schimmels, bacteriën).

De microbiële biomassa vervult daarmee een belangrijke rol in de nutriënten-huishouding van de kalkrijke hellingmoerassen en bij de pyrietvorming. Dit past bij de overwegend zeer beperkte omvang van de onderzochte locaties die blijven functioneren te midden van eutrofiërend landgebruik. Het bodemleven gebruikt de overmaat aan voedingsstoffen als het ware voordat de vegetatie hier gebruik van kan maken.

5.3 Waterregime

5.3.1 Inleiding

Ten behoeve van de registratie van het grondwaterstandverloop is in alle acht onderzochte hellingmoerassen gebruik gemaakt van transecten met peilbuizen, met zowel ondiepe als diepere filters (zie ook Tabel 1.1; Figuur 1.2).

Op tenminste een meetpunt (1-3 peilfilters) binnen het transect is een peilbuis (filterstelling 1.2 m onder maaiveld) voorzien van een diver, zodat gedurende de onderzoeksperiode (2013-2016) de dagelijkse waterstandsfluctuaties (4x daags) zijn geregistreerd. In twee, sterk geaccidenteerde terreinen (Ravensbos, Papenbroek) is gebruik gemaakt van twee diver-meetpunten.

Op drie onderzoekslocaties (Papenbroek, Terworm, Weverveen) zijn de peilbuizen (filterstelling 1.2 m onder maaiveld) van het Provinciale OGOR-meetnet opgenomen in het plaatselijke transect. De registratie van het grondwaterstand-verloop met divers is hier gestart omstreeks 2008. Daarmee zijn de uitkomsten van dit onderzoek ook in een wat langjariger perspectief te plaatsen.

Alle peilbuizen op de transecten zijn bij reguliere veldbezoeken en monsterronden allemaal handmatig gepeild. Handmetingen (en monsterronden) vonden plaats in meteorologisch stabiele perioden (meer dan een week aanhoudend droog of aanhoudend regenachtig).

Voor de verdere uitwerking zijn de verschillende meetpunten onderverdeeld in vier groepen, te weten:

- Bovenrand van het hellingmoeras
- Bron- kwelzones in het hellingmoeras
- Onderrand van het hellingmoeras
- Dalvlakte

De laatstgenoemde groep is op verschillende onderzoeklocaties niet aanwezig (Tabel 5.3). In twee terreinen is geen duidelijk onderscheid te maken tussen bron-/kwelzone en de onderrand vanwege de korte gradiënt ter plaatse.

Tabel 5.3: Globale posities en aantal meetpunten in de hydrologische gradiënt binnen de onderzochte terreinen.

Table 5.3: Schematic overview of the position and number of sampling stations (1-3 piezometers with filters at different depth) within the hydrological gradient in the studied spring fed fens

transect	BUND*	RAVE	PAPE	TERW	WEUS	MECH	WEVE	NOOR
bovenrand	1	1*	1	-		1		1*
bron- kwelzones		2*	1*	-		1*	2*	1
onderrand	1*	2	1	-	2*	1	1	2
dalvlakte	-	-	1*	1*		-	-	-

* = zie voor ligging Bijlage 2, Figuur B2.1

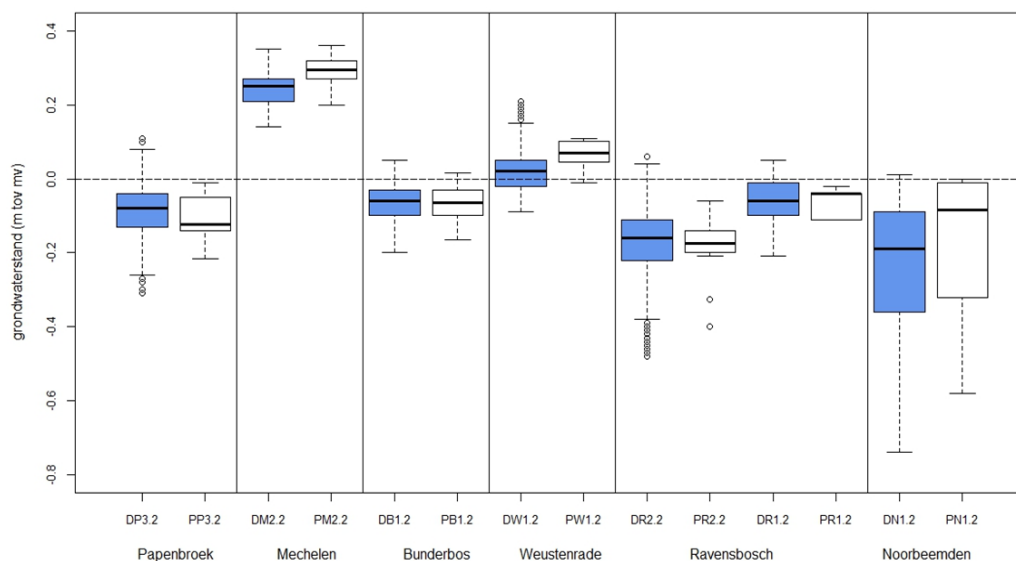
- = ter plaatse niet aanwezig

* = tenminste een buis voorzien van diver

5.3.2 Het waterregime in hellingmoerassen

Langjarige fluctuaties versus de onderzoeksperiode

Tijdens het onderzoek is op verschillende standplaatsen het verloop van de grondwaterstand zowel met behulp van divers als met periodieke handmetingen gevolgd. Op een locatie na (Noorbeemden, 1 jaar) hebben de divers gedurende minimaal 3,5 jaar (begin 2013- eind 2016) gefunctioneerd waarbij dagelijks 1 (OGOR buizen) dan wel 4 waarnemingen zijn opgeslagen. De registratie bij de OGOR buizen (TERW1; WEVE1; PAPE1) omvatten een meetreeks van 8 jaar. Gedurende de onderzoeksperiode 2013-2016 zijn daarnaast op de transecten bij alle monitoringslocaties in totaal 10-15x handmetingen uitgevoerd verdeeld over de seizoenen. Daarbij is er steeds op gelet dat de metingen zowel in relatief droge als natte perioden zijn verricht.



Figuur 5.11: Boxplots van diver- (blauw) en periodieke handmetingen (blanco) van het grondwaterstandsverloop in met divers uitgeruste peilbuizen.

$D(a)$ = diver, $P(a)$ = peilbuis; Filterdiepte: $x.2 = 1,2m -mv$

Figure 5.11: Boxplots of diver measurements (blue plots) and periodical field measurements (white plots) of the groundwater levels in divers installed piezometers.

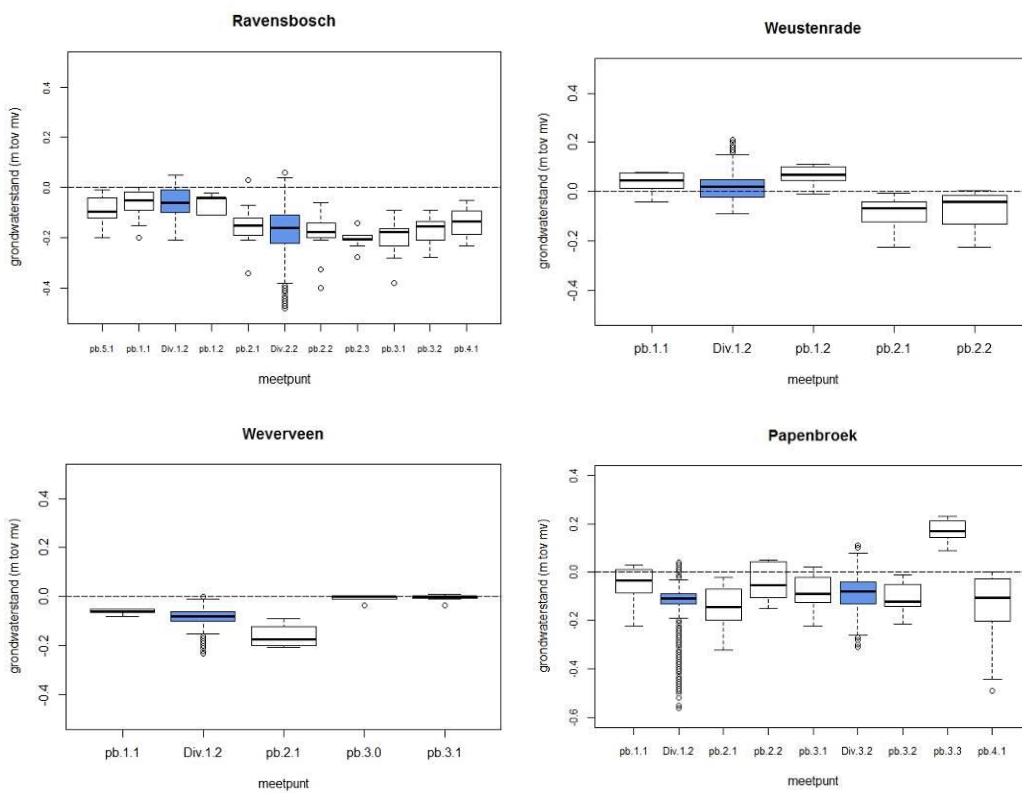
Over het algemeen geven deze, op de meteorologische condities afgestemde handmetingen een goed beeld van het met divers geregistreerde grondwater-regime. Dat geldt zeker voor locaties in kwelzones op de helling (DM/PM2.2; DB/PB1.2; DW/PW1.2; DR/PR1.2). De bandbreedte die met divers wordt geregistreerd zijn soms iets groter, maar de afwijkingen zijn in absolute zin zeer beperkt (<5 cm). Wat grotere verschillen worden echter aangetroffen aan de bovenrand van de hellingmoerassen

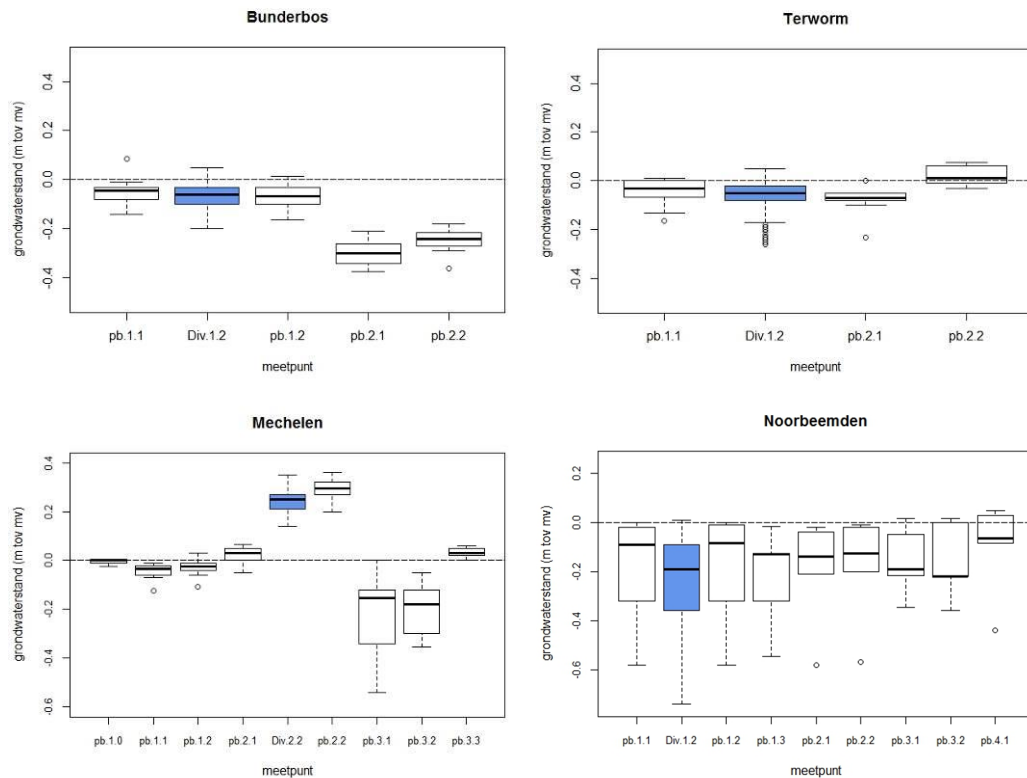
(DR/PR2.2; DN/PN1.2). Hier worden door de divers relatief meer en duidelijk lagere standen geregistreerd.

Toelichting op de standplaats versus geregistreerde waterregimes

Bovenrand en de kwelzones

Peilbuizen die aan de bovenrand van een hellingmoeras staan kenmerken zich dus door relatief sterke fluctuaties, waarbij de waterstanden gewoonlijk ruim beneden maaiveld liggen (RAVE2; PAPE4; BUND2; NOOR1 en MECH3). De waterstand kan daar uitzakken tot 40-60 cm beneden maaiveld hoewel de mediane waterstand 20-30 cm bedraagt. Bij Mechelderbeemden is het echter interessant dat daar op het zwak hellende terrein tegelijkertijd sprake is van kweldruk tot boven maaiveld in het diepste filter (3 m -mv). Dat manifesteert zich ook lager in de gradiënt in een kwelveen (MECH2) waar het freatisch grondwater zelfs ruim boven maaiveld staat (>15 cm). Een dergelijke overdruk zien we ook terug op de (steilere) helling in het Papenbroek (PAPE3; PAPE2), maar ook aan de hellingvoet bij Weustenrade (WEUS1). Minder expliciet herkenbaar is dit ook het geval aan de voet van de helling bij BUND1 en op de Carex-weide (RAVE1).





Figuur 5.12: Samenvattend overzicht van het geregistreerde waterregime (boxplots) op de standplaatsen in de onderzochte hellingmoerassen.

(blauwe plots gebaseerd op divers; handmetingen blanco plots)

pb = peilbuis, Div = diver Filterdiepte: x.0 = mv; x.1=0,5 m -mv; x.2= 1,2m -mv; x.3 = 3.0 m -mv

Figure 5.12: General overview (box plots) of the groundwater regimes at different sites in the studied spring fed fens. (blue plots: based on divers).

De oppervlakkige afvoer zorgt er voor dat de waterstanden in de ondiepste filters (1) amper boven maaiveld uitkomen. De grondwaterstanden zakken mede dankzij de kweldruk nauwelijks dieper uit dan 20-25 cm beneden maaiveld.

In tegenstelling tot de andere transecten valt op dat de grondwaterstanden op het hele transect Noorbeemden (NOOR1-4) onderhevig zijn aan flinke fluctuaties (30 tot 70 cm). Deze fluctuaties zijn het sterkst in zomerse perioden onder wisselvallige weersomstandigheden (neerslag/verdamping) en wijst er op dat het bergend vermogen van de lemige bodem hier beperkt is terwijl de toestroming van grondwater blijkbaar minder sterk is dan op de overige onderzochte transecten. Met uitzondering van Mechelderbeemden en Noorbeemden worden de overige hellingmoerassen gevoed vanuit goed doorlatende fluviatiele afzettingen (zie Bijlage 6). Noorbeemden en Mechelderbeemden hebben een vergelijkbare geohydrologische positionering. Onder een dunne lemige deklaag bevindt zich de Formatie van Vaals (Vaalsergroenzenden) die geohydrologisch gezien als slecht doorlatend wordt beschouwd. Toch kenmerkt het hellingmoeras van de Mechelderbeemden zich juist door haar stabiele grondwaterstand. Dat verschil in systeemwerking moet in de heterogene opbouw van de Formatie van Vaals worden gezocht. Het is bekend dat in de bovengrond zandbanen liggen ingeschakeld, die een snellere afstroming van grondwater toelaten. Dieper liggende, veelal verbrokkelde kalkzandsteen-banen bezitten eveneens een zeer goede doorlatendheid (Kessels 2012). Het is aannemelijk dat de meer stabiele toestroming bij Mechelen daarmee mee verband houdt, terwijl ter plaatse van het Noorbeemden-transect slechter doorlatende afzettingen meer bepalend zijn.

Ontwateringseffecten

In het Weverveen blijkt de waterstand in het veen aan de bovenrand (WEVE1 = OGOR buis) buitengewoon stabiel te zijn; de freatische grondwaterstanden staan hier al jarenlang dicht onder maaiveld. Ook aan de onderrand (WEVE3) staat het grondwater permanent aan of net boven maaiveld. Op het tussenliggende meetpunt (WEVE2) staan daarentegen de standen steevast 20 cm onder maaiveld. De verklaring hiervoor is een vlakbij liggend, vervallen maar nog altijd drainerend afwateringsgreppeltje, waardoor dit deel van het veen wat meer wordt ontwaterd. Ditzelfde fenomeen zien we ook terug op de oostkant van Carex-weide (Ravensbos). De meetpunten (RAVE3 en RAVE4) staan hier structureel net wat lager ten opzichte van maaiveld dan de locaties aan de westkant (RAVE1; RAVE5), waar drainerende greppels en een aangrenzende, diep ingesneden beek ontbreken. Toch zakken al met al de grondwaterstanden ook hier niet veel verder uit dan tot 20-30 cm onder maaiveld. Zelfs kleine, ooit gegraven greppeltjes hebben dus nog steeds een onmiskenbare invloed op de grondwaterstanden in dit type hellingvenen.

De drainerende werking van een nabij gelegen, metersdiep ingesneden beek is op de dalvlakte in het Papenbroek ook onmiskenbaar (PAPE1 = OGOR-buis). Hier zakken in droge perioden de standen soms diep uit. Dit in tegenstelling tot Terworm (TERW1 = OGOR buis) waar die drainerende werking beperkt is. Hier is op korte afstand slechts sprake van een ondiep liggende afwatering en dito beek. De grondwaterstanden zakken hier al sinds aanvang van de metingen (2008) zelden of nooit uit tot meer dan 15-20 cm onder maaiveld.

Kansen voor kalkmoeras

Uitgaande van een maximaal toelaatbare grondwaterstand van 25 cm onder maaiveld voor H7230 Kalkmoeras (zie Profielendocument en SynBiosys), blijkt in vrijwel elk hellingmoeras in de gradient een dergelijk kritisch regime voorhanden te zijn. De grondwaterstand is daarmee in de onderzochte terreinen dus geen kritische factor in het al of niet kunnen ontwikkelen van Kalkmoeras. De enige uitzondering hierop, geïllustreerd door het transect Noorbeemden, zijn hellingmoerassen waar de grondwatervoeding vanuit een relatief slecht doorlatend pakket plaats vindt. Neerslag en verdamping zorgen daar overal langs de gradient voor (te) sterke waterstandfluctuaties in de waterstand.

5.3.3 Waterregime kort samengevat

Peilbuizen die aan de minerale bovenrand van een hellingmoeras staan kenmerken zich door relatief sterke fluctuaties, waarbij de waterstanden periodiek ruim beneden maaiveld liggen (>40 cm). In het eigenlijke hellingmoeras is tenminste op een deel sprake van een kweldruk tot ruim boven maaiveld. Het forse reliëf zorgt er voor dat het uittredende grondwater oppervlakkig afvloeit. Dankzij de kweldruk en/of voeding van bovenaf zakken de waterstanden op deze standplaatsen zelden dieper uit dan 20-25 cm. Het (kritische) waterregime voor de ontwikkeling van H7230 Kalkmoeras blijkt daardoor op tal van plaatsen aanwezig te zijn. De grondwaterstand is daarmee voor dit habitatype dus geen kritische factor. Echter, de drainerende werking van kleine (vervallen) afwateringsgreppels en (bron)beken blijken op meerdere plaatsen in de hellingmoerassen wel degelijk merkbaar. Op de dalvlakte kan dit in drogere perioden tijdelijk tot sterk uitzakkende grondwaterstanden leiden.

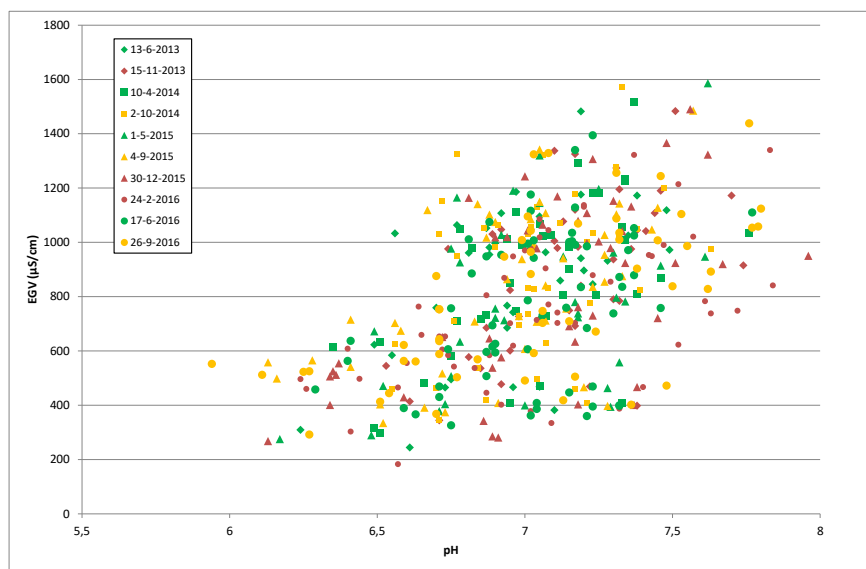
5.4 Grondwaterkwaliteit

5.4.1 Inleiding

Zes van de acht transecten zijn in totaal 4x bemonsterd (2x in 2013; 1x 2015; 1x 2016) voor nadere analyse van de grondwatersamenstelling in het laboratorium (Bijlage 13). De later ingerichte transecten Noorbeemden en Weverveen eenmaal (2016). Voorafgaand aan de bemonstering zijn de peilbuizen afgepompt, zodat deze zich met vers grondwater konden vullen. In een sub-monster van 50 ml werd veelal binnen 8 uur na bemonstering doch uiterlijk binnen 36 uur alkaliniteit (Aquamerck, Alkaliniteit-test), de pH (WTW pH96) en het elektrisch geleidingsvermogen (WTW Cond3110) gemeten. Deze metingen worden hieronder aangeduid als de 'veldmetingen'.

Naast laboratoriumanalyses is het meetnet bij reguliere bezoeken niet alleen gepeild maar ook bemonsterd ten behoeve van veldmetingen. In totaal zijn de terreinen op die manier tussentijds minimaal 5 tot maximaal 12x bemonsterd (Bijlage 14).

De bemonstering van de drie OGOR-peilbuizen in het meetnet, zijn uitgevoerd conform het reguliere bemonsteringsprogramma van de Provincie Limburg. De resultaten zijn in een later stadium door de Provincie ter beschikking gesteld van het onderzoek (Bijlage B13.2).



Figuur 5.13: Relatie tussen pH en elektrisch geleidingsvermogen (EGV) binnen de dataset (veldmetingen: n=496).

Figure 5.13: Relation between pH and Electrical conductivity (EGV) according to field measurements (n=496)

5.4.2 De grondwaterkwaliteit in het hellingmoeras in het algemeen

Uit de meerjarige bemonsteringen in de acht nader onderzochte hellingmoerassen (Tabel 1.1) blijkt dat het ondiepe grondwater zich kenmerkt door een voor Nederlandse begrippen hard, mineraalrijk, overwegend neutraal tot licht basisch type grondwater (pH 6,5 – 7,5; Tabel 5.4; Figuur 5.13, Bijlage 13 & 14).

Met uitzondering van sulfaat en in mindere mate bicarbonaat, komt de waterkwaliteit van het ondiepe grondwater (filter 1) en het diepere grondwater (filter 2) in grote mate overeen. Dat wijst op een permanente doorstroming van het profiel naar maaiveld. Het water dat soms aan maaiveld kon worden bemonsterd wijkt kwalitatief gezien nog het meeste af. Verschillen in hellingshoek en aanwezig microreliëf op de hellingen zorgt er voor dat door regenwater subtiele waterkwaliteitsgradiënten ontstaan, die bijdragen aan de soortenrijkdom.

Het ondiepe grondwater is uitgesproken basenrijk, waarbij calcium- en bicarbonaat dominant zijn (CaHCO₃-type). Het chloridegehalte is daarbij gewoonlijk vrij hoog, wat wijst op een antropogene beïnvloeding, zeker gezien de grote afstand tot zee. De natuurlijke achtergrondwaarde voor chloride ligt in de regio op circa 5 mg/l (Maastricht-Airport). Dat wordt ondersteund door de sterk uiteenlopende nitraatgehalten die kunnen worden aangetroffen. Daarbij valt op dat het ondiepe grondwater vaak weinig of geen nitraat bevat, terwijl in de naastliggende bronbeken ter plaatse wel en beduidend meer nitraat wordt aangetroffen (De Mars et al., 2016; Bijlage 13). Daarnaast blijken venige terreinen meer nitraat te bevatten (Kasteelpark Elsloo, Carex-weide [Ravenbos], Weverveen). Hoge nitraatgehalten zijn ook van de Kathagerbeemden bekend (De Mars et al., 2012; Bus, 2011; Bus et al., 2015).

Tabel 5.4: Samenvattend overzicht van de waterkwaliteit van het ondiepe grondwater

filter 1; 2013-2016; filterstelling 0,5m; n=73.

filter 2; 2013-2016; filterstelling 1,25m; n=65.

Table 5.4: General overview of the water chemistry of the groundwater in spring fed fens in South Limburg

filter 1; 2013-2016; sampling depth 0,5m; n=73;

filter 2; 2013-2016; sampling depth 1,25m; n=65;

Filter 1 (0,5 m -mv)	pH _{lab}	EGV _{lab} µS/cm	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l
Gemiddeld	7,0	767	146	17	403	31	53	20
Mediaan	7,0	800	151	19	403	31	48	0
Min.	6,2	250	50	2	62	6	0	0
Max.	7,6	1300	310	30	805	59	140	195
Filter 2 (1,2 m -mv)	pH _{lab}	EGV _{lab} µS/cm	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l
Gemiddeld	7,0	768	145	17	358	29	80	25
Mediaan	7,1	777	140	20	396	30	83	0
Min.	6,0	230	50	3	51	5	1	0
Max.	7,7	1200	320	34	602	52	170	185

Het sulfaatgehalte in het ondiepe grondwater is vrij hoog, maar de concentraties zijn in het diepere grondwater (filter 2) significant hoger (Mann-Whitney U test: p <0,0013; Tabel 5.4). In de filters op 3 m diepte zijn ze in voorkomende gevallen vaak nog hoger (Bijlage B13.1). Ruimtelijke gezien worden de hoogste concentraties bovendien aan de bovenrand van de transecten aangetroffen, de laagste onderaan. Dit gaat ter plaatse ook gepaard met een hoge mineraalrijkdom van het grondwater (>750-1000 µS/cm), zoals dat, mede afgaand op de EGV profielen, op diverse plaatsen in de terreinen doordringt (Bijlage 15). Een vergelijkbaar patroon is ook bekend van de Kathagerbeemden (Bus et al., 2015). Ook nitraat is in het ondiepe grondwater wat lager dan in de diepere filters. Zoomt men in op individuele meetlocaties dan is dat patroon vaak nog duidelijker (De Mars et al., 2015). Voor de overige parameters zijn dergelijke verschillen nauwelijks aan te wijzen. Al met al zijn de uitkomsten ook in hoge mate vergelijkbaar met de resultaten van een eenmalige bemonstering van de 42 locaties tijdens het Fase1-onderzoek.

5.4.3 Grondwaterkwaliteit in het Kalkmoeras

Kalkmoeras in Zuid-Limburg

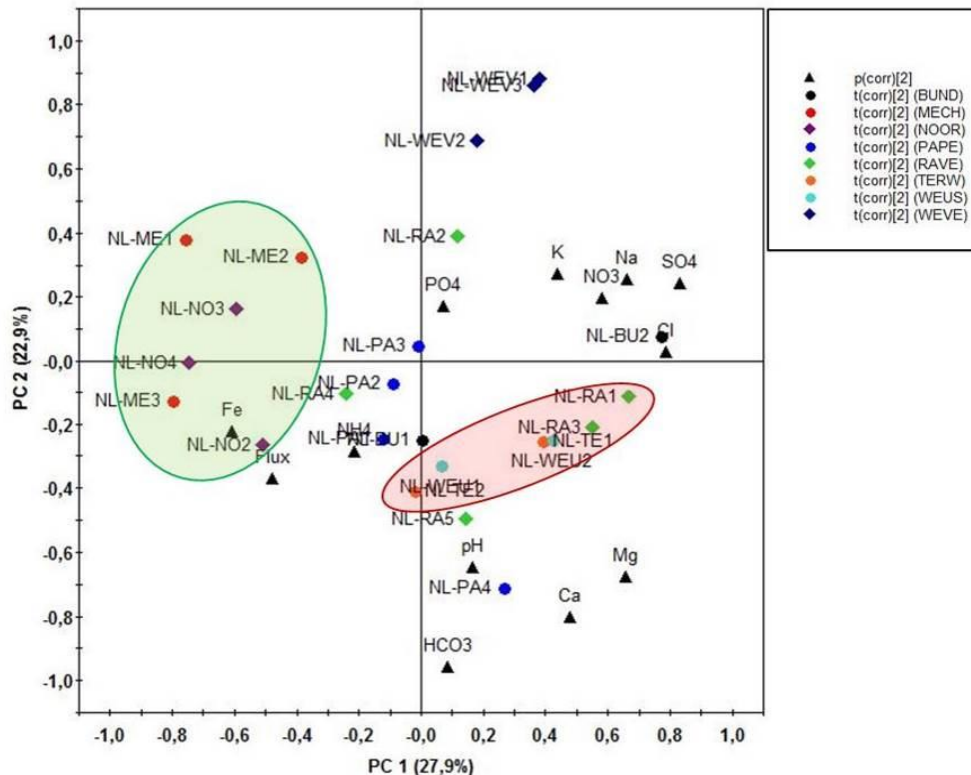
Worden de resultaten vergeleken met de beschreven randvoorwaarden voor de waterkwaliteit voor het kalkmoeras (basenrijk grondwater en pH 5,5 – 7,5; kernbereik pH 6,5 – 7; Synbiosys, Profieldocument) dan kan worden gesteld dat hier vrijwel overall in Zuid-Limburg aan wordt voldaan. Sterker nog, mede gezien de bodem-pH (zie ook §5.2.2) zou de Associatie van Vetblad en Vlozegge, waarvan het kernbereik tussen pH=5,5 en 6,5 ligt, binnen Zuid-Limburgse hellingmoerassen amper (nog) een plaats kunnen vinden.

Een PCA-analyse op basis van de waterkwaliteitsgegevens uit de ondiepe filters (1) wijst uit dat binnen de Zuid-Limburgse hellingmoerassen het Kalkmoeras toch een vrij scherp afgebakende standplaats kent.

In het onderstaand PCA-diagram (Figuur 5.14) zijn de waterkwaliteitsparameters uitgezet tegen de verschillende monsterpunten. De binnen het databestand aanwezige variatie wordt hierbij 'vereenvoudigd' tot een weergave op twee assen, waarmee in dit geval in totaal al circa 51% van de aanwezige variatie in het databestand kan worden verklaard.

Er laten zich in de figuur drie belangrijke parameter-clusters onderscheiden, te weten:

- een kalk-cluster (pH, Ca, Mg bicarbonaat) dat vanuit het centrum van de figuur in zuidoostelijke richting wijst
- een cluster vervuiling indicators (Na, Cl, SO₄, NO₃, K) dat vanuit het centrum in oost-noordoostelijke richting wijst.
- een cluster met ijzer (Fe) en waterstandsdynamiek (flux) en NH₄ dat vanuit het centrum in zuidwestelijke richting wijst.



Figuur 5.14: PCA-diagram voor de ondiepe grondwaterkwaliteit in de onderzochte Zuid-Limburgse hellingmoerassen

Figure 5.14: PCA diagram of the groundwater quality of spring fed fens in South Limburg

Uit deze analyse komt naar voren dat de Zuid-Limburgse Kalkmoeras-locaties (Figuur 5.14; binnen rode ovaal) zijn te vinden op standplaatsen die positief correleren met een hoge pH en de meest kalkrijke standplaatsen (hoog Ca, Mg en bicarbonaat gehalte). Daarnaast valt op dat, naast de Kalkmoeras-locaties Weustenrade (NL-WEU) en Ravensbos (Carex-weide: NL-RA), ook de Terworm-locaties (NL-TE) binnen de (rode) ovaal vallen, een terrein met sterke kalkmoeras-indicaties (zie ook §3.2.2). Echter, de positionering van de rode kalkmoeras-ovaal parallel aan het cluster vervuiling parameters (Na, Cl, K, SO₄, NO₃) wijst er op dat de standplaatsen mede onder invloed staan van antropogene belasting. Zo worden, onder andere, in het Ravensbos (Carex-weide) zeer hoge nitraatgehalten aangetroffen in het ondiepe grondwater (zie ook §5.4.2; De Mars et al., 2015).

De Veldrusbeemden (Figuur 5.14; groene ovaal) zijn in de Zuid-Limburgse hellingmoerassen juist te vinden op de minder kalkrijke - en daarbij doorgaans minder

belaste locaties (negatief correlerend met het vervuilingscluster) waarbij ze tevens positief correleren met een hoger ijzergehalte. Ze wijken daarmee qua hydrochemische standplaatskenmerken dus duidelijk af van die van de Kalkmoeraslocaties.

De overige locaties (Moeraszegge- en Scherpe zegge vegetaties) nemen tussenposities in, waarbij de verboste, tamelijk ruige Moeraszegge-vegetaties van het Weverveen (NL-WEV) een aparte groep vormen.

De plaatsing van de verschillende monsterpunten van een transect in het diagram kan tevens een aanwezige waterkwaliteitsgradiënt aanduiden. Liggen de punten dicht bij elkaar dan is daar amper sprake van. Liggen ze echter ver uit elkaar dan zal daar binnen een terrein wel sprake van zijn. Van de acht onderzochte terreinen liggen die van het Ravensbos (Carex-weide) het meest verspreid. Dat wijst er op dat binnen dit kleine terrein een flinke gradiënt(en) in de waterkwaliteit aanwezig is (zijn) (Figuur 5.14). De locatie NL-RA2 laat zich bijvoorbeeld als een bij uitstek kalkarme locatie betitelen. Het is de enige locatie in het onderzoek waar ook veenmossen groeien (zie ook Bijlage 3).

Kalkmoeras in Zuid-Limburg in vergelijking met enkele referentielocaties

Om de kalkrijke Limburgse standplaatsen beter te kunnen interpreteren is in de literatuur naar informatie gezocht over vergelijkbare, kalkrijke kalkmoerasstandplaatsen, bij voorkeur afkomstig van hellingvenen (Tabel 5.5; Bijlage 16).

Om te beginnen is aanvullende informatie uit Zuid-Limburg toegevoegd, te weten van de Kathagerbeemden. De beschikbare waterkwaliteitsgegevens zijn afkomstig uit hydrologische verschillende delen van dit hellingveen (Bus, 2011). Vegetatiekundig gezien is daar sprake van Kalkmoeras in de zin van H7230. Verder zijn gegevens gebruikt afkomstig van het hellingveen de Peschbeemden (Kerkrade) en het recent tot ontwikkeling gekomen kalkmoerasje in de Curfsgroeve (zie ook §3.2.2; Figuur 3.2). Daarnaast is gezocht naar hydrologisch niet of nauwelijks verstoorde referentie locaties.

Tabel 5.5: Locaties, herkomst en veentype van de geselecteerde bron- en ondiep grondwater-referenties. (zie ook Bijlage 16)

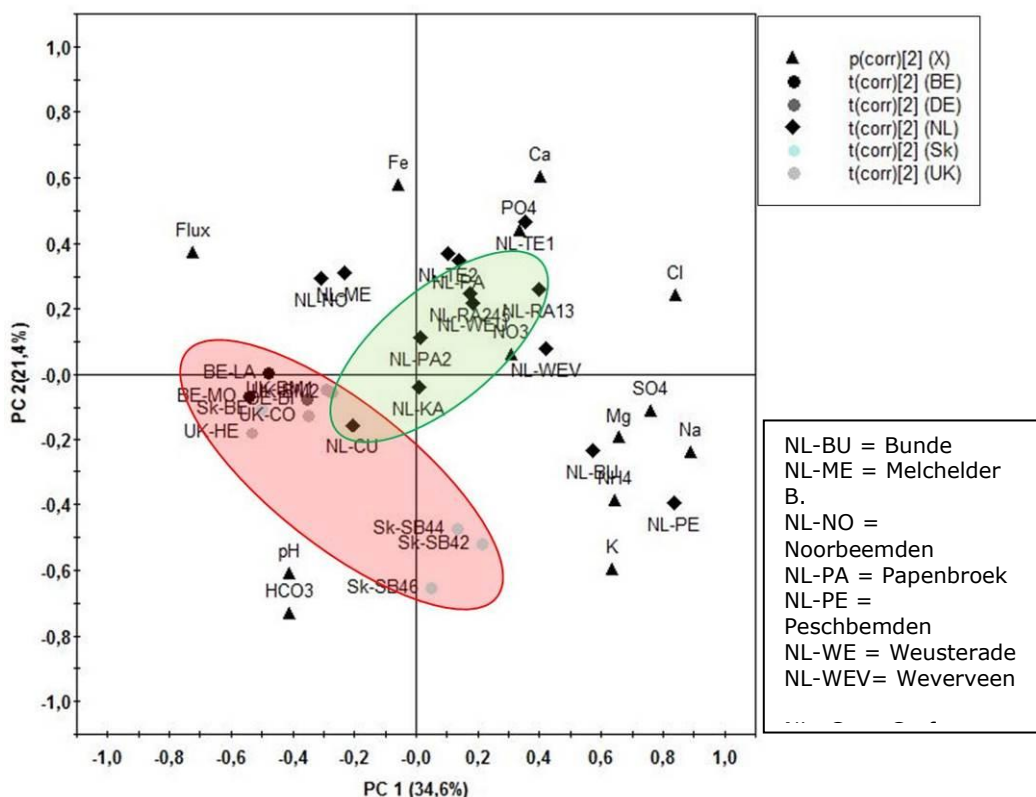
Table 5.5: Locations, data source and fen-types for the selected spring water, and surficial groundwater chemistry (see also Appendix 16).

Locatie	land	herkomst data	datum	mp-code	type	code Figuur 5.15
Kathagen	NI	Bus, 2011	5-4-2011	PB8	Calcareous fen	NL-Ka
Kathagen	NI	Bus, 2011	5-4-2011	bron B	Calcareous fen	NL-Ka
Kathagen	NI	OGOR-meetnet Prov. L	26-4-2011	KHB02	Calcareous fen	NL-Ka
Kathagen	NI	OGOR-meetnet Prov. L	8-11-2011	KHB02	Calcareous fen	NL-Ka
Kathagen	NI	OGOR-meetnet Prov. L	13-6-2012	KHB02	Calcareous fen	NL-Ka
Kathagen	NI	De Mars et al., 2017b	6-7-2016	Kath04	Calcareous fen	NL-Ka
Peschbeemden	NI	De Mars et al., 2012	13-7-2011	Pesch1.1	Calcareous fen / Molinietum	NL-Pe
Curfsgroeve	NI	De Mars unpubl.	21-4-2015	KAM	Petrif. spring with calcareous fen species	NL-Cu
Blankenheim	GE	De Mars et al., 2016	10-3-2016	214-DE-BIN	Petrifying Calcareous fen	DE-BI
Montauban	BE	De Mars et al., 2016	16-3-2016	305-BE-MON	Petrif. spring with Calcareous fen	BE-MO
Lahage	BE	De Mars et al., 2016	18-3-2016	308-BE-LAH	Petrif. spring with calcareous fen species	BE-LA
Hen-Alt Common	UK	Farr et al., 2014	18-1-2014	HaC1	Petrifying Calcareous fen	UK-HC
Cors Erdderiniog	UK	Farr et al., 2014	20-1-2014	CE5.3	Petrifying Calcareous fen	UK-CO
Badley moor	UK	Boyer & Wheeler, 1989	22-7-1985	BM2	Petrifying Calcareous fen	UK-BM1
Badley moor	UK	Boyer & Wheeler, 1989	22-7-1985	BM1	Petrifying Calcareous fen	UK-BM2
Brezové fen-Strba	Sk	Kemmers et al., 2004		Strba42.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-SB42
Brezové fen-Strba	Sk	Kemmers et al., 2004		Strba44.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-SB44
Brezové fen-Strba	Sk	Kemmers et al., 2004		Strba46.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-SB46
Belianske lúky Meadows	Sk	Kemmers et al., 2004		BelLuM78.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-BE

GE = Germany; BE = Belgium; UK: United Kingdom, England; Sk = Slovakia; NI = The Netherlands

Aangezien uit het onderhavige onderzoek blijkt dat in vrijwel alle onderzochte hellingmoerassen kalktufvorming optreedt of kalktuf aanwezig is (zie hs. 5.1) moesten deze locaties eveneens kalktufvormend zijn (Tabel 5.5). Enkele locaties hebben betrekking op kalktufbronnen waar ook een uitgebreide kalkmoerasflora aanwezig is verwant aan het *Carici flavae-Cratoneuron filicini*, met diverse, typische soorten,

Voor onderstaande PCA-diagram (Figuur 5.15) zijn alle geselecteerde kalkmoeras-locaties gebruikt. In geval meerdere monsters per monsterpunt beschikbaar waren, is daarvoor van elke parameter de gemiddelde concentratie bepaald. Voor de overige hellingmoerassen is op dezelfde wijze een gemiddelde waterkwaliteit bepaald.



Figuur 5.15: PCA-diagram voor grondwaterkwaliteit van de Zuid-Limburgse kalkmoerassen in relatie tot referentie locatie.

(Voor de buitenlandse locatie aanduidingen zie ook Tabel 5.5)

Figure 5.15: PCA-diagram of the groundwater quality of calcareous spring fed fens in South Limburg in relation to some reference sites.

(For the foreign location codes see also Table 5.5)

Uit het bovenstaande PCA-diagram waarbij op de eerste twee assen 56% van de variatie in het databestand wordt verklaard, komt naar voren dat de Zuid-Limburgse kalkmoerassen (groene ovaal) volstrekt anders positioneren dan de referentie-locaties (rode ovaal; Figuur 5.15). Het diagram wordt mede bepaald door een cluster van vervuiling indicators (PO₄, SO₄, Na, Cl en K) ter rechterzijde ('oost'), maar waar ditmaal ook Ca deel van uitmaakt. Hieruit valt af te leiden dat het ondiepe grondwater de Nederlandse kalkmoeraslocaties een grotere hardheid laat zien dan op de niet vervuilde locaties. Een vergelijkbare constatering kwam recent ook al naar voren voor de Zuid-Limburgse kalktufbronnen (De Mars et al., 2016). De referentie locaties typeren zich door een hogere pH en een hoger bicarbonaat gehalte, al kunnen SO₄ en Mg ook relatief hoog zijn. Van alle Zuid-Limburgse locaties vertoont alleen de waterkwaliteit van de kalkmoeras-locatie uit de Curfsgroeve (NL-Cu) de meeste verwantschap met de referentie-locaties.

Binnen de referentiegroep bestaat een tweedeling tussen de locaties in Strba (Slovakije: Sk-SB) en de overige locaties. In beide groepen wordt actief kalktuf gevormd. Bij Sk-SB wordt dat proces opgewekt door pyrietvorming in de ondiepe ondergrond (Kemmers et al., 2004). Bij de overige locaties lijkt dat primair samen te hangen met ontgassing van met CO₂-oververzadigd grondwater, zonder duidelijke tussenkomst van pyrietvorming. Dit zou inhouden dat kalktuf-vorming in kalkmoerassen op natuurlijke wijze dus langs twee sporen kan plaatsvinden (zie ook §6.1.2).

5.4.4 Waterkwaliteit, kort samengevat

De Zuid-Limburgse hellingmoerassen worden gekenmerkt door hard, mineraalrijk neutraal- tot licht basisch grondwater (pH 6,5-7,5). De locaties met H7230 Kalkmoeras of met sterke kalkmoeras-indicaties nemen hierbij in hydrochemische zin de meest kalkrijke standplaatsen in.

Het grondwater vertoont echter duidelijke sporen van antropogene beïnvloeding. Dat komt onder meer tot uiting in het hoge chloride- en nitraatgehalte. In vergelijking met buitenlandse referenties blijkt dat ook de hardheid (Ca) van het grondwater in Zuid-Limburg hoger te zijn.

Verder zijn er aanwijzingen dat hoge sulfaatgehalten niet bij voorbaat ongunstig hoeven zijn. Sulfaat kan in geval van actieve pyrietvorming in kalkrijk milieu ook kalktufvorming stimuleren.

5.5 Waterherkomstgebieden

5.5.1 Inleiding

De hellingmoerassen zijn afhankelijk van een permanente toestroom van grondwater, met de juiste kwaliteit. Om in dat verband een goede staat van instandhouding van de hellingmoerassen te garanderen is het allereerst nodig om inzicht te hebben in de aard en omvang van het waterherkomstgebied (intrekgebied).

Met de bestaande regionale hydrologische rekenmodellen zijn de intrekgebieden van de meeste hellingmoerassen, zoals in dit onderzoek (Figuur 2.2), lastig af te bakenen vanwege hun beperkte omvang en hun positie op steile hellingen. De in deze regionale modellen toegepaste geohydrologische schematisaties zijn veel te grof voor de noodzakelijke detaillering van de veel kleinschaliger setting van de meeste hellingmoerassen. Toch is juist rekening houdend met die variatie op dat lokale schaalniveau een afbakening van het waterherkomstgebied nodig. Alleen dan kunnen maatregelen ruimtelijk effectief worden ingepast ter borging van een goede staat van instandhouding van de hellingmoerassen. In dit soort kleinschalige situaties vormt dan de basisafvoer van bronbeken, die in of naast de hellingmoerassen ontspringen, een alternatief.

De grootte van de basisafvoer biedt de mogelijkheid om de omvang van het intrekgebied vanuit een meer lokale optiek te bepalen (De Mars & Smolders 2014; De Mars et al., 2017b). De regionale afstromingspatronen zoals die uit de regionale modellen naar voren komen, kunnen eventueel worden benut bij een nadere positionering van de intrekgebiedjes die op basis van de lokale bronbeekafvoeren zijn bepaald. In het onderhavige onderzoek is wat betreft de nader onderzochte hellingmoerassen gebruik gemaakt van deze 'basisafvoer-methode'. Echter, niet voor alle terreinen bleek deze methode toepasbaar (Mechelderbeemden, Noorbeemden en deels de Carex-weide), bij gebrek aan bronbeken.

Voor de debietmetingen is gebruik gemaakt van een mobiel, V-vormig meetschot, ook wel bekend als Thomson meetschot (Figuur 5.16). V-vormige meetschotten hebben een eenvoudige waterstand-afvoer relatie, ook bij lage afvoeren.



Figuur 5.16: Mobiele meetschot voor debietmetingen in bronbeken

Figure 5.16: Portable sharp crested weir to perform discharge measurements in springs

Nadat de bronbeek zich heeft ingesteld op de aanwezigheid van het meetschot, kan op het meetschot de waterstand worden afgelezen, ten opzichte van de onderzijde van de insnijding. Op basis van deze meting kan dan het debiet worden berekend en vervolgens, rekening houdend met het gemiddelde langjarig neerslagoverschot ter plaatse, het globale oppervlak van het intrekgebied. Voor een nadere toelichting van de verschillende stappen wordt verwezen naar Bijlage 17.

5.5.2 Ruimtelijke afbakening intrekgebied

Op basis van een of meerdere debietmetingen kon voor verschillende studiegebieden het globale oppervlak van het intrekgebied worden bepaald (Tabel 5.6). Vervolgens is op basis van regionale isohypsenpatroon (REGIS Limburg, zie Vernes, 2008) en de geohydrologische opbouw (zie Bijlage 6) het intrekgebied ruimtelijk ingepast (Figuur 5.17). Hieronder wordt per gebied een korte toelichting gegeven op de verschillende kaartbeelden.

Tabel 5.6: Berekend oppervlak van de intrekgebieden

Table 5.6: Calculated surface area of the recharge areas

Gebied	aantal metingen	ha
Papenbroek (bron)	2	2,1*
Kasteel Elsloo (Terhagen)	1	2,3
Weustenrade	1	2,6
Terworm	1	4,5
Weerveen	3	24

** gecorrigeerd voor bebouwd oppervlak*

Wat om te beginnen opvalt is, dat de verschillende intrekgebieden sterk uiteen kunnen lopen qua oppervlak en 'vorm'. Sommige intrekgebieden moeten, ondanks hun beperkte oppervlak, zich in een smalle zone tot ver op het bovenliggende plateau uitstrekken (vergelijk bijv. intrekgebied van het hellingmoeras Weustenrade met dat van Kasteelpark Elsloo). De oorzaak is de grote hoeveelheid bronwater dat in bepaalde gebieden op tal van dicht naast elkaar gelegen plaatsen dagzoomt (zoals in Elslooërbos; De Mars & Smolders, 2014).

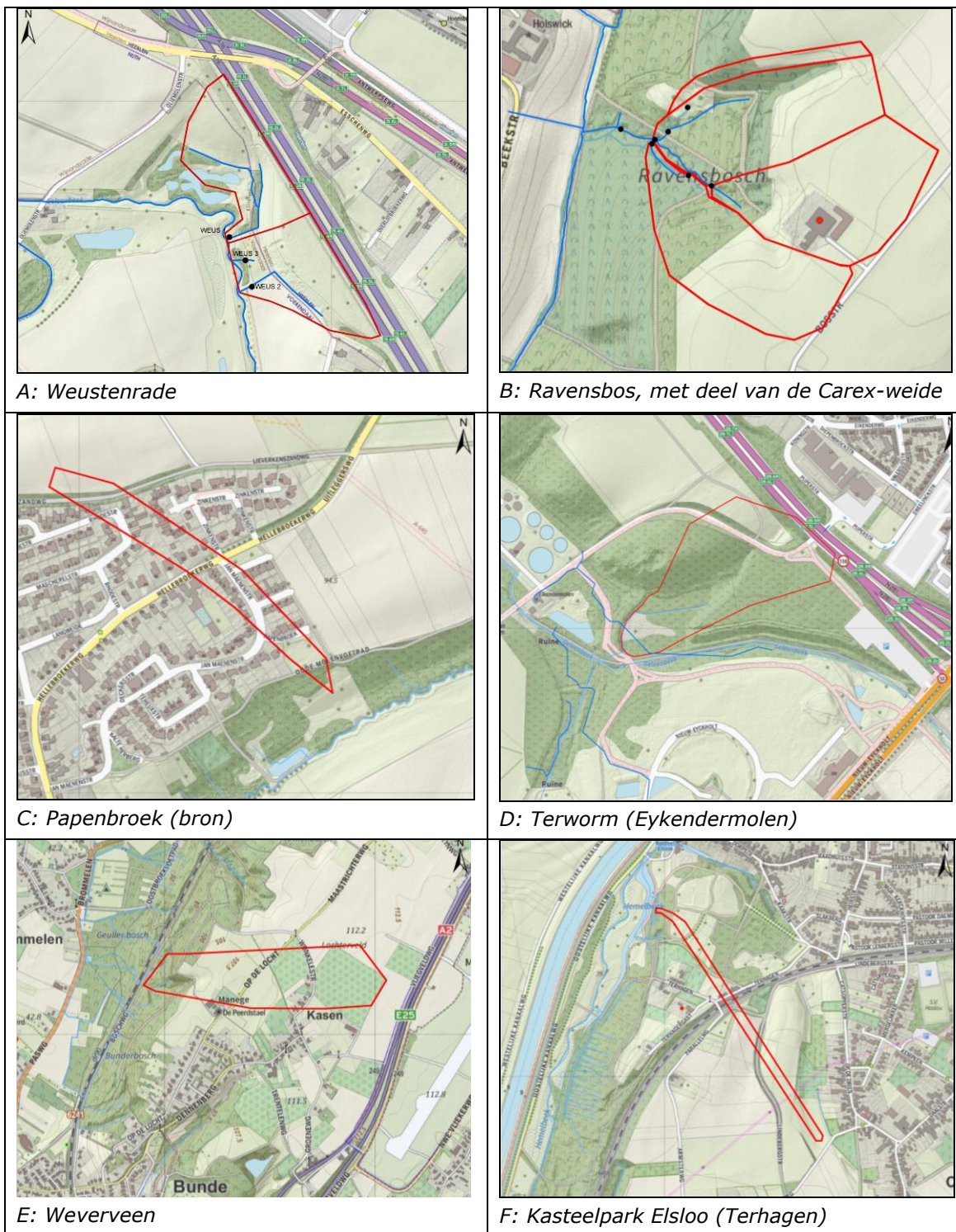
De kaarten met de intrekgebieden van het kalkmoeras Weustenrade en Ravensbos (Figuur 5.17) zijn ontleend aan De Mars et al., (2017b).

Voor Weustenrade staan hierop twee deelgebieden, waarbij het noordelijke deelgebied het intrekgebied van het kalkmoeras betreft. Het intrekgebied wordt aan de oostkant begrensd door de Benzenrader breuk (Bijlage B6.5), waarvan de ligging globaal overeenkomt met het trace van de autoweg. Er treedt voorzover bekend geen afstroming over deze breuk plaats. Zou dat wel het geval zijn dan nog zou het intrekgebied weinig veranderen.

Voor het Ravensbos zijn verschillende deel-intrekgebieden afgebeeld van de Berkhofbeek, een zijtak van de Strabekervloedgraaf. Daarbinnen ligt ook de Carex-weide. Hiervan valt alleen het oostelijke deel van het terrein af te bakenen. Op basis van metingen moet dat dan ongeveer twee hectare omvatten. Aangenomen kan worden dat de omvang van het intrekgebied van de iets grotere westelijke helft van het terrein, minimaal een vergelijkbaar oppervlak inneemt. Dat betekent dan dat het totale intrekgebied van de Carex-weide minimaal circa vier a vijf hectare omvat. Voor Papenbroek was slecht één puntbron beschikbaar. Het intrekgebied hiervan omvat ruim twee hectare, rekening houdend met het feit dat, een groot deel in bebouwd (verhard) gebied ligt waardoor de grondwateraanvulling hier minder groot zal zijn. Voor de hele kwelzone in het Papenbroek moet rekening worden gehouden met een intrekgebied dat zich ook nog ter weerszijden daarvan zal uitstrekken. Daarmee zal het intrekgebied zowel in het bebouwde gebied als in het intensieve landbouwgebied direct oostelijk daarvan liggen. Het totale intrekgebied zal minimaal in de orde van vijf-zes hectare liggen.

Al het kwelwater dat afstroomt uit het bronmoeras bij de Eykendermolen (Terworm) stroomt via een bronbeek af, waardoor op basis van de debietmeting een goede inschatting van het oppervlak van het intrekgebied is te geven.

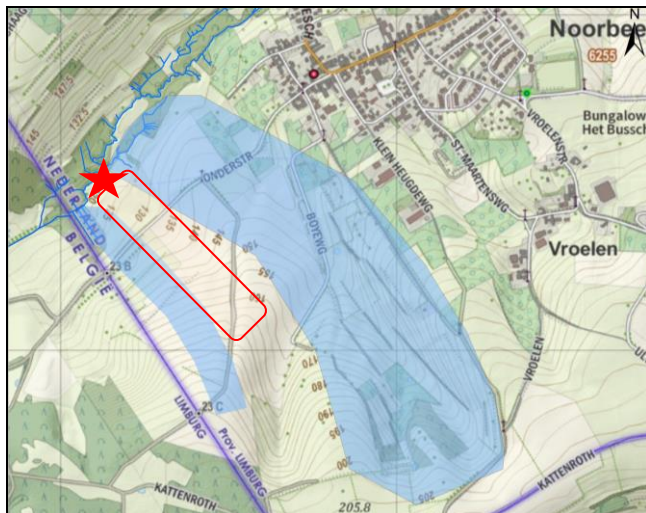
Voor het Weverveen is het intrekgebied gebaseerd op meerdere metingen aan drie bronbeken die uit dit hellingveen-complex ontspringen.



Figuur 5.17: Kaarten met de globaal afgebakende intrekgebieden voor de verschillende detailstudiegebieden

Figure 5.17: Delimited recharge areas for the spring fed fens studied

Voor de Noorbeemden was het, zoals eerder gemeld, niet goed mogelijk om het intrekgebied op basis van debietmetingen af te bakenen bij gebrek van afstromende bronbeekjes. Echter; er valt daarvan wel een idee te krijgen. De Mars et al. (2017b) hebben voor de kalktufbronnen in dit N2000-gebied deel-intrekgebieden uitgewerkt. In deze studie zijn twee detail-intrekgebieden afgebakend direct ter weerszijden van het hellingmoeras (Figuur 5.18). De ruimte tussen deze twee intrekgebieden kan worden beschouwd als onderdeel van het intrekgebied van het hellingmoeras. De zuidelijke grens zal naar verwachting minimaal samenvallen met de zuidgrens van het intrekgebied van een cluster kalktufbronnen dat het hellingveen aan de zuidkant begrensd.



Figuur 5.18: Indicatie voor de ligging van het intrekgebied van het hellingmoeras Noorbeemden

Figure 5.18: General location of the recharge area for the Noorbeemden study site

Kwantitatieve effecten

Intrekgebieden zijn geen gefixeed, op zich zelfstaand geheel. Zij kunnen direct of indirect worden beïnvloed door kwantitatieve veranderingen in de (regionale) grondwaterhuishouding.

Voor onttrekkingen of een toename van verhard oppervlak binnen de afgebakende waterherkomstgebieden zal dat direct duidelijk zijn; er stroomt minder grondwater af naar het betreffende hellingmoeras, wat resulteert in Verdroging ter plaatse. Men dient er echter op bedacht te zijn dat dit net zo goed geldt voor dergelijke ontwikkelingen buiten de nu afgebakende intrekgebieden (bijv. nieuwe onttrekkingsputten). Ook al liggen die daarbuiten dan nog kunnen zij, afhankelijk van de aard en omvang van die ingrepen/onttrekkingen, zorgen voor significante grondwaterstandsverlagingen. Daarmee kunnen ze een effect hebben op de hoeveelheid - en de afstroomrichting van het grondwater. Als de stroomrichting van het grondwater verandert, betekent dat ook dat de ruimtelijke positie van het intrekgebied zal veranderen. Het hellingmoeras ontvangt dan grondwater uit een gedeeltelijk anders dan voorheen gepositioneerd intrekgebied, met mogelijk een deels andere waterkwaliteit. Dat kan dan weer gevolgen kunnen hebben voor de kwaliteit van het grondwater dat het hellingmoeras bereikt. Dat kan dan ook weer gevolgen hebben voor de effectiviteit van eventueel al eerder doorgevoerde (ruimtelijke) beschermingsmaatregelen.

6 Sleutelprocessen

6.1 Hydrologische systeemwerking

Het belangrijkste sturende proces voor de instandhouding van het hellingmoeras is het constant en over een breed front diffuus uitreden van grondwater.

Het dagzomen van grondwater treedt gewoonlijk op in een bepaalde zone op de helling. De breedte van die zone wordt grotendeels bepaald door de hellingshoek ter plaatse. Die kwelzone kan vaak gekoppeld worden aan een dicht onder maaiveld aanwezige of dagzomende slecht doorlatende (klei)laag waarover het grondwater vanuit het intrekgebied toestroomt.

Het uitgesproken basenrijke karakter van het uittredende grondwater is te danken aan het basenrijke tot zeer kalkrijke karakter van de intrekgebieden (o.a.

kalksteenformaties, kalkrijke löss) (RGD 1980; Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990; Smolders et al., 2014). De grote hoogteverschillen en de daarmee samenhangende scherpe gradiënt in het verloop van grondwaterstand dragen er aan bij dat op delen van de helling waarop het water dagzooft vrijwel constant sprake is van kweldruk. Echter, in het bijzonder voor Kalkmoerassen geldt als bijkomende voorwaarde dat het watervoerend pakket van waaruit het hellingmoeras wordt gevoed moet bestaan uit goed doorlatende afzettingen (grind- en zandafzettingen, ondiepe, gefractioneerde kalksteen), zodat een gestage toestroom van grondwater wordt gegarandeerd.

Daardoor blijft de dynamiek in waterstanden op de helling beperkt in weerwil van droge of natte perioden.

Het verhang en de constante doorstroming van het profiel in de kwelzone, zorgen er tevens voor dat het dagzomende water zeer oppervlakkig door de bodem en/of aan maaiveld de helling afstroomt. Ook de zone vlak onder de kwelzone kent daardoor een vrij stabiele waterhuishouding, voor zover de ondergrond ter plaatse niet bestaat uit zeer goed doorlatend substraat (bijv. grof zand). Indien dat wel het geval is zal daar infiltratie optreden waardoor de dynamiek in waterstanden ter plaatse weer te groot wordt voor de ontwikkeling van kalkmoeras.

Dankzij de continue toestroom van kalkrijk grondwater is de gevoeligheid voor verzuring van de standplaatsen gering, waardoor basen- en kalkminnende soorten (en vegetaties) in stand worden gehouden. Door het vaak steile verhang en aanwezige kweldruk is van een substantiële stagnatie van regenwater zelden of nooit sprake. Wel kan plaatselijk, mede door het aanwezige microreliëf, enige verdunning optreden met het kalkrijke grondwater. Daardoor kunnen subtiele waterkwaliteitsgradiënten ontstaan, die bijdragen aan de soortenrijkdom.

Daarnaast wordt in Zuid-Limburg mede dankzij dit zeer kalkrijke grondwater op tal van plaatsen in meer of minder mate kalktuf afgezet (zie §6.1.2A).

6.2 Bodemchemische sleutelprocessen

A: Kalktufvorming

Tot op heden werd kalktufvorming in de Nederlandse basenrijke veenmoerassen als een grote uitzondering beschouwd (profielendocument). Dit onderzoek maakt duidelijk dat dit verschijnsel in Zuid-Limburg echter veel vaker voorkomt dan eerder werd gedacht en niet alleen in een historische context. Het verhoogt de potentie voor de ontwikkeling van kalkmoeras-vegetaties binnen de Zuid-Limburgse hellingmoerassen. Zo is het *Carici flavae-Cratoneuretum* (Schubzegge associatie) op basis van de nu beschikbare informatie ieder geval gebonden aan het optreden van kalktufvorming, maar dat komt dus veel vaker voor dan eerder gedacht. Dankzij de hoge kalkgehalten ligt de pH-CaCl₂ op de kalkhoudende locaties boven de 7 (kalkbuffer).

Dat het regionale grondwater dat de hellingmoerassen voedt veel kalk bevat lag al voor de hand aangezien in dezelfde gebieden ook kalktufbronnen voorkomen. Een dergelijke hoge kalkrijkdom, in combinatie met kalktufvorming, betekent ook dat de nutriëntenbeschikbaarheid en meer in bijzonder de fosfaathuishouding (zie §6.1.3), in de Zuid-Limburgse hellingmoerassen (mede) door deze aanwezigheid van kalk zou kunnen worden gestuurd.

Een recent review op basis van internationale literatuur wijst uit dat bij calciumconcentraties boven de 50 - 80 mg/l al kalktufvorming kan optreden (De Mars et al., 2016). Dergelijke concentraties worden overal in het heuvelland aangetroffen (Hendrix & Meinardi 2004; De Mars et al, 2012), al benaderen vooral de hellingmoerassen rond het Plateau van Vaals en in het Anselderbeekdal wel de ondergrens. Bovendien blijkt de pH daar aan de lage kant te zijn.

Kalktufvorming doet zich voor wanneer basisch grondwater (pH 7-8,5) met hoge calcium- en bicarbonaat concentraties aan de dag treedt. Deze componenten vormen een labiel evenwicht met kalk (CaCO₃) en opgeloste hoeveelheden koolzuur (CO₂) in het water volgens de onderstaande chemische evenwichtsreactie:



Alvorens het grondwater kalktuf zal gaan afzetten moet nog aan een andere voorwaarde worden voldaan; het water moet ook oververzadigd zijn met koolzuur (hoge CO₂ spanning). Daardoor kan het grondwater ook veel hogere Ca en HCO₃ concentraties bevatten (oververzadigd). Zodra dit water dan in contact komt met de atmosfeer (lage CO₂-spanning), ontsnapt het te veel aan koolzuur naar de atmosfeer. Daardoor wordt het chemisch evenwicht verstoord. Een deel van het Ca en HCO₃ kan bij die lagere koolzuurspanning dan niet langer in oplossing blijven en begint neer te slaan als CaCO₃, ofwel kalktuf.

Omdat kalktufafzetting doorgaans plaatsvindt op de overgang van de waterverzadigde naar de onverzadigde zone mag worden verwacht dat in het kwelmilieu de neerslag van kalk gelijk op gaat met de veenvorming. Zowel kalkneerslag als veenvorming vindt dan bovenin het profiel plaats. Zo worden op de locatie in het Ravensbos (RAVE1) kalktufafzettingen in het venige deel van het profiel, tot 50 cm onder maaiveld, gevonden. Dat wijst op een proces dat daar al langer speelt.

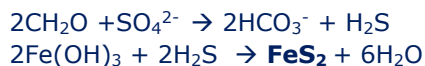
De opbouw van de CO₂ spanning kan langs twee routes tot stand komen. Het eerste spoor komt tot stand door uitloging van kalk in het intrekgebied uit het onderste, nog kalkrijke deel van dikke lösslagen, door infiltrerend zuur regenwater (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990; Smolders et al., 2014). Het koolzuurgehalte neemt hierdoor toe, maar omdat het koolzuur in de diepe ondergrond niet meer kan ontwijken naar de atmosfeer, mede door de dikke lösslaag die er boven ligt, neemt de koolzuurspanning toe. Daardoor lost er ook meer kalk op (zie bovenstaande evenwichtsreactie) waardoor ook het calcium en bicarbonaatgehalte van het grondwater verder toenemen, en op

transport gaan naar de verderaf liggende bron- en kwelzones. De Ca/Mg verhouding in het grondwater komt hierbij dan overeen met de verhouding in het uitlogende moedermateriaal, in dit geval kalkrijke löss (Ca/Mg = 4:1; Smolders et al., 2014). Dit proces voltrekt zich dus op landschapsschaal. Echter, dit is niet de enige route waarlangs de koolzuurspanning kan toenemen en kalktufvorming tot stand komt. De andere route voltrekt zich op de standplaats en hangt samen met (secundaire) pyrietvorming in de ondiepe ondergrond (zie onder §6.1.2C.). Het kan hierbij betrekking hebben op een natuurlijk proces maar berust tegenwoordig in de Zuid-Limburgse hellingmoerassen, in hoge mate op een antropogeen geïnduceerd proces. In beide gevallen zijn echter hoge calcium- en bicarbonaatgehalten een vereiste.

B: Pyrietvorming en oxidatie

Pyrietvorming lijkt dus een belangrijke factor te zijn bij de instandhouding van de standplaats-condities onder invloed van de toestroming van sulfaatrijk en niraatrijk grondwater (Tabel 5.4). In de kalkrijke Zuid-Limburgse hellingmoerassen is op de meeste plaatsen ook sprake van pyrietvorming. De vorming van pyriet (FeS₂) speelt een belangrijke rol bij de bepaling van de standplaatscondities en de vorming van kalktuf (Kemmers et al., 2004, Figuur 6.2). Dit is afhankelijk van een aantal factoren (Rabenhorst & Haering, 1989; Dellwig et al., 2001; Van Delft et al., 2005) te weten:

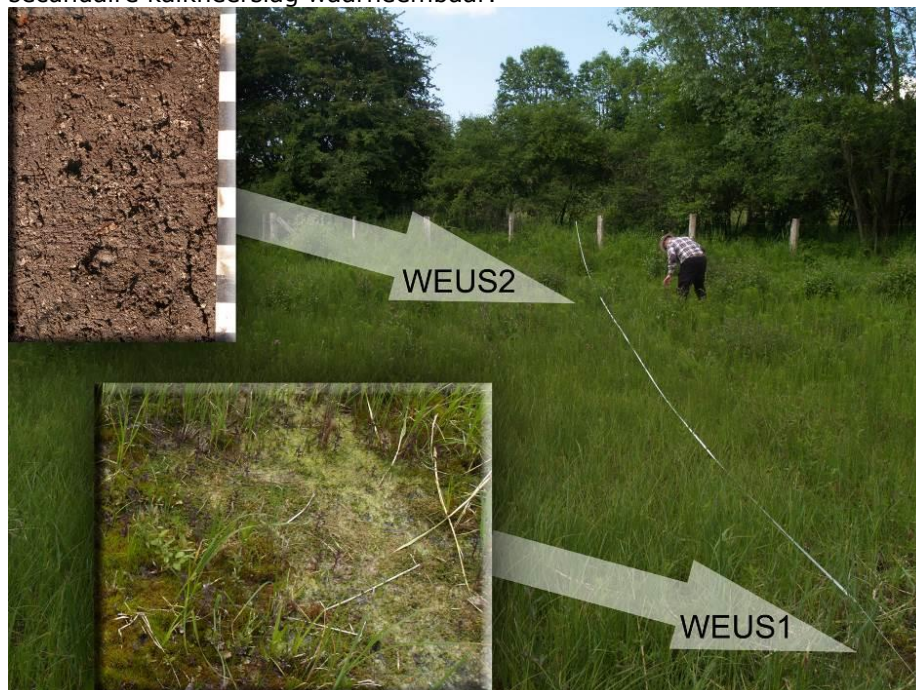
- Aanwezigheid van goed afbreekbaar organisch materiaal (CH₂O);
- Een reducerend milieu;
- Periodiek oxische en anoxische condities.
- Een sulfaatbron;
- Sulfaat reducerende bacteriën;
- Actief ijzer (Fe-oxyhydroxides);
- In geval van kalktufvorming: hoog calcium en bicarbonaatgehalte



In de meeste Zuid-Limburgse hellingmoerassen wordt aan al deze voorwaarden voldaan. Zo blijkt de bacteriële groeisnelheid in correlatie met het S gehalte van de bodem, te wijzen op de aanwezigheid en activiteit van zwavelreducerende bacteriën (§5.2.6). Daarbij nemen de pyrietgehalten binnen de profielen af met de diepte, terwijl in het grondwater de sulfaatconcentraties juist toenemen (Tabel 5.4), wat overeenkomt met de aanname dat pyrietvorming vooral plaatsvindt in de periodiek waterverzadigde zone (Van Delft et al., 2005). Sulfaat is alom aanwezig, waarbij de concentraties in het grondwater aan de bovenrand van de hellingmoerassen het hoogste zijn, maar ook in het diepere grondwater (§5.4.2; Tabel 5.4). Dat duidt op een aanvoer van buitenaf. Daarnaast is ook het (actief) ijzergehalte van zowel bodem als grondwater voldoende (§5.2.3, Tabel 5.2 en §5.4.2, Bijlage 13). Voor kalktufvorming zijn, zoals hiervoor al is betoogd, de calcium- en bicarbonaat-gehalten van het grondwater eveneens hoog genoeg. In het opwellende water stijgt bovendien onder invloed van pyrietvorming het bicarbonaatgehalte verder (Tabel 5.4). Pyriet wordt vooral gevormd in weinig veraard veen. Een reducerend milieu is o.a. afhankelijk van langdurige verzadiging met grondwater waardoor de diffusie van zuurstof belemmerd wordt. Ook onder waterverzadigde omstandigheden ontstaat een dergelijk milieu pas wanneer de aanwezige zuurstof in het profiel is opgebruikt. Uit onderzoek is gebleken dat pyriet (FeS₂) vooral gevormd wordt wanneer zuurstofloze (anoxische) condities tijdelijk worden afgewisseld door zuurstofrijkere (oxische) condities (Marnette, 1993; Van Delft et al., 2005). Onder permanent gereduceerde omstandigheden (dieper dan GLG niveau) blijken vooral monosulfiden (FeS) gevormd te worden.

Intermezzo 6.1: Weustenrade, voorbeelden van kalktufvorming in een hellingmoeras

Op de locatie WEUS1 aan de voet en in de ondergrond van de wat meer hogerop gelegen locatie WEUS2 is het moedermateriaal (kleien van de formatie van Tongeren) al kalkrijk (zie ook Bijlage B6.6). De kalkbrokjes in de colluviale löss bij WEUS2 zijn waarschijnlijk als kalktuf uit kwelwater neergelagen dat vanuit de onderliggende kalkrijke kleien met kalk is verrijkt. Ook in het bronmilieu bij WEUS1 is vorming van secundaire kalkneerslag waarneembaar.



Figuur 6.1: Overzicht van transect Weustenrade (H7220 Kalkmoeras), met op de inzet onder secundaire kalkneerslag (Kalktuf) in de bron situatie bij WEUS1 en in de inzet boven brokjes kalktuf in de colluviale löss bij WEUS2.

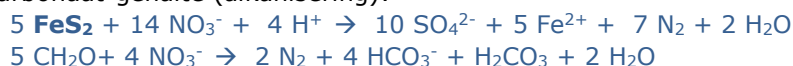
Figure 6.1: General overview of the Weustenrade fen transect (7220 Calcareous fen); inserted picture below; WEUS1, secondary travertine formation in a seepage. Inserted picture above; WEUS2, particles of travertine in loamy sediments.

sulfaatbronnen

Als sulfaatbronnen voor de pyrietvorming kunnen zowel atmosferische depositie (in het verleden) als de aanvoer vanuit grondwater worden genoemd (Van Delft et al., 2005). De bron van het met grondwater toestromende sulfaat moet vooral worden gezocht in zwavelrijke organische stof en pyrietrijke kleilagen (Formatie van Rupel en mogelijk ook Tongeren) in de ondergrond van het intrekgebied. Hiertoe zijn ook de bruinkoollagen (Formatie van Breda) te rekenen, zoals die bijvoorbeeld in het middenloopgebied van de Geleenbeek in de ondiepe ondergrond aanwezig zijn (Mulder et al., 2013; TNO 2013).

Verhoogde sulfaatconcentraties in het grondwater zijn echter een direct gevolg van de oxidatie van pyriet en zwavelrijke organische stof door nitraat (Postma et al., 1991; Van Delft et al., 2005; Bus et al., 2015; De Mars et al., 2016). IJzersulfiden als potentiële bron van sulfaat zouden ook in aanmerking kunnen komen maar lijken in Zuid-Limburg een minder prominente rol te spelen (De Mars et al., 2016). Infiltrerend, schoon zuurstofrijk regenwater heeft maar een beperkt oxiderend vermogen, waardoor slechts weinig pyriet zal oxideren en het sulfaatgehalte laag blijft. De maximale sulfaatconcentratie is dan 17 mg/l (Van Delft et al., 2005). Onder invloed van het sinds 30-40 jaar sterk met nitraat belaste grondwater worden pyriet en organische stof in de ondergrond door nitraatafbraak (denitrificatie) in een veel ruimere mate geoxideerd dan voorheen, wat dan ook tegenwoordig resulteert in sulfaatconcentraties

die maar liefst een factor 5 tot 10 hoger liggen dan in een niet vervuilde toestand (thans ordegrrootte: 80-170 mg/l: Tabel 5.4) maar ook resulteren in een toename van het bicarbonaat-gehalte (alkanisering):



Een andere (antropogene) bron voor sulfaat kan de zwaveldepositie in het verleden zijn geweest. Berekeningen wijzen uit dat over een periode van 125 jaar 4.5 – 9g FeS₂ in de bovenste 30 cm van de bodem in natuurgebieden geaccumuleerd zou kunnen zijn vanuit atmosferische depositie (Van Delft et al., 2005). Dit komt weliswaar overeen met de aangetroffen pyrietvoorraden in de bovenste 30 cm van de bemonsterde locaties (zie ook Tabel 5.2, laatste kolom), maar omdat het in de hellingmoerassen overal kwelsituaties betreft ligt aanvoer vanuit de ondergrond via het grondwater veel meer voor de hand (§5.4.2). Afhankelijk van de verblijftijden van het kwelwater kan een deel van het met grondwater aangevoerde sulfaat afkomstig zijn van atmosferische depositie, maar pyriethoudende afzettingen in de ondergrond zijn hier dus waarschijnlijker als bron.

Hoewel in de diepe ondergrond al nitraatafbraak (en sulfaatproductie) plaatsvindt wordt tegenwoordig lang niet alle nitraat afgebroken. Een groot deel belandt via het afstromende grondwater alsnog in de kwelzones binnen de hellingmoerassen. Daar wordt het resterende nitraat in de bovengrond al snel afgebroken (denitrificatie), ten koste van de daar aanwezige organische stof. Ook hierbij komt ter plaatse, onder meer, sulfaat vrij. Toch stijgt de concentratie in het ondiepe grondwater niet (Tabel 5.4). Er blijkt juist significant veel sulfaat te 'verdwijnen' (zie §5.4.2; zie onder). Dit is, in combinatie met de aangetoonde pyrietvoorraad in de ondiepe ondergrond en de correlatie tussen microbiële activiteit en S gehalte, een sterke aanwijzing dat het via het grondwater aangevoerde - en eventueel het ter plaatse nog gevormde sulfaat - door zwavel reducerende bacteriën in aanwezigheid van organische stof en ijzer wordt gereduceerd tot pyriet.

Indien onvoldoende reactief ijzer beschikbaar is wordt het sulfide vervolgens weer geoxideerd tot zogenaamd elementair zwavel. Dat kan dan een wit neerslag op de bodem en in ondiep afstromend water vormen. Dit laatste is bekend van de Kathagerbeemden (Bus et al., 2015), maar dit verschijnsel is in de andere onderzochte terreinen niet waargenomen.

Hoewel de concentraties nitraat en sulfaat dus geheel of grotendeels worden ingeperkt in het hellingmoerassysteem zelf heeft deze medaille wel een keerzijde. Door de sterk verhoogde stikstof- en sulfaatbelasting wordt bij de afbraak daarvan binnen het systeem dus ook een grotere aanslag gepleegd op de aanwezige organische stofvoorraad. Die wordt namelijk bij het verwerkingsproces ook sterker afgebroken dan voorheen. De duurzame ontwikkeling en het voortbestaan van de vaak dunne moerige lagen in veel hellingmoerassen is daarmee in het geding. Bovendien komen bij de afbraak van organische stof ook extra nutriënten vrij, die op zich weer een bijdrage aan de nutriëntenbelasting van het systeem vormen.

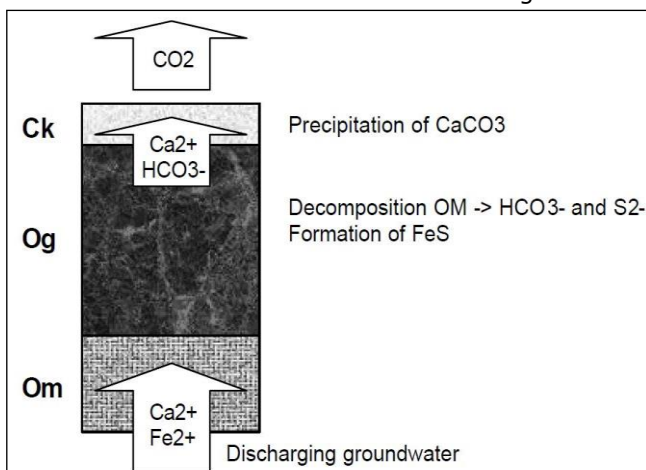
Afgaand op het bodembologisch onderzoek wordt tenminste een deel van de bij de denitrificatie vrijkomende stikstof vastgelegd in de bacteriële biomassa en blijft daarmee dus in de bodem achter. Ook verschillende P-fracties worden in de microbiële biomassa (schimmels, bacteriën) vastgelegd (§5.2.6) en daarmee drukt de microbiële biomassa een stempel op de nutriëntenbeschikbaarheid voor de vegetatie (zie verder §6.1.3). Al is het goed denkbaar dat deze, in de microbiële biomassa opgeslagen nutriëntenvoorraad onder bepaalde omstandigheden alsnog door mineralisatie vrijkomt (bijv. een periode met oppervlakkige uitdroging), met alle gevolgen van dien: eutrofiering.

Intermezzo: 6.2: Verschil in nitraatgehalte tussen bronnen en kwelzones

De verschillen in het tempo (flux) waarmee het water uittreedt in bronnen en kwelzones ligt ver uit elkaar. In bronnen (punten) laat zich dat in de orde van liters/uur of liters/sec uitdrukken. In kwelzones (vlakken) ligt de flux beduidend lager, en laat zich vertalen in de orde van liters/dag. Met andere woorden in tegenstelling tot bronnen doorstroomt het water het substraat in kwelzones veel trager, maar over een groter oppervlak, waarbij nitraat dan ook de tijd heeft om te worden gedenitrificeerd. Dat verklaart waarom het nitraatgehalte in de hellingmoerassen altijd veel lager of afwezig is, terwijl in naastgelegen bronnen nog altijd nitraat wordt aangetroffen.

C: Pyriet gestuurde kalktufvorming

In een deel van de onderzochte profielen in Zuid-Limburg blijkt de neerslag van kalk samen te gaan met de vorming van ijzersulfiden (pyriet) dieper in het profiel. Bij de vorming van pyriet komt veel bicarbonaat vrij en dat verklaart ook waarom de bicarbonaat concentraties op 50 cm onder maaiveld hoger kunnen liggen dan dieper in het profiel. In combinatie met de toch al hoge calcium en bicarbonaatconcentraties in het grondwater raakt het water alsnog overzadigd. Dichter onder maaiveld ontsnapt koolzuur en slaat vervolgens kalktuf neer (zie evenwichtreactie §6.1.2A). In Figuur 6.2 zijn deze processen schematisch weergegeven, naar aanleiding van onderzoek in Slowaakse kalkmoerassen (Kemmers et al., 2004). Daar zijn ook profielen aangetroffen waar meerdere kalktuf- en pyrietrijke veenlagen elkaar afwisselen omdat afwisselend veenvorming en kalkneerslag dominant waren.



Figuur 6.2: Vorming van ijzersulfiden (FeS+FeS₂) en kalktuf (CaCO₃) in een kalkrijke meereerdmoder onder invloed van ijzer-sulfaat- en calciumrijk kwelwater (bron: Kemmers et al., 2004).

Figure 6.2: Formation of iron sulphides (FeS+FeS₂) and travertine (CaCO₃) in calcareous earthy soil under iron rich sulphate rich calcareous seepage water (Kemmers et al. 2004.)

6.3 Nutriëntenhuishouding en rol van het bodemleven

De nutriëntenhuishouding van de hellingmoerassen is opvallend complex vooral als het gaat om de P-huishouding, meer in het bijzonder de potentieel verhoogde P-beschikbaarheid, als gevolg van de op veel plaatsen (toegenomen) pyrietvorming. Voorheen, onder niet vervuilde omstandigheden was de pyrietproductie beduidend lager hebben gelegen dan tegenwoordig (veel lagere sulfaatvrucht: zie §6.1.2)

De stikstofhuishouding, in de zin van de toestroom en afbraak van nitraat is hiervoor al in geochemische zin globaal aan de orde geweest. De C/N ratio wijst er op dat de onderzochte standplaatsen allemaal N-eutroof zijn, waarbij in principe N-mobilisatie domineert (Figuur 5.4). Stikstof (N) lijkt daarmee dus op het eerste gezicht niet de bepalende factor voor de vegetatie. Denitrificatie van nitraat door de microbiële biomassa is echter in de meeste terreinen zo effectief dat het in het ondiepe grondwater amper wordt teruggevonden. Behalve N₂, dat ontsnapt naar de atmosfeer, wordt een ander deel van de vrijkomende stikstof effectief geïmmobiliseerd in de microbiële biomassa. Hoe groter de hoeveelheid mineraliseerbaar-N, des te groter de

aanwezige biomassa (Figuur 5.8). Daarmee is de beschikbaarheid voor de vegetatie dus veel minder vanzelfsprekend.

De P-huishouding is echter complexer door het al of niet aanwezig zijn van kalk in het profiel. De aanwezigheid van kalk alleen blijkt daarbij allerminst een garantie voor P-beperking. Daarnaast is de aanwezigheid van actief ijzer (Fe_{ox}) of pyriet (FeS_2) van belang. Maar ook voor de microbiële biomassa, meer in het bijzonder de bodemschimmels, lijkt een belangrijke rol te zijn weg gelegd, mede tegen de achtergrond van het voormalig gebruik van de terreinen. De verschillende terreinen kunnen daarin op onderdelen duidelijke verschillen vertonen (zie ook Bijlage 3). Voor de locatie RAVE1 (Carex-weide) wijst de C/P ratio, nog los van de mogelijke onderschatting onder invloed van het kalkgehalte (§5.2.4), op organische stof die arm is aan P (Figuur 5.4). Bij afbraak komt er dan relatief weinig P vrij in vergelijking met andere terreinen. Het terrein kent met een korte onderbreking een lange, extensieve gebruiksgeschiedenis. Het is bekend dat een beheer van maaien en afvoeren bijdraagt aan P-verschraling (Rozbrojová & Hájek, 2008). Bovendien blijkt in de wortelzone tot zeker 50 cm diepte kalk aanwezig en herbergt de bodem de hoogste en meest actieve schimmelbiomassa van de onderzochte terrein (Figuur 5.9; Bijlage 10). Onder deze kalkrijke omstandigheden en permanent natte condities (Figuur 5.12) is geen rol weggelegd voor actief ijzer als P-buffer. Echter, in de wetenschap dat het aandeel schimmels correleert met verschillende P-fracties in de bodem (Bijlage 11) wijst dit erop dat die ook P immobiliseren. Voor zover P vrijkomt als gevolg van pyrietvorming en bij de afbraak van organische stof, wordt die ter plaatse in het profiel geadsorbeerd aan de aanwezige kalk of wordt het opgenomen door bodemschimmels. Daarmee wordt het voor planten onbereikbaar. Het voorgaande in ogenschouw genomen is het dan ook geen verrassing dat de N/P ratio van de vegetatie een P-limitatie indiceert (Tabel 3.1).

In Terworm (TERW1) is alleen heel oppervlakkig kalk te vinden (Figuur 5.1), maar is het dieper in het profiel niet of slechts in geringe mate aanwezig. Een prominente rol voor P adsorptie aan kalk ligt daarmee niet direct voor de hand. Het organische substraat ter plaatse is echter zeer rijk aan P (P_{ox} : zie ook Bijlage B9.1), wat er wellicht aan bijdraagt dat ook de actuele vegetatie zeer rijk aan P is (Tabel 3.1). Bij de relatief snelle afbraak van de organische stof, zoals die hier plaatsvindt (Figuur 5.8 & 5.9), komt dan ook relatief veel P beschikbaar. Daarbij gaat het bij de afbraak om bacteriën die ook betrokken lijken te zijn bij pyrietvorming in de ondiepe ondergrond. In een dergelijke situatie zal dan competitie bestaan tussen S en P om ijzer, ten nadele van P. De rol van actief ijzer zou, onder de ter plaatse heersende, vrijwel permanent waterverzadigde (gereduceerde) condities (Figuur 5.12) toch al minder effectief zijn dan onder meer oxiderende omstandigheden (Patrick & Khalid, 1974). De beperkte hoeveelheid kalk in de ondergrond kan die rol blijkbaar niet overnemen. De Pw en PSI zijn dan ook hoog. De biomassa aan bodemschimmels is daarbij ook nog eens een factor 2 lager dan op de Carex-weide (Bijlage 10) en de activiteit van het bodemleven is hier ook lager (Figuur 5.9). De productieve vegetatie blijkt N-gelimiteerd (Tabel 3.1). Wellicht dat de oorsprong van de hoge P-concentraties moet worden gezocht in overstorten die deze locatie voorheen sterk hebben beïnvloed en voor een extra toestroom aan nutriënten hebben gezorgd. Het maai-beheer is pas recent structureel opgepakt, waardoor nu weer jaarlijks een substantiele hoeveelheid nutriënten kan worden onttrokken aan dit systeem.

De situatie op de onderzochte locatie Papenbroek (PAPE2) is enigszins vergelijkbaar. Ook hier komt kalk alleen aan maaiveld voor maar ontbreekt het ter plaatse dieper in het profiel, zodat het vrijkomende P daar niet zal worden geadsorbeerd. In de ondiepe ondergrond treedt hier wel pyrietvorming op, onder vrijwel permanent waterverzadigde omstandigheden. Daarmee is ook de rol van actief ijzer op het terugdringen van de P beschikbaarheid beperkt. De schimmel-biomassa als andere potentiële P-`sink', is hier zelfs zeer laag (ruim een factor 10 lager dan op de Carex-weide: Bijlage 10) en daarbij weinig actief (Figuur 5.9). De vegetatie wordt hier dan ook niet door P beperkt maar gelimiteerd door N. Hogerop de helling lijken de

condities gunstiger omdat daar de kalk ook dieper in het profiel wordt aangetroffen (PAPE3).

Een vergelijkbare situatie wordt op de locatie in het Kasteelpark Elsloo (BUND1) aangetroffen, een oud en door drainage wat meer verstoord terrein. Er wordt een vrij hoog pyrietgehalte aangetroffen, maar er zit wel kalk in het profiel. Zowel PSI als Pw zijn hier laag, maar de schimmelbiomassa is ook hier niet uitgesproken hoog (factor 5 lager dan op de Carex-weide) en weinig actief (Figuur 5.9) waardoor P beschikbaarheid relatief hoog is. De vegetatie is niet P-beperkt maar wordt gelimiteerd door N.

Bij Weustenrade (WEUS1) is zeer veel kalk aanwezig, ook dieper in het profiel. Tegelijkertijd zit hier ook zeer veel (fossiel) pyriet (Bijlage B9.5) en vrijwel geen actief ijzer (Fe_{ox}) meer (Tabel 5.2). Door de hoge bodem-pH zou actief ijzer hier toch al een beperkte rol spelen, te meer omdat de condities hier permanent waterverzadigd zijn (gereduceerd milieu: Figuur 5.12). Ondanks de kalk, is van een P beperking voor de vegetatie geen sprake, al doet de Pw anders vermoeden. De potentiële beschikbaarheid (PSI) is hier wel zeer hoog (Figuur 5.7). Ook de C/P ratio wijst op organisch stof die relatief rijk is aan P, maar de schimmelbiomassa ligt, net als in Papenbroek, bijna een factor 10 lager dan op de Carex-weide, zodat de effectiviteit van deze 'sink' hier eveneens beperkt lijkt.

In de Mechelder beemden (Veldrusbeemd-type), is het systeem kalkloos ontwikkeld. Bij MECH1 is daarmee voor kalk in de P-huishouding dus geen rol weggelegd. In de bovengrond is wel een matige hoeveelheid pyriet beschikbaar maar het aandeel actief ijzer (Fe_{ox}) overheerst daarbij (verhouding tussen Fe_{tot} en Fe_{ox} ; Tabel 5.2). De microbiële biomassa is weliswaar aanzienlijk maar weinig actief (Figuur 5.8, 5.9). In dit kalkloze milieu zal Fe_{ox} een rol spelen in de P huishouding, net als elders in Nederland. Echter, onder de permanent natte, sterk gereduceerde omstandigheden (Figuur 5.12) is de binding van P aan ijzer minder sterk. De populatie bodemschimmels ligt daarbij een factor 2 lager dan op de Carex-weide. Het terrein is niet P beperkt, maar N-beperkt (Tabel 3.1).

B: Kalkchlorose

Naast een invloed op de P-huishouding heeft een hoog kalkgehalte ook nog op een andere manier fysiologische gevolgen voor de plantengroei. Tijdens veldbezoeken in de periode 2014 t/m 2017 was elk jaar begin mei op de Carex-weide (Ravensbos) sprake van een geel tot witgele verbleking van zowel Veldrus (*Juncus acutiflorus*) als Bosbies (*Scirpus sylvaticus*) (Figuur 6.2) of wel: kalkchlorose. Dit verschijnsel, waarvan de intensiteit van jaar tot jaar wel verschilde, treedt op tal van plaatsen binnen een vrij smalle zone in het terrein op. Andere soorten ter plaatse, zoals Blauwe zegge (*Carex panicea*) en Dotterbloem (*Caltha palustris*), hadden op het oog nergens last van. Enkele weken later was van de verbleking echter al geen sprake meer. In andere terreinen is dit fenomeen nooit waargenomen.

Die zone waarin dit verschijnsel zich voordoet en waar ook de kalktufbron (RAVE1) deel van uitmaakt, laat zich associëren met de kwelzone van dit hellingmoeras; tevens de zone met actieve pyriet- en kalktufvorming.

Kalkchlorose is in tegenstelling tot wat de naam doet vermoeden, een vorm van ijzergebrek. Door ijzergebrek kunnen planten onvoldoende chlorofyl (bladgroenkorrels) aanmaken, waardoor de jonge scheuten en bladeren geelwit verbleken. Op zeer kalkrijke bodems kunnen planten vaak niet voldoende ijzer opnemen, te meer omdat de beschikbaarheid van ijzerverbindingen bij toenemende pH sterk afneemt. Waterverzadiging en hoge bicarbonaatgehalten werken het fenomeen in de hand (Boxma, 1972; Riedel et al., 2009).



Figuur 6.2: Kalkchlorose op de Carex-weide (Ravensbos), 10 mei 2014

(foto: H. de Mars)

Figure 6.2: Lime-induced chlorosis at Carex fen (Ravenswood), May 10, 2014.

In het geval van een licht ijzergebrek is chlorose slechts van tijdelijke aard, waarna de planten na enige tijd weer bij 'kleuren'. Ook een zeer snelle groei kan zorgen voor kalkchlorose. Dit verklaart waarom dit fenomeen zich op de Carex-weide (Ravensbos) alleen in het vroege voorjaar voordoet, als de vegetatie zich weer ontwikkelt. Veldrus en Bosbies zijn soorten die een voorkeur hebben voor ijzerhoudende, veelal licht zure condities. Het zwaartepunt van hun verspreiding ligt in Zuid-Limburg in de Veldrusbeemden (zie ook Bijlage 4; Figuur 5.14). Wellicht wordt de ijzerbeschikbaarheid voor deze soorten tijdens de groeispuurt, in het voorjaar onder de heersende kalkrijke omstandigheden verder beperkt door de dan ook toenemende microbiële pyrietvorming en daarmee extra concurrentie om ijzer.

6.4 Tot besluit

Kalkmoeras en potentiële kalkmoeraslocaties zijn te vinden op locaties waar kalk ook in de diepere delen van het profiel aanwezig is. Op dergelijke plaatsen is de (toegenomen) pyrietvorming in het licht van een daaruit voorkomende, verhoogde P-beschikbaarheid, op het eerste gezicht niet direct een probleem. Toch lijkt kalk als P-buffer geen garantie daarvoor te zijn. Afgezien van de P-voorraad in de bodem lijkt een grote, actieve microbiële biomassa en dan vooral bodemschimmels, eveneens cruciaal te zijn voor het in tomen van die (verhoogde) P beschikbaarheid. Alle goed ontwikkelde kalkmoerassen, zoals beschreven in de literatuur, zijn P-beperkt (Olde Venterink et al., 2003; Rozbrojová & Hájek, 2008). Bekend is dat extensief gebruik met langdurig maaibeheer (met afvoer van hooi) de P-beperking versterkt. Veel terreintjes zijn echter vroeger nog wel voor kortere of langere tijd (agrarisch) vrij intensief gebruikt (zie ook Bijlage 3). Maaibeheer is dus een vereiste om de P-huishouding (mede) onder controle te houden cq te brengen. Daarnaast moet sprake zijn van een stabiele waterhuishouding om verdroging te voorkomen en daarmee het vrijkomen van (extra) N en P in te dammen.

Kalkafzettingen, die zich alleen aan maaiveld manifesteren, lijken van recente datum. Ze hangen samen met de toegenomen nitraat- en sulfaatbelasting van het grondwater dat de hellingmoerassen voedt, waarbij de denitrificatie van N in de ondergrond via pyrietvorming in het profiel een oververzadiging aan kalk te weeg brengt, die vervolgens aan maaiveld neerslaat. Die ruimtelijke scheiding van pyriet en kalk in het profiel is, onder de huidige Nederlandse omstandigheden, in dat geval geen goede indicatie voor P beperkende condities.

7 Antropogene invloeden

7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is bij verschillende onderdelen al een verband gelegd met verstoringen en bedreigingen door antropogene invloeden.

In het onderstaande passeren deze verstoringen en bedreigingen nogmaals kort de revue, mede met het oog op de te formuleren uitbreidings- en herstelmaatregelen (hs. 8). Voor meer details wordt zonedig verwezen naar het desbetreffende hoofdstuk.

7.2 Verlies landschappelijke samenhang

De open hellingmoerassen zijn, meer nog dan de kalkgraslanden op landschappelijke schaal sterk geïsoleerd geraakt van elkaar. Vanouds maakten ze deel uit van een langgerekt, samenhangend netwerk van natte habitats met op de dalflanken gradiëntrijke overgangen naar drogere milieus. In de 20^e eeuw is hiervan door de ruilverkavelingen, sterke intensivering van het agrarisch grondgebruik en vernietiging van habitats door uitbreiding van dorpen en steden weinig overgebleven. De meeste hellingmoerassen zijn tegenwoordig beperkt van omvang en staan vaak op zichzelf en fungeren hooguit nog als een refugium voor planten- en diersoorten die zich kunnen handhaven op dergelijke kleine locaties. Een vergaande ruimtelijke isolatie van hellingmoerassen leidt tot knelpunten bij de dispersie en duurzame kolonisatie van soorten, zoals wordt geïllustreerd door de vlinderfauna (hs. 4.2).

Afgezien van intensivering van het landgebruik heeft ook bebossing of verbossing van hellingvenen locaties met Kalkmoeras (Geulle, Voerendaal, mogelijk Rode beek) verloren doen gaan.

Grottere, min of meer samenhangende complexen zijn buitengewoon zeldzaam geworden. De enige uitzonderingen binnen Zuid-Limburg zijn Cottessen en de Mechelderbeemden, hoewel vooral bij dit laatste gebied tegenwoordig de relatie met meer extensief gebruikte, droge terreinen hogerop de helling ontbreekt. Een dergelijke nat-droog gradiënt in de terreinen zelf draagt ook bij aan de ecologische kwaliteiten van een hellingmoeras (§3.2.4; §4.2.2).

Een weliswaar meer versnipperde samenhang is nog aanwezig in de bovenloop van Geleenbeekdal (landgoed Terworm) en in het Anselderbeekdal. De weinige overgebleven moerasterreintjes die hier nog zijn te vinden maken daar (weer) deel uit van een deels half-open extensief gebruikt beekdallandschap.

In de meeste gevallen is ook die relatie verbroken en liggen de hellingmoerassen ingebed in intensief gebruikt agrarisch gebied of ingebed temidden van bebost terrein (bijv. Noorbeemden, Kathagerbeemden, Hulsbergerbeemden). Wat betreft de laatste groep gaat het vaak om gebieden die tot kort na de WOII nog tenminste deels uit open beemden bestonden.

7.3 Verdroging

7.3.1 Ontginning en bebossing

Tenminste een deel van de hellingmoerassen lijkt haar ontstaan te danken hebben aan het verdwijnen van bossen op de plateaus. Hierdoor kwam een groter deel van het neerslagwater ten goede aan het grondwater en tot afstroming (hs. 2.2.1). De meeste hellingmoerassen hebben een kleine omvang, waardoor het waterherkomstgebied daarvan vaak een beperkte omvang heeft (hs. 5.5). De toegenomen bebossing in en direct rond hellingmoerassen kan op zich al een nadelige invloed hebben op de waterbalans, als gevolg van een groter verdampingsverlies, bijv. naaldhout (bijv. Carex-weide) of populieren. Inwaaiend bladafval kan ook de nutriëntenhuishouding beïnvloeden, zeker als het blad afkomstig is van populieren.

Aanplant van bos in aan te wijzen bufferzones die binnen de intrekgebieden liggen zal ook van invloed op de waterbalans kunnen zijn, indien het intrekgebied van het desbetreffende hellingmoeras beperkt is. De infiltratie van neerslagwater zou (weer) afnemen waardoor in dergelijke situaties de afstroming significant kan verminderen. Van meerdere hellingmoerassen is bekend dat ze tot in de tweede helft 20^e eeuw in agrarisch gebruik zijn geweest. Daarbij waren ook de hellingmoerassen die lang niet alleen als hooiland in gebruik zijn geweest zoals nu het geval is. Van meerdere plaatsen is bekend dat ze ook werden beweid (koeien, paarden) en zelfs werden bemest, zoals van Cottessen (ondanks het zeer natte karakter!), de Noorbeemden en de Hellebroekerbeemden bekend is. De erfenis daarvan kan nog lang aanwezig blijven en zich door vertalen in een verhoogde productiviteit van de vegetatie.

De kans op toenemende droogte als gevolg van klimaatverandering zal ook op de plateaus de vraag naar beregening (verder) doen toenemen. Dit kan ernstige gevolgen hebben voor de stabiele watervoorziening van de bron- en kwelzones op de dalflanken, zeker als die slechts over een klein intrekgebied beschikken.

7.3.2 Ontwatering

Ontwatering is een veel voorkomend verschijnsel in tal van natte ecosystemen. In alle onderzochte Zuid-Limburgse hellingmoerassen maar ook in tal van alluviale (bron)bossen zijn al dan niet vervallen afwateringsstructuren te vinden. Deels hebben die te maken met het voormalige gebruik als weide, hooiland of voor houtteelt. Dergelijke afwateringsstructuren kunnen een ongewenste ontwatering van het hellingmoeras te weeg brengen. Vooral in hellingvenen kan dat ook leiden tot veenerosie. Het (morfologisch) effect daarvan is goed waar te nemen op de Carex-weide (§5.3.2). Het doet zich echter ook voor in het Weverveen en is ook bekend van de Kathagerbeemden, waar in een ver verleden ooit drinkpoelen en greppels zijn gegraven. Een hedendaagse variant is de aanleg van amfibieënpoelen. Uit de literatuur is bekend dat, bij vergaande veenafbraak alleen nog (kalktuf) bronsystemen over blijven (Grootjans et al., 2005, 2012; De Mars et al., 2016). Wellicht heeft (een deel van) het huidige kalktufbronnencomplex bij Geulle/Moorveld ooit deel uitgemaakt van het toenmalige kalkmoeras aldaar (§2.2.3).

Vooral in drogere perioden hebben diep ingesneden beken op de dalvlakte een duidelijke invloed op de dynamiek van de grondwaterstand (zie bijvoorbeeld Papenbroek en Terworm). Tegenwoordig is vrijwel overal langs dergelijke beken steevast een droge oeverzone aanwezig omdat het afstromende grondwater uit het hellingmoeras daarvoor al infiltreert naar de diepliggende beek (§5.3.2; Bijlage B15.1; B15.2; B15.8).

Daarnaast moet ook de buisdrainage van (potentiële) drassige dalvlakten, bron- en kwelzones en wisselvochtige zones daarboven, worden genoemd. Het verschijnsel is van tal van plaatsen bekend, maar niet of nauwelijks gedocumenteerd. De vele nu bekende voorbeelden (bijvoorbeeld in het Gulpdal bij Billinghamuizen, Terziet maar ook aan de noordflank van het Noorbeekdal, in het Mechelderbeekdal, bij Einrade etc. (zie ook Fase 1), wettigen de stelling dat deze ontwateringsmethodiek overal in de wat

nattere delen van de Zuid-Limburgse beekdalen aanwezig is. Het resulteert in een versnelde afvoer van grondwater naar het oppervlaktewatersysteem.

Tot slot moeten lokale en regionale onttrekkingen van grondwater worden genoemd, hoewel de invloed daarvan op de hellingmoerassen vaak zal worden overschaduwd door de ontwateringssituatie in het aangrenzende landbouwgebied of de (te diepe) beek. Hierop zijn enkele uitzonderingen bekend. Tot voor kort lag het grootste veengebied van Zuid-Limburg, bij Voerendaal, binnen de invloedsfeer van enkele pompstations (§2.2.3). Daarnaast zijn er enkele (potentieel) interessante moerassen in het Eyserbeekdal, die binnen de invloedsfeer van het pompstation Roodborn liggen.

7.4 Vermesting van het grondwater

7.4.1 Herkomst

Het Zuid-Limburgse grondwater is vanaf 1970/80 vrijwel overal zwaar belast geraakt met nitraat, met in het kielzog daarvan ook sulfaat.

De huidige nitraat- (max. 257 mg/l) en sulfaatconcentraties (max. 170 mg/l) in het grondwater liggen tot een factor 5-10 hoger dan in de onbeïnvloede situatie. Een groot deel daarvan wordt vastgelegd in de terreinen. De oorzaak daarvan is terug te voeren op de overmatige bemesting in de landbouw. Onder de huidige vermeste omstandigheden fungeren de hellingmoerassen feitelijk niet alleen als nitraatwassers, maar ook als sulfaatwassers.

Een deel van het nitraat wordt in de ondergrond afgebroken maar resulteert daarbij in een hogere sulfaatvrucht en verharding van het grondwater (hs. 5.4; §6.1.2b). Alleen in gebieden met een extensiever grondgebruik zijn de nitraat- en sulfaatconcentraties in het grondwater dat de hellingmoerassen en bronnen voedt, lager.

Behalve een voeding vanuit de diepere ondergrond dringt er ook zeer oppervlakkig antropogeen belast grondwater de terreinen binnen, zoals dat wordt geïllustreerd door o.a. de EGV-profielen van het Papenbroek (Bijlage B15.1) en de Mechelderbeemden (Bijlage B15.2) maar ook bij de Carex-weide, Kasteelpark Elsloo en Weustenrade (respectievelijk Bijlage B15.3, B15.4; B15.5) dringt vervuild water ver door. De sulfaatgehalten zijn hierbij aan de bovenrand van de terreinen steevast het hoogst, maar aan de onderrand het laagst. In het diepere grondwater dat in sommige terreinen, vooral rond het Centraal Plateau (Schimmert), omhoog komt, zoals op de Carex-weide en in het Weverveen, is het nitraatgehalte vaak zeer hoog (Bijlage 13). In de regel wordt dat nitraat binnen de terreinen afgebroken of opgenomen in de biomassa, maar ook sulfaat wordt vaak vastgelegd in de ondiepe ondergrond (zie §7.4.2). Deze processen gaan gepaard met afbraak van organische stof. Naast verlies van organische stof komen hier ook nutriënten bij vrij, wat zorgt voor een extra nutriëntenbelasting.

7.4.2 Verstoring kalktuf- en pyriethuishouding

Op het eerste gezicht zou verwacht mogen worden dat dankzij het ijzerhoudende maar ook door het vaak zeer kalkrijke karakter van bodem en grondwater en de actieve kalktufvorming in veel hellingmoerassen de fosfaatbeschikbaarheid aan banden zou worden gelegd. Echter, slechts in twee van de acht onderzochte hellingmoerassen blijkt daadwerkelijk sprake van P-beperking. Zelfs het meest kalkrijke (kalk)moeras, Weustenrade, is tegen de verwachting in, stikstof beperkt. De oorzaak lijkt daarvoor deels te moeten worden gezocht in de pyrietopbouw in de ondiepe ondergrond in afwezigheid van kalk (kalktufvorming vindt hoger in het profiel plaats, aan maaiveld. Met uitzondering van de fossiele voorkomens bij Weustenrade (Bijlage B9.5) is de pyrietvorming elders toegenomen (en daarmee de potentiële P-beschikbaarheid) onder invloed van de sterke stijging van de sulfaatgehalten in het grondwater, een direct resultaat van de hoge stikstof belasting vanuit de landbouw. Daarnaast kunnen echter ook wel lokale bronnen een rol spelen (binnendringen van P-verrijkt water, voormalige bemesting; P-rijke organische stof).

8 Uitbreidingsmogelijkheden en herstel

8.1 Uitbreidingsmogelijkheden

8.1.1 Inleiding

In het voorgaande zijn zowel de historische verspreiding als hydrologische standplaatsvereisten van het Kalkmoeras de revue gepasseerd. Wat betreft hydrologische systeemkenmerken in kwantitatieve zin gelden weinig beperkingen (hs. 5.3). Ook qua bodemtype blijkt het Kalkmoeras zowel op minerale bodem als op veen voor te kunnen komen. Gerichte natuurontwikkeling biedt daardoor mogelijkheden zoals de onbedoelde ontwikkeling van Kalkmoeras bij Weustenrade en in de Curfsgroeve al hebben laten zien. De ervaringen met deze twee terreinen maken ook duidelijk dat de ontwikkeling richting H7230 Kalkmoeras snel op gang komt (in het bijzonder het *Carici flavae-Cratoneuretum*). Ook herstel vanuit een voorheen danig verboste situatie biedt perspectief getuige de ontwikkelingen op de Carex-weide sinds ca 1985, al vergt deze route wellicht meer geduld.

Hoewel het aan de basenrijkdom van de potentiële standplaatsen doorgaans niet zal liggen (hs. 5.2; 5.4) is het op voorhand echter minder goed vast te stellen in hoeverre de overige standplaatsvereisten op die locaties op orde zijn of relatief eenvoudig op orde te brengen zijn. Dit gezien de soms grote antropogene invloed op de hellingmoerassen. Dit zal, indien de mogelijkheden zich voordoen, nader moeten worden verkend (zie ook §8.2.1). Hieronder worden kort de diverse kansrijke zoekgebieden beschreven (Figuur 8.1; zie ook Figuur 2.6).

8.1.2 Zoekgebieden voor uitbreiding

Vanuit bos op veen/moerige bodems

Locaties die tegenwoordig onder bos liggen, op veen of moerige bodems waar in het verleden Kalkmoeras of elementen daarvan zijn aangetroffen behoren tot de meest kansrijke locaties. Deze terreinen zijn doorgaans niet of nauwelijks direct belast geraakt door agrarisch gebruik. Daarbij kunnen de doelsoorten zich wellicht deels uit de zaadbank opnieuw vestigen, zoals de ervaringen bij Weustenrade hebben geleerd. Het gaat dan om de volgende nog bestaande locaties:

- Roode beekdal: (Etzenrade - Jabeek)
- Flank Bunder- en Elslooërbos (o.a. Weverveen, Bloemberg, Snijdersberg),
- Omgeving Voerendaal
- Weustenrade (dalflank)
- Kathagerbroek (noordflank)

De twee laatstgenoemde locaties Weustenrade en Kathagerbroek sluiten (vrijwel) aan op de bestaande locaties met goed ontwikkeld Kalkmoeras, waardoor de kansrijkdom van deze locaties vrij hoog wordt geacht. Te meer interessant omdat rond Kathagenbroek zo een klein kerngebied kan ontstaan in combinatie met enkele andere nabijgelegen terreintjes met potenties (zie onder).

Een aantal van de hierboven genoemde potentiële locaties liggen in N2000 gebied. Hierbij kan zich een knelpunt voordoen met eerder aangewezen habitattypen en/of

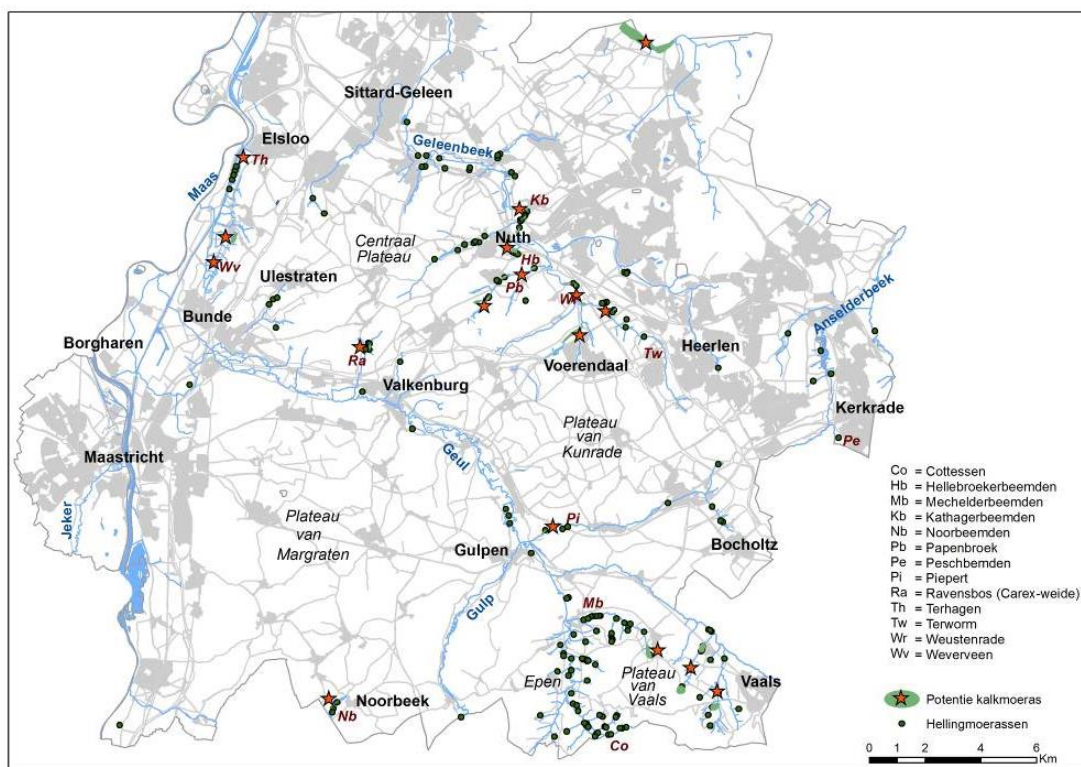
leefgebieden van aangewezen soorten (bijv. Zeggenkorfslak) en daarvoor geldende instandhoudingsdoelen.

In het Roode beekdal kwamen eertijds tal van bijzondere soorten voor (§2.2.3). Een deel van deze beekdalgronden waren begin vorige eeuw al danig verbost. Tot op heden staat een groot deel daarvan nog steeds als bos op de kaart.

Op de steile dalflank van het Maasdal kwam in het Bunder- en Elslooërbos op een aantal plaatsen ook kalkmoeras voor (§2.2.3). Deze terreintjes worden tegenwoordig vrijwel allemaal door bos ingenomen. Aan de voet van de Bloemberg (Moorveld) is, enige jaren geleden, een klein deel open gekapt, maar hier wordt voor zover bekend verder geen maai-beheer gevoerd. De verwachting is dat de watervoorziening en waterkwaliteit van de bron- en kwelzones in deze omgeving de komende jaren zal verbeteren (In gebruikname infiltratievoorzieningen Vliegveld).

Het vrijstellen van het Weverveen biedt eveneens perspectief op Kalkmoeras, mogelijk zelfs in de vorm van het kalkarmere *Campylio-Caricetum dioica* (Associatie van Vetblad en Vlozegge). Dit mede gezien het historisch - en actueel voorkomen van enkele indicatoren in de naaste omgeving (§2.2.3: Bijlage B3.8). De (nitraat)belasting is hier lager dan op de Carex-weide. Daarnaast kenmerkt de standplaats zich al als P beperkt. Het vrijstellen van bos zal de waterhuishouding van het veen verbeteren. De bereikbaarheid van het veen is echter lastig.

In de omgeving van Voerendaal liggen nog altijd veenvoorkomens, die ooit plaats boden aan een bijzondere kalkmoerasflora (§2.2.3). Een tweetal waterwinningen dat hier in de nabijheid actief was, is geruime tijd geleden gesloten. Bij kasteel Haeren en Cortenbach liggen wellicht mogelijkheden om door gerichte natuurontwikkeling kalkmoeras te ontwikkelen.



Figuur 8.1: Kansrijke locaties voor uitbreiding en herstel van kalkmoeras
Figure 8.1: Potentially favourable locations for restoration and redevelopment of Calcareous spring fed fens.

Bij Weustenrade liggen op en aan de voet van de dalflank nog mogelijkheden. Tegen de helling ligt hier nog een verbossend deel van een voormalig hellingmoeras. Vrijstellen van bos en in maaibeheer nemen biedt hier op termijn kansen voor verdere ontwikkeling van het hele hellingmoeras. Ook een bovenliggende, recent uit het reguliere beheer gehaalde weide kan aan de voet worden omgevormd (terrein is hier waarschijnlijk opgehoogd). Hogerop liggen kansen voor extensieve bloemrijke hooilanden en dragen daarmee bij aan een verbetering van de waterkwaliteit. Direct ten zuiden van het bestaande kalkmoeras liggen nog natte moerasruigten tegen een extensief beheerde helling. Er ligt daar ook nog een oud depot dat door afgraving voor een verruiming van het huidige veentje kan zorgen. Daarmee kan hier een meer samenhangend complex worden ontwikkeld. De afgraving zal waarschijnlijk niet dieper hoeven te gaan dan tot op de onderliggende fossielhoudende klei, zodat dit bodemarchief niet wordt aangetast.

Aan de noordostrand van het Kathagerbroek, liggen op de verboste flank in aansluiting op de oostelijker liggende beemden nog mogelijkheden. Ook in het Ravensbos liggen aansluitend aan de noordrand van de bestaande weide mogelijkheden om Kalkmoeras te ontwikkelen.

Vanuit grasland op minerale bodem

Het aantal kansrijke locaties om kalkmoerassen te ontwikkelen is aanzienlijk. Echter, succes is niet bij voorbaat te garanderen, zoals hiervoor al gemeld is de antropogene invloed vaak groot (egalisaties, verstoorde P-huishouding). In de meeste gevallen zal daarom, in meer of mindere mate, grondverzet nodig zijn.

Het gaat om de volgende nog bestaande locaties:

- Roode beekdal: (Etzenrade-Jabeek)
- Omgeving Voerendaal
- Boven Geleenbeek (dalflank)
- Kathagerbroek-Nuth (Hellebroekerbeemden)
- Hulsbergerbeekdal (Nijthuyzen, Papenbroek)
- Cartils
- Noordelijke dalflank Noorbeemden
- Plateau van Vaals
- ENCI groeve

Naast de bestaande boslocaties in Roode beekdal kunnen ook de overige beekdalbeemden in ogenschouw worden genomen, bijvoorbeeld in de naaste omgeving van het Moesdistel perceel nabij de Roermolen (§2.2.3). Verder is bekend is dat delen van het dal tijdens de ruilverkavelingen zijn opgehoogd (Stiboka 1970). Mogelijk biedt dat bedolven profiel kansen.

Het voorgaande geldt ook voor de beekdalbeemden langs de Hoensbeek bij Voerendaal, tussen Hoenshuis en Kasteel Puth. Dit dal maakte ooit deel uit van het eerdergenoemde veengebied met kalkmoeras (§2.2.3). Het gebied is nog altijd zeer kalkrijk.

In het Boven-Geleenbeekdal tussen Terworm en Brommelen moeten in aansluiting op de ontwikkeling bij Weustenrade, ook mogelijkheden zijn voor de ontwikkeling van Kalkmoeras. Grondverzet (net als bij Weustenrade) zal daarvoor wel noodzakelijk zijn. Enerzijds omdat veel drassige plekken zullen zijn dichtgeschoven, om drainagesystemen te verwijderen en vooral om de zwaar geëutrofiëerde bovengrond af te voeren.

Ook in het Kathagerbroek en bij Nuth (Hellebroekerbeemden) zijn kansrijke locaties te vinden. Zuidelijk aansluitend op het bestaande hellingmoeras ligt bijvoorbeeld een extensief gebruikt perceeltje (paardenweitje) dat veel perspectief lijkt te bieden voor de ontwikkeling van Kalkmoeras. Zo zou in en rond het Kathagenbroek een klein kerngebied kunnen ontstaan.

In het Hulsbergerbeekdal (Nijthuyzen, Papenbroek-Swier) liggen verschillende beemden met kalkmoerasindicaties. Die voor een verdere optimalisatie in aanmerking komen. Ten noorden van Nijthuyzen ontspringt een zijtak van de Hulsbergerbeek in een grotendeels dichtgeschoven en gedraineerd maar kalkrijk brongebied.

In het mondingsgebied van de Eyserbeek bij Cartils liggen bedolven veenlagen en kalktufafzettingen. Na gerichte natuurontwikkeling, met grondverzet, kan hier wellicht weer Kalkmoeras tot ontwikkeling worden gebracht. Ook het kleine populierenbosje ter plaatse zou hierbij kunnen worden betrokken.

Aan de noordrand van Noorbeemden dagzoomt een watervoerende kalksteen-formatie, Daardoor is het waterregime hier in beginsel voldoende stabiel (in tegenstelling tot de zuidflank: hs. 5.3). Het voormalige grondgebruik is echter nogal intensief geweest zodat de natte locaties, ondanks een jarenlang hooibeheer nog altijd een productief karakter dragen. Grondverzet zal nodig zijn. Daarnaast zit op veel plaatsen nog buisdrainage in de grond. Het verwijderen daarvan verdient prioriteit. Hogerop de helling is het grondgebruik al geruime tijd geleden geëxtensiverd zodat de kwaliteit van het oppervlakkig afstromende water beter zal worden. Hiermee ontstaat een kansrijk, samenhangend complex van droge en natte open terreinen.

Vooraf op de Noordflank van het Plateau van Vaals zijn ook verspreid kansrijke locaties aanwezig op plaatsen waar kalksteen dagzoomt (Vijlen, Einrade, Lemiers; Vaalsbroek-Meelenbroek). Ter plaatse of in de directe nabijheid daarvan, kunnen in navolging van de Noorbeemden ook kansen op Kalkmoeras (in aansluiting op het historisch voorkomen) worden verzilverd.

In de ENCI-groeven lijken zich, nu de afwerking meer en meer gestalte krijgt, op meerdere plaatsen grote kansen voor te doen voor kalkmoeras-ontwikkeling in de zin van H7230. De uitgangssituatie is hier gewoonlijk uitstekend omdat de vervuilinginvloed hier veel beperkter is dan elders in Zuid-Limburg. Op enkele plaatsen treedt hier ook kalktufvorming op. De situatie in de Curfsgroeven kan hierbij als inspiratie dienen.

De inspanningen moeten zich hier bij de verdere afwerking richten op de ontwikkeling van locaties met een zo stabiel mogelijke waterregime. Nu al zijn in de groeven enkele plaatsen aanwezig die in dit verband uitermate kansrijk ogen (o.a. Oehoevallei) en waarschijnlijk slechts een beperkte ecohydrologische en micromorfologische optimalisatie vergen. Het probleem van dispersie is hier wel evident.

In andere groeven is vrijwel nergens sprake van vrijwel permanent toestromend grondwater, zodat de ontwikkeling van Kalkmoeras hier twijfelachtig is. Buiten de bestaande bron- en kwelzones aan de zuidzijde van de Curfsgroeven, lijkt verder weinig perspectief voor dit habitatype.

Voor de gebieden in het Anselderbeekdal – Cranenweijer is het perspectief lastiger te schetsen. De condities lijken hier doorgaans te mineraalarm voor het kalkrijke *Carici flavae-Cratoneuretum* (Schubzegge- associatie). Misschien zijn er lokaal mogelijkheden voor de ontwikkeling van *Campylio-Caricetum dioica* (Associatie van Vetblad en Vlozegge), zoals in de omgeving van / grenzend aan de nog bestaande blauwgraslandachtige hellingmoerasjes.

8.2 Herstelmaatregelen

8.2.1 Stappenplan

Met het onderstaand stappenplan wordt beoogd een globale handreiking te bieden voor de ontwikkeling dan wel het herstel van Kalkmoeras en haar naaste omgeving:

- Identificeer kansrijke terreinen, d.w.z. hele gradiënt (zie hierboven, hs 8.1):
- Identificeer binnen de gradiënt de zone(s) met het geschikte waterregime; hier komt het zwaartepunt te liggen wat betreft het herstel (Vereiste: grondwater-stand <25 cm onder maaiveld)
- Identificeer belastingsgraad van grondwater (bijv. EGV profiel, chemische analyse)
- Vaststellen kalk-pH profiel (Vereisten: >2% CaCO₃ in bodem; pH_{CaCl2} = >6,5 Verdeling kalk en pyriet in profiel)

- Bepalen P-huishouding van de bodem ter plaatse (Vereiste: zie Tabel 8.1)
- Toets morfologische geschiktheid (steilheid – gevoeligheid erosie) voor ingrepen.
- Herstel waterhuishouding: verwijderen/blokkeren drainagemiddelen
- Afplaggen/Grondverzet (indien actueel biomassa productie >>450 g/m²)
- Start vervolgbeheer afgestemd op de draagkracht van het terrein.

Tabel 8.1: Vereisten voor de P-toestand (0-30 cm) voor Kalkmoerasvegetaties sensu H7230 (incl. mozaïeken) op kalkhoudende en kalkloze bodems.

Table 8.1: Soil-P requirements (0-30 cm) for H7230 Alkaline fens and related mosaics on calcareous and non calcareous soils.

Kalkhoudend (CaCO ₃ >2%)	(Vrijwel) Kalkloze bodems*
$P_w < 5$ (10**) mg/l ds	$3,3 \text{ mg/l} > P_w < 5 \text{ mg/l ds}$
$P\text{-Olsen} < 400 \mu\text{mol}$	$PSI < 0,05$
$P_{ox} < 7 \text{ mmol/kg dr grond}$	

* Voor het *Campylo Caricetum dioica* (bron: Landschapsleutel)

**Voor kalkhoudende natte venige bodems. Een deel het organisch vastgelegde fosfaat kan tijdens analyse toch worden opgelost (zie §5.2.5)

8.2.2 Hydrologische maatregelen

- Opkopen en inzetten op verschravingsbeheer van de intrekgebieden, primair gericht op het verbeteren van de grondwaterkwaliteit. Bestaande open terreinen mogen niet worden omgevormd tot bos (met oog behoud van de grondwateraanvulling (§2.2.1)).
- Op de plateaus, het afremmen van piekafvoeren door compartimentering van het landschap (bocage-landschap): Herstel graften en (hout)wallen met oog op het indammen van de run-off en erosie tijdens zware neerslag-incidenten én ter versterking van de grondwateraanvulling, vooral in de delen die binnen het intrekgebied liggen.
- Opvullen diep ingesneden beekbeddingen: Veel hellingmoerassen hebben last van de drainerende werking van diep ingesneden beken. Indien dit ook de kansrijke zones beïnvloedt, verdient de opvulling van de bedding(en) hoge prioriteit.
- Afstoppen greppels: In veel hellingmoerassen komt begreppeling voor als onderdeel van het voormalige landbouwkundig gebruik. Deze zorgen voor een oppervlakkige verdroging. Die oude greppeltjes snijden zich soms ook diep in en kunnen in veenterreinen aanleiding geven tot veenerosie (bijv. Carex-weide). Echter, langs deze greppels hebben zich soms bijzondere levensgemeenschappen gevestigd/teruggetrokken. Met het behulp van een serie boomstammetjes en/of plaggen kan de drainerende werking al worden teruggebracht. Het systeem daarachter vult zichzelf langzaam op. Na een aantal jaren kan deze handeling eventueel worden herhaald. Het kan bovendien met de hand worden uitgevoerd, zodat het gebruik van zwaar materieel in dit soort terreinen overbodig is.
- Graven van poelen en greppels moet worden voorkomen, omwille van de verstoring van de waterhuishouding (drainerende werking, verstoring gradiënten).

8.2.3 Inrichtingsmaatregelen

Een aantal van de hieronder voorgestelde (her)inrichtingsmaatregelen kan binnen N2000-gebieden een knelpunt zijn. Ter plaatse kunnen al andere Habitattypen zijn aangewezen of het beoogde ingreepgebied kan deel uitmaken van leefgebieden van beschermde soorten. Dit vraagt om een zorgvuldige afweging en inpassing van maatregelen.

- Ontbossen geschikte of historische locaties, danwel het verruimen van bestaande locaties: Het Kalkmoeras neemt vaak kleine zones in. Om die ecohydrologisch goed te laten functioneren is het noodzakelijk ze in een grotere samenhang te kunnen beheren (interne gradiënt ontwikkeling). Het draagt bij aan een beperking van de eutrofiëring door inwaaierend blad en strooiselophoping (vooral wilgen en populieren!) en overmatige beschaduwing en verdroging door vochtonttrekking door het geboomte.
- Ontgraven opgehoogde/geëgaliseerde percelen: Veel voormalige agrarische percelen in beekdalen, zijn in het verleden dichtgeschoven en/of opgehoogd. Op het AHN zijn deze locaties soms goed te zien door hun abrupte reliëfsprongen en hoekige vormen (bijv. Mechelderbeekdal). Het oorspronkelijke maaiveldniveau zou uitgangspunt voor de natuurontwikkeling moeten zijn. Wel moet de P beschikbaarheid dan nader onderzocht worden. Zorg voor een hooguit oppervlakkige afwatering over maaiveld.
- Plaggen zode: In bepaalde, al langer extensief gehooide terreinen kan de bovengrond net te voedselrijk zijn door de voorafgaande periode van agrarisch gebruik. Bij gebleken geschiktheid van de standplaats kan door oppervlakkig plaggen de potentie sterk worden vergroot. Wel dient hierbij nadrukkelijk het reliëf (hellingshoek) te worden betrokken. Op te steile plaatsen moet worden overwogen om te plaggen in smalle stroken parallel aan de hoogtelijnen. Dit beperkt het potentieel net drainerende effect van deze iets verlaagde zone als het grondwater daar gewoonlijk toch al tot in maaiveld staat. Daarmee wordt tevens de kans op erosie op de plagstrook door de (tijdelijk) verminderde ruwheid, voorkomen.
- Inzaaien/enten: Goed ontwikkeld Kalkmoeras is zeer zeldzaam in Zuid-Limburg, (vier ver uiteenliggende, geïsoleerde locaties) zodat een natuurlijke dispersie nihil mag worden verondersteld. Daarnaast beschikken niet alle soorten over een langlevende zaadvoorraad. Indien na één groeiseizoen een groot deel van de kenmerkende soorten niet is teruggekeerd (uitgezonderd typische windverspreiders als orchideeën en mossen), wordt geadviseerd via het opbrengen van maaisel de soortensamenstelling aan te vullen. Bekalking is in dit type basenrijke milieus niet aan de orde.
Binnen Zuid-Limburg zijn weinig terreinen geschikt als zadenbron. Het valt te overwegen een hooimengsel te maken afkomstig van de Carex-weide, Kathagerbeemden, Weustenrade en Curfsgroeve. Het valt daarnaast te overwegen om in het nabije buitenland hooi te winnen (Kalk-Eifel: Ripsdorf, Blankenheim, Nettersheim) van goed ontwikkelde zeer kalkrijke locaties. Aanvoer vanuit Noord-Nederland ligt minder voor de hand, gezien het afwijkende karakter van de (veen)vegetaties aldaar.
- Doorbreken verstarring: Kleinschalige verstoringen ('wroetplekken') kunnen (weer) een geschikt kiemingsmilieu bieden voor kalkmoerasplanten binnen een zich ontwikkelend Kalkmoeras op zowel moerige als minerale bodems waarvan de zode zeer dicht begroeid is geraakt (bijv. dicht mostapijt). De omvang kan beperkt blijven tot orde van 1-2 m². Als voorbeeld kan de kalktufbron op de Carex-weide dienen. Frequentie: orde 1x per 5 jaar.
- Beheer: Van bos vrijgestelde Kalkmoerasen op veenbodems dienen direct vanaf het begin in maaibeheer te worden genomen (voorzomer-maaien; d.w.z. voor 10 juli). Met voorzomer-maaien zijn in Vlaanderen goede ervaringen

opgedaan (persoonlijke mededeling J. Dewyspelaere (Natuurpunt): Indien de biomassaproductie hoog is, is het aan te bevelen de eerste jaren ook in het najaar te maaien. Het hooi moet worden afgevoerd en zeker niet bovenstrooms in bosranden worden verwerkt (verruiging en afspoeling). Voor nieuw ontwikkelde Kalkmoerassen op minerale bodems geldt een voorkeur voor voorzomer-maaibeheer. Als de standplaatscondities op orde zijn, zal de vegetatieontwikkeling op de nieuwe locaties aanvankelijk traag verlopen. Het maaibeheer zou hier dan de eerste jaren (>3-5 jaar) nog achterwege kunnen blijven. Op minerale bodems lijkt extensieve begrazing, ieder geval in de beginperiode, de ontwikkeling van Kalkmoeras zeker niet in de weg te staan (zie ervaringen in de Curfsgroeve).

- Wat betreft bestaande kalkmoeras-vegetaties wordt ook voorzomer-maaien aanbevolen. Momenteel wordt de Carex-weide in de nazomer gemaaid (september). Papenbroek idem, maar Weustenrade en Terworm zijn de afgelopen jaren pas in het late najaar gemaaid. In voorkomende gevallen vraagt de aanwezigheid (en het behoud) van de specifieke bosplanten in bepaalde helligmoerassen hier wellicht nog wel om een nadere optimalisatie van dit vervroegde maaitijdstip. (De Veldrusbeemd-vegetaties van de Mechelderbeemden en de Noorbeemden worden twee maal per jaar gemaaid, omstreeks juni en in de nazomer).



Figuur 8.2: Voorzomermaaien op de Mechelderbeemden.

Figure 8.2: Mowing of the Mechelen Meadows early summer.

9 Literatuur

- Appelo, C.A.J. & D. Postma (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema Publ., Rotterdam.
- Berendsen, F. (2004). *De vorming van het land, inleiding in de geologie en de geomorfologie* (4e druk). Koninklijke Van Gorcum.
- Bink, F.A. (1992). *Ecologische atlas van de dagvlinders van Noordwest Europa*. Haarlem: Schuyt & Co.
- Bos, F., M. Bosveld, D. Groenendijk, C. van Swaay, I. Wynhoff & De Vlinder-stichting (2006). *De dagvlinders van Nederland: verspreiding en bescherming (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea)*. Nederlandse Fauna 7 - Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, Leiden; KNNV Uitgeverij, Utrecht & European Invertebrate Survey-Nederland, Leiden.
- Boxma, R., (1972). Bicarbonate as the most important soil factor in lime-induced chlorosis in the Netherlands. *Plant & Soil* 37(2): 233-243.
- Bus, S. (2011). *Hydrologische systeemanalyse hellingveen Kathagerbroek in Zuid-Limburg*. MSc rapport Universiteit Wageningen.
- Bus, S., G. van Dijk, F. Smolders & N. Straathof (2015). De Kathager Beemden geohydrologisch onder de loep. *Natuurhistorisch Maandblad* 104(2): 30-35.
- Camping, M.W. (1951). Vindplaatsen van Lepidoptera. *Entomologische Berichten (Amsterdam)* 13(310):2.
- Cortenraad, J. (1987). Uit de flora van Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 76: 154-156.
- Cortenraad, J. (1988). Uit de flora van Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 77: 43-46.
- Cozzi, G., C.B. Müller & J. Krauss (2008). How do local habitat management and landscape structure at different spatial scales affect fritillary butterfly distribution on fragmented wetlands? *Landscape Ecology* 23(3): 269-283.
- Dellwig, O., F. Watermann, H. J. Brumsack, G. Gerdes & W. E. Krumbein (2001). Sulphur and iron geochemistry of Holocene coastal peats (NW Germany): a tool for palaeoenvironmental reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology* 167: 359-379.
- De Mars, H., M.J. Wassen & W.H.M. Peeters (1996). The effect of drainage and management on peat chemistry and nutrient deficiency in the former Jegrzina floodplain (N.E. Poland). *Vegetatio* 126(1): 59-72.
- De Mars, H., C.R van Gool, C. van Tijen (1998). *Ecohydrologische Atlas van Limburg 1989-1996*. Band I+II, Provincie Limburg, Maastricht.
- De Mars, H., P. Stofmeel, E.W.J.M van Rijsselt (2009). *Antropogene invloeden en systeemanalyse Natura2000-gebied Bunder- en Elsloërbos*. Royal Haskoning, 9V3983, Maastricht.
- De Mars, H. (2010). Het Bunder- en Elsloërbos sinds 1800. Veranderend gebruik, veranderend landschap: pp. 270-291. In: F. Coolen et al.(red), *Limburgse natuur in een veranderend landschap, 100 jaar Natuurhistorisch Genootschap in Limburg*. Stichting Natuurpublicaties Limburg, Maastricht.
- De Mars, H., J. Schunselaar & J. Schaminée (2012). *Ecohydrologie van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen Fase1; inventarisatieatlas van vegetatie bodem en*

- grondwaterkwaliteit. Rapportnr. 2012/OBN159, Directie Kennis en Innovatie Min. EL&I., Driebergen.
- De Mars, H. & F. Smolders (2014). Debiet- en nitraatmetingen in het Natura2000-gebied Bunder- en Elsloërbos. Rapport BD4326. Royal HaskoningDHV / B-WARE, Maastricht.
- De Mars, H., B. van Delft, E.J Weeda & J.H.J. Schaminée (2015). Nitraatbelasting van de Zuid-Limburgse hellingmoerassen. Themanummer Heuvellandschap. *De Levende Natuur* 116(6): 283-288 / *Natuurhistorisch Maandblad* 104(12): 255-260.
- De Mars, H., B. van der Weijden, G van Dijk, F. Smolders. A. Grootjans & L. Wołejko (2016). Towards threshold values for nutrients; Petrifying springs in South Limburg in Northwest European context. Report OBN2016/210-HE, VBNE, Driebergen.
- De Mars, H., B. van Delft & E.J Weeda (2017a). Bruin cypergras; onbestendig maar honkvast in een kalkrijk heuvellandschap. *Natuurhistorisch Maandblad* 106(4): 79-86.
- De Mars, H., A.J.P Smolders & B. van der Weijden (2017b). Kalktufbronnen en kalkmoerassen in Limburgse N2000-gebieden. Rapport BE5763. Royal HaskoningDHV / B-WARE, Maastricht
- De Moor J.J.W. (2006). Human impact on Holocene catchment development and fluvial processes – the Geul river catchment, SE Netherlands. Thesis Vrije Universiteit Amsterdam.
- De Mulder, E. F. J., M. C. Geluk, I. Ritsema, W. E. Westerhoff & T. E. Wong (2003). De ondergrond van Nederland. Geologie van Nederland, deel 7. Utrecht, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- De Vries, D.M., M.L. 't Hart & A.A. Kruijne (1942). Een waardering van grasland op grond van de plantkundige samenstelling. *Landbouwkundig tijdschrift* 54: 245-265.
- De Waal, R. W. & S. P. J. van Delft, 2014. Bodemonderzoek Liefstingsbroek; Ecopedologisch en bodemchemisch onderzoek voor maatregelen tegen de effecten van stikstofdepositie. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2580.
- De Wever, A. (1912-1923). Lijst van wildgroeiende en eenige gekweekte planten in Zuid-Limburg I – XI. *Jaarboek van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg* 1911 - 1923.
- De Wever, A. (z.j.). Manuscript-aantekeningen betreffende de flora van Zuid-Limburg. Manuscript in Natuurhistorisch Museum, Maastricht.
- Dennis, R.L.H., T.G. Shreeve & H. van Dyck (2003). Towards a functional resource-based concept for habitat: a butterfly biology viewpoint. *Oikos* 102: 417-426.
- Dennis, R.L.H., T.G. Shreeve & H van Dyck (2006). Habitats and resources: The need for a resource-based definition to conserve butterflies. - *Biodiversity and Conservation* 15: 1943-1966.
- Dierssen, K. & B. Dierssen (2001). Okosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht; Moore. Verlag Eugen/Ulmer GmbH & Co, Stuttgart.
- Diriken, P. (1982). Postglaciale paleo-ecologische evolutie van de Molenbeek Mombeekvallei (Belgische Haspengouw). *Natuurhistorisch Maandblad* 71(1): 8-18.
- Dumoulin L.J.G., 1868. Guide du Botaniste dans les environs de Maestricht, ou indication des phanérogames et des cryptogames vasculaires croissant spontanément dans ces environs. Ch. Hollman, Maestricht
- Ebert, G. & E. Rennwald (red.). (1991). Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 1: Tagfalter I. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Eur28, 2013. Interpretation Manual of European Union Habitats - EUR 28, European Commission, DG Environment, Brussels.
- European Union, 2016. European Red List of habitats, 2: Terrestrial and freshwater habitats. Publication Office of the European Union, Luxemburg.

- Fischer, K., (1998). Population structure, mobility and habitat selection of the butterfly *Lycaena hippothoe* (*Lycaenidae: Lycaenini*) in Western Germany. – *Nota lepidopterologica* 21(1): 14-30.
- Fischer, K. & K. Fiedler (2001). Spatio-temporal dynamics in a population of the copper butterfly *Lycaena hippothoe* (*Lycaenidae*). *Nota lepidopterologica* 24(3): 77-86.
- Franco, A.M.A., J.K. Hill, C. Kitschke, Y.C. Collingham, D.B. Roy, R. Fox, B. Huntley, & C.D. Thomas (2006). Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries. – *Global Change Biology* 12: 1545-1553.
- Fric, Z., V. Hula, M. Klimova, K. Zimmermann & M. Konvicka (2010). Dispersal of four fritillary butterflies within identical landscape. *Ecological Research* 25(3): 543-552.
- Gorissen, M.M.J., W.M.J. Evers & V. Westhoff (1983). Vochtige graslanden aan de voet van de beboste Maasdalhelling tussen Elsloo en Geulle. *Natuurhistorisch Maandblad* 72: 116-122.
- Grootjans, A., A. Alserda, R. Bekker, M. Janaková, R. Kemmers, M. Madaras, V. Stanova, J. Ripka, B. van Delft & L. Wolejko (2005). Calcareous spring mires in Slovakia; Jewels in the crown of the Mire Kingdom. *Stapia* 85. *Landesmuseen Neue Serie* 35: 97-115.
- Grootjans, A.P., E.B. Adema, W. Bleuten, H. Joosten, M. Madaras & M. Janakova (2006). Hydrological landscape settings of base rich fen mires and fen meadows; an overview. *Applied Vegetation Science* 9: 175-184.
- Grootjans, A., V. Sefferiva Stanova & A. Jansen (ed.) (2012). Calcareous mires of Slovakia, landscape setting management and restoration prospects. KNNV Publishing, Zeist.
- Gubbels, R.E.M.B., J.T. Hermans & R.F.M. Krekels, 1995. De Zuidelijke Oeverlibel na 93 jaar weer in Nederland. *Natuurhistorisch. Maandblad* 84(12): 284-290.
- Haartsen, A.J., S.R.J. Jansen & A.F. Meuleman (1989). Landinrichting Centraal Plateau, advies natuur, landschap en cultuurhistorie. Natuurbeschermingsraad, Utrecht
- Hájek, M., M. Horsák, P. Hájková & D. Díte (2006). Habitat diversity of central European fens in relation to environmental gradients and an effort to standardise fen terminology in ecological studies. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 8: 97-114.
- Hájková, P, M. Horsák & M. Hájek (2012). Late Glacial and Holocene history of the Western Carpathian calcareous fens. In: Grootjans et al. (ed.) Calcareous mires of Slovakia, pp. 13-20. KNNV Publishing, Zeist.
- Hendrix, P.A.M. & C.R. Meinardi (2004). Bronnen en bronbeken van Zuid-Limburg; kwaliteit van grondwater, bronwater en beekwater. RIVM rapport 500003003, De Bilt.
- Hermans, J.T., H. Hillegers, P. Spreuwenberg & W. de Veen (1983). De Peschbeemden, een onbekend hellingveentje. *Natuurhistorisch. Maandblad* 72(10/11): 237-241.
- Hermans, J.T. & P. Spreuwenberg (2015). De Zeggen van Limburg. Stichting Natuurpublicaties, Maastricht.
- Hilgers, J.H.M. (1972). De achteruitgang van de *Orchidaceae* in Limburg XII. *Natuurhistorisch Maandblad* 61(4): 54-56.
- Hill, M.O., & H.G. Gauch jr. (1980). Detrended Correspondence Analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42(1-3): 47-58.
- Hilligers, H. (1998). Een vegetatiereconstructie van de Meessenerhei. *Natuurhistorisch Maandblad* 87(11): 254-262
- Hommel, P.W.F.M. (2004). Ravensbos en Kloosterbosch. In: P.W.F.M. Hommel & M.A.P. Horsthuis (red.). Excursieverslagen 2000. Plantensociologische Kring Nederland, Wageningen, pp. 20-23.
- Jagers op Akkerhuis, G. A. J. M., S. P. J. van Delft, H. P. J. Huiskes, F. P. Sival, A. C. Corporaal & W. A. Ozinga (2013). Graslanden en moerassen in het zeeklei-landschap;

- Een inventarisatie van knelpunten, succesfactoren en kennislacunes. Den Haag, Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken. OBN-rapport 2013/OBN172-LZ.
- Jamrichová, E., P. Hájková, M. Horsák, E Rybníčková, A. Lacina & M. Hájek (2014). Landscape history, calcareous fen development and historical events in the Slovak Eastern Carpathians. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23: 497-513.
- Janssen, C.R. (1960). On the Lateglacial and Postglacial vegetation of South Limburg. (Netherlands). *Wentia 4: 1-112*.
- Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, M. Madaras, M. Hoosbeek, J. Vos, N. van Breemen (2004). Ecopedological explorations of three calcareous rich fens in the Slovak Republic. Alterra, Green World Research. Alterra-rapport 887. Wageningen.
- Kemmers, R. H. & S. P. J. van Delft (2007). Stikstof-, fosfor- en kaliumbeschikbaarheid en kritische depositiewaarden voor stikstof in korte vegetaties. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 1598.
- Kemmers, R., J. Bloem & J. Faber (2010). Bodembiota en stikstofstromen in schraalgraslanden; Effecten op de vegetatie. Wageningen, Alterra-Wageningen-UR. Alterra-rapport 1979.
- Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, M.C. van Riel, P.W.F.M. Hommel, A.J.M. Jansen, B. Klaver, R. Loeb, J. Runhaar & H. Smeenge (2011). Landschapsleutel; Leidraad voor natuurontwikkeling. Alterra-rapport 2140, WUR-Alterra, Wageningen.
- Kessels, K. (2012). Ecohydrology of the Noorbrook catchment. Msc thesis Wageningen University.
- Keulen, S.M.A. (1998). Recente en fossiele mollusken van Weustenrade (Gemeente Voerendaal), Zuid-Limburg. *Correspondentieblad van de Nederlandse Malacologische Vereniging 302: 59-63*.
- Kreutz, C.A.J. (1992). Orchideeën in Zuid-Limburg. Uitgev. KNNV, Utrecht.
- Leenders, W.H. & F. Brouwer (1988). De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied Centraal Plateau: resultaten van een bodemgeografisch onderzoek en geschiktheidsbeoordeling voor akkerbouw, weidebouw, tuinbouw (fruitteelt) en bosbouw. Stiboka-Rapport 1994, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Leenders, W.H., F. Brouwer & W.J.M. de Groot (1988). De bodemgesteldheid van het landinrichtingsgebied Mergelland-Oost: resultaten van een bodem-geografisch onderzoek en geschiktheidsbeoordeling voor akkerbouw, weidebouw en bosbouw Stiboka-Rapport 1889, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Marnette, E. C. L. (1993). Sulfur cycling in two Dutch moorland pools. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.
- Mekkink, P. & H. Kleijer (1986). De bodemgesteldheid, de vegetatie, de bodemgeschiktheid voor bosbouw en de te verwachten bosgemeenschappen in Boswachterij "Vaals". Stiboka-rapport 1804. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Mekkink, P. (2004). De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland; Deel 9 Bosreservaat Leyduin-Vinkenduin (NH), Bosreservaat Bunderbos (L), Bosreservaat Ossenbos (G), Bosreservaat Heloma- en Bleekerspolder (Fr), Bosreservaat Achter de Voort (Ov), Bosreservaat Slikken van Flakkee (Z). Alterra-rapport 60.9. WUR-Alterra, Wageningen.
- Mennema, J., A.J. Quene-Boterbrood & C.L. Plate (1980). Atlas van de Nederlandse Flora deel 1: Uitgestorven en zeer zeldzame soorten, Kosmos, Amsterdam.
- Mennema, J., A.J. Quene-Boterbrood & C.L. Plate (1985). Atlas van de Nederlandse Flora deel 2: Zeldzame en vrij zeldzame soorten, Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht.
- Mulder, T.J.D. & J.T. Hermans (1991). De Flora van veertien Limburgse bufferbassins. *Natuurhistorisch Maandblad 81(10): 165-179*.

- Ministerie LVV (1953). Landbouwverslag van de Rijkslandbouwconsulentenschappen Zuid- en Noord-Limburg 1951 en 1952 te. Directie Landbouw, Ministerie van landbouw, Visserij en Voedselvoorziening. Roermond/Horst.
- Nick, A., A. Strehmann, F. Gottwald & J. Möller (2006) Larvalhabitats der Feuerfalter *Lycaena hippothoe* und *L. alciphron* auf einem ehemaligen Truppenübungsplatz in Nordost-Brandenburg - In: Fartmann, T., Hermann, G. (Hrsg). Larvalökologie von Tagfaltern und Widderchen in Mitteleuropa. *Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde* 68 (3/4): 123-134.
- Nota, D.J.G., A.M.G. Bakker, B. van der Weerd & G. Helma (1988). A hydro-geological study in the basin of Gulp creek: A reconnaissance in a small catchment area. Part 3: Chemistry of surface and groundwater. *Agricultural University Papers* 87(7). Wageningen Agricultural University.
- Olde Venterink, H., M.J. Wassen, D.M. Belgers & J.T.A. Verhoeven. (2001). Control of environmental variables on species density in fens and meadows: importance of direct effects and effects through community biomass. *Journal of Ecology* 89: 1033-1040.
- Olde Venterink, H., M.J. Wassen, A.M. Verkroost, & P.C. Ruiter (2003). Species richness-productivity patterns differ between N- P- and K-limited wetlands. *Journal of Ecology* 84(8): 2191-2199.
- Patrick jr, W.H. & R. A. Khalid (1974). Phosphate release and sorption by soils and sediments; Effects of Aerobic and Anaerobic conditions. *Science* 186: 53-55.
- Postma, D., C. Boesen, H. Kristiansen & F. Larsen (1991). Nitrate reduction in unconfined sandy aquifer: waterchemistry, reduction processes and geochemical modelling. *Water Resources Research* 27:2027-2045.
- Provincie Limburg (2013). Verslaglegging OGOR meetnet 2011-2012, 48 gebieden TOP-lijst verdrogingsbestrijding Limburg, Maastricht.
- Rabenhorst, M. C. & K. C. Haering (1989). Soil micromorphology of a Chesapeake Bay tidal marsh: Implications for sulfur accumulation. *Soil Science* 147: 339-347.
- Renes, J. (1988). De geschiedenis van het Zuidlimburgse cultuurlandschap. Maaslandse Monografieën (gr formaat) nr. 6. Van Gorcum, Assen/Maastricht.
- RGD (1980). Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, blad Heerlen 62W oostelijke helft/ 62O westelijke helft. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- RGD (1988). Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving: Pre-Kwartair, Rijksgeologische Dienst, Heerlen/Haarlem.
- RHDHV 2014. Hydrologische effecten van de Buitenring Parkstad Limburg en de Verdiepte ligging Vaesrade op Natura2000 gebied Geleenbeekdal. Rapport BC8846, Royal HaskoningDHV. Maastricht.
- Riedel, M., M.J. Froehlin & W. Schies (2009). Eisenmangelchlorose – Vorbeugung und Abhilfe. *Deutsche Weinmagazin* 10: 30-33.
- Rozbrojová, Z., & M. Hájek (2008). Changes in nutrient limitation of spring fen vegetation along environmental gradients in the West Carpathians. *Journal of Vegetation Science* 19: 613-620.
- Sawchik, J., M. Dufrêne & P. Lebrun (2003). Estimation of habitat quality based on plant community, and effects of isolation in a network of butterfly habitat patches. *Acta Oecologica* 24(1): 25-33.
- Sawchik, J., M. Dufrêne & P. Lebrun (2005). Distribution patterns and indicator species of butterfly assemblages of wet meadows in southern Belgium. *Belgian Journal of Zoology* 135(1): 43-52.
- Schaminée, J., C. Aggenbach, B. Crombaghs, M. de Haan, P. Hommel, F. Smolders, W. Verberk, R. de Waal, M. Wallis de Vries & E. Weeda (2009). Preadvies Beek-dalen Heuvellandschap. Rapport DK nr. 2009/dk108-O - Directie Kennis - Ministerie van LNV, Ede.

- Schaminée, J.H.J., R. Havemann, P.W.F.M. Hommel, J.A.M. Jansen, I. de Ronde & E. Weeda (2017). Revisie Vegetatie van Nederland. *Stratiotes (in druk)*.
- Settele, J., O. Kudrna, A. Harpke, L. Kühn, C. van Swaay, R. Verovnik, M. Warren, M. Wiemers, J. Hanspach, T. Hickler, E. Kühn, L. van Halder, K. Veling, A. Vliegthart, I. Wynhoff & O. Schweiger (2008). Climatic Risk Atlas of European Butterflies. Pensoft, Sofia.
- Smolders, A., J. Loermans & M. van Mullekom (2014). De waterkwaliteit van bronsystemen in het Bunder en Elsloërbos; bronnen van zorg. *Natuurhistorisch Maandblad 103: 125-135*.
- Stiboka, (1970). Bodemkaart van Nederland. Blad 59 Peer, Blad 60 West en Oost, Sittard. Stichting Bodmartering, Wageningen.
- Streel, M, & C. Luthers (2009). The peat bog of the Roode beek near Brunssum (The Netherlands). Report Geol. Department, University of Liège.
- Succow, M., 1988. Landschaftsökologische Moorkunde. Jena, DDR, Gustav Fischer.
- Succow, M. & L. Jeschke (1986). Moore in der Landschaft; Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore. Urania Verlag, Leipzig.
- Sundseth, K. (2009). N2000 in the Continental Region. European Commission Environment Directorate General, Luxemburg.
- Ten Cate, J.A.M. & G.C. Maarleveld (1977). Geomorfologische kaart van Nederland, schaal 1:50 000. Toelichting op de legenda. STIBOKA/RGD, Wageningen/Haarlem.
- Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp (1995). Handleiding bodem-geografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften; Deel A: Bodem. Technisch document 19A, SC-DLO, Wageningen.
- TNO (2013). Lithostratigrafische Nomenclator van de Ondiepe Ondergrond, versie 2013. Retrieved 7 juni 2013 from <http://www.dinoloket.nl/nomenclator-ondiep>.
- Tornqvist, T.E., J.H.J. Joosten (1988). On the origin and development of a Subatlantic, 'man made' mire in Galicia (NW Spain). Proceedings of the 8th International Peat Congress, Leningrad 1: 214-224.
- Turlure, C. & H. van Dyck (2009). On the consequences of aggressive male mate locating behaviour and micro-climate for female host plant use in the butterfly *Lycaena hippothoe*. *Behavioral Ecology and Sociobiology 63(11): 1581-1591*.
- Turlure, C., N. Schtickzelle, N. & M. Baguette (2010). Resource grain scales mobility and adult morphology in butterflies. *Landscape Ecology 25(1): 95-108*.
- Van Delft, B., R. de Waal, R. Kemmers, P. Mekink & J. Sevink (2006). Field guide humus forms: description and classification of humus forms for ecological applications. Alterra, Wageningen.
- Van Delft, S. P. J. (1996). Bodemgesteldheid, beheer en vegetatie van 208 opstanden van Robusta-populier.Sc-Dlo. Rapport 202, Wageningen.
- Van Delft, S. P. J., R. H. Kemmers & A. G. Jongmans (2005). Pyrietvorming in relatie tot interne eutrofiëring en verzuring. Alterra-rapport 1161. Wageningen.
- Van Delft, B., R. de Waal, R. Kemmers, P. Mekink & J. Sevink (2006). Field guide humus forms: description and classification of humus forms for ecological applications. Alterra, Wageningen.
- Van Delft, S. P. J., J. Hof & P. R. Bolhuis (2012). Natuurpotenties in Drentse Beekdalen; Resultaten van een ecopedologisch en bodemchemisch onderzoek in zeven raaien in het dal van Drentse Aa en Elperstroom. Alterra-Rapport 2315. Wageningen
- Van Delft, S. P. J. & R. Kemmers (2013). Natuurontwikkeling graslanden kwelrijke flank Oostelijke Vechtplassen; Resultaten van een ecopedologisch en bodemchemisch onderzoek.. Alterra-rapport 2415. Wageningen.

- Van Delft, S. P. J., G. J. Maas & F. Brouwer (2013). Fosfaatonderzoek Noorderpark; Bodemonderzoek t.b.v. realisatie soortenrijke schraallanden. Alterra-rapport 2493. Wageningen
- Van der Meijden, R. & W.J. Holverda (2006). Revisie van het NHN-herbarium-materiaal van *Carex lepidocarpa* Tausch (Schubzegge) en *Carex flava* L. (Gele zegge) in Nederland. *Gorteria* 31: 129-136.
- Vernes, R.W. (2008). REGIS Limburg, Uitbreiding van de dataset REGIS II voor de provincie Limburg, TNO-rapport 2008-U-R34140A. Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond
- Vleeshouwer, J. J. & J. H. Damoiseaux (1990). Bodemkaart van Nederland 1:50 000; Toelichting bij kaartblad 61-62 West en Oost Maastricht-Heerlen. Staring Centrum, Wageningen.
- Vuyck, L. (1916). *Prodromus Florae Batavae*, ed. 2, I(4). Groningen.
- Wallis de Vries, M.F., W. Baxter & A.J van Vliet (2011). Beyond climate envelopes: effects of weather on regional population trends in butterflies. *Oecologia* 167: 559-571.
- Wallis de Vries, M.F. (2014) Linking species assemblages to environmental change: moving beyond the specialist-generalist dichotomy. *Basic and Applied Ecology* 15: 279-287.
- Weeda, E.J., S.M.A. Keulen & J.W. Koelink (2006). Maaibeheer in de Kathager Beemden belooft: Veenzegge (*Carex davalliana* Sm.) nieuw voor Nederland. *Natuurhistorisch Maandblad* 95(12): 262-268.
- Weeda, E.J. & S.M.A. Keulen (2007). Veranderingen in de plantengroei van de Kathager Beemden. *Natuurhistorisch Maandblad* 96(2): 21-29.
- Weeda, E.J. (2008). Plantensociologische positie van *Cyperaceae* en *Juncaceae* in hellingmoerassen in Zuid-Limburg. *Stratiotes* 36/37: 15-60.
- Weeda, E.J. (2009). Weidevergeet-mij-nietje blijkt Beemdvergeet-mij-nietje. *Natuurhistorisch Maandblad* 98(2): 21-28.
- Weeda, E.J., H. de Mars & S.M.A Keulen (2011). Kalkmoeras in Zuid-Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 100(11): 233-242.
- Weeda, E.J., R.J. Bijlsma & H.N. Siebel (2013). Het mossencahier van J.L. Franquet, een vroeg 19^e-eeuws herbarium uit Maastricht 2. Vindplaatsen en vondsten. *Buxbaumiella* 98: 1-14.
- Weeda, E.J. (2014). Paddenrus (*Juncus subnodulosus*) in Zuid-Limburg: herhaaldelijk beweerd, nu pas gedocumenteerd. *Natuurhistorisch Maandblad* 103(11): 304-310.
- Weeda, E.J. (2015). Blauwe knoop (*Succisa pratensis*), graslandbewoner met bijzondere verdiensten, ook in rivierbegeleidende graslanden. *Stratiotes* 47: 5-27.
- Weeda, E.J., H. de Mars & J. Schaminée 2015. Toekomst voor natte beemden in het heuvelland. Themanummer Heuvellandschap. *De Levende Natuur* 116(6): 296-314 / *Natuurhistorisch Maandblad* 104(12): 268-286.
- Willems, J.H. 1982. Parnassia L. in Zuid-Limburg. *Gorteria* 11: 99-106.
- Wouters, L. & N. Vandenberghe (1994). Geologie van de Kempen; Een synthese. Niras, Brussel.
- Zimmermann, K.; Z. Fric, L. Filipová & M. Konvicka (2005). Adult demography, dispersal and behaviour of *Brenthis ino* (Lepidoptera: Nymphalidae): how to be a successful wetland butterfly. *European Journal of Entomology* 102(4): 699-706.

BIJLAGEN



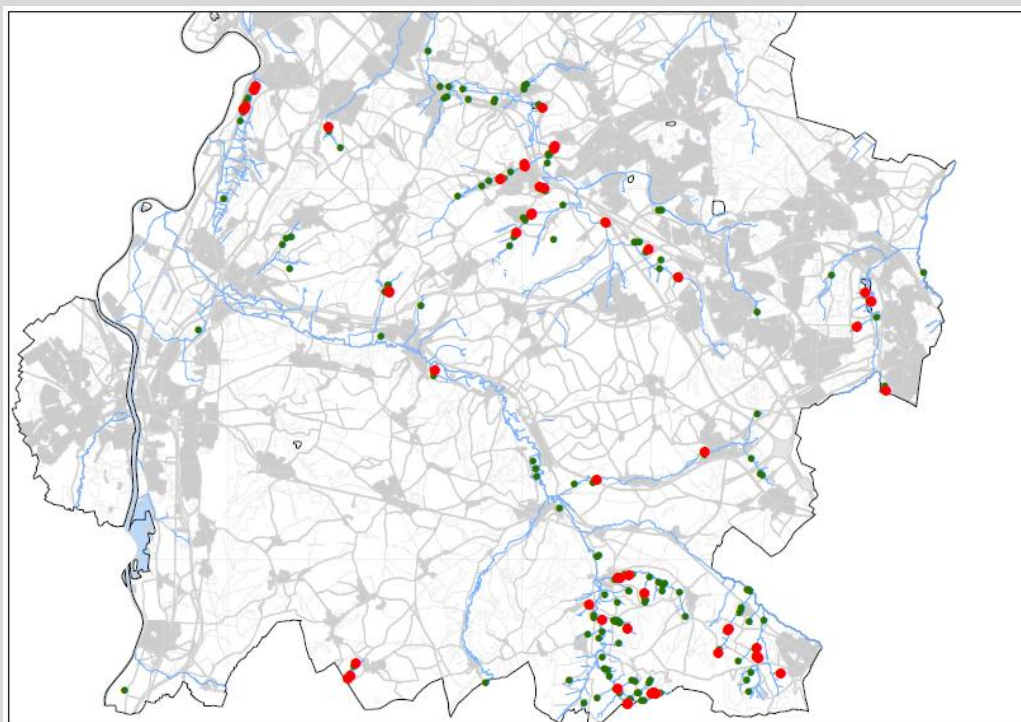
BIJLAGE 1: Resultaten Fase I in kort bestek.

(De Mars et al., 2012 / OBN159-HE)

Het Fase1-onderzoek wijst uit dat binnen de Zuid-Limburgse hellingmoerassen een gevarieerd spectrum aan hydrologische en bodemkundige condities voorkomt, dat is vastgelegd in zogenaamde locatiepaspoorten. Er zijn tijdens dit onderzoek een zevental vegetatietypen beschreven, waaronder kalkmoeras/nat schraalland. Een nadere bestudering van de locatiepaspoorten wijst uit dat niet alleen verschillen tussen deze typen bestaan maar dat zelfs binnen deze globale typologie nog sprake is van aanmerkelijke verschillen en gradiënten wat betreft landschappelijke setting, waterkwaliteit, vochthuishouding en (historische) beheervorm.

De eenmalig verzamelde grondwaterkwaliteitsgegevens (boorgatmethode) suggereren dat op de meeste plaatsen een efficiënte verwijdering van nitraat uit het systeem plaatsvindt. De gehalten liggen veel lager dan in het diepere (regionale) grondwater waaruit deze bron- en kwelzones doorgaans worden gevoed. Het mechanisme hierachter is voornamelijk nog niet duidelijk, maar het kan vergaande consequenties hebben voor beleid en beheer. De bodems zijn doorgaans opvallend ijzerhoudend, wat gunstig lijkt voor de fosfaathuishouding.

Afgaand op bodem, grondwater en indicatorsoorten lijken er op (nog) meer plaatsen dan gedacht potenties voor kalkmoeras aanwezig te zijn. Meer inzicht in het hydrologische regime is daarbij wel wenselijk.



Ligging van de tijdens fase 1 onderzochte terreinen/locaties in Zuid-Limburg (rode stippen), in relatie tot de overige bron- en hellingmoerassen (groen).

BIJLAGE 2: Fase 2 - Korte schets van de nader onderzochte terreinen

B2.1 Inleiding

Dankzij het Fase1-onderzoek (De Mars et al, 2012) bestond een goede indruk van de actuele variatie, zowel qua landschappelijke setting, bodemopbouw, vegetatie, als globale grondwaterkwaliteit in tal van terreinen. Dit basismateriaal is nog aangevuld met geschikte locaties uit het OGOR-meetnet Limburg. Op basis van dit bestand heeft de selectie plaatsgevonden van zes onderzoeksterreinen waaraan later nog twee terreinen zijn toegevoegd, dankzij het beschikbaar komen van extra financiële middelen. De acht geselecteerde terreinen liggen binnen de begrenzing van de bestaande Natura2000 gebieden.

De keuze van de onderstaand beknopt toegelichte locaties heeft plaatsgevonden in overleg met het OBN DT-Heuvelland. Voor een meer uitgebreide beschrijving van de vegetatie wordt verwezen naar Bijlage 3 en voor de geo(hydro)logische opbouw en bodemopbouw naar Bijlage 6.

B2.2 Selectie gebieden

Vanuit de doelstelling van het onderzoek ligt het zwaartepunt bij kalkmoerasvegetaties of daaraan (potentieel) verwante locaties met kalkmoerasindicaties in de vegetatie. In het Fase1-onderzoek is daartoe al een aanzet gedaan, waarbij de locaties van een drietal vegetatietypen in het oog springen (Cd/JM, Rp.r en Mz.o). Maar ook in andere typen worden dergelijke indicaties wel aangetroffen (De Mars et al. 2012). Bovendien is het voor de vergroting van het inzicht in de ecohydrologische bandbreedte en de vegetatiesamenstelling van het kalkmoeras in relatie tot de direct aangrenzende vegetatie gewenst dat binnen een onderzoeksterrein ook een (vegetatie)gradiënt aanwezig is. Een dergelijke gradiënt kan, in combinatie met andere (landschappelijke) structuurkenmerken ter plaatse, op zijn beurt ook weer van invloed zijn op het voorkomen van de (dagvlinder)fauna.

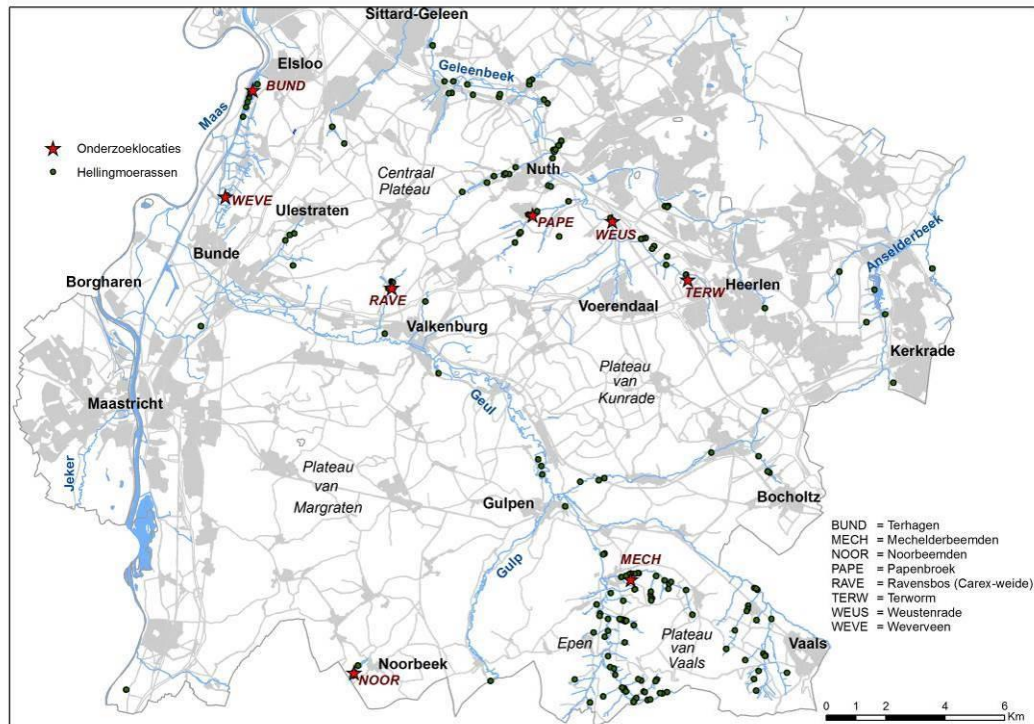
Last but not least: Uit het Fase1-onderzoek bleek dat de nitraatgehalten in het grondwater tussen de locaties danig kon verschillen (De Mars et al., 2012). Op venige standplaatsen leken die doorgaans hoger dan op plaatsen met een minerale bodem. Om de aard en de werking van het nutriëntenretentie-mechanisme op de (potentiële kalkmoeras) standplaatsen beter te kunnen begrijpen, was het zaak om zowel relatief nitraatrijke als opvallend nitraatarme locaties op nemen in de selectie.

B2.3 Beknopte terreinbeschrijvingen

Papenbroek (PAPE), bij Wijnandsrade, en de **Malleziep (MECH)**, onderdeel van de Mechelder beemden bij Mechelen, kenmerken zich door de ter plaatse nog aanwezige, goed ontwikkelde landschapsgradiënt van nat naar droog in een relatief kalkrijk (PAPE) en relatief kalkarm (MECH) milieu. In beide terreinen komen daarbij lokaal veenlagen voor.

Op de locatie Papenbroek zijn duidelijke kalkindicaties aanwezig, zowel qua planten als de aanwezigheid van kalktufneerslag. Bij Mechelen is die kalkindicatie nagenoeg afwezig.

Bij de **Noorbeemden (NOOR)** is de landschapsgradiënt minder goed ontwikkeld. Botanisch is het vergelijkbaar met MECH maar is minder goed ontwikkeld en oogt ook produktiever. Op de dalflank is hooguit sprake van een moerige bovenlaag.



Figuur B2.1: Ligging van de geselecteerde terreinen in Zuid Limburg in relatie tot de overige hellingmoerassen

Ravensbos (RAVE; Carex-weide), Kasteelpark Elsloo (BUND) en het ten noorden van Bunde bij Kasen gelegen **Weverveen (WEVE)**, liggen grotendeels op een veenpakket en kenmerken zich door (lokaal) hoge nitraatgehalten in het grondwater. In het Ravensbos is plaatselijk sprake van kalkneerslag en zijn indicatoren van kalkmoeras aanwezig. In het perceel is ook een scherpe zuur-base gradiënt aanwezig. De kalkindicatoren zijn op de locatie in het Kasteelpark Elsloo slecht vertegenwoordigd (wel veel kalktuf) maar de gradiënt is slecht ontwikkeld. Er zijn bovendien veel storingssoorten aanwezig. Het Weverveen is vergaand verbost (net als voorheen de Carex-weide in het Ravensbos) maar is overwegend basenaram getint maar bood voorheen wel plaats aan kalkmoeras (§2.2.3).

Weustenrade (WEUS) en **Terworm (TERW)**. Op beide locaties is slechts een dunne laag veen aanwezig. In Weustenrade zijn de kalkindicaties sterk vertegenwoordigd (planten en kalkneerslag). Beide locaties hebben een kunstamtieg oorsprong. Weustenrade betreft in zekere zin nog een pioniersituatie. De locatie Terworm, gelegen nabij de Eykendermolen, is van een oudere datum en is daarbij antropogeen sterker beïnvloed, maar ook hier zijn kalkindicaties aanwezig, hoewel minder sterk dan bij Weustenrade.

BIJLAGE 3: Vegetatiekundige beschrijvingen van de onderzoekslocaties

B3.1 Inleiding

Het veldonderzoek is uitgevoerd van 3 tot en met 5 juni tegelijk met de werkzaamheden rond het bodemchemisch en bodembologisch onderzoek. Aansluitend heeft op 19 & 20 juni 2013 nog een bemonstering van de biomassa (in duplo) plaatsgevonden, kort voordat op een aantal terreinen zou worden gemaaid.

In de periode 16-20 juni en op 30 juli 2014 zijn herhalingopnamen gemaakt op de in 2013 ingerichte transecten. In 2016 zijn in aansluiting op een beperkte uitbreiding van het meetnet op de twee aanvullende transecten (Noorbeemden en Weverveen) ook vegetatieopnamen gemaakt op 14 juni 2016. De opnamen van 2014 en 2016 zijn gebruikt voor het samenstellen van de vegetatietabel met behulp van het programma Twinspan. De daaruit afgeleide synoptische tabel is opgenomen in Bijlage 4.

In de acht onderzoeksterreinen zijn in totaal 58 opnamen gemaakt langs de transecten, deels in aanvulling op het hydrologische transect. De locaties van de opnamen zijn met GPS vastgelegd, hoewel dat soms lastig bleek als gevolg van de beschutte ligging in heuvelachtige omgeving.

B3.2: Papenbroek (PAPE):	8 opnamen in transect van 31 m
B3.3: Mechelderbeemden (MECH):	13 opnamen in transect van 86 m
B3.4: Ravensbos (RAVE):	9 opnamen, boemerangvormig transect van 51 m
B3.5: Kasteelpark Elsloo (BUND):	4 opnamen in transect van 15 m
B3.6: Weustenrade (WEUS):	8 opnamen in aaneengesloten reeks
B3.7: Terworm (TERW):	5 + 4 opnamen, twee transecten, beide ca. 30 m
B3.8 Weverveen (WEVE):	3 opnamen in transect van 20 m
B3.9 Noorbeemden (NOOR):	4 opnamen in transect van 30 m

B3.2 Papenbroek (PAPE)

In het Papenbroek ligt een drassig hooiland op een zuidhelling langs de Hulsbergerbeek. Het perceel wordt jaarlijks eenmaal gemaaid. Afgaand op de topografische kaarten heeft dit perceel de afgelopen 150 jaar geen ander landgebruik gekend dan grasland. De hogerop liggende woonwijk dateert uit de tweede helft van de jaren 80 van de vorige eeuw (voorheen akkers).

De begroeiing wijst op kalkrijk water en aanzienlijke voedselrijkdom; zuurindicators ontbreken. Hoofdbestanddelen van de vegetatie zijn Ruw beemdgras (*Poa trivialis*), Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*), Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*) en het zeldzame Geel boogsterrenmos (*Plagiomnium elatum*). Deze begroeiing is te benoemen als Moeraszeggebeemd. De hele helling maakt een wat verruigde indruk door de aanwezigheid van Kleefkruid (*Galium aparine*). In combinatie met het hoge aandeel van Ruw beemdgras onderstreept dit de wenselijkheid van voortgezette verschraling door maaien. De verruiging is bovenaan het sterkst, met Grote brandnetel (*Urtica dioica*) en akkeronkruiden als Vogelmuur (*Stellaria media*) en Melkdistels (*Sonchus* spp.). De soortenrijkdom van de begroeiing neemt van hoog naar laag eerst toe – van 24 tot 36 – en dan weer af tot 17 langs de beek. Een bijzonderheid voor Zuid-Limburgse hellingmoerassen is Holpijp (*Equisetum fluviatile*), een kwelindicator die in een zadel in de helling en ook wat lager te vinden is. In het midden van de helling verschijnt Veldrus (*Juncus acutiflorus*) samen met Tweerijige zegge (*Carex disticha*), Veldlathyrus (*Lathyrus pratensis*) en Kantig hertshooi (*Hypericum maculatum* subsp. *obtusiusculum*). De kalkmoerasplanten Heelblaadjes (*Pulicaria dysenterica*) en Gekroesd plakkaatmos (*Pellia endiviifolia*), het voor bronnen kenmerkende Beekdikkopmos (*Brachythecium rivulare*) en de moerassmossen Moerassnavelmos (*Oxyrrhynchium speciosum*) en Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) zijn (grotendeels) beperkt tot de onderste helft van de helling; laatstgenoemde mossoort is schaarser dan in de meeste andere hellingmoerassen. Langs de beek bepalen Gewone dotterbloem (*Caltha palustris* s. *palustris*) en Bittere veldkers (*Cardamine amara*) het lenteaspect; hier heeft ook Beekdikkopmos zijn hoogste bedekking in de moslaag en heeft de begroeiing het meest het karakter van een bronvegetatie.

Bosplanten komen slechts sporadisch voor. Bovenaan staan Speenkruid (*Ficaria verna* subsp. *verna*) en Dagkoekoeksbloem (*Silene dioica*), soorten van zeer voedselrijke bodem. Wat lager werd een enkel exemplaar van Kruipend zenegroen (*Ajuga reptans*) en Bloedzuring (*Rumex sanguineus*) gevonden. Nog lager groeien Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*) en Haarspitsmos (*Cirriphyllum piliferum*). Dit sortiment komt grotendeels overeen met dat in de Mechelderbeemden.

B3.3 Mechelderbeemden (MECH)

Het transect in de Mechelderbeemden ligt in een hooilandperceel op een zwakke, noordwaarts geëxponeerde helling die afloopt naar de Mechelderbeek. Het perceel wordt jaarlijks tweemaal gehooid, waarbij vlakken blijven overstaan. Afgaand op de topografische kaarten heeft het terrein de afgelopen anderhalve eeuw geen ander landgebruik gekend dan grasland.

Over een groot deel van de helling treedt water uit, behalve in de hoogste deel van het perceel en op de beekoeverwal aan de onderrand. Het transect wordt doorsneden door een veen-eiland die nooit wordt gemaaid en door de forse, horstvormende Pluimzegge (*Carex paniculata*) wordt gedomineerd. Het hoogste, minder natte deel van de helling onderscheidt zich door Witte klaver (*Trifolium repens*), Pitrus (*Juncus effusus*) en Ruige zegge (*Carex hirta*). Buiten het transect komt in deze zone op de helling lokaal ook Heelblaadjes (*Pulicaria dysenterica*) voor. Deze begroeiing gaat iets lager over in bloemrijk Veldrusbeemd (*Crepidula-Juncetum acutiflori*) met een goed geïntegreerd sortiment aan grasachtige planten: Veldrus (*Juncus acutiflorus*) wordt overal vergezeld door Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*), Bosbies (*Scirpus sylvaticus*), Tweerijige zegge (*Carex disticha*) en Moeraszegge (*Carex acutiformis*), die nergens afzonderlijke haarden vormen. De ondergroei is een dicht tapijt van Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) en Ruw beemdgras (*Poa trivialis*). Tot de aspectbepalende kruiden behoren achtereenvolgens de lentebloeier Gewone dotterbloem (*Caltha palustris* subsp. *palustris*), de voorzomerbloeier Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) en de zomerbloeiers Veldlathyrus (*Lathyrus pratensis*) en Moeraspirea (*Filipendula ulmaria*). De meest kenmerkende plant van het Zuid-Limburgse Veldrusbeemd is het zeldzame, weinig opvallende Beemdvergeet-mij-nietje (*Myosotis scorpioides* subsp. *nemorosa*; Weeda 2009), dat in de Mechelderbeemden wordt vergezeld door zijn algemene verwant Moerasvergeet-mij-nietje (*Myosotis scorpioides* subsp. *scorpioides*). Tussen het Veldrusbeemd boven en beneden de Pluimzeggestrook zijn markante verschillen in samenstelling waar te nemen. Erboven wordt het bloemrijke aspect onder meer bepaald door de graslandplanten Rode klaver (*Trifolium pratense*) en Scherpe boterbloem (*Ranunculus acris*). In de moslaag staat hier het zeldzame Geel boogsterrenmos (*Plagiomnium elatum*). Beneden de Pluimzeggestrook is de grond drassiger, hier en daar met water boven maaiveld, en verschijnen moerasplanten en 'natte pioniers' als Moerasmuur (*Stellaria uliginosa*), Kluwenzuring (*Rumex conglomeratus*), Beekpunge (*Veronica beccabunga*) en de in Zuid-Limburg zeldzame Schildereprijs (*Veronica scutellata*), terwijl in de moslaag Stomp boogsterrenmos (*Plagiomnium ellipticum*) een groot aandeel heeft. Ook treedt Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*) hier veel sterker op de voorgrond dan hoger in de zonerings. Opmerkelijk is dat kalkminnende moerasplanten (Beekpunge, Geoord helmkruid) hier zij-aan-zij groeien met kalkmijdende (Moerasmuur, Schildereprijs). De door Pluimzeggehorsten gedomineerde strook is soortenarm. De meeste begeleiders staan op de horsten; alleen Moeraszegge, Geoord helmkruid (*Scrophularia auriculata*), Ruw walstro (*Galium uliginosum*) en Stomp boogsterrenmos groeien (ook) op de grond. Positief onderscheidt dit Pluimzeggemoeras zich door Gewoon kantmos (*Lophocolea bidentata*), Geplooid snavelmos (*Eurhynchium striatum*) en Smalle stekelvaren (*Dryopteris carthusiana*).



Figuur B3.1: Veldonderzoek in de Mechelderbeemden

Opmerkelijk genoeg vormt de begroeiing aan de onderrand van het transect deels een afspiegeling van die in het bovenste deel. De meeste soorten die zich tot de beide uiteinden van het transect beperken, zijn kenmerkend voor matig vochtige graslanden en/of stikstofrijke zomen: Gewone berenklauw (*Heracleum sphondylium*), Hondsdraf (*Glechoma hederacea*), Glanshaver (*Arrhenatherum elatius* subsp. *elatius*), Kleefkruid (*Galium aparine*), Kropaar (*Dactylis glomerata*), Grote vossenstaart (*Alopecurus pratensis*) en Kantig hertshooi (*Hypericum maculatum* subsp. *obtusiusculum*). Opmerkelijk genoeg wordt deze tweepolige verspreiding ook vertoond door Moerassnavelmos (*Oxyrrhynchium speciosum*), dat gewoonlijk juist op moerassige plaatsen groeit. Ook Kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*) en Speenkruid (*Ficaria verna* subsp. *verna*) laten een min of meer tweepolig patroon zien. Door zijn ligging vlak bij de diep ingesneden Mechelderbeek heeft de onderrand een droger karakter dan de aangrenzende, zeer drassige benedenhelling. Soorten als Grote vossenstaart en Speenkruid wijzen op relatief grote wisselingen in de vochttoestand van de grond; ook het optreden van Moerassnavelmos hangt vermoedelijk samen met een afwisseling van natte en droge fasen. Daarnaast worden veel van de genoemde soorten begünstigd door de bomen (o.a. *Fraxinus excelsior* en *Salix alba*) en struiken die het hooiland flankeren; behalve lichte beschaduwing en drainage bieden zij ook 'bemesting' met snel verterend boomblad.

Bosplanten komen, afgezien van het al genoemde Speenkruid, in het onderzochte perceel slechts sporadisch voor. Op een enkele plek staat Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Kruipend zenegroen (*Ajuga reptans*) of Haarspitsmos (*Cirriphyllum piliferum*) in de Veldrusbeemd – bosplanten die ook in het Papenbroek heel lokaal in het hooiland worden waargenomen. Aan de halfbeschaduwde onderrand van het perceel staan Grote muur (*Stellaria holostea*) en Dagkoekoeksbloem (*Silene dioica*), maar hier heeft de begroeiing veeleer het karakter van een zoom dan van echt grasland, met zoomplanten als Kruisbladwalstro (*Cruciata laevipes*) en Gewone ereprijs (*Veronica chamaedrys*) naast graslandplanten als Glad walstro (*Galium mollugo*) en Grote bevernel (*Pimpinella major*).

Ondanks deze grote diversiteit kwalificeert het onderzochte perceel niet voor een Natura2000-habitatype. Voor type H6410 moeten in Veldrushooiland minstens de helft van een zestal schraallandplanten aanwezig zijn, maar hiervan komt alleen Ruw walstro (*Galium uliginosum*) in het perceel voor. Een oostelijker perceel, waarin tevens Gevlekte orchis (*Dactylorhiza maculata*) en Tormentil (*Potentilla erecta*) in het Veldrushooiland voorkomen, kan wel tot type H6410 worden gerekend. Dit zeer soortenrijke perceel herbergt onder andere Bleke zegge (*Carex pallescens*), Adderwortel (*Persicaria bistorta*), Herfsttijloos (*Colchicum autumnale*) en als grote bijzonderheid Karwijselie (*Selinum carvifolia*). Deze bijzondere soort, werd hier al in de jaren '80 van de vorige eeuw door Carla Bisseling ontdekt (Cortenraad 1987) en houdt hier tot op de dag van vandaag nog steeds stand.

B3.4 Ravensbos: Carex-weide (RAVE)

Van de onderzochte terreinen vertegenwoordigt de Carex-weide in het Ravensbos het verst ontwikkelde stadium met de grootste inwendige diversiteit (Hommel 2004). Het werd bemonsterd door middel van een boemerangvormig transect: eerst schuin omhoog lopend, dan na een stompe knik schuin omlaag. De hoogste delen van de zonering bevinden zich dus in het midden van het transect.

Van de zes terreinen is dit kleine hellingmoeras het rijkst aan bosplanten, aan kalkmoerasplanten, aan mossoorten en aan zeer zeldzame planten. Tegelijk is dit terrein het armst aan gewone plantensoorten van natte hooilanden; zo ontbreken Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*), Gewone dotterbloem (*Caltha palustris* subsp. *palustris*) en Lidrus (*Equisetum palustre*), die in andere hellingmoerassen dikwijls op de voorgrond treden. Deze soorten zijn kenmerkend voor het Dotterbloem-verbond (*Calthion palustris*), dat in de Carex-weide dan ook minder vertegenwoordigers heeft dan in de andere vijf terreinen. Wel is het zeldzame Moerasstreepzaad (*Crepis paludosa*) aanwezig.

Van de kalkmoerasplanten zijn Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*) en Zeegroene zegge (*Carex flacca*) plaatselijk talrijk. Gele zegge (*Carex flava*) komt ook verspreid voor, terwijl Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) sporadisch voorkomt en Schubzegge (*Carex lepidocarpa*) tot de kalkbron beperkt is. Hetzelfde geldt Zeegroene rus (*Juncus inflexus*), een vrij gewone plant van nat weiland op klei die zich in voedselarme omgeving van een andere kant toont, namelijk als kieskeurige kalkmoerasplant.

Het aantal bosplanten is opvallend groot. Het sortiment verschilt van dat in de Mechelderbeemden en het Papenbroek; gemeenschappelijk zijn Kruipend zenegroen (*Ajuga reptans*), Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*) en Haarspitsmos (*Cirriphyllum piliferum*), maar Speenkruid (*Ficaria verna* subsp. *verna*) en Dagkoekoeksbloem (*Silene dioica*) ontbreken. Daartegenover staat het voorkomen van bosplanten van oudere, rijke bosbodem zoals Bosanemoon (*Anemone nemorosa*), Eenbes (*Paris quadrifolia*), Grote keverorchis (*Neottia ovata*), Bosbingelkruid (*Mercurialis perennis*), Boswederik (*Lysimachia nemorum*) en Gewoon bosviooltje (*Viola riviniana*), alsmede bosplanten van voedselarme en zuurdere bodem zoals Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*), Lelietje-van-dalen (*Convallaria majalis*), Dalkruid (*Maianthemum bifolium*), Ruige veldbies (*Luzula pilosa*) en Gewoon thujamos (*Thuidium tamariscinum*). Verder werden her en der kiemplanten van Haagbeuk (*Carpinus betulus*) waargenomen. Van hoog naar laag is een gradiënt van zuur, voedselarm via kalkrijk, mesotroof naar kalkarm, voedselrijk moeras waar te nemen. Grasachtige planten die deze gradiënt weerspiegelen zijn achtereenvolgens Pilzegge (*Carex pilulifera*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Blauwe zegge (*Carex panicea*), Veldrus (*Juncus acutiflorus*), Zeegroene zegge (*Carex flacca*), Pluimzegge (*Carex paniculata*) en Bosbies (*Scirpus sylvaticus*). In de moslaag vinden we de opeenvolging Gerand haarmos (*Polytrichum longisetum*), Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*), Geplooid snavelmos (*Eurhynchium striatum*), Groot vedermos (*Fissidens adianthoides*), Rondbladig boogsterrenmos (*Plagiomnium affine*), Gewoon thujamos (*Thuidium tamariscinum*), Boompjesmos (*Climacium dendroides*), Gerimpeld boogsterrenmos (*Plagiomnium undulatum*) en Haarspitsmos (*Cirriphyllum piliferum*). Het kalkmoerasmos Sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) werd slechts weinig aangetroffen, maar wel steeds in gezelschap van Groot vedermos.

Het kalkmoeras bevindt zich in het middenbereik van de zonering. Het vormt kleine vlekken in mozaïek met bloemrijk, ruig, nat hooiland. Dit is planten-sociologisch te typeren als *Molinietalia*-vegetatie (*Crepido-Juncetum acutiflori* en *Scirpetum sylvatici*) met kalkmoerasplanten (*Caricion davallianae*), waaronder Gele zegge en Schubzegge. Daarmee voldoet het aan de omschrijving van Natura2000-habitatype H7230 (Alkalisch laagveen). Het Veldrushooiland behoort tot een zeldzaam, soortenrijk type, gekenmerkt door Bleke zegge (*Carex pallescens*) en Moerasstreepzaad (*Crepis paludosa*) en in Nederland beperkt tot heuvelachtige gebieden (Zuid-Limburg en De Bruuk in het Rijk van Nijmegen).

Een ander kleinschalig element in het mozaïek vormen rottende bulten, vermoedelijk resten van boomstompen maar mogelijk ook van pluimzeggehorsten. Zij vormen een vestigingsbasis voor onder meer Duinriet (*Calamagrostis epigejos*), Greppelblaadje (*Cladonia caespiticia*), Breekblaadje (*Campylopus pyriformis*) en Viertandmos (*Tetraphis pellucida*).

B3.5 Kasteelpark Elsloo (BUND)

Het transect in het kasteelpark Elsloo ligt op een steile helling, in een smalle open strook geflankeerd door hellingbos. Het perceel wordt jaarlijks één soms tweemaal gehooïd.

Door bladval wordt de vegetatie bemest, waardoor zij ondanks maaibeheer meer ruigte- dan hooilandkarakter heeft. Deze wordt grotendeels gedomineerd door Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*). Bovenaan de helling hebben Kleefkruid (*Galium aparine*) en Grote brandnetel (*Urtica dioica*) het overwicht, met in de ondergroei de bosplanten Grote gele dovenetel (*Lamiastrum galeobdolon* subsp. *montanum*), Klimop (*Hedera helix*) en Muskuskruid (*Adoxa moschatellina*). Hier en deels ook wat lager op de helling groeien diverse nitrofiële bos- en zoomplanten die zich in echt hooiland niet kunnen handhaven, zoals Groot springzaad (*Impatiens noli-tangere*), Gevlekte aronskelk (*Arum maculatum*), Look-zonder-look (*Alliaria petiolata*), Robertskruid (*Geranium robertianum*) en Dauwbraam (*Rubus caesius*).

Naar beneden toe neemt het aantal hooilandplanten toe: achtereenvolgens verschijnen Glanshaver (*Arrhenatherum elatius* subsp. *elatius*), Bosbies (*Scirpus sylvaticus*), Lidrus (*Equisetum palustre*) en Gewone dotterbloem (*Caltha palustris* subsp. *palustris*). Maar ook de ruigteplant Ridderzuring (*Rumex obtusifolius*) vertoont zich hier, samen met een enkele Witte munt (*Mentha suaveolens*). Een geultje even boven de hellingvoet biedt kansen voor planten van bronbeekjes: Beekdikkopmos (*Brachythecium rivulare*), Paarbladig goudveil (*Chrysosplenium oppositifolium*), Groot moerasscherm (*Apium nodiflorum*) en Groot diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*).

Het transect in het kasteelpark heeft een aantal bosplanten gemeen met het Papenbroek en de Mechelderbeemden, zoals Slanke sleutelbloem (*Primula elatior*), Speenkruid (*Ficaria verna* subsp. *verna*), Dagkoekoeksbloem (*Silene dioica*) en Kleisnavelmos (*Oxyrrhynchium hians*). Een specialiteit van de hellinggraslanden bij Elsloo-Terhagen is Bosvergeet-mij-nietje (*Myosotis sylvatica*).

Verder zuidwaarts in het kasteelpark is een beter ontwikkeld en soortenrijker nat hooiland aanwezig. De hellinggraslanden bij Elsloo-Terhagen wijken in een aantal opzichten af van alle andere Zuid-Limburgse hellinggraslanden en komen overeen met graslanden in de naburige dalvloer van het Maasdal ('Herfsttijloosweide'; Gorissen et al., 1983). In plaats van Moerazegge (*Carex acutiformis*) komt hier Scherpe zegge (*Carex acuta*) voor. Ook Gewone smeewortel (*Symphytum officinale*) en Liesgras (*Glyceria maxima*) behoren tot de flora van het Maasdal, die bij Elsloo-Terhagen de helling op gaat. Deze drie soorten komen ook in het onderzochte transect voor.

B3.6 Weustenrade (WEUS)

Het kalkmoerasje bij Weustenrade is omstreeks 1992 door uitgraving ontstaan (mededeling H. van Buggenum, Gubbels et al., 1995, Weeda et al., 2011). Sindsdien hebben zich kenmerkende soorten van kalkmoeras gevestigd, waaronder twee grote zeldzaamheden: Schubzegge (*Carex lepidocarpa*) en Groot staartjesmos (*Philonotis calcarea*). Beide zijn in Nederland beperkt tot Zuid-Limburg en het rivierengebied en profiteren de laatste tijd van natuurontwikkelings-projecten waarbij basenrijk moeras wordt gevormd. De voorspoedige ontwikkeling van de vegetatie bij Weustenrade wordt ook geïllustreerd doordat de populatie van Rietorchis (*Dactylorhiza majalis* subsp. *praetermissa*) groeide van één exemplaar in 2007 tot enige honderden forse planten in 2013.

Het perceel wordt jaarlijks vrij laat in het jaar gehooïd.

Het kalkmoeras vertegenwoordigt Natura2000-type H7230 (Alkalisch laagveen).

Weustenrade is momenteel de enige plek in Zuid-Limburg waar deze associatie zelfstandig en vlakvormig aanwezig is. Op twee andere locaties – de Kathager Beemden en de Carex-weide in het Ravensbos – komt het zeer kleinschalig voor, puntsgewijs of lintvormig ontwikkeld in mozaïek met Veldrushooiland.

Plantensociologisch gezien gaat het om de Midden-Europese associatie *Carici flavae-Cratoneuretum filicini*, die pas enige jaren geleden in Nederland werd herkend (Weeda, 2008; Schaminée et al., 2017) en tot het Knobbies-verbond (*Caricion davallianae*) behoort. Dit verbond wordt in het terrein behalve door Schubzegge en Groot staartjesmos ook vertegenwoordigd door Veenknikmos (*Bryum pseudotriquetrum*) en Gekroesd plakkaatmos (*Pellia endiviifolia*). Het *Carici flavae-Cratoneuretum*

onderscheidt zich van andere associaties van het Knopbies-verbond door Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*), Zeegroene zegge (*Carex flacca*), Zeegroene rus (*Juncus inflexus*) en Klein hoefblad (*Tussilago farfara*). Opvallend aanwezige kalkmoerasplanten zijn verder, Reuzenpaardenstaart (*Equisetum telmateia*) en Heelblaadjes (*Pulicaria dysenterica*).

De hogere, sterker hellende rand van het moeras is te classificeren als Moeraszeggebeemd en wel als een ruig pionierstadium hiervan, dat nog geen duidelijk graslandkarakter heeft ontwikkeld. Deze zone onderscheidt zich door Haagwinde (*Convolvulus sepium*), Ruw beemdgras (*Poa trivialis*), Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*), Moerassnavelmos (*Oxyrrhynchium speciosum*) en Beekdikkopmos (*Brachythecium rivulare*). De meeste beemdplanten en ruigtekruiden komen echter evengoed of méér in het kalkmoeras voor, onder meer Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Gewone engelwortel (*Angelica sylvestris*), Lidrus (*Equisetum palustre*), Kale jonker (*Cirsium palustre*), Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*), Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), Tweerijige zegge (*Carex disticha*) of Gevleugeld hertshooi (*Hypericum tetrapterum*).

Binnen het kalkmoeras is een zoneringsgrens te nemen met Geoord helmkruid (*Scrophularia auriculata*), Schubzegge, Florentijns havikskruid (*Hieracium praealtum* subsp. *praealtum*) en Ruw walstro (*Galium uliginosum*) in het onderste deel van de helling, terwijl Groot staartjesmos, Veenknikmos, Zomprus (*Juncus articulatus*), Blauw glidkruid (*Scutellaria galericulata*), Grote wederik (*Lysimachia vulgaris*), Riet (*Phragmites australis*), Gewoon kransblad (*Chara vulgaris* var. *vulgaris*) en Kleine watereppe (*Berula erecta*) de bodem van het dalletje prefereren. Vooral Gewoon kransblad, maar ook de mossen werken hier mee aan kalktufvorming.

In 2013 bleken zich ten opzichte van eerdere onderzoeken twee nieuwe soorten te hebben gevestigd: Bosbies (*Scirpus sylvaticus*), die even buiten het raster vegetatievormend optreedt aan de hellingvoet, en Blauwe zegge (*Carex panicea*) die niet uit de naaste omgeving bekend was. Mogelijk zijn vruchten van Schubzegge en Blauwe zegge meegekomen met onderzoekers die ook andere Zuid-Limburgse kalkmoerassen hebben bezocht.

In het moerasje komt veel struikopslag voor, vooral van Grauwe wilg (*Salix cinerea*), die ondanks het maaibeheer tot meer dan een meter hoog wordt. Het metershoog opschietende Riet (*Phragmites australis*) heeft zich over de jaren ook steeds verder uitgebreid. In het belang van de diversiteit en het behoud van het Kalkmoeras, is voortzetting van dat maaibeheer noodzakelijk. Het is echter de laatste jaren pas laat in het najaar gemaaid.

B3.7 Terworm (TERW)

Het moerasje bij Terworm (Eykendermolen) verschilt van de overige onderzochte terreinen doordat het ook als retentiebekken in gebruik is (Mulder & Hermans 1992). Het perceel wordt sinds kort weer gemaaid. Delen van het terrein zijn daartoe de afgelopen jaren weer vrijgesteld van bosopslag. Het terrein maakte eertijds deel uit van een uitgestrekt complex beekdalbeemden. Afgaand op de topografische kaarten is het vanaf eind jaren zestig van de vorige eeuw als (populieren)bos in gebruik waarna eind jaren negentig wordt vrijgesteld en vervolgens langzaam verbost.

Door de voortdurend hoge waterstand heeft het een meer laagveenachtig en duurzaam voedselrijk karakter dan de andere moerassen. De vegetatie weerspiegelt het hybridisch karakter van een brongebied met laagveenvorming.

In het moeras zijn twee transecten uitgezet, die min of meer haaks op elkaar staan; het ene is ongeveer N-Z georiënteerd; het andere, een smalle maaibaan geflankeerd door broekbos, loopt ongeveer O-W, tussen de beide peilbuis-locaties. Door het ontbreken van verhang is geen duidelijke gradiënt aan te geven. Wel zijn er verschillen in vegetatie tussen beide transecten, hoewel ze allebei te karakteriseren zijn als Moeraszeggebeemd. In beide zijn Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Watermunt (*Mentha aquatica*), Grote kattenstaart (*Lythrum salicaria*) en Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) de voornaamste vertegenwoordigers van voedselrijk moeras, Beekdikkopmos (*Brachythecium rivulare*), Gewoon diknerfmos (*Cratoneuron filicinum*) en Bosveldkers (*Cardamine flexuosa*) dito van brongebieden en Lidrus (*Equisetum palustre*), Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*) en Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) van natte beemden, terwijl Kleefkruid (*Galium aparine*) de voornaamste

verruigingsindicator en Gerimpeld boogsterrenmos (*Plagiomnium undulatum*) de enige bosplant is.

De O-W lopende maaibaan, tussen de beide peibuis-locaties, is relatief soortenarm, heeft het meest het karakter van een laagveenvegetatie en toont verwantschap met het Koekoeksbloem-rietland (*Lychnido-Hypericetum tetrapteris*) uit laagveen-gebieden. Naast Moeraszegge speelt Riet (*Phragmites australis*) een overheersende rol en verder groeien er Kleine watereppe (*Berula erecta*), Rietorchis (*Dactylorhiza majalis* subsp. *praetermissa*), kiemplanten van Zwarte els (*Alnus glutinosa*) en opmerkelijk genoeg, Paddenrus (*Juncus subnodulosus*). Koekoeksbloem-rietland is vaak in gebruik als boezemhooiland, en deze typering is ook op de maaibaan bij Terworm van toepassing. Buiten de opnamen komt in deze omgeving incidenteel ook nog Brede orchis (*Dactylorhiza majalis* ssp. *majalis*).

In het N-Z lopende transect vinden we daarentegen het meer gangbare sortiment van Moeraszeggebeemd met Ruw beemdgras (*Poa trivialis*), Moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), Kale jonker (*Cirsium palustre*), Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*), Koninginnenkruid (*Eupatorium cannabinum*), Gevleugeld hertshooi (*Hypericum tetrapterum*), Kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*) en Grote brandnetel (*Urtica dioica*). Onder de moerasplanten speelt Geoord helmkruid (*Scrophularia auriculata*) de grootste rol en verder staat er vrij veel Grote egelskop (*Sparganium erectum*), terwijl de moslaag zich onderscheidt door Moerasdikkopmos (*Oxyrrhynchium speciosum*).

In 2015 kwam na het verwijderen van bosopslag op verschillende plaatsen aan de oostzijde massaal Bruin cypergras (*Cyperus fuscus*) tot ontwikkeling samen met andere pioniersoorten en Kleine watereppe.

B3.8 Weverveen (WEVE)

Het Weverveen is een drassig, maar al decennialang verbost hellingveen op een steile, west tot zuidwest georiënteerde helling in het Bunderbos, ter hoogte van het buurtschap Kasen.

De deels, ijle boomlaag bestaat uit Gewone es (*Fraxinus excelsior*), Zwarte els (*Alnus nigra*) en Esdoorn (*Acer pseudoplatanus*). De ondergroei wordt gedomineerd door Moeraszegge (*Carex acutiformis*) met vooral in de centrale wat drogere delen ook frequent Adelaarsvaren (*Pteridium aquilinum*) en Braam (*Rubus spec.*). Een bijzonderheid is de verspreid in dit hellingveen aanwezige Koningsvaren (*Osmunda regalis*).

De moslaag is doorgaans matig ontwikkeld maar omvat zowel soorten van meer basenarm als basenrijk milieu, waaronder Wolmos (*Trichocolea tomentella*), Thujamos (*Thuidium tamariscum*) en de enige kalkmoerasindicator Groot vedermos (*Fissidens adanthoides*).

Pal onder een steile helling ligt een kwelzone in het veen. Hier treft men soorten aan die wijzen op een hogere basenrijkdom. Daarvan zijn Pluimzegge (*Carex paniculata*) en Boswederik (*Lysmachia nemoreum*) specifiek aan deze zone in het terrein gebonden. Hier maar vooral aan de onderrand van het veen en in enkele drassige slenken komen daarnaast ook nog andere meer uitgesproken basen- en soms ronduit kalkminnende soorten voor zoals Moeraspirea (*Filipendula ulmaria*), Groot heksenkruid (*Circaea lutetiana*), Gele dovenetel (*Lamiastrum galeobdolon*) en Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*). Eenbes (*Paris uniflora*), Bosbingelkruid (*Mercurialis perennis*) en Slanke sleutelbloem (*Primula eliator*) zijn gebonden aan de onderrand van het hellingveen. Hier gaat het hellingveen tamelijk abrupt over in vochtig hellingbos met lokale kwelplekken. Aan de westzijde, onderaan de helling bij het spoor zijn in een afgestoken greppeltalud langs het zandpad Reuzenpaardestaart (*Equisetum telmateia*), Zeegroene zegge (*Carex flacca*) en incidenteel Bleke zegge (*Carex pallescens*) aanwezig.

B3.9 Noorbeemden (NOOR)

Het transect in de Noorbeemden ligt in een hooilandperceel op een zwakke, noordelijk geëxponeerde helling die afloopt naar de Noor. Het perceel wordt jaarlijks tweemaal gehooid, waarbij vlakken blijven overstaan.

Afgaand op oude topografische kaarten is het terrein vanaf eind jaren dertig tot circa 1960 bebost geweest. Daarna is het enige tijd grasland om dan vanaf eind jaren tachtig tot eind jaren negentig van de vorige eeuw als akker in gebruik te zijn geweest. Sindsdien is het hooiland

Direct boven het perceel ligt een vrij recent geextensiveerd weiland (tot circa 2010 in gebruik als akker), met veel elementen van een kamgrasweide (*Cynosuretum*). Dit gaat aan de bovenrand van het hellingveen over in produktieve Veldrus-beemd, waar in het voorjaar veel Speenkruid (*Ranunculus ficaria*) aanwezig is, wat duidt op een productief en bovenal een wisselvochtig karakter van de standplaats. Dat is gezien het landgebruik in het recente verleden niet vreemd.

Het centrale deel van het transect biedt de meest typische vorm van de Veldrusbeemd in dit terrein, met veel Veldrus (*Juncus actutiflorus*), Veldlathyrus (*Lathyrus pratensis*), Moerasrolklaver (*Lotus pedunculata*) maar ook Slanke sleutelbloem (*Primula eliator*), Moerasstreekzaad (*Crepis paludosa*) en lokaal veel Bosbies (*Scirpus sylvaticus*) en Holpijp (*Equisetum fluviatile*). Incidenteel zijn Zeegroene rus (*Juncus inflexus*) en Brede orchis (*Dactylorhiza majalis ssp majalis*) aanwezig. De onderrand nabij de bosrand is het natst met soorten als Mannagras (*Glyceria fluitans*). De moslaag langs het transect wordt veelal gedomineerd door Gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*). Dichter naar de meters diep ingesneden beek is een droge zone aanwezig, begroeid met o.a. populieren.

BIJLAGE 4: Synoptische tabel van de vegetatie in de onderzochte gebieden

Vegetatietype <i>aantal opnamen (n_{tot} = 63)</i>	S	V	Mk	K	M	Mb	Bk	JM	
kasteelpark Elsloo	4	.	.	.	.	.	.	.	S: Scherpe zegge ruigte
Noorbeemden	.	4	.	.	.	.	.	.	V: Veldrusbeemd
Mechelderbeemden	.	11	.	.	2	.	.	.	Mk: Moeraszeggebeemd met kalkmoerasindicaties
Terworm	11	.	.	.	K: Kalkmoeras (H7230)
Papenbroek	.	.	10	.	.	.	.	.	M: Riet-zeggenmoeras
Weustenrade	.	.	.	8	.	.	.	.	Mb: Verbost Moeraszeggebeemd
Weverveen	3	.	.	Bk: Nat Schraalland (H6410) met bosplanten en kalkmoerasplanten (H7230)
Ravensbos	9	1	JM: Schraal hooiland met bosplanten

Kalk(tuf)moeras		<i>Caricion davallianae - Carici flavae-Cratoneuron filicini</i>								
gewoon diknerfmos	25	.	10	75	62	.	.	.	<i>Cratoneuron filicinum</i>	Crafilic
reuzenpaardestaart	.	.	100	100	.	.	.	.	<i>Equisetum telmateia</i>	Equitelma
heelblaadjes	.	.	30	63	.	.	.	.	<i>Pulicaria dysenterica</i>	Puldysen
gekroesd plakkaatmos	.	.	10	88	.	.	.	.	<i>Pellia endiviifolia</i>	Pelendiv
geel boogsterrenmos	.	20	70	.	.	.	.	.	<i>Plagiothecium elatum</i>	Plaelatu
zeegroene zegge	.	7	.	50	.	.	78	.	<i>Carex flacca</i>	Carflacc
zeegroene rus	.	13	.	50	8	.	22	.	<i>Juncus inflexus</i>	Juninfl
brede + rietorchis	.	7	.	25	8	.	.	.	<i>Dactylorhiza majalis sl</i>	Dacmajal
zomprus	.	.	.	50	8	.	22	.	<i>Juncus articulatus</i>	Junartic
gewoon kransblad	.	.	.	13	15	.	.	.	<i>Chara vulgaris</i>	Chavulga
veenknikmos	.	.	.	63	.	.	.	.	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	Brypseud
groot staartjesmos	.	.	.	25	.	.	.	.	<i>Philonotis calcarea</i>	Phicalca
schubzegge	.	.	.	25	.	.	22	.	<i>Carex lepidocarpa</i>	Carlepid
groot vedermos	.	.	.	13	.	33	89	.	<i>Fissidens adianthoides</i>	Fisadian
bruin cypergras	.	.	.	.	15	.	11	.	<i>Cyperus fuscus</i>	Cyptuscus
gele zegge	.	.	.	.	.	.	56	.	<i>Carex flava</i>	Carflava
sterrengoudmos	.	.	.	.	.	.	44	.	<i>Campylium stellatum</i>	Camstell
paddenrus	.	.	.	.	8	.	.	.	<i>Juncus subnodulosus</i>	Junsubno

Brongebieden/natte pioniermilieus		<i>Montio-Cardaminetea/Isoeto-Nanojuncetea</i>								
paarbladig goudveil	50	.	.	.	.	.	.	.	<i>Chrysosplenium oppositifolium</i>	Chroppos
bosveldkers	100	.	20	.	46	33	.	.	<i>Cardamine flexuosa</i>	Carflexu
moerasmuur	.	20	10	.	8	.	.	.	<i>Stellaria uliginosa</i>	Steuligi
beekdikpomp	.	7	.	.	.	.	.	.	<i>Brachythecium rivulare</i>	Brarivul
bittere veldkers	.	.	10	.	.	.	.	.	<i>Cardamine amara</i>	Caramara
breekblaadje	.	.	.	.	.	.	11	.	<i>Campylopus pyriformis</i>	Campyrif
borstelbies	.	.	.	.	.	.	11	.	<i>Isolepis setacea</i>	Isosetac

Natte schraallanden		<i>Junco-Molinion/Nardetea</i>								
rond boogsterrenmos	.	13	.	.	.	.	89	.	<i>Plagiomnium affine</i>	Plaaffin
blauwe zegge	.	.	.	13	.	.	67	.	<i>Carex panicea</i>	Cpanicea
boompjesmos	.	.	.	.	.	.	78	.	<i>Climacium dendroides</i>	Clidendr
haakmos	.	.	.	.	.	.	22	.	<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	Rhysquar
greppelblaadje	.	.	.	.	.	.	11	.	<i>Cladonia caespitosa</i>	Clacaesp
pijpenstrootje	.	.	.	.	.	.	56	100	<i>Molinia caerulea</i>	Molcaeru
veelbloemige veldbies	.	.	.	.	.	.	33	100	<i>Luzula multiflora</i>	Luzmulti
bleke zegge	.	.	.	.	.	.	33	100	<i>Carex pallescens</i>	Carpalle
tormentil	.	.	.	.	.	.	22	100	<i>Potentilla erecta</i>	Poterec
pilzegge	.	.	.	.	.	.	.	100	<i>Carex pilulifera</i>	Carpilul
blauwe knoop	.	.	.	.	.	.	.	100	<i>Succisa pratensis</i>	Sucprate
gewoon veenmos	.	.	.	.	.	.	.	100	<i>Sphagnum palustre</i>	Sphpalus
fraai haarmos	.	.	.	.	.	.	.	100	<i>Polytrichum formosum</i>	Polformo
gaaf buidelmos	.	.	.	.	.	.	.	100	<i>Calyptogeia fissa</i>	Calfissa

Vegetatietype	S	V	Mk	K	M	Mb	Bk	JM	
aantal opnamen (n _{tot} = 63)	4	15	10	8	13	3	9	1	
kasteelpark Elsloo	4	.	.	.	.	.	.	.
Noorbeemden	.	4	.	.	.	.	.	.
Mechelderbeemden	.	11	.	.	2	.	.	.	
Terworm	.	.	.	.	11	.	.	.	
Papenbroek	.	.	10	.	.	.	.	.
Weustenrade	.	.	.	8	.	.	.	.
Weverveen	.	.	.	.	.	3	.	.	
Ravensbos	.	.	.	.	.	.	9	1	

S: Scherpe zegge ruigte
V: Veldrusbeemd
Mk: Moeraszeggebeemd met kalkmoerasindicaties
K: Kalkmoeras (H7230)
M: Riet-zeggenmoeras
Mb: Verbot Moeraszeggebeemd
Bk: Nat Schraalland (H6410) met bosplanten en kalkmoerasplanten (H7230)
JM: Schraal hooiland met bosplanten

Dotterbloemhooilanden

Calthion palustris

moerasspirea	75	80	100	63	23	67	100	.	Filipendula ulmaria	Filulmar
gewone engelwortel	75	60	60	100	23	.	67	.	Angelica sylvestris	Angsylve
bosbies	50	87	.	.	8	.	67	.	Scirpus sylvaticus	Scisylva
lidrus	25	87	10	100	62	.	.	.	Equisetum palustre	Equpalus
moerasrolklaver	.	100	70	63	38	.	.	.	Lotus pedunculatus	Lotpedun
gewone dotterbloem	.	53	50	.	15	.	.	.	Caltha palustris	Calpalus
tweerijige zegge	.	67	30	63	.	.	.	.	Carex disticha	Cardisti
echter koekoeksbloem	.	87	80	38	23	.	.	.	Silene flos-cuculi	Silflos-
pinksterbloem	.	93	10	25	31	67	89	.	Cardamine pratensis	Carprate
kale jonker	.	60	100	100	31	67	100	.	Cirsium palustre	Cirpalus
ruw walstro	.	73	.	38	8	.	11	.	Galium uliginosum	Galuligi
geveugeld hertshooi	.	.	.	75	31	.	.	.	Hypericum tetrapterum	Hypetra
moerastrepzaad	.	13	.	.	.	.	22	.	Crepis paludosa	Crepalud
veldrus	.	87	50	.	.	.	78	100	Juncus acutiflorus	Junacuti
beemdvergeet-me-nietje	.	27	.	.	.	.	.	.	Myosotis scorpioides s. nemorosa	Myos.nem
moerasvergeet-me-nietje	.	60	.	.	.	.	.	.	Myosotis scorpioides s. scorpioides	Myos.sco

Voedselrijke moerassen / Natte strooiselruigten

Phragmitetea/ Covoalulo-Filipenduletea

scherpe zegge	50	.	.	.	.	.	.	.	Carex acuta	Caracuta
liesgras	50	.	.	.	.	.	.	.	Glyceria maxima	Glymaxim
fioringras	25	.	.	.	.	.	.	.	Agrostis stolonifera	Agrstolo
harig wilgenroosje	25	.	.	.	31	.	.	.	Epilobium hirsutum	Epihirsu
gewone smeewortel	100	7	.	.	.	.	.	.	Symphytum officinale	Symoffic
haagwinde	75	33	10	63	15	.	.	.	Convolvulus sepium	Consepiu
koninginnenkruid	75	.	50	88	38	.	89	.	Eupatorium cannabinum	Eupcanna
watermunt	25	53	60	88	69	33	89	.	Mentha aquatica	Menaquat
grote kattenstaart	.	53	60	100	69	.	78	.	Lythrum salicaria	Lytsalic
moeraswalstro	.	67	.	25	.	100	11	.	Galium palustre	Galpalus
geoord helmkruid	.	13	50	63	62	33	22	.	Scrophularia auriculata	Scauricu
moeraszegge	.	53	80	100	100	100	.	.	Carex acutiformis	Caracuti
viltige basterdwederik	.	27	10	100	15	.	.	.	Epilobium parviflora	Epiparvi
moerassikkelmos	.	7	.	.	15	.	.	.	Drepanocladus aduncus	Dreadunc
pitrus	.	40	.	.	.	.	.	.	Juncus effusus	Juneffus
grote egelskop	.	.	20	.	38	.	.	.	Sparganium erectum	Spaerect
blauw glidkruid	.	.	.	63	.	.	.	.	Scutellaria galericulata	Scugaler
kleine watereppe	.	.	.	25	38	.	.	.	Berula erecta	Bererect
riet	.	.	.	50	31	33	.	.	Phragmites australis	Phraustr
wolfsfoot	.	.	.	38	15	33	.	.	Lycopus europeus	Lyceurop
grote wederik	.	.	.	50	.	100	100	100	Lysimachia vulgaris	Lysvulga
pluimzegge	.	.	.	.	15	33	67	.	Carex paniculata	Cpanicul
grote valeriana	.	.	.	.	.	33	11	.	Valeriana officinalis	Valoffic
mannagras	.	13	.	.	.	.	.	.	Glyceria fluitans	Glyfluit
beekpunge	.	13	.	.	.	.	.	.	Veronica beccabunga	Verbecca
holpijp	.	13	10	.	.	.	.	.	Equisetum fluviatile	Equfluvi
bitterzoet	.	.	10	.	.	33	.	.	Solanum dulcamara	Soldulca
rietgras	.	.	.	13	.	.	.	.	Phalaris arundinacea	Phaarund
blaartrekkende boterbloem	.	.	.	.	23	.	.	.	Ranunculus sceleratus	Ranscele
grote cyperzegge	.	.	.	.	15	.	.	.	Carex pseudocyperus	Carpseud
klein kroos	.	.	.	.	15	.	.	.	Lemna minor	Lemminor
grote waterweegbree	.	.	.	.	8	.	.	.	Alisma plantago-aquatica	Aliplant
knopige duizendknoop	.	.	.	.	8	.	.	.	Persicaria lapathifolia	Perlapat
kantige basterdwederik	.	.	.	.	8	.	.	.	Epilobium tetragonum	Epitetra

Vegetatietype	S	V	Mk	K	M	Mb	Bk	JM	
<i>aantal opnamen (n_{tot} = 63)</i>	4	15	10	8	13	3	9	1	
kasteelpark Elsloo	4	.	.	.	.	.	.	.
Noorbeemden	.	4	.	.	.	.	.	.
Mechelderbeemden	.	11	.	.	2	.	.	.	
Terworm	.	.	.	.	11	.	.	.	
Papenbroek	.	.	10	.	.	.	.	.
Weustenrade	.	.	.	8	.	.	.	.
Weerverveen	.	.	.	.	.	3	.	.	
Ravensbos	.	.	.	.	.	.	9	1	

S: Scherpe zegge ruigte
V: Veldrusbeemd
Mk: Moeraszeggebeemd met kalkmoerasindicaties
K: Kalkmoeras (H7230)
M: Riet-zeggenmoeras
Mb: Verbost Moeraszeggebeemd
Bk: Nat Schraalland (H6410) met bosplanten en kalkmoerasplanten (H7230)
JM: Schraal hooiland met bosplanten

Matig voedselrijke graslanden *Molinio-Arrhenatheretea*

glanshaver	75	13	.	.	.	.	.	.	Arrhenatherum elatius	Arrelati
kruipende boterbloem	100	47	30	.	8	.	.	.	Ranunculus repens	Ranrepen
gewoon dikkopmos	75	7	30	38	85	.	.	.	Brachythecium rutabulum	Brarutab
ruw beemdgras	100	93	100	13	15	.	44	.	Poa trivialis	Poatrivi
gewoon plakkaatmos	25	.	.	.	.	.	44	.	Pelia epiphylla	Pelepiph
gewoon puntmos	.	93	60	88	69	33	100	.	Calliergonella cuspidata	Calcuspi
rood zwenkgras	.	27	.	13	.	.	11	.	Festuca rubra rubra	Fesrubra
ruw walstro	.	73	.	38	8	.	11	.	Galium uliginosum	Galuligi
veldlathyrus	.	67	40	.	8	.	.	.	Lathyrus pratensis	Latprate
gestreepte witbol	.	100	30	13	.	.	.	.	Holcus lanatus	Hollanat
paardenbloem spec.	.	73	50	13	.	.	.	.	Taraxacum sectie Ruderalia	Tarsecti
gewone hoornbloem	.	67	20	.	.	.	.	.	Cerastium fontanum	Cerfonta
veldzuring	.	67	.	.	.	.	.	.	Rumex acetosa	Rumaceto
rode klaver	.	47	.	.	.	.	.	.	Trifolium pratensis	Triprate
scherpe boterbloem	.	40	.	.	.	.	.	.	Ranunculus acris	Ranacris
veldbeemgras	.	40	.	.	.	.	.	.	Festuca pratensis	Fesprate
grote vossenstaart	.	40	.	.	.	.	.	.	Alopecurus pratensis	Aloprate
witte klaver	.	27	.	.	.	.	.	.	Trifolium repens	Trirepen
hoog struisgras	.	20	.	.	.	.	.	.	Agrostis gigantea	Aggrigan
kantig hertshooi	.	20	.	.	.	.	.	.	Hypericum maculatum	Hyprmacul
penningkruid	.	20	.	.	.	.	.	.	Lysimachia nummularia	Lysnummu
stomp boogsterremos	.	20	.	.	.	.	.	.	Plagiothecium ellipticum	Plaellip
veldereprijs	.	20	.	.	.	.	.	.	Veronica arvensis	Verarven
gewone ereprijs	.	13	.	.	.	.	.	.	Veronica chamaedrys	Verchama
tijmeprijs	.	13	.	.	.	.	.	.	Veronica serpyllifolia	Verserpy
kropaar	.	13	.	.	.	.	.	.	Dactylis glomerata	Dacglome
grasmuur	.	13	.	.	.	.	.	.	Stellaria graminea	Stegrami
kleine klaver	.	13	.	.	.	.	.	.	Trifolium dubium	Tridubiu
grote bevernel	.	7	.	.	.	.	.	.	Pimpinella major	Pimmajor
gewone brunel	.	7	.	.	.	.	.	.	Prunella vulgaris	Pruvulga
smalle weegbree	.	7	.	.	.	.	.	.	Plantago lanceolata	Plalance
ridderzuring	.	7	.	.	.	.	.	.	Rumex obtusifolius	Rumobtus
gewoon struisgras	.	7	.	.	.	.	.	.	Agrostis capillaris	Agrcapil
schildereprijs	.	7	.	.	.	.	.	.	Veronica scutellaria	Verscute
heggewikke	.	7	.	.	.	.	.	.	Vicia sepium	Vicsepiu
glad walstro	.	7	.	.	8	.	.	.	Galium mollugo	Galmollu
biezenknoppen	.	.	10	.	.	.	.	.	Juncus conglomeratus	Juncongl
florentijns havikskruid	.	.	.	13	.	.	.	.	Hieracium praealtum	Hiepraea
vogelwikke	.	.	.	13	.	.	.	.	Vicia cracca	Viccracca

Droge/ matig vochtige ruigten en zomen etc. *Gallio-Utricetea / Plantaginetea*

look-zonder-look	25	.	.	.	.	.	.	.	Alliaria petiolata	Allpetio
kleefkruid	25	.	50	13	31	33	11	.	Galium aparine	Galapari
grote brandnetel	50	13	30	.	8	.	.	.	Urtica dioica	Urtdioic
gewone bereklauw	.	13	10	.	.	.	.	.	Heracleum sphondylium	Hersphon
kluwenzuring	.	53	.	.	.	.	.	.	Rumex conglomeratus	Rumcongl
krulzuring	.	20	.	.	.	.	.	.	Rumex crispus	Rumcrisp
ruige zegge	.	20	.	.	.	.	.	.	Carex hirta	Carhirta
hondsdrif	.	13	.	.	.	.	.	.	Glechoma hederacea	Gleheder
groot wilgenroosje	.	7	.	.	.	.	.	.	Chamerion angustifolium	Chaangus
akkerdistel	.	7	.	.	.	.	.	.	Cirsium arvense	Cirarven
kweek	.	7	.	.	.	.	.	.	Elymus repens	Elyrepen
fluitenkruid	.	7	.	.	.	.	.	.	Anthriscus sylvestris	Antsylve
kruisbladwalstro	.	7	.	.	.	.	.	.	Cruciata laevipes	Crulaevi
gewone melkdistel	.	.	40	.	.	.	.	.	Sonchus oleraceus	Sonolera
engels raagrass	.	.	10	.	.	.	.	.	Lolium perenne	Lolperen
gekroesde melkdistel	.	.	10	.	.	.	.	.	Sonchus asper	Sonasper
duinriet	.	.	.	13	.	.	33	.	Calamagrostis epigejos	Calepige
kleine veldkers	.	.	.	13	.	.	.	.	Cardamine hirsuta	Carhirsu

Vegetatietype	S	V	Mk	K	M	Mb	Bk	JM	
aantal opnamen (n tot = 63)	4	15	10	8	13	3	9	1	
kasteelpark Elsloo	4	.	.	.	.	.	.	.
Noorbeemden	.	4	.	.	.	.	.	.
Mechelderbeemden	.	11	.	.	2	.	.	.	
Terworm	11	.	.	.	
Papenbroek	.	.	10	.	.	.	.	.
Weustenrade	.	.	.	8	.	.	.	.
Weverveen	3	.	.	
Ravensbos	9	1	

S: Scherpe zegge ruigte
V: Veldrusbeemd
Mk: Moeraszeggebeemd met kalkmoerasindicaties
K: Kalkmoeras (H7230)
M: Riet-zeggenmoeras
Mb: Verbost Moeraszeggebeemd
Bk: Nat Schraalland (H6410) met bosplanten en kalkmoerasplanten (H7230)
JM: Schraal hooiland met bosplanten

Rijke loofbossen

Querc-Fagetea

robertskruid	50	.	.	.	.	.	.	.	Geranium robertianum	Gerrober
bosvergeet-me-nietje	25	.	.	.	.	.	.	.	Myosotis sylvatica	Myosylva
groot springzaad	25	.	.	.	.	.	.	.	Impatiens noli-tangere	Impnoli-
gele dovenetel	25	.	.	.	.	.	.	.	Lamium galeobdolon	Lamgaleo
klimpop	25	.	.	.	.	.	.	.	Hedera helix	Hedhelix
gevlekte aronskelk	25	.	.	.	.	.	.	.	Arum maculatum	Arumacul
gewoon nagelkruid	.	7	.	.	.	.	.	.	Geum urbanum	Geuurban
haarspitsmos	25	13	.	.	.	.	44	.	Cirriophyllum piliferum	Cirpilif
dagkoekebloem	75	7	10	.	.	.	.	.	Silene dioica	Sildioic
kruipeend zenegroen	25	13	20	.	.	.	56	.	Ajuga reptans	Ajurepta
slanke sleutelbloem	50	13	20	.	.	33	33	.	Primula elatior	Prielati
fijn laddermos	25	7	.	.	31	.	11	.	Kinbergia praelongum	Kinprael
gerimpeld boogsterrenmos	50	7	.	.	69	33	89	.	Plagiomnium undulatum	Plaundul
moerasnavelmos	.	.	20	.	.	.	.	.	Oxyrrhynchium speciosum	Oxyspeci
bloedzuring	.	.	30	.	.	.	.	.	Rumex sanguineus	Rumsangu
ruwe smele	.	.	.	13	.	.	67	.	Deschampsia cespitosa	Descespi
geplooid snavelmos	.	.	.	.	.	67	44	.	Eurhynchium striatum	Eurstria
wijfjesvaren	.	.	.	.	.	67	33	.	Athyrium filix-femina	Athfilix
groot heksenkruid	.	.	.	.	.	67	11	.	Circaea lutetiana	Cirlutet
bosbingelkruid	.	.	.	.	.	33	33	.	Mercurialis perennis	Merperen
boswederik	.	.	.	.	.	33	67	.	Lysimachia nemorum	Lysnemor
eenbes	.	.	.	.	.	33	56	.	Paris quadrifolia	Parquadr
muskuskruid	.	.	.	.	8	.	.	.	Adoxa moschatellina	Adomosch
kleisnavelmos	.	.	.	.	8	.	11	.	Oxyrrhynchium hians	Oxyhians
bleeksporig bosviooltje	.	.	.	.	.	.	44	.	Viola riviniana	Viorivin
boszegge	.	.	.	.	.	.	44	.	Carex sylvatica	Carsylva
ijle zegge	.	.	.	.	.	.	22	.	Carex remota	Carremot
veelbloemige salomonszegel	.	.	.	.	.	.	22	.	Polygonatum multiflorum	Polmulti
grote keverorchis	.	.	.	.	.	.	22	.	Neottia ovata	Neoovata
bosgierstgras	.	.	.	.	.	.	11	.	Millium effusum	Milleffus
bosanemoon	.	.	.	.	.	.	100	100	Anemone nemorosa	Anenemor
spaanse aak	50	.	.	.	.	.	.	.	Acer platanoides	Aceplata
gewone esdoorn	25	7	70	.	.	33	100	100	Acer pseudoplatanus	Acepseud
gewone es	25	.	20	50	.	33	89	.	Fraxinus excelsior	Fraexcel
grauwe en rossige wilg	.	.	10	88	31	33	.	.	Salix cinerea	Salciner
zwarte els	.	.	40	38	23	.	44	.	Alnus glutinosa	Alngluti
haagbeuk	.	.	.	13	.	.	33	.	Carpinus betulis	Carbetul
schietwilg	.	.	.	25	.	.	.	.	Salix alba	Salalba
braam spec.	.	.	.	.	.	100	33	100	Rubus fruticosus agg	Rubsubge
fijnspar	.	.	.	.	.	.	44	100	Picea abies	Picabies
lijsterbes	.	.	.	.	.	.	.	100	Sorbus aucuparia	Soraucup
zomereik	.	7	.	.	.	.	.	.	Quercus robur	Querobur
eenstijlige meidoorn	.	.	10	.	.	.	.	.	Crateagus monogyna	Cramonog

Arme loofbossen

Quercetea roburi-petraeae

ruwe berk	.	.	.	13	.	.	.	.	Betula pendula	Betpendu
koningsvaren	.	.	.	.	.	67	.	.	Osmunda regalis	Osmregal
gewoon kantmos	.	.	.	.	15	33	33	.	Lophocolea bidentata	Lopbiden
kamperfoelie	.	.	.	.	.	33	11	100	Lonicera periclymenum	Lonperic
gewoon sterrenmos	.	.	.	.	.	33	33	100	Mnium hornum	Mnihornu
adelaarsvaren	.	.	.	.	.	67	89	100	Pteridium aquilinum	Pteaquil
thujamos	.	.	.	.	.	33	56	100	Thuidium tamariscinum	Thutamam
lelietje-der-dalen	.	.	.	.	.	.	78	100	Convallaria majalis	Conmajal
dalkruid	.	.	.	.	.	.	56	100	Maianthemum bifolium	Maibifol
ruige veldbies	.	.	.	.	.	.	44	100	Luzula pilosa	Luzpilos
zachte berk	.	.	.	.	.	.	.	100	Betula pubescens	Betpubes
fraai haarmos	.	.	.	.	.	.	.	100	Polytrichum formosum	Polformo
geelsteeltje	.	.	.	.	.	.	.	100	Orthodontion lineare	Ortlinea
valse salie	.	.	.	.	.	.	.	100	Teucrium scorodonia	Teuscoro
groot rimpelmos	.	.	.	.	.	.	22	.	Atrichum undulatum	Atrundul
bosklaverzuring	.	.	.	.	.	.	11	.	Oxalis acetosella	Oxaaceto
smalle stekelvaren	.	.	.	.	.	.	11	.	Dryopteris carthusiana	Drycarth
scheef buidelmos	.	.	.	.	.	.	11	.	Calypogeia arguta	Calargut

BIJLAGE 5: Kennisoverzicht habitatcondities en knelpunten voor purperstreeparemoervlinder en Rode vuurvlinder

B5.1 Habitatcondities

Literatuuronderzoek op basis van ecologische studies uit omliggende landen heeft voor zowel Purperstreeparemoervlinder als Rode vuurvlinder beeldt duidelijker zicht op welke habitatcondities optimaal zijn en welke knelpunten zich in Nederland voordoen.

B5.1.a Ruimtelijke condities

Beide soorten kunnen ten aanzien van ruimtelijk voorkomen worden getypeerd als soorten met een klassieke metapopulatiestructuur, met een verzameling lokale populaties die onderling uitwisselen (Sawchik et al., 2005; Zimmermann et al., 2005; Cozzi et al., 2008; Turlure et al., 2010). Lokale populaties beslaan doorgaans minimaal 1 ha. De waargenomen dichtheden vlinders zijn behoorlijk hoog: ca. 30 individuen/ha voor Purperstreeparemoervlinder (Zimmermann et al., 2005; Cozzi et al., 2008) en 68 individuen/ha voor Rode vuurvlinder (Fischer, 1998). Voor de totale oppervlakte van een duurzame metapopulatie moet dan in de orde van grootte van enige tientallen hectaren worden gedacht.

Daarbij zijn beide soorten redelijk mobiel. Voor de Purperstreeparemoervlinder werd het voorkomen het best beschreven op een ruimtelijke schaal van 2 km, terwijl de optimale schaal voor de nog wat meer mobiele Zilveren maan (*Boloria selene*) 4 km bedroeg (Cozzi et al., 2008). Hoewel een groot deel van het landschap uit bos bestond, waren er geen indicaties dat dit een barrière voor dispersie vormde. Bij merk-terugvangsonderzoek werden individuen van deze soort op een maximale afstand van meer dan 2 km teruggevangen, wat vrijwel het maximum is voor de schaal waarop dergelijke studies worden uitgevoerd. De kans om een afstand van 3 km af te leggen werd berekend op 2/1000 (Zimmermann et al., 2005; zie ook Fric et al., 2010), wat bij een grote bronpopulatie een behoorlijke kans is. Voor de Rode vuurvlinder is een dergelijke schatting niet te geven, maar vergelijkend onderzoek in de Ardennen gaf wel een hogere vliegcapaciteit en mobiliteit aan bij de Rode vuurvlinder dan bij de Zilveren maan (Turlure et al., 2010).

B5.1b Habitatkwaliteit

De geschiktheid van een gebied als habitat wordt bepaald door de combinatie van ecologische bestaansbronnen ('resources') en condities (Dennis et al., 2003; 2006). Voor dagvlinders zijn met name het aanbod van waardplanten en nectarplanten en de microklimatologische condities bepalend.

Waardplant

De waardplant van Purperstreeparemoervlinder is in Noordwest-Europa de Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*). In Midden-Europa worden ook wel andere Rosaceae als waardplant gebruikt, zoals Wateraardbei (*Comarum palustre*) en Grote pimpernel (*Sanguisorba officinalis*) (Ebert & Rennwald, 1991; Zimmermann et al., 2005). Eitjes worden op de bladeren van de waardplant afgezet. De soort overwintert als ei, mogelijk ook wel als jonge rups. De rupsen worden vaak hoog in de vegetatie gevonden. Verpopping vindt in het voorjaar plaats op 20-30 cm hoogte in de vegetatie (Ebert & Rennwald, 1991).

Voor de Rode vuurvlinder is de waardplant vooral Veldzuring (*Rumex acetosa*); daarnaast wordt in Duitsland in mindere mate ook de nauw aan Veldzuring verwante Geoorde zuring (*R. thyrsiflorus*) als waardplant benut (Fischer, 1998). De eitjes worden vaak in hoge vegetatie (40-90 cm) afgezet, op de stengel van de waardplant op 20-40 cm onder de top van de plant (Fischer, 1998; Nick et al., 2006). De dichtheid aan waardplanten lijkt daarbij niet erg belangrijk. Ook van de Rode vuurvlinder zijn het de rupsen die overwinteren. Verpopping vindt laag in de vegetatie plaats (Bink, 1992).

Voor beide soorten is een groot nectaraanbod belangrijk, maar de vlinders tonen zich niet bijzonder kieskeurig in hun keuze van nectarplanten. De vliegtijd van beide soorten is in juni-juli, iets vroeger voor de Rode vuurvlinder (Bos et al., 2006). In alle gebieden zijn Kale jonker (*Cirsium palustre*) en Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) veel bezochte soorten, en daarnaast ook diverse vlinderbloemigen,

boterbloemen en andere goede nectarplanten als Knoopkruid (*Centaurea jacea*), Beemdkroon (*Knautia arvensis*) en Adderwortel (*Persicaria bistorta*) (Fischer, 1998; Turlure et al., 2010; Zimmermann et al., 2005). Fischer & Fiedler (2001) vonden bij de Rode vuurvlinder in een experimentele studie een duidelijke relatie tussen het aantal gelegde eitjes en de nectaropname. In het veld werd deze relatie bevestigd. De eitjes worden vaak op enige afstand van de nectarbronnen gelegd, wat een verdere druk op het tijdsbudget van de vrouwtjes legt (Turlure & Van Dyck, 2009). Een afname van de populatiegrootte onder invloed van een serie jaren met veel regenachtige dagen in de vliegtijd werd door Fischer & Fiedler (2001) verklaard op basis van de door het slechte weer beperkte foerageertijd.

Microklimaat

Vocht en warmte zijn voor beide soorten belangrijke bepalende factoren van een geschikt microklimaat. Beide soorten worden gevonden in relatief koele delen van Europa. De gemiddelde jaarlijkse temperatuur in het areaal bedraagt voor de Rode vuurvlinder $6,3 \pm 3,4^\circ\text{C}$ en voor de Purperstrepparelmoervlinder $6,9 \pm 3,0^\circ\text{C}$, terwijl deze voor de vlindersoorten in Nederland gemiddeld $8,7 \pm 1,3$ (\pm s.d.) bedraagt (naar Settele et al., 2008). De Purperstrepparelmoervlinder wordt ook wel in het laagland aangetroffen, maar Rode vuurvlinder komt voornamelijk in middelgebergten voor (Ebert & Rennwald, 1991; Sawchik et al., 2005), hoewel hij vroeger ook uit het laagland van Nederland bekend was (Bos et al., 2006). In het relatief koele klimaat van de Ardennen besteden Rode vuurvlinders een behoorlijk deel van de tijd aan zonnen (30%) en zoeken ze voor eiafzetting relatief warme plekken, die $3-9^\circ\text{C}$ warmer zijn dan de omgeving (Turlure & Van Dyck, 2009). Zowel natte als drogere standplaatsen worden als habitat benut (Sawchik et al., 2005), maar in een droger onderzoeksgebied werden juist redelijk vochtige plekken voor eiafzet benutting (Ellenberg-indicatiewaarde voor Vocht $5,2 \pm 0,8$ gemiddeld, maar $6,1$ op plekken met de meeste eitjes; Nick et al., 2006). Beide soorten worden meestal ook gevonden op plekken met een grote mate van beschutting (Ebert & Rennwald, 1991; Cozzi et al., 2008; Nick et al., 2006). Een en ander doet vermoeden dat zowel Purperstrepparelmoervlinder als Rode vuurvlinder gevoelig zijn voor uitdroging in de rupsenfase, maar binnen die randvoorwaarden wel kiezen voor een warme microklimaat (zie ook Bink, 1992).

Trofiegraad

Qua trofie heeft de Purperstrepparelmoervlinder een voorkeur voor productievere milieus dan de Rode vuurvlinder, hoewel de laatste wel een redelijk brede amplitudo heeft. Purperstrepparelmoervlinders worden doorgaans op relatief voedselrijke plekken met de waardplant Moerasspirea gevonden (Zimmermann et al., 2005), in de Ardennen veelal vergezeld door Gewone engelwortel (*Angelica sylvestris*), Echte valeriana (*Valeriana officinalis*), Gewone wederik (*Lysimachia vulgaris*), Kale jonker (*Cirsium palustre*) en vaak ook Grote brandnetel (*Urtica dioica*) (Sawchik et al., 2005). Rode vuurvlinders worden deels op dezelfde plekken gevonden (Zimmermann et al., 2005), maar deels ook op natte voedselarmere plekken met zeggen en russen, en deels ook op drogere locaties (Sawchik et al., 2003; 2005). In Brandenburg duidde de vegetatie op plekken met eiafzetting van Rode vuurvlinder op matig voedselrijke condities (gemiddeld $4,8 \pm 0,4$; Nick et al., 2006).

Al met al is er voor beide soorten een behoorlijke basiskennis aanwezig over de ecologische randvoorwaarden voor geschikte habitatkwaliteit. De koppeling van habitatkwaliteit aan de ruimtelijke configuratie van geschikte plekken is echter nog onvoldoende gedetailleerd bekend en op de situatie van het Heuvelland toegesneden om tot een betrouwbare kartering van habitatplekken te komen. Zo is slecht te beoordelen welke minimale omvang van afzonderlijke plekken nog effectief worden benut. Zo zijn in de Eifel wel Purperstrepparelmoervlinders op plekken met Moerasspirea van slechts 100 m^2 aangetroffen (pers. obs.), maar deze kunnen uiteraard alleen een bijdrage leveren wanneer de ruimtelijke samenhang op grotere schaal voldoende is.

B5.1c Vegetatietypen en beheer

Het voorkomen van vlinders vertoont veelal slechts een gedeeltelijke overlap met vegetatietypen. Zoals boven gesteld is veeleer de combinatie van waardplanten, nectarplanten en microklimaat doorslaggevend. In grote lijn is de associatie met vegetatietypen voor beide soorten wel te maken (Ebert & Rennwald, 1991; Fischer, 1998; Sawchik et al., 2003 en 2005; Zimmermann et al., 2005; Nick et al., 2006). De Purperstrepparelmoer-vlinder komt vooral in *Filipendulion*- en *Calthion*- vegetaties voor. De Rode vuurvlinder komt voor in een groter aantal vegetatietypen, maar met een zwaartepunt in beemden (*Arrhenatherion*, *Calthion* en *Junco-Molinion*). Beide soorten komen vaak hoog in de vegetatie voor. Het is dan ook niet verwonderlijk dat braaklegging op korte termijn gunstig is. De Purperstrepparelmoervlinder heeft zich met het verlaten van graslanden in Tsjechië aanzienlijk uitgebreid (Zimmermann et al., 2005) en ook de Rode vuurvlinder kan zich bij braak lang handhaven (Fischer, 1998). Vooral voor Purperstrepparelmoervlinder is maaien na de vliegtijd funest omdat de eitjes nog lang hoog in de vegetatie blijven zitten. Gefaseerd maaien is dan een goede oplossing zijn (en is traditioneel vaak ook de praktijk omdat delen van het land vaak te drassig blijven om te maaien). In Tsjechië werd juist ook eiafzetting gevonden op gemaaide delen (Zimmermann et al., 2005), al was dat daar niet op *Moerasspirea*, zodat het de vraag is of dit ook in onze streken kan werken. Voor de Rode vuurvlinder is intensief beheer eveneens ongunstig, maar de soort verdraagt gefaseerd maaien en beweiding in rotatie goed (Fischer, 1998; Nick et al., 2006). Bedreigingen voor Purperstrepparelmoervlinder en Rode vuurvlinder bestaan in onze buurlanden vooral uit ontwatering en verlies van leefgebied door bosaanplant of door intensivering van het landgebruik (Ebert & Rennwald, 1991; Nick et al., 2006). Bij opwarming wordt in de toekomst een opschuiving van het areaal in noord- en oostwaartse richting verwacht (Settele et al., 2008), maar dit is een grootschalige voorspelling die zeker bij aandacht voor een goede habitatkwaliteit op regionaal niveau niet bewaarheid hoeft te worden (Wallis de Vries et al., 2011).

B5.2 Knelpunten in het Heuvelland

De knelpunten voor Purperstrepparelmoervlinder en Rode vuurvlinder liggen vooral op de volgende punten:

- onvoldoende aanbod van leefgebied van geschikte kwaliteit, zoals hieronder samengevat:
 - vochtig tot nat, open, extensief gebruikt
 - hoogstens matig voedselrijk voor de Rode vuurvlinder (Purperstrepparelmoervlinder is minder kritisch)
 - bloemrijk met in elk geval distels en koekoeksbloemen
 - gefaseerd beheerd met tijdelijk overstaande delen
 - voldoende beschermt, maar ook voldoende door de zon beschenen
- onvoldoende ruimtelijke samenhang: dit geldt zowel voor de kolonisatie als voor de vestiging
 - Incidentele kolonisaties worden waargenomen, maar het is de vraag of deze bij voldoende geschikt leefgebied ook toereikend zouden zijn om tot duurzame vestiging te leiden. Daarvoor is de isolatie ten opzichte van bronpopulaties mogelijk te groot.
 - Voor de opbouw van een metapopulatie is een netwerk van plekken vereist op onderlinge afstanden van hooguit één kilometer voor een effectieve uitwisseling van deelpopulaties

Beide soorten bereiken in Nederland de grens van hun areaal. Klimaat-verandering zou in de toekomst dus een knelpunt kunnen gaan vormen. De onzekerheden hierin zijn, zoals eerder genoemd, echter groot en een goede habitatkwaliteit, vooral een stabiele hydrologie, blijkt veel van de klimatologische variatie te kunnen opvangen (zie bijv. Franco et al., 2006). Vooral de invloed van kwelwater kan een koeler microklimaat waarborgen. Daarom wordt klimaatverandering hier vooralsnog niet als doorslaggevend knelpunt gezien, maar het herstel van de hydrologie des te meer!

B5.3 Kennisvragen

Zowel Purperstreepparelmoervlinder als Rode vuurvlinder zijn recent nog in het Heuvelland gezien, maar duurzame hervestiging is uitgebleven. Het aanbod van geschikt leefgebied in het Heuvelland is op het ogenblik duidelijk onvoldoende. Ontwatering, bemesting, intensivering van beheer en versnippering van de resterende natte, matig voedselrijke graslanden en hellingmoerassen zijn daar debet aan. Het is echter onvoldoende duidelijk welke kritische drempel gehaald zou moeten worden om een kansrijke situatie te creëren. Op verschillende plaatsen zijn kansrijke situaties aanwezig voor kleine lokale populaties (Boven-Geuldal, Vaals, Geleenbeekdal, Kerkrade) (De Mars et al., 2012). Het is nu de vraag of er in deze omgeving voldoende potenties liggen. Dit zou, met een goed beeld van het leefgebied, moeten kunnen worden vastgesteld. Daarbij is het van belang om ook grensoverschrijdende situaties (Wormdal, Voerstreek) mee te nemen, mede omdat deze gebieden minder goed zijn onderzocht.

Zoals hierboven werd geconstateerd is de koppeling van habitatkwaliteit aan de ruimtelijke configuratie van geschikte plekken nog onvoldoende gedetailleerd bekend en op de situatie van het Heuvelland toegesneden om tot een betrouwbare kartering van habitatplekken te komen. Om het vereiste beeld van het leefgebied van beide soorten te verkrijgen, is het aan te bevelen om in Eifel of Ardennen nader onderzoek te doen aan de ruimtelijke samenhang en landschapsecologische condities waarin geschikt leefgebied voorkomt. Op basis hiervan kunnen de actuele waarden en potenties in het Heuvelland in kaart worden gebracht.

BIJLAGE 6: Geologische, bodemkundige en humusprofiel beschrijvingen van de onderzochte locaties

B6.1 Inleiding

Het veldwerk in de eerste serie van zes terreinen (Papenbroek, Mechelder beekdal, Ravensbos, Kasteelpark Elsloo ('Bunderbos'), Weustenrade en Terworm) is uitgevoerd op 3, 4 en 5 juni 2013. Op 14 juli 2016 is aanvullend veldwerk verricht in Weverveen en Noorbeemden. In totaal zijn 23 profielen uitgeboord met een edelmanboor of een veenguts en beschreven tot een maximale diepte van 2,5 m – mv (Tabel B6.1). De boordiepte was afhankelijk van de stevigheid van het materiaal of de mate waarin stenen verder uitboren onmogelijk maakte. Ten behoeve van de humusprofielbeschrijving en de bodembemonstering is voor het bovenste deel van het profiel gebruik gemaakt van een humushapper of van een broodmes wanneer de bovengrond te slap was voor de humushapper (zie Figuur B6.1). Bij enkele transecten is nog een aantal tussenboringen gedaan om de veendikte vast te stellen. De profielbeschrijvingen zijn opgenomen in Bijlage 7.

Daarnaast zijn de boringen benut voor het bemonsteren van het boorprofiel voor nader bodemchemisch en bodembologisch onderzoek. Het bodemchemisch onderzoek is besproken in hoofdstuk 5.2 en Bijlage 9 terwijl in §5.2.5 en Bijlage 10 ook de resultaten van het bodembologisch onderzoek aan de orde komen.

Tabel B6.1: Verdeling van het aantal profielbeschrijvingen over de transecten.

Terrein	Aantal profielen
B6.2: Papenbroek (PAPE)	4
B6.3: Mechelderbeemden (MECH)	3
B6.4: Ravensbos: Carex-weide (RAVE)	3
B6.5: Kasteelpark Elsloo (BUND)	2
B6.6: Weustenrade (WEUS)	2
B6.7: Terworm (TERW)	2
B6.8: Weverveen (WEVE)	3
B6.9: Noorbeemden (NOOR)	4



Figuur B6.1: Vegetatieaspect en humusprofiel in het Kasteelpark Elsloo (BUND1). Het profiel is gestoken met de humushapper.

In Tabel B6.2 is een overzicht gegeven van de gebruikte codes voor de geologische pakketten. De uitgebreide code in de eerste kolom is opgenomen in de kolom opmerkingen van de profielbeschrijvingen.

Tabel B6.2: In profielbeschrijving gebruikte codes voor geologische pakketten

Code	Formatie	Laagpakket	Type	Geo-code	Toelichting
Bx-Siv	Boxtel	Singraven	Veen	110	Veen, op bronniveaus deels met kalktuf
Bx-Sik	Boxtel	Singraven	Klei/leem	340	Beekafzettingen
Bx-Scc	Boxtel	Schimmert	Colluvium	620	Leem, (zand en klei) met grind. Mengsel van löss, tertiaire klei en terrasmateriaal
Bx-Scs	Boxtel	Schimmert	In situ	421	löss, in situ
Ru-Ve	Rupel	Vessem	Zand	691	Glauconiethoudend zand
Ru-kl	Rupel	Rupel klei	Klei	691	Humeuze, gelaagde klei
Ru-kv	Rupel	Rupel klei	Organisch	699	Venig/kolige laag in Rupel Klei
To-kl	Tongeren	Goudsberg	Klei	691	Humeuze, gelaagde klei
Va-kl	Vaals		Klei	691	Kleilaag in Vaalser Groenzand

De eerste twee letters komen overeen met de afkortingen van geologische formaties in de doorsneden van het digitaal geologisch model (TNO, 2013). Het tweede deel van de code is gebruikt om onderscheid te maken in laagpakketten binnen de formaties en om deze eventueel ondiep te verdelen naar het type afzetting. De kolom 'Geocode' verwijst naar de codering die bij Alterra gebruikt wordt voor geologische informatie in profielbeschrijvingen (Ten Cate et al. 1995).

Per terrein is voor elke boring aangegeven wat de landschapsecologische positie is volgens de indeling van de Landschapsleutel (Kemmers et al., 2011). Dit kan later nuttig zijn bij het identificeren van kansrijke locaties voor herstel en ontwikkeling van hellingmoerassen. Via de Landschapsleutel kunnen geomorfologische- en bodemkaarten vertaald worden naar landschapsecologische eenheden (Kemmers et al., 2011; Jagers op Akkerhuis et al., 2013, De Waal & Van Delft, 2014).

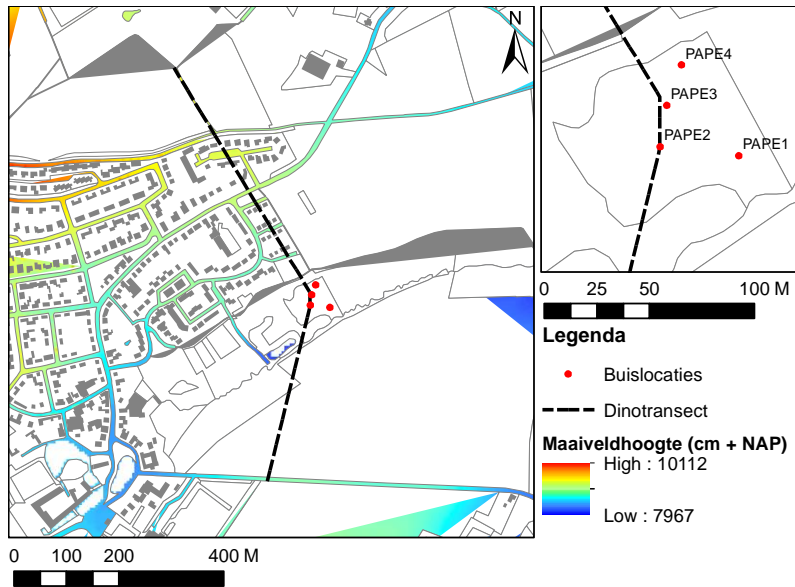
B6.2 Papenbroek (PAPE)

Geologie

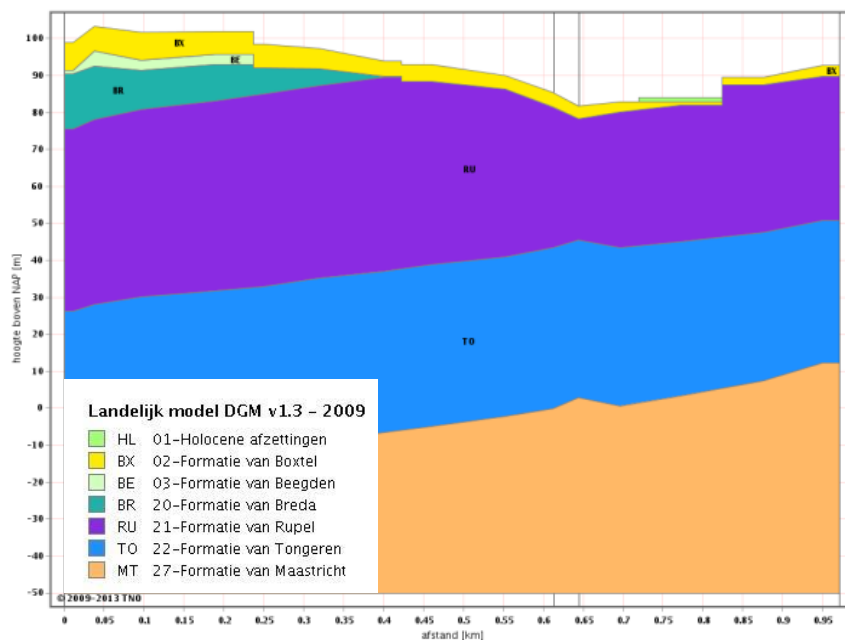
Papenbroek ligt op de noordwest flank van het dal van de Geleenbeek bij Wijnandsrade. Het digitaal geologisch model (TNO, 2013) geeft aan dat de bovenste meters bestaan uit de formatie van Boxtel. Het betreft hier colluviale löss (Formatie van Boxtel, Laagpakket van Schimmert; Bx-Scc). De geomorfologische kaart van Nederland geeft hier een lösswand aan (11/10A4; Ten Cate & Maarleveld, 1977). Onder de löss wordt de slecht doorlatende Formatie van Rupel aangegeven (Figuur B6.3). Hogerop, onder het dorp Wijnandsrade, komen daarop ook mariene afzettingen van de Formatie van Breda voor en een dunne laag pleistocene terrasafzettingen van de Formatie van Beegden. Holocene (beekleem)afzettingen worden alleen aangegeven in het zuidelijk deel van het beekdal, maar komen ook onderaan het transect (bij PAPE1) voor.

De beekleem bestaat uit verspoelde löss en is overwegend kalkloos. In de boring bij PAPE1 is de leem vanaf 180 tot 250 cm -mv. kalkrijk en veel compacter dan de bovenliggende lagen. Dat is waarschijnlijk colluviale löss. In de twee boringen bij de bronniveaus (PAPE2 en PAPE3) is voornamelijk siltige colluviale löss aangetroffen, bij PAPE2 vanaf 115 cm beneden maaiveld mogelijk ook Rupel-klei. Hoger langs het transect, bij PAPE4, gaat de siltige löss op 150 cm -mv. scherp over in lichtgroen zandige leem en sterk lemig zand van de Formatie van Rupel.

In beide boringen die nabij de bronniveaus verricht zijn (PAPE2 en PAPE3), is door het constant uittredende water veenvorming opgetreden. Ook bij PAPE1 komt een dunne moerige laag voor. Dit veen wordt gerekend tot het laagpakket van Singraven binnen de Formatie van Boxtel. Bij de bronniveaus is het veen kalkrijk, in het beekdal bij PAPE1 niet. Bij PAPE2 komen hierin ook brokjes kalktuf voor. Dat is op dit niveau ook aangetroffen onder wilgenstruweel en langs beekjes die bronwater afvoeren. De löss onder het veen is kalkhoudend of kalkloos, de Rupel-klei in boring PAPE2 is weer kalkrijk, bij PAPE1 niet.



Figuur B6.2: Ligging van het transect in Papenbroek, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.
 De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.3).



Figuur B6.3: Geologische dwarsdoorsnede van het Papenbroek (bron: www.Dinoloket.nl).
 (zie figuur B6.2 voor de ligging. Links is noord, rechts zuid, tussen de verticale lijnen ligt het transect).

Bodem

De bodemkaart van Nederland (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990) geeft op deze helling bergbrikgronden (BLb6) aan, de detailkaart van Centraal Plateau (Leenders & Brouwer, 1988) ooivaaggronden in colluviale siltige löss in hellingfase (Lhh6), met oude klei ondieper dan 120 cm onder maaiveld (toevoeging ...t). Vanwege de hydromorfe kenmerken vanaf 10 cm beneden maaiveld is het profiel bij PAPE4 als poldervaaggrond in siltige leem beoordeeld (Lnh5).

Omdat bij beide peilbuizen bij de bronniveaus een moerige bovengrond voorkomt is het bodemtype hier een broekeerdgrond op gerijpte leem (Wg). Bij PAPE2 en PAPE4 komt glauconiethoudende oude klei voor (toevoeging ...a).

Hoewel het profiel bij PAPE2 zeer nat is, komen tot 70 cm -mv. roestvlekken voor wat erop duidt dat in droge perioden het water dieper kan uitzakken (Gt IIa). Bij PAPE3 is

de wateraanvoer kennelijk meer constant en komt de GLG op 45 cm -mv. (Gt Ia). Dat geldt ook voor PAPE1, waar de kwel minder sterk is, maar waar het water dat hoger op de helling uittreedt zich verzamelt. Bij PAPE4 is de bovengrond weliswaar vrij lang nat, maar zakt in de zomer het water toch weg tot 100 cm onder maaiveld en incidenteel zelfs dieper, getuige de roestvlekken in de Rupel klei tussen 150 en 250 cm -mv.

Humus

Bij PAPE1 wordt een schrale vaageerdmoder (sDEv; Van Delft et al. 2006) onderscheiden omdat de moerige laag dunner is dan 15 cm en hierin een wortelmat voor komt. Ook de moerige bovengrond bij PAPE2 is minder dan 15 cm dik en iets veraard als gevolg van de periodiek wat diepere grondwaterstanden. Ook komen hierin regenwormen voor. Door aanvoer van kalk en ijzer met het kwelwater is dit materiaal kalk- en ijzerrijk. De humusvorm is een kalkrijke-vaageerdmoder (DEv). Door de nattere omstandigheden bij PAPE3 is hier minder veraarding opgetreden, behalve in de bovenste 3 cm, waar ook een regenworm werd aangetroffen. Daaronder is de veraarding vooral anaeroob en komt een Og-horizont met kalkbrokjes voor. De humusvorm is een kalkrijke meereerdmoder (tDEm). Bij PAPE4 is door de lagere grondwaterstanden de veraarding het verst voortgeschreden. De bovengrond bevat een dunne (6 cm) kleiig moerige laag en er komen regenwormen voor. De humusvorm is een vaageerdmoder (DEv).

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 3S4 – Beekdalbodem (laaggelegen) (PAPE1), 11/10A4 – Lösswand (PAPE2, PAPE3, PAPE4).

Fysiotoop: h13a – bronnen en kwelrijke bovenlopen (PAPE2, PAPE3), h13c – beekdalen en colluviale dalen (PAPE1), , h12d – kalkarme löss en groenzandhellingen (PAPE4).

Tabel B6.3: Landschapsecologische eenheden in Papenbroek volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	PAPE1	PAPE2	PAPE3	PAPE4
Sectie	HI2 – Hellingen		X	X	X
Serie	HI2d – Hellingen in tertiaire klei en glauconietklei		X	X	X
Primaire standplaats	PS073 – Kwelzones en bronnen		X	X	
	PS074 – Hellingen met glauconietklei				X
Sectie	HI3 – Dalen	X			
Serie	HI3a – Droogdalen en kleine beekdalen in löss	X			
Primaire standplaats	PS077 – Moerassige laagte (in kleine beekdalen)	X			

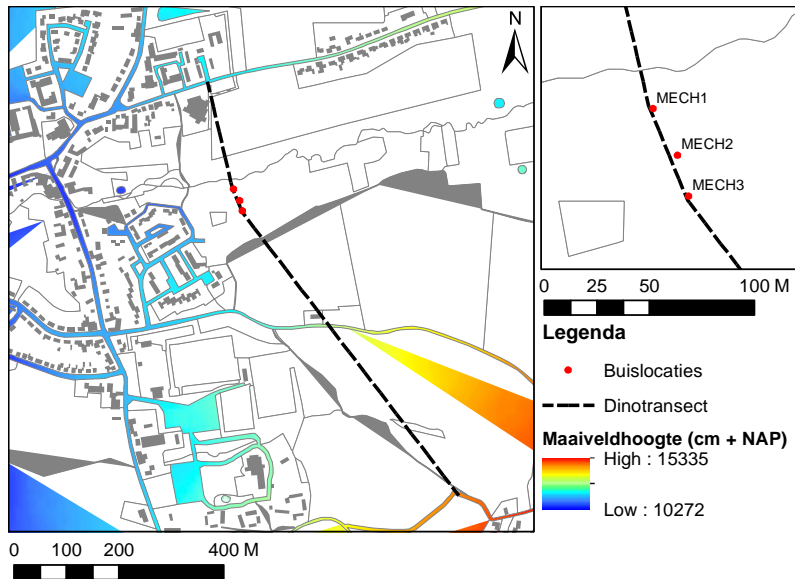
B6.3. Mechelderbeemden (MECH)

Geologie

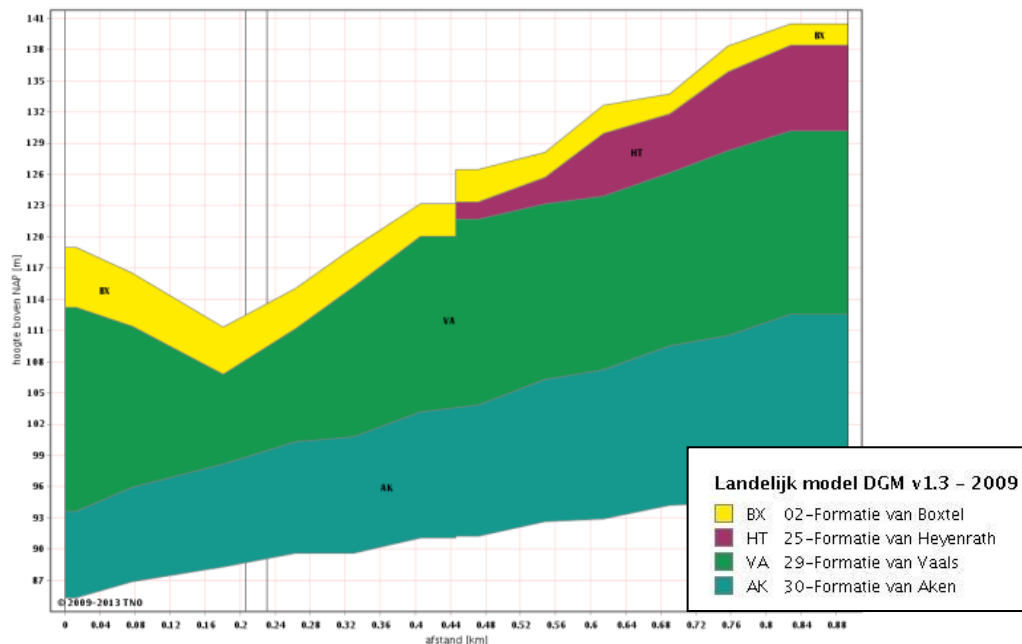
Het onderzochte terrein ligt op de zuidflank van het dal van de Mechelderbeek, ten oosten van Mechelen. Dit is een asymmetrisch dal dat is ingesneden in afzettingen van de formatie van Heyenrath (vuursteeneluvium) en de Formatie van Vaals (Figuur B6.5). Ter plaatse van het onderzochte terrein ontbreekt de eerste formatie. Het glauconiethoudende Vaalser Groenzand (Formatie van Vaals, Va-kl) geldt als slecht doorlatend waardoor water over deze afzettingen kan afstromen naar het beekdal (Berendsen, 2004). Het is echter bekend dat in de bovengrond lokaal goed doorlatende zandbanen aanwezig kunnen zijn (Kessels, 2011). In MECH3 is dit aangeboord op 2 meter diepte en bij MECH1 op 85 cm. Volgens het digitaal geologisch model (TNO, 2013) is het geheel afgedekt met meer dan 5 meter löss van de Formatie van Boxtel, laagpakket van Schimmert (Bx-Scc). Het lijkt in elk geval ter plaatse van het transect dunner te zijn.

Met name bij MECH2 en in mindere mate bij MECH1 is vrij veel veen ontwikkeld dat tot de Formatie van Boxtel, Laagpakket van Singraven (Bx-Siv) gerekend wordt, bij MECH1 is hierin ook beekklei afgezet (Bx-Sik). Bij MECH2 komen in het veenpakket

lagen verspoelde löss voor. Kennelijk werd de veengroei hier afgewisseld door perioden waarin veel erosie optrad in het hoger gelegen deel.



Figuur B6.4: Ligging van het transect in het Mechelder beekdal, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.
 De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.5).



Figuur B6.5: Geologische dwarsdoorsnede van het Mechelder beekdal
 (bron: www.Dinoloket.nl)
 (zie figuur B6.4 voor de ligging. Links is noord, rechts zuid, tussen de verticale lijnen ligt het transect.)

Bodem

De Bodemkaart van Nederland (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990) geeft voor het beekdal 'Lössige beekdalgronden' (ABI) aan. Hiermee wordt een associatie van verschillende beekdalbodems aangeduid waarin zowel verspoelde löss en oudere afzettingen als veen kunnen voorkomen. Bij de detailkartering van Mergelland-Oost (Leenders et al., 1988) zijn deze beekdalgronden aangeduid als poldervaaggronden in lichte klei (Rn35). In het transect zijn beekafzettingen echter alleen aangetroffen bij

het laagste punt (MECH1). Klei en leem in de hoger gelegen punten zijn afkomstig van colluviale löss.

Ter plaatse van het transect komt alleen bij MECH3 een poldervaaggrond voor, in siltige colluviale löss in dalfase (Lnd6). Hierbij komt een dunne moerige bovengrond voor. In de beide andere meetpunten is de veenvorming dominant. Dat is het sterkst bij MECH2, in de zone met Pluimzegge (*Carex paniculata*). Het profiel bestaat tot minstens 220 cm -mv. uit weinig gerijpt zeggeveen en broekveen, afgewisseld met laagjes verspoelde löss. Het bodemtype is een vlietveengrond (Vo). Als gevolg van de afzetting van beekleem is bij MECH1 de bovengrond kleiiger dan hogerop in het transect. Het bodemtype is een weideveengrond op klei (pV_k).



Figuur B6.6: Aspect van het hoiland in het Mechelder beekdal, van af MECH3 in noordelijke richting.

De hogere vegetatie in het midden van de foto is de Pluimzeggevegetatie bij MECH2, de bosjes op de achtergrond geven de loop aan van de beek. Rechts het humus/bodem-profiel bij MECH3.

Humus

Hoewel het bodemprofiel bij MECH1 als veenprofiel wordt beschouwd, is voor het humusprofiel de kleilaag tussen 9 en 35 cm -mv. bepalend. In combinatie met de wortelmat (Mm-horizont) die hier bovenop is ontwikkeld, is de humusvorm een schraalhydromullmoder (LDHs). Bij MECH2 is het veen wel bepalend voor de humusvorm. In het humusprofiel is matig veraard zeggeveen dominant. Samen met de dichte wortelmat bovenin het profiel is dit een schrale veenmesimor (sRMn). Ook bij MECH3, bovenaan de helling, is de moerige bovengrond bepalend voor de humusvorm. Het grotendeels veraarde veen is dunner dan 15 cm en heeft bovenin een beginnende wortelmat (OAMh-horizont). Daarmee is de humusvorm een schrale vaageerdmoder (sDEv).

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 3S4 – Beekdalbodem (laaggelegen) (MECH1, MECH2) , 11/10A4 – Lösswand (MECH3)

Fysiotoop: h13a – bronnen en kwelrijke bovenlopen (MECH1, MECH2), h12d – kalkarme löss en groenzandhellingen (MECH3).

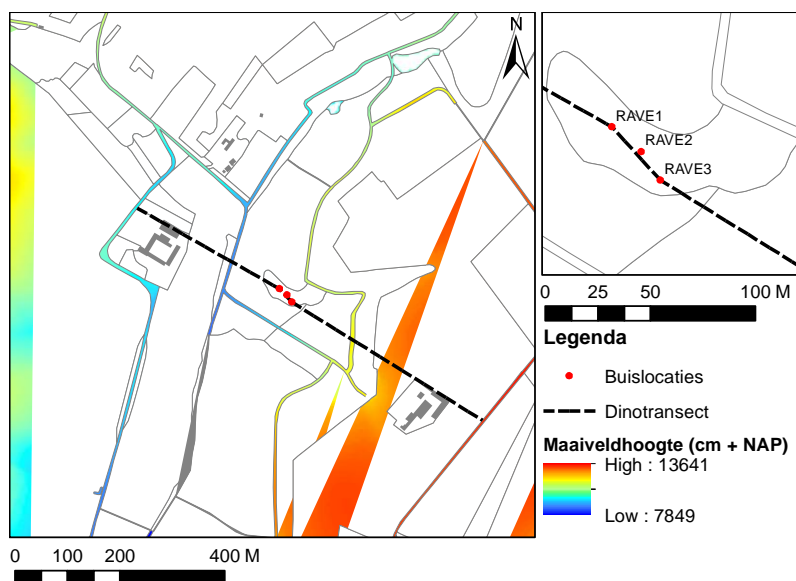
Tabel B6.4: Landschapsecologische eenheden in het Mechelder beekdal volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	MECH1	MECH2	MECH3
Sectie	HI2 – Hellingen			X
Serie	HI2d – Hellingen in tertiaire klei en glauconietklei			X
Primaire standplaats	PS074 – Hellingen met glauconietklei			X
Sectie	HI3 – Dalen	X	X	
Serie	HI3a – Droogdalen en kleine beekdalen in löss	X	X	
Primaire standplaats	PS077 – Moerassige laagte (in kleine beekdalen)	X	X	

B6.4 Ravensbos - Carex-weide (RAVE)

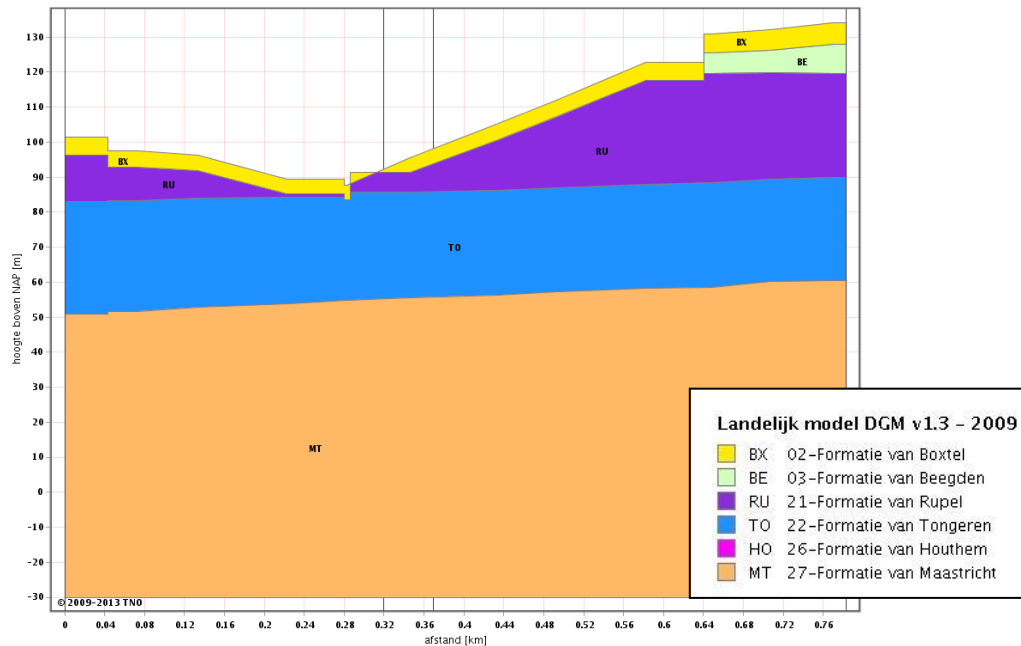
Geologie

De Carex-weide bevindt zich op de noordelijke flank van een zijdal van het dal van de Strabeker vloedgraaf. Dit zijdal is verder vertakt waardoor zich binnen het perceel een waterscheiding bevindt. Als geheel loopt het perceel in zuidwestelijke richting af, maar het westelijk deel (RAVE1) is meer op het westen georiënteerd en het oostelijk deel (RAVE3) meer op het zuiden. RAVE2 ligt op de lokale waterscheiding.



Figuur B6.7: Ligging van het transect in het Ravensbos, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.

De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.8)



Figuur B6.8: Geologische dwarsdoorsnede van het Ravensbos.

(bron: www.Dinoloket.nl).

(Zie figuur B6.7 voor de ligging. Links is noordwest, rechts zuidoost, tussen de verticale lijnen ligt het transect)

Volgens het digitaal geologisch model (DGM v1.3, Figuur B6.8) komt overal een lössdek van enkele meters voor (Formatie van Bxst; Laagpakket van Schimmert Bx-Scc; TNO, 2013). Omdat het onderzochte perceel op een helling ligt (17/16A2 – Afbraakwand op de Geomorfologische kaart van Nederland), is het lössdek hier echter veel dunner en lokaal afwezig. Onder het lössdek wordt de Rupel formatie aangegeven die bestaat uit gelaagde mariene klei- en zandafzettingen. In Zuid-Limburg bestaan de afzettingen van de Formatie van Rupel uit een afwisseling van zwak tot sterk zandige kleien en groengrijze zanden met plaatselijk glauconiet (TNO, 2013). Het glauconietgehalte is over het algemeen niet hoog, plaatselijk kunnen de afzettingen wel pyrietrijk zijn. Ook donkerbruin tot zwarte, sterk humeuze klei kan voorkomen (Rupel-klei kof Boomse klei). Het organisch materiaal in deze klei was vooral afkomstig van plantengroei op het continent, maar ook meer kolige deeltjes kunnen voorkomen (Wouters & Vandenberghe, 1994). Deze zouden volgens de eerdergenoemde auteurs waarschijnlijk zijn geërodeerd in de steenkoolvelden van Noord- en Midden-Engeland vanwaar ze door de heersende zeestromingen meegevoerd werden, maar in Zuid Limburg is een meer lokale oorsprong waarschijnlijker. Bij RAVE2 komt een korrelige zwarte laag voor tussen 100 en 125 cm -mv. die waarschijnlijk uit dit materiaal bestaat (Ru-kv). De analyse van het organische stof- en pyrietgehalte wijst daar op (zie §5.2.3; Tabel 5.2 en Bijlage 9).

De kleiige afzettingen ontstonden in een open marien milieu waarbij ook organisch materiaal is bezonken, de zandige delen van de formatie zijn in een ondiep marien milieu afgezet, plaatselijk onder lagunaire omstandigheden (De Mulder et al., 2003). Op de terrassen ten oosten en noorden van de Carex-weide komen pleistocene terrasafzettingen van de Maas voor (Formatie van Beegden). Deze terrassen bestaan overwegend uit grof zand en grind, lokaal kunnen ook (humeuze) klei- en veenlagen voorkomen. Op de hellingen en in het droog dal dat aan de zuidzijde langs het Carex-weide loopt, wordt grind aangetroffen. Dat grind is afkomstig van de eerdergenoemde terrasafzettingen. Op een aantal locaties in de hellingen treedt grondwater uit. Bij deze bronnen zijn tot ca. 1m dikke veenlagen ontstaan die tot het laagpakket van Singraven binnen de Formatie van Bxst gerekend worden (Bx-Siv). Vooral bovenin dit veen kan kalktuf voorkomen.

Bodem

De Bodemkaart van Nederland (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990) onderscheidt in het Ravensbos löss en terrashellinggronden (AHI) wat als een associatie van diverse profieltypen met een meer of minder dik lössdek op oude Maasterrassen of tertiaire mariene zanden en kleien van de Rupel formatie beschouwd moet worden. Ter hoogte van de Carex-weide, halverwege de helling wordt de Rupel formatie aangesneden, hoger op de helling komen terrasafzettingen voor. De gedetailleerde bodemkaart van Centraal Plateau (Leenders en Brouwer, 1988) geeft voor de westelijke flank van het Ravensbos, waarin een groot deel van het Carex-weide (RAVE1 en RAVE2) valt, 'tertiaire kleigronden met een lössdek' (IKT) aan. Voor het droogdal waartoe RAVE3 wordt gerekend, wordt 'poldervaaggronden in siltige colluviale löss in een dal' (Lnd6) aangegeven.

Als gevolg van de veenvorming in de bronmilieus komen in de Carex-weide veengronden en moerige gronden voor waarvan de verbreiding te gering is om op de beide bodemkaarten weer te geven. Bij RAVE1 en RAVE3 komen vlietveengronden (Vo) voor die gekenmerkt worden door niet of weinig gerijpt veen tot 50 cm -mv. bij het eerste profiel en 90 cm -mv. bij het laatste. Bij RAVE3 is de bovengrond iets veraard doordat dit punt op een rugje tussen twee greppels ligt. Ook elders komen veenpakketten voor met een dikte tot ca. 90 cm. Bij RAVE2, dat in een hoger en droger gelegen deel van het perceel ligt, vindt er nauwelijks veengroei plaats. De bovengrond is licht moerig en bevat veel leem. Het bodemtype is een broekeerdgrond op leem (Wg). Omdat het grondwater hier verder wegzakt (tot 55 cm -mv.), is het profiel tot deze diepte sterk roestig (toevoeging *f* voor de code). Door vertering van glauconiet is het materiaal ijzerrijk. Omdat overal glauconiethoudende tertiaire afzettingen in de ondergrond gevonden worden hebben alle profielen een toevoeging (a) achter de code gekregen (glauconietklei, beginnend tussen 40 en 120 cm en ten minste 20 cm dik)

Ter plaatse van de bronnen is de grondwaterstand door de constante wateraanvoer vrij hoog (GLG 30 à 40 cm -mv., Gt Ia). Bij RAVE2 zakt het water dieper weg. Op basis van de profielopbouw lijkt de GLG op 55 cm -mv. voor te kunnen komen, waarbij sprake is van stagnatie terwijl in droge perioden veel diepere grondwaterstanden mogelijk zijn. Aanwijzingen daarvoor zijn in het profiel niet gevonden. Dat moet duidelijk worden uit het tijdreeksonderzoek in de peilbuizen.

Humus

De verschillen in veenvorming en veraarding komen tot uiting in de humusvormen. Bij RAVE1 vindt in het veen vooral anaerobe veraarding plaats en is de dominante humushorizont een Og-horizont die bestaat uit slap bruin veen met brokken kalktuf. De bijbehorende humusvorm is een kalkrijke meereerdmoder (DEm) (Van Delft et al., 2006). De iets drogere ligging van RAVE3 komt tot uiting in een meer aerobe veraarding van de bovenste veenlaag waarin een Oh-horizont is ontstaan. Hierin komen ook regenwormen voor. Door het ontbreken van kalkrijke kwel in de bovengrond is deze ook kalkloos. De humusvorm is een veeneerdmoder (DEn). De zwak moerige bovengrond bij RAVE2 is onder veel zuurdere en drogere omstandigheden ontstaan dan de overige twee profielen. Hierdoor is een beginnende wortelmat (OAMh) ontstaan en is de humusvorm een schrale meereerdmoder (sDEo).

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 17/16A2 - Afbraakwand

Fysiotop: hl3a – bronnen en kwelrijke bovenlopen (RAVE1, RAVE3), hl2d – kalkarme löss en groenzandhellingen (RAVE2).

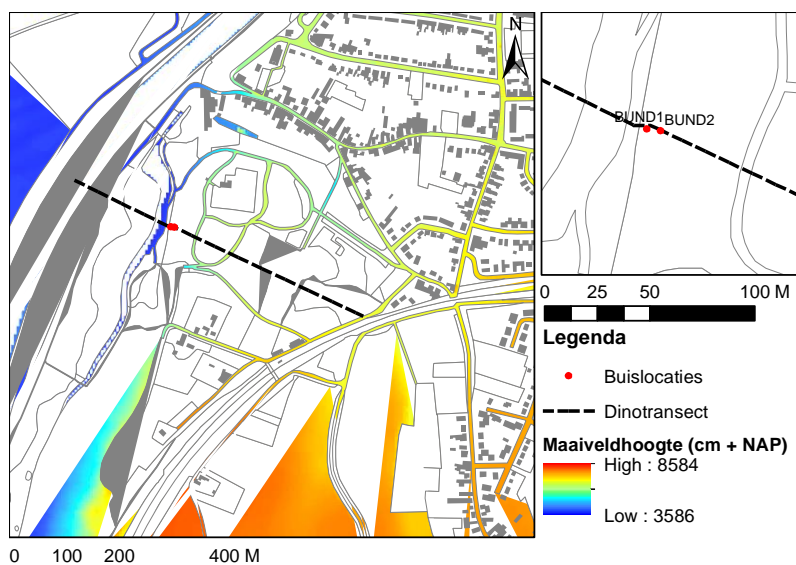
Tabel B6.5: Landschapsecologische eenheden in het Ravensbos volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	RAVE1	RAVE2	RAVE3
Sectie	HI2 – Hellingen	X	X	X
Serie	HI2d – Hellingen in tertiaire klei en glauconietklei	X	X	X
Primaire standplaats	PS073 – Kwelzones en bronnen	X		X
	PS074 – Hellingen met glauconietklei		X	

B6.5 Kasteelpark Elsloo (BUND)

Geologie

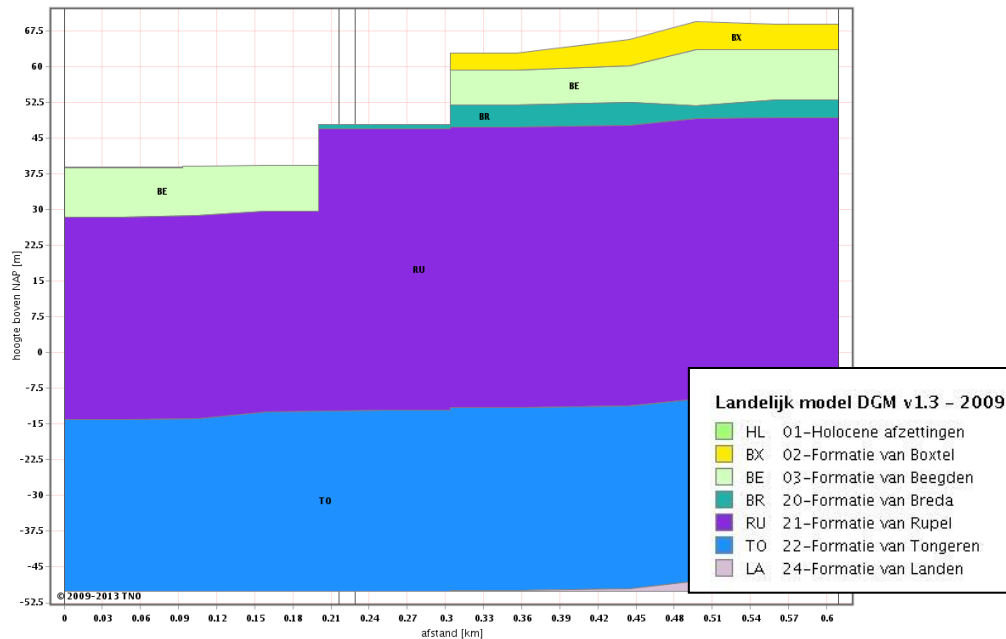
Het transect in het Bunderbos ligt aan de voet van een steile helling van de steilrand van het Centraal Plateau. In de helling worden verschillende geologische formaties aangesneden (Figuur B6.10). Volgens het Digitaal Geologisch Model bestaat de ondergrond bij het transect uit een dunne laag van de formatie van Breda (sterk glauconiethoudende kleien en zanden) op de Rupel formatie (o.a. pyriet- houdende, glauconietarme kleien), hoger op de helling is de formatie van Breda dikker en komen daarop de formatie van Beegden (Maasterras) en Boxtel (lössdek) voor. De meeste bronnen lijken uit de Formatie van Rupel te ontspringen (Mekkinck, 2004; De Mars et al., 2009).



Figuur B6.9: Ligging van het transect in het Kasteelpark Elsloo, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.

(De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.10).

De profielen bestaan voor het grootste deel uit colluviale löss met veel stenen die afkomstig zijn uit de terrasafzettingen onder het lösspakket op het hoogterras voorkomen (Figuur B6.10). Door hellingprocessen is materiaal uit de verschillende afzettingen vermengd geraakt in een colluviaal pakket. In deze hellingafzettingen kunnen sterk humeuze lagen voorkomen. In de boringen is alleen bij BUND2 glauconiethoudende klei aangetroffen (vanaf 95 cm -mv.). Het is niet duidelijk of deze tot de formatie van Breda of de Rupel formatie gerekend moet worden.



Figuur B6.10: Geologische dwarsdoorsnede ter hoogte van Kasteelpark Elsloo (bron: www.Dinoloket.nl).
(Zie figuur B6.9 voor de ligging. Links is noordwest, rechts zuidoost, tussen de verticale lijnen ligt het transect).

Voor Zuid-Nederland worden binnen de Formatie van Breda alleen zandige laagpakketten beschreven (TNO, 2013). Het lijkt dan ook waarschijnlijker dat deze klei tot de Rupel formatie hoort. Door de natte omstandigheden is bovenin het profiel veen ontstaan. Bij BUND1 is dit pakket 16 cm dik, en bij BUND2, waar het vrij sterk veraard is, 10 cm. In de geultjes waar bronwater naar beneden stroomt, ontbreekt het veen en zijn vaak ook de fijnere minerale deeltjes weggespoeld, waardoor de bodem van deze geultjes overwegend uit grind bestaat

Bodem

Op de Bodemkaart van Nederland is voor deze hellingen vanwege hun complexe opbouw met wisselende dikte van het secundaire lösspakket en verschillende dagzomende oudere afzettingen een associatie van löss en terrashellinggronden (AHI) aangegeven. Voor het iets zuidelijker gelegen bosreservaat Bunderbos is wel een gedetailleerde bodemkaart beschikbaar waarin deze afwisseling is uitgekarteerd (Mekkink, 2004). Voor de bronmilieus zijn daar broekeerdgronden op leem (Wg) gekarteerd. Dat is ook het bodemtype dat in de beide boringen in het transect is aangetroffen.

De wateraanvoer lijkt in het laagste gelegen punt (BUND1) vrij constant waardoor het profiel altijd nat blijft. De andere peilbuislocatie (BUND2) ligt wat hoger op de helling, waar de watertoevoer minder constant is. In droge tijden zakt het grondwater hier weg tot ca. 65 cm -mv., dat tot uiting komt in duidelijke roestvorming (Cg-horizont). Incidenteel lijkt het nog dieper weg te kunnen zakken. Tot 95 cm -mv. is zwakke roestvorming waar te nemen (Cgr-horizont).

Humus

De veenvorming is ook bepalend voor de humusvormen in beide peilbuislocaties. BUND1, nabij de onderkant van de helling, is het natst. De humusvorm is een kalkrijke meereerdmoder (tDEm), gekenmerkt door deels anaerobe veraarding van het veen (Og-horizont) en neerslag van kalktuf. De bovengrond bestaat uit half gerijpt, deels veraard veen op half gerijpte leem. De wat drogere omstandigheden bij BUND2 komen tot uiting in een sterkere veraarding die bovendien onder meer aerobe omstandigheden plaatsvindt (OAh-horizont), en de vorming van een Ah-horizont in de bijna gerijpte leem. Het materiaal is wel kalkhoudend maar niet kalkrijk, wat ook wijst op een minder sterke aanvoer van kalkrijk kwelwater. De humusvorm is een moerhydromullmoder (LDHm).

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 17/16A2 - Afbraakwand

Fysiotoop: h13a – bronnen en kwelrijke bovenlopen

Tabel B6.6: Landschapsecologische eenheden in het Kasteelpark Elsloo volgens de indeling van de Landschapsleutel.

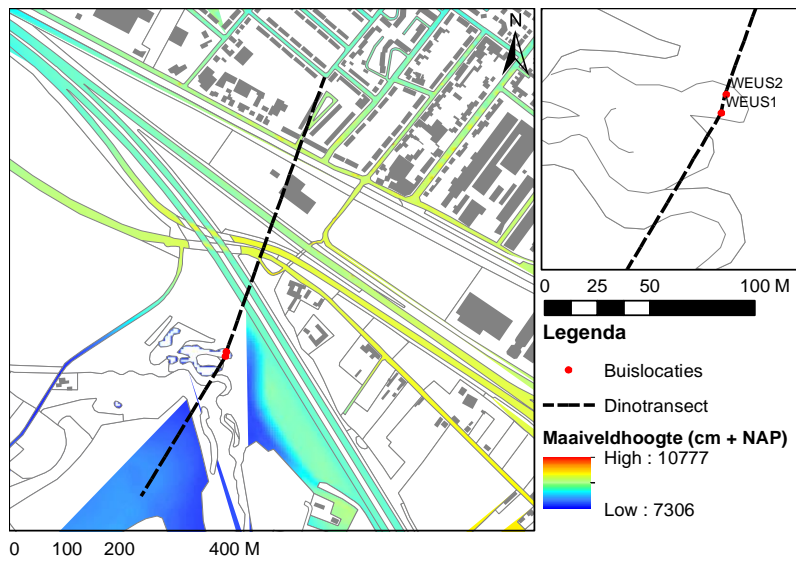
Niveau	Eenheid	BUND1	BUND2
Sectie	HI2 – Hellingen	X	X
Serie	HI2d – Hellingen in tertiaire klei en glauconietklei	X	X
Primaire standplaats	PS073 – Kwelzones en bronnen	X	X

B6.6: Weustenrade (WEUS)

Geologie

Het transect is gelegen in een in 1992 afgegraven laagte in het beekdal van de Geleenbeek (Gubbels et al., 1995). In dit beekdal komen volgens het digitaal geologisch model (TNO, 2013) holocene beekafzettingen voor die bestaan uit beekleem en veen (Figuur B6.12). Daaronder wordt ca. 7 m. löss (formatie van Boxtel) op de Formatie van Tongeren aangegeven.

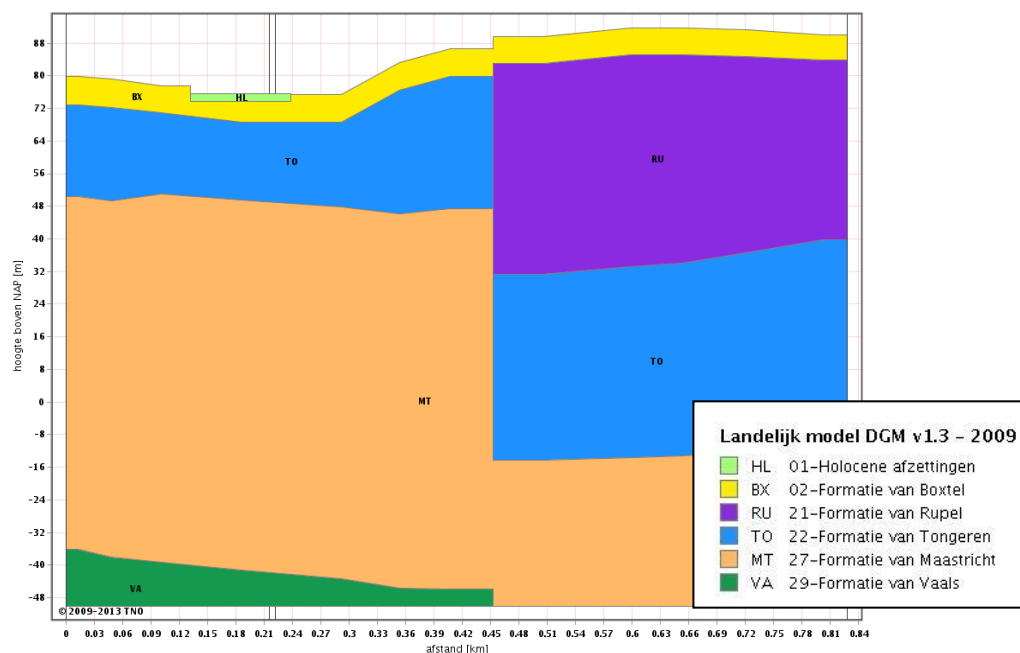
Uit de boringen bij de peilbuislocaties blijkt dat ter plekke van het transect de holocene afzettingen ontbreken. Deze zijn eerder gebonden aan de invloedssfeer van de Geleenbeek die op ca. 50 m ten zuidwesten van het transect stroomt. Colluviale löss van de Formatie van Boxtel is alleen aangetroffen in de bovenste meter van WEUS2 en ontbreekt geheel bij WEUS1. Het hele profiel van WEUS1 en het deel vanaf 100 cm bij WEUS2 bestaat uit deels kalkrijke en humusrijke kleien van de Formatie van Tongeren, die hier dus ondieper voorkomt dan het geologisch model aangeeft.



Figuur B6.11: Ligging van het transect in Weustenrade, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.

De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.12).

Ter plaatse van het transect begint op ca. 35 m -mv. de Formatie van Maastricht (kalk) (Figuur B6.12). Ongeveer 350 m ten noordoosten van het transect komt een geologische breuk voor waardoor op het plateau de Formatie van Rupel voorkomt op de Formatie van Tongeren. Het dal van de Geleenbeek, waarin het transect ligt, maakt deel uit van een opgeheven blok, dat verder is geërodeerd dan het blok ten oosten, waardoor het maaiveld er nu lager ligt.



Figuur B6.12: Geologische dwarsdoorsnede van Weustenrade

(bron: www.Dinoloket.nl).

(Zie figuur B6.11 voor ligging: Links is ZW, rechts NO: het transect ligt tussen de verticale lijnen)

Bodem

Op de Bodemkaart van Nederland ligt het transect in een vlak met löss en terrashellinggronden (AHI). Vóór de afgraving was dat waarschijnlijk het geval. De detailbodemkaart van Mergelland Oost geeft een weideveengrond met broekveen tot meer dan 120 cm -mv. aan. De verbreiding van deze gronden is hier wat te ver naar het oosten doorgetrokken.

In de gegraven laagte bij WEUS1 komt de oude klei tot aan maaiveld voor, dit is een poldervaag-grond in oude klei (KT), omdat bij WEUS2 nog iets meer colluviale löss voorkomt is het profiel daar beoordeeld als poldervaaggrond in kalkrijke colluviale löss (Lnd5A). De colluviale löss bij WEUS2 is kalkrijk door neerslag van secundaire kalk (Kalktuf) uit water dat aangerijkt is met kalk uit de onderliggende Formatie van Tongeren.

Bij eventuele vergroting van het afgegraven terrein moet er rekening mee worden gehouden dat de klei een bodemarchief bevat met zeer veel resten van planten en dieren (slakkenhuizen, botjes van vogels en zoogdieren). Tot dusver is alleen de weekdierfauna onderzocht, die zo'n 60 soorten bleek te bevatten, waaronder soorten die inmiddels uit Nederland zijn verdwenen en één soort die in Nederland niet eerder in kwartaire afzettingen was aangetroffen (Keulen, 1998). Afgraven van natte terreindelen leidt tot versnelde waterafvoer en brengt tot dan toe ongestoorde lagen binnen bereik van diep wortelende planten (zoals de massaal opslaande wilgen en elzen), waardoor de fossiele resten worden afgebroken.

Humus

Hoewel bij WEUS1 een mospakket met kalktuf afzetting voorkomt, is van duidelijke veenvorming geen sprake. De humusprofielen zijn volledig in minerale lagen gevormd. Omdat beide profielen in kalkrijke klei gevormd zijn, worden zij geclassificeerd als kleihydromull (LHn).

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 13/12A2 – Afbraakwand; Afgegraven laagte in afbraakwand, sluit aan bij 3S4 – Beekdalbodem (laaggelegen)

Fysiotoop: hl3a – bronnen en kwelrijke bovenlopen

Tabel B6.7: Landschapsecologische eenheden in Weustenrade volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	WEUS1	WEUS2
Sectie	HI2 – Hellingen	X	X
Serie	HI2d – Hellingen in tertiaire klei en glauconietklei	X	X
Primaire standplaats	PS073 – Kwelzones en bronnen	X	X

B6.6 Terworm (TERW)

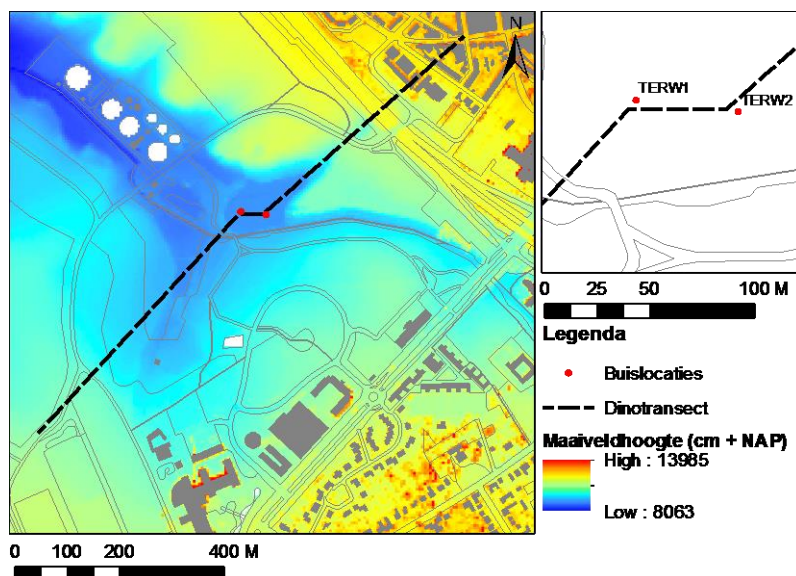
Geologie

Het transect in Terworm ligt in een brede laagte waar de bovenloop van de Geleenbeek doorheen stroomt (Figuur B6.13). Deze laagte is grotendeels opgevuld met holocene beekafzettingen (Figuur B6.14). Dit is het laagpakket van Singraven uit de Formatie van Boxtel. Volgens het digitaal geologisch model komt hieronder nog ca. 5 meter (secundaire) löss voor van het laagpakket van Schimmert uit dezelfde formatie. Op ca. 8 m -mv. begint dan de Formatie van Rupel, met daaronder de Formaties van Tongeren en Vaals.

In de boringen zijn vooral beekkleien aangetroffen (Bx-Sik). Deze zijn overwegend kalkhoudend of kalkrijk met brokjes kalk. Bij TERW1 komt vanaf 135 cm -mv. kalkhoudend bruin broekveen voor (Bx-Siv). Dit is door het bovenliggende kleipakket sterk gecompacteerd en loopt door tot minimaal 200 cm -mv. Bij TERW2 loopt de klei door tot minimaal 150 cm -mv.

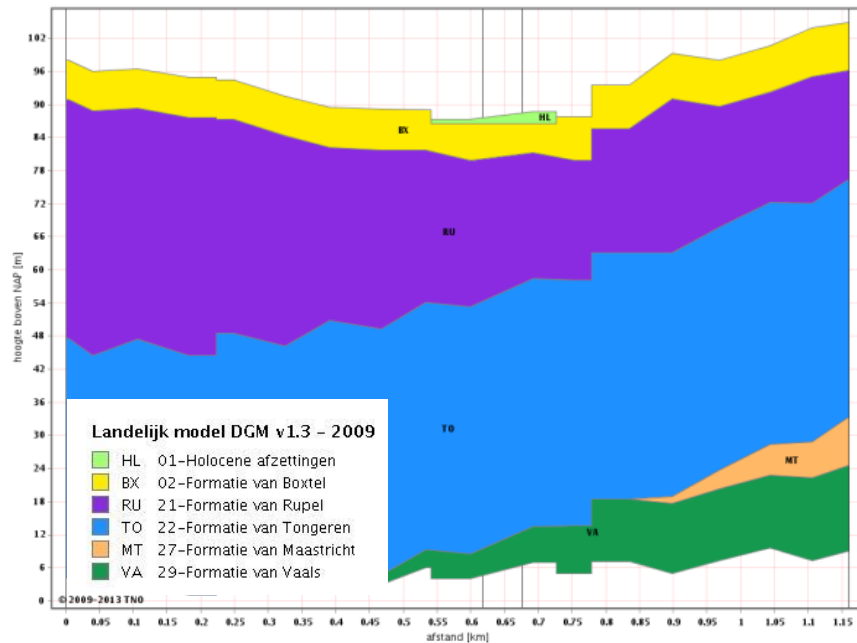
Bodem

Op de Bodemkaart van Nederland maakt het perceel deel uit van een groter vlek met poldervaaggronden in kalkloze lichte zavel (Rn15C). In de boringen bestaat de bovengrond uit zavel of lichte klei en is het profiel kalkrijk (Rn45A). De bodemkaart geeft hier grondwatertrap V aan met een gemiddeld laagste grondwaterstand >120 cm -mv. In de laagte waar het transect ligt is als gevolg van kwel de grondwaterstand veel hoger. Beide profielen zijn vanaf ca. 30 cm volledig gereduceerd (grondwatertrap Ia).



Figuur B6.13: Ligging van het transect in het dal van de Geleenbeek bij Terworm, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.

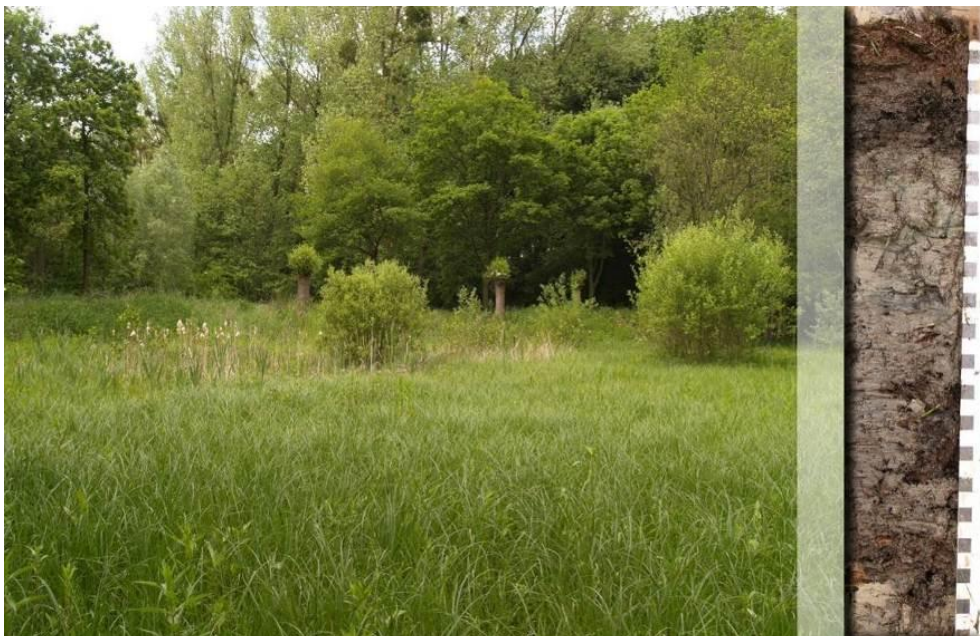
De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.14).



Figuur B6.14: Geologische dwarsdoorsnede van het dal van de Geleenbeek bij Terworm (bron: www.Dinoloket.nl).
(Zie figuur B6.13 voor de ligging. Links is zuidwest, rechts noordoost, tussen de verticale lijnen ligt het transect).

Humus

In de onderzochte profielen komt geen dikke venige bovengrond voor. Wel is op de klei een venige wortelmat (OMm-horizont bij TERW1) of een dunne kalk- en ijzerrijke moerige bovengrond (Oggc-horizont bij TERW2) aanwezig. De humusvormen zijn een kleihydromullmoder (LDHn) bij TERW1 (zie Figuur B6.15) en een kalkrijke vaageerdmoder (tDEv) bij TERW2.



Figuur B6.15: Vegetatieaspect en humusprofiel bij Terworm (TERW1).
Op de beekklei heeft zich een kalkhoudende wortelmat ontwikkeld. De humusvorm is een kleihydromullmoder (LDHn).

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 3S4 – Beekdalbodem (laaggelegen)
Fysiotop: h13a – bronnen en kwelrijke bovenlopen

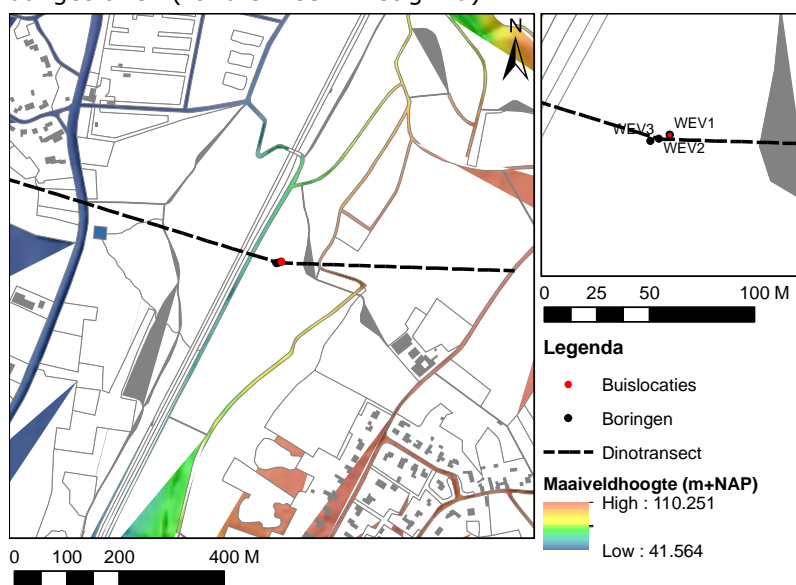
Tabel B6.8: Landschapsecologische eenheden in Terworm volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	TERW1	TERW2
Sectie	HI3 – Dalen	X	X
Serie	HI3a – Droogdalen en kleine beekdalen in löss	X	X
Primaire standplaats	PS077 – Moerassige laagte (in kleine beekdalen)	X	X

B6.7 Weverveen (WEVE)

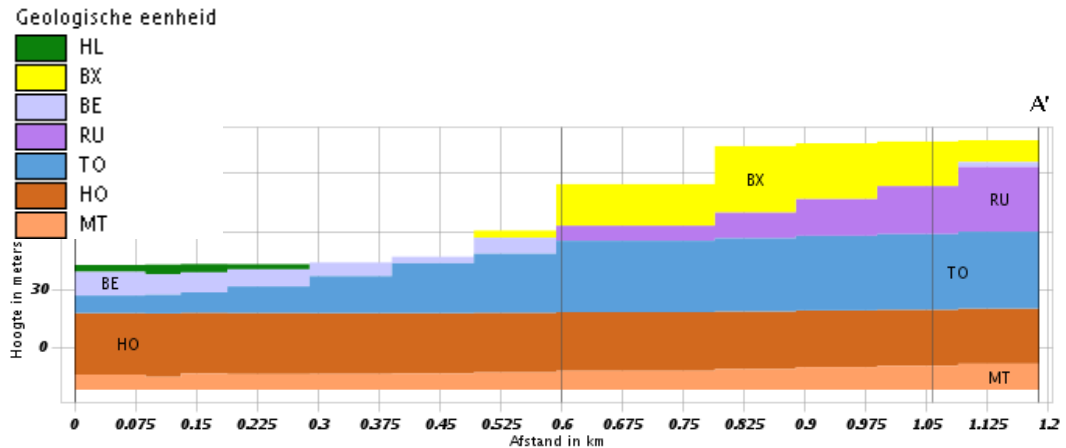
Geologie

Het transect in Weverveen ligt op de flank van een steile helling aan de westzijde van het Centraal Plateau, op de overgang naar de Maasterassen. Door de helling worden meerdere geologische formaties aangesneden. Volgens het Digitaal Geologisch Model bestaat de ondergrond bij het transect uit kleien en zanden van de Formatie van Tongeren. Halverwege de helling, waar het hellingveentje ligt waarin de profielen beschreven zijn, wigt aan het oosten de Rupel formatie (o.a. pyriet- houdende, glauconietarme kleien) uit, terwijl naar het westen de formatie van Beegden (Maasterras) gevonden wordt. Vanaf dit punt naar het oosten wordt ook het afdekkende lösspakket (Formatie van Boxtel) dikker. De exacte begrenzing van de Rupel formatie is niet goed uit dit model te halen, maar het is goed mogelijk dat de constant natte bronssituatie in het veentje verband houdt met water dat uittreedt over de Rupel formatie. In de boringen is onder het veen vooral hellingmateriaal aangetroffen (zand en leem met grind).



Figuur B6.16: Ligging van het transect bij het Weverveen, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.

De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.14).



Figuur B6.17: Geologische dwarsdoorsnede van de helling waarin het Weverveen ligt.

(bron: www.Dinoloket.nl).

(Zie figuur B6.16 voor de ligging. Links is west, rechts oost, bij de middelste verticale lijn op 0,6 km ligt het transect).

Bodem

Op de Bodemkaart van Nederland wordt voor deze helling de Associatie van löss en terrashellinggronden (AHI) aangegeven die bestaat uit secundaire (verplaatste) löss en löss in situ, op terrasmateriaal en tertiaire afzettingen (Vleeshouwer & Damoiseaux, 1990). De dikte van het lösspakket en de aard van de onderliggende afzettingen hangt af van de positie op de helling. Vanwege de grote variatie op korte afstand kunnen deze verschillen niet gekarteerd worden op de schaal (1:50.000) van de Bodemkaart van Nederland.

De boringen zijn in het hellingveentje gemaakt, waar door sterke kwel een permanent natte situatie heerst met veenvorming. De bodem bestaat hier uit 60 tot 100 cm slap, gyttja-achtig veen waarvan de bovenste 5 à 10 cm veraard kan zijn. Onder het veen komen overwegend fijnzandige hellingafzettingen voor met lokaal een leem- of kleilaag en wat grind. Het bodemtype is een Vlietveengrond (Vo), ofwel een 'niet gerijpte rauwveengrond met een bovengrond die tot hooguit 20 cm gerijpt is'. De grondwatertrap is Ia, zonder toevoeging 'w' voor water boven maaiveld, omdat door de hellende ligging het uittredende water oppervlakkig afstroomt.

Humus

Door de permanent natte omstandigheden vindt afbraak van organisch materiaal vooral onder anaërobe omstandigheden door bacteriën plaats. Hierbij ontstaat gyttja als veensoort (Og-horizont). Bij WEVE1 en WEVE3 (met de ondiepste grondwaterstanden) is dit de dominante humushorizont en is de humusvorm een Meereerdmoder (DEm: Figuur B6.18), bij WEVE2, waar het grondwater iets dieper staat vindt bovenin het profiel ook aërobe afbraak plaats waardoor de dominante humushorizont een Oh-horizont is en de humusvorm een Beekeerdmoder (DEf). Zowel bij WEVE2 als bij WEVE3 werden bovenin regenwormen aangetroffen die een rol spelen bij de aërobe veraarding van het veen.

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 17/16A2 - Afbraakwand

Fysiotoop: hl3a – bronnen en kwelrijke bovenlopen

Tabel B6.9: Landschapsecologische eenheden in Weverveen volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	WEVE1	WEVE2	WEVE3
Sectie	HI2 – Hellingen	X	X	X
Serie	HI2a – Leemgronden op hellingen	X	X	X
Primaire standplaats	PS077 – Moerassige laagte (in kleine beekdalen)	X	X	X



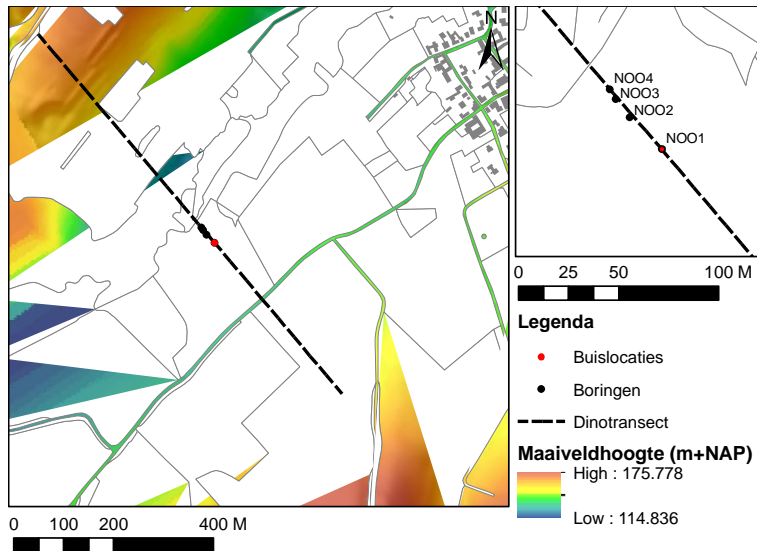
Figuur B6.18: Vegetatieaspect en humusprofiel in het verboste Weverveen (WEVE1).

Het veen is grotendeels anaeroob veraard. De humusvorm is een meereerdmoder (DEm).

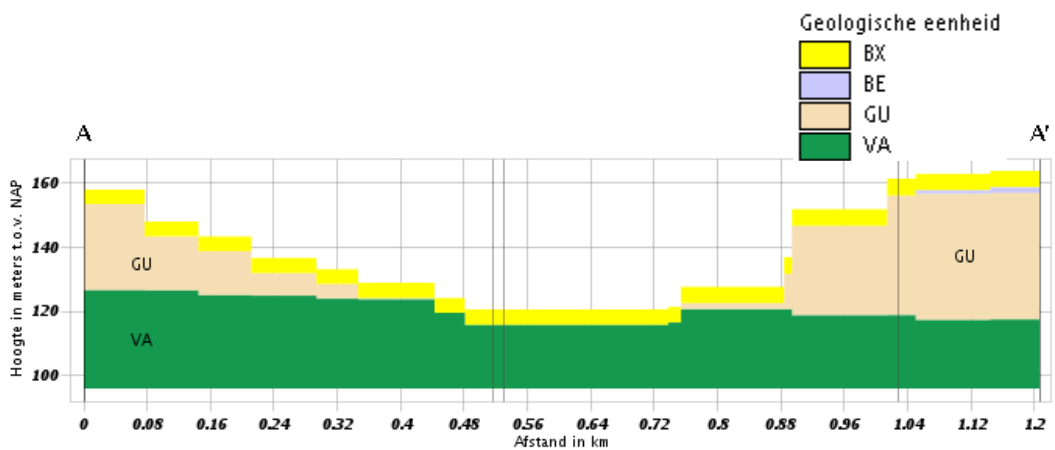
B6.9 Noorbeemden (NOOR)

Geologie

Het transect in Noorbeemden ligt door het asymmetrische beekdal van de Noorbeek, met op de steile noordhelling bos, en op de minder steile zuidhelling grasland. Dit dal is ingesneden in het kalksteen van de Formatie van Gulpen, tot op de fijne zanden van de Formatie van Vaals. Op het plateau en bovenaan de flanken ligt een pakket löss (Formatie van Boxtel, laagpakket van Schimmert), met op de overgang op het plateau plaatselijk een laag terrasmateriaal (Formatie van Beegden). Het dal zelf is opgevuld met verspoelde löss en kleiige beekafzettingen (Bx-Sik) met plaatselijk een dunne moerige bovengrond. In de boringen zijn de onderliggende afzettingen niet aangeboord binnen 220 cm – mv. De beek is diep ingesneden in deze afzettingen, wat goed te zien is in Figuur B6.18 en B6.19.



Figuur B6.18: Ligging van het transect in het dal van de Geleenbeek bij Terworm, uitgezet tegen de maaiveldhoogte uit het AHN.
 De streepjeslijn geeft de ligging van de geologische dwarsdoorsnede in DINO (figuur B6.21).



Figuur B6.19: Geologische dwarsdoorsnede van het Noorbeekdal bij het Noorbeemden-transect.
A = zuidoost, **A'** = noordwest (bron: www.Dinoloket.nl).
 (Zie figuur B6.18 voor de ligging. Links is zuidoost, rechts noordwest, tussen de verticale lijnen rond 0,5 km ligt het transect).

De oever van de beek ligt op ongeveer 117 m + NAP, dat is ca 3,5 lager dan het laagste punt in het transect (NOOR4 ca 120,5 m + NAP). De bedding van de beek bestaat uit fijn zand van de formatie van Vaals met grind dat afkomstig is van de terrasafzettingen die de formatie van Gulpen afdekken en door erosie in het beekdal terecht is gekomen (Figuur B6.20 rechts).



Figuur B6.20: Diep ingesneden Noorbeek ter hoogte van het transect, rechts de zandige beekbedding

(Formatie van Vaals) met grind (Formatie van Beegden). De groenige structuren zijn algen.

Bodem

Volgens de Bodemkaart van Nederland vallen de boringen binnen de eenheid Ldh6C 'Ooivaaggronden met roest beginnend dieper dan 80 cm in siltige löss; colluviaal in hellingvoet of uitspoelingswaaier; hellingklasse C 5-8%' in een hellingvoet van secundaire löss. Deze eenheid hoort bij de zuidelijke beekdalflank, de steile noordelijke flank wordt gerekend tot de associatie van.... AHcE 'Löss, terras- en kalksteenhellinggronden op vrij steile hellingen (16-25%)'. In de boringen wordt echter overall roest in de bovengrond aangetroffen en worden de profielen getypeerd als Lnd6 'Poldervaaggronden in siltige leem, colluviaal in dal'. Dit betreft de dalbodem, zoals deze ook op de bodemkaart voor een smallere strook langs de beek is aangegeven. Hoewel het beekdal is ingesneden in gulpener kalk is het profiel in de beekdalbodem geheel kalkloos.



Figuur B6.21: Vegetatieaspect en humusprofiel bij NOOR3. Op de colluviale löss heeft zich een dunne moerige bovengrond ontwikkeld. De humusvorm is een fluviaatiele Vaageerdmoder (fDEv).

Humus

In de profielen bestaat de bovenste 10 cm uit venige klei waarin het organisch materiaal sterk verzaard is (OAh-horizont). De humusvorm is een 'Fluviaatiele vaageerdmoder' fDEv.

Landschapsecologische positie

Geomorfologie: 11/10R3 - Droog dal met löss (NOOR1), 3T2 - Beekdalbodem (laaggelegen) (NOOR2, NOOR3, NOOR4).

Fysiotop: h13c - beekdalen en colluviale dalen.

Tabel B6.10: Landschapsecologische eenheden in Noorbeemden volgens de indeling van de Landschapsleutel.

Niveau	Eenheid	NOOR1	NOOR2	NOOR3	NOOR4
Sectie	H13 - Dalen	X	X	X	X
Serie	H13a - Droogdalen en kleine beekdalen in löss	X	X	X	X
Primaire standplaats	PS076 - Natte laagte (in droogdalen en kleine beekdalen)	X	X	X	X

BIJLAGE 7: Profielbeschrijvingen

Kopgegevens

Boring	Profiel	XCOORD	YCOORD	DATUM	Fysiografische eenheid	Fysiotop	Geomorfologie	HydroSysteem-HydroSysteem	GHG	GLG	GVG	GWS	Bodem - Gt	Humusvorm	Ontkalking	BEW	Diepte	BEW	EFF
PAPF1	1	190386	324117	20-jun-13	Jonge kleigronden	h3c	beekdalbodem	Kwelveged (zoet)	0	45	11	0	0 Rr45C - la	Schrale - Vaageerdmoder	100	45	20		
PAPF2	2	190344	324126	03-jun-13	Löss en Mergelgronden	h3a	dalheiling met bronnen	Kwelveged (zoet)	0	65	14	30	WgAa - la	Izerrijke - Vaageerdmoder	0	45	13		
PAPF3	3	190347	324145	03-jun-13	Löss en Mergelgronden	h3a	dalwand met bronnen	Kwelveged (brak)	0	45	11	8	Wg - la	Schrale - Meererdmoder	0	23	7		
PAPF4	4	190354	324164	20-jun-13	Löss en Mergelgronden	h2c	dalheiling	Wegzigtig gebied, randzone	5	100	23	LnH6 - lla	Vaageerdmoder	>145	30	10			
MECH1	5	193297	311883	04-jun-13	Jonge kleigronden	h3a	beekdalvoer met klei en veen	Kwelveged (zoet)	0	40	10	0	Vo - wla	Schraalhydromulmoder	>220	55	20		
MECH2	6	193309	311861	04-jun-13	Venen	h3a	brommoeras op beekdalflank	Kwelveged (zoet)	-5	20	3	0	Vo - wla	Schrale Veenmesmor	>220	60	10		
MECH3	7	193314	311842	04-jun-13	Löss en Mergelgronden	h2c	beekdalflank	Kwelveged (zoet)	0	70	15	LnD6 - lla	Schrale - Vaageerdmoder	200	60	10			
RAVE1	8	185474	321527	05-jun-13	Venen	h3c	kalktufbron op dalheiling	Kwelveged (zoet)	0	30	9	0	Vo - la	Meereerdmoder	0	50	20		
RAVE2	9	185488	321515	05-jun-13	Löss en Mergelgronden	h2c	heiling in glauconietzand	Wegzigtig gebied, randzone	5	55	16	20	WgAa - lla	Schrale Meererdmoder	>180	55	20		
RAVE3	10	185497	321502	05-jun-13	Venen	h3a	heilingveen	Kwelveged (zoet)	0	40	10	22	Vo - la	Veenerdmoder	90	30	30		
BUND1	11	180969	328479	04-jun-13	Löss en Mergelgronden	h3a	dalwand met bronnen	Kwelveged (zoet)	0	30	9	0	Wg - la	Meereerdmoder	0	30	16		
BUND2	12	180976	328478	04-jun-13	Löss en Mergelgronden	h3a	dalwand halverwege	Kwelveged (zoet)	0	65	14	gWgAa - lla	Moerhydromulmoder	0	30	10			
WEU51	13	192835	323866	05-jun-13	Jonge kleigronden	h3a	uitgegraven laagte indalbodern	Kwelveged (zoet)	-5	10	1	0	KT G - wla	Kleihydromul	0	40	10		
TERW1	14	192837	323874	05-jun-13	Löss en Mergelgronden	h3a	kalkrijk colluvium	Kwelveged (zoet)	0	40	10	10	LnD5Aa - la	Kleihydromulmoder	0	40	40		
TERW2	15	195310	321994	03-jun-13	Jonge kleigronden	h3a	beekdalbodem met veel kwel	Kwelveged (zoet)	-10	30	9	1	RnD5a - la	Kleihydromulmoder	0	40	40		
TERW3	16	195359	321988	03-jun-13	Jonge kleigronden	h3a	beekdalbodem met veel kwel	Kwelveged (zoet)	0	10	6	6	Vo - la	Meereerdmoder	>200	25	4		
WEV1	17	179987	324303	14-jul-16	Löss en Mergelgronden	h3a	heilingmoeras	Kwelveged (zoet)	0	20	7	16	Vo - la	Bekeerdmoder	>160	110	30		
WEV2	18	179982	324301	14-jul-16	Löss en Mergelgronden	h3a	heilingmoeras	Kwelveged (zoet)	0	10	6	1	Vo - la	Meereerdmoder	>150	110	10		
WEV3	19	179978	324300	14-jul-16	Löss en Mergelgronden	h3a	heilingmoeras	Kwelveged (zoet)	5	115	25	LnD6 - lla	Fluviatile - Vaageerdmode	>200	40	15			
NOO1	20	184190	308505	14-jul-16	Jonge kleigronden	h3c	Beekdal	Kwelveged (zoet)	0	75	15	LnD6 - lla	Fluviatile - Vaageerdmode	>120	40	13			
NOO2	21	184174	308521	14-jul-16	Jonge kleigronden	h3c	Beekdal	Kwelveged (zoet)	0	35	9	LnD6 - lla	Fluviatile - Vaageerdmode	>120	40	20			
NOO3	22	184167	308530	14-jul-16	Jonge kleigronden	h3c	Beekdal	Kwelveged (zoet)	0	120	22	LnD6 - Vao	Fluviatile - Vaageerdmode	>220	40	30			
NOO4	23	184164	308535	14-jul-16	Jonge kleigronden	h3c	Beekdal	Kwelveged (zoet)	0	120	22	LnD6 - Vao	Fluviatile - Vaageerdmode	>220	40	30			

Boring	Oplichting
PAPF1	bij perlbuis provincie Limburg. Zone met dom, scherpe met moeraspirea reuze paardestaart moerasrolklaver dotterbloem grote grassen dagkoekeksbloem.
PAPF2	Langs beek komt ca 5 m brede iets hogere oeverwalachtige zone voor met meer grassen en distels
PAPF3	halverwege heiling. Meer kalk in profiel dan bij papf3
PAPF4	punt op bovenste terras. Enkele m naar oost ligt bronnetje. water stroomt door struweel waar kalktuf in voorkomt. Alleen bovenin kalkhoudend
MECH1	duidelijk tot 100. In glauconietklei vanaf 140 weer enige roestvl
MECH2	Ongeveer halverwege tussen pluimzegge en beek.
MECH3	Beekbodem ca 1,5 m lager dan punt. ca 30 cm watervoerend. 10 meter ten zuiden van boorpunt zeggeveer/broekveen tot 1 m bovenin 10 cm klei. va 100 tot 130 lichtbruine leem meebodem achtig. van 130 tot 170 lic
RAVE1	drassig stuk met pluimzegge op horsten, wordt niet mee gemaaid. Veenlaagte begit in de boven pluimzegge. Hier en daar lijken wat veenpuutjes voor te komen. Boring met guts tot 220 cm.
RAVE2	Water stroomt uit boogart.
RAVE3	Helling boven stuk met pluimzegge. Lössdek 2 meter op Vaalser Groenzand
BUND1	Op 13 m naar het noorden in tusschenboring 20 cm venige klei, slap 20-40 (lichtgrijze klei 40-210 zeggeven met wat leemlaagjes. daaronder meerbodem tot 220
WEU51	Brommoerasje met kalktuf
WEU52	Raal begint 5,5 m nw van buis. aldaar 30 cm moering op glauconiet
WEU53	Op 16 m 15 cm.
RAVE1	Glauconietzand heeft pH 8+, maar is niet kalkrijk (bruist niet zichtbaar wel zwak hoorbaar) dus kalkarm.
RAVE2	Punt aan de top van de heiling op overgang naar steilere heiling met adelaarsveren lelietie.
BUND1	laag onder ventriaal zand op 100-120 cm korrelig veenachtig materiaal. Lijkt sterk doorlatend. Mogelijk aquifer. Sterk organische laag in Ruppel Klei, mogelijk vers
WEU51	ca 3m zuid van snel stromend beekje. Min of meer open plek in hillingbos
WEU52	Enkele m hoger langs de heiling tov bund1. Boven eind van de raai in bos steilere heiling. Profiel/opbouw homogener dan bund1
WEU53	Natte laagte ontstaan door afgroeven Profiel bestaat geheel uit kleien van de formatie van Tongeren
TERW1	punt bij slenk met turfvorming in moss en characea
TERW2	Natte wezone in beekdal. plaatselijk kalkneerslag op strooisel. Ook veel ijzermeerslag
WEV1	rijtzone in voormalig wilgenbos. Wordt nu gemaaid
WEV2	bij ogobuisbroekbos met adelaarsveren en heksenkruid
NOO1	Moeraszegge adelaarsveren en koningsverenwommen in bovengrondzand zeer compact met grind. Bovin iets roest. langs wortel?
NOO2	Natte zone onderaan gradient met paris
NOO3	Bij Perlbuis
NOO4	onderaan gradient droger. glij moeilijk te schatten. drainage door diepliggende beek en populieren

Laaggegevens

ProfielNR	LAAG_NR	Begin	Eind	Horizont	Org	Veensoort	Lutum	Leem	Mediaan	Kalk	Rijping	Geo	Formatie	OPMERKING
1	1	0	6	10AMhgc	25	OV	15			1	3	190	Bx-Siv	wortelmat met veel klei (Bx-Siv)
1	2	6	13	10Ahg	20	DK	15			1	3	110	Bx-Siv	donkergrijs (Bx-Siv)
1	3	13	19	2ACgr	4		20			1	4	340	Bx-Sik	donkergrijs (Bx-Sik)
1	4	19	45	2Cgc	1		24	90		1	4	340	Bx-Sik	sterk roestig
1	5	45	100	2Cr	0		30	95		1	4	340	Bx-Sik	licht bruin grijs voelt zacht aan (Bx-Sik)
1	6	100	180	2Cr2	10		30	95		2	3	340	Bx-Sik	half gerijpte klei met venige laagjes (Bx-Sik)
1	7	180	250	3Cr	2		20	90		3	4	620	Bx-Scc	veel compacter dan vorige laag (Bx-Scc)
2	1	0	10	20hgc	60	D				3		110	Bx-Siv	roodbruin met kalkbrokjes, bruist sterk (Bx-Siv)
2	2	10	13	3Ahgc	10		15	85		2	3	620	Bx-Scc	bruin vrij slap(Bx-Scc)
2	3	13	45	3Cgr1	2		10	75		2	4	620	Bx-Scc	donkergrijs met roestvlekken en zwarte vlekken (Bx-Scc)
2	4	45	70	3Cgr2	1		10	75		2	4	620	Bx-Scc	grijs met wat roest en zwarte vlekjes (Bx-Scc)
2	5	70	115	3Cr	0		15	85		1	5	620	Bx-Scc	lichtgrijs kalkloos (Bx-Scc)
2	6	115	150	3Cr2			15	85		3	5	691	Ru-kl	lichtgrijs vrij stug(Ru-kl)
3	1	0	3	1OMm	80	OV				3		190	Bx-Siv	slap bruinzwart (Bx-Siv)
3	2	3	7	1OMg	65	OV				3		190	Bx-Siv	slap donkerbruin ijzerrijk (Bx-Siv)
3	3	7	10	1OG1	50	GY	10			2		160	Bx-Siv	slap lichtbruin(Bx-Siv)
3	4	10	23	1OG2	40	GY	10			2	3	160	Bx-Siv	bruingrijs met zwarte vlekken (Bx-Siv)
3	5	23	50	2ACgr	5		15	85		1	3	620	Bx-Scc	vrij slap licht grijbruin met zwarte vlekken (Bx-Scc)
3	6	50	80	2Cgr			15	85		1	4	620	Bx-Scc	lichtgrijs zeer zwak roest zwart langs oude wortels (Bx-Scc)
3	7	80	100	2Cr1	3		15	85		1	4	620	Bx-Scc	licht grijbruin wat zwart langs oude wortels,(Bx-Scc)
3	8	100	250	2Cr2			15	85		1	5	620	Bx-Scc	lichtgrijs, enkel steentje (Bx-Scc)
4	1	0	6	10Ah	20	DK	20			1	5	110	Bx-Siv	zwartbruin wat rul (Bx-Siv)
4	2	6	10	2Ah	10		20	90		1	5	620	Bx-Scc	donkergrijsbruin
4	3	10	30	2ACg	3		24	90		1	5	620	Bx-Scc	donkerroodbruin met enkel roestvlekje (Bx-Scc)
4	4	30	60	2Cg	1		30	95		1	5	620	Bx-Scc	lichtbruin met afnemend roest zwarte wortels paardestaart Bx-S
4	5	60	100	2Cgr	1		30	95		1	5	620	Bx-Scc	licht bruingrijs enkel roestvl Bx-Scc
4	6	100	150	2Cr	2		20	80		1	4	620	Bx-Scc	grijs met wat grind, vooral onderin Bx-Scc
4	7	150	170	3Cr1	0		15	70	140	1	4	691	Ru-kl	groen enkele oude wortel geen kalk wel hoge ph Ru-kl
4	8	170	250	3Cr2			9	40	140	1	3	691	Ru-kl	lichtgrijsgroen met enkele roestvlekjes
5	1	0	9	1Mm	60	OV				190		190	Bx-Siv	wortelmat(Bx-Siv)
5	2	9	35	2Ahg	10		15	80		1	4	340	Bx-Sik	donkergrijs vaag roestig (Bx-Sik)
5	3	35	70	30g	55	BM	10	70		1		130	Bx-Siv	grijsbruin slibhoudend broekveen (Bx-Siv)
5	4	70	85	4Cr	4		18	95		1	4	620	Bx-Scc	licht bruingrijs leem (Bx-Scc)
5	5	85	115	5Cr	0		30	95		1	5	691	Va-kl	licht grijsgroen glauconietklei mogelijk colluviaal (Va-kl)
5	6	115	130	5Cr	8		20	85		1	4	691	Va-kl	mogelijk colluviaal op grind (Va-kl)
5	7	130	145	6Cr	2		10	60	600	1	3	691	Va-kl?	met veel grind (Va-kl?)
6	1	0	20	20Mm	70	C						130	Bx-Siv	dichte wortelmat deels veraard (Bx-Siv)
6	2	20	55	20mr1	85	C						130	Bx-Siv	roodbruin zeggeveen (Bx-Siv)
6	3	55	65	20m2	55	C	10			1	3	130	Bx-Siv	zeggeveen lichtbruin, wat slibhoudend(Bx-Siv)
6	4	65	125	20m3	35	C	15	70		1	3	130	Bx-Siv	gelaagd ca 5 a 10 cm bruin zeggeveen en licht grijsgroen leem
6	5	125	160	20g	45	GY	9		55	1	3	160	Bx-Siv	meerbodemachtig(Bx-Siv)
6	6	160	180	3Cr	2		10	80		1	4	620	Bx-Scc	lichtgrijs(Bx-Scc)
6	7	180	220	40mr	55	BM	10	80		1	3	130	Bx-Siv	slapmesotroof broekveen(Bx-Siv)
7	1	0	6	10AMh	30	OV	20	60		1	3	190	Bx-Siv	beginnende wortelmat (Bx-Siv)
7	2	6	10	10h	30	DK	10	60		1	4	110	Bx-Siv	donkerbruin(Bx-Siv)
7	3	10	30	2ACgr	3		20	75		1	4	620	Bx-S	donkergrijs met roest- en zwarte vlekkenstukjes baksteen(Bx-S)
7	4	30	70	2Cgr	2		20	85		1	4	620	Bx-Scc	lichtgrijs met wat roest(Bx-Scc)
7	5	70	90	2Cr2	14		20	85		1	3	620	Bx-Scc	bruingrijs sterk humeus leem (Bx-Scc)
7	6	90	200	3Btgr	0		30	95		1	3	421	Bx-Scs	lichtgrijs enkele roestvlekjes(Bx-Scs)
7	7	200	230	4Ahb	5		30	95		2	3	691	Va-kl	lichtbruin fossiele bodem(Va-kl)
7	8	230	250	4Cr			36	95		2	4	691	Va-kl	licht grijsgroen glauconietklei (Va-kl)

ProfielNR	LAAG_NR	Begin	Eind	Horizont	Org	Veensoort	Lutum	Leem	Mediaan	Kalk	Rijping	Geo	Formatie	OPMERKING
8	1	0	20	10g1	60	D				3	2	110	Bx-Siv	zwartbruin zeer slap met brokken kalktuf(Bx-Siv)
8	2	20	50	10g2	50	DK	9	60		3	3	110	Bx-Siv	bruin smeuiig met kleine brokjes tuf (Bx-Siv)
8	3	50	60	2ACr	1		6	25	175	2		620	Bx-Scc	lichtbruingrijs met grind colluvium (Bx-Scc)
8	4	60	120	2Cr			6	25	175	2		620	Bx-Scc	licht groen iets heterogeen leem en zand met vrij veel grind
9	1	0	4	20AMh	20	DK	9	40	160	1	5	110	Bx-Siv	donkerbruin (Bx-Siv)
9	2	4	17	20Ah	20	DK	9	40	160	1	5	110	Bx-Siv	ook dikke houtachtige wortels (Bx-Siv)
9	3	17	22	2ACg	1		7	30	160	1		620	Bx-Scc	lichtbruin kleiig zand met grind (Bx-Scc)
9	4	22	55	2Cgc			15	55	170	1	5	620	Bx-Scc	zandige leem met grind, keileemachtig sterk roestig (Bx-Scc)
9	5	55	90	3Cr			5	25	155	1		691	Ru-Ve	licht groengrijs geen grind (Ru-Ve)
9	6	90	100	4AC	5		65			1	4	691	Ru-kl	donkergrijs zeer zware klei plastisch (Ru-kl)
9	7	100	125	50h	80	OV				1		699	Ru-kv	zwart brokkelig veen sterk waterdoorlatend (Ru-kv)
9	8	125	155	50h2	60	DK	30			1	5	699	Ru-kv	zwartbruin sterk gecompacteerd kleiig veen (Ru-kv)
9	9	155	180	6Cr	10		30			1	3	691	Ru-kl	donkergrijs smeuiig (Ru-kl)
10	1	0	30	10h	70	D				1		110	Bx-Siv	donkerbruin veraard veen(Bx-Siv)
10	2	30	90	10g	70	GY				1	3	160	Bx-Siv	zeer slap bruinzwart veen (Bx-Siv)
10	3	90	110	2ACr	2		7	60	155	2	3	620	Bx-Scc	licht grijsbruin(Bx-Scc)
10	4	110	195	3Cr			15	70	145	2	4	691	Ru-Ve	lichtgrijs iets groenig naar onder zandige(Ru-Ve)
10	5	195	250	4Cr			7	40	1800	3	3	691	Ru-Ve	sterk gelaagd grof zand en grof zand met schelpen bruist ster
11	1	0	6	10g	40	GY	7	60	200	3	3	110	Bx-Siv	slap donkerbruin met wat grind(Bx-Siv)
11	2	6	16	10Ah	30	DK	7	60	200	3	3	110	Bx-Siv	kleiig moerig met grind (Bx-Siv)
11	3	16	22	2ACgr	4		9	60	160	3	3	620	Bx-Scc	licht bruingrijs met roestvlekken (Bx-Scc)
11	4	22	60	2Cr	2		9	60	160	2	3	620	Bx-Scc	lichtgrijs slappe leem met veel grind (Bx-Scc)
11	5	60	100	2Cr	10		7	55	180	2	3	620	Bx-Scc	donkerbruin (Bx-Scc)
11	6	100	130	2Cr	2		20	80	180	2	3	620	Bx-Scc	grijs met grind(Bx-Scc)
12	1	0	10	10Ah	30	DK	13	70	190	2	3	110	Bx-Siv	zwartbruin met grind(Bx-Siv)
12	2	10	25	2Ahg	5		15	80	190	2	4	620	Bx-Scc	lichtbruin (Bx-Scc)
12	3	25	65	2Cg			15	80	190	1	4	620	Bx-Scc	oranjebruin veel grind(Bx-Scc)
12	4	65	95	2Cgr	8		20	80	190	2	3	620	Bx-Scc	zwartbruin sterk humeus en grindrijk, wat gelaagd (Bx-Scc)
12	5	95	145	3Cr	0		30	90		2	4	691	Ru-kl	blauwgrijs glauconietklei taai(Ru-kl)
13	1	0	3	10f	90	OV				3		190	Bx-Siv	moslaag groot staartjesmos met kalktuf(Bx-Siv)
13	2	3	10	2Ah1	10		40	95		3	3	691	To-kl	donkergrijs vrij slappe vette klei (To-kl)
13	3	10	45	2Ah2	14		40	95		3	4	691	To-kl	donkergrijs met witte kalkdeeltjes iets meer gerijpt (To-kl)
13	4	45	75	2ACr	5		40	95		3	4	691	To-kl	grijs met enkele witte kalkbrokjes (To-kl)
13	5	75	140	2Cr	1		26	80	140	3	4	691	To-kl	lichtgrijs (To-kl)
13	6	140	190	2Cr			26	80	140	1	3	691	To-kl	(To-kl)
13	7	190	250	2Cr			20	70	140	1	2	691	To-kl	(To-kl)
14	1	0	40	1Ah	8		10	80	170	3	5	620	Bx-Scc	donker grijsbruin met veel kalkbrokjes (Bx-Scc)
14	2	40	60	1AC	3		10	80	170	3	5	620	Bx-Scc	bruingrijs met veel kalkbrokjes (Bx-Scc)
14	3	60	100	1Cr	14		15	90	140	3	5	620	Bx-Scc	bruin sterk humeus leem met wat kalkbrokjes (Bx-Scc)
14	4	100	170	1Cr	12		30	95		2	5	691	To-kl	zwartbruin compact (To-kl)
14	5	170	250	2Cr			5	20	160	1	5	691	To-kl	donkerblauwgrijs iets gelaagd (To-kl)
15	1	0	3	10Mm1	50	GY	6	40		2	2	160	Bx-Siv	slapbruin(Bx-Siv)
15	2	3	8	10Mm	60	OV	6	40		1	2	160	Bx-Siv	donkergrijs slap (Bx-Siv)
15	3	8	36	2ACr	6		30	90		1	4	340	Bx-Sik	GRIJS met veel zwartevlekjes wat resten elzenwortel (Bx-Sik)
15	4	36	65	2Cr1	2		10	80		2	3	340	Bx-Sik	wat gelaagd qua humus en textuur (Bx-Sik)
15	5	65	110	2Cr2			22	80		3	4	340	Bx-Sik	(Bx-Sik)
15	6	110	135	2Cr3			30	80		3	4	340	Bx-Sik	met brokjes kalk (Bx-Sik)
15	7	135	200	30g	55	BM				2		130	Bx-Siv	bruin broekveen sterk gecompacteerd (Bx-Siv)
16	1	0	4	10ggc	60	OV				3	2	160	Bx-Siv	oranjerood ijzerrijk (Bx-Siv)
16	2	4	25	2Cgr	2		20	70		3	4	340	Bx-Sik	grijs, iets roestig (Bx-Sik)
16	3	25	60	2Cr1	1		15	70		3	4	340	Bx-Sik	wat gelaagd grijs met donkere vlekjes (Bx-Sik)
16	4	60	100	2Cr2			20	80		2	4	340	Bx-Sik	(Bx-Sik)
16	5	100	150	2Cr3	5		20	80		3	3	340	Bx-Sik	met kleine brokjes kalk op 105 wit laagje kalk (Bx-Sik)

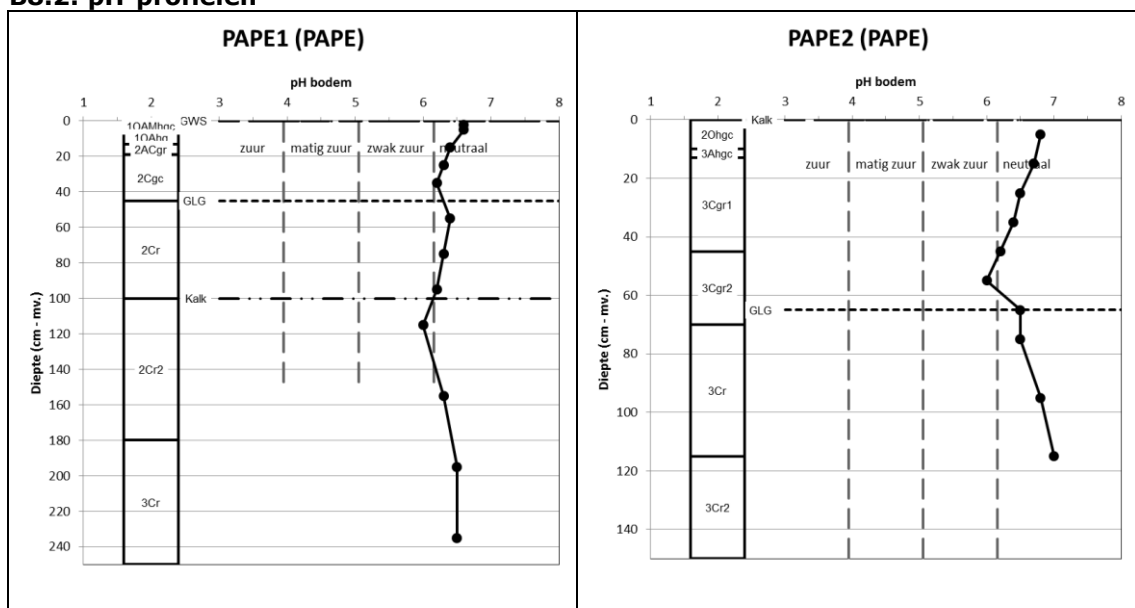
ProfielNR	LAAG_NR	Begin	Eind	Horizont	Org	Veensoort	Lutum	Leem	Mediaan	Kalk	Rijping	Geo	pH-Merck	OPMERKING
17	1	0	8	10h	80	DV				1	3	110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
17	2	8	30	10g	80	GY				1	3	160	Bx-Siv	bruin (Bx-Siv)
17	3	30	110	10g	80	GY				1	2	160	Bx-Siv	slap niet uit te boren (Bx-Siv)
17	4	110	120	2Cr	0			8	110	1		612	Bx-Sc	(Bx-Sc)
17	5	120	130	2Cr				30	90	1		612	Bx-Sc	met grind (Bx-Sc)
17	6	130	200	2Cr				8	110	1		612	Bx-Sc	(Bx-Sc)
18	1	0	7	10h	70	DV				1		110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
18	2	7	30	10h2	70	DV				1		110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
18	3	30	90	10gr	70	GY				1		160	Bx-Siv	(Bx-Siv)
18	4	90	110	2Cgr				17	110	1		612	Bx-Sc	grind iets roest enkel worteltje (Bx-Sc)
18	5	110	160	2Cr				17	110	1		612	Bx-Sc	gelaagd (Bx-Sc)
19	1	0	10	10h	80	DV				1		110	Bx-Siv	slap (Bx-Siv)
19	2	10	40	10g	80	GY				1		160	Bx-Siv	(Bx-Siv)
19	3	40	60	10g	80	GY				1		160	Bx-Siv	met grind slap (Bx-Siv)
19	4	60	110	2Cgr			20	70		1	5	612	Bx-Sc	iets roest langs wortels (Bx-Sc)
19	5	110	150	3Cr			0	14	120	1	5	612	Bx-Sc	(Bx-Sc)
20	1	0	9	10Ah	20	DK	20			1	4	110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
20	2	9	15	2ACg	4		26	80		1	4	620	Bx-Sc	(Bx-Sc)
20	3	15	28	2ACg2	1		26	80		1	5	620	Bx-Sc	(Bx-Sc)
20	4	28	85	2Cg	0		30	90		1	5	620	Bx-Sc	roestig met grindjes (Bx-Sc)
20	5	85	120	2Cg2			15	90		1	5	620	Bx-Sc	zwak roestig (Bx-Sc)
20	6	120	180	2Cr	0		13	90		1	4	620	Bx-Sc	grijs (Bx-Sc)
20	7	180	200	2Cr2			22	90		1	3	620	Bx-Sc	(Bx-Sc)
21	1	0	8	10Ah	20	DK	20	80		1		110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
21	2	8	13	2AC	4		20	80		1	5	620	Bx-Sc	(Bx-Sc)
21	3	13	28	2ACg	1		20	80		1	5	620	Bx-Sc	grijs met roest (Bx-Sc)
21	4	28	75	2Cg			22	80		1	5	620	Bx-Sc	met grindjes (Bx-Sc)
21	5	75	120	2Cr			30	90		1	5	620	Bx-Sc	grijs (Bx-Sc)
22	1	0	10	10Ah	18	DK	20	90		1	4	110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
22	2	10	20	2ACgc	3		20	90		1	5	620	Bx-Sc	concreties (Bx-Sc)
22	3	20	35	2Cgr			32	90		1	5	620	Bx-Sc	groenblauw (Bx-Sc)
22	4	35	120	2Cr1			32	90		1	5	620	Bx-Sc	grijs iets gelaagd (Bx-Sc)
23	1	0	10	10Ah	16	DK	20	90		1		110	Bx-Siv	(Bx-Siv)
23	2	10	30	1ACgc	4		20	90		1		620	Bx-Sc	sterk roestig (Bx-Sc)
23	3	30	45	1ACg	2		30	90		1	5	620	Bx-Sc	grijs (Bx-Sc)
23	4	45	120	1Ce	0.1		20	90		1	5	620	Bx-Sc	lichtgrijs gelaagd (Bx-Sc)
23	5	120	170	1Cr	0.2		22	90		1	5	620	Bx-Sc	lichtgrijs gelaagd (Bx-Sc)
23	6	170	220	1Cr	3		22	90		1	4	620	Bx-Sc	met venige laagjes (Bx-Sc)

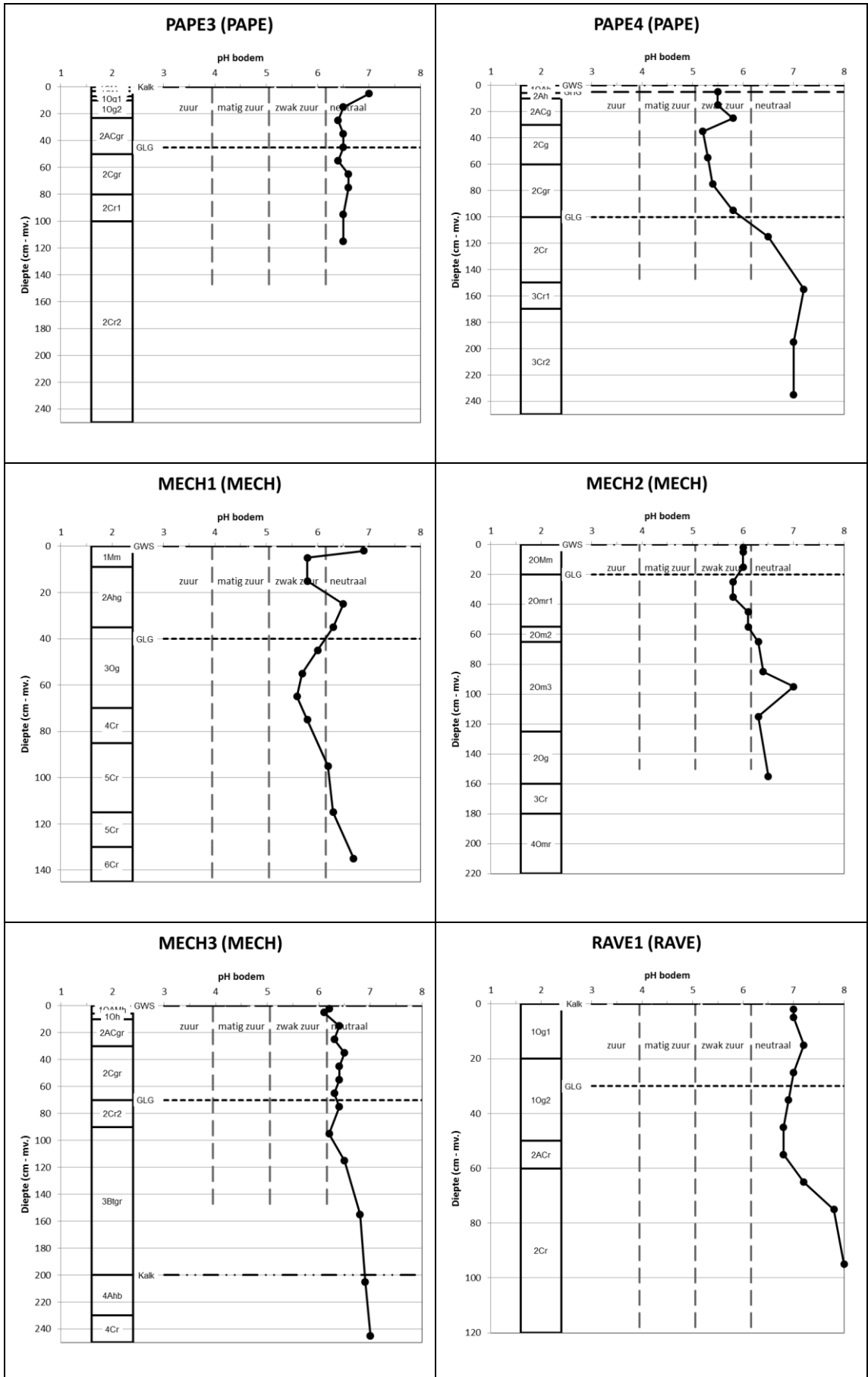
BIJLAGE 8: pH-profielen

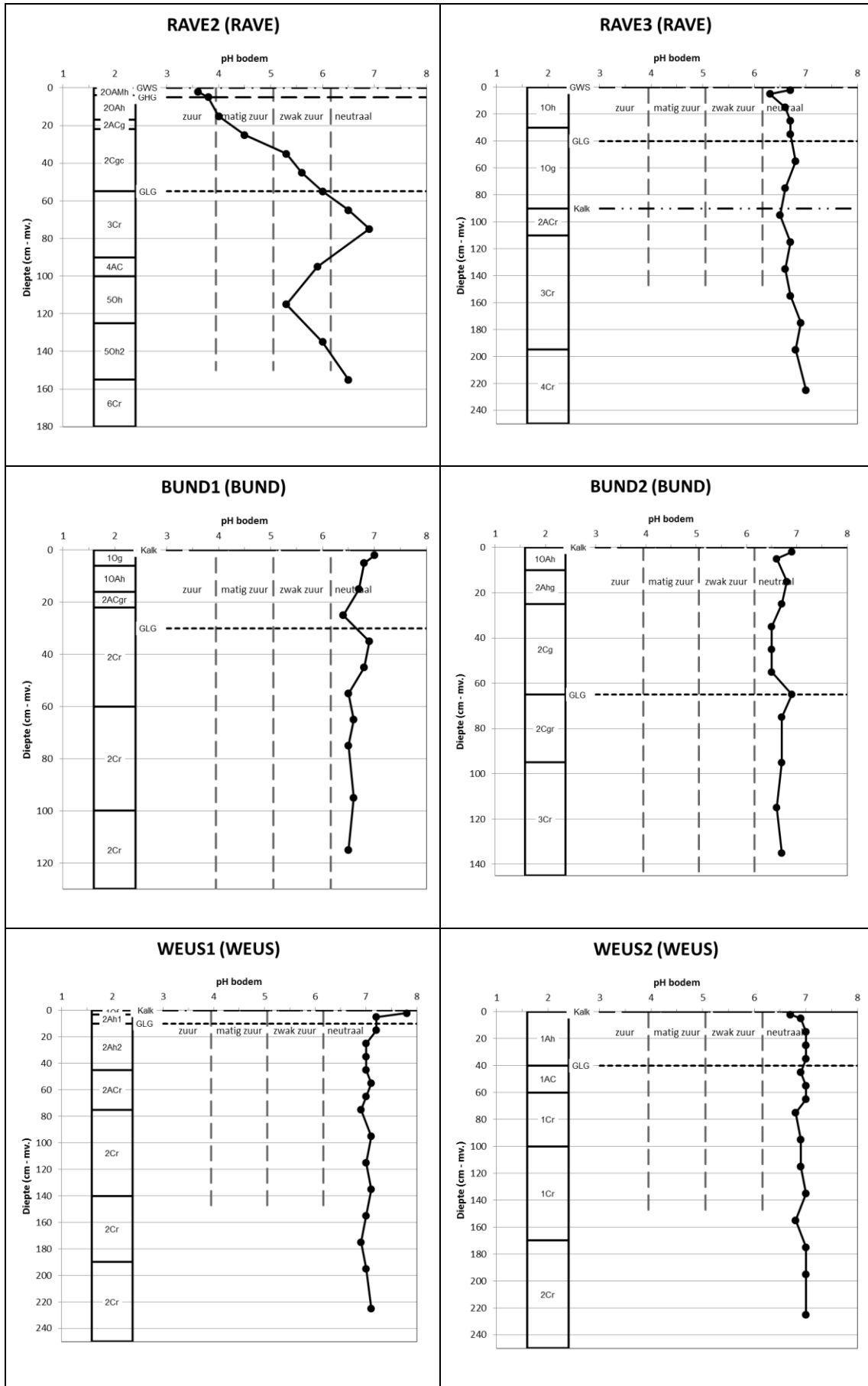
B8.1 Veldmetingen pH

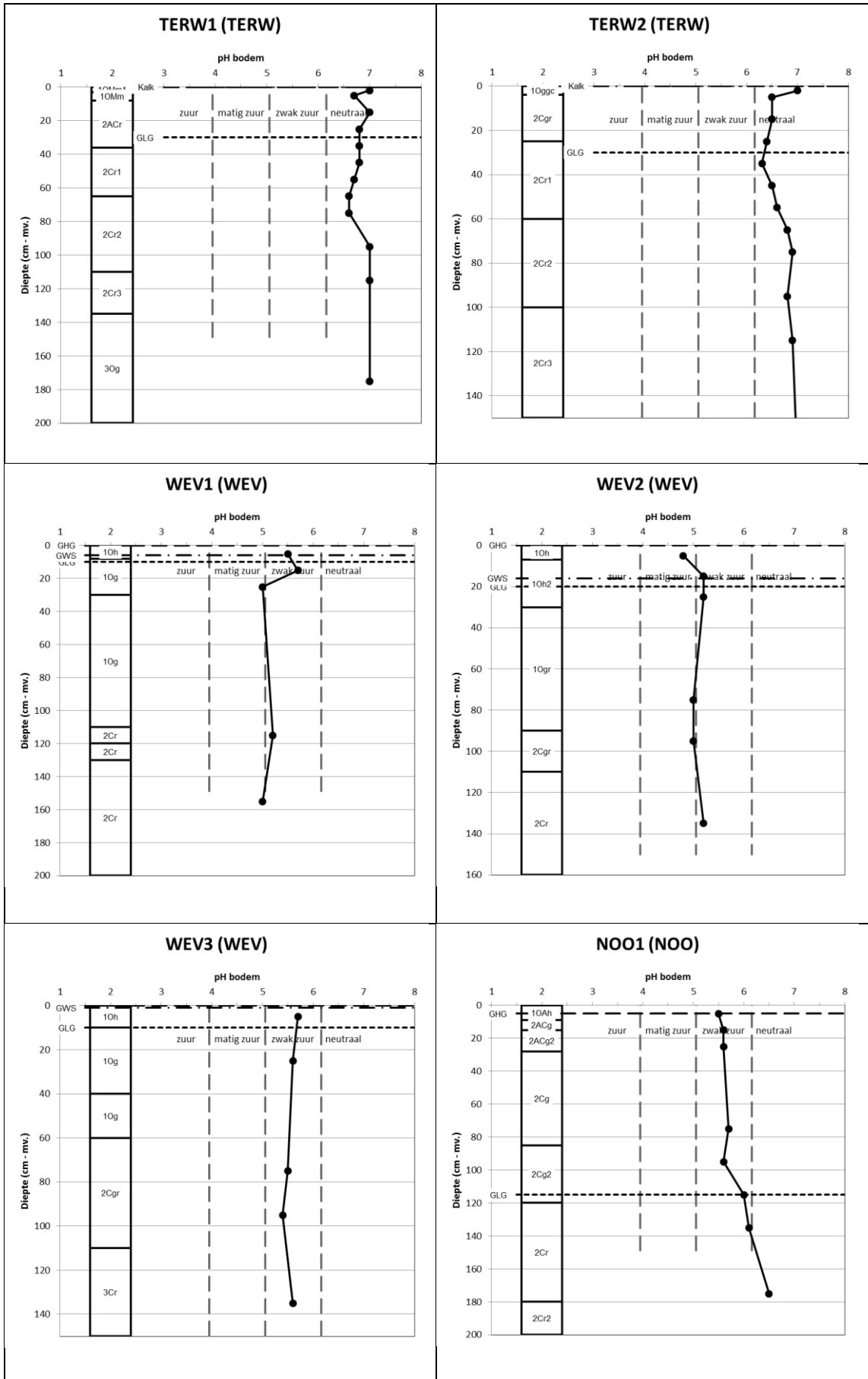
Boring	Diepte																			
	2	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	115	135	155	175	195	205	225	235	245
PAPE1	6.6	6.6	6.4	6.3	6.2		6.4		6.3		6.2	6.0		6.3		6.5			6.5	
PAPE2		6.8	6.7	6.5	6.4	6.2	6.0	6.5	6.5	6.8	7.0									
PAPE3		7.0	6.5	6.4	6.5	6.5	6.4	6.6	6.6	6.5	6.5									
PAPE4		5.5	5.5	5.8	5.2		5.3		5.4	5.8	6.5	7.2			7.0				7.0	
MECH1	6.9	5.8	5.8	6.5	6.3	6.0	5.7	5.6	5.8	6.2	6.3	6.7								
MECH2	6.0	6.0	6.0	5.8	5.8	6.1	6.1	6.3		6.4	7.0	6.3		6.5						
MECH3	6.2	6.1	6.4	6.3	6.5	6.4	6.4	6.3	6.4	6.2	6.5	6.8				6.9				7.0
RAVE1	7.0	7.0	7.2	7.0	6.9	6.8	6.8	7.2	7.8	8.0	8.2									
RAVE2	3.6	3.8	4.0	4.5	5.3	5.6	6.0	6.5	6.9	5.9	5.3	6.0	6.5							
RAVE3	6.7	6.3	6.6	6.7	6.7		6.8		6.6	6.5	6.7	6.6	6.7	6.9	6.8			7.0		
BUND1	7.0	6.8	6.7	6.4	6.9	6.8	6.5	6.6	6.5	6.6	6.5									
BUND2	6.9	6.6	6.8	6.7	6.5	6.5	6.5	6.9	6.7	6.7	6.6	6.7								
WEUS1	7.8	7.2	7.2	7.0	7.0	7.0	7.1	7.0	6.9	7.1	7.0	7.1	7.0	6.9	7.0		7.1			
WEUS2	6.7	6.9	7.0	7.0	7.0	6.9	7.0	7.0	6.8	6.9	6.9	7.0	6.8	7.0	7.0		7.0			
TERW1	7.0	6.7	7.0	6.8	6.8	6.8	6.7	6.6	6.6	7.0	7.0			7.0						
TERW2	7.0	6.5	6.5	6.4	6.3	6.5	6.6	6.8	6.9	6.8	6.9			7.0						
WEV1		5.5	5.7	5.0							5.2		5.0							
WEV2		4.8	5.2	5.2					5.0	5.0		5.2								
WEV3		5.7		5.6					5.5	5.4	5.6									
NOO1		5.5	5.6	5.6					5.7	5.6	6.0	6.1		6.5						
NOO2		6.2	5.6	5.6					6.5	6.4	6.0									
NOO3		5.5	6.6	6.5					6.5	6.3	6.5									
NOO4																				

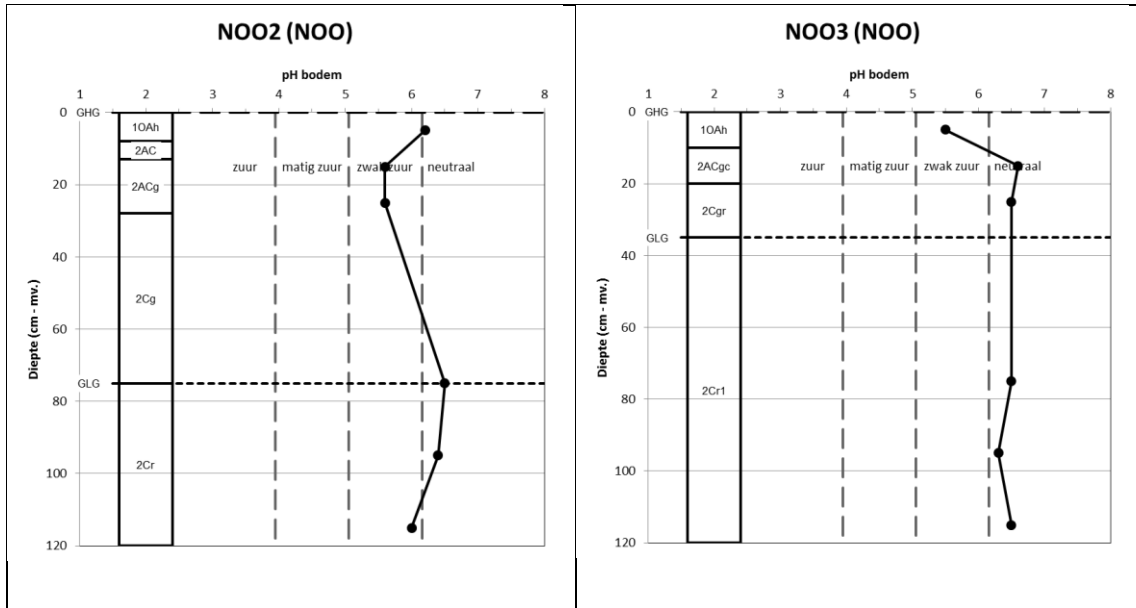
B8.2: pH-profielen











BIJLAGE 9: Bodemchemie

B9.1 Bodemchemische analysesresultaten

locatie	bemonsterde laag		Organische stof (% dr grond)	pH-CaCl (pH-KCl)	P-pae (CaCl2) mg/kg dr grond	Pw (mg/l ds)	P-AI (mg/100 g dr grond)	Pox (mmol/kg dr grond)	AlOx (mmol/kg dr grond)	Feox (mmol/kg dr grond)	PSI	
	onder	boven										
pape2	0	10	5.3	17.4	7.3	1.4	1	1	8.38	31.87	374.57	0.021
pape2	10	45	<0.1	4.6	6.7	0.41	1	1	6.70	41.27	108.42	0.045
pape2	45	70	<0.1	2.8	6.5	0.12	1	1	4.76	36.73	65.25	0.047
mech1	0	9	<0.1	36.1	6.3	7.65	7	12	14.83	35.19	237.49	0.054
mech1	9	35	<0.1	12.5	5.2	0.88	1	8	11.04	44.22	198.33	0.046
mech3	0	10	<0.1	33.6	6.5	6.39	8	7	26.19	37.33	495.35	0.049
rave1	0	20	16.1	44.6	7.3	6.49	14	9	6.41	57.73	56.88	0.056
rave1	20	50	9.4	20.2	7.3	0.77	2	3	4.26	43.59	7.55	0.083
rave3	0	30	<0.1	66.6	6.9	4.81	8	15	11.40	54.97	124.20	0.064
bund1	0	16	3.8	16.2	7.3	2.37	5	6	7.09	20.89	65.49	0.082
bund1	16	22	0.9	7.5	7.3	0.74	2	5	7.13	23.12	77.32	0.071
bund2	0	10	0.4	10.6	6.9	1.66	4	3	6.80	21.78	62.32	0.081
weus1	3	10	9.6	6.8	7.5	0.4	1	14	6.51	33.69	2.30	0.181
weus1	10	20	10.7	6.4	7.5	0.41	1	11	6.35	33.43	2.22	0.178
weus2	0	20	58.3	9.1	7.6	0.7	1	20	9.63	18.40	19.74	0.253
terw1	0	8	0.2	23.3	6.7	4.05	15	74	45.35	47.99	223.21	0.167
terw1	8	35	<0.1	9.2	5.8	0.62	8	49	20.45	55.25	183.96	0.086
terw1	35	65	<0.1	13.6	6.5	0.78	6	79	25.80	56.79	118.86	0.147
WEV1	0	10	0.8	52	6.2	17	52	14	5.72	53.56	64.79	0.048
WEV2	0	10	0.5	60	6.1	32	75	12	3.89	34.19	35.58	0.056
WEV3	0	10	0.9	52	6.2	15	48	14	5.49	47.81	46.60	0.058
NOO1	0	10	0.8	15.6	6.6	6.2	14	28	13.04	21.45	75.50	0.135
NOO2	0	10	1.1	18.4	6.7	6.3	4	12	14.33	30.68	139.26	0.084
NOO3	0	10	1.2	19.2	6.2	5.9	6	10	19.58	34.62	232.18	0.073
rave2	100	125		75.8								

locatie	bemonsterde laag		C	N (mg/kg dr grond)	P totaal mg/kg dr grond	C/N	C/P	Zwavel (S) mg/kg dr grond	Ijzer (Fe) mg/kg dr grond	S mmol/kg	Fe mmol/kg	Fe/S
	boven	onder										
pape2	0	10	8.7	5960	930	14.60	93.55	1300	47000	40.55	841.54	20.75
pape2	10	45	2.3	1940	580	11.86	39.66	750	25000	23.39	447.63	19.13
pape2	45	70	1.4	950	500	14.74	28.00	110	25000	3.43	447.63	130.46
mech1	0	9	18.05	10980	1400	16.44	128.93	2000	18000	62.38	322.29	5.17
mech1	9	35	6.25	4910	720	12.73	86.81	750	21000	23.39	376.01	16.07
mech3	0	10	16.8	1120	2000	150.00	84.00	1700	44000	53.03	787.82	14.86
rave1	0	20	22.3	16380	890	13.61	250.56	2800	4500	87.34	80.57	0.92
rave1	20	50	10.1	7190	450	14.05	224.44	1900	3400	59.26	60.88	1.03
rave3	0	30	33.3	2220	1410	150.00	236.17	3900	11000	121.65	196.96	1.62
bund1	0	16	8.1	5870	740	13.80	109.46	1300	13000	40.55	232.77	5.74
bund1	16	22	3.75	2810	630	13.35	59.52	750	20000	23.39	358.10	15.31
bund2	0	10	5.3	4590	750	11.55	70.67	920	16000	28.70	286.48	9.98
weus1	3	10	3.4	2530	550	13.44	61.82	1700	4700	53.03	84.15	1.59
weus1	10	20	3.2	2250	530	14.22	60.38	1800	3800	56.14	68.04	1.21
weus2	0	20	4.55	3060	790	14.87	57.59	1200	2800	37.43	50.13	1.34
terw1	0	8	11.65	6420	2000	18.15	58.25	2200	25000	68.62	447.63	6.52
terw1	8	35	4.6	2790	940	16.49	48.94	480	30000	14.97	537.15	35.88
terw1	35	65	6.8	3830	1130	17.75	60.18	2100	27000	65.50	483.44	7.38
WEV1	0	10	26	2640		98.48		58	732	1.81	13.11	7.24
WEV2	0	10	30	4080		73.53		78	321	2.43	5.75	2.36
WEV3	0	10	26	3470		74.93		55	516	1.72	9.24	5.39
NOO1	0	10	7.8	3320		23.49		15	879	0.47	15.74	33.64
NOO2	0	10	9.2	3080		29.87		20	1190	0.62	21.31	34.16
NOO3	0	10	9.6	7780		12.34		22	1120	0.69	20.05	29.22
rave2	100	125						14000		250.67		

B9.2 Pyrietvorming

Pyriet wordt vooral gevormd in weinig veraard veen. Een reducerend milieu is o.a. afhankelijk van langdurige verzadiging met grondwater waardoor de diffusie van zuurstof belemmerd wordt. Ook onder verzadigde omstandigheden ontstaat een dergelijk milieu pas wanneer de aanwezige zuurstof is opgebruikt. Uit onderzoek is gebleken dat pyriet (FeS_2) vooral gevormd wordt wanneer anoxische condities tijdelijk worden afgewisseld door oxische (Marnette, 1993; Van Delft et al. 2005). Onder permanent gereduceerde omstandigheden (dieper dan GLG niveau) blijken vooral monosulfiden (FeS) gevormd te worden. Hiervoor is de diepte van het midden van het monster ten opzichte van het GLG-niveau beoordeeld. Uit meetreeksen van de stijghoogten op 1.5 m diepte (hoofdstuk 5.2) blijkt dat op de meeste locaties de stijghoogte het grootste deel van het jaar tot aan of boven maaiveld reikt, maar in droge perioden gedurende korte tijd tot enkele dm's onder maaiveld wegzakt. De in het veld geschatte GLG is vaak iets dieper omdat de stijghoogte bij kwelprofielen bovenin lager is dan dieper. In de zone van enkele dm's boven GLG wordt de kans op pyrietvorming het grootst geschat, beneden GLG is deze gering en bij enkele profielen met een wat diepere GLG (MECH3, BUND2, NOO1 en NOO2) zal de duur van de waterverzadiging minder zijn en wordt de bijdrage aan pyrietvorming matig verondersteld.

B9.3 Berekening pyrietvoorraad

Voor de beoordeling van de hoeveelheden ijzer en pyriet zijn de gehalten in mg/kg omgerekend naar mmol/dm³ grond om hiermee de voorraad te kunnen berekenen. Daarvoor is de dichtheid van de grond met een empirische vergelijking afgeleid van het organische stofgehalte. IJzer komt in verschillende verbindingen en vormen voor in de bodem. Voor pyrietvorming is het 'actieve' ijzer van belang, dat zijn de ijzerhydroxiden die bepaald worden met de oxalaatextractie (Fe-ox). Fe-totaal geeft de totale hoeveelheid ijzer, met hierin de actieve fractie, het deel dat is opgenomen in pyriet en andere mineralen zoals kristallijne ijzeroxiden. Voor de kans op pyrietvorming is beoordeeld of de actieve fractie (Fe-ox) in voldoende mate aanwezig is om met de aanwezige sulfiden pyriet te vormen (0.5 mmol Fe-ox per mmol S).

B9.4 Sulfaatbron

Als sulfaatbron kunnen zowel atmosferische depositie (in het verleden) als aanvoer met kwelwater genoemd worden (Van Delft et al., 2005). Uit berekeningen is gebleken dat over een periode van 125 jaar 4.5 tot 9 g FeS_2 in de bovenste 30 cm van de bodem in natuurgebieden geaccumuleerd kan zijn uit atmosferische depositie. Dit komt ongeveer overeen met de pyrietvoorraden in de bovenste 30 cm van de bemonsterde locaties (Tabel 5.2, laatste kolom).

Pyriet wordt vooral gevonden in kustnabije mariene afzettingen. In het studiegebied kan vooral in de Formaties van Rupel en Breda pyriet verwacht worden en mogelijk ook in de Formatie van Tongeren (Mulder et al., 2003; TNO, 2013). Voor het inschatten van een sulfaatbron is nagegaan of deze afzettingen voorkomen in 'bovenstroomse' deel van de grondwaterstroom. Of inderdaad sulfaat aangevoerd wordt met de grondwaterstroom is beoordeeld aan de hand van het sulfaatgehalte in het grondwater op 1.5 m diepte (hoofdstuk 5.3; Bijlage 13). Hiervoor is het gemiddelde genomen van de bemonstering van juni en oktober 2013.

Zuurstofhoudend neerslagwater heeft maar een beperkt oxiderend vermogen, waardoor slechts weinig pyriet zal oxideren en het sulfaatgehalte laag zal zijn. De maximale sulfaatconcentratie door oxidatie van zuurstofhoudend water is 17 mg/l (Van Delft et al. 2005). Wanneer het infiltratiewater onder landbouwpercelen echter een hoog nitraatgehalte heeft, is de oxiderende werking vele malen groter. Hoge sulfaatconcentraties (> 100 mg/l) moeten waarschijnlijk hieraan toegeschreven worden. Daarom speelt deze sulfaatbron vooral een rol bij vrij lokale systemen met een verblijftijd van < 50 jaar met landbouwgronden in het infiltratiegebied en waar het water door pyriet houdende afzettingen stroomt. Het landgebruik bovenstrooms van de onderzochte locaties is beoordeeld om een indruk te krijgen van de kans op nitraatuitspoeling. Hierbij was geen informatie beschikbaar over de verblijftijd van het grondwater, maar de hoge sulfaatconcentraties bij Ravensbos, Bunderbos, Weustenrade en Terworm zouden kunnen duiden op een dergelijk systeem.

Uit de nitraatgehalten van het grondwater op 1.5 m – mv. kan afgeleid worden of de nitraatstroom ook tot in het onderzochte profiel reikt, zoals in het Ravensbos en in mindere mate in Bunderbos. Hier is het hoge sulfaatgehalte in het kwelwater zeker toe te schrijven aan pyrietoxidatie door nitraat.

B9.5 Sulfaataanvoer en pyrietvorming per terrein

In Papenbroek is het sulfaatgehalte van het kwelwater vrij hoog, door aanrijking vanuit afzettingen van de formaties van Breda en Rupel. Omdat het intrekgebied in de bebouwing ligt is het nitraatgehalte laag waardoor het sulfaatgehalte niet al te hoog is. Het kan echter niet volledig worden verklaard door zuurstof-oxidatie, nitraat kan hier een beperkte rol gespeeld hebben. Er is sprake van pyrietvorming in het veen, maar dat is beperkt tot de bovenste 45 cm. Dat kan ook verklaard worden uit het lage organische stofgehalte in diepere lagen. Hier is mogelijk sprake van een min of meer natuurlijk, langjarig proces.

Bij de Mechelder beemden komen bovenstrooms geen pyriet houdende afzettingen voor en ondanks het voorkomen van landbouwgronden in het infiltratiegebied zijn de sulfaatgehalten laag. Dat geldt trouwens ook voor het nitraatgehalte. Het is niet duidelijk of dat het gevolg is van een langere verblijftijd, of dat de nitraatuitspoeling gering is. Ook hier is het pyrietgehalte in de bovenste (venige) laag het hoogst. De totale hoeveelheid geaccumuleerd pyriet is matig. De hoeveelheid bij MECH3 is waarschijnlijk overschat, omdat vanaf 10 cm een (niet bemonsterde) minerale laag voorkomt die waarschijnlijk minder pyriet bevat.

De beide profielen van de Carex-weide (Ravensbos) ontvangen met het kwelwater hoge concentraties sulfaat en nitraat, als gevolg van nitraatuitspoeling uit het bovenstroomse landbouwgebied en de onderliggende mariene afzettingen van de Rupel formatie. Wellicht zijn de grove terrasafzettingen die onder het landbouwgebied voorkomen mede oorzaak van een korte verblijftijd en daarmee de hoge nitraat en sulfaatlast. Opvallend is dat hier de ijzergehalten, en met name de hoeveelheid 'actief' ijzer beperkt zijn. Misschien is mede daardoor de hoeveelheid pyriet niet zeer hoog. Bij RAVE1 is in laag 2 (20 – 50 cm – mv.) de hoeveelheid actief ijzer zeer laag, terwijl het totaal ijzergehalte en het pyrietgehalte wat hoger is dan in de bovenste laag. Het wijst er op dat het meeste ijzer en zwavel al in deze laag gebonden zijn in pyriet. Het kalkgehalte is juist in de bovenste laag hoger (zie ook Figuur 5.1). Dit komt ook goed overeen met de processen zoals beschreven in §6.1.2C.

In het Kasteelpark Elsloo (Bund) is de situatie voor pyrietvorming min of meer vergelijkbaar met die in het Ravensbos, hoewel de nitraatgehalten hier wat lager zijn. Ook hier is mogelijk sprake van geringe verblijftijden omdat de landbouwgronden op terrasafzettingen liggen en het water vervolgens via de formaties van Breda en Rupel afstroomt. De hoeveelheden pyriet zijn hier wat lager dan in het Ravensbos, mogelijk omdat er minder veen en daarmee minder goed afbreekbaar organisch voorkomt. Ook kan een rol spelen dat een vrij groot deel van het kwelwater snel via stroompjes wordt afgevoerd. Dit water blijkt hoge gehalten nitraat en sulfaat te bevatten (Tabel 5.4).

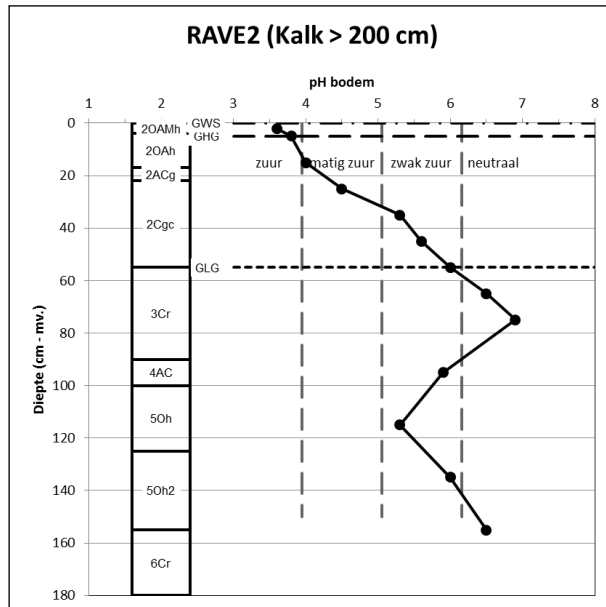
De situatie in Weustenrade lijkt wat af te wijken van de andere locaties. Omstandigheden voor pyrietvorming lijken hier niet erg gunstig: er is weinig afbreekbare organische stof en is het nitraatgehalte van het grondwater zeer laag. Toch is, met name bij WEUS1 het pyrietgehalte zeer hoog, de voorraad is het hoogst van alle onderzochte locaties. Wel zijn de sulfaatgehalten van het grondwater zeer hoog. In tegenstelling tot de andere locaties is pyriet hier niet recent (in het Holoceen) in een venig bronmilieu gevormd, maar maakt het deel uit van de tertiaire mariene afzettingen van de formatie van Tongeren die hier dagzomen. Uit de zeer lage gehalten actief ijzer bij WEUS1 kan afgeleid worden dat vrijwel alle ijzer hier in de vorm van pyriet voorkomt.

Bij Terworm is het sulfaatgehalte in het grondwater ook zeer hoog, door pyrietoxidatie in de Rupel formatie. Opvallend is wel dat het nitraatgehalte zeer laag is. Er ligt geen landbouwgebied binnen het intrekgebied. Het verloop van het pyrietgehalte met de diepte is hier ook opmerkelijk. In de venige wortelmat van de bovenste 8 cm is dit hoog, daaronder komt tot 35 cm een minerale laag met weinig organische stof voor waarin het pyrietgehalte beperkt is, om vervolgens in een humeuze kleilaag tot 65 cm weer zeer hoog te worden. Gezien de diepte van deze laag en het sterk humeuze karakter kan aangenomen worden dat de daar aanwezige pyriet gevormd is tijdens de

afzetting van de beekklei en geen actueel proces is. De pyrietvoorraad in de bovenste 30 cm is het laagste van alle onderzochte locaties.

B9.6 Koolachtige laag Carex-weide - Ravensbos

In de Carex-weide is bij locatie RAVE2 is tussen 100 en 125 cm – mv. een zone aanwezig met een duidelijk lagere pH (Figuur B9.1). De laag is kalkloos waardoor de zuurgraad niet gebufferd wordt. Het blijkt te gaan om een koolachtige laag, Het is aannemelijk dat het hier verspoelde steenkool betreft die in de Rupel klei kan worden aangetroffen. Het betreft daarbij een watervoerende laag. Van deze laag tussen 100

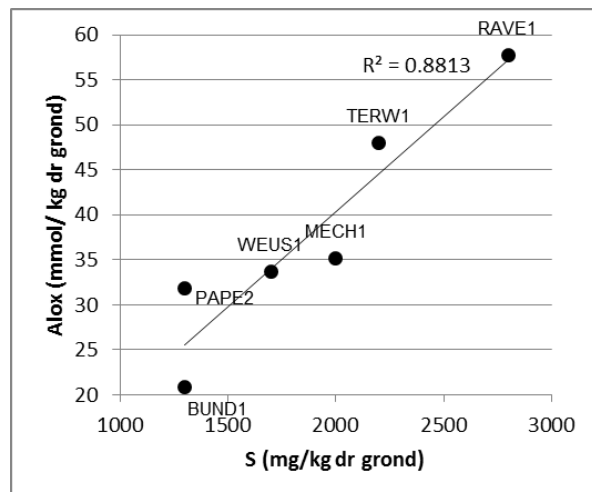


en 125 cm –mv (zie §5.2.3) is een extra bodemonster genomen, die alleen geanalyseerd is op organisch stofgehalte en pyriet. Het koolachtige materiaal blijkt zeer rijk aan organische stof, ijzer en zwavel te zijn (Tabel 5.2). Hier vindt wellicht pyrietoxidatie plaats door nitraat dat hier via het grondwater wordt aangevoerd en wordt denitrificeerd.

Figuur B9.1 pH-profiel van de locatie RAVE2 met koolhoudende laag.

B9.7 Aluminium uit tertiaire klei?

Er blijkt een relatie te bestaan tussen het gehalte oxalaat-extraheerbaar aluminium (Alox) en zwavel (uit pyriet) (Figuur B9.2). Hoewel er geen directe relatie is tussen deze elementen zijn zij mogelijk beide afkomstig uit dezelfde afzettingen. Bij de locaties met de hoogste waarden voor zowel S als Alox (RAVE1 en TERW1) komt bovenstrooms Rupelklei voor in de ondergrond. Mogelijk is hierbij (eventueel als gevolg van pyrietoxidatie) aluminium vrijgekomen door verwerking van kleimineralen.



Figuur B9.2: Relatie tussen Alox en S

BIJLAGE 10: Bodembioologische analysesresultaten

Jaap Bloem & An Vos, Alterra, Wageningen University and Research Centre (WUR), The Netherlands (jaap.bloem@wur.nl)										
Parameters soil biology										
Microbiology										
bacterial growth rate (incorporation of 3H-thymidine and 14C-leucine into bacterial DNA and proteins)										
bacterial biomass (confocal laser scanning microscopy and automatic image analysis)										
fungal biomass and % active hyphae (epifluorescence microscopy)										
Processes										
Potential C mineralization (based on soil respiration: both CO2 evolution and O2 consumption, by GC, 6 wk incubation)										
Potential N mineralization (increase in mineral N (NH4+NO3) during 6 wk incubation)										
Labile organic matter										
Potentially Mineralizable Nitrogen (7 days anaerobic incubation in slurry at 40 degrees Celsius)										
Results Soil										
	Soil dry matter									
	%									
Sample	average	se								
PAPE2	44.2	0.6								
MECH1	18.0	0.1								
RAVE1	16.9	0.1								
BUND1	40.6	0.1								
WEUS1	65.0	0.9								
TERW1	32.2	0.0								
Results Microbiology										
	Bacterial growth rate				Bacterial biomass		Fungal biomass		Active fungi	
	Thymidine		Leucine							
	incorporation		incorporation							
	(pmol/g.h)		(pmol/g.h)		(µg C/g dry soil)		(µg C/g dry soil)		(%)	
Sample	average	se	average	se	average	se	average	se	average	se
PAPE2	0.00		176.8		102.2	6.2	47.8	5.0	0.0	0.0
MECH1	4.51		686.3		286.9	41.5	228.9	7.9	0.0	0.0
RAVE1	30.07		717.6		198.9	10.6	517.9	61.1	1.5	1.5
BUND1	0.00		85.5		114.4	25.5	95.9	14.5	0.0	0.0
WEUS1	9.86		286.2		46.4	12.4	58.2	3.1	0.0	0.0
TERW1	15.34		1162.8		93.3	20.1	223.5	26.1	2.1	2.1
Results Processes										
	Potential				Potential					
	C mineralization				N mineralization					
	(mg C/kg.wk)				(mg N/kg.wk)					
Sample	average	se	average	se						
PAPE2	169.1		6.16							
MECH1	515.9		7.08							
RAVE1	127.2		-11.06							
BUND1	52.9		7.74							
WEUS1	81.2		0.12							
TERW1	63.8		2.98							
Results Labile organic matter										
	Potentially									
	Mineralizable N									
	(mg/kg)									
Sample	average	se								
PAPE2	144.5	9.8								
MECH1	681.0	0.0								
RAVE1	359.5	60.1								
BUND1	246.7	15.4								
WEUS1	6.6	0.2								
TERW1	211.5	3.3								

BIJLAGE 11: Correlaties bodemchemie, biologie en gewas

Correlatiematrix voor alle bodemchemische en bodembioologische kenmerken en kenmerken van het gewas. Sterk positieve correlaties zijn donkergroen geleurd, sterk negatieve correlaties donkerrood, minder sterke correlaties hebben een lichte kleur of zijn wit. In de marges links en boven is aangegeven bij welke component de parameters horen: Bodem = Bodemchemie, Bio = Bodembioologie, Gewas = Gewas.

		Bodem						
Bodem	Org	-						
	N_tot	0.977	-					
	C_N	0.194	-0.008	-				
	P_tot	0.327	0.141	0.980	-			
	Pox	0.048	-0.116	0.914	0.929	-		
	P_CaCl2	0.934	0.852	0.389	0.472	0.181	-	
	P_Al	-0.012	-0.150	0.807	0.834	0.971	0.099	
	Pw	0.693	0.633	0.510	0.662	0.615	0.662	
	C_P	0.831	0.929	-0.370	-0.215	-0.415	0.633	
	PSI	-0.489	-0.531	0.217	0.179	0.478	-0.359	
	Alox	0.677	0.670	0.242	0.394	0.348	0.526	
	Feox	0.081	-0.031	0.541	0.496	0.319	0.095	
	Fe	-0.186	-0.256	0.370	0.317	0.237	-0.224	
	S	0.786	0.774	0.204	0.351	0.266	0.704	
	Fe_S	-0.268	-0.290	0.128	0.072	0.005	-0.351	
	CaCO3	0.232	0.413	-0.747	-0.627	-0.573	-0.055	
pH_CaCl	-0.465	-0.272	-0.828	-0.791	-0.566	-0.717		
Bio	SchimmelMassa	0.904	0.927	0.049	0.222	0.074	0.772	
	BacterieMassa	0.836	0.771	0.212	0.246	-0.105	0.922	
	Thymidine	0.611	0.659	-0.024	0.142	0.156	0.441	
	Leucine	0.536	0.402	0.776	0.856	0.811	0.605	
	Schimmel_Bacterie	0.461	0.465	0.222	0.378	0.468	0.352	
	N_mineralisatie	-0.503	-0.612	0.341	0.182	0.155	-0.265	
	C_mineralisatie	0.476	0.366	0.302	0.232	-0.091	0.657	
	Mineraliseerbaar_N	0.771	0.675	0.354	0.371	0.037	0.916	
Gewas	Gewas_K	-0.639	-0.585	-0.185	-0.196	0.089	-0.623	
	Gewas_Nt	0.320	0.349	0.068	0.205	0.251	0.263	
	Gewas_Pt	-0.038	-0.241	0.966	0.906	0.891	0.201	
	Gewas_Productie	-0.081	-0.190	0.458	0.385	0.243	0.062	
	N_P	0.444	0.618	-0.686	-0.531	-0.540	0.175	
	N_K	0.824	0.754	0.238	0.266	-0.078	0.880	
	K_P	-0.233	-0.044	-0.828	-0.760	-0.572	-0.412	
		Org	N_tot	C_N	P_tot	Pox	P_CaCl2	

		Bodem						
Bodem	P_Al	-						
	Pw	0.639	-					
	C_P	-0.401	0.437	-				
	PSI	0.644	0.131	-0.554	-			
	Alox	0.411	0.788	0.548	0.087	-		
	Feox	0.110	-0.085	-0.243	-0.492	-0.069	-	
	Fe	0.059	-0.252	-0.376	-0.420	-0.223	0.940	
	S	0.337	0.829	0.652	0.093	0.939	-0.260	
	Fe_S	-0.160	-0.423	-0.321	-0.506	-0.339	0.856	
	CaCO3	-0.424	0.061	0.666	-0.090	0.461	-0.546	
	pH_CaCl	-0.422	-0.405	0.076	0.081	-0.139	-0.448	
Bio	SchimmelMassa	0.113	0.808	0.856	-0.197	0.847	-0.236	
	BacterieMassa	-0.228	0.327	0.602	-0.578	0.239	0.185	
	Thymidine	0.283	0.747	0.643	0.182	0.933	-0.409	
	Leucine	0.811	0.862	0.102	0.321	0.765	0.129	
	Schimmel_Bacterie	0.598	0.863	0.390	0.411	0.877	-0.378	
	N_mineralisatie	0.009	-0.500	-0.709	-0.073	-0.820	0.488	
	C_mineralisatie	-0.245	-0.070	0.168	-0.454	-0.043	0.397	
	Mineraliseerbaar_N	-0.100	0.358	0.465	-0.494	0.155	0.219	
Gewas	Gewas_K	0.184	-0.123	-0.423	0.445	-0.476	-0.403	
	Gewas_Nt	0.292	0.659	0.360	0.017	0.199	-0.329	
	Gewas_Pt	0.786	0.333	-0.573	0.305	0.007	0.516	
	Gewas_Productie	0.037	-0.150	-0.344	-0.433	-0.550	0.700	
	N_P	-0.419	0.259	0.844	-0.242	0.455	-0.569	
	N_K	-0.191	0.293	0.568	-0.524	0.390	0.269	
	K_P	-0.407	-0.154	0.297	0.107	-0.139	-0.765	
		P_Al	Pw	C_P	PSI	Alox	Feox	

		Bodem					Bio
Bodem	Fe	-					
	S	-0.472	-				
	Fe_S	0.968	-0.587	-			
	CaCO3	-0.475	0.436	-0.334	-		
	pH_CaCl	-0.159	-0.257	0.044	0.698	-	
Bio	SchimmelMassa	-0.434	0.935	-0.501	0.500	-0.190	-
	BacterieMassa	-0.122	0.438	-0.186	-0.100	-0.678	0.565
	Thymidine	-0.514	0.937	-0.575	0.658	0.083	0.878
	Leucine	-0.087	0.760	-0.319	-0.188	-0.631	0.588
	Schimmel_Bacterie	-0.453	0.865	-0.569	0.409	-0.014	0.757
	N_mineralisatie	0.530	-0.806	0.509	-0.872	-0.354	-0.789
	C_mineralisatie	0.113	0.104	0.046	-0.361	-0.743	0.121
	Mineraliseerbaar_N	-0.090	0.370	-0.185	-0.285	-0.789	0.480
Gewas	Gewas_K	-0.143	-0.472	-0.081	-0.118	0.464	-0.436
	Gewas_Nt	-0.305	0.296	-0.338	0.064	0.022	0.459
	Gewas_Pt	0.399	-0.026	0.176	-0.869	-0.768	-0.188
	Gewas_Productie	0.685	-0.562	0.635	-0.812	-0.480	-0.423
	N_P	-0.540	0.507	-0.413	0.922	0.559	0.667
	N_K	-0.049	0.522	-0.126	-0.012	-0.656	0.573
	K_P	-0.549	-0.080	-0.361	0.675	0.839	0.055
		Fe	S	Fe_S	CaCO3	pH_CaCl	SchimmelMassa

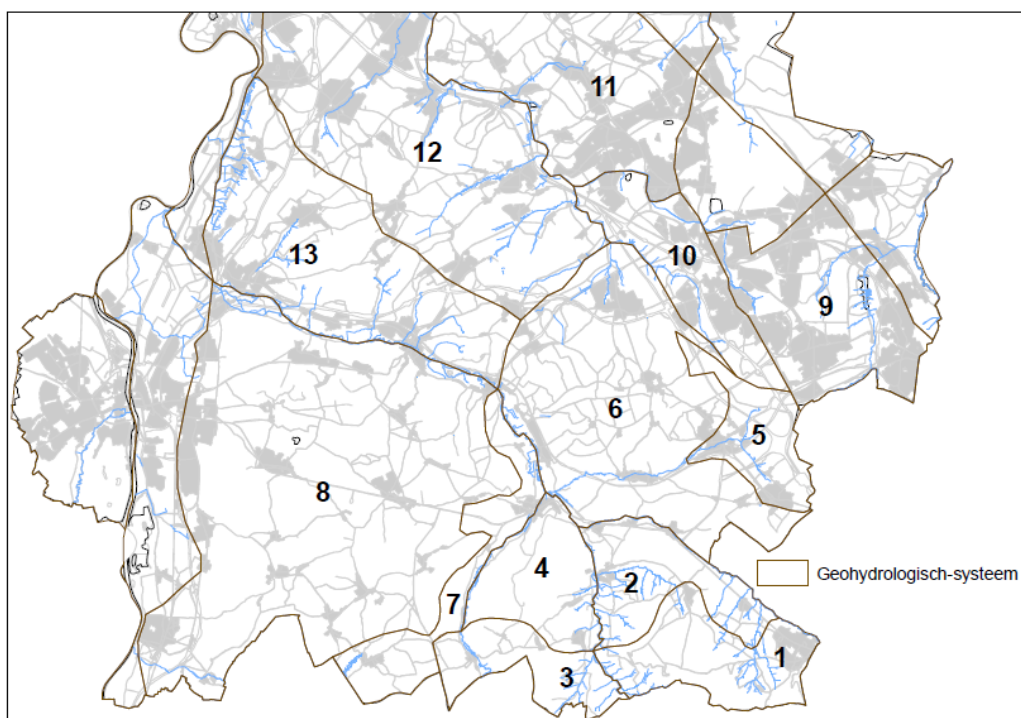
Bio

Bio	BacterieMassa	-						
	Thymidine	0.154	-					
	Leucine	0.291	0.606	-				
	Schimmel_Bacterie	-0.016	0.925	0.750	-			
	N_mineralisatie	-0.064	-0.941	-0.316		-0.774	-	
	C_mineralisatie	0.843	-0.211	0.146		-0.368	0.274	-
	Mineraliseerbaar_N	0.978	0.057	0.345		-0.041	0.085	0.843
	Gewas	Gewas_K	-0.693	-0.274	-0.332		-0.027	0.265	-0.766
Gewas_Nt		0.046	0.343	0.245		0.505	-0.212	-0.435
Gewas_Pt		0.066	-0.235	0.620		0.056	0.535	0.236
Gewas_Productie		0.204	-0.733	-0.123		-0.587	0.843	0.319
N_P		0.111	0.678	-0.130		0.457	-0.838	-0.308
N_K		0.946	0.250	0.371		0.039	-0.178	0.875
K_P		-0.413	0.196	-0.539		0.129	-0.401	-0.672
		BacterieMassa	Thymidine	Leucine	Schimmel_Bacterie	N_min	C_min	

		Bio	Gewas				
Bio	Mineraliseerbaar_N	-					
Gewas	Gewas_K	-0.591	-				
	Gewas_Nt	0.110	0.519	-			
	Gewas_Pt	0.238	-0.001	0.034	-		
	Gewas_Productie	0.334	0.118	0.096	0.553	-	
	N_P	-0.046	-0.046	0.383	-0.824	-0.638	-
	N_K	0.889	-0.886	-0.192	0.061	0.050	0.090
	K_P	-0.486	0.596	0.411	-0.775	-0.473	0.714
		Mineraliseerbaar_N	Gewas_K	Gewas_Nt	Gewas_Pt	Gewas_Productie	N_P

		Gewas	
Gewas	N_K	-	
	K_P	-0.534	-
		N_K	K_P

BIJLAGE 12: Regionale geohydrologische systemen



1	<i>PV-vu</i> Vijlenerbos systeem- vuursteeneluvium	8	<i>MP</i> Margraten Plateau systeem
2	<i>Pv</i> Vijlenerbos systeem	9	<i>Sch-Z</i> Schrieversheide Zuid- systeem (deel syst. Anstelerbeek)
3	<i>Cr-vu</i> Crapoel systeem - vuursteeneluvium	10	<i>GB</i> Geleenbeek systeem
4	<i>Cr</i> Crapoel systeem	11	<i>HRO</i> Hoge Roth systeem
5	<i>UP-va</i> Ubachsberg Plateau systeem- Vaalsergroenzand	12	<i>CP-N</i> Centraal Plateau systeem - Noord
6	<i>Up</i> Ubachsberg Plateau systeem	13	<i>CP-Z</i> Centraal Plateau systeem - Zuid
7	<i>MP-VI</i> Margraten Plateau systeem - verweringsleem		

Bron: De Mars et al. (2012)

BIJLAGE 13: Kwaliteitsgegevens grond- en oppervlaktewater

B13.1: Kwaliteitsgegevens van het OBN-meetnet

Monster	26-8-2013		15-12-2013		BUND-1-2		BUND-2		BUND-3		BUND-4		BUND-5		BUND-6		BUND-7		BUND-8		BUND-9		BUND-10		BUND-11		BUND-12		BUND-13		BUND-14		BUND-15		BUND-16		BUND-17		BUND-18		BUND-19		BUND-20		BUND-21		BUND-22		BUND-23		BUND-24		BUND-25		BUND-26		BUND-27		BUND-28		BUND-29		BUND-30		BUND-31		BUND-32		BUND-33		BUND-34		BUND-35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	entheid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420

B13.2 Grondwaterkwaliteitsgegevens OGOR-buizen in het OBN meetnet, periode 2012-2016. (bron: Prov Limburg; dhr J. Hacking)

OBN	code		Datum	pH lab	EGV ₂₅ lab µS/cm	HCO ₃ mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NH ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	Ortho-PO ₄ ³⁻ mg/l	Ptot ug/l	Fe ug/l
	OGOR	Filter (m)															
PAPENBROEK																	
PAPE-1.2	GBD01	1,25	14-11-2012	7,07	1060	570	150	19	14	< 0,500	49	2,5	0,35	0,31	< 0,0300	1100	46000
PAPE-1.2	GBD01	1,25	29-5-2013	7,22	777	450	120	17	12	< 0,500	35	1,7	0,04	< 0,220	< 0,0300	1400	38000
PAPE-1.2	GBD01	1,25	31-10-2013	7,12	1060	560	170	24	16	< 0,500	47	17	0,17	0,4	< 0,0300	1200	
PAPE-1.2	GBD01	1,25	6-5-2014	7,18	870	480	140	19	12	< 0,500	32	3,2	0,03	< 0,220	< 0,0300	1500	33000
PAPE-1.2	GBD01	1,25	13-11-2014	6,9	839	500	140	16	9,3	< 0,500	32	< 1,00	0,541	< 0,221	< 0,0306	1700	31000
PAPE-1.2	GBD01	1,25	8-6-2015	6,8	718	440	130	17	9	< 0,500	23	< 1,00	0,0257	< 0,221	0,828	1900	23000
PAPE-1.2	GBD01	1,25	3-12-2015	6,8	766	490	140	18	9,9	< 0,500	27	< 1,00	< 0,0257	< 0,221	0,767	1200	23000
PAPE-1.2	GBD01	1,25	19-4-2016	6,9	671	410	120	16	8	< 0,500	19	< 1,00	0,155	< 0,221	1,04	960	11000
TERWORM																	
TERW-1.2	GBD07	1,25	14-11-2012	7,2	1020	450	180	25	7,3	0,76	32	170	0,03	0,35	0,09	62	230
TERW-1.2	GBD07	1,25	29-5-2013	7,23	1080	450	200	28	8,2	0,61	33	170	0,07	0,4	0,25	97	360
TERW-1.2	GBD07	1,25	31-10-2013	7,22	1010	430	180	24	8,1	0,62	33	160	0,08	0,27	0,12	55	130
TERW-1.2	GBD07	1,25	6-5-2014	7,38	1030	440	190	27	7,6	0,57	34	150	0,06	< 0,220	0,4	250	840
TERW-1.2	GBD07	1,25	6-11-2014	7,2	1040	470	200	26	8	0,61	34	150	0,0515	< 0,221	0,736	210	510
TERW-1.2	GBD07	1,25	4-6-2015	7,6	999	430	190	26	7,2	0,72	34	170	0,0515	< 0,221	0,399	120	250
TERW-1.2	GBD07	1,25	3-12-2015	7,1	1020	460	200	26	7,4	0,66	34	160	0,0644	< 0,221	0,552	200	610
TERW-1.2	GBD07	1,25	11-4-2016	7,1	1030	430	190	28	6,8	0,72	32	170	0,0901	< 0,221	0,0919	29	78
WEVERVEEN																	
WEVE-1.2	BUB07	1,25	6-6-2012	6,18	522	51	60	8,1		4,5	31	73	< 0,03	93	< 0,03		36
WEVE-1.2	BUB07	1,25	15-11-2012	6,13	532	50	65	8,6		4,6	33	78	< 0,03	89	< 0,03		< 5
WEVE-1.2	BUB07	1,25	30-5-2013	5,97	573	51	67	8,2		4,4	36	77	0,15	93	< 0,03		< 5
WEVE-1.2	BUB07	1,25	13-11-2013	6,15	542	51	74	8,8		4,8	41	80	< 0,03	93	< 0,03		< 5
WEVE-1.2	BUB07	1,25	28-4-2014	6,07	566	51	67	8,9		4,7	44	74	< 0,03	93	< 0,03		< 5
WEVE-1.2	BUB07	1,25	20-11-2014	6,00	590	54	73	9,3		< 5	47	87	< 0,0257	93	< 0,0306		< 10
WEVE-1.2	BUB07	1,25	8-6-2015	6,00	589	54	72	9		4,5	46	90	< 0,0257	93	< 0,0306		< 5
WEVE-1.2	BUB07	1,25	7-12-2015	6,00	560	61	72	9,1		4,7	44	80	< 0,0257	89	< 0,0306		23
WEVE-1.2	BUB07	1,25	7-4-2016	6,10	572	56	70	9,4		4,1	40	87	< 0,0257		< 0,0306		< 5

BIJLAGE 14: Veldmetingen op de transecten (2013-2017)

Diepte: = *Bemonsteringsniveau*:

mv= maaiveld; 0,5/1,2/3 =filterstelling tov maaiveld; greppel =smal ondiep stromend water,

bron(b) =bron(beek)

Positie = *Plaats binnen transect*:

onder = onderaan helling; Midden = middendeel, zonodig verder verdeeld;

boven = bovenaan helling

HCO₃ in meq/l; EGV in µS/cm

KASTEELPARK ELSLOO			HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	
Bun nr	diepte	positie	Locatie	13-6-2013	15-11-2013	10-4-2014	11-6-2014	2-10-2014	10-11-2014	24-8-2015	20-10-2015	17-12-2015	18-1-2016	24-2-2016	23-9-2016
1	0 mv	onder	BUND1-0				7		5,9						4,6
1	1	0,5	BUND1-1	7,6	10	7,9	7,6	5	7	6,1	9,4	10,8	11,3	10,7	7,8
1	2	1,25	BUND1-2	7,6	7,1	6,8	6,2	7,7	8,1	6,3	6,7	6,5	7,7	8,1	8,3
2	1	0,5	BUND2-1	7	6,7	7	7,3	7,3	6,6	6,7	6,5	5,9	6,4	5,2	7,1
2	2	1,25	BUND2-2	7,1	7	6,6	7,8	6,2	6,6	6,3	6,4	5,8	7,2	5,4	5,9
3	0 bron	boven	BUND3-0 st	6,4	6,8	6,5	6,6	6,8	5,1	6,1	7,2	6,8	6,2		5,5
			tufbeek								5,6	6,5	6,3	6,1	
			Locatie	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	0 mv		BUND1-0				7,44		7,29						7,63
1	1	0,5	BUND1-1	7,23	7,3	7,46	7,08	7,04	7,18	7,33	7,26	6,5	7	7,2	7,02
1	2	1,25	BUND1-2	7,19	7,19	7,38	7,14	7,01	7,23	7,23	7,7	7,23	7,51	7,42	7,02
2	1	0,5	BUND2-1	7,28	7,36	7,34	7,44	7,63	7,28	7,27	7,26	7,28	7,34	7,61	7,38
2	2	1,25	BUND2-2	7,07	7,18	7,06	7,09	6,9	7,1	7,13	7,1	7,2	7,01	7,02	7,32
3	0 bron	boven	BUND3-0	7,35	7,38	7,76	7,41	7,38	7,87	7,27	7,11	7,28	7,33	7,57	7,45
			tufbeek								7,71	7,83	7,96		
			EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV
1	0 mv		BUND1-0				830		791						738
1	1	0,5	BUND1-1	846	937	869	877	497	841	875	968	1158	1243	1131	965
1	2	1,25	BUND1-2	941	840	810	775	833	906	836	870	889	924	953	1043
2	1	0,5	BUND2-1	932	975	1007	972	977	1043	954	1037	941	924	783	903
2	2	1,25	BUND2-2	963	983	1023	1047	984	1037	941	1067	1044	1044	977	1010
3	0 bron	boven	BUND3-0	1025	1045	1036	1052	1048	945	1027	1038	1041	1041	1021	1007
			tufbeek								941	955	950		

MECHOLDER BEEMDEN			HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	
Loc nr	diepte	positie	Locatie	13-6-2013	8-10-2013	15-11-2013	10-4-2014	2-10-2014	23-4-2015	18-9-2015	29-12-2015	24-2-2016	26-9-2016
1	0 mv	onder	MECH1-0						3,3	3	2,1	1,2	2,2
1	1	0,5	MECH1-1	3,8	4,8	3,9	2,8	4,3	1,9	2,3	2,9	2,2	3,6
1	2	1,25	MECH1-2	4,2	3,2	3,3	2,5	3,3	2,5	3,8	4,4	2,8	3,1
2	0 mv	midden	MECH2-0						2,5	1,5	1	2,4	1,9
2	1	0,5	MECH2-1	4,5	5,2	4	3,1	3,4	2,8	3,2	3,2	2,9	3,6
2	2	1,5	MECH2-2	2,8	3	3,1	3	3	3	3	2,9	2,7	3,1
3	1	0,5	MECH3-1	4,6	7	5,3	6,2	5,8	2,2	6,4	3,5	5,5	5,9
3	2	1,25	MECH3-2	4,5	4	5	4,4	4,1	4,2	4,3	5,1	3,8	4,4
3	3	3	MECH3-3	3,4	3,6	3,7	3,8	3,5	3,2	3,3	5,5	3,5	3,7
			Locatie	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	0 mv	onder	MECH1-0						6,71	6,52	6,89	6,57	6,27
1	1	0,5	MECH1-1	6,24	6,34	6,61	6,49	6,55	6,17	6,51	6,86	6,41	6,51
1	2	1,25	MECH1-2	6,61	6,74	6,71	6,51	6,71	6,48	6,66	6,59	7,09	6,7
2	0 mv	midden	MECH2-0						6,73	6,73	6,13	7,02	6,54
2	1	0,5	MECH2-1	6,96	7,18	6,92	6,95	6,87	7	6,91	7,18	6,92	7,13
2	2	1,5	MECH2-2	7,1	7,3	7,38	7,33	7,21	7,29	7,28	7,37	7,32	7,36
3	1	0,5	MECH3-1	6,75	6,49	6,81	6,75	6,56	6,78	6,58	7,38	6,76	6,71
3	2	1,25	MECH3-2	6,73	6,6	6,85	6,66	6,7	6,75	6,72	6,89	6,87	6,77
3	3	3	MECH3-3	7,05	7,14	7,22	7,05	7,17	7,28	7,2	6,88	7,4	7,48
			EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV
1	0 mv	onder	MECH1-0						378	334	285	183	292
1	1	0,5	MECH1-1	309	475	414	316	458	275	403	342	303	413
1	2	1,25	MECH1-2	244	347	344	296	345	289	391	429	334	368
2	0 mv	midden	MECH2-0						404	374	268	378	444
2	1	0,5	MECH2-1	466	496	477	407	420	399	408	403	402	418
2	2	1,5	MECH2-2	382	392	398	407	407	394	397	401	387	402
3	1	0,5	MECH3-1	495	737	577	581	624	234	674	467	542	588
3	2	1,25	MECH3-2	465	511	536	482	462	507	517	538	446	503
3	3	3	MECH3-3	468	461	469	472	461	463	466	646	467	471

PAPENBROEK			HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	
Loc nr	diepte	positie	Locatie	13-6-2013	1-11-2013	15-11-2013	10-4-2014	2-10-2014	1-5-2015	11-9-2015	18-1-2016	24-2-2016	26-9-2016
1	0 mv	onder	PAPE1-0						6,5	8			5,6
1	1	0,5	PAPE1-1	9,9	7,3	7,6	5,6	11		8,5			7
2	1	0,5	PAPE2-1	5,8	6,7	6,4	6,2	7,5	6,2	7,2			5,7
2	2	1,05	PAPE2-2	6,3	6,8	6,7	6,2	6,6	6,5			6	7,6
3	1	0,5	PAPE3-1	5,8	6,9	7,4	5,7	5,5	5,1	5,2	3,6	3	4
3	2	1,5	PAPE3-2	4,7		5	4,9	5,2	4,5	5,9	4,6	4,4	4,8
3	3	3	PAPE3-3	5	5	4,9	4,7	4,4	4,3	4,3	4,5	4,2	4,5
3	0 bron	midden-boven	PAPE3-0	8,1	8	7,4	8,1	7,6	6,6	8,1	8,2	7,5	8
4	1	0,5	PAPE4-1			14	11,2	14,5	12,3	9,3	10,3	7,4	12
			Locatie	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	0 mv	onder	PAPE1-0						7,18	7,31			7,72
1	1	0,5	PAPE1-1	6,81	6,73	6,74	6,97	6,72		6,84			6,65
2	1	0,5	PAPE2-1	6,7	7,24	7,15	7,13	7,39	7,17	7,07			7,17
2	2	1,05	PAPE2-2	6,94	6,84	7,3	7,24	7,22	7,31				7,47
3	1	0,5	PAPE3-1	6,96	6,93	6,95	6,87	6,76	6,9	7,07	6,92	6,83	7,17
3	2	1,5	PAPE3-2	6,94		7,17	6,85	6,98	6,93	6,83	7,15	7,04	7,15
3	3	3	PAPE3-3	7,05	7,05	6,98	7,07	7,01	7,18	6,98	7,45	7,11	7,06
3	0 bron	midden-boven	PAPE3-0	6,87		6,89	7,09	7,01	6,92	6,87	6,9	7,05	6,99
4	1	0,5	PAPE4-1			7,17	6,97	6,77		6,99	7,04	6,87	7,03
			EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV
1	0 mv	onder	PAPE1-0						738	1103			748
1	1	0,5	PAPE1-1	961	1026	976	746	1152		1141			659
2	1	0,5	PAPE2-1	759	1078	749	804	824	780	841	657	703	795
2	2	1,05	PAPE2-2	767	762	790	806	777	796	812		990	828
3	1	0,5	PAPE3-1	742	786	824	731	712	722	712	576	537	505
3	2	1,5	PAPE3-2	685		692	717	696	713	708	691	714	709
3	3	3	PAPE3-3	717	724	727	728	736	724	728	721	741	747
3	0 bron	midden-boven	PAPE3-0	1052	1033	1030	1027	1032	1027	1017	1018	1085	1008
4	1	0,5	PAPE4-1			1325	1112	1326	1165	938	978	805	1324

WEUSTENRADE			Locatie	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3
Loc nr	diepte	positie	Locatie	13-6-2013	15-11-2013	10-4-2014	2-10-2014	1-5-2015	11-9-2015	29-12-2015	24-2-2016	26-9-2016	4-11-2016
1	0 mv	onder	WEUS1-0					4,8		5,5	5,4	5,5	4,8
1	1	0,5	WEUS1-1	9	11,9	9,4	6,7	5,8	6,1	5,4	5,9	4,7	5,7
1	2	1,25	WEUS1-2	7	6,6	7,4	6,4	5,8	4,7	4,9	6,7	5,7	6,6
2	0 mv	boven	WEUS2-0					6,2		5,4			
2	1	0,5	WEUS2-1	10	7,5	7,5	8,6	7,5	8,4	6,1	6,1	7,7	6,5
2	2	1,25	WEUS2-2	9	8,4	8	8,6	7,6	8,5	6,3	6,2	8,2	5,2
3	0 greppel		WEUS3-0	7	7,9	8,8	8,4	8	7,6	8	6,7	7,4	7,7
				pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	0 mv	onder	WEUS1-0					7,34		7,5	8,01	7,5	7,31
1	1	0,5	WEUS1-1	7,2	7,41	7,15	7,08	6,9	7,04	9,1	7,08	7,24	6,96
1	2	1,25	WEUS1-2	7,12	7,32	7,15	7,03	7,13	6,94	9,6	7	6,93	7,19
2	0 mv	boven	WEUS2-0					7,17		7,4			
2	1	0,5	WEUS2-1	7,05	7,11	6,98	7,02	7,02	7,02	9	7,07	7,79	6,96
2	2	1,25	WEUS2-2	6,77	6,92	6,78	6,71	6,9	6,9	9,6	6,96	7,32	7,85
3	0 greppel		WEUS3-0	7,19	7,51	7,37	7,33	7,62	7,57	7,56	7,83	7,76	7,74
				EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV
1	0 mv	onder	WEUS1-0					782	855	1019	1212	838	969
1	1	0,5	WEUS1-1	896	1041	982	830	756	707	730	771	671	851
1	2	1,25	WEUS1-2	859	784	903	829	948	864	920	970	947	981
2	0 mv	boven	WEUS2-0					996		1366			
2	1	0,5	WEUS2-1	1095	979	989	1057	990	1085	1169	904	1058	1218
2	2	1,25	WEUS2-2	1063	1047	1050	1031	1009	1075	1307	948	1035	2050
3	0 greppel		WEUS3-0	1482	1483	1517	1571	1586	1485	1490	1340	1438	1405

TERWORM			Locatie	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3
Loc nr	diepte	positie	Locatie	13-6-2013	15-11-2013	10-4-2014	2-10-2014	1-5-2015	11-9-2015	29-12-2015	24-2-2016	26-9-2016
1	0 mv	west	TERW1-0					7,2	6,7	11	5,3	9,8
1	1	0,5	TERW1-1	7,6	9	8,2	9,1	7,8	9,5	8	7,6	9,5
2	0 mv	oost	TERW2-0					8,2	6,1	9	5,8	
2	1	0,5	TERW2-1	9,3	7,9	9,1	9,6	8,2	9	11,1	7,1	9
2	2	1,25	TERW2-2	7,2	7,8	8	6,7	5,3	6,5	7,6	8,2	
3	0 mv		TERW3-0							10,3		7,9
				pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	0 mv	west	TERW1-0					7,61	7,27	7,36	7,29	7,55
1	1	0,5	TERW1-1	6,88	7,02	6,94	6,91	7,03	6,88	7,06	7,05	7,01
2	0 mv	oost	TERW2-0					7,3	7,14	7,25	7,52	
2	1	0,5	TERW2-1	6,88	7,13	6,82	6,77	6,78	6,67	6,81	6,93	7,77
2	2	1,25	TERW2-2	7	7,1	6,99	7,21	7,46	7,03	7,21	7,43	
3	0 mv		TERW3-0							7,29		7,8
				EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV
1	0 mv	west	TERW1-0					947	855	1132	855	986
1	1	0,5	TERW1-1	955	1048	1011	1063	986	1102	1065	1018	1095
2	0 mv	oost	TERW2-0					962	756	1003	623	
2	1	0,5	TERW2-1	981	1077	978	950	926	1119	1164	869	1054
2	2	1,5	TERW2-2	990	1005	992	1001	914	991	997	949	
3	0 mv		TERW3-0							979		1124

CAREX-WEIDE			Locatie	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	
Loc nr	diepte	positie	Locatie	13-6-2013	12-8-2013	15-11-2013	10-4-2014	10-5-2014	11-6-2014	2-10-2014	14-4-2015	4-9-2015	19-1-2016	24-2-2016	26-9-2016
1	0 mv	midden-west	RAVE1-0	6,3	5		6,9	5,4	5,7	6,2		5,5		5,8	
1	1	0,5	RAVE1-1	5,5	3,5	6,4	5,9	5,3	6,2	6	5,3	5,1	5,5	7,9	4,9
1	2	1,25	RAVE1-2	6	6,3	5,7	5,4	5,7	6,5	6,4				5,7	6,9
2	1	0,5	RAVE2-1	2,3		2	2,1	1,9	2,2	2,8	1,9	1,8	1,4	1,2	1,9
2	2	1,25	RAVE2-2	2,6		3	2,4		2,6	3	2,6	2,6	2	1,8	2,6
2	3	3	RAVE2-3	3,3		5,2	5,7	5,8	6,1	5,5	5,3	5,9	6,2	5,2	5,5
3	1	0,5	RAVE3-1	7,1		6,4	6,3	6,2	6,9	7,3	6	6,5	6,3	5,3	7,3
3	2	1,25	RAVE3-2	5,9		6,8	6,5	6,6	6,5	5,9	6,5	5,8	7,9	6,8	5,6
3	0 bronb	(bij 3)	RAVE3-0	5,2	6,8	5,1	5,6	5,3	5,4	5,8		5,4		4,8	5,4
4	1	0,5	RAVE4-1			6,1	6,2	6,5	5,8	10	4,5	4,2	5	4,4	4
5	0 mv	onder-west	RAVE5-0					8,6		6,0					
5	1	0,5	RAVE5-1			11,2	8,1	6,5	10,9	6,5	7	2,8	7,6		6
				pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
1	0 mv	midden-west	RAVE1-0	7,48	7,56		7,05	7,18	7,29	7,17		7,45		7,46	
1	1	0,5	RAVE1-1	7,19	7,3	7,44	7,34	7,21	7,17	7,31	7,25	7,32	7,21	7,23	7,63
1	2	1,25	RAVE1-2	7,38	7,29	7,7	7,34	7,44	7,22	7,47				7,52	7,31
2	1	0,5	RAVE2-1	6,55		6,53	6,51	6,2	6,37	6,84	6,52	6,28	6,34	6,26	6,59
2	2	1,25	RAVE2-2	6,49		6,95	6,35		6,45	7,07	6,49	6,41	6,72	6,4	6,71
2	3	3	RAVE2-3	6,56		7,31	7,18	6,96	7,03	7,06	7,05	7,05	7,62	7,37	7,08
3	1	0,5	RAVE3-1	6,97		7,17	7,23	6,88	7,08	7,12	6,96	7,07	7,18	7,08	7,18
3	2	1,25	RAVE3-2	6,92		7,46	7,25	7	7,03	7,04	7,05	7,05	7,3	7,2	7,53
3	0 bronb	(bij 3)	RAVE3-0	7,49	7,97	7,74	7,33	7,03	7,08	7,32		7,43		7,84	7,31
4	1	0,5	RAVE4-1			7,32	6,77	6,89	6,91	6,86	7,32	7	7,17	7,03	6,63
5	0 mv	onder-west	RAVE5-0					6,76		7,23					
5	1	0,5	RAVE5-1			6,87	6,95	7,07	6,88	6,98	6,75	6,56	7,18	7,11	
				EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV
1	0 mv	midden-west	RAVE1-0	1118	1167		1068	1125	1234	1177		1127		1244	
1	1	0,5	RAVE1-1	1176	774	1108	1234	1151	1231	1278	1196	1143	1108	879	892
1	2	1,25	RAVE1-2	1172	1271	1172	1227	1158	1283	1199				1214	1256
2	1	0,5	RAVE2-1	584		545	631	579	575	536	471	565	401	460	563
2	2	1,25	RAVE2-2	623		601	614		603	630	672	715	651	608	643
2	3	3	RAVE2-3	1033		1274	1293	1342	1346	1322	1320	1342	1323	1322	1329
3	1	0,5	RAVE3-1	1186		1120	1181	1152	1183	1072	1190	1108	1079	1045	1069
3	2	1,5	RAVE3-2	1107		1190	1183	1190	1173	1131	1145	1149	1153	1137	1104
3	0 bronb	(bij 3)	RAVE3-0	972	1088	915	1058	987	1097	1023		1047		841	1088
4	1	0,5	RAVE4-1			1195	712	817	732	1052	558	607	634	588	561
5	0 mv	onder-west	RAVE5-0					920		1033					
5	1	0,5	RAVE5-1			685	851	726	1002	730	977	703	761	703	

NOORBEEMDEN

Loc nr	diepte	positie	Locatie	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	
				24-2-2016	14-6-2016	26-9-2016	16-2-2017	14-3-2017	
1	1	0,5	boven	NOOR-1-1	5,8	5,8	5,6	4,4	5,6
1	2	1,25		NOOR-1-2	6,3	6,2	6,6	5,6	6,6
1	3	3		NOOR-1-3	5,8	7	6,6	7,7	6,6
2	1	0,5	midden-boven	NOOR-2-1	7,2	10,4	6,0	4,8	6,0
2	2	1,25		NOOR-2-2	8,1	8,2	9,4	7,5	9,4
3	1	0,5	midden-onder	NOOR-3-1	6,8	5,8	4,6	5,8	4,6
3	2	1,25		NOOR-3-2	5,5	5,5	5,5	5,3	5,5
4	1	0,5	onder	NOOR-4-1	6,1	5,1	5,4	5,9	5,4

Loc nr	diepte	positie	Locatie	pH	pH	pH	pH	pH	
				24-2-2016	14-6-2016	26-9-2016	16-2-2017	14-3-2017	
1	1	0,5	boven	NOOR-1-1	6,95	6,9	6,59	6,9	6,81
1	2	1,25		NOOR-1-2	6,72	6,74	6,71	6,72	6,76
1	3	3		NOOR-1-3	6,71	6,75	6,71	7,03	6,88
2	1	0,5	midden-boven	NOOR-2-1	6,73	6,87	7,06	6,79	6,91
2	2	1,25		NOOR-2-2	6,64	6,82	6,7	6,65	6,59
3	1	0,5	midden-onder	NOOR-3-1	6,96	6,89	6,71	6,67	6,66
3	2	1,25		NOOR-3-2	6,88	7,01	7,03	6,95	7,05
4	1	0,5	onder	NOOR-4-1	6,74	6,87	6,84	6,66	6,89

Loc nr	diepte	positie	Locatie	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	
				24-2-2016	14-6-2016	26-9-2016	16-2-2017	14-3-2017	
1	1	0,5	boven	NOOR-1-1	702	594	622	466	553
1	2	1,2		NOOR-1-2	605	606	753	614	597
1	3	3		NOOR-1-3	653	757	753	706	726
2	1	0,5	midden-boven	NOOR-2-1	653	948	703	475	326
2	2	1,25		NOOR-2-2	763	885	876	788	918
3	1	0,5	midden-onder	NOOR-3-1	619	694	636	606	591
3	2	1,25		NOOR-3-2	584	606	592	596	624
4	1	0,5	onder	NOOR-4-1	584	596	569	627	689

WEVERVEEN

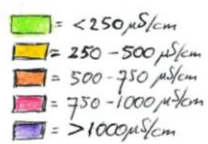
Loc nr	diepte	positie	Locatie	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	HCO3	
				8-9-2015	22-1-2016	17-2-2016	8-4-2016	14-6-2016	26-9-2016	20-2-2017	
1	1	0,5	boven	WEVE-1-1	1,4	1,1	1	1	1,7	1	0,9
2	0	greppel	midden	WEVE-2-0	1,1	0,9	1,2	0,9	1,3	1,2	0,9
2	1	0,5		WEVE-2-1			0,9			1,2	1,5
3	0	mv	onder	WEVE-3-0	1,5	1,1	0,9	1	1,2	1	0,9
3	1	0,5		WEVE-3-1	1	1,2	1	0,8	1,1	2,4	0,9

Loc nr	diepte	positie	Locatie	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	
				8-9-2015	22-1-2016	17-2-2016	8-4-2016	14-6-2016	26-9-2016	20-2-2017	
1	1	0,5	boven	WEVE-1-1	6,13	6,37	6,6	6,23	6,4	5,94	5,77
2	0	greppel	midden	WEVE-2-0		6,36	6,44	6,31	6,29	6,11	6,05
2	1	0,5		WEVE-2-1			6,3			6,27	6,72
3	0	mv	onder	WEVE-3-0	6,41	6,34	6,57	6,29	7,15	6,25	6,28
3	1	0,5		WEVE-3-1	6,16	6,35	6,24	6,23	6,71	7	6,26

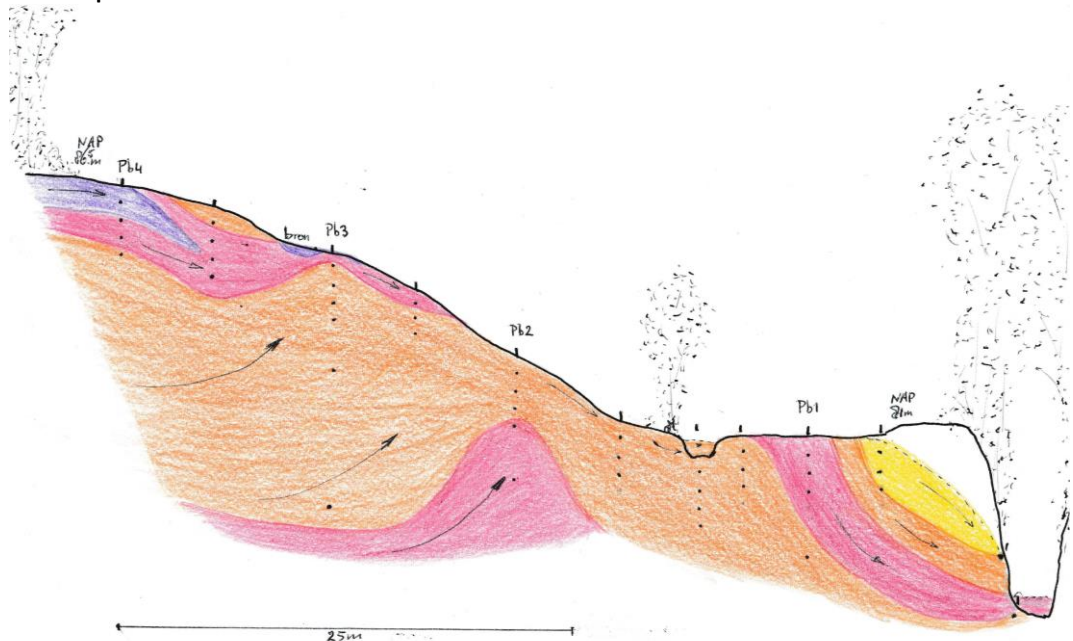
Loc nr	diepte	positie	Locatie	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	EGV	
				8-9-2015	22-1-2016	17-2-2016	8-4-2016	14-6-2016	26-9-2016	20-2-2017	
1	1	0,5	boven	WEVE-1-1	558	554	555	581	563	552	519
2	0	greppel	midden	WEVE-2-0		512	497	508	458	512	507
2	1	0,5		WEVE-2-1				474	438	525	504
3	0	mv	onder	WEVE-3-0	541	506	465	500	447	523	501
3	1	0,5		WEVE-3-1	498	525	496	518	469	491	511

BIJLAGE 15: EGV-profielen van de transecten (2016)

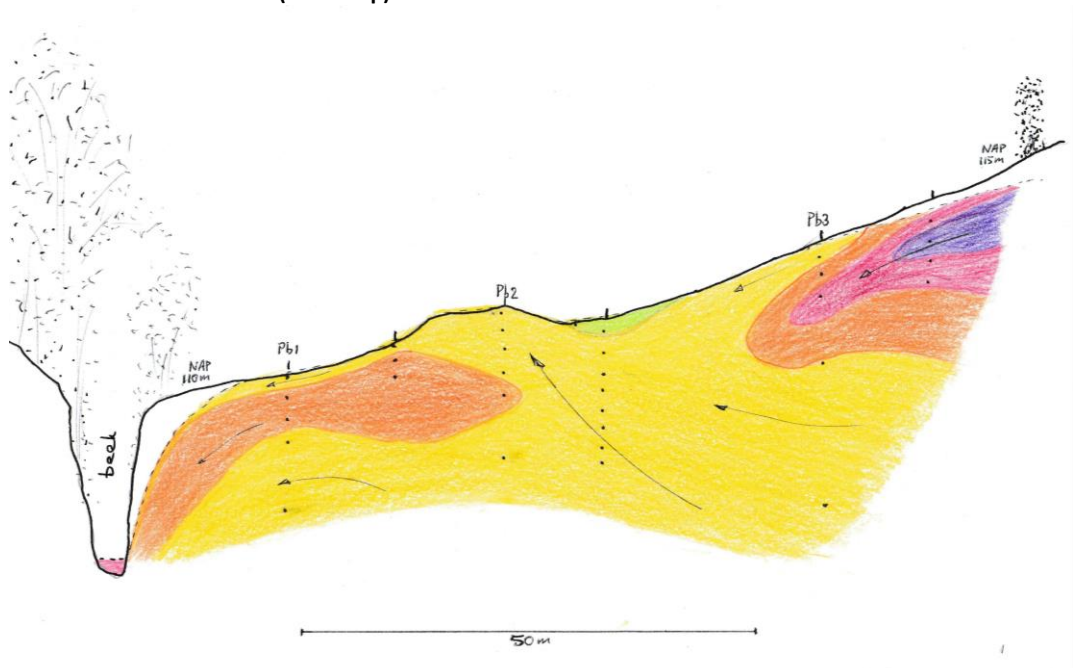
! = meetpunt



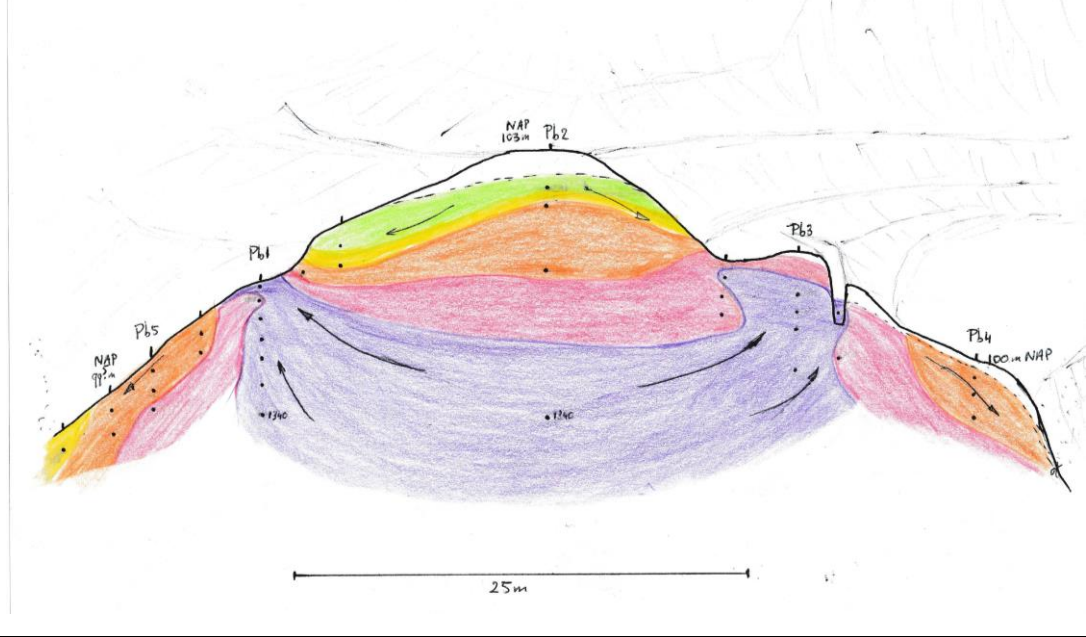
B15.1 Papenbroek



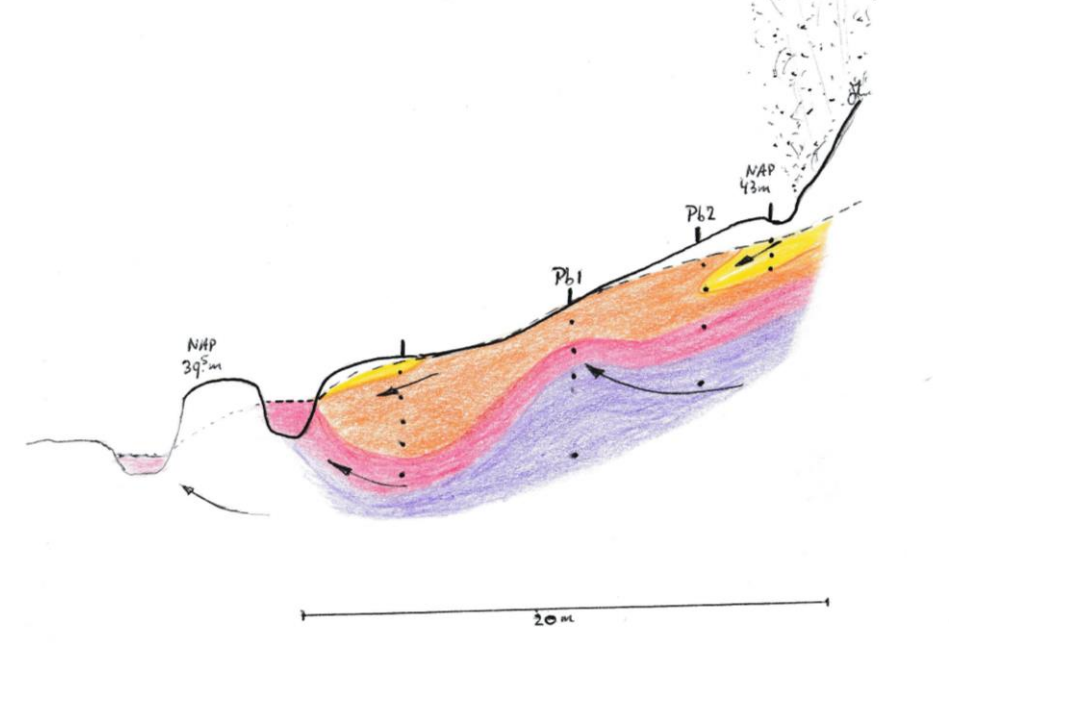
B15.2 Mechelderbeemden (Malleziep)



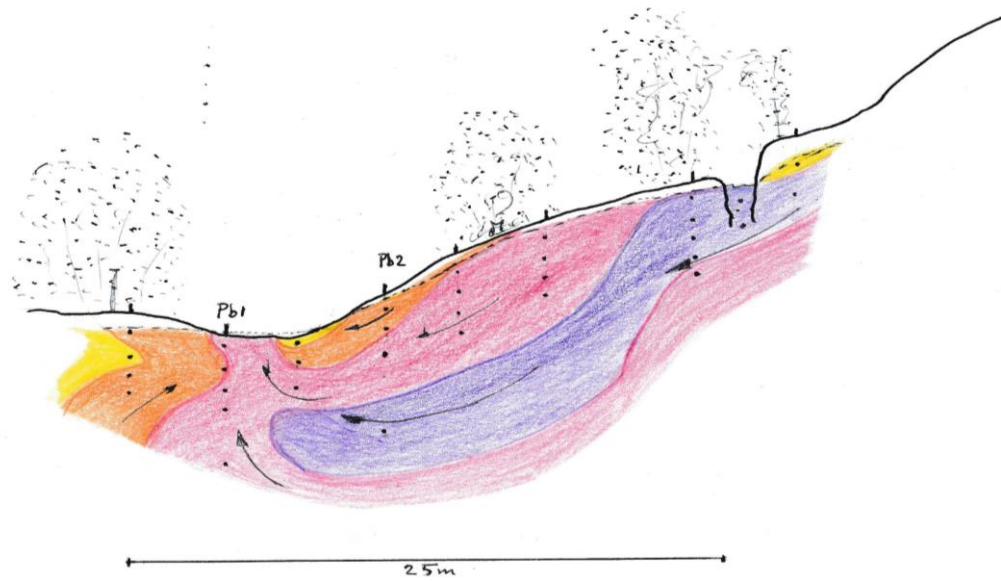
B15.3 Carex-weide (Ravensbos)



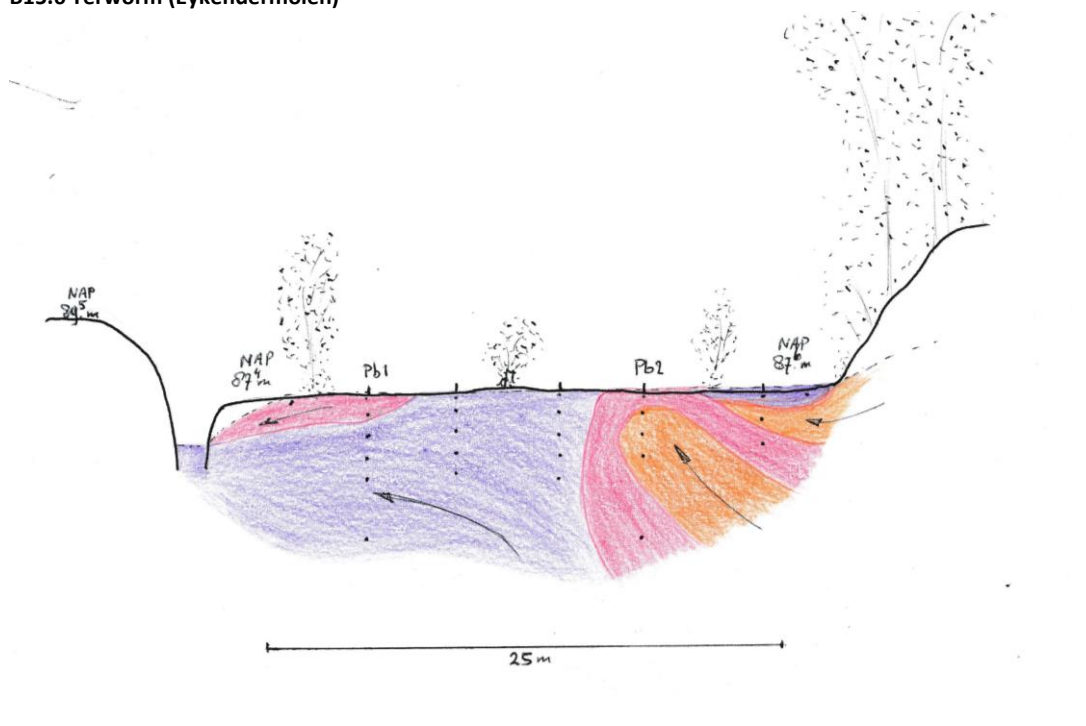
B15.4 Kasteelpark Elsloo



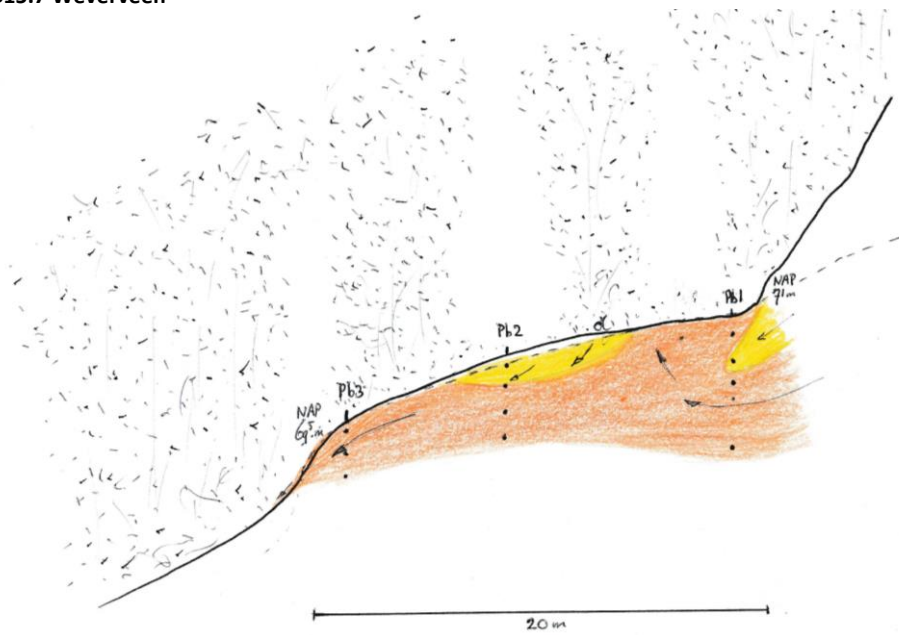
B15.5 Weustenrade



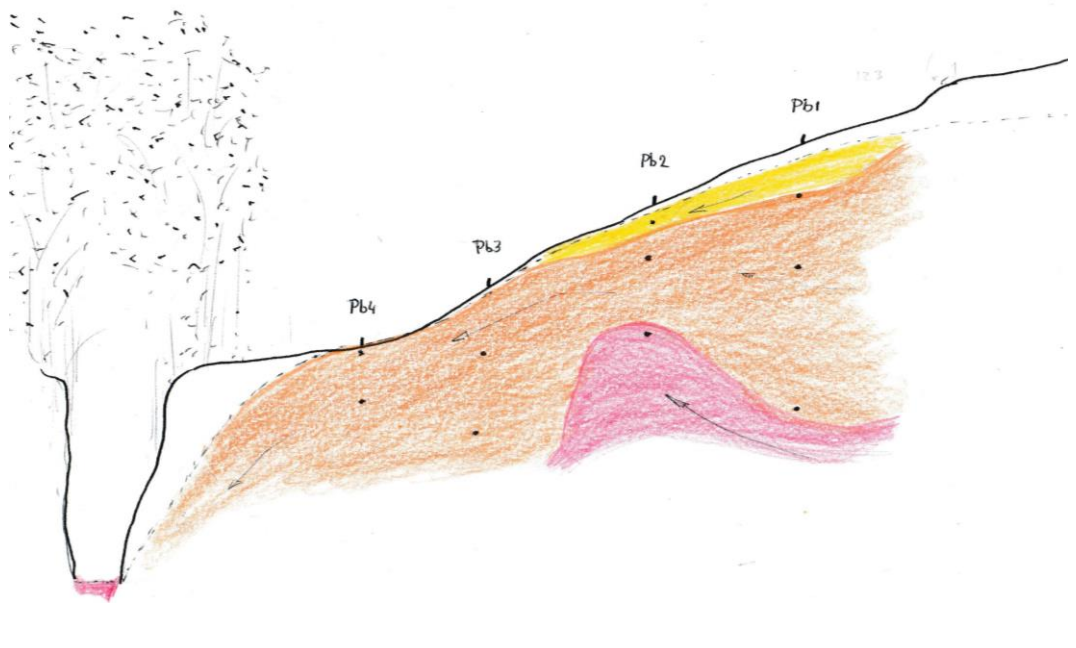
B15.6 Terworm (Eykenmolen)



B15.7 Weverveen



B15.8: Noorbeemden (Onderstraat)



BIJLAGE 16: Waterkwaliteitsgegevens van aanvullende locaties en referentielocaties van het Kalkmoeras

Locatie	land	herkomst data	datum	mp-code	type	code Figuur 5.15	veld			HCO3	
							EGV µS/cm	temp °C	pH		HCO3 mg/l
Kathagen	NI	Bus, 2011	5-4-2011	PB8	Calcareous fen	NL-Ka	630		6,80	308	5049
Kathagen	NI	Bus, 2011	5-4-2011	bron B	Calcareous fen	NL-Ka	570		7,60	235	3852
Kathagen	NI	OGOR-meetnet Prov. L	26-4-2011	KHB02	Calcareous fen	NL-Ka	700		7,10	240	3934
Kathagen	NI	OGOR-meetnet Prov. L	8-11-2011	KHB02	Calcareous fen	NL-Ka	681		7,26	310	5082
Kathagen	NI	OGOR-meetnet Prov. L	13-6-2012	KHB02	Calcareous fen	NL-Ka	694		7,12	270	4426
Kathagen	NI	De Mars et al., 2017b	6-7-2016	Kath04	Calcareous fen	NL-Ka	749	14,1	7,63	293	4800
Peschbenden	NI	De Mars et al., 2012	13-7-2011	Pesch1.1	Calcareous fen / Molinietum	NL-Pe	680	14,3	6,73	172	2820
Curfsgroeve	NI	De Mars unpubl.	21-4-2015	KAM	Petrif. spring with calcareous fen species	NL-Cu	600	10,4	7,2	388	6361
Blankenheim	GE	De Mars et al., 2016	10-3-2016	214-DE-BIN	Petrifying Calcareous fen	DE-BI	567	8,7	7,63	384	6302
Montauban	BE	De Mars et al., 2016	16-3-2016	305-BE-MON	Petrif. spring with Calcareous fen	BE-MO	439	8,8	7,60	256	4201
Lahage	BE	De Mars et al., 2016	18-3-2016	308-BE-LAH	Petrif. spring with calcareous fen species	BE-LA	590	9,7	7,19	336	5502
Hen-Alt Common	UK	Farr et al., 2014	18-1-2014	HaC1	Petrifying Calcareous fen	UK-HC	339	6,6	8,17	189	3097
Cors Erdderiniog	UK	Farr et al., 2014	20-1-2014	CE5.3	Petrifying Calcareous fen	UK-CO	488	7	8,14	262	4295
Badley moor	UK	Boyer & Wheeler, 1989	22-7-1985	BM2	Petrifying Calcareous fen	UK-BM1			7,05	406	6656
Badley moor	UK	Boyer & Wheeler, 1989	22-7-1985	BM1	Petrifying Calcareous fen	UK-BM2			7,26	331	5426
Brezové fen-Strba	Sk	Kemmers et al., 2004		Strba42.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-SB42	550		8,10	336	5508
Brezové fen-Strba	Sk	Kemmers et al., 2004		Strba44.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-SB44	590		7,90	403	6607
Brezové fen-Strba	Sk	Kemmers et al., 2004		Strba46.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-SB46	580		8,00	451	7393
Belianske lúky Meadows	Sk	Kemmers et al., 2004		BelLuM78.2	Petrifying Calcareous fen	Sk-BE	270		7,80	169	2770

GE = Germany; BE= Belgium; UK: United Kingdom, England; Sk = Slovakia; NI= The Netherlands

Vervolg tabel

Location	code Figuur 5.15	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Si	Al	Zn	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Kathagen	NI	NL-Ka	104	14		12,0	1,00	44,0	44,0	23,0	0,1	0				
Kathagen	NI	NL-Ka	97	13		12,0	1,00	27,0	47,0	48,0	0,1	0,1				
Kathagen	NI	NL-Ka	110	15	<0,030	11,0	0,27	21,0	82,0	42,0	<0,13	<0,04		<0,030		
Kathagen	NI	NL-Ka	140	17	<0,050	12,0	0,14	23,0	86,0	17,0	<0,06	<0,04		<0,100		
Kathagen	NI	NL-Ka	120	15	0,43	11,0	<0,5	23,0	79,0	43,0	<0,03	<0,03		<0,010		
Kathagen	NI	NL-Ka	111	14,6	0,03	0,00	15,5	1,45	42,7	72,3	40,5	0,07	0,01	5,32	0,02	0,01
Peschbenden	NI	NL-Pe	88	15	<0,030		32	13	49	111	1,9	1,97	0,2			
Curfsgroeve	NI	NL-Cu	120	15	0,07	0,015	14,0	3,00	5,9	24	<0,1	0,13	<0,03	4,2	2,9	<0,01
Blankenheim	GE	DE-BI	119	6,08	1,16	0,30	4,94	1,21	11,6	39,7	15,0	0,02	0,03	3,18	0,53	0,01
Montauban	BE	BE-MO	90	1,39	0,00	0,00	1,75	0,01	2,2	9,9	3,3	0,01	0,03	3,17	0,01	<0,001
Lahage	BE	BE-LA	121	1,51	0,00	0,00	2,00	0,01	2,7	8,3	20,2	0,02	0,02	3,57	0,00	<0,001
Hen-Alt Common	UK	UK-HC	65	4,31	0,18	<0,10	4,9	1,13	5,5	<10	2,5	<0,26	<0,05			
Cors Erdderiniog	UK	UK-CO	98	3,53	0,67	0,038	9,8	0,85	22,1	17,6	9,2	<0,26	<0,05			
Badley moor	UK	UK-BM1	114	3			3,00		17,0	0,9	0,24	0,08				
Badley moor	UK	UK-BM2	97	4			1,40		47,0	1,1	0,16	0,05				
Brezové fen-Strba	Sk	Sk-SB42	96	29	0,18		16,0	8,00	19,0	117,0						
Brezové fen-Strba	Sk	Sk-SB44	87	27	0,12		16,0	4,00	16,0	128,0						
Brezové fen-Strba	Sk	Sk-SB46	78	34	0,05		17,0	12,00	19,0	6,0						
Belianske lúky Meadows	Sk	Sk-BE	45	8	1,53		4,0	1,00	7,0	7,0						

BIJLAGE 17: Bepaling en inpassing intrekgebieden

B17.1: Debietmetingen

De debietmetingen zijn uitgevoerd met behulp van een mobiel, V-vormig meetschotje, ook wel bekend als Thomson meetschot. V-vormige meetschotten staan er om bekend dat ze een eenvoudige waterstand-afvoer relatie kennen, ook bij lage afvoeren. Daarbij kunnen de metingen met een grote nauwkeurigheid worden uitgevoerd. Bovendien zijn metingen met een V-vormig meetschot in hoge mate reproduceerbaar. Wel moet bij de plaatsing er voor worden gezorgd dat:

- Het meetschot horizontaal staat
- Een vrije val heeft van minimaal 4 cm.
- Metingen tijdens langer aanhoudende droge perioden worden uitgevoerd (> een week).

Nadat de beek zich heeft ingesteld op de aanwezigheid van het meetschot, is op het meetschot de waterstand afgelezen (speciaal venster, met maatbalkje op het mobiele schot), ten opzichte van de onderzijde van de insnijding. Op basis van deze uitlezing kan dan het debiet worden bepaald volgens onderstaande formule:

Formule Thomson meetschot:

Scherpe overlaat met opening met gelijkbenige driehoek van 90 graden.

$$Q (\text{debiet}) = 1.38 * hs^{2.48}$$

hs = uitlezing overstorthoogte (m)

Bron: Cultuurtechnisch vademecum 2000

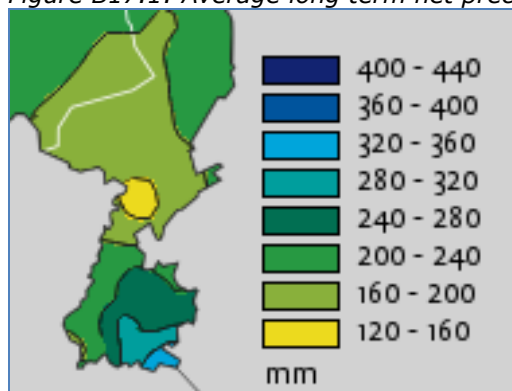
Op basis van de berekende (basis)afvoer (l/s) op de meetpunten valt vervolgens eenvoudig het bijbehorende oppervlak van het daarvoor benodigde intrekgebied te berekenen. De basisafvoer is namelijk een afspiegeling van de effectieve, langjarig gemiddelde grondwateraanvulling in de regio (Tabel B17.1). Deze kan binnen Zuid-Limburg en daarmee in verschillende nader onderzochte gebieden variëren (Figuur B17.1) tussen 200 mm/jr in het westelijke deel van Zuid-Limburg tot meer dan 320 mm/jr in Zuidoost Zuid-Limburg.

Voor het neerslagoverschot voor Kasteelpark Elsloo, Weverveen en de Carex-weide (Ravensbos) is 200 mm/jr aangehouden. Voor de Noorbeemden, Kathagen Beemden en Weustenrade, Terworm en Papenbroek is 240 mm/jr aangehouden terwijl voor Mechelder beemden het neerslagoverschot is geschat op 320 mm/jr.

Figuur B17.1: Gemiddeld langjarig Neerslagoverschot in Zuid Limburg

(bron: <http://www.klimaataatlas.nl/klimaataatlas.php>)

Figure B17.1: Average long term net precipitation surplus in South Limburg



Tabel B17.1: Berekende grondwateraanvulling voor verschillende langjarig gemiddelde neerslagoverschotten

Table B17.1: Calculated groundwater recharge for various levels of the average long term precipitation surplus

Neerslagoverschot	200	240	280	mm/jr.
Aanvulling grondwater	0,063	0,076	0,089	l/ha/sec

B17.2 Ruimtelijke inpassing van het berekende oppervlak

Laatste stap is de ruimtelijke inpassing van het berekende oppervlak van het waterherkomst-gebied per meetpunt of cluster van meetpunten. Om te beginnen op basis van het bekende verhang van wat geohydrologisch gezien de bovenste weerstand biedende (klei)laag is. Het vertrekpunt voor de ruimtelijke begrenzing van de individuele intrekgebieden, vormt in beginsel de begrenzing van de regionale intrekgebieden voor Natura 2000-gebieden. Deze is bekend voor het Bunder- en Elslooërbos (De Mars et al., 2009), Kathager Beemden (Bus 2011; RHDHV, 2014) en de Noorbeemden (o.a. Kessels, 2012). Voor de overige terreinen is een integratie uitgevoerd op basis van:

Regionale isophypsenkaarten van het freatisch grondwater, de algemene geologische scheefstelling van slecht doorlatende lagen zoals die voor de gebieden uit DINO (TNO) kunnen worden ontleend. Voor de desbetreffende gebieden is de scheefstelling ter plaatse bepaald op basis van een lengte- en een dwarsprofiel door het gebied. Waar nodig is voorts nog rekening gehouden met de aanwezigheid van:

- Geohydrologische breukzones.
- Geomorfologische waterscheiding(en).

De individuele intrekgebieden voor de hellingmoerassen, zoals die op grond van meetpunten binnen het gebied zijn af te leiden, dienen 'genest' te liggen binnen de bovengenoemde beschikbare regionale begrenzingen.

Opgemerkt moet worden dat in sommige delen van Zuid-Limburg geologische afzettingen voorkomen waaruit de hellingmoerassen worden gevoed die soms nogal heterogeen qua opbouw kunnen zijn. Daardoor kan dan sprake zijn van preferente stroming van water door het betreffende pakket. Het meest bekende voorbeeld zijn karsten, een grillig, samenhangend stelsel van scheuren en holten in slecht doorlatende kalksteenpakketten (RGD, 1980). Door dergelijke structuren stroomt het grondwater snel en geconcentreerd af. Iets dergelijks doet zich ook voor bij gespleten zandsteenafzettingen die liggen in geschakeld in het verder overigens slecht doorlatende Vaalsergroenzand (Kessels, 2012). Goed doorlatende zandbanen in dat zelfde pakket hebben een vergelijkbaar effect. Het intrekgebied zou dan in dit soort situaties een andere, meer langgerekte vorm kunnen hebben en zich daarmee theoretisch verder bovenstrooms kunnen uitstrekken. Het grootste deel van hellingmoerassen wordt echter gevoed vanuit goed doorlatende grofzandige pakketten, waarbij dit verschijnsel niet snel aan de orde zal zijn.

Gewoonlijk liggen de intrekgebieden in landelijk gebied, met doorgaans weinig verhard oppervlak. Echter, indien een substantieel oppervlak van het intrekgebied onder bebouwd gebied bleek te liggen (Papenbroek, Wijnandsrade), is de grondwateraanvulling daarvoor gecorrigeerd met een factor 0,7. Dit leidt tot een grotere omvang van het desbetreffende intrekgebied.

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.