Tongerense veen

LESA en maatregelenadvies

Bosgroepen

Voorkant: Tongerense Veen op de kaart van De Man (1802-1812) met aan de westkant enclave Tongeren, ten oosten daarvan het Dorpse Veen geflankeerd door de Vlasbeek en Paalbeek, ten oosten de startende ontginning van het Tongerense Veen. Foto: referentie van een doorstroomveen in het New Forest, Engeland.

Colofon

Opdrachtgever:	Geldersch Landschap & Kasteelen
Titel:	Tongerense Veen LESA + maatregelenadvies
Status:	Definitief
Datum:	10 april 2024
Auteurs:	H. Smeenge, A.A.M. Kieskamp & M. Van Os
Projectteam:	H. Smeenge, A.A.M. Kieskamp, M. Van Os, M. Melman, J. Thielemans, S. van der Vlist en D. van Boven
Kaartmateriaal:	Copyright © 2024, Dienst voor het kadaster en openbare registers, Apeldoorn
	Het intellectuele eigendom van deze offerte rust uitsluitend bij de Bosgroep. Niets uit deze offerte mag worden vermenigvuldigd en/of getoond aan derden, zonder voorafgaande toestemming van de Bosgroep.
Projectnummer:	22.30.10111.02

© Coöperatie Bosgroep Midden Nederland u.a., 2024.

Postbus 8135
6710 AC EDE
t (0318) 67 26 26
f (0318) 67 26 27
www.bosgroepen.nl

Inhoud

Inhoud		**3**
1	**Inleiding**	**5**
1.1	Wat is een LESA?	5
1.2	Aanleiding LESA's Emst-Epe	6
1.3	Opbouw van dit rapport	6
2	**Methode**	**7**
2.1	Aarde	7
2.2	Mens	9
2.3	Natuur	10
2.4	Dataverwerking en rapportage	11
3	**Regionaal systeem**	**12**
3.1	Geologie en reliëf	12
3.2	Bodem	16
3.3	Hydrologie	19
3.4	Te verwachten vegetatie	26
3.5	Historische ontwikkelingen	29
3.6	Synthese regionale systeem	33
4	**Resultaten Tongerense Veen**	**35**
4.1	Inleiding en onderzoeksvragen	35
4.2	Historische ontwikkelingen	36
4.3	Geologie en bodem	43
4.4	Hydrologie	53
4.5	Vegetatie en flora	64
4.6	Dwarsdoorsneden	77
4.7	Synthese	86
5	**Potenties en knelpunten**	**89**
5.1	Potenties	89
5.2	Knelpunten	93
6	**Maatregelenadvies**	**97**
6.1	Afwegingskader	97
6.2	Afgraven	97
6.3	Hydrologische maatregelen	99
6.4	Effecten	101
6.5	Aandachtspunten	101
7	**Perspectief lange termijn voor de venen op de oost-Veluwe**	**102**
7.1	Ambities vanuit Natura 2000	102
7.2	Klimaatverandering	102
7.3	De oost-Veluwse venen	103
7.4	Ecosysteemdiensten van de oost-Veluwse venen	104

Literatuur 111

Bijlagen 114

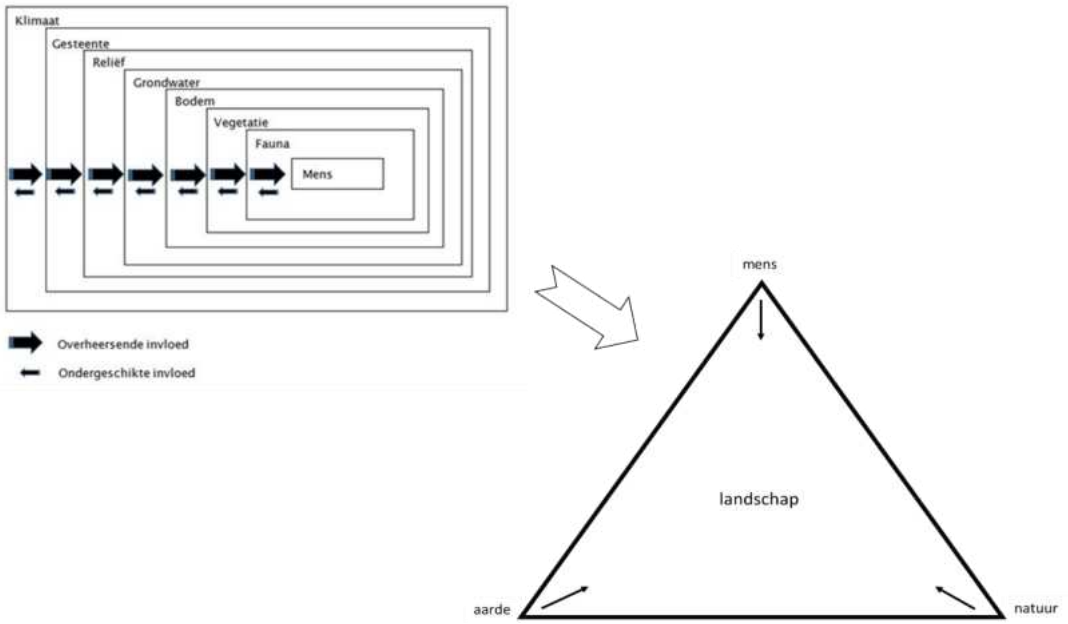
1 Inleiding

1.1 Wat is een LESA?

Onze landschappen hebben een lange geschiedenis achter de rug. Het landschap dat we nu buiten zien, is slechts een bladzijde uit een dik boek met zowel natuurlijke als menselijke processen in de hoofdrol. Nederland is druk bezig met het behouden en verbeteren van de kwaliteit van onze natuur. Hoewel het verleidelijk is om vooruit te kijken, is van belang om ook achterom te kijken. Waar komt het huidige landschap vandaan?

Een Landschapsecologische Systeemanalyse (LESA) is een uitstekend middel om inzicht te krijgen in waar het landschap vandaan komt én wat de perspectieven en potenties zijn voor de toekomst. Door veranderingen in de omgeving, zoals stikstofdepositie, klimaatverandering en daarmee gepaard gaande droogte, overstromingen en piekbuien, zijn er soms immers ingrepen nodig in een gebied om de bijzondere waarden van een gebied te behouden en versterken. Begrip over de totstandkoming van het huidige landschap en de bijbehorende potenties voor de toekomst is dan nodig om passende en duurzame keuzes voor inrichting en beheer te maken.

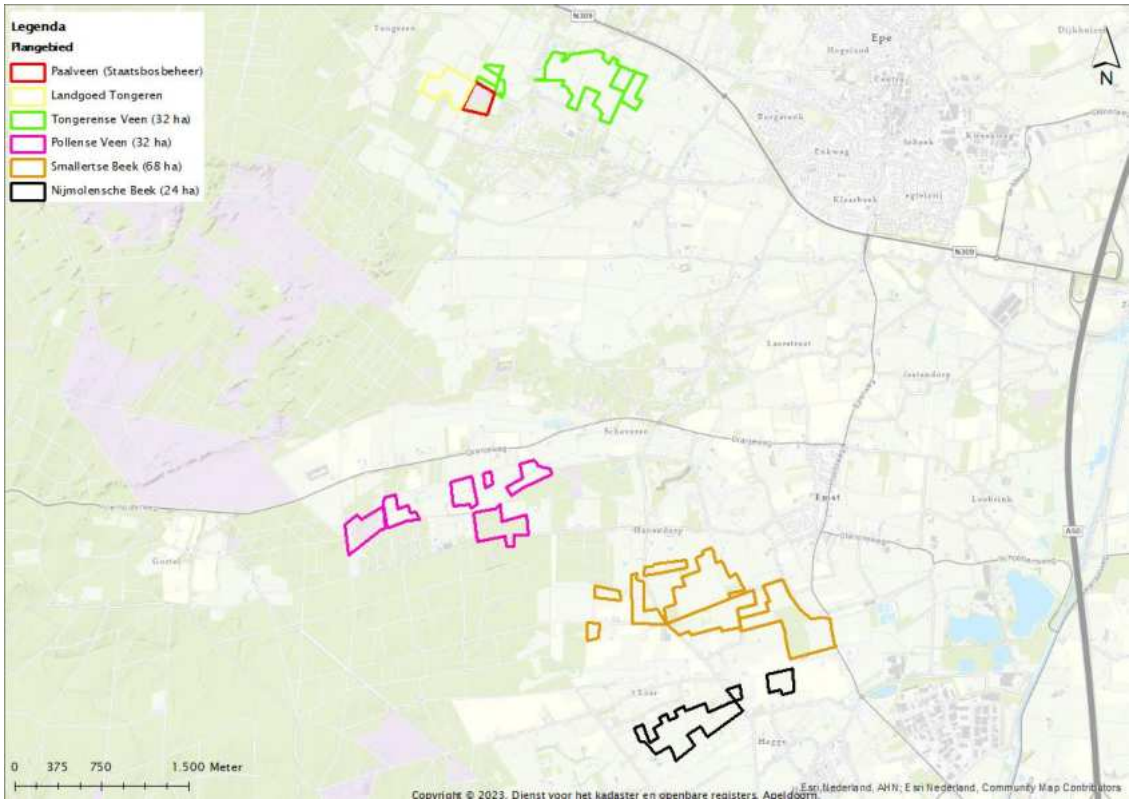
Bij een LESA worden diverse factoren van een landschap en de samenhang daartussen onderzocht. Het model van Bakker et al. (1981) laat de verschillende geofactoren zien. Het landschap is als het ware het resultaat van een wisselwerking tussen de aarde, de mens en de natuur, wat te vatten is als een driehoek. Elk hoekpunt geeft via verschillende vakgebieden aanwijzingen over de landschapsvorming. Afhankelijk van de vraag en achterliggende problematiek zijn kennisvelden uit deze driehoekbenadering nodig.



Figuur 1: Factoren die het landschap vormen (linksboven, Bakker et al., 1981). Het landschap wordt als het ware gevormd door de mens, aarde en natuur, hetgeen te vatten is in een driehoek (Smeenge, 2020).

1.2 Aanleiding LESA's Emst-Epe

Geldersch Landschap & Kasteelen (hierna GLK) is eigenaar van een aantal terreinen op de oostflank van de Veluwe, ten westen van Epe en Emst. GLK wil met een LESA inzichtelijk te krijgen wat de bestaande kwaliteiten en de potenties zijn van deze terreinen. Ten tweede is de vraag wat nodig is om die waarden en potenties te behouden, versterken en verzilveren.



Figuur 2: Ligging van de vier gebieden ten westen van Epe en Emst, op de oostflank van de Veluwe. Bij de LESA voor het Tongerense Veen is ook het Paalveen van Staatsbosbeheer betrokken, en een landbouwperceel van Landgoed Tongeren, om de relatie tussen deze gronden inzichtelijk te krijgen.

1.3 Opbouw van dit rapport

Het rapport bestaat uit twee delen. Nadat de onderzoeksmethode is beschreven in **Hoofdstuk 2**, gaat **hoofdstuk 3** in op het regionale systeem met de vier gebieden Tongerense Veen, Pollense Veen, Smallertse Beek en Nijmolense Beek. Dit hoofdstuk is identiek in de rapportages over de vier gebieden. **Hoofdstuk 4** gaat vervolgens specifiek in op de LESA voor het Tongerense Veen. Op basis daarvan zijn **hoofdstuk 5** de potenties (korte en lange termijn) en de knelpunten voor natuur beschreven. **Hoofdstuk 6** betreft het maatregelenadvies om de potenties tot uiting te laten komen.

2 Methode

De LESA is uitgevoerd vanuit de verschillende 'hoekpunten' aarde, mens en natuur (Figuur 1). Dit hoofdstuk beschrijft hoe de onderzoeken vanuit deze hoekpunten zijn uitgevoerd.

2.1 Aarde

2.1.1 Geologie en bodem

De bodem ontstaat door een wisselwerking tussen geologisch substraat (zoals rivierzand of klei), reliëf, hydrologie (grondwater, inundaties), vegetatie en landgebruik. Informatie over de bodem geeft daarmee inzicht in de oorspronkelijke processen die het landschap hebben gevormd. De verschillende bodems zijn in Nederland geclassificeerd in bodemtypen.[1] Er is een landelijke 1:50.000-bodemkaart, deze is slechts op grote schaal bruikbaar, de daadwerkelijke variatie in een gebied is groter dan deze bodemkaart weergeeft. Ook de bodemkarteringen van 1:10.000 uit 1955 zijn gedetailleerder, maar missen op sommige delen informatie zoals de ligging van moerige of veengronden.

Daarom zijn op representatieve locaties in het gebied grondboringen uitgevoerd. De boringen zijn uitgevoerd langs transecten, zodat de data verwerkt kon worden tot dwarsprofielen. De locaties zijn weergegeven in Figuur 2 waarbij getracht is de variatie in reliëf en bodemtype te vatten. De boringen zijn uitgevoerd in februari en maart 2023 waarbij geboord is tot de waterstand, maximaal tot 2,2 m-mv. De volgende kenmerken zijn beschreven:

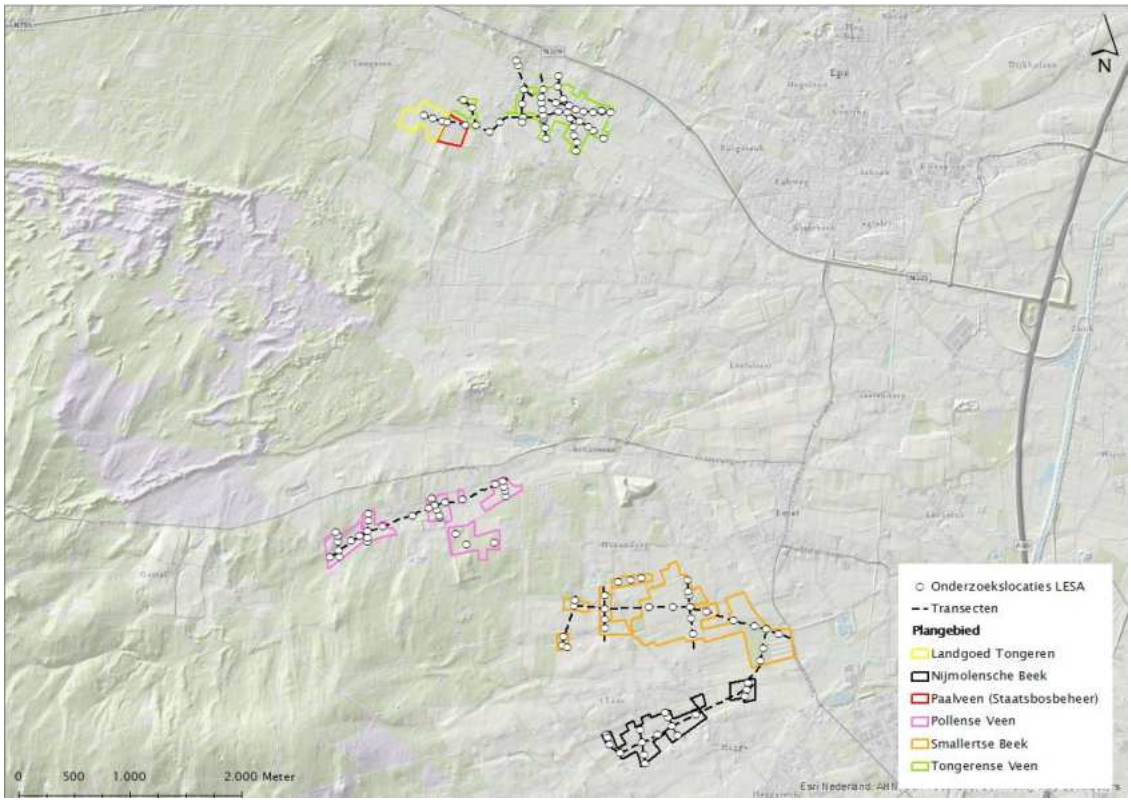
- Bodemtype[2]
- Horizonten en textuurkenmerken[3]
- pH van de bodem op verschillende diepten middels pH-strips
- Aanwezigheid van vrije kalk in de bodem, aangetoond met verdund zoutzuur

In combinatie met geologische gegevens (DINO-loket en ondergrondmodel REGIS II) konden de beschreven lagen later geologisch worden geduid. Zo kon er bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen dekzand met een homogene korrelgrootte en ronde korrels, ten opzichte van ongesorteerde smeltwaterafzettingen. Geologische boringen zijn geraadpleegd om te beoordelen in welke fase deze zanden zijn afgezet. Zo is er bij de vier gebieden deels sprake van gestuwde zanden, maar ook van jongere rivierafzettingen.

[1] De Bakker & Schelling, 1981.

[2] De Bakker & Schelling, 1981.

[3] Ten Cate et al., 1995.



Figuur 3. Onderzoekslocaties langs transecten in de vier gebieden.

Aanvullend op de uitgebreide beschrijvingen langs de transecten, is in de in te richten percelen een ruimtelijke bodemkartering uitgevoerd. Daarmee is de variatie in de bodem in beeld gebracht en daarmee de potenties en maatregelenadvies (bijv. verwijderen opgebrachte grond). De kartering bestaat uit ondiepe boringen (<80 cm) op relatief korte afstand van elkaar, afhankelijk van de variatie in bodemtypen, verstoring en reliëf die zich voordoen in het veld. Het bodemtype, de dikte van de opgebrachte en geploegde grond zijn beschreven, er zijn geen volledige bodembeschrijvingen gemaakt. De boorlocaties zijn weergegeven in het rapport.

2.1.2 Hydrologie

In de boorgaten is einde zomer 2022 (oktober) en einde winter 2023 (februari/maart) de waterstanden gemeten. Dit geeft een beeld van de waterstanden in het gebied na een droge en natte periode. De zomer van 2022 was zeer droog met 151 mm neerslag tegen een langjarig gemiddelde (1991-2020) van 260 mm. In de winter van 2022-2023 viel er relatief veel neerslag, 296 mm, vergeleken met het langjarig gemiddelde van 240 mm.[4]

Ook in de sloten langs de transecten zijn de waterstanden gemeten. Aanvullend zijn peilbuismeetreeksen geraadpleegd uit het DINO-loket om meer inzicht te krijgen in het waterstandsverloop over meerdere jaren. De gegevens zijn geanalyseerd met het programma Menyanthes (KWR).

[4] Neerslaggegevens weerstation Epe, KNMI. De zomer omvat de maanden juni t/m augustus, de winter omvat de maanden december t/m februari.

2.1.3 Waterkwaliteit

Om een beeld te krijgen van de watertypen in het gebied (regen- of juist grondwater) zijn in de boorgaten (grondwater) en sloten in oktober 2022 en februari/maart 2023 ook de pH en het EGV gemeten. Lage pH en EGV-waarden duiden meer op regenwaterinvloed, terwijl hogere waarden duiden op grondwater en/of voedselrijk water. Aanvullend is door onderzoekcentrum B-WARE op een aantal locaties de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater bemonsterd in april 2023. De locaties zijn verdeeld over het gebied. Onder andere de pH, het EGV en concentraties van diverse elementen zijn onderzocht. Voor een volledige beschrijving van de methode, wordt verwezen naar de rapportage van onderzoekcentrum B-WARE, Bijlage 1.

2.1.4 Bodemkwaliteit

De bodemkwaliteit is eveneens door onderzoekcentrum B-WARE geanalyseerd om grip te krijgen op de natuurpotenties, knelpunten en het maatregelenadvies. Deze gegevens vormden samen met de ruimtelijke bodemkartering (zie onderaan 2.1.1) de basis voor het maatregelenadvies. Globaal is op vier dieptes bemonsterd, namelijk de toplaag (0-20 cm-mv), 20-30, 30-40 en 40-50 cm-mv. De exacte bemonsteringsdieptes werden afgestemd op de bodemhorizonten. Wanneer er sprake was van opgebrachte grond is tot minimaal het oude maaiveld bemonsterd. Van de bodemmonsters zijn onder andere het voor planten beschikbare fosfaatgehalte (Olsen-P) bepaald, de pH en diverse vrij beschikbare en totale hoeveelheid elementen. Voor een volledige beschrijving van de methode, wordt verwezen naar de rapportage van onderzoekcentrum B-WARE, Bijlage 1.

2.2 Mens

De LESA bevat een korte beschrijving van cultuurhistorische elementen en ontwikkelingen in het plangebied. Uitgebreidere beschrijvingen zijn te vinden in onder andere:

- Landschapsbiografie van de Veluwe[5]
- Cultuurhistorische kansenkaart Wisselse Poort[6]
- Archeologisch, landschappelijk en historisch-geografisch onderzoek onderzoekgebied Groot Soerel[7]

Naast deze literatuur is een aantal kaarten geraadpleegd om een beeld te krijgen van de ontwikkelingen in het landschap en het landgebruik:

- 1570 van Sgrooten[8]
- Prekadastrale kaart met landgebruik en belastingwaarde via HISGIS[9]
- Historische kaarten van de Beeldbank van het Geldersch Archief
- 1827-1830 van De Man uit het archief van Wageningen University & Research
- Diverse kaarten van 1815 tot heden via webapplicatie Topotijdreis
- Oorspronkelijk Aanwijzende Tafels (OAT) via het archief van Wageningen University & Research
- Website van de Bekenstichting (bekenatlas)

---

[5] Neefjes, 2018.

[6] Vista landschapsarchitectuur en stedenbouw i.s.m. Lantschap, 2011.

[7] Willemse et al., 2009.

[8] Kaart van de Veluwe 1570, Christiaan Sgrooten. Bron: Koninklijke Bibliotheek Brussel, geraadpleegd via https://www.elspeethistorie.nl/luchtfotos/topografische-kaarten/veluwe-1570

[9] https://hisgis.nl/kaartviewer/gelderland

2.3 Natuur

2.3.1 Vegetatie en flora

Voorbereiding

Voor de flora zijn per gebied alle waarnemingen van plantensoorten van de laatste 10 jaar uit de NDFF gehaald. Daaruit is per gebied een karteersoortenlijst met doel- en storingssoorten samengesteld. Deze bevat alle zeldzame soorten en Rode Lijstsoorten en de soorten die indicatief zijn voor milieuomstandigheden als vocht, voedselrijkdom, zuurgraad, kwel, verstoring en verrijking. Per karteersoort is de indicatie aangegeven.

Ook is per gebied een vergelijking gemaakt met de soorten in de NDFF die langer dan 10 jaar geleden zijn waargenomen. Hieruit volgt een lijst van "verdwenen" soorten per gebied. Met als kanttekening dat het niet zeker is dat deze soorten werkelijk verdwenen zijn; het kan ook zijn dat er sindsdien niet (goed) is gekeken of dat de soort over het hoofd is gezien.

Voor de aanwezige vegetatietypen zijn de door GLK aangeleverde gegevens uit de SNL monitoring bekeken. Er bleken nog weinig gegevens bekend te zijn. De gebieden bevatten veel natuurbeheertypen waarvoor in de SNL monitoring geen vegetatiekartering wordt uitgevoerd. De gegevens die wel aanwezig waren zijn gebruikt bij de toekenning van de vegetatietypen tijdens het veldwerk.

Ook is de Landelijke vegetatiedatabank geraadpleegd om te zien welke vegetatieopnamen van het gebied bekend zijn en welke vegetatietypen hieraan zijn toegekend. Dit geeft weliswaar een onvolledig beeld, maar geeft wel enige indicatie van aanwezige vegetatietypen. Ook dit is, voor zover van toepassing, gebruikt bij de toekenning van de vegetatietypen tijdens het veldwerk.

Verder is een module aangemaakt om in Fieldmaps in het terrein de gegevens van de vegetatie en de flora te kunnen opnemen.

Veldwerk

Langs de transecten zijn in mei/juni 2023 de vegetatietypen gekarteerd. Daarbij is een breedte van 2,5 m aan weerszijden van het transect aangehouden. Waar het vegetatietype veranderde, werd een nieuw traject gestart. Een traject bestaat dus uit één vegetatietype (met aan de randen vaak smalle zones met andere typen of overgangstypen). Per vegetatietraject is het vegetatietype benoemd volgens de indeling van de Revisie Vegetatie van Nederland (een inschatting op basis van expert judgement). Ook is per traject een korte karakteristiek gegeven met kenmerken als structuur, openheid, kruidenrijkdom, meest voorkomende soorten en bijzondere soorten.

Langs de transecten waar de boringen zijn uitgevoerd zijn puntwaarnemingen vastgelegd van de locaties van indicatorsoorten (voor o.a. kwel, voedselrijkdom). Voor soorten die veel voorkomen is om de 25 meter een punt gezet. Soorten die net buiten de 2,5 meter breedte aan weerszijden van de raai werden aangetroffen zijn wel ingevoerd, evenals soorten op andere interessante plekken in het gebied (bijvoorbeeld in kwelsloten of plekken met natte bossen buiten de transecten). Dergelijke plekken zijn gericht bezocht op basis van informatie uit de NDFF of waarneming van bijzondere plekken tijdens de overige

veldbezoeken. Per soort is het voorkomen vastgelegd volgens de Floron-aantalscode. Tijdens het veldwerk zijn soms nog enkele karteersoorten toegevoegd die relevant bleken.

Uitwerking
De vegetatietypen zijn op kaart weergegeven en in de dwarsdoorsnedes met de boringen geplaatst. Met behulp daarvan zijn patronen in het voorkomen van de typen en relaties met de abiotiek benoemd. De vegetatietypen zijn beschreven met behulp van de korte karakteristiek per vegetatietraject en er is een oordeel gegeven over de kwaliteit, de volledigheid en in hoeverre ze voldoen aan de te verwachten typen voor dit gebied.

De gekarteerde soorten zijn op kaart weergegeven, samen met de waarnemingen van diezelfde soorten uit de NDFF. Er is een kaart gemaakt per type indicatie, zoals vochtig, voedselarm, kwel en verstoring. Per gebied kunnen andere typen indicaties relevant zijn. Patronen in het voorkomen van de soorten en relaties met de abiotiek zijn benoemd.

Voor de langer dan tien jaar geleden verdwenen soorten is bepaald wat deze indiceren en of hiermee een mogelijke ontwikkeling zichtbaar is.

2.3.2 Fauna

Op fauna is niet gericht geïnventariseerd. Toevallige waarnemingen van relevante fauna zijn wel opgenomen evenals relevante informatie (zoals over beekprik in de Nijmolense en Smallertse Beek). Aangegeven is in hoeverre deze informatie ondersteunend is voor de conclusies of juist aanleiding geeft voor een aanscherping hiervan.

2.4 Dataverwerking en rapportage

De onderzoeksdata zijn uitgewerkt tot kaarten met ArcMap (ESRI). Van de data langs transecten zijn dwarsprofielen uitgewerkt waarvoor de bodembeschrijvingen zijn vereenvoudigd tot een aantal relevante eenheden (zoals zand, leem, veen). Maaiveldprofielen zijn afgeleid van het AHN3. De dwarsprofielen geven inzicht in de wisselwerking tussen geologisch substraat, bodem, water en vegetatie.

Op basis van de verschillende onderzoeken is een LESA opgesteld waarbij zowel naar het regionale systeem met de vier gebieden is gekeken, als specifiek naar elk gebied. De verschillende geofactoren zijn uitgewerkt, uitmondend in een synthese: hoe functioneert het gebied van nature, wat zijn de veranderingen geweest, welke potenties en knelpunten spelen er?

Vervolgens is een inrichtingsadvies opgesteld gebaseerd op de potenties van het gebied op basis van de LESA en de knelpunten die er spelen.

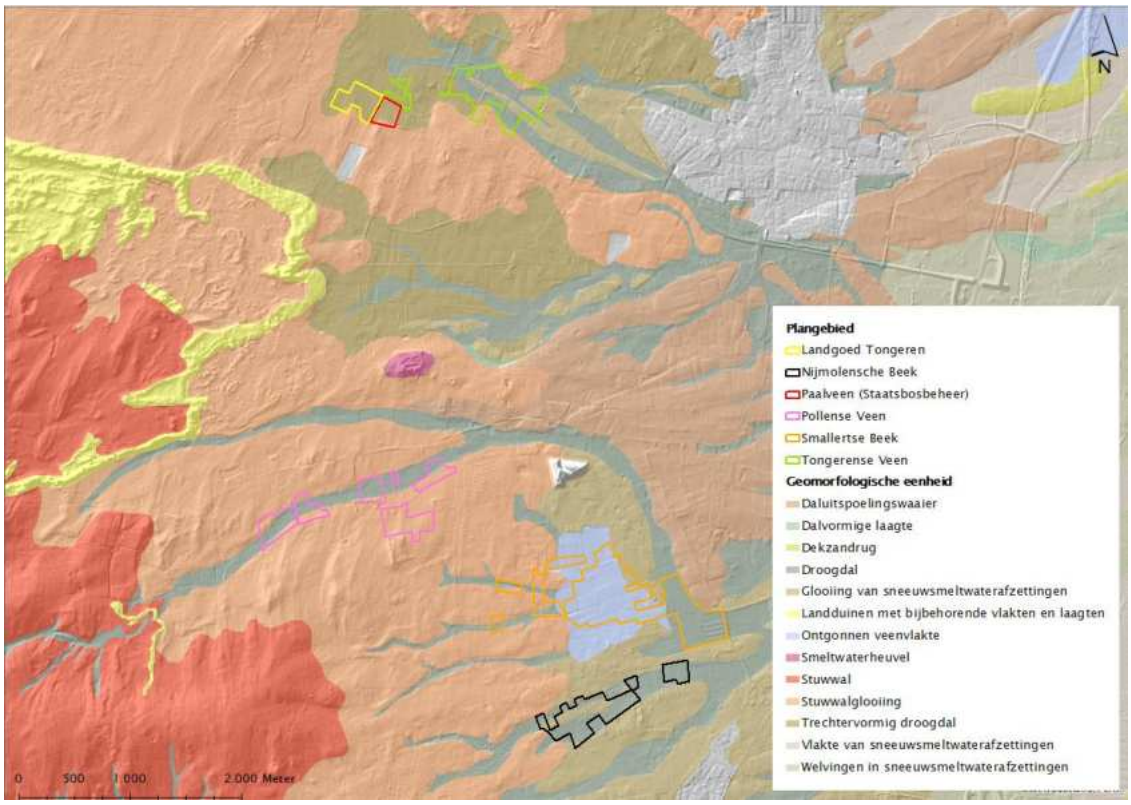
3 Regionaal systeem

3.1 Geologie en reliëf

3.1.1 Smeltwaterdalen

De deelgebieden Tongerense veen, Pollense Veen, Smallertse Beek en Nijmolense beek liggen op de oostflank van de Veluwe, in smeltwaterdalen die in de laatste ijstijd, het Weichselien, zijn ontstaan (circa 116.000-12.000 jaar geleden) (Figuur 4).

De afwisseling tussen zeer koude en warme fases in het Weichselien, leidde tot hellingafspoelingen en dalvorming op de stuwwallen door smeltwaterprocessen. Hoewel de meeste dalen west-oost liggen, buigt die vanuit het dal van de Smallertse Beek benedenstrooms van het Pollense Veen af naar het zuiden. Dat komt doordat Emst op een daluitspoelingswaaier ligt, die even daarvoor is ontstaan in dezelfde ijstijd. Deze puinwaaier werkt samen met andere smeltwaterruggen vertragend op de afvoer van water door de droogdalen die als het ware worden omklemd door de daluitspoelingswaaier (Figuur 4).

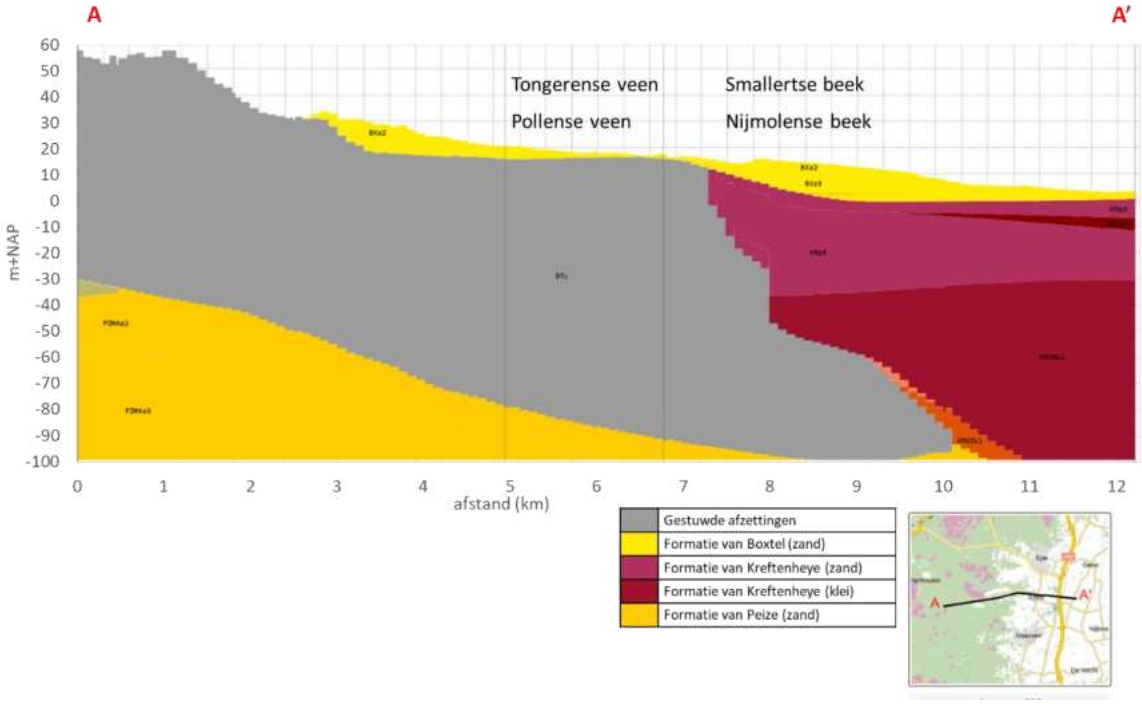


Figuur 4. De vier gebieden liggen vrijwel geheel in de lange, smalle smeltwaterdalen (grijs) op de oostflank van de Veluwe.

3.1.2 Stuwwal versus tongbekken

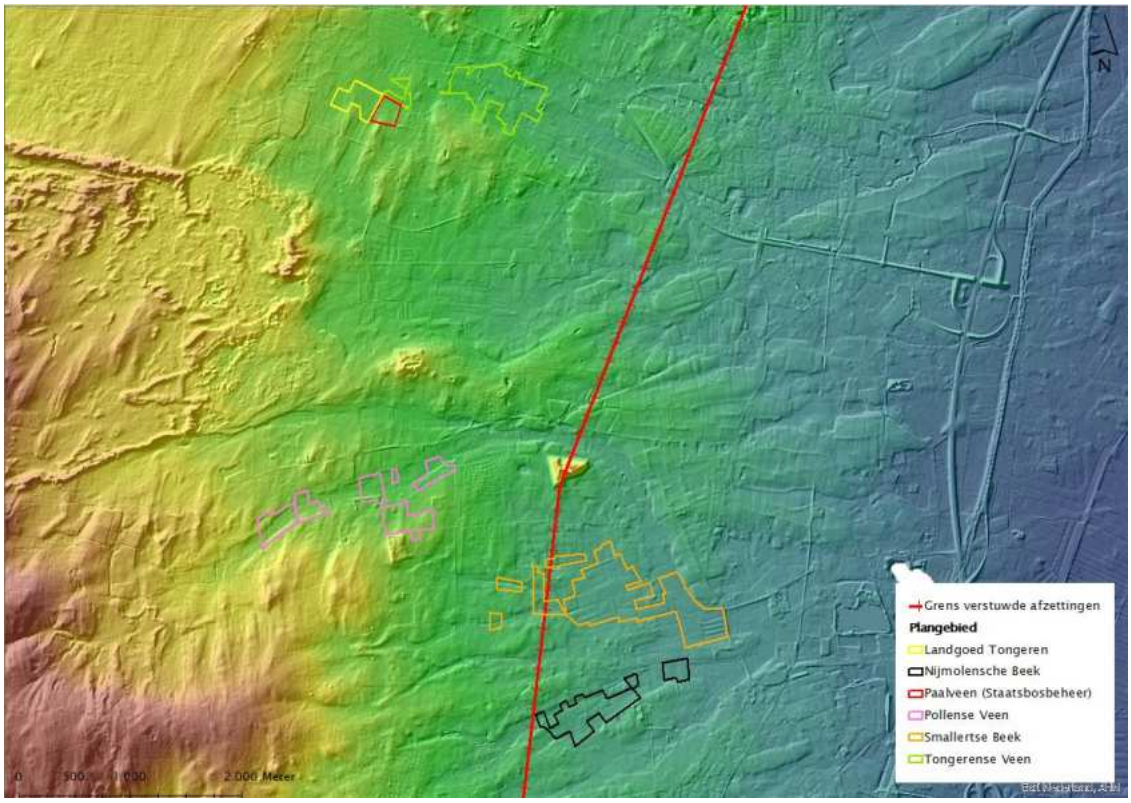
De vier gebieden liggen op verschillende posities op de Veluweflank. De meest westelijke gebieden, het Tongerense Veen en Pollense Veen, liggen op gestuwde oude rivierafzettingen uit de voorlaatste ijstijd, het Saalien (238.000-126.000 jaar geleden) (grijs in Figuur 5). De gebieden Nijmolense Beek en Smallertse Beek liggen niet op de stuwwal maar in het diep uitgesleten tongbekken dat is net als de stuwwal is ontstaan in het Saalien. Na het Saalien is dit bekken opgevuld met zeer kalkrijke smeltwatermeerafzettingen uit het Rijnsysteem (formatie van Kreftenheye). Vooral tijdens het warmere Eemien (126.000-116.000 jaar geleden) zijn kleilagen afgezet en vond ook veenvorming plaats. In de diverse geologische boringen zijn de Kreftenheye-afzettingen ook in de omgeving van Epe en Vaassen in de ondergrond aanwezig. De grens tussen verstuwde afzettingen en Kreftenheye-afzettingen ligt op basis van deze geologische gegevens net ten westen van Epe en Vaassen (Figuur 6).[10]

Tijdens het Weichselien (116.000-12.000 jaar geleden) heeft zich een afwisseling van permafrost en de opdooi daarvan plaatsgevonden. Dit leidde ertoe dat zich bovenop de kalkrijke rivierafzettingen een dik pakket van grind, zand en löss- en siltlagen is afgezet (behorend tot de formatie van Boxtel).



Figuur 5. Geologische dwarsdoorsnede van de Veluwe richting het oosten, met de positionering van de deelgebieden. REGIS II, TNO-DINO-loket, bewerking.

[10] Diepe boringen uit www.dinoloket.nl



Figuur 6. Geologische grens tussen verstuwde (links) en dalopvullingsafzettingen met Rijnmateriaal gevolgd door smeltwater- en windafzettingen (rechts).

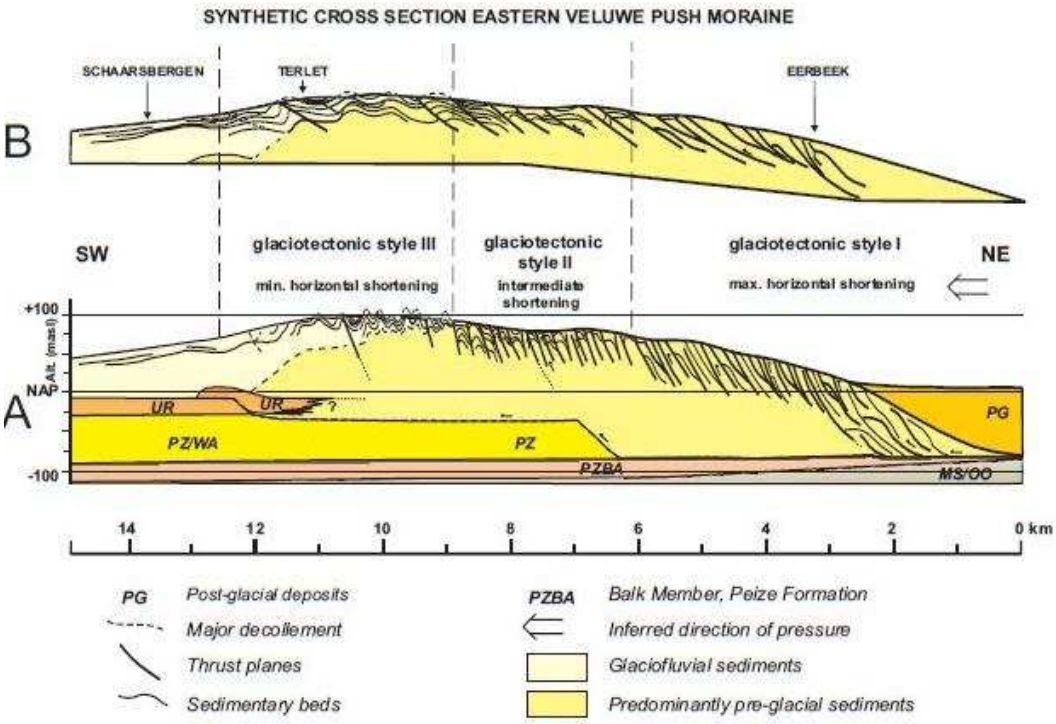
3.1.3 Kleischotten

Op de stuwwal zijn noord-zuid-georiënteerde ribbelstructuren te zien (Figuur 6). Deze zijn ontstaan door verstuwing van verschillende grondlagen door het landijs in het Saalien (Figuur 7). Op basis van de geologische grens tussen gestuwde en niet gestuwde afzettingen zijn alleen in de omgeving van het Paalveen, Tongerense veen en Pollense Veen scheefgestelde lagen te verwachten (style I in Figuur 7). De structuren worden in diverse literatuur geassocieerd met de ligging van kleilagen, ook wel kleischotten genoemd. Een 'kleischot' klinkt wellicht als een massief kleipakket, terwijl het in de praktijk kan gaan om dunne banden zoals aangetroffen in een slootttalud bij het Wisselse Veen (Figuur 8) en met geofysisch onderzoek bij de Motketel (Apeldoorn).[11] De noord-zuid-georiënteerde ruggen bevatten ook niet per definitie kleischotten: ze kunnen ook bestaan uit zwaarder materiaal (grof zand en grind) wat maar beperkt onderhevig is aan erosie, waardoor het materiaal nu als rug in het landschap te zien is.[12] In elk geval leiden de gestuwde kleilagen tot plaatselijk grote waterstandsverschillen, zoals aangetoond in eerdere studies op basis van peilbuizen op de oost-Veluwe.[13]

[11] LESA Motketel (Kroondomein het Loo), Bosgroepen in voorbereiding.

[12] Mondelinge mededeling J. Candel & V. Bense (WUR) en geofysisch onderzoek in de Motketel bij Apeldoorn (Bosgroepen in voorbereiding).

[13] Van Engelenburg et al., 2012; Tijdeman et al., 2023.



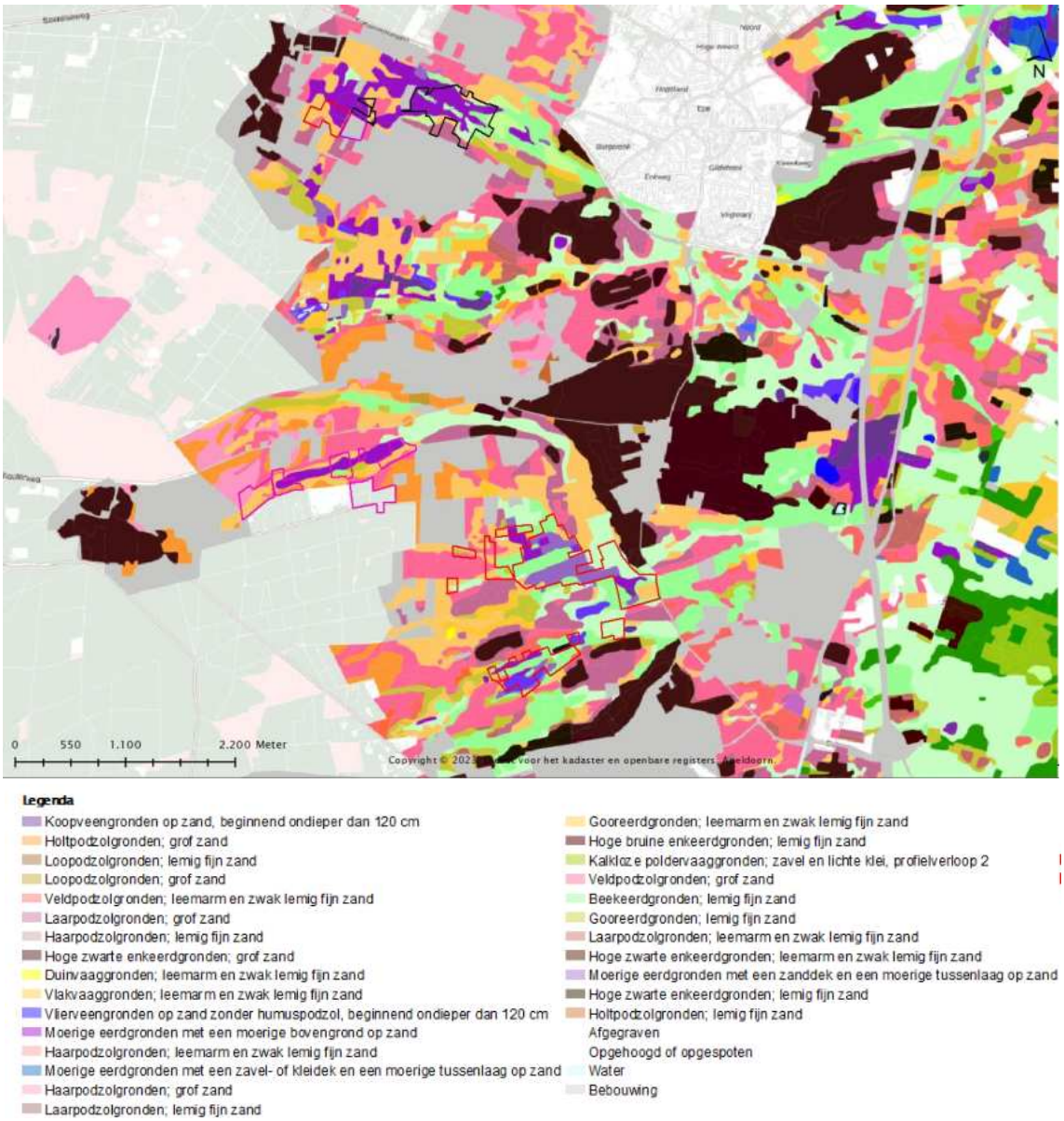
Figuur 7. vorming van plooien (style III, vervolgens scheefstelling (style I) en bedekking (style II) tijdens verstuwing vanuit oostelijke richting. Alleen in het Paalveen, Tongerense veen en Pollense veen komen deze glaciotectonische verstuwingen voor. In dit onderzoek zijn siltlagen

Figuur 8. Subtiele siltbanden (kleischotten genoemd) die leiden tot stijghoogteverschillen van grondwater. Links gefotografeerd in een ontwateringssloot op landgoed Tongeren, rechts op Oud Groevenbeek (Ermelo). De gleyverschijnselen markeren de invloed van ijzerhoudend grondwater. Foto's: Karel Hanhart, Eelerwoude.

3.2 Bodem

3.2.1 Bodemtypen

De landelijke bodemkaart geeft een beeld van de bodem ter hoogte van de plangebieden in de huidige tijd. Voor deze gebieden is een 1:10.000 bodemkaart aanwezig die op lokaal niveau meer inzicht geeft in plekken waar historisch gezien infiltratie, het uittreden van grondwater of stagnatie van water heeft plaatsgevonden. De kaart toont nog veengronden (blauwe zones) in de Nijmolense Beek, de overige gebieden bevatten geen veen meer maar moerige eerdgronden (paarse zones), deze hebben een veenpakket dunner dan 40 cm waarschijnlijk als gevolg van ontvening en ontwatering. De resultaten van het veldonderzoek in het kader van de LESA's van de vier gebieden bevestigt dit beeld.



Figuur 9. De bodemkaart, schaal 1:10.000 toont een grillig beeld van droge (roze, oranje en bruine) en natte gebieden (groene, paarse en blauwe).

De infiltratiezones (roze en oranje zones) zijn podzolgronden of enkeerdgronden (oude bouwlandcomplexen met een plaggendek) en bevinden zich in gebieden met een neergaande waterbeweging. De groene terreindelen zijn zogenaamde beekeerdgronden, gevormd onder invloed van ijzerhoudend grondwater. Door droogval in de zomer komt hier geen veen of een moerige bovengrond voor.

In de niet gestuwde zone wat verdere oostelijk vormt het reliëf van dalspoelingswaaiers en glooiingen van smeltwaterafzettingen blokkades in smeltwaterdalen. Hierdoor zijn als het ware semi-geïsoleerde laagten ontstaan waar het grondwater moeilijk uit weg kon stromen en veenmoerassen ontstonden.

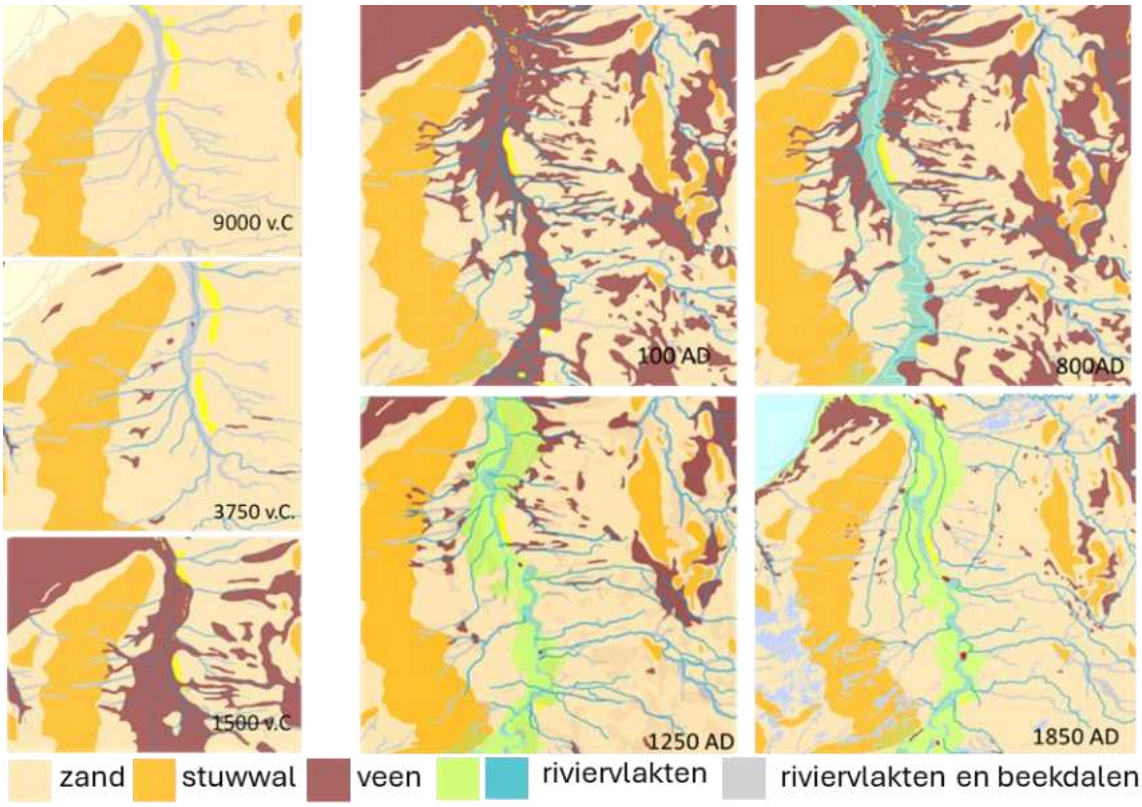
3.2.2 Veenvorming op de Oost-Veluwe

De ouderdom van veen in het Nederlandse landschap is door Vos (2015) bepaald op basis van beschikbare koolstofdateringen. Figuur 10 toont deze (paleografische) kaarten voor verschillende tijdsperioden op de Veluwe en het IJsseldal. Op de Noord-Veluwe zijn op de kaart van 9000 v.C. de smeltwaterdalen te zien waarin in de huidige tijd de gebieden van GLK liggen. Door opwarming en stijging van de waterstanden, begonnen zich venen te vormen, die vanaf 3750 v.C. op de paleografische kaart verschijnen. De venen breiden zich in de loop der jaren uit. Vanaf 800 n.C. ontstaat de IJssel die het veen bij de rivier bedekt met klei. In de tijd die volgt neemt het veenareaal af als gevolg van ontvening door de mens en verdroging (Figuur 10).

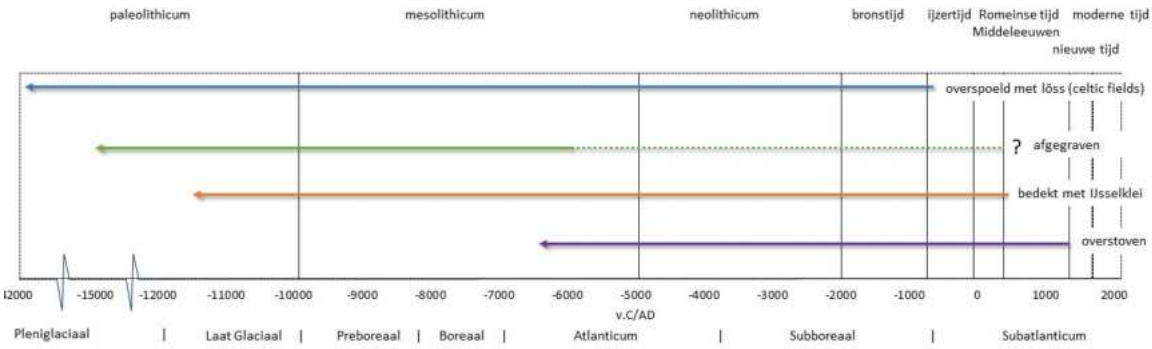
In het kader van de LESA's Nijmolense en Smallertse Beek is in beide gebieden op een locatie de basis van het veen bemonsterd en gedateerd. De veenvorming blijkt op basis daarvan al (veel) eerder op gang te zijn gekomen: 15.000 tot zelfs 42.000 jaar geleden, in het Pleniglaciaal. Ook van de nabije gebieden Wisselse Veen en Gulbroek is bekend dat de veenvorming eerder op gang kwam (Figuur 11).[14] Op dezelfde vier plekken zijn ook de toplagen van het veen bemonsterd. In het Gulbroek en het Wisselse Veen is het veen bedekt met respectievelijk IJsselklei en stuifzand.

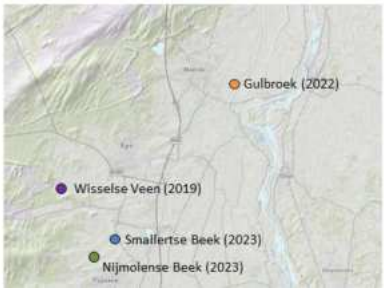
Bij de Nijmolense en Smallertse Beek is de toplaag van het intacte veen 751-411 v. Chr., een datering uit de midden ijzertijd. Hierboven is een laag colluvium van verspoelde löss aanwezig. Er zijn sterke aanwijzingen dat dit verspoelde materiaal afkomstig is vanaf de grootschalige ontbossingen die toen plaatsvonden door de aanleg van Celtic Fields. Bovenop het colluvium is een bandering van niet te dateren organische afzetting met löss. Het is aannemelijk dat de toplaag is ontgraven door de latere plaggenwinning/steken van turf/verdroging door ontwatering.

[14] Jansen et al, 2019; Kieskamp et al., 2022.



Figuur 10. Ontwikkeling van bodem van de Veluwe en in het IJsseldal vanaf 9000 v.C. tot 1850 AD. Volgens deze kaarten begint de veenvorming in de smeltwatergeulen pas rond 3750 v.C. (bron: Vos, 2015, geraadpleegd via rce.webgispublisher.nl/Viewer.aspx?map=Paleogeografischekaarten).





Figuur 11. Ouderdom veenontwikkeling op vier locaties op de Oost-Veluwe. Het veen in het Gulbroek, Nijmolense en Smallertse Beek blijkt al van voor het Holoceen te dateren, waarbij met name de ouderdom van het veen in de Smallertse Beek opvalt (42.000 jaar oud). De koolstofdateringen zijn uitgevoerd in het kader van voorliggende LESA's en eerder onderzoek van de Bosgroepen).

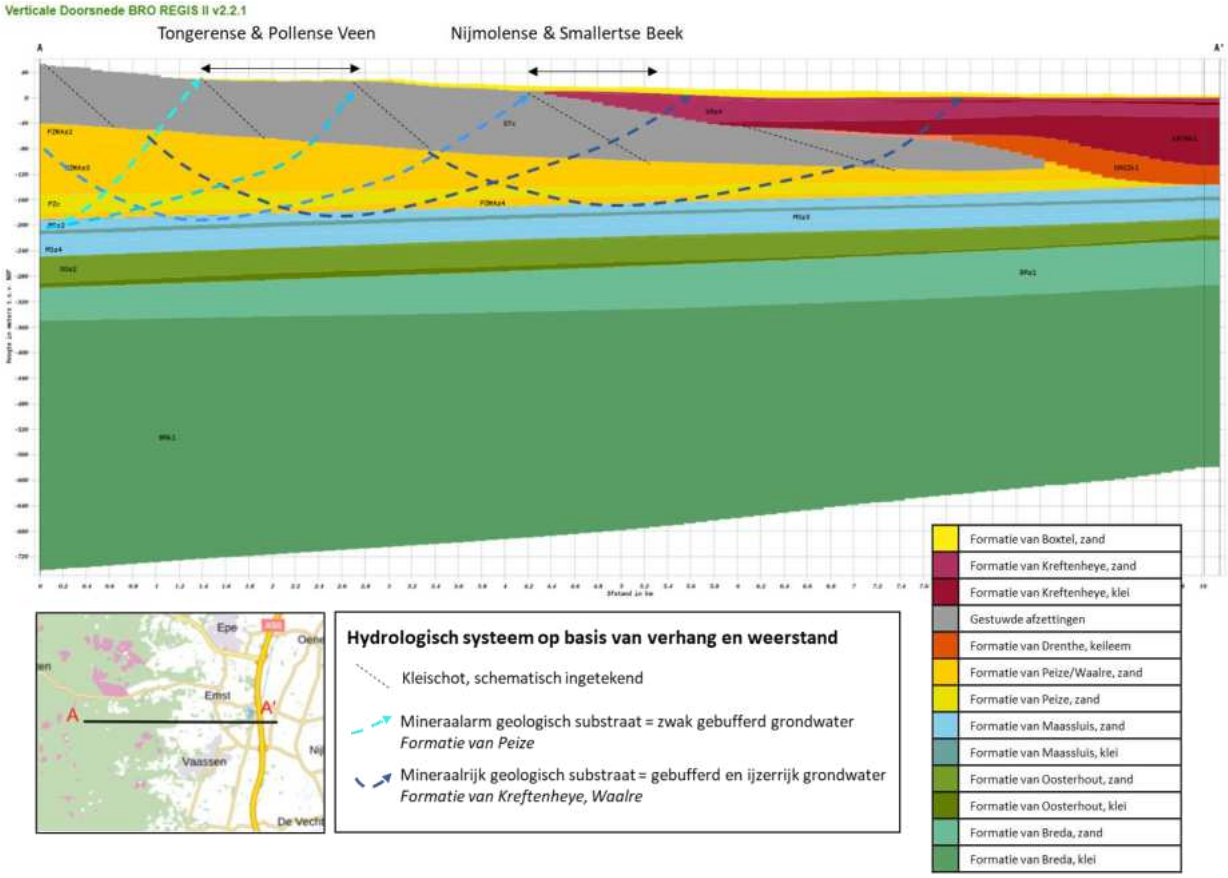
3.3 Hydrologie

3.3.1 Regionaal hydrologisch systeem

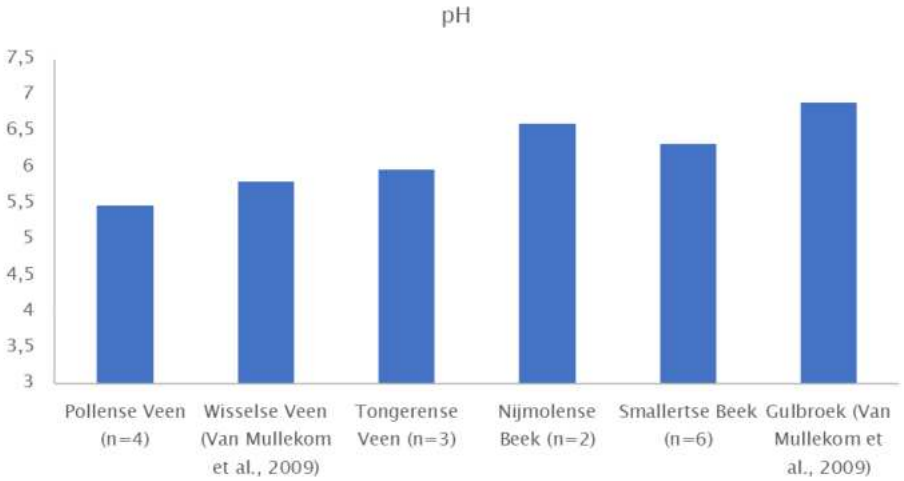
De hydrologie op de Oost-Veluwe wordt gevormd door het reliëfverschil tussen de stuwwal en de IJsselvallei en diverse storingszones in de ondergrond. Het watervoerendpakket vernauwt zich van circa 50m NAP op de top van de stuwwal tot circa 2 m NAP in de IJsselvallei (Figuur 12). Dit betekent dat het grondwater van west naar oost door de ondergrond stroomt. De grootste weerstand, de hydrologische systeembasis (klei) begint vanaf circa 200m onder NAP, maar loopt richting het oosten op naar circa 140m onder NAP. Dit betekent dat het watervoerendsysteem zich vernauwt, wanneer er vanaf de stuwwal druk via infiltrerend grondwater op het hydrologisch systeem wordt uitgeoefend.

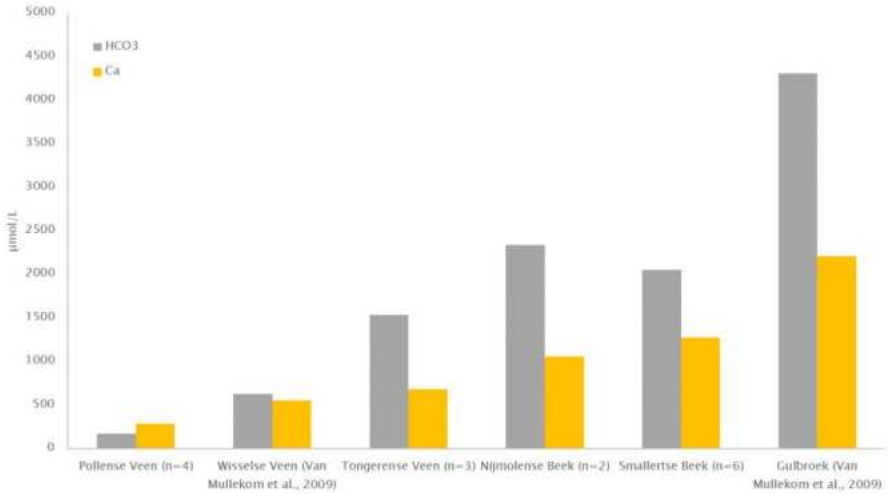
Het tongbekken uit het Saalien vormt eigenlijk de grens tussen doorlatende mineraal arme en slecht doorlatende mineraalrijke afzettingen, waartussen doorlatende mineraalrijke zandlagen voorkomen. De basis van dit tongbekken is opgevuld met slechtdoorlatende keileem (Formatie van Drenthe, laagpakket van Gieten), gevolgd door Rijnklei uit de (formatie van Kreftenheye, laagpakket van Twello). Hoger in het tongbekken ligt ook een dunnere kleilaag van deze zelfde formatie (laagpakket van Zutphen). De Holocene IJsselklei, speelt geen rol van betekenis in dit geheel.
Het gestuwde pakket ten westen van dit tongbekken (DTc) bevat dunne, vermoedelijk onderbroken silt- of kleilagen, die zijn scheefgesteld. Dit betekent dat er ook in het bovenliggende gestuwde pakket, vanaf de Veluwe richting het oosten, steeds meer weerstand in de ondergrond wordt opgebouwd. De onderliggende zandpakketten van de formatie van Peize/Waalre zijn doorlatend, maar vernauwen zich richting het oosten door boven- en onderliggende klei.

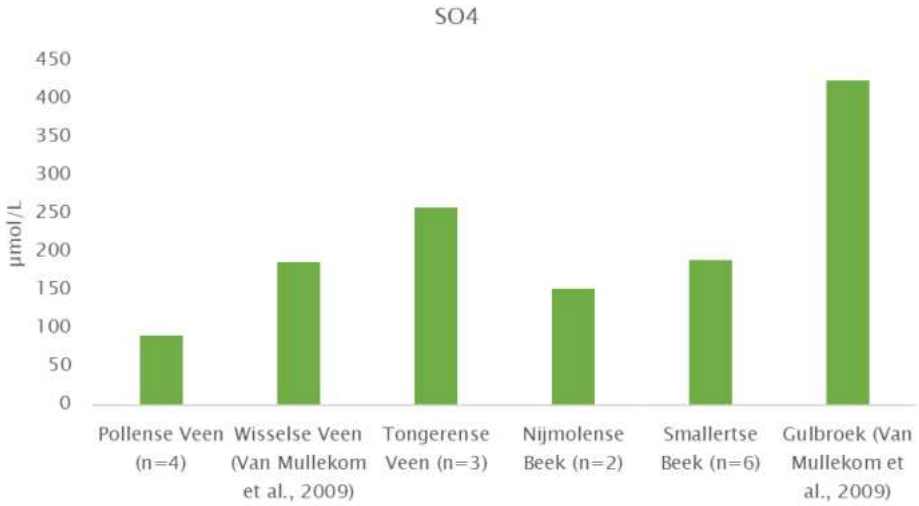
De conclusie luidt dat het watervoerendpakket van het Veluwesysteem richting het oosten steeds verder onder druk komt te staan en er een sterke grondwaterdruk in laaggelegen gebieden voorkomt (Figuur 12). Er is een heel duidelijk gradiënt te zien in buffering (zuurgraad, alkaliniteit en calcium) vanaf de Veluwe richting de IJsselvallei (Figuur 13). Dit gradiënt is ook enigszins zichtbaar in de hoeveelheid sulfaat dat waarschijnlijk vanuit diep onderliggende Tertiaire formaties (F.v. Maassluis, Oosterhout, Breda) afkomstig is en vanuit richting het oosten sterk toenemende bodemweerstand wordt opgeperst (Figuur 13).



Figuur 12. Geologische doorsnede van doorlatende (zand) en slechtdoorlatende (klei) afzettingen. Doordat het gebied naar het oosten afhelt en richting het oosten vernauwing van kleipakketten in de ondergrond aanwezig is zal het grondwater vanuit het westen onder druk komen te staan. Door verstoringen van silt/klei in de gestuwde afzettingen van de Veluwe zal het onder druk gestelde grondwater zich een weg naar boven zoeken. Alle laaggelegen gebieden op de oostflank van de Veluwe zijn daardoor sterk grondwatergevoed.



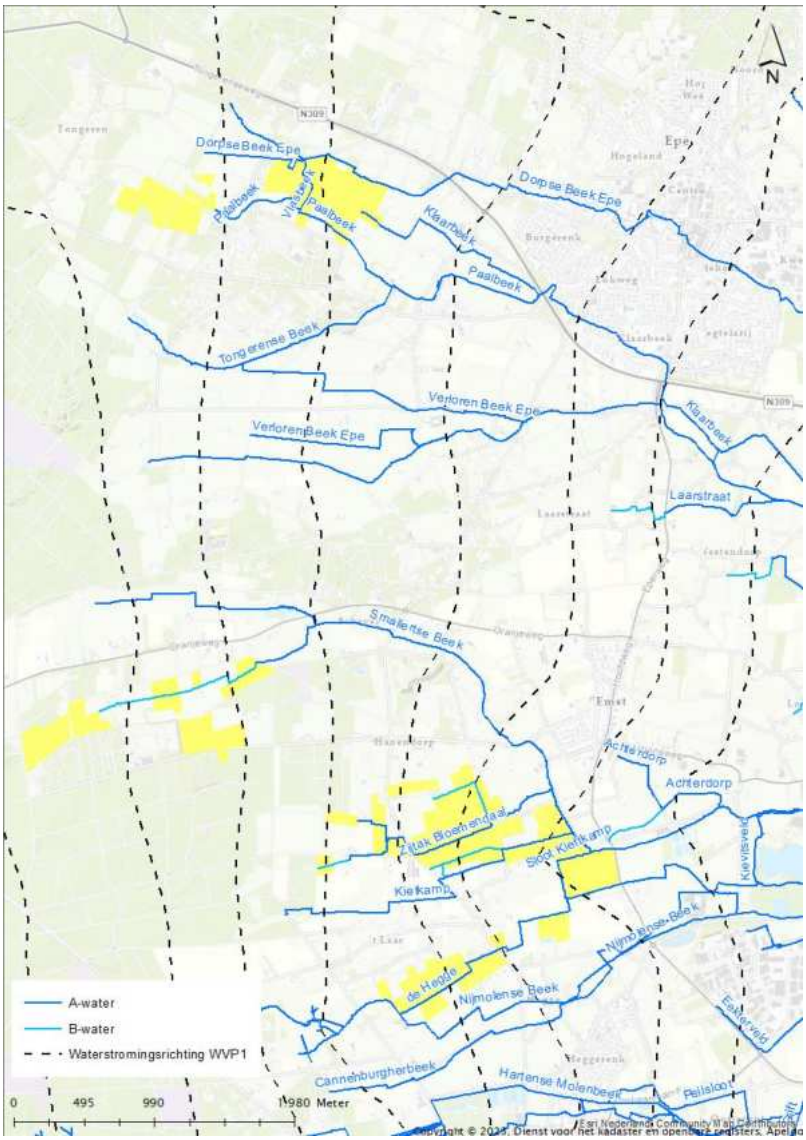




Figuur 13. Overzicht van de zuurbuffering van Veluwe richting de IJsselvallei. De verschillen tussen arm stuwwalmateriaal en rijk rivierzand in het tongbekken komt fraai tot uiting in de alkaliniteit en hoeveelheid calcium. De aanwezigheid van sulfaat heeft vermoedelijk een relatie met diep grondwater dat in contact komt met Tertiaire zeeafzettingen in de ondergrond.

3.3.2 Watergangen en grondwaterstromingsrichting

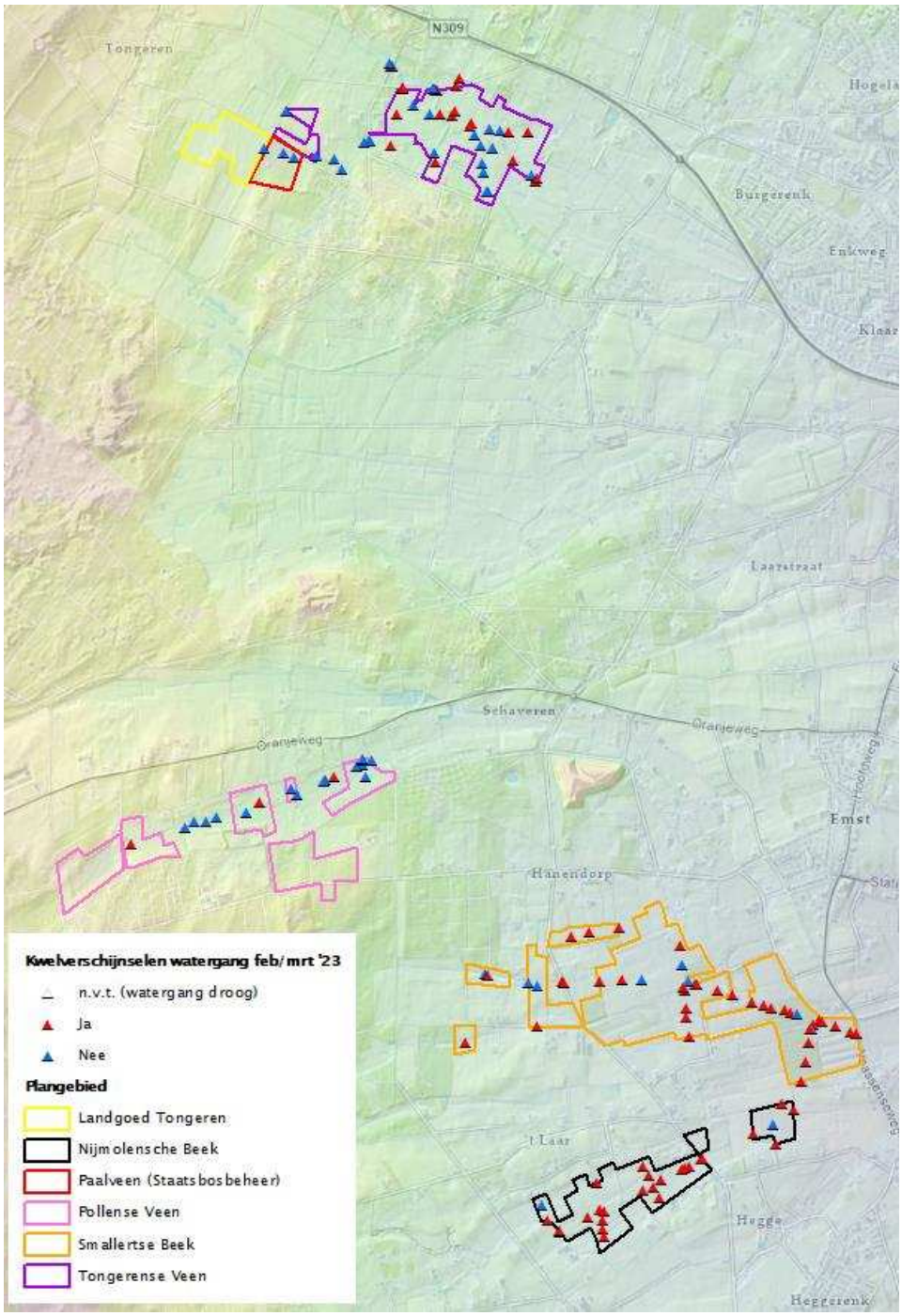
Het isohypsenpatroon, is gebaseerd op gelijke waterstandshoogten in peilbuizen. Wanneer haaks op het patroon wordt gekeken blijkt de regionale stromingsrichting het reliëf te volgen en is globaal west-oost. De smeltwaterdalen hebben op een kleiner schaalniveau ook effect op de stromingsrichting zoals te zien bij het Tongerense Veen. Daar is de voeding meer vanuit het zuidwesten. Op een meer lokaal schaalniveau zijn de watergangen in het gebied van invloed op de stromingsrichting. Deze liggen veelal haaks op het isohypsenpatroon, in de smeltwaterdalen (Figuur 14). De hoofdwatergangen in de deelgebieden zijn van noord naar zuid de Vlasbeek en Paalbeek (Tongerense Veen), de Smallertse Beek met diverse zijwatergangen en de Nijmolense Beek met diverse zijwatergangen. De Smallertse Beek maakt een knik naar het zuiden, hij is hier langs de westflank van de smeltwaterwaaier gegraven, de verhogen waarop Emst gelegen is (Figuur 14).



Figuur 14. Watergangen (A- en B-wateren, Legger Waterschap Vallei & Veluwe) en isohypsen (bron isohypsen: grondwatertools).

3.3.3 Lokaal watersysteem in relatie tot regionaal hydrologisch systeem

De grens van het Veluwesysteem en het tongbekken van het IJsseldal komt tot uiting in het voorkomen van ijzerrijk grondwater, een indicatie voor dieper grondwater. Vooral het landgoed Tongeren, Paalveen en Pollense Veen bevatten grotendeels ijzerarm freatisch grondwater. In de Nijmolense en Smallertse beek, die dichterbij het tongbekken liggen, overheerst ijzerrijk grondwater. Dit water is in aanraking geweest met de rijke afzettingen van de formatie van Kreftenheye, in het tongbekken (Paragraaf 3.1.2 . In het Tongerense veen komt zowel ijzerarm als ijzerrijk grondwater voor. Die ijzerrijkdom is niet het gevolg van aanrijking door afzettingen in het tongbekken, want het Tongerense Veen ligt te ver naar het westen, op de stuwwal. Een mogelijke verklaring voor de ijzerrijkdom is dat dat dieper grondwater betreft dat in aanraking is geweest met diep gelegen, rijke afzettingen uit de formatie van Maassluis (Figuur 12). De verhoogde sulfaatconcentraties zijn hier een ook aanwijzing voor, want het betreffen zee-afzettingen die rijk zijn aan pyriet (FeS_2).

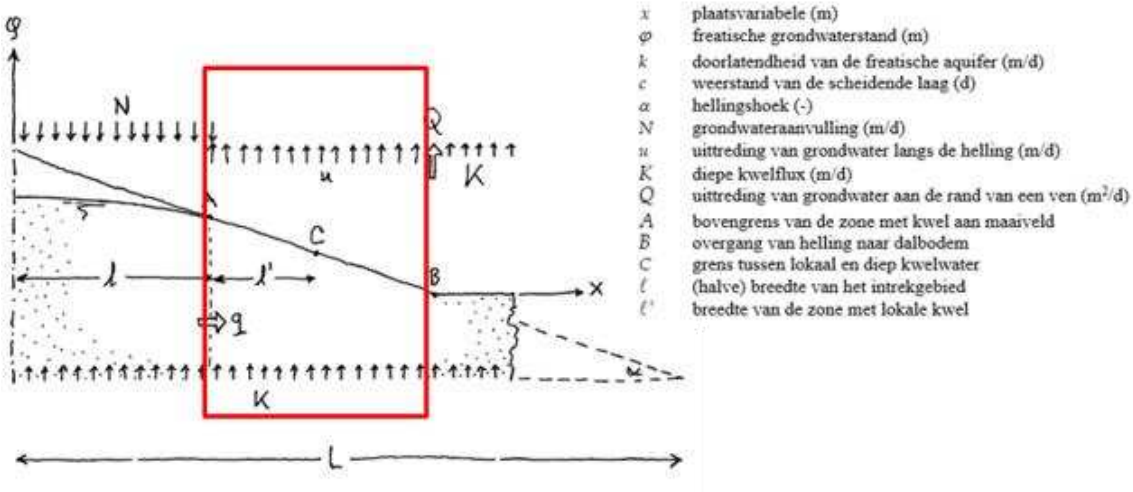


Figuur 15. Kwelverschijnselen in de watergangen in de vier gebieden einde winter 2023.

De kwelverschijnselen die zichtbaar zijn, liggen vooral op sterke terreintreden in het landschap. Op de flanken van de smeltwaterdalen vindt een preferentie toestroming van grondwater uit de diepere ondergrond plaats. Deze zone wordt de kwelhelling genoemd, beschreven door Jansen & Maas (2000) (Figuur 16). Infiltrerend regenwater (N) in omliggende zandruggen komt in de ondiepe ondergrond het freatisch grondwater tegen (K). Hierdoor zal een deel van het grondwater horizontaal richting de smeltwaterdalen stromen (q). Stroming van grondwater vindt plaats op hellende terreindelen. Onderin de dalen staat in de winter het water op maaiveld, waardoor in plassen geen sprake is van helling (B). Op het knikpunt van de helling naar de plassen zal daarom het grondwater

uittreden (l'). De kweldruk in combinatie met het niveau van de plas (of sloot) bepaald de hoogte en zone waar het grondwater uittreed. In een natuurlijke situatie zal het grondwater in een brede zone uittreden (C).

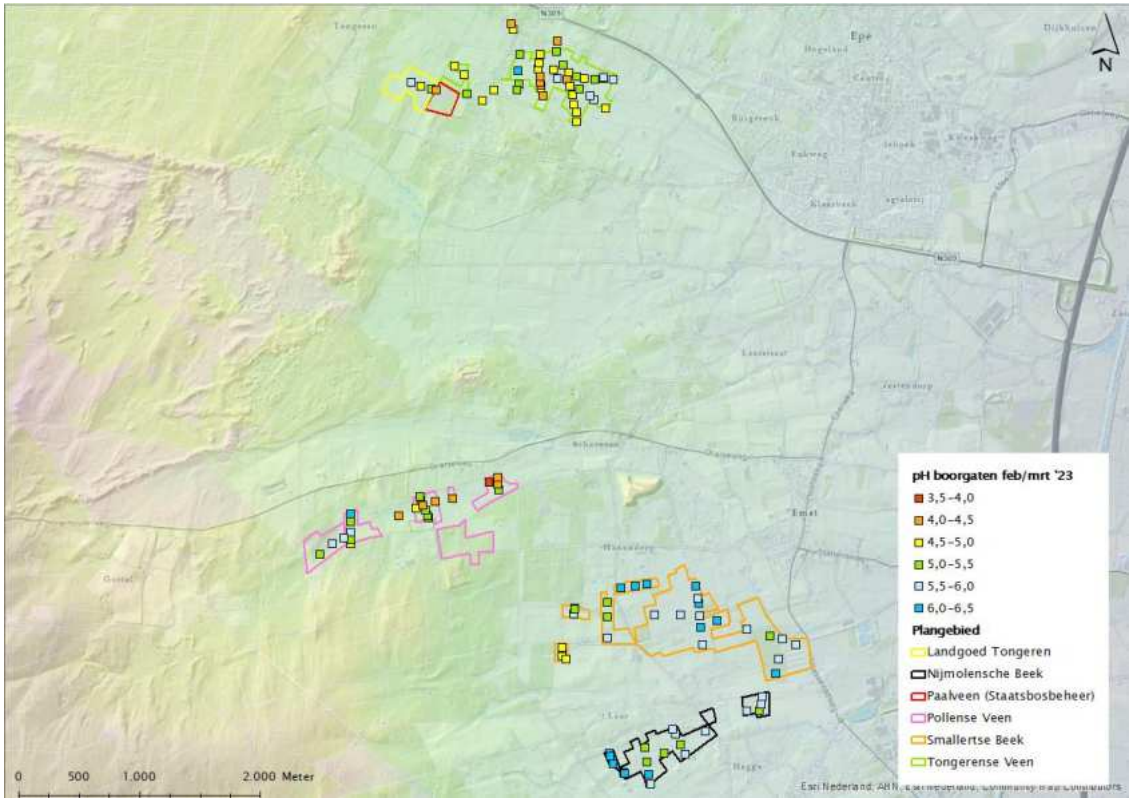
De kwelhelling is op grote schaal aanwezig langs alle randen van de smeltwaterdalen (knikpunt beekeerdgronden en veengronden).



Figuur 16. Wiskundige benadering van de relatie tussen het lokale grondwatersysteem dat wordt gevormd door infiltrerend regenwater (N) in omliggende zandruggen en het regionale hydrologische systeem dat vooral uittreedt (K) in hellende gebieden waar geen regenwater stagneert (C). Stagnerend regenwater leidt tot remming van uit de hoger gelegen hellingen toetredend grondwater (B en x). Het grondwater zal daarom vooral uittreden op het grensvlak van helling naar plas (u en l'). Jansen & Maas, 2000.

pH

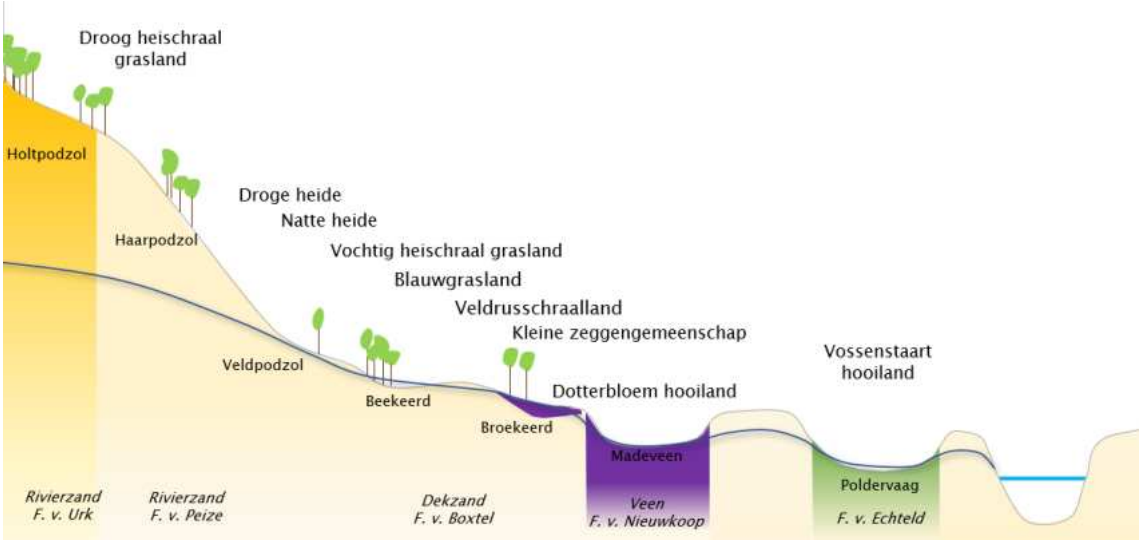
Figuur 17 toont de pH van het grondwater in boorgaten einde winter 2023 ter illustratie van de verschillen in waterkwaliteit tussen de vier gebieden. De pH-waarden van het grondwater in het iets hoger gelegen Pollense Veen en Tongerense Veen is relatief laag ten opzichte van de Nijmolense en Smallertse Beek, namelijk 3,5-5,5 (zuur tot matig zuur). In de Smallertse en Nijmolense Beek zijn veelal pH-waarden van 5,5-6,5 gemeten (zwak zuur tot zwak gebufferd). Het lijkt er dus op dat de laatste twee gebieden in de winter invloed hebben van gebufferd grondwater, met hogere pH-waarden als gevolg.



Figuur 17. pH van het grondwater in boorgaten (ca. 1-2 m diepte) einde winter 2023.

3.4 Te verwachten vegetatie

Op basis van de landschapsvormende factoren, bodem en water en aangetroffen indicatorsoorten zijn op hoofdlijnen de volgende potenties voor de vegetatie af te leiden. In Figuur 18 is globaal de opeenvolging van te verwachten vegetatiegemeenschappen aangegeven in de plangebieden. Hierbij is uitgegaan van een beheer van maaien en afvoeren, zoals dit van oudsher in dergelijke gebieden is gevoerd en waarbij de halfnatuurlijke graslanden en heiden zijn ontstaan. Deze gemeenschappen zijn vaak rijk aan zeldzame en bedreigde soorten. Tot halverwege de twintigste eeuw kwamen deze typen graslanden in Nederland veel en met grote oppervlakten voor. Door ontwatering en bemesting zijn deze gemeenschappen op de meeste plaatsen verarmd. Figuur 18 geeft een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, dus in grote lijnen een gradiënt van droog en zuur naar nat en meer basisch. In de werkelijke situatie ontstaat er ook op kleinere schaal een mozaïek van deze vegetatiegemeenschappen, door een variatie in microreliëf en milieuomstandigheden. Zo zullen bijvoorbeeld door veenvorming zure neerslaglenzen met kleine zeggenvegetatie worden gevormd in het kwelmoeras met dotterbloemhooiland.



Figuur 18. Overzicht van de vegetatiekundige gradiënt die in potentie aanwezig is. Landgoed Tongeren, het Pollense Veen liggen vooral links in de gradiënt. Het Tongerense veen, Nijmolense beek en Smallertse beek hebben hun zwaartepunt verder rechts in het schema.

Wanneer er niet wordt gemaaid en afgevoerd zal er na verloop van tijd struweel en bos ontstaan. Van nat naar droger zijn dit Wilgenbroekstruweel, Elzenbroekbos, Vogelkers-Essenbos, Berkenbroekbos, Berken-Eikenbos en Beuken-Eikenbos. Tabel 1 geeft een overzicht van de te verwachten vegetaties per bodemtype bij een extensief (maai)beheer (korte vegetatie) en bij achterwege laten van actief beheer ("climaxvegetatie"). Wanneer de abiotische condities op orde zijn, heeft bos hoge natuurwaarden. Overigens zijn goed functionerende venen zo nat dat er vrijwel geen bomen groeien.

Een kanttekening van bos is dat het een effect heeft op het bodemvocht. Dit speelt vooral op de infiltratiezones (podzolgronden) of plekken met wisselende waterstanden (gooreerdgronden, ondiepe leemgronden). In kwelgebieden lijkt ontwatering dominant over verdamping en interceptie door bomen, maar kan bos wel voor extra verdroging zorgen.

Tabel 1. Overzicht van standplaats- en vegetatiekenmerken

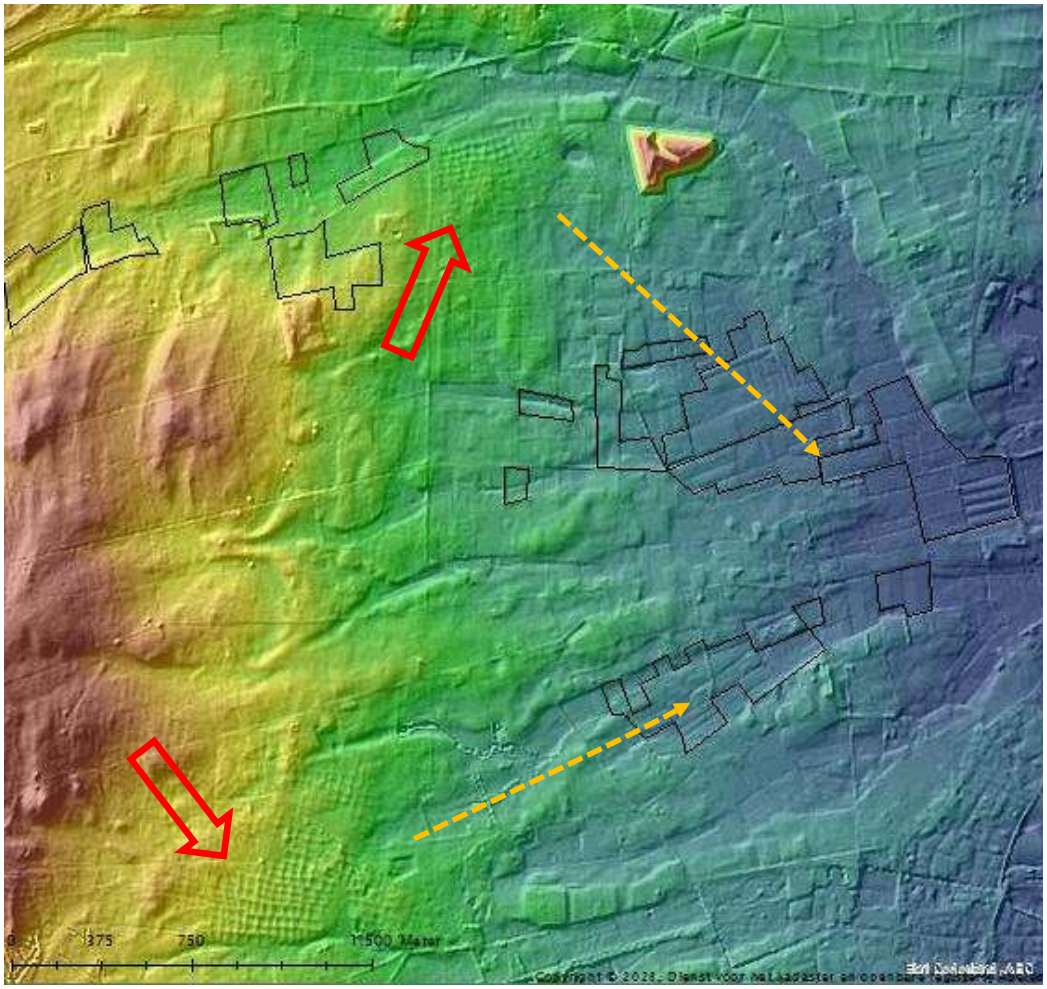
Bodemtype	Korte vegetatie	Climaxvegetatie
Holtpodzolgrond	Droog heischraal grasland	Beuken-Eikenbos
Haarpodzolgrond	Droge heide	Berken-Eikenbos
Veldpodzolgrond	Natte heide	Berken-Eikenbos
Beekeerdgrond	Blauwgrasland/ Kleine zeggengemeenschap/veldrusschraalland	Vogelkers-Essenbos
Broekeerdgrond	Kleine zeggengemeenschap/kalkmoeras/veldrusschraalland Dotterbloemhooiland	Berkenbroek, Elzenbroek[1]
Veengrond	Dotterbloemhooiland	Elzenbroek[1]
Waardveengrond Poldervaaggrond	Dotterbloemhooiland, Vossenstaart hooiland	Elzenbroek, Wilgenbroek

1 Intacte venen zijn zo nat dat er weinig (en lage) bomen groeien.

In de desbetreffende deelrapporten wordt dieper ingegaan op de daadwerkelijk aangetroffen vegetaties per deelgebied, die in hoofdzaak bestaan uit rompgemeenschappen. Door ontwatering en bemesting is een vooral zuur en voedselrijk systeem ontstaan, waarbij de natte, basenrijke component in maaiveld ontbreekt. Storingssoorten als pitrus kregen hierdoor een kans. De percelen zijn relatief kortgeleden uit landbouwkundig gebruik genomen. Dankzij een verschralingsbeheer bevatten zij een aantal indicatoren die de beschreven potenties bevestigen. Ook de vegetaties in de bestaande oudere natuurreservaten zoals het Wisselse veen, Paalveen en Nijmolense beek geven deze potentie aan. De indicatorsoorten en bestaande reservaten geven de indruk dat er ooit een complex mozaïek was van drogere en nattere plekken, waarin onder zowel zure als basische omstandigheden veenvorming plaatsvond.

3.5 Historische ontwikkelingen

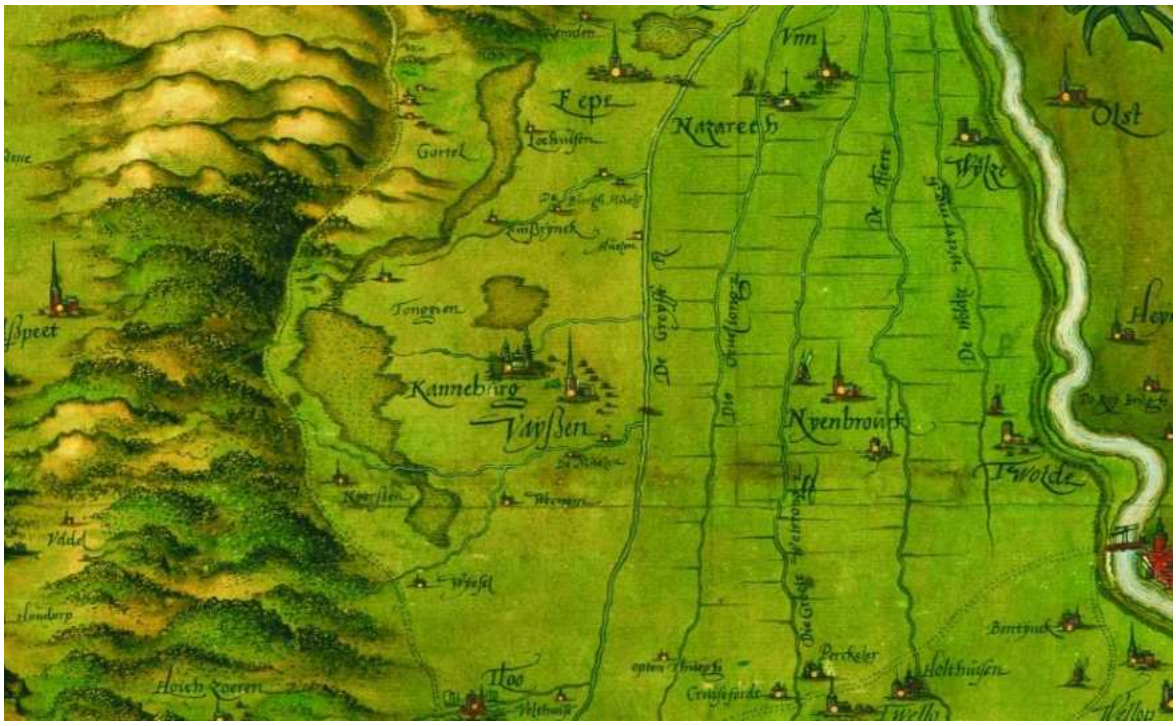
Eerder is beschreven dat al in de Midden IJzertijd (751–411 voor Christus) onomkeerbare veranderingen plaatsvonden (paragraaf 3.2.2). Aan de veenvorming in het gebied met de Smallertse beek bleek een abrupt een einde te komen door regionale ontbossing, de aanleg van Celtic Fields (Figuur 19).[15] Löss spoelde weg richting de smeltwaterdalen lager in het systeem. Dit leidde in de ijzertijd al tot een eind aan de veengroei. Hiermee zijn sterke aanwijzingen dat de mens het landschap al stevig beïnvloedde.



Figuur 19. Overzicht van restanten van Celtic Fields (rode blokpijlen) en de herkomst van colluviale afzettingen in de dalbodems. In deelgebied Smallertse beek past de eindatering van het veen (751–411 v.C.) en daarmee de basis van deze verspoelde afzettingen (oranje stippelpijl) bij de aanlegfase van de Celtic Fields in de Late Prehistorie.

[15] Zie LESA Smallertse Beek, Kieskamp et al., 2024.

Vanaf de 7e en 8e eeuw begon de bevolking op de Veluwe flink te groeien. Bossen werden gebruikt voor akkers en het weiden van vee. De halfopen boslandschappen die daardoor ontstonden, zijn te herkennen aan het toponiem 'loo', in plaatsnamen verkort tot -el, zoals Wissel ten zuiden van het Tongerense Veen. Al vanaf de vroege middeleeuwen lukte het de omwonenden om de veengebieden op de Veluweflank te ontginnen.[16] Aan de soorten die toen voorkwamen is te zien dat het landgebruik intensiveerde (opener bos, landbouwgewassen).[17] Aan het eind van de middeleeuwen is de noord-Veluwe grotendeels boomloos volgens de oudst beschikbare kaart van de Veluwe uit 1573 (Figuur 20). Deze figuratieve kaart laat de venen zien op de oostflank van de Veluwe tussen Epe en Vaassen.



Figuur 20. Fragment van de kaart van Christian Sgrooten uit 1570 (geraadpleegd via https://www.elspeethistorie.nl/luchtfotos/topografische-kaarten/veluwe-1570).

In de 16e en 17e eeuw zijn diverse watermolens bij de gebieden aangelegd (Figuur 21; Tekstkader 1). De ligging van de Veluwse molens wijkt af van die van andere molens in Nederland, waarbij de beek werd afgedamd om voldoende hoogteverschil te krijgen. Vanwege de natuurlijke hoogteverschillen op de Veluwe kon het beekwater langs de beekdalflank worden geleid, waardoor de beken dus boven de grondwaterspiegel liggen.[18] De beken in het Tongerense Veen, Nijmolense beek en Smallertse beekgebied zijn over grote delen opgeleid, wat betekent dat ze hoger in het landschap liggen (Figuur 21). Dat betekent dat ze niet draineren, of zelfs water kunnen afgeven aan omgeving. Delen zijn echter niet opgeleid en draineren wel degelijk, Dit kunnen soms korte tracés zijn die niet zijn aangeduid in Figuur 21. De watergang door het Pollense Veen is geen hoofdwatergang en staat niet op deze kaart.[19] Op basis van de kaart van De Man is van de bestaande

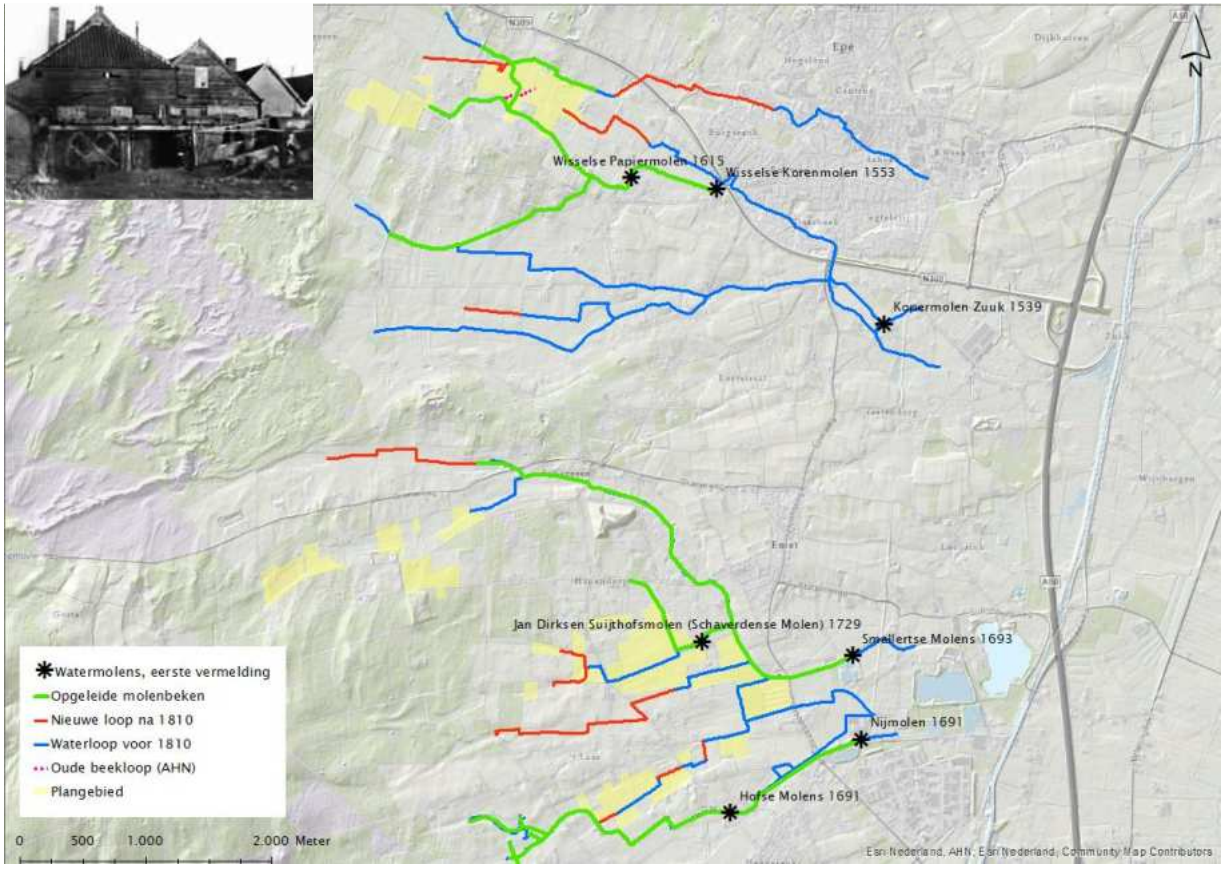
[16] Neefjes, 2018.

[17] Jansen et al., 2019.

[18] Neefjes, 2018.

[19] A-water volgens legger waterschap Vallei & Veluwe.

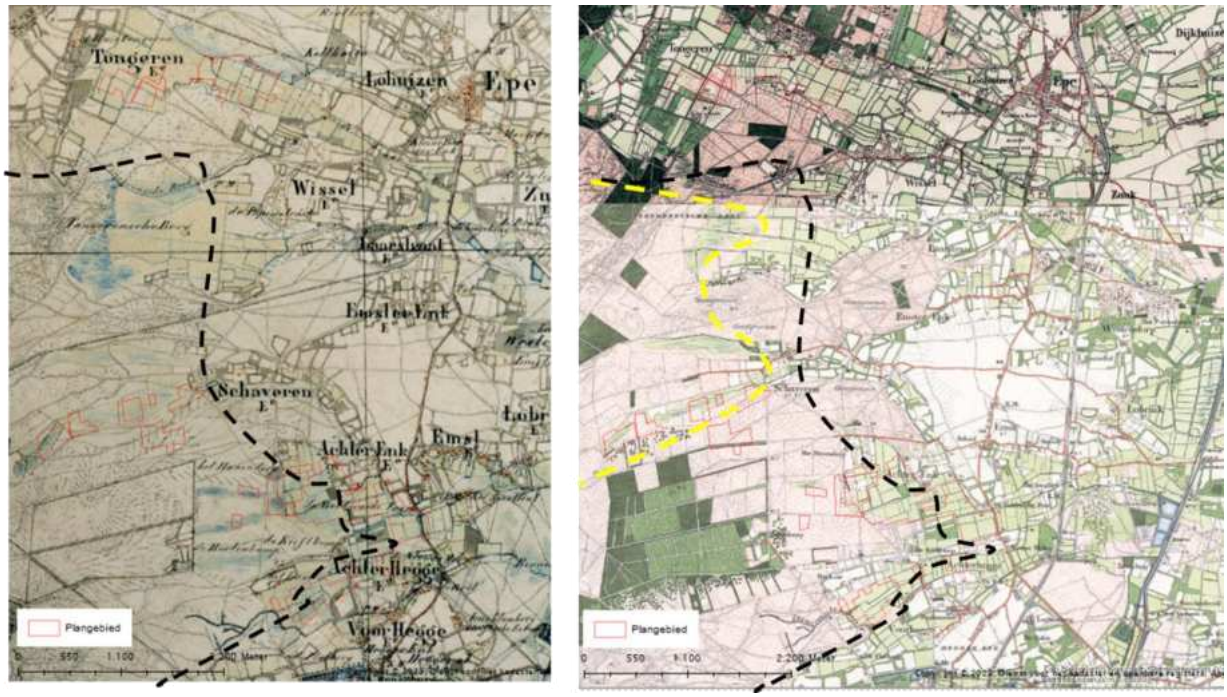
hoofdwatergangen de ouderdom aangegeven (ouder of jonger dan 1810) (Figuur 21). Dat laat zien dat na 1810 een aantal watergangen verlengd hoger op de helling, zoals bij deelgebied Smallertse Beek en ten noorden van het Pollense Veen.



Figuur 21. Ligging van watermolens 16e en 17e eeuw (databron: Bekenstichting), ligging opgeleide molenbeken (op basis van het AHN) en ouderdom overige watergangen op basis van De Man (1807). Inzetfoto: Wisselse papiermolen anno 1896 (bron: www.sprengenbeken.nl/wisselse-papiermolen)

Buiten de opgeleide beken en enkele startende ontginningen is rond 1807 het gebied nog vrijwel onontgonnen.[20] Tussen 1807 en 1850 gaat de ontginning verder de helling op en is het Tongerense Veen en een deel van de gebieden Nijmolense en Smallertse Beek in cultuur gebracht. Tussen 1850 en 1900 wordt die grens nog verder opgeschoven naar het westen (Figuur 22).

[20] Kaarten De Man (1807), hier niet opgenomen, zie gebiedsspecifieke rapportages.



Figuur 22. Ontginningsgrens in 1850 (links) en 1900 (rechts). Met zwart is de grens tussen wel en niet ontgonnen aangegeven rond 1850, met geel de grens in 1900.

Tekstkader 1. informatie over de watermolens nabij de onderzoeksgebieden (bron: Bekenstichting).

In de gebieden van GLK zelf hebben geen watermolens gestaan. Vlak naast het gebied Smallertse Beek stond de Jan Dirksen Suijthofsmolen (Schaverdense Molen), voor het eerst genoemd in 1729. Ten oosten van deze molen in het bekensysteem stonden de Smallertse molens. Dit waren papiermolens, die rond 1693 gebouwd zijn. In 1854 is de zuidelijke molen tot korenmolen verbouwd. De noordelijke molen is omstreeks 1860 afgebrand. In 1910 werd de molenplaats verkocht aan de Nederlandsche Heide Maatschappij die hier een forellenkwekerij begon en een groot complex visvijvers aanlegde. Het oude molengebouw is al gauw daarna afgebroken. Naast het huidige molengebouw is de gemetselde waterval enkele jaren geleden hersteld door het Waterschap.

Langs de Nijmolense Beek stonden ook diverse molens. De Hofse molens bestonden uit twee papiermolens, gebouwd rond 1691. In 1982 zijn beide molengebouwen afgebroken. De Nijmolen ten oosten van de Hofse molens is bekend sinds 1691. Een tweede molen is gebouwd, maar beide molens zijn afgebrand in 1745 en daarna herbouwd. De molens zijn tegenwoordig niet meer aanwezig.

Ten zuiden van het Tongerense Veen langs de Tongerense Beek stonden ook enkele molens. De Achterste Molen is gebouwd in 1710. De Wisselse Papiermolens stonden ten oosten hiervan, waarvan de eerste gebouwd is in 1615. Weer ten oosten hiervan stond de Wisselse Korenmolen, voor het eerst bekend in 1553. Al deze molens zijn tegenwoordig niet meer aanwezig. Op de plek van de Wisselse Korenmolen geeft een waterval over een keistenen glooiing de locatie aan.

Ten oosten van deze molens in het bekencomplex, ten zuiden van Epe, stonden meer korenmolens, de Zuuker Molens, waarvan de oudste voor het eerst bekend was in 1539.

Rond 1930 zijn de gebieden heel fijnmazig verkaveld en voorzien van detailontwatering. De voorheen grootschalige open landschappen zijn dan veranderd in een zeer kleinschalig cultuurlandschap. Geleidelijke overgangen van droog, arm naar nat rijk zijn dan verdwenen. Vanaf de jaren '60 van de vorige eeuw werden ook hoofdontwateringen gegraven zoals in het Pollense Veen en verdrogen en verzuren de broekgebieden. Door mineralisatie en mestoverschotten is de bodem sterk voedselrijk geworden in vergelijking met de periode voor 1900. Desondanks zijn er binnen reservaten, met lokale herstelmaatregelen toch natuurwaarden over gebleven of op zeer beperkte schaal weer tot ontwikkeling gekomen door natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond.

3.6 Synthese regionale systeem

De vier gebieden Tongerense Veen, Pollense Veen, Nijmolense en Smallertse Beek liggen in smeltwaterdalen op de Veluweflank. Ze zijn ontstaan in de laatste ijstijd en op tal van plekken was sprake van veenvorming. Dit wijst op historisch gezien permanent natte omstandigheden door een continue aanvoer van grondwater.

Er is qua milieukenmerken een tweedeling te zien, waarbij het Tongerense en Pollense Veen westelijker en hoger in het landschap liggen. Ze liggen weliswaar op de stuwwal, maar ook in smeltwaterdalen met verstuwde en door zijn ouderdom ook armere rivierzanden. De Nijmolense en Smallertse Beek liggen lager op de stuwwalflank, eigenlijk al boven het tongbekken van de IJssel. Dit diepe bekken is na de voorlaatste ijstijd opgevuld met een dikke basis van kalkhoudende rivierklei gevolgd door kalkrijke rivierzanden en klei uit het Oerrijn-systeem. Tenslotte liggen hierboven smeltwaterafzettingen en in mindere mate windafzettingen uit de laatste ijstijd. Door het reliëf van ruggen en laagten kon het grondwater en oppervlaktewater lastig wegstromen. Hierdoor zijn al in de laatste ijstijd in alle gebieden venen ontstaan, die richting het oosten steeds meer basenhoudend worden.

Het ontstaan van veenvorming hoog in het landschap komt door vernauwing van het watervoerende pakket richting het oosten. Hierdoor wordt diep grondwater opgeperst. In het westen is dit relatief arm aan basen vanwege armere geologisch afzettingen (Formatie van Peize/Waalre). In het oosten komt is dit grondwater veel mineraalrijker door aanrijking vanuit de Formatie van Kreftenheye. Door de lagere ligging treedt hier ouder en mineraalrijker grondwater uit. In combinatie van de mineralogisch rijkere ondergrond (jongere rivierzanden) zijn deze gebieden sterker gebufferd dan het Tongerense en Pollense Veen. Doordat het grondwater vanuit het Veluwesysteem tegen de slecht doorlatende kleiopvulling in het Tongbekken van de IJssel botst en het Veluwesysteem aan zowel de bovenzijde als onderzijde door slecht doorlatende lagen wordt begrensd, is er sprake van diep uittredend grondwater. Dit water is zelfs aangerijkt met sulfaathoudende afzettingen de Tertiaire ondergrond. Door de aanwezigheid van ijzer ontstaat op sommige plekken pyriet in de bodem. Zolang de bodem waterverzadigd blijft en niet wordt bemest met nitraat blijft pyriet stabiel. Wanneer pyriet oxideert door ontwatering of bemesting leidt dat tot veenafbraak en ernstige bodemverzuring. In de deelgebieden waar dat speelt wordt hier nader op ingegaan.

Tussen 1800 en 1960 zijn de deelgebieden vooral voorzien van een fijnmazige detailontwatering en daardoor is de bodem verdroogd en verzuurd. Bijzondere planten staan wel in de slootkanten maar niet meer in de percelen. Het goede nieuws is dat door de sterke grondwaterdruk en overwegend goede waterkwaliteit het gebied eenvoudig kan worden hersteld door interne watergangen te dempen en de doorgaande te verondiepen. Door het sterk aflopende verhang en lage ligging kan dit op tal van plekken zonder al te veel omgevingseffecten. In de uitwerkingen is per deelgebied een voorstel gemaakt welke herstelmaatregelen waar wenselijk zijn.

4 Resultaten Tongerense Veen

4.1 Inleiding en onderzoeksvragen

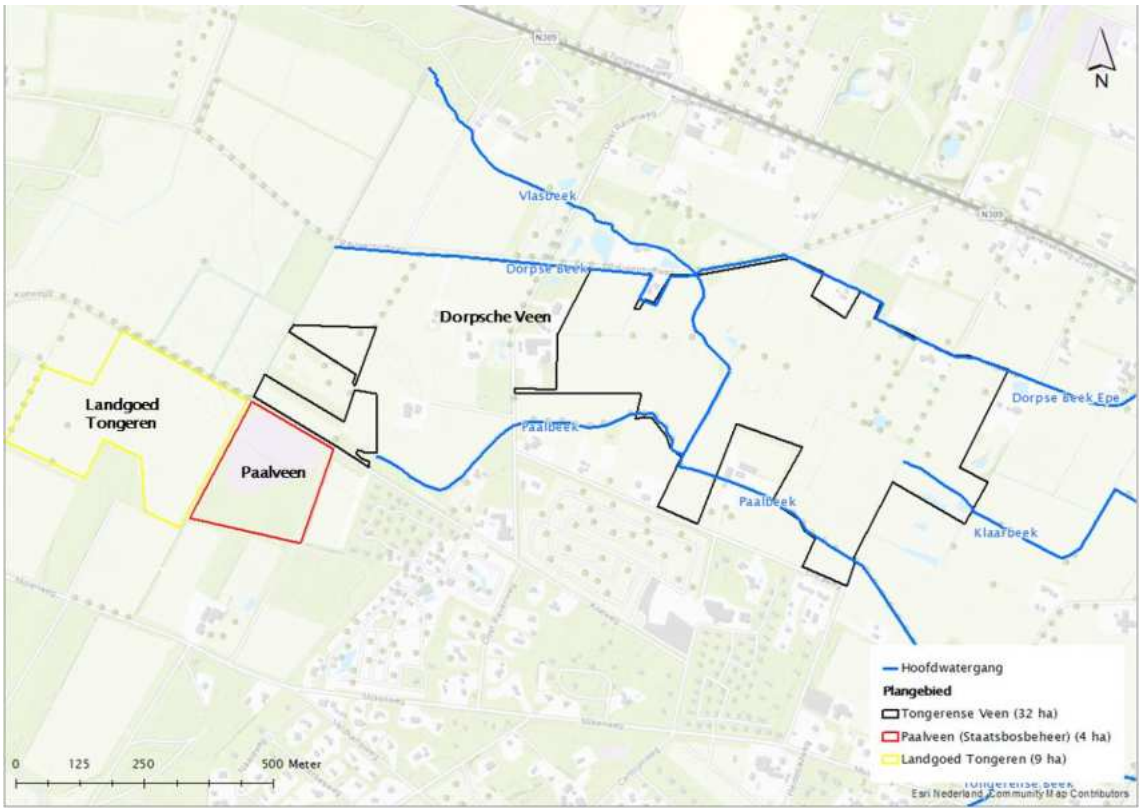
Na de beschrijving van het regionale systeem van de noordoost-Veluwe met daarin het Tongerense Veen, Pollense Veen, Smallertse en Nijmolense Beek, gaat dit hoofdstuk specifiek over het gebied de Tongerense Veen en het Paalveen. Onderzoeksvragen zijn:

- Hoe ziet het natuurlijke watersysteem eruit?
- Wat is het effect van de beek en andere watergangen op de actuele hydrologische situatie?
- Welke flora en vegetatie zijn aanwezig?
- Wat zijn natuurpotenties?
- Welke cultuurhistorische waarden kunnen worden versterkt?
- Welke maatregelen zijn mogelijk en nodig om de potentiële natuurtypen tot ontwikkeling te laten komen?

Het plangebied is weergegeven in Figuur 23. Het omvat het eigendom van GLK, daarnaast van twee particuliere eigenaren. Voor het LESA-onderzoek is ook een wat bredere omgeving meegenomen om het functioneren van het systeem te kunnen begrijpen, zoals de ruggen ten noorden en zuiden van het Tongerense Veen, en het gebied tussen het Paalveen en het Tongerense Veen.

Het Paalveen (Staatsbosbeheer) en een perceel van Landgoed Tongeren zijn meegenomen in de LESA, met als doel om de (met name hydrologische) relatie tussen deze terreinen en het Tongerense Veen inzichtelijk te krijgen. Het Paalveen en het perceel van Landgoed Tongeren zijn niet meegenomen in het maatregelenadvies.

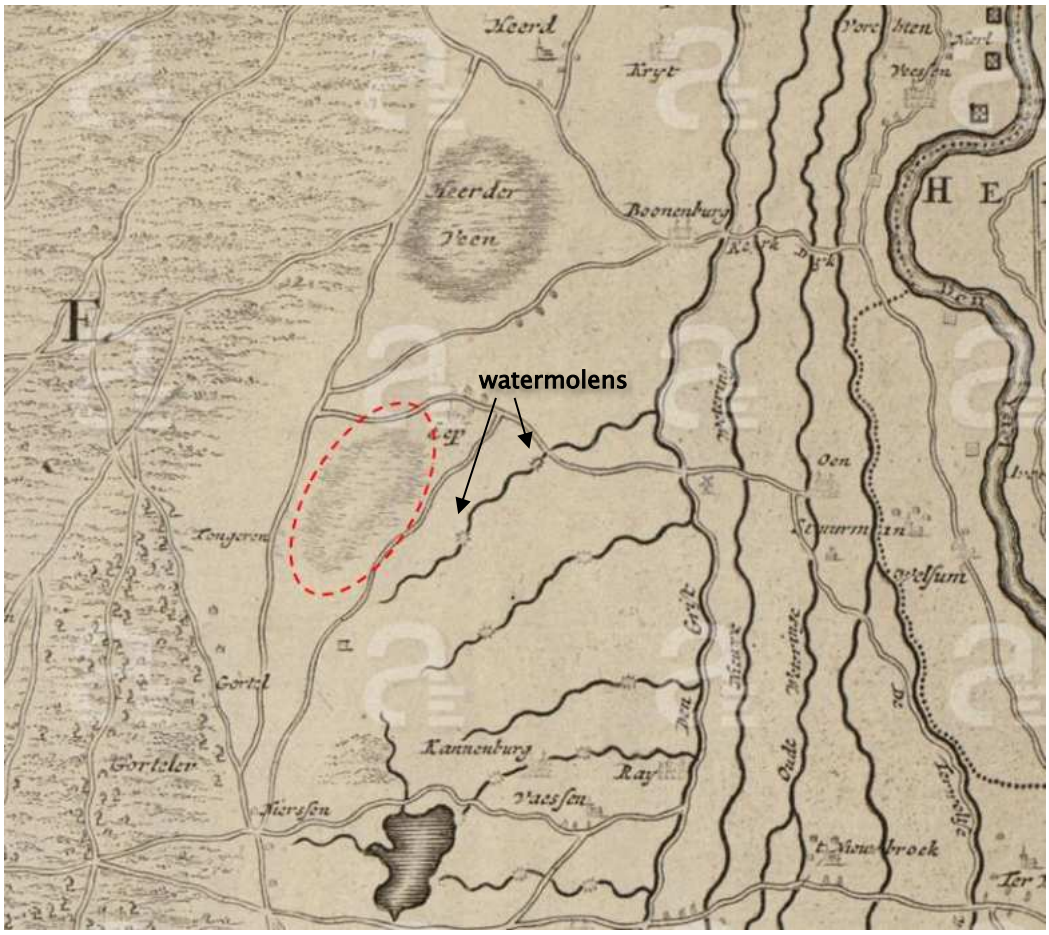
Op historische kaarten wordt het plangebied geduid als Dorpse Veen (zie 4.2.). Het eigenlijke Tongerense Veen ligt ten westen van de Oost-Ravenweg. Tegenwoordig wordt het hele gebied geduid als Tongerense Veen. Deze naam wordt dan ook aangehouden in voorliggende rapportage.



Figuur 23: Begrenzing plangebied, ligging huidige watergangen en toponiemen.

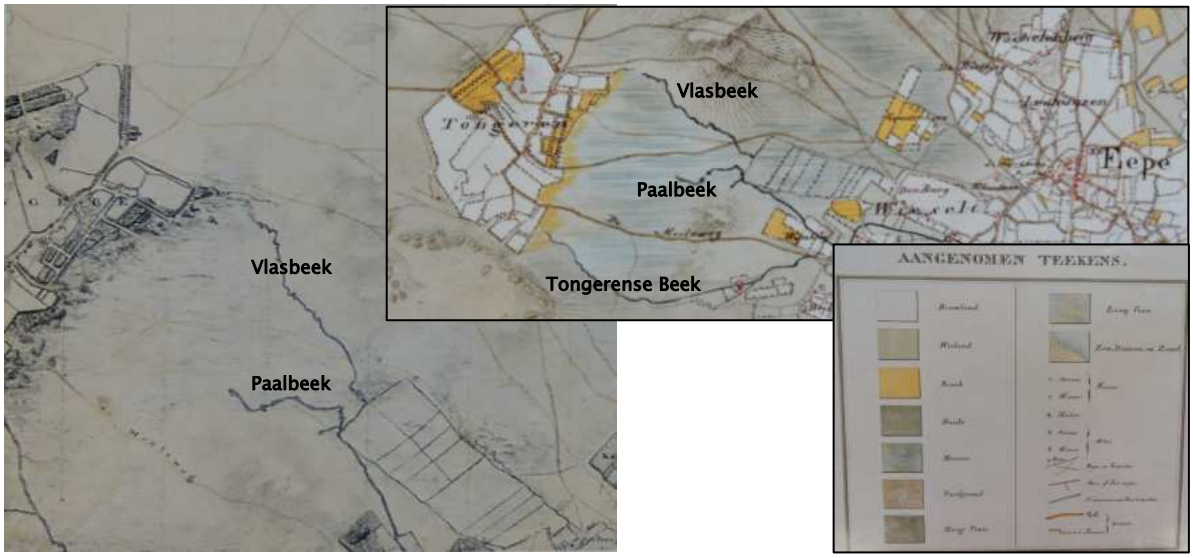
4.2 Historische ontwikkelingen

Hoofdstuk 3 liet zien dat in de 80-jarige oorlog de Oost-Veluwe tussen Vaassen en Epe als één groot veenmoeras is gekarteerd (Figuur 20). Op de kaart van Visscher uit 1680-1700 is het Wisselse Veen, Tongerense Veen en Paalveen als één complex ingetekend (Figuur 24). Langs diverse beken zijn destijds al watermolens ingetekend. Dit betekent dat het watersysteem al vroeg door mensen is beïnvloed.



Figuur 24: Kaart van de provincie Utrecht 'Tabula nova Provinciae Ultrajectinae', getekend door de landmeter Bernard de Roij en uitgegeven door Nicolaas Visscher uit de periode 1680-1700 AD. Globale locaties van watermolens zijn weergegeven met sterren (Flehite, Oudheidkundige Vereniging Amersfoort).

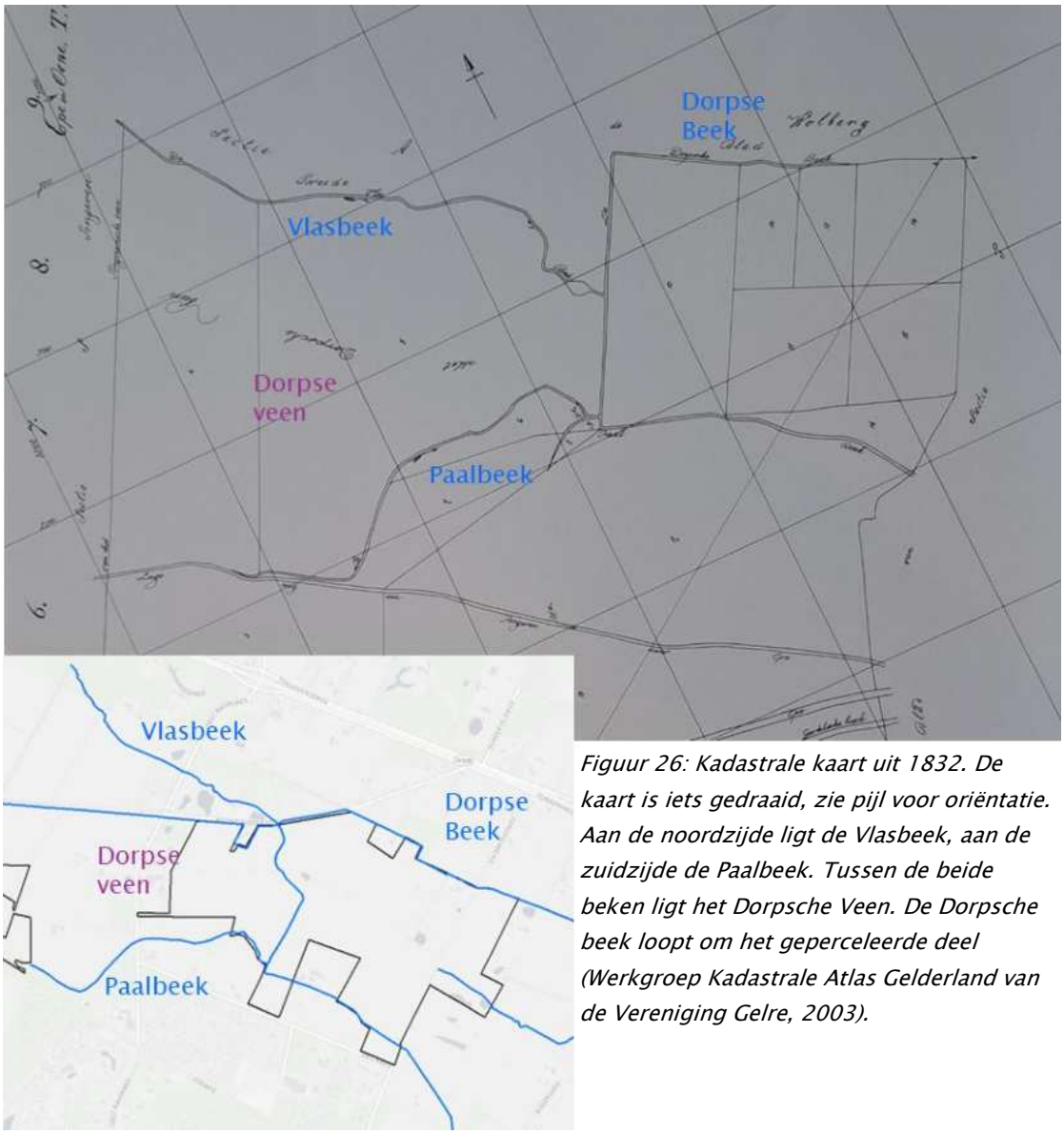
In de Franse Tijd heeft De Man de omgeving van Tongeren gekarteerd als een moerassig gebied en hoogveen, geflankeerd door de Vlasbeek en de Tongerense Beek (Figuur 25). De naam Vlasbeek geeft aan dat er vlas in de beek werd gelegd (reuten). De Paalbeek ontsprong in het midden van dit natte gebied, waarbij de sprengkoppen getuigen van door mensen gegraven waterlopen. De zogenaamde Veldminuut (links) dateert uit de periode 1802-1812 en toont minder veldwegen dan de kleurenkaart (rechts). Dit komt omdat deze in Franse stijl gemaakte tekening pas in de periode 1827-1830 is gemaakt en waarschijnlijk latere veranderingen zijn toegevoegd. Opvallend is de overgang van productiebos bij Tongeren, dat al in cultuur is gebracht, via een struikzone naar veen. Ten oosten van het veen zijn gemeenschappelijke gebruiksgronden en private hooilanden te zien (Figuur 25).



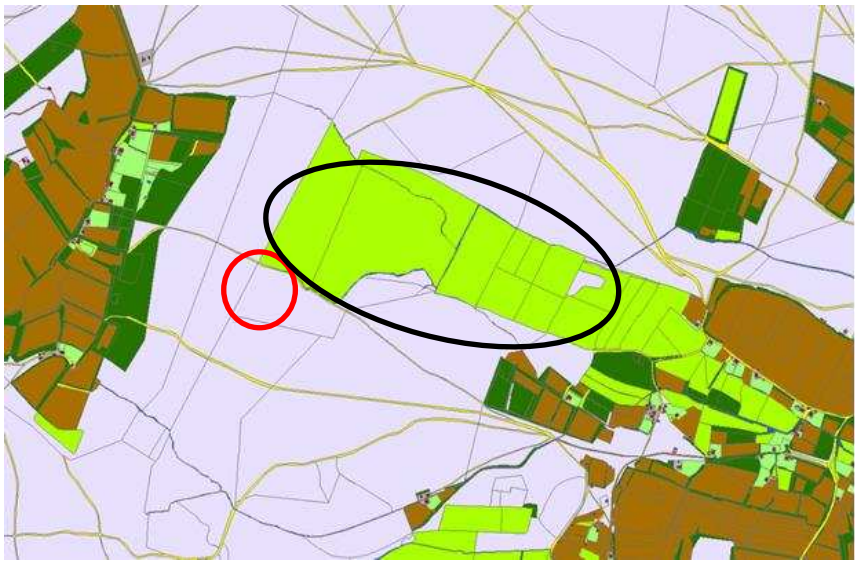
Figuur 25: Kaarten van De Man uit 1802-1812 uit de Franse Tijd en de latere uitwerking in Franse stijl uit de periode 1827-1830. Het gebied werd als moeras (zuid) en hoogveen (noord) gekarteerd (Wageningen Universiteit, speciale collecties).

In 1832 verschijnt de prekadastrale kaart. De originele tekening geeft meer details weer dan de HISGIS-versie en is daarmee een waardevolle bron voor veldtoponiemen en detaillering van veldkenmerken. De HISGIS-versie bevat echter aanvullend een ruimtelijk overzicht van het landgebruik en de belastbare opbrengst. De Vlasbeek botst op de Dorpse Beek die in beginsel een zuid-noord-oriëntatie heeft (Figuur 26). Gezien het verhang naar het oosten, kan het bijna niet anders dan dat het water vanuit de Vlasbeek naar zowel de Paalbeek (zuiden) als Dorpse Beek (noorden) kon afwateren. Bijzonder is dat het tussenliggende gebied op het kadastrale minuutplan als het Dorpsche Veen werd gekarteerd. Dit betekent dat de twee beken niet alleen langs de dalflank zijn gelegd, maar ook om het veengebied. Het gebied was in ieder geval zo nat dat er drie beken uit ontspringen en het ondanks dat nog steeds nat was.

Het landgebruik bestond volgens de kadastrale kaart uit weiland en had een heel lage belastbare opbrengst, terwijl verder naar het oosten in de buurtschap Wissel er wel hoge opbrengsten waren (Figuur 28), vermoedelijk doordat het grondwater hier mineraalrijker was.



Figuur 26: Kadastrale kaart uit 1832. De kaart is iets gedraaid, zie pijl voor oriëntatie. Aan de noordzijde ligt de Vlasbeek, aan de zuidzijde de Paalbeek. Tussen de beide beken ligt het Dorpsche Veen. De Dorpsche beek loopt om het geperceleerde deel (Werkgroep Kadastrale Atlas Gelderland van de Vereniging Gelre, 2003).



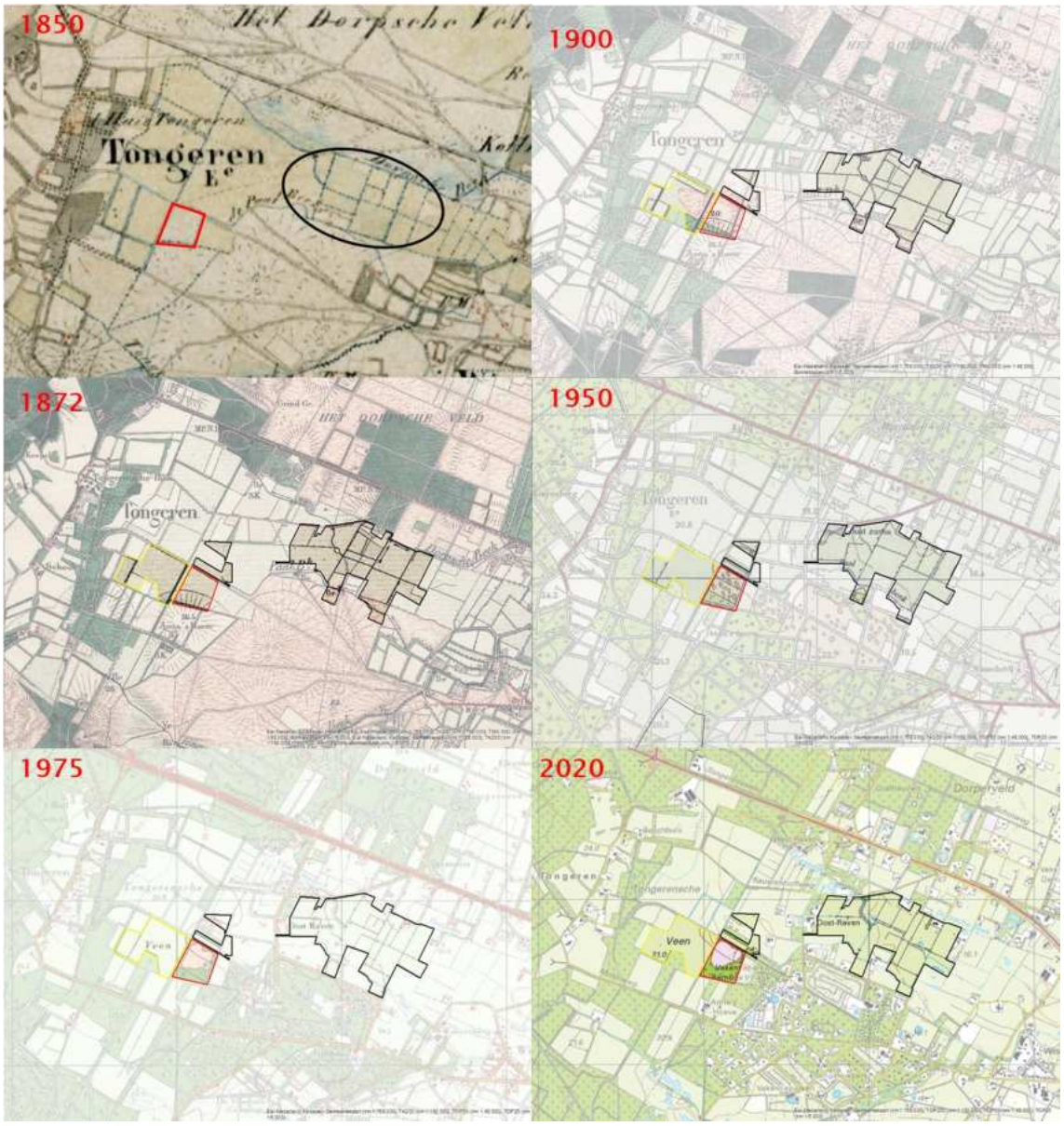
Figuur 27: Kadastrale kaart uit 1832 met het soort eigendom. Paars zijn de (natte) heidegronden, groen de graslanden, bruin de akkers en donkergroen de bossen. Het Tongerense Veen is zwart omlijnd, het Paalveen rood. Bij het Tongerense Veen bestond het landgebruik overwegend uit weiland volgens deze legger (bron: HISGIS).

Figuur 28: Kadastrale kaart uit 1832 met daarop geprojecteerd de belastbare opbrengst per hectare. Opvallend is het verschil in lage opbrengst op de veldgronden (veen) ten opzichte van de cultuurgronden in de nederzettingsperiferie. Vermoedelijk heeft dit te maken met de mineralenrijkdom vanuit de bodem die richting het oosten steeds rijker wordt (bron: HISGIS).

Vanaf 1850 wordt het gehele veengebied verkaveld en daarmee ook ontwaterd. Tussen 1850 en 1900 werd het Dorpse Veen ontwaterd via een nieuwe aantakking op de Dorpse beek. Dit is het traject vanaf de huidige Oost Ravenweg tot aan de Vlasbeek. Opvallend zijn een aantal noord-zuid-georiënteerde ontwateringen bij Tongeren die afwateren op de noordelijk gelegen Vlasbeek. Vanaf 1900 neemt de fijnmazigheid van verkaveling toe en daarmee ook de dichtheid aan ontwatering (Figuur 29). Vanaf 1950 beginnen grote delen van de resterende heidegronden in de omgeving te verbossen of worden ze beplant met bos. Er verschijnen dan ook recreatieparken aan de zuidflank van het gebied. Tabel 2 geeft een samenvatting van de ontginningsactiviteiten vanaf de periode 1680-1700.

Tabel 2: Overzicht van ontginningsactiviteiten

Tijd	Kenmerken en ontginningsactiviteiten
1680-1700	Groot aaneengesloten veencomplex tussen Wisselse Veen en Tongerense Veen
1802-1812	Alleen flanksloten (sprengen; Paalbeek, Vlasbeek)
1832	Flanksloten om Dorpsche Veen (ontwatering dalbodemveen)
1850	Aanleg ontwatering bij Tongeren haaks op stromingsrichting
1900	Ontginning Dorpse Veen en aanleg detailontwatering zoals de Dorpse beek
1950	Bebossing resterende heide in flankzone
1975	Aanleg vakantieparken zuidzijde



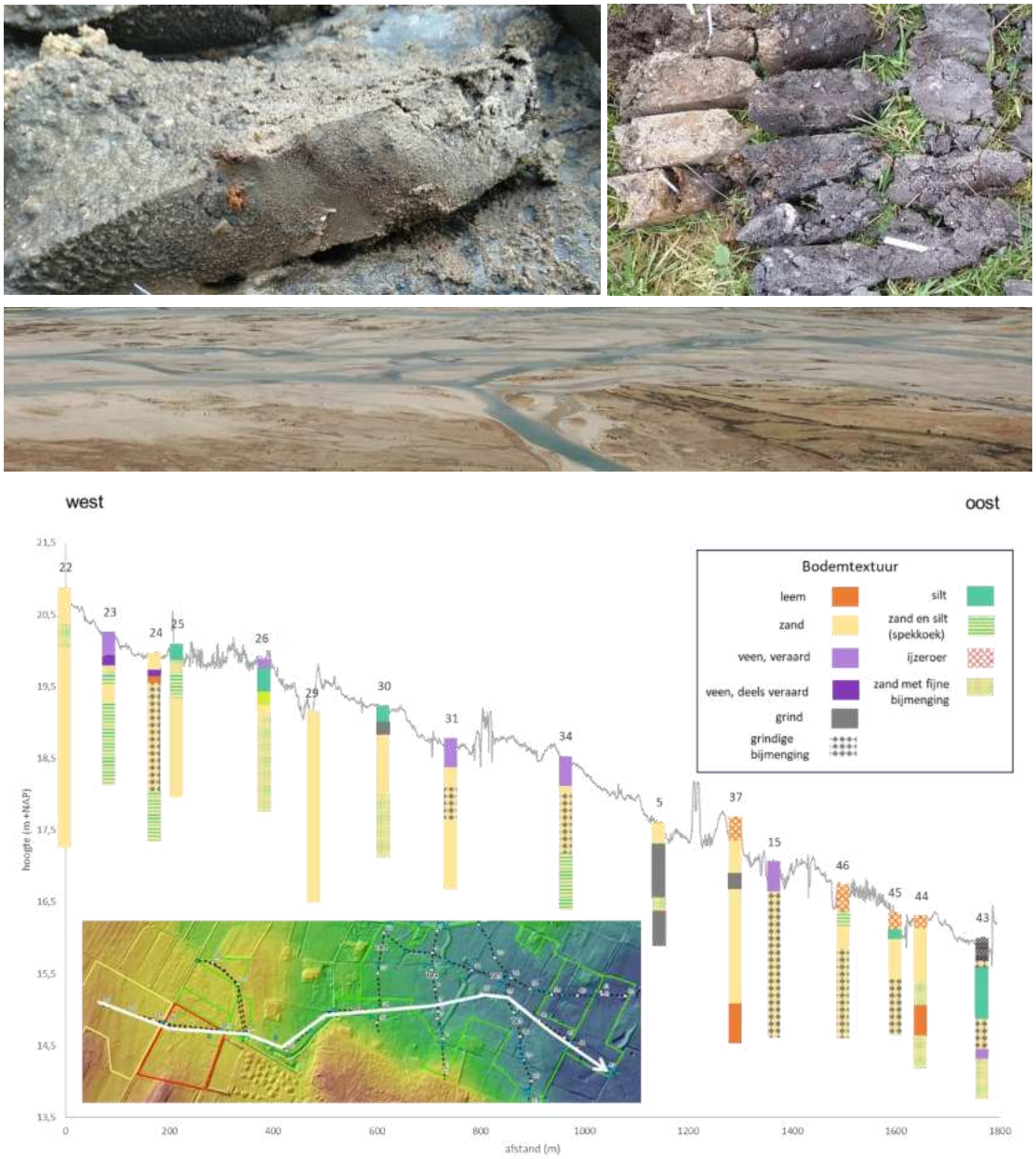
Figuur 29: Ontginningsgeschiedenis vanaf 1850, waarbij privatisering van gemeenschappelijke gronden en latere vererving heeft geleid tot een heel fijnmazige verkaveling en daarmee ook ontwatering van het gebied.

4.3 Geologie en bodem

4.3.1 Geologische afzettingen

De ondergrond in Tongerense Veen bestaat vooral uit smeltwaterafzettingen, die geologisch gezien worden gerekend tot formatie van Boxtel. Afhankelijk van de positie in het smeltwaterdal met vlechtende geulen (hogere of lagere dynamiek) is fijner of grover materiaal afgezet (grind, zand en silt). Figuur 30 toont de variatie in ondergrond aan de hand van een doorsnede van west naar oost door het gebied. Op enkele plekken zijn de siltige lagen zo massief, dat ze in de doorsnede als leemlagen zijn weergegeven (locaties 37 en 44).[21] Het kan zijn dat het hier gaat om scheefgestelde kleilagen door verstuwing, ook wel kleischotten genaamd (zie volgende paragraaf). Op de minerale ondergrond van zand, silt, leem en grind heeft zich veen gevormd (ook formatie van Boxtel, laagpakket van Singraven). Dat veen is plaatselijk verdwenen door verdroging en ontginning.

[21] Het verschil tussen klei en leem is dat klei door een rivier of zee is afgezet en leem door wind of smeltwater. De 'kleischotten' op de Veluwe betreffen verstuwde klei, geologisch gezien is het dan gebruikelijk om het leem te noemen. In voorliggende LESA is vervolgens silt en leem onderscheiden: leem is massiever, verkneedbaar, terwijl silt alleen goed smeerbaar is.



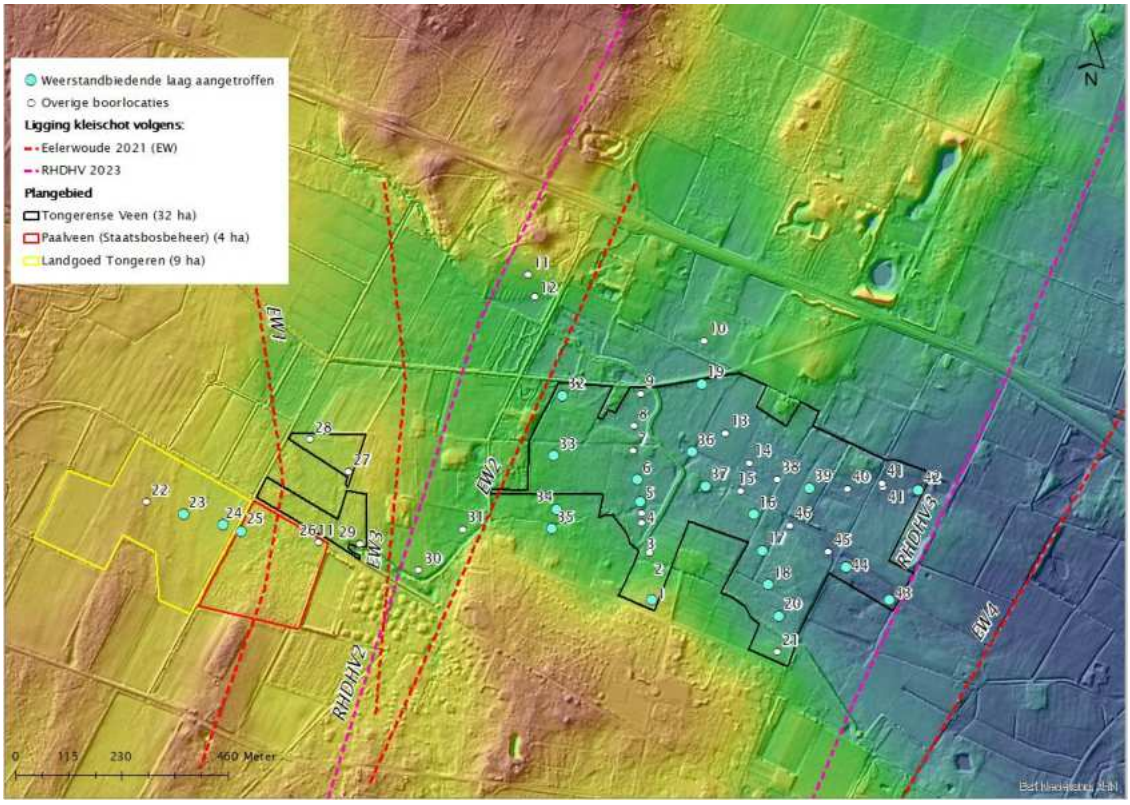
Figuur 30: De ondergrond in het gebied bestaat uit smeltwaterafzettingen (formatie van Boxtel), geïllustreerd aan de hand van een profiel van west naar oost door het gebied met per boorlocatie de verschillende bodemlagen. De foto's tonen een siltlaag (linksboven) grof zand en grind (rechtsboven) en de Lasa-rivier in Tibet als illustratie voor de wisselende afzettingen in smeltwatersystemen.

4.3.2 Kleischotten

De Veluwe bestaat uit scheefgestelde grondlagen doordat het ijs deze verstuwd heeft. Scheefgestelde klei- of leemlagen worden in de literatuur 'kleischotten' genoemd. Er zijn al verschillende onderzoeken gedaan naar de ligging van deze kleischotten, omdat ze relevant zijn voor het hydrologisch functioneren van gebieden, en voor de waterwinning. Royal HaskoningDHV deed dit voor de omgeving Tongerense Veen ten behoeve van de waterwinning bij Epe (Vitens) op basis van pompproeven, geofysisch onderzoek, peilbuisgegevens, lokale kennis en eerder gedane interpretaties van de locatie van

kleischotten.[22] Eelerwoude specificeerde op basis van fysieke waarnemingen en peilbuisanalyses de ligging, en toonde een tweetal extra kleischotten aan.[23]

Figuur 31 toont de locaties van de kleischotten volgens beide onderzoeken. Het is onzeker in hoeverre de kleischotten doorlopend zijn en of het beeld volledig is. Op meerdere plekken is tijdens de boringen van deze LESA silt of leem aangetroffen in de ondergrond (Figuur 31 en Figuur 32).[24] Dat zal deels zijn afgezet door smeltwaterafzettingen uit de laatste ijstijd, maar mogelijk zijn ze deels onderdeel van een kleischot. Boring 1 is bijvoorbeeld buiten het beekdal gelegen en vermoedelijk dus geen smeltwaterafzetting maar een verstuwde laag. Ondanks de geringe dikte heeft de laag invloed op de waterstand, te zien aan de roestverschijnselen rondom die laag in het bodemprofiel.



Figuur 31: Vermoedelijke ligging kleischotten volgens Royal HaskoningDHV (roze stippellijnen) en Eelerwoude (rode stippellijnen) (bron: Hanhart, 2021; Tijdeman et al., 2023). Labels bij de lijnen geven de codes aan die de onderzoekers hanteren. Stippen geven de boorlocaties weer uit voorliggende LESA, waarbij met blauw de locaties zijn geduid waar silt- of leemlagen zijn aangetroffen. Deze kunnen onderdeel zijn van een kleischot, of door smeltwater zijn afgezet.

[22] Tijdeman et al., 2023.

[23] Hanhart, 2014 en 2021.

[24] Het onderscheid tussen silt en leem is in voorliggende studie gemaakt op basis van de verkneedbaarheid van het materiaal. Silt is zeer fijn materiaal dat goed uit te smeren is, maar niet goed verkneedbaar zoals leem. Gezien de hoge waterstanden was het soms lastig om in het bodemprofiel onderscheid te maken.

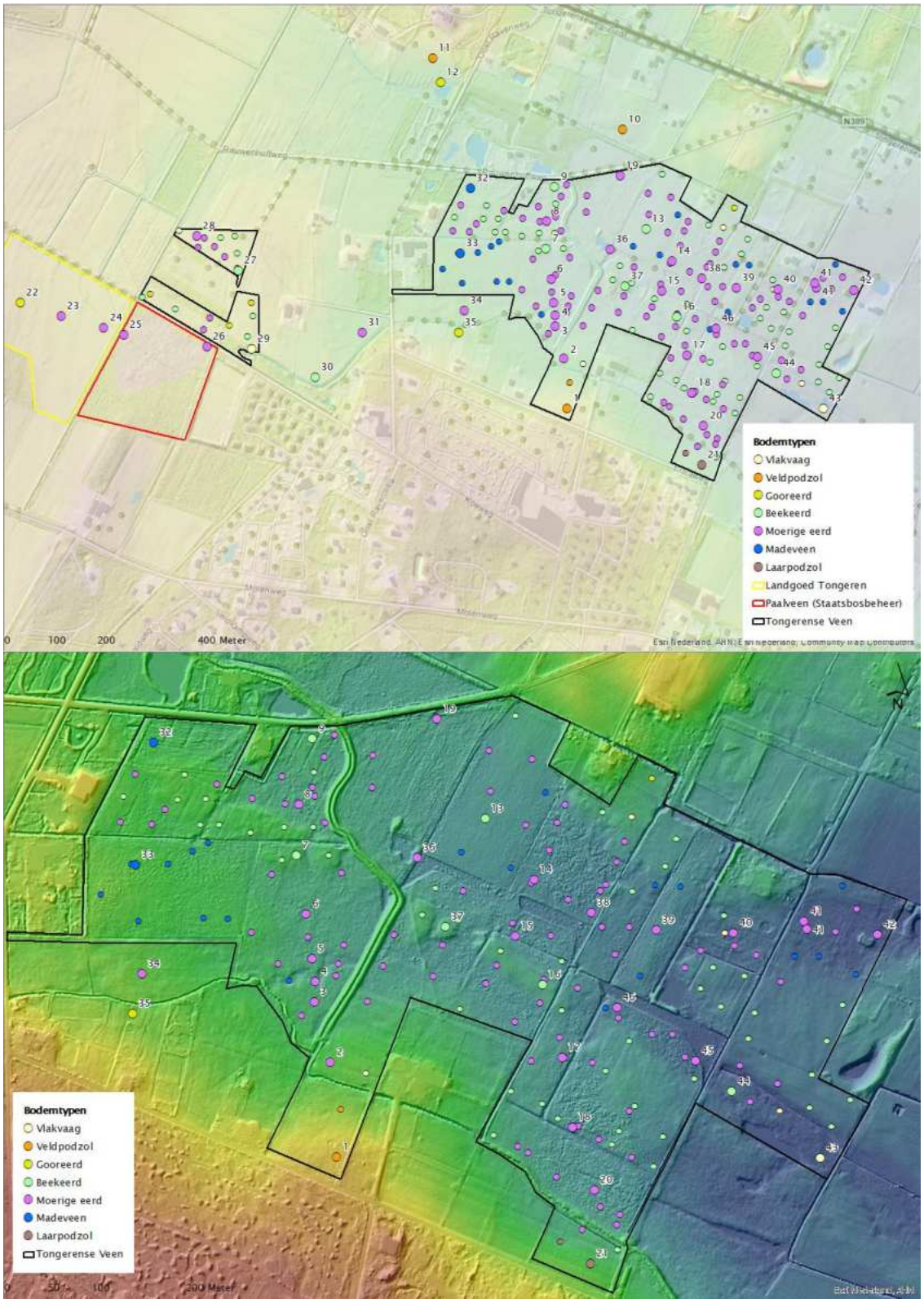
Figuur 32: Voorbeeld van de aangetroffen leemlagen, bij boring 1 (ten zuiden van het beekdal) en 20 (in het beekdal). Mogelijk zijn deze lagen onderdeel van een kleischot, vooral bij boring 1 (gezien de ligging buiten het smeltwaterdal).

4.3.3 Bodemtypen en -opbouw

Bodemtypen geven inzicht in de opbouw van de ondiepere ondergrond (<80 cm diepte). De hogere delen van het gebied bestaan uit zandgronden. Hierbij zijn veldpodzolgronden onderscheiden op de hoogste delen, gevormd zijn onder invloed van infiltrerend regenwater. Gooreerdgronden liggen op de overgang naar het beekdal waar het water lateraal door de bodem stroomt. Beekeerdgronden zijn gevormd onder invloed van ijzerrijk grondwater dat in de winter aan maaiveld staat. Plaatselijk heeft zich een ijzeroerbank gevormd in de bodem: verharde ijzerconcentraties die ontstaan door langdurige invloed van zeer ijzerrijk grondwater. Meestal bevatten plekken met een ijzeroerbank dieper of meer regionaal grondwater.

Het grootste deel van het gebied bestaat uit veengronden. Moerige eerdgronden hebben een dun veenpakket (<40 cm). Bij madeveengronden is het pakket dikker (>40 cm) en is de toplaag verdroogd. Rondom boring 33 is een zone aanwezig met zo'n relatief dik veenpakket, dit ligt in het voormalige Dorpse Veen (zie 4.2). Aannemelijk is dat het veenpakket in het hele gebied vroeger dikker is geweest, een deel is verdwenen door ontvening en verdroging. Wanneer in meer detail naar het centrale gebied wordt gekeken (Figuur 33 onder) is te zien dat het veengebied wordt gescheiden door een zandrug van west naar oost, via boorlocaties 7, 37, 16 en 44. Door inklinking van het veen is het hoogteverschil tussen deze zandrug en de omliggende veengronden scherp.[25]

[25] Ook aangegeven door direct aanwonenden die stellen dat deze ruggen voorheen nauwelijks zichtbaar waren.



Figuur 33: Bodemtypen op de boorlocaties in het totale gebied (boven) en ingezoomd op het centrale gebied van het Tongerense Veen (onder). De grote cirkels zijn van de diepe boringen t.b.v. de LESA (genummerd), de kleine van de ruimtelijke detailbodemkartering t.b.v. inrichtingsadvies.

4.3.4 Bodemchemie

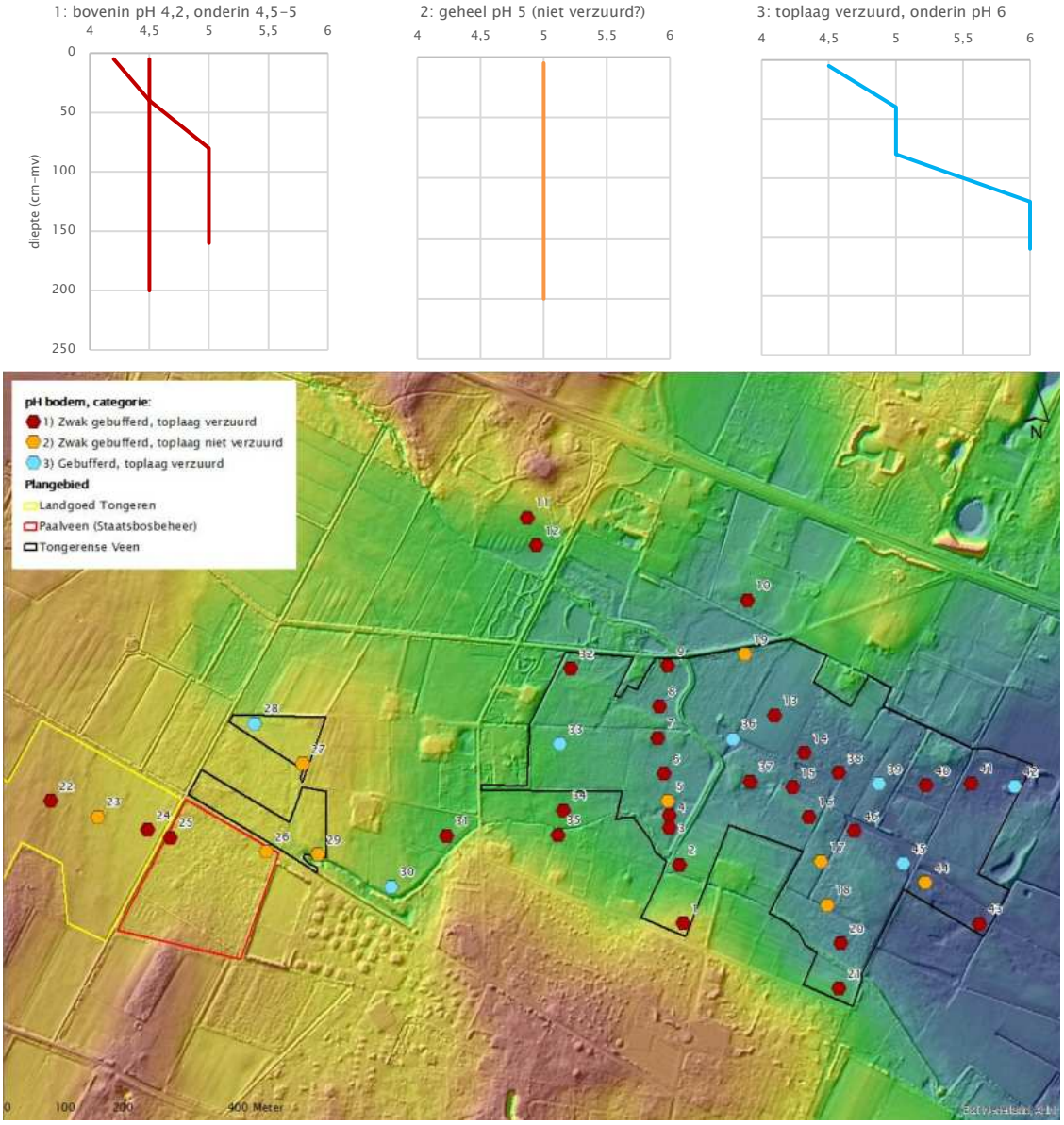
pH

Om inzicht te krijgen in de buffering van de bodem en de mate van verzuring, is op de onderzoekslocaties de pH-H_2O gemeten op verschillende diepten. De profielen zijn in drie categorieën verdeeld:

1) Zwak gebufferd (pH 4,5-5), waarbij de toplaag van de bodem, pakweg de bovenste 40 cm, is verzuurd (pH 4-4,5)
2) Zwak gebufferd, maar de toplaag is niet verzuurd
3) Gebufferd, met een pH van 5-6, waarbij overal de toplaag is verzuurd (pH 4-4,5)

Voorbeelden van de drie categorieën en de verspreiding over het plangebied zijn weergegeven in Figuur 34.

De bodem in het Tongerense Veen is overwegend zwak gebufferd. Vrijwel overal blijkt de toplaag van de bodem verzuurd. Dit is waarschijnlijk het gevolg van te droge omstandigheden, waardoor grondwater de toplaag onvoldoende kan bufferen, mogelijk in combinatie met bemesting uit het verleden. Op enkele plekken is de bodem sterker gebufferd, hoewel ook daar de toplaag verzuurd is. Dit zijn de lagere plekken in het landschap waar meer invloed is van gebufferd grondwater. Eén van die plekken is bij locatie 33, onderdeel van het voormalige Dorpse Veen, waar nu nog een relatief dik pakket met grondwatergevoed (rest)veen aangetroffen is.

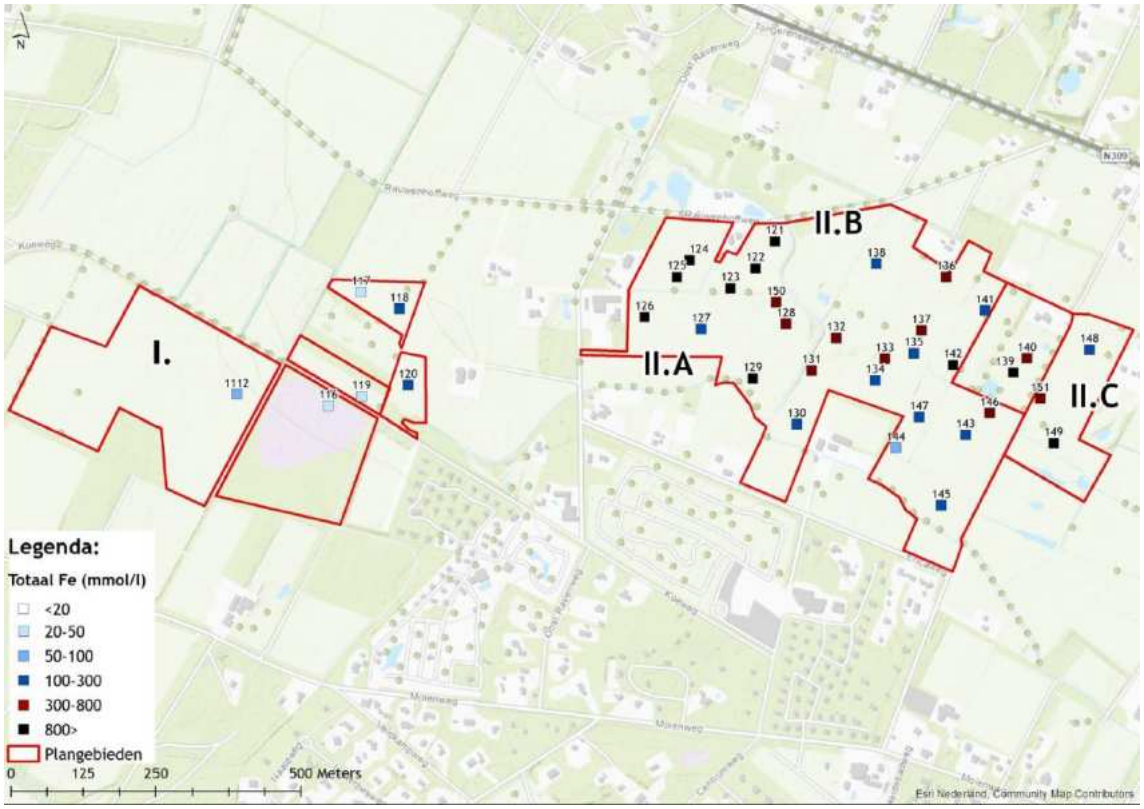


Figuur 34: pH-profielen van de ondergrond in drie categorieën verdeeld.

Bodemchemie (B-WARE)

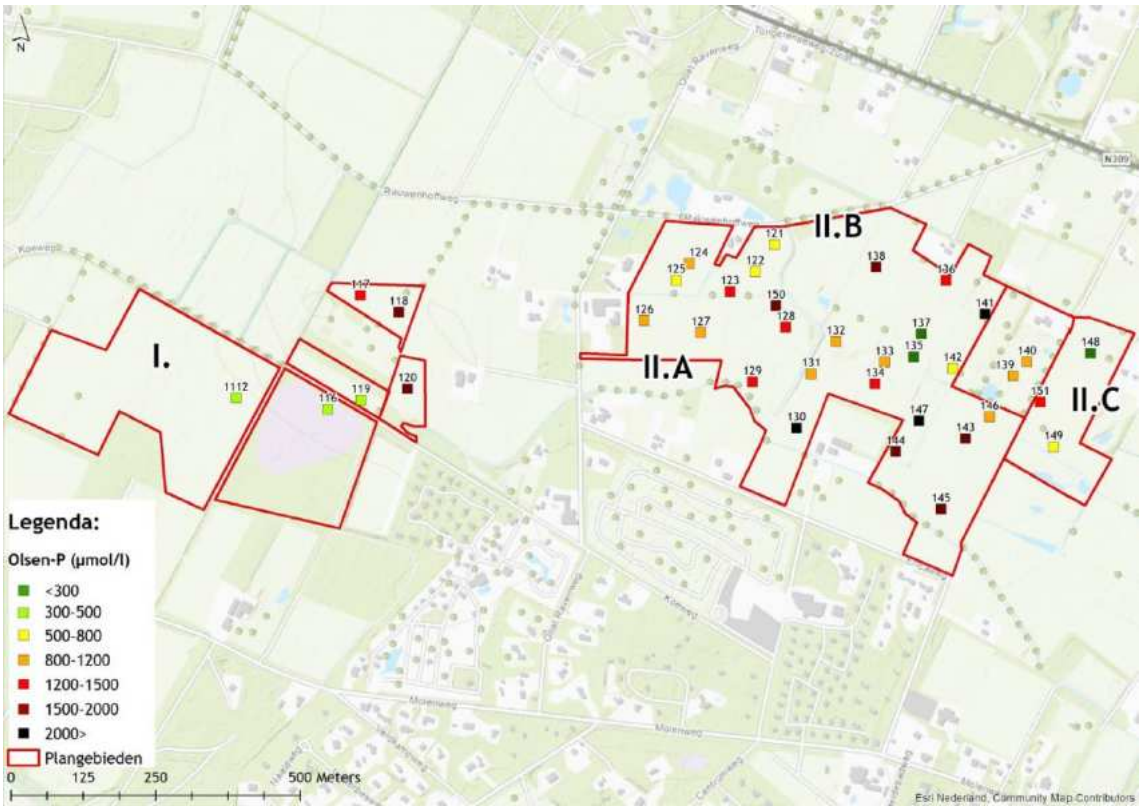
Onderzoekcentrum B-WARE heeft op een aantal locaties de bodem bemonsterd en geanalyseerd in april/mei 2023. De resultaten van de bodemchemische analyses zijn verwerkt in een rapportage door B-WARE, welke is opgenomen in Bijlage 1.[26] Enkele belangrijke resultaten zijn:

- De toplaag van de bodem is extreem ijzerrijk in het grote, centrale gedeelte van het gebied (deelgebied II in Figuur 35). Bij II.A is een zone aanwezig met zeer ijzerrijke bodems (>800 µmol/L), hier zijn eveneens hoge pH-waarden gemeten in de bodem (zie vorige paragraaf) en is een relatief dik veenpakket aanwezig.
- Het westen van het plangebied (deelgebied I) is minder ijzerrijk.
- De bodems zijn relatief beperkt verrijkt met fosfaat (Figuur 36). De concentraties nemen af in de diepte.
- De bodems zijn rijk aan calcium, waarbij de toplaag wat armer is als gevolg van verzuring.



Figuur 35: De ijzerconcentratie in de toplaag (totaal-Fe) (uit: Koning et al., 2023, zie ook Bijlage 1). De bodems in het plangebied zijn extreem ijzerrijk, met name in deelgebied II.

[26] Koning et al., 2023.

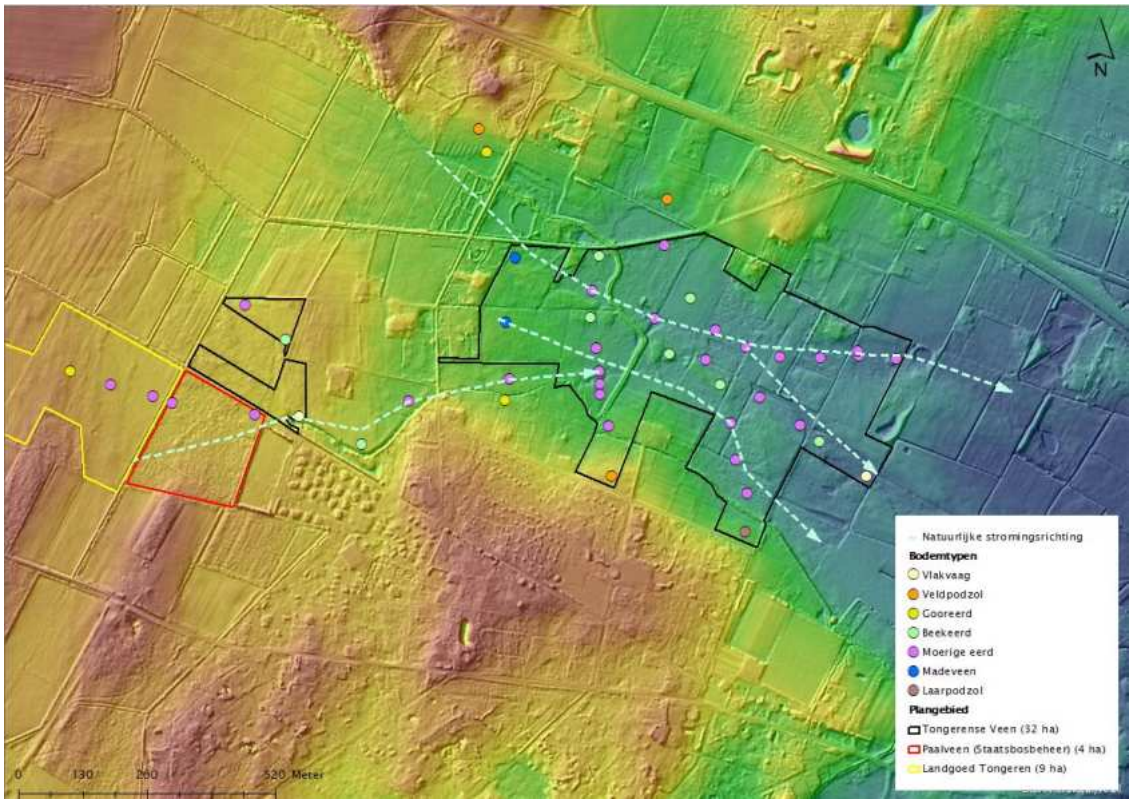


Figuur 36: De bodem is beperkt verrijkt met fosfaat (Olsen-P: voor planten beschikbaar fosfaat) (uit: Koning et al., 2023). In combinatie met de hoge ijzerconcentraties is dit gunstig voor ontwikkeling van voedselarmere natuur.

4.4 Hydrologie

4.4.1 Natuurlijke stromingsrichting

Uit de bodemtypen en het reliëf is af te leiden hoe het water van nature moet hebben gestroomd (Figuur 37). Het Tongerense Veen was een doorstroomveen met in het midden een west-oost-georiënteerde zandrug.[27] Het Paalveen en het Tongerense Veen zijn van elkaar gescheiden door een noord-zuid-georiënteerde zandrug (met de beekeerdgronden in Figuur 37. De Paalbeek is hier doorheen gegraven.



Figuur 37: Natuurlijke stromingsrichting op basis van bodemtypen en reliëf.

4.4.2 Watergangen

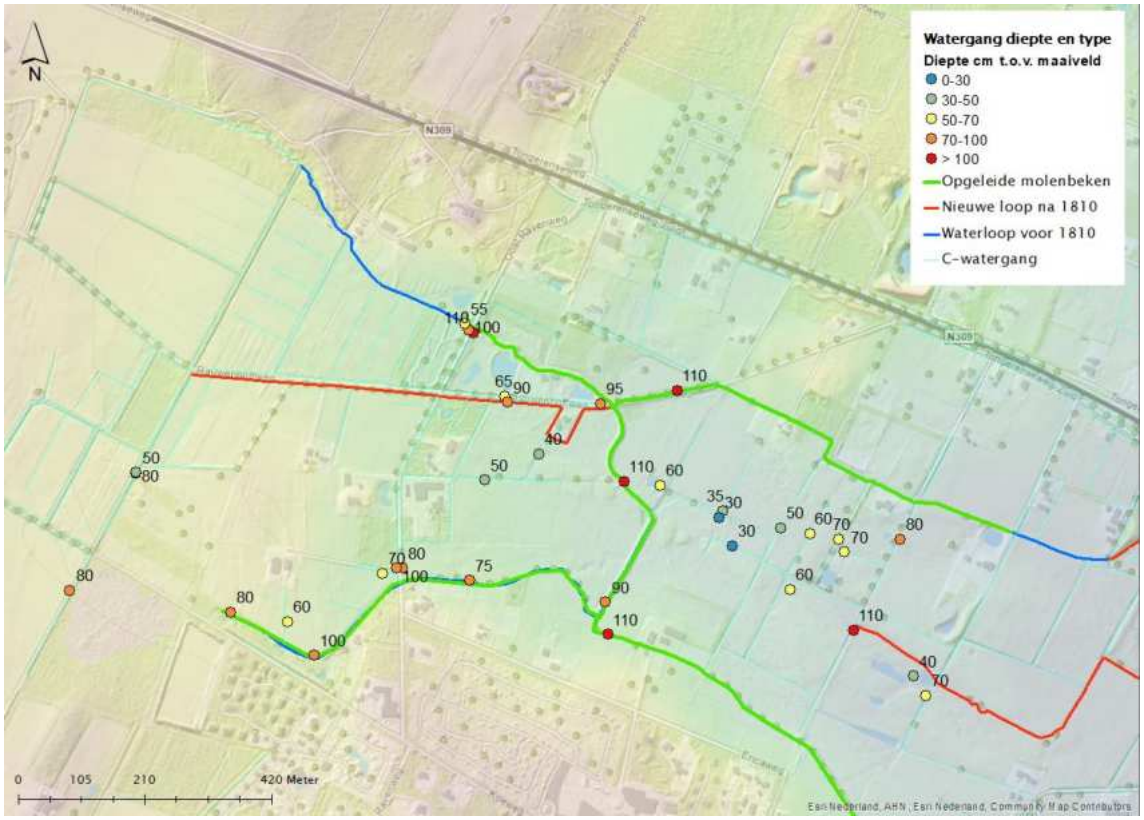
In de huidige situatie is het doorstroomveen onderbroken door watergangen (Figuur 38). De Vlasbeek en Paalbeek hebben aan de randen van het veen gelegen (zie 4.2).[28] Beide beken zijn opgeleid. Oorspronkelijk lagen ze hoger in het landschap dan de omgeving, waardoor ze weinig invloed hebben op de grondwaterstanden. Waarschijnlijk zijn ze in de afgelopen eeuw verder uitgediept om enerzijds de watervoerendheid te behouden en anderzijds de omgeving beter te kunnen ontwateren (Figuur 38 en Figuur 39). Op diverse trajecten zoals de bovenloop van de Paalbeek is de beek veel dieper uitgegraven dan de aantakkende sprengkoppen. De derde grote watergang in het gebied is de jongere Dorpse Beek langs de Rauwenhoffweg (Figuur 39), die grotendeels in het dal ligt en daarmee wel een sterk onttrekkende werking heeft. Daarnaast zijn veel greppels in het gebied aanwezig (C-watergangen op de legger van het waterschap.

---

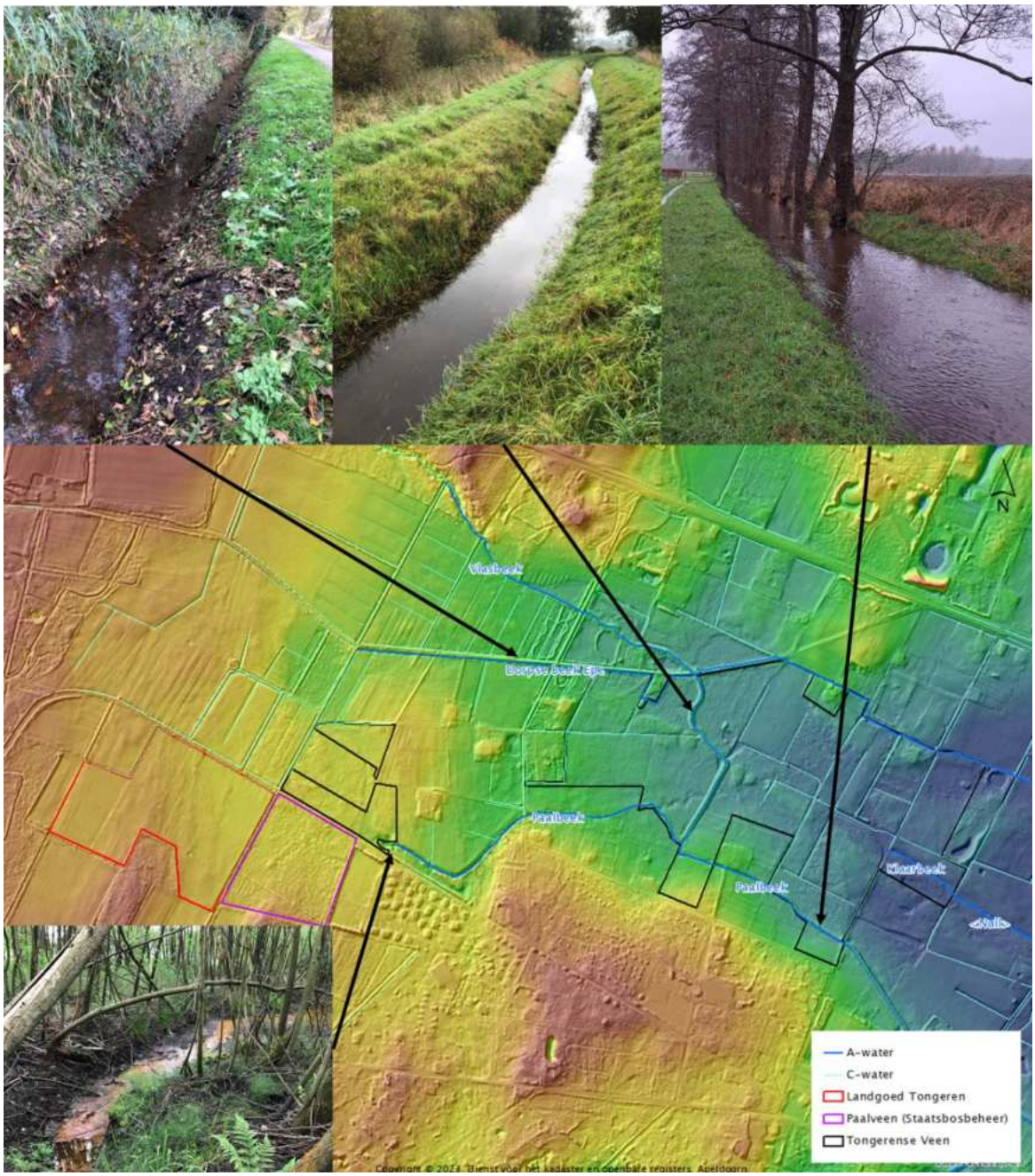
[27] Zie typologie Succow & Joosten, 2001.

[28] Laggzone is een Zweedse term voor de zone waarin het (hoog)veen overgaat in de minerale omgeving.

Deze greppels kunnen behoorlijke dimensies hebben, tot wel 1 m diepte (Figuur 38). Ze doorsnijden bovendien op diverse plekken de zandrug die van west naar oost door het gebied ligt.



Figuur 38: Diepte van de watergangen (insteek vanaf het talud tot de beekbodem) ten opzichte van maaiveld en het type watergang op basis van cultuurhistorie en ouderdom.

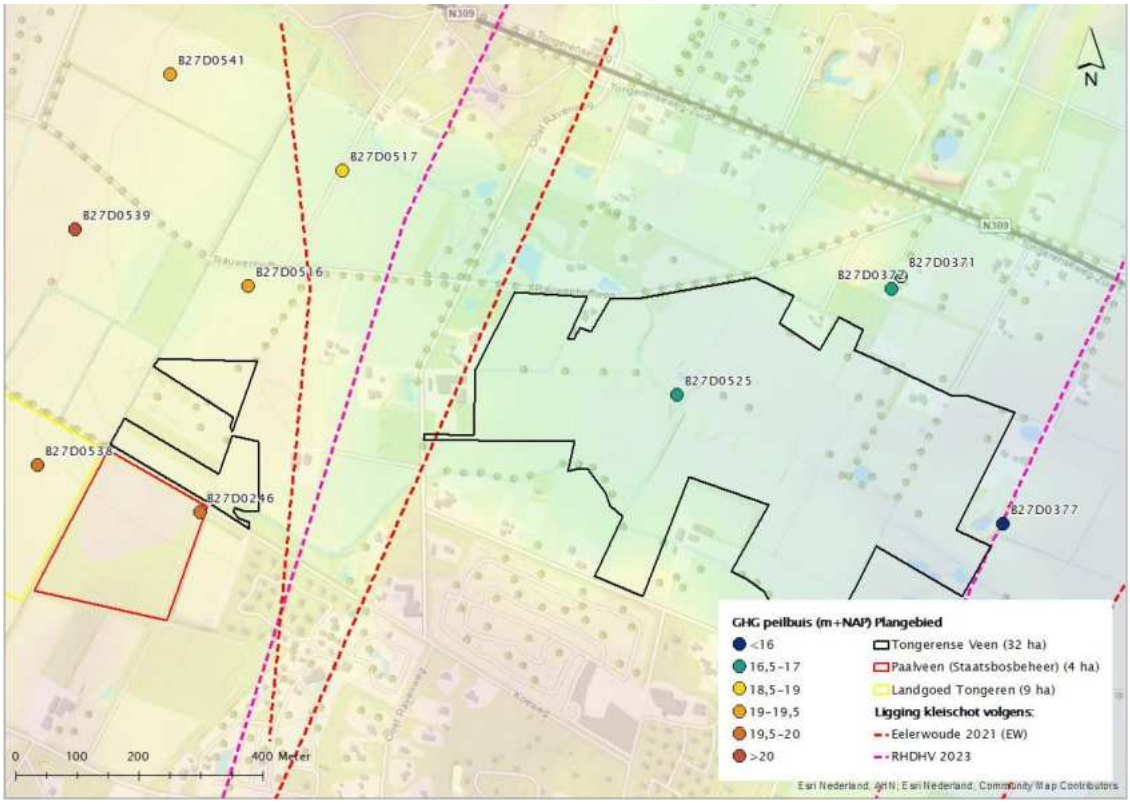


Figuur 39: Watergangen in het gebied (bron: legger watersysteem Waterschap Vallei & Veluwe).

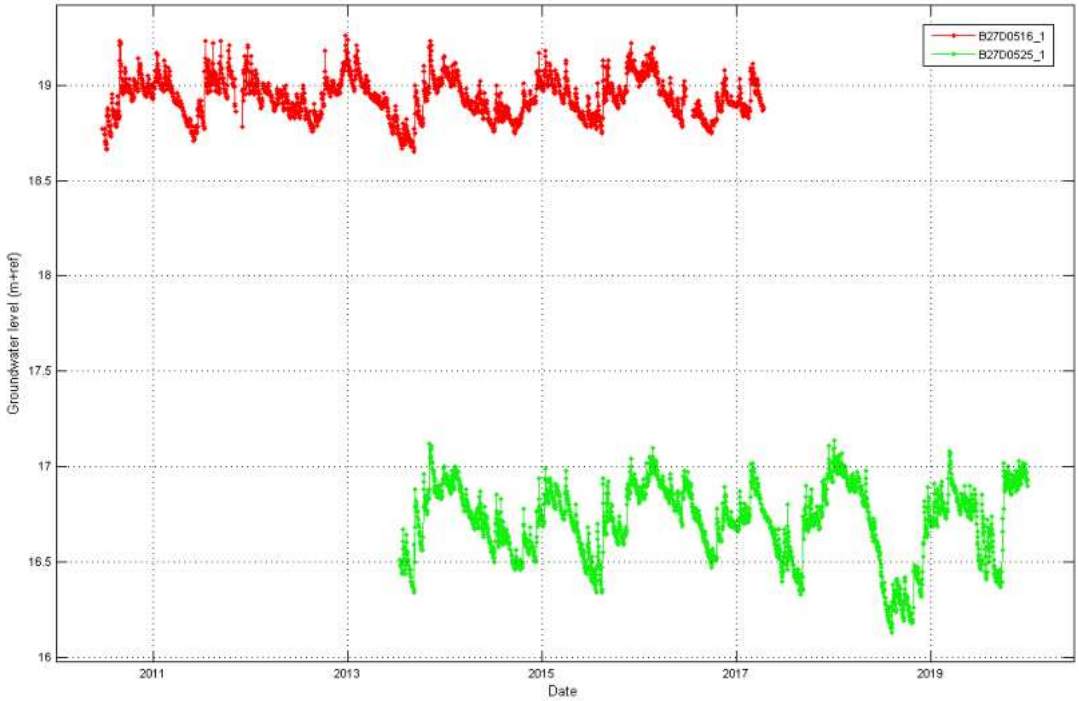
4.4.3 Effect kleischotten

Figuur 40 geeft de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) van de peilbuizen in het gebied. Alleen de peilbuizen een filterdiepte van <4 m-mv zijn meegenomen. De GHG is bepaald over de hele meetperiode, voor de ene buis is dit dus een langere periode dan de andere. Het overzicht is weergegeven in Bijlage 3.

Allereerst valt het grote verhang in waterstanden op: over een afstand van 1,5 km is het verschil 4 m. Wanneer de meetreeksen van peilbuizen aan beide kanten van een kleischot worden vergeleken, lijkt inderdaad het effect van de kleischotten zichtbaar. Figuur 41 toont een voorbeeld. De waterstand in de peilbuis ten westen is 3 m hoger dan in de peilbuis ten oosten van een kleischot, terwijl het verschil in maaiveldhoogte slechts 2 m is.



Figuur 40: GHG in peilbuizen (filterdiepte tot 4 m-mv; hele meetperiode) en globale ligging kleischotten volgens Hanhart (2021) en Tijdeman et al. (2023).

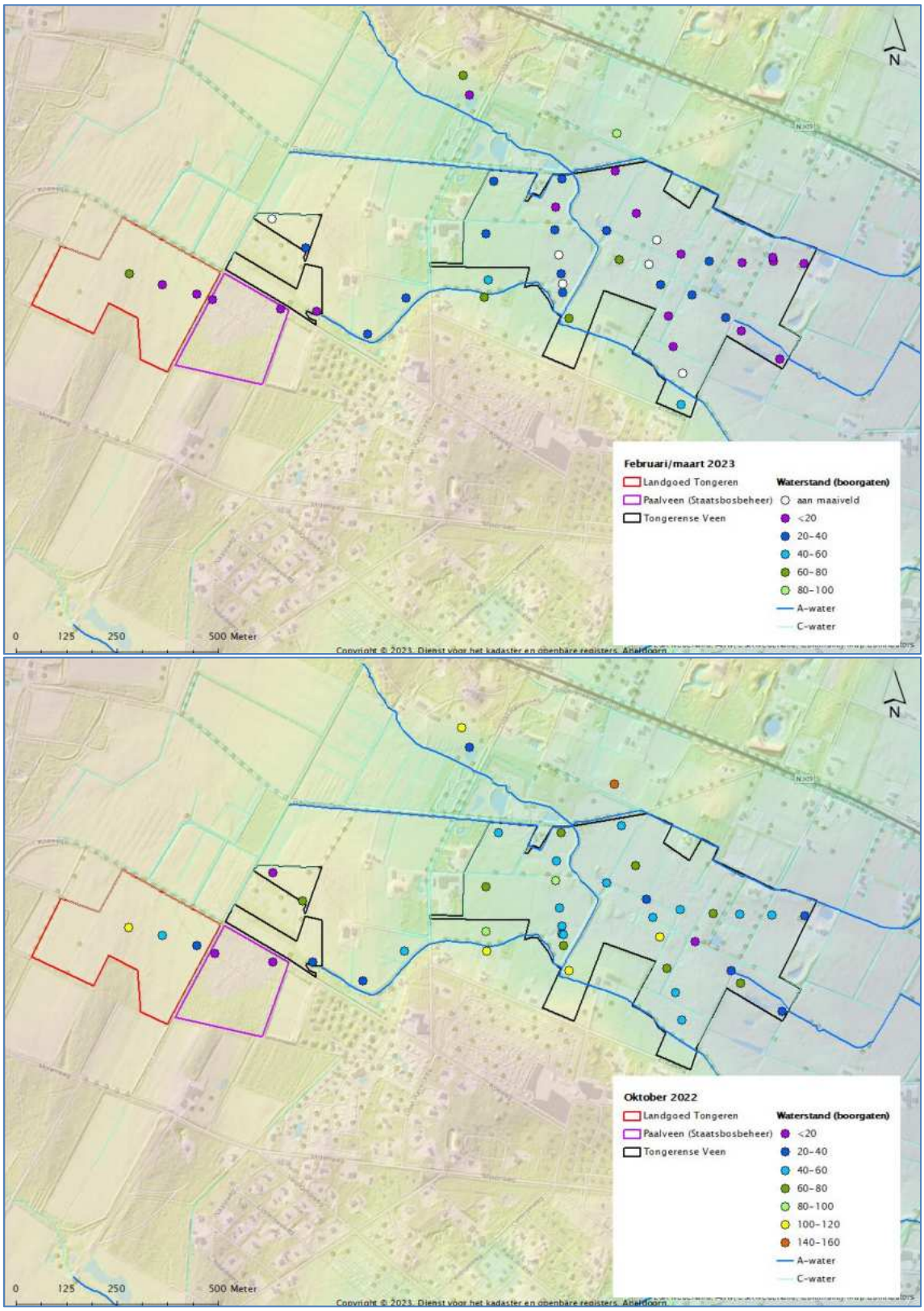


Figuur 41: Waterstand in peilbuizen ten westen en oosten van een of meerdere kleischot(ten). Het verschil is 3 m, terwijl het maaiveldhoogteverschil slechts 2 m is.

4.4.4 Waterstanden

De waterstanden in de boorgaten geven in aanvulling op de peilbuizen een ruimtelijk beeld van de waterstanden in het gebied (Figuur 42). In de winter van 2022-2023 stond in de lage delen van het gebied het water aan maaiveld of maximaal 40 cm-mv. Na de zeer droge zomer van 2022 waren de grondwaterstanden in de boorgaten nog steeds maar zo'n 60 cm-mv.[29] Op de hogere zandruggen in het gebied zijn de waterstanden lager. Opvallend is dat het Paalveen zowel in de winter als zomer waterstanden aan maaiveld had. Dit betekent dat seizoensfluctuaties niet tot uitdrukking komen in de stijghoogte en er in het Paalveen sprake moet zijn van diep grondwater. Vermoedelijk valt dit samen met de ligging van een kleischot ten oosten van het Paalveen (Figuur 40).

[29] De zomer van 2022 was zeer droog met 151 mm neerslag tegen een langjarig gemiddelde (1991-2020) van 260 mm. In de winter van 2022-2023 viel er relatief veel neerslag, 296 mm, vergeleken met het langjarig gemiddelde van 240 mm.

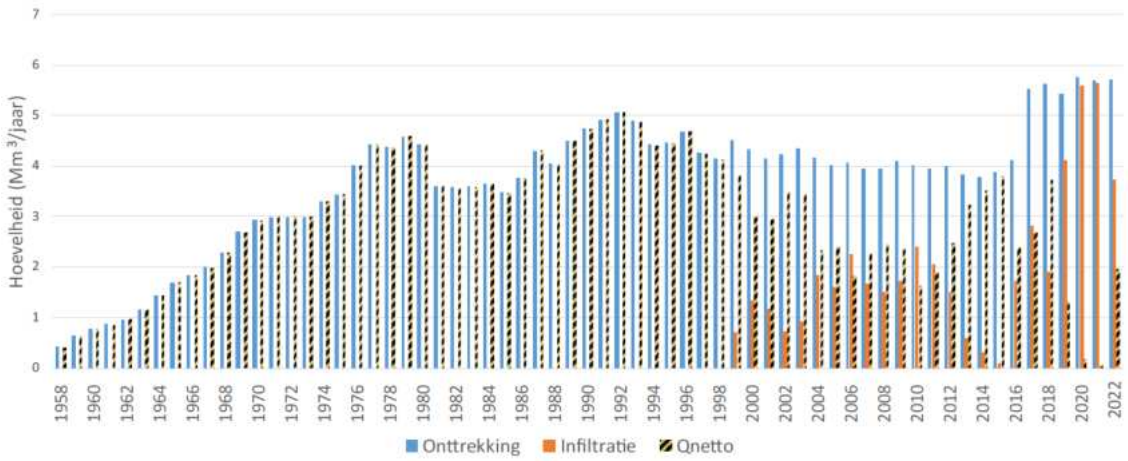


Figuur 42: Waterstanden in de boorgaten einde winter (boven) en einde zomer (onder).

4.4.5 Drinkwaterwinning Epe

Sinds 1958 wint Vitens drinkwater ten noorden van Epe (Figuur 44). Figuur 43 laat zien dat sindsdien de onttrekking geleidelijk toeneemt tot zo'n 4,5 miljoen m³ in 1980. Dat blijft redelijk stabiel tot 2015. Vervolgens neemt de winning toe tot zo'n 6 miljoen m³, wat tevens de vergunde en dus maximale hoeveelheid is.[30]

De waterwinning heeft een verdrogend effect op onder andere het Tongerense en Wisselse veen.[31] De winning en de natuurgebieden liggen in hetzelfde compartiment tussen twee kleischotten. De onttrekking heeft invloed op de waterstanden in het Tongerense Veen, de mate waarin hangt af van de mate waarin water kan worden geïnfiltreerd ter compensatie. Dit doet Vitens namelijk sinds 1998, door water uit de Klaarbeek omhoog te pompen en zo maximaal 2 miljoen m³ per jaar te infiltreren bij het waterwingebied. Sinds 2015 is het doel om de volledige onttrekking te compenseren, dus 6 miljoen m³. Dat is in 2020 en 2021 gelukt, in andere jaren niet vanwege droogte (Figuur 43).[32] Ter illustratie, in 2017-2018 was bij een netto onttrekking van zo'n 2,5 miljoen m³ (Figuur 43) de verlaging tot 56 cm (Figuur 44).[33] Bij toename van 2 naar 6 miljoen m3 infiltratie, is de verwachting dat de waterstanden in het Tongerense Veen tot zo'n 0,5-1 m kunnen stijgen.[34]



Figuur 43: Waterwinning Epe (Vitens) vanaf 1958. Vanaf 1998 wordt steeds meer water geïnfiltreerd ter compensatie van de effecten van de winning (bron: Tijdeman et al., 2023).

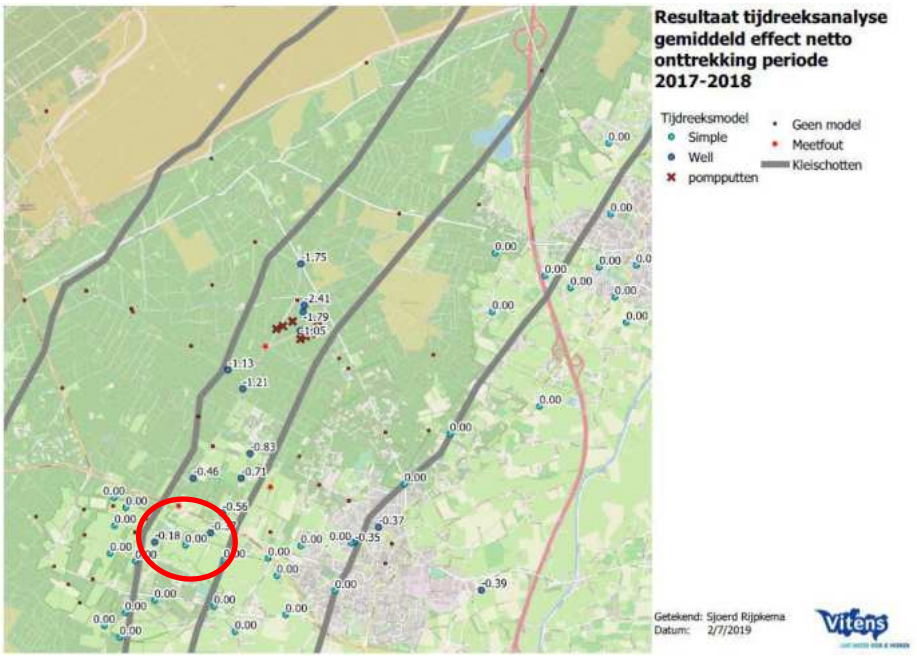
[30] Tijdeman et al., 2023.

[31] Van Engelenburg et al., 2012.

[32] Tijdeman et al., 2023.

[33] Opvallend is dat de peilbuis in het midden van het gebied (B27D0525) geen negatief effect laat zien. Hanhart (2021) wijt dit aan het feit dat deze peilbuis te dicht bij een onttrekkende beek ligt, waardoor de invloed van de waterwinning beperkt lijkt.

[34] Tijdeman et al., 2023.



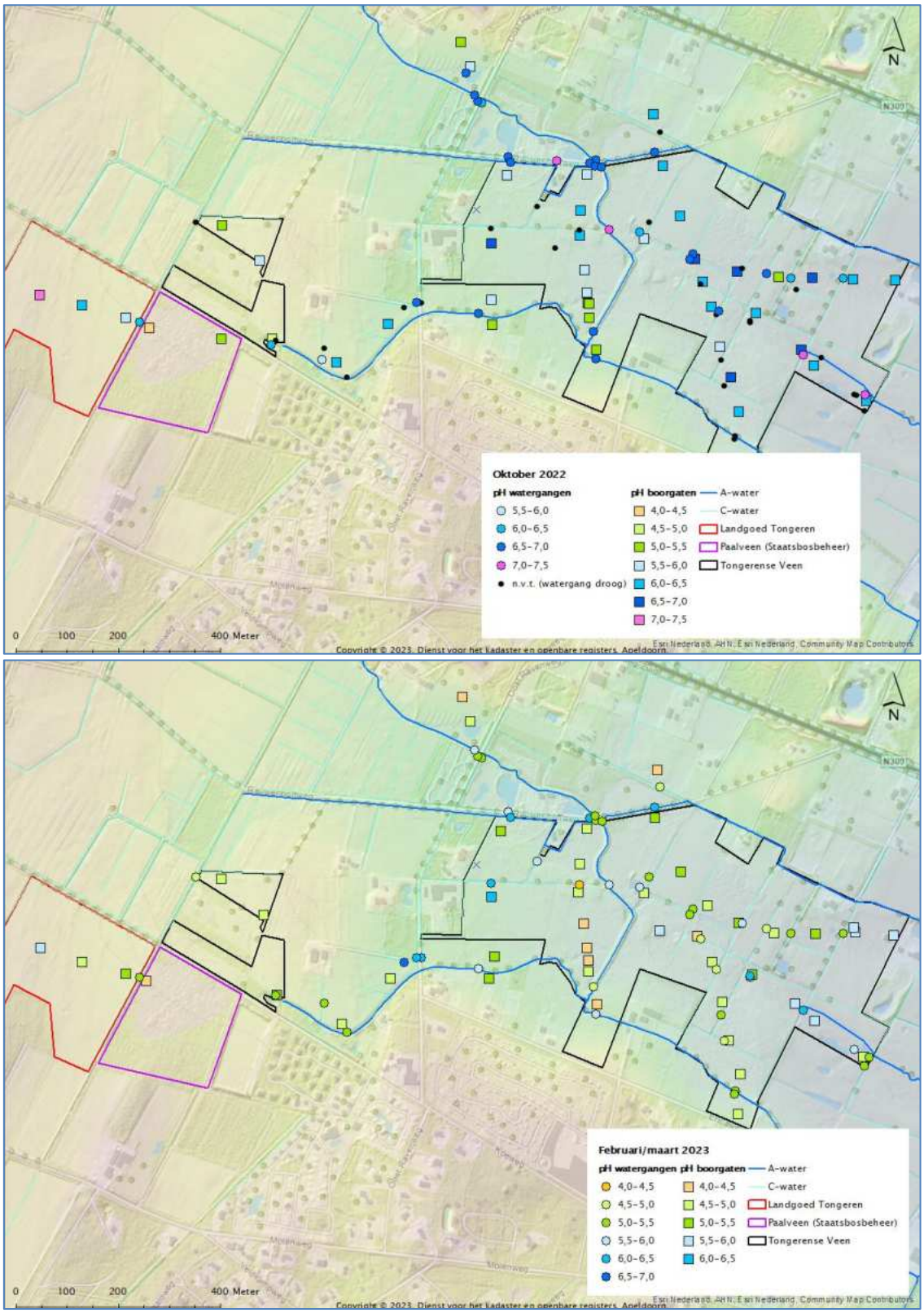
Figuur 44: Effecten netto onttrekking in 2017-2018 (bron: Hanhart, 2021; tijdreeksanalyses door Rijpkema, 2019). Globale ligging Tongerense Veen is rood omlijnd. Grijze lijnen tonen de kleischotten volgens Tijdeman et al., 2023.

4.4.6 Kwaliteit

pH

Einde zomer 2022 en einde winter 2023 is in de boorgaten en watergangen de pH-H_2O van het water gemeten langs de onderzoekstransecten (Figuur 45). De pH-waarden laten het volgende zien:

- De pH neemt toe richting het oosten en op de flanken is de pH lager dan in het dal. In het dal is meer invloed van gebufferd grondwater. Van origine was er vermoedelijk hoger in het systeem ook sprake van buffering (kwelhelling), maar is deze door ontwatering en ontvening versmald tot de dalbodem (zie 3.3.3.).
- Bij het Paalveen valt de scherpe grens op tussen hoge pH-waarden ten westen en de lage waarden in het Paalveen zelf. De watergang die ten westen van het Paalveen ligt, voert gebufferd grondwater af richting het noorden. Gebufferd water uit de ondergrond bereikt door de grenssloot het Paalveen niet meer, met verzuring als gevolg.
- De watergangen voeren water af met een hogere pH dan in het grondwater is gemeten: zie de Paalbeek, Dorpse Beek en greppels in het oosten van het gebied. Dit duidt erop dat deze watergangen grondwater afvangen dat daardoor niet meer aan maaiveld kan komen in de percelen.
- Einde winter zijn de pH-waarden vrijwel overal lager, door verdunning met regenwater. Met name net ten westen van de Vlasbeek is de pH laag (4-4,5). Dit duidt op stagnerend regenwater. Waarschijnlijk is de invloed van grondwater verminderd, en kan het regenwater niet goed afstromen over maaiveld vanwege de opgeleide Vlasbeek.



Figuur 45: pH van het water in boorgaten (ca 1-2 m diepte) en watergangen einde zomer 2022 (boven) en einde winter 2023 (onder).

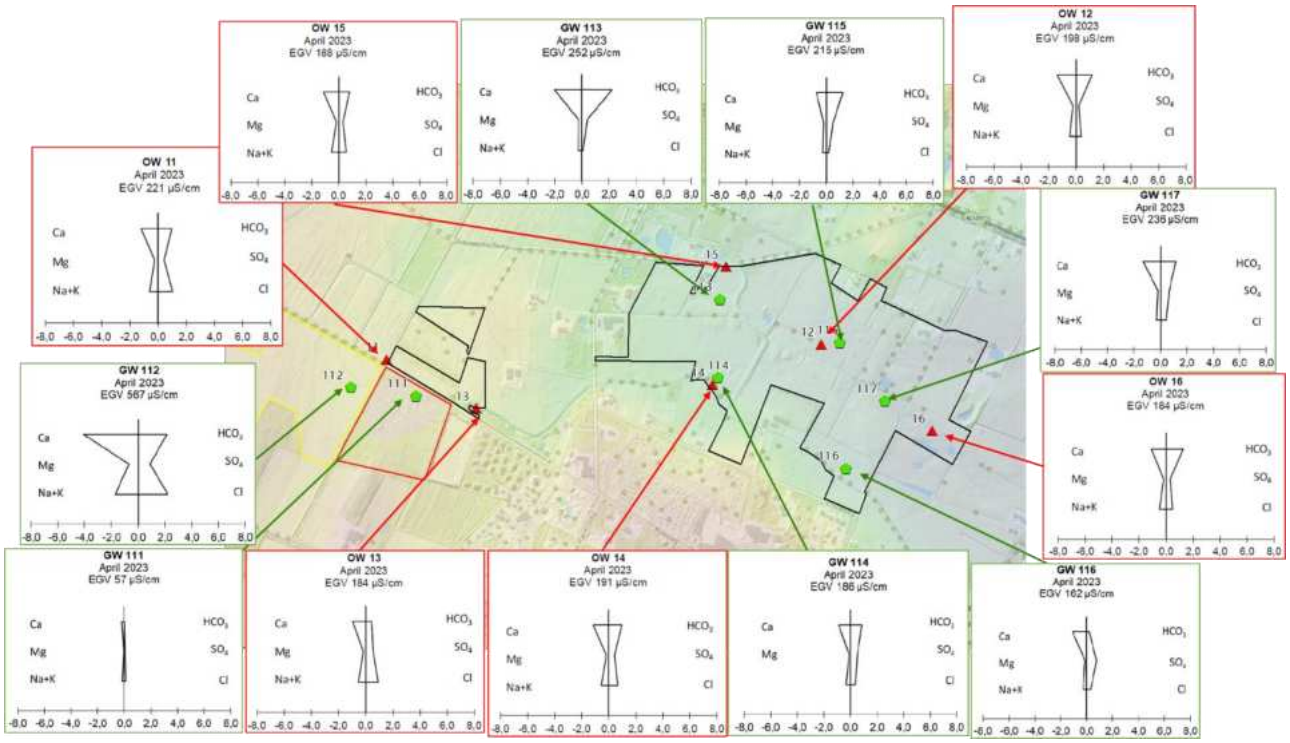
Buffering, voedselrijkdom (B-WARE)

Aanvullend op pH- en EGV-patronen analyseerde onderzoekcentrum B-WARE op een aantal representatieve locaties het oppervlaktewater (watergangen) en grondwater (boorgaten) in april 2023. De resultaten zijn verwerkt in een rapportage door B-WARE.[35] Zij maakten Stiff-diagrammen die een beeld geven van het watertype (buffering, vervuiling). In Figuur 46 zijn deze ruimtelijk weergegeven. Uit de rapportage van BWARE en de Stiffdiagrammen komt het volgende naar voren:

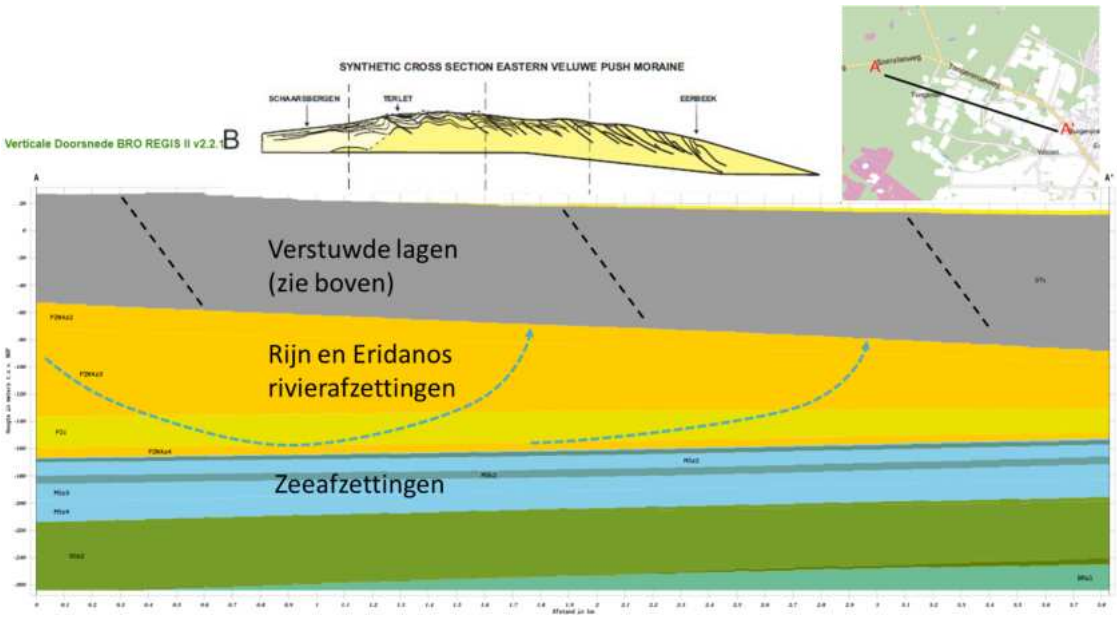
- Het grondwater op locaties 112 (landgoed Tongeren), 113, 115 en 117 (noordzijde Tongerense Veen) is gebufferd met 790-2203 µmol HCO_3^-/l. Dat uit zich in 'aambeeldvormige' Stiff-diagrammen.
- In het Paalveen (111) en langs de zuidkant van het gebied (114 en 116) is het grondwater minder sterk gebufferd met 41-874 µmol HCO_3^-/l. De Stiff-diagrammen zijn smal door de lage concentraties Ca en HCO_3.
- Opvallend is het verschil tussen het grondwater in het Paalveen en het perceel van landgoed Tongeren ten westen. Het gebufferde grondwater wordt afgevangen door de zuid-noord-georiënteerde watergang (OW11). Dit veroorzaakt waarschijnlijk ook de beperkte buffering in de sprengkop van de Paalbeek (OW13).
- De ijzerconcentraties zijn hoog, overal is de Fe/P-ratio hoger dan 1. IJzer immobiliseert fosfaat in natte natuurgebieden, en als er meer ijzer dan fosfor in het water zit, is dit gunstig voor ontwikkeling van voedselarme natuur.
- Het grondwater bevat weinig nitraat, hoewel op 112, 113 en 115 de ammoniumconcentratie verhoogd is. Op 112 (landgoed Tongeren) is ook de chlorideconcentratie sterk verhoogd. Dit lijkt niet door uitspoeling uit de bodem van het perceel te komen, gezien die relatief arm is aan fosfor en stikstof.
- Ook het oppervlaktewater heeft verhoogde sulfaat-, nitraat- en ammoniumconcentraties, op locaties 11, 13 en 14. De overige locaties hadden lage concentraties.

De (beperkt) verhoogde concentraties nitraat, sulfaat en ammonium in de zone Paalveen/Paalbeek en de sterk verhoogde chlorideconcentraties bij het perceel van landgoed Tongeren, zijn op twee manieren te verklaren. Mogelijk wordt het grondwater beïnvloed door landbouwactiviteiten bovenstrooms op landgoed Tongeren. Dit is echter niet aannemelijk, omdat het grondwater vanuit daar meer in noordoostelijke richting stroomt. De bodem in het perceel zelf is relatief schraal. Een andere factor die een rol kan spelen zijn de mariene afzettingen op grote diepte, die rijk zijn aan sulfaat, natrium en chloride en de kwaliteit van het grondwater kunnen beïnvloeden.

[35] Koning et al., 2023; Bijlage 1.



Figuur 46: Stiff-diagrammen van het grond- en oppervlaktewater.



Figuur 47: Het grondwater dat in het Tongerense Veen uittreedt, is mogelijk in aanraking geweest met zee-afzettingen, waardoor het water nu verhoogde sulfaatconcentraties heeft.

4.5 Vegetatie en flora

4.5.1 Vegetatie

Het gebied bestaat vrijwel geheel uit grasland en pitrusruigte (Figuur 48, alle groene en blauwgroene kleuren). Er zijn ook stukjes bos, water en vochtige heide (Paalveen) aanwezig (bruine, grijze en paarse kleuren). Vrijwel alle vegetaties zijn hoog opgaand, gesloten en vaak matig voedselrijk en matig soortenrijk.

Er zijn op vier plekjes associaties aanwezig in dit gebied: de andere vegetaties zijn minder goed ontwikkeld en bestaan uit rompgemeenschappen. Beter ontwikkelde vegetaties die er uit springen zijn de vochtige heide van het Paalveen r11Aa02a in het westen, een klein stukje veldrushooiland r16Aa02 in een heringericht perceel in het noorden en een stukje elzenbroekbos in het noordoosten.

De meest voorkomende typen zijn twee rompgemeenschappen van matig voedselrijk grasland: r16RG11 RG Grote vossenstaart en Echte koekoeksbloem en r16RG24 RG Gewoon reukgras. De rompgemeenschap r16RG08 RG Pitrus komt ook veel voor. De overige rompgemeenschappen komen alleen voor in (zeer) smalle overgangszones, onder meer een aantal rompgemeenschappen van matig voedselrijk grasland, van nitrofiele ruigtes, wilgenstruweel, elzenbroekbos en van watervegetaties. In de volgende paragrafen zijn de belangrijkste vegetatietypen verder toegelicht.

In Bijlage 4 is per vegetatietraject het vegetatietype, meest voorkomende soorten, bijzondere soorten, hoogte van de vegetatie, openheid, soortenrijkdom, kruidenrijkdom, voedselrijkdom en vocht opgenomen.

Legenda

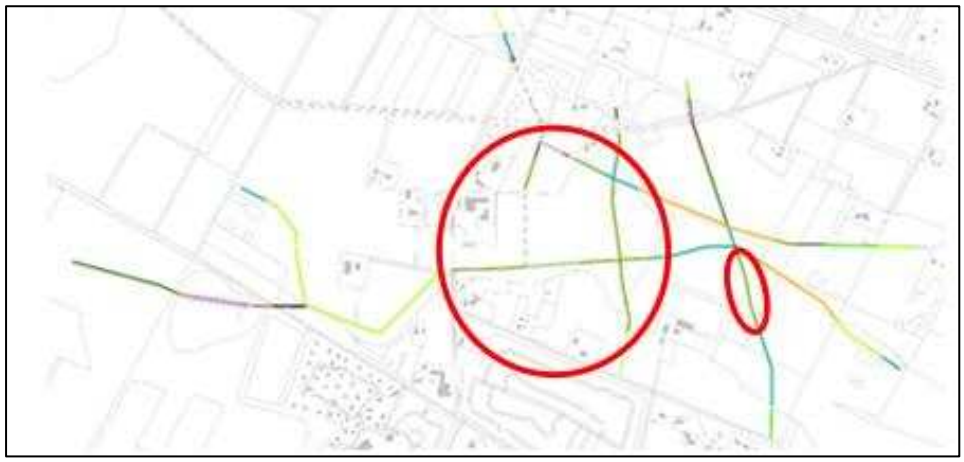
- A. r06RG03 - RG Duizendknoopfonteinkruid [Oeverkruid-klasse]
- B. r06RG06 - RG Veelstengelige waterbies en Veenmos [Oeverkruid-klasse / Klasse van de hoogveenslenken]
- C. r11Aa02a - Associatie van Gewone dophei; subassociatie met Veenmos
- D. r12RG01 - RG Fioringras [Zilverschoon-verbond]
- E. r12RG09 - RG Ruw beemdgras en Engels raaigras [Weegbree-klasse]
- F. r16A - Pijpenstrootjes-orde
- G. r16Aa02 - Associatie van Veldrus en Gevlekte orchis
- H. r16RG07 - RG Gestreepte witbol en Echte koekoeksbloem [Pijpenstrootje-orde]
- I. r16RG08 - RG Pitrus [Pijpenstrootje-orde/Zilverschoon-verbond]
- J. r16RG11 - RG Grote vossenstaart en Echte koekoeksbloem [Verbond van Grote vossenstaart/Dotterbloem-verbond]
- K. r16RG14 - RG Scherpe boterbloem [Kamgras-verbond/Weegbree-klasse]
- L. r16RG19 - RG Zachte dravik [Glanshaver-orde]
- M. r16RG23 - RG Gestreepte witbol en Engels raaigras [Klasse van de matig voedselrijke graslanden]
- N. r16RG24 - RG Gewoon reukgras [Klasse van de matig voedselrijke graslanden]
- O. r34RG01 - RG Grote brandnetel [Klasse van de nitrofiele ruigten]
- P. r39Aa - Verbond van de wilgenbroekstruwelen
- Q. r41RG01 - RG Grote brandnetel [Verbond van de wilgenvloedbossen en -struwelen]
- R. r42Aa - Verbond van de elzenbroekbossen
- S. r42Aa02 - Elzenzegge-Elzenbroek
- T. r42RG04 - RG Grote brandnetel [Verbond van de elzenbroekbossen]
- U. r42RG05 - RG Brede stekelvaren [Verbond van de elzenbroekbossen]
- V. r43RG01 - RG Wilde gagel [Verbond van de berkenbroekbossen]
- W. r43RG02 - RG Pijpenstrootje [Verbond van de berkenbroekbossen]
- X. r45Aa03b - Berken-Eikenbos; typische subassociatie

|||||||| Associatie

Figuur 48: Vegetatietypen langs de transecten.

r16RG11 RG Grote vossenstaart en echte koekoeksbloem

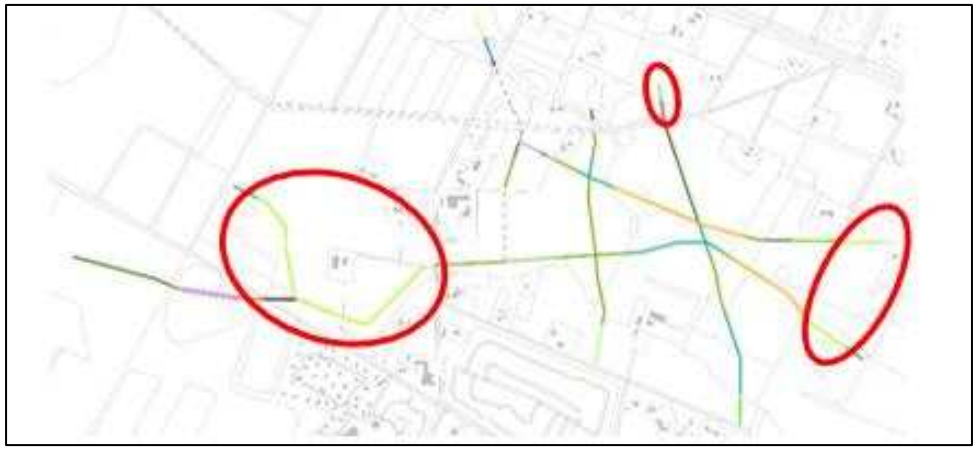
Dit type van vochtige standplaatsen komt met vrij grote oppervlakten in het centrum van het gebied voor, in het dal, waarschijnlijk op plekken die 's winters langer onder water staan (Figuur 49). De vegetatie is matig soortenrijk, met vooral algemene soorten, Grote vossenstaart is abundant. Echte koekoeksbloem is meestal niet aanwezig. Overige voorkomende soorten zijn: gestreepte witbol, scherpe en kruipende boterbloem, ruw beemdgras en veldbeemdgras.



Figuur 49: r16RG011 Grote vossenstaart en Echte koekoeksbloem.

r16RG24 RG Gewoon reukgras

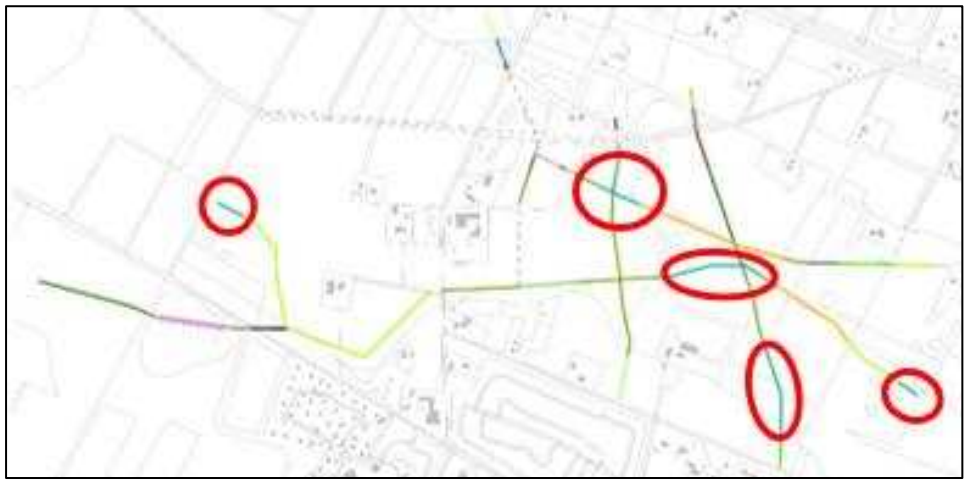
Ook dit type komt hier veel voor, met grotere oppervlakten, vooral op de wat hoger gelegen dalflanken (Figuur 50) Het type komt doorgaans voor op matig voedselrijke standplaatsen, wat droger dan de vorige twee typen. De vegetatie is matig soortenrijk, met vooral algemene soorten. Gewoon reukgras is dominant. Veel voorkomende soorten zijn gestreepte witbol (hoge bedekking), veldzuring, scherpe boterbloem, veldbeemdgras en pitrus.



Figuur 50: r16RG24 RG Gewoon reukgras.

r16RG08 RG Pitrus

Dit type komt verspreid voor, met soms vrij grote oppervlakten (Figuur 51). Het is een type van vochtige plekken met een wisselende waterstand, of waar stagnatie van water plaatsvindt, bijvoorbeeld door verslemping. Het type komt voor op plekken waar veraard veen is aangetroffen (moerige eerdgronden). Pitrus is dominant. Andere voorkomende soorten zijn gestreepte witbol, fioringras, ruw beemdgras, kruipende boterbloem, veldzuring en moerasrolklaver. In de overige vegetatietypen is meestal ook wel pitrus aanwezig, maar niet dominant.

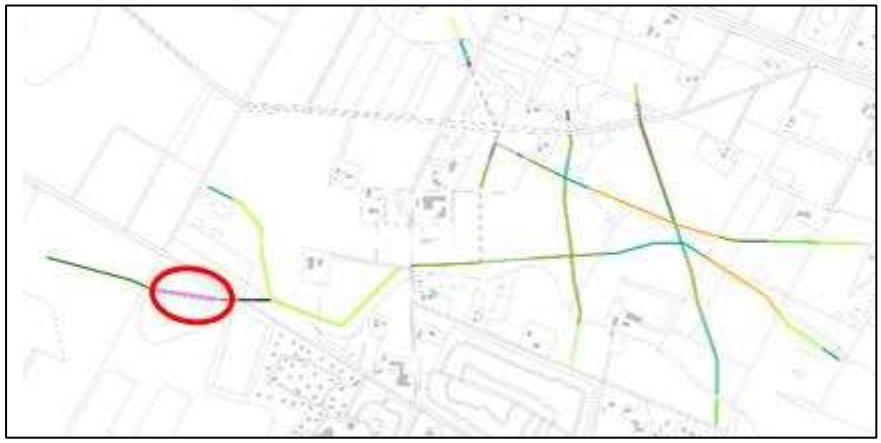


Figuur 51: r16RG08 RG Pitrus.

Paalveen

Het Paalveen bestaat uit vochtige, zure veenmosrijke heide r11Aa02a met bruine snavelbies, kleine zonnedauw, beenbreek, blauwe zegge en wilde gagel (Figuur 52). Aan de westrand is ook een plek met galigaan aanwezig. Dit is een zeldzame soort van afstromend, gebufferd water, die vermoedelijk nog lang kan standhouden nadat de buffering al is verdwenen. Vegetaties van deze soort behoren tot de Galigaan-associatie r8Bd1. In de aan de hei grenzende sloten is sterrenkroos aanwezig, hetgeen wijst op gebufferd water in de sloot. In het hei zijn veenputjes aanwezig waarin de rompgemeenschap van Veelstengelige waterbies r6RG6 voorkomt.

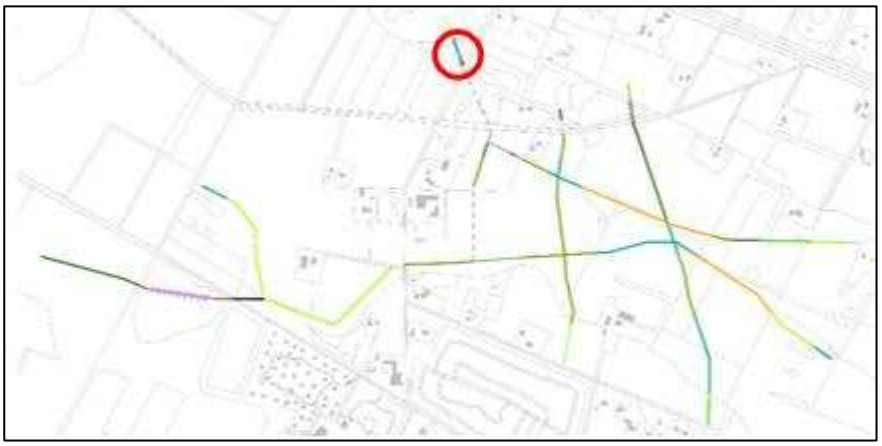
Ten noorden van het Paalveen ligt een aangrenzend soortenrijk grasland met onder meer moerasviooltje en moeraskartelblad, soorten van r9Aa Verbond van Zwarte zegge.



Figuur 52: Paalveen. Boven: overzicht. Linksonder: veenputje met veelstengelige waterbies. Rechtsonder: gagelstruweel langs de rand.

Veldrushooiland/kleine zeggenvegetatie

Deze smalle zone, ontstaan door herinrichting, bevat een gradiënt van veldrushooiland (r16Aa02 Associatie van veldrus en Gevlekte orchis) naar kleine zeggenvegetatie (r9Aa03 Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge) (Figuur 53). Deze vegetatie komt voor op natte, humeuze tot venige zandgrond, liefst met ondiep, afstromend grondwater. Bijzondere soorten zijn hier veldrus, sterzegge, zompzegge, echte koekoeksbloem en wateraardbei.



Figuur 53: Perceel met veldrushooiland/kleine zeggenvegetatie.

Wilgenstruweel en elzenbroekbos rompgemeenschappen

De stukken bos en struweel liggen vooral aan de oostkant van het gebied (Figuur 54). Het wilgenstruweel r39Aa heeft zich ontwikkeld in de uitgegraven “bakken” in het terrein. Het is een dicht struweel van voornamelijk grauwe wilg en zwarte els, heel nat, met een ondergroei van vooral holpijp.

Het elzenbos r42Aa is meestal matig ontwikkeld en verdroogd, soms met ruw beemdgras en gladde witbol, soms RG Grote brandnetel. Op één locatie is het nat en beter ontwikkeld.

Figuur 54: Wilgenstruweel.

Figuur 55: Beter ontwikkeld Elzenbroekbos.

4.5.2 Flora

De soorten van kwel staan vrijwel uitsluitend in de sloten en slootkanten (Figuur 57). Het betreft langs de transecten: holpijp en bosbies en elders in het gebied (uit de NDFF): klimopwaterranonkel, gewone dotterbloem en bospaardenstaart. Deze soorten komen vooral voor in het dal, waar de grondwaterinvloed het hoogst is.

De soorten van vochtig-nat en voedselarm (niet specifiek zuur- of basenminnend) staan vooral in het Paalveen plus het aangrenzende grasland ten noorden daarvan en in het heringerichte veldrushooilandje (Figuur 58). Ook komen ze voor op enkele natte plekken elders. Het betreft een aantal minder algemene soorten als duizendknoopfonteinkruid, moerasviooltje, wilde gagel en wateraardbei (Figuur 56) en een aantal algemenere soorten als blauwe zegge, veenpluis, veldrus en snavelzegge. Vanuit de NDFF wordt daaraan nog moeraskartelblad toegevoegd, in het grasland ten noorden van het Paalveen. Verder geven de waarnemingen uit de NDFF hetzelfde beeld.

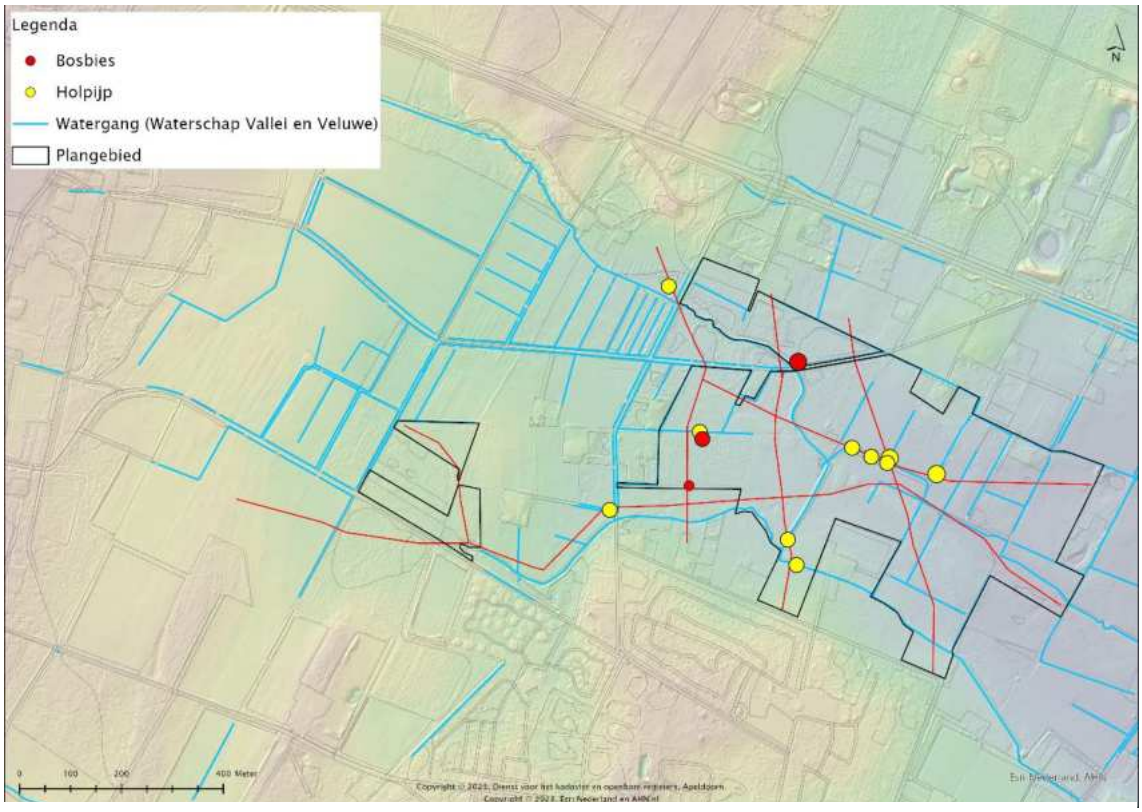
Soorten van vochtig-nat, voedselarm en zwak gebufferd tot basenrijk komen weinig voor. Het betreft uitsluitend galigaan in het Paalveen en sterrenkroos in de sloten en slootkanten (Figuur 59).

Figuur 56: Wateraardbei (linksboven), sterzegge (rechtsboven) en brandnetelruigte (onder).

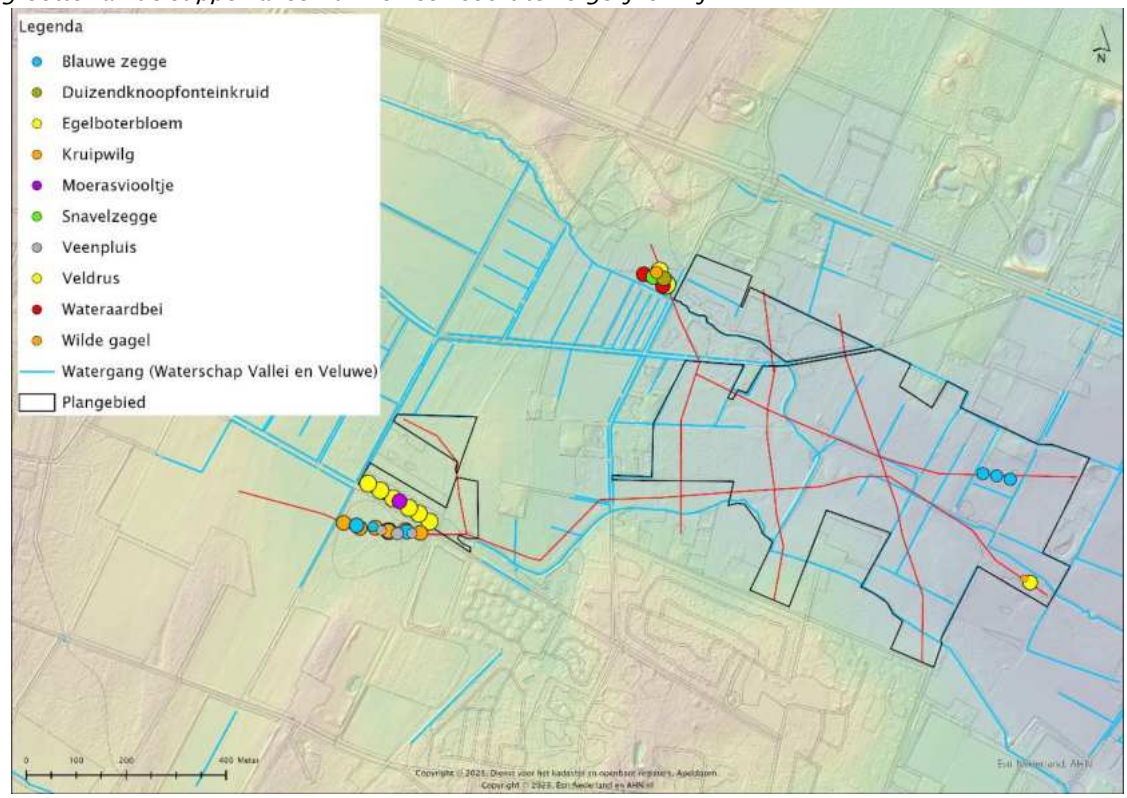
Soorten van vochtig-nat, voedselarm en zuur komen vrijwel uitsluitend voor in de twee natuurpareltjes: in het Paalveen plus aangrenzend grasland ten noorden en in het heringerichte veldrushooilandje (Figuur 60). Deze soorten komen voor op de plekken met stagnerend (regen)water. Het betreft de soorten moerasstruisgras, moerasvaren, sterzegge (Figuur 56), zompzegge, haakveenmos, fraai veenmos en waterveenmos. De NDFF geeft voor het Paalveen ook nog aan: beenbreek, bruine snavelbies en kleine zonnedauw.

Vochtindicatoren die beter bestand zijn tegen voedselrijkdom (vochtig-nat en voedselrijk) komen wel in de percelen voor, vooral pinksterbloem en geknikte vossenstaart (Figuur 61). Zij geven een ontwikkeling aan van intensiever naar extensiever beheerde graslanden.

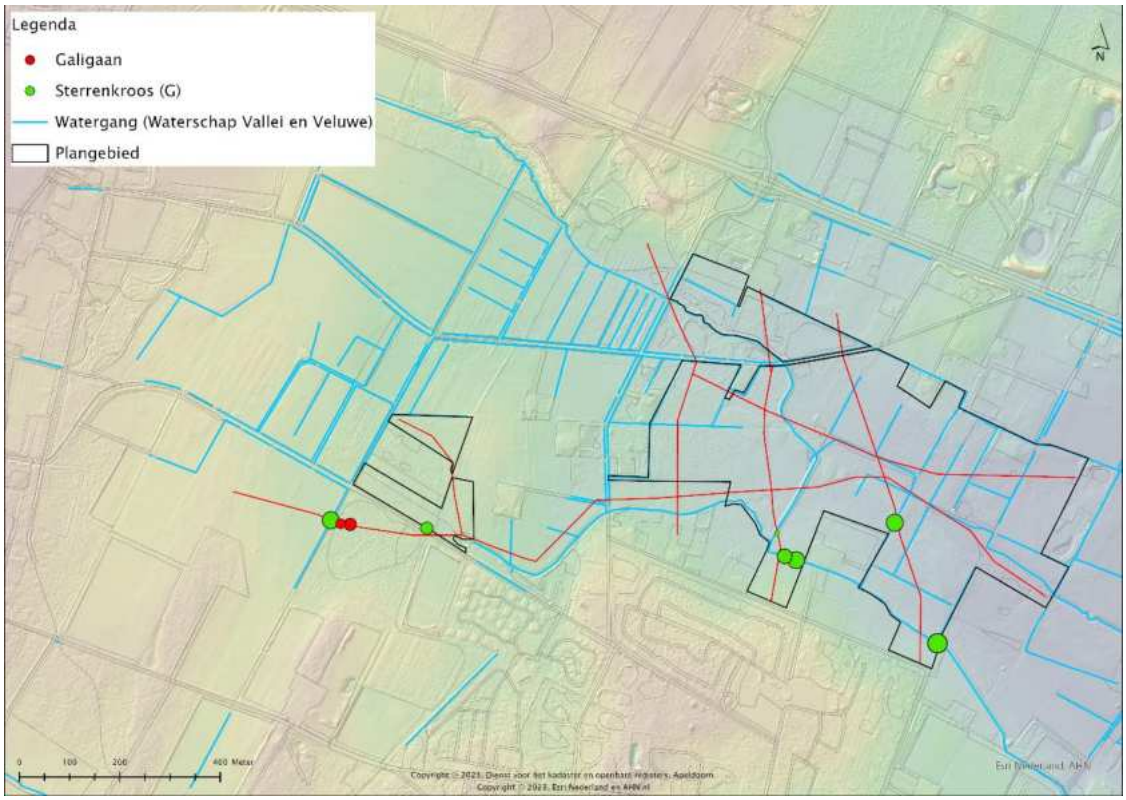
Soorten van verruiging zijn hier en daar aanwezig: er zijn meerdere plekken met de rompgemeenschap Pitrus, waar pitrus dominant is (Figuur 62). Grote brandnetel is niet veel aanwezig, met uitzondering van één strook brandnetelruigte tussen twee stukken elzenbroekbos (Figuur 56). Overige storingssoorten zijn niet dominant.



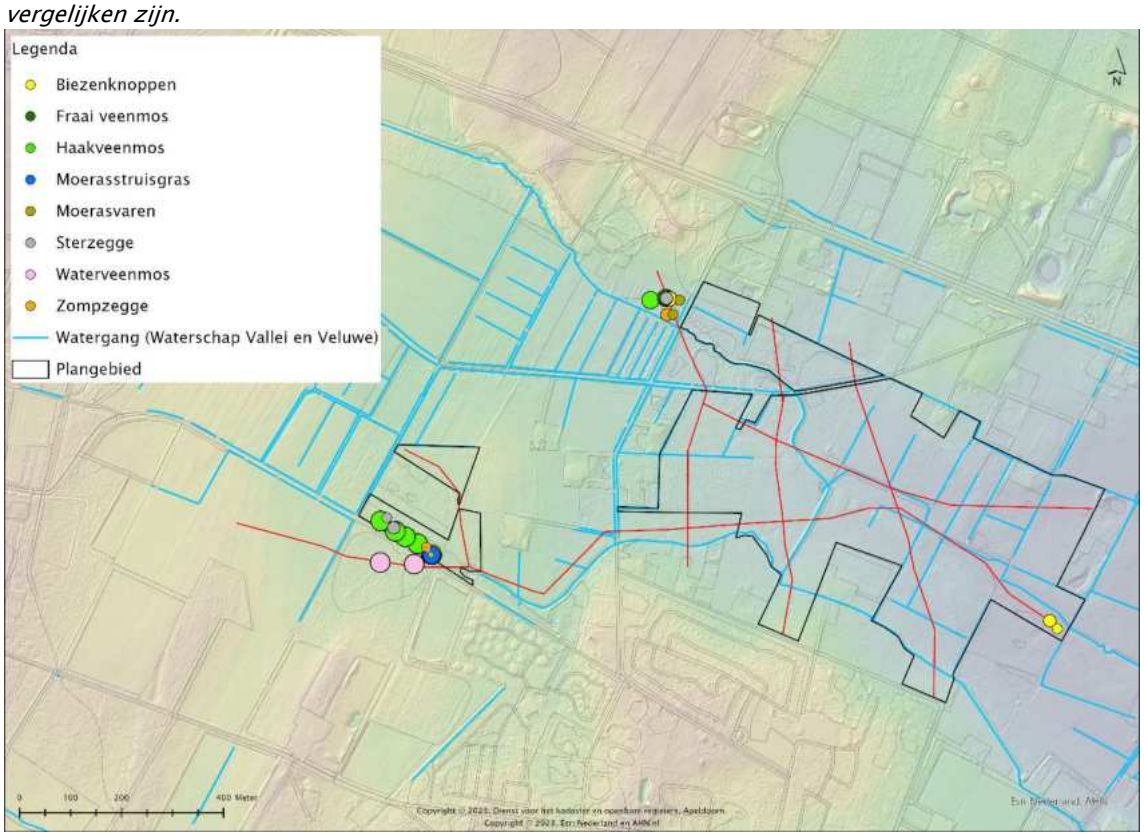
Figuur 57: Soorten van kwel. Hoe groter de stip, hoe meer individuen er zijn waargenomen, waarbij de grootte van de stippen alleen binnen een soort te vergelijken zijn.



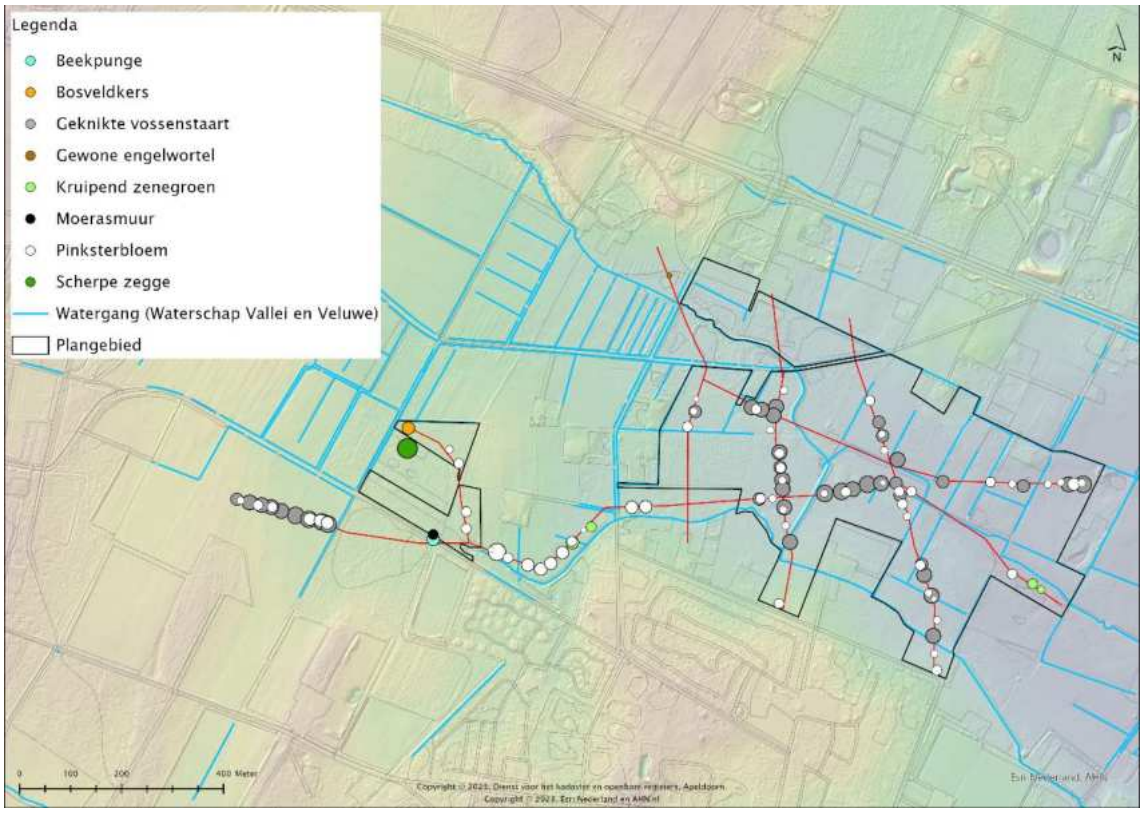
Figuur 58: Soorten van vochtig tot nat, voedselarm, niet specifiek zuur- of basenminnend. Hoe groter de stip, hoe meer individuen er zijn waargenomen, waarbij de grootte van de stippen alleen binnen een soort te vergelijken zijn.



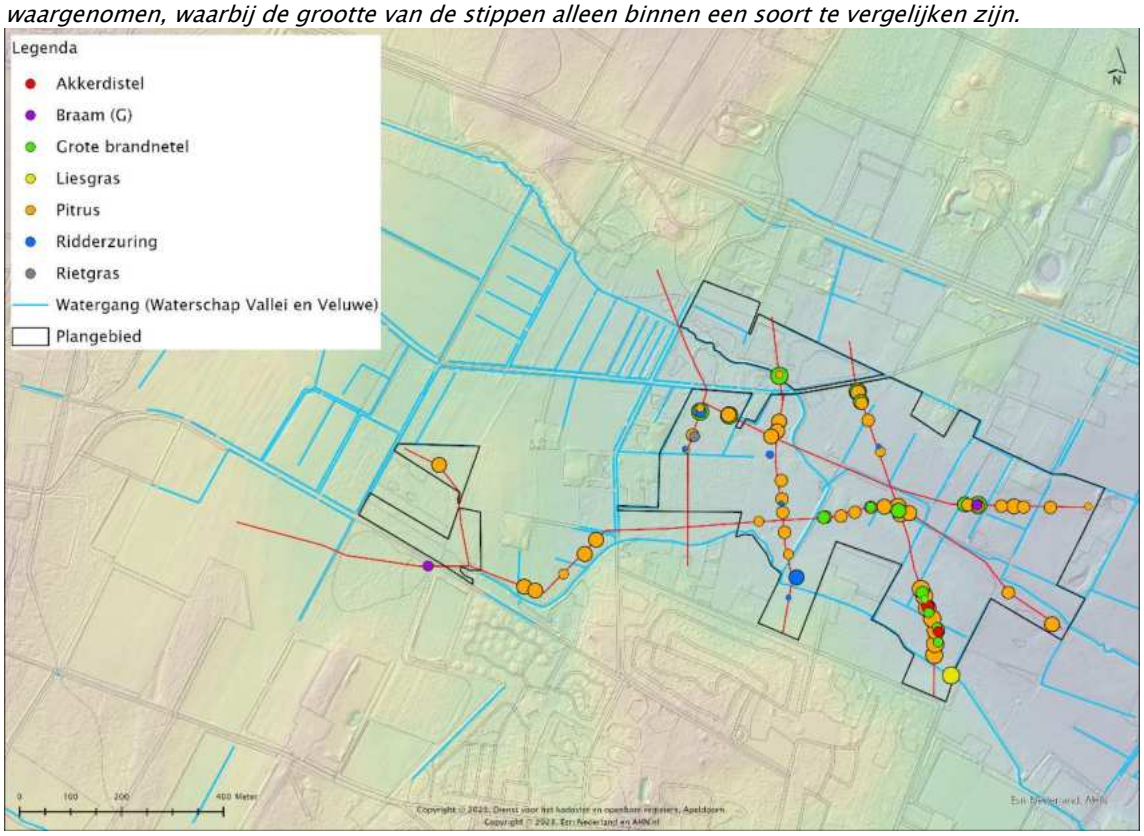
Figuur 59: Soorten van vochtig tot nat, voedselarm, zwak gebufferd – basisch. Hoe groter de stip, hoe meer individuen er zijn waargenomen, waarbij de grootte van de stippen alleen binnen een soort te vergelijken zijn.



Figuur 60: Soorten van vochtig tot nat, voedselarm, zuur. Hoe groter de stip, hoe meer individuen er zijn waargenomen, waarbij de grootte van de stippen alleen binnen een soort te vergelijken zijn.



Figuur 61: Soorten van vochtig tot nat, voedselrijk. Hoe groter de stip, hoe meer individuen er zijn waargenomen, waarbij de grootte van de stippen alleen binnen een soort te vergelijken zijn.



Figuur 62: Soorten van verruiging. Hoe groter de stip, hoe meer individuen er zijn waargenomen, waarbij de grootte van de stippen alleen binnen een soort te vergelijken zijn.

4.5.3 Historische gegevens

In de NDFF is een aantal soorten opgenomen die na 2013 niet meer zijn waargenomen. Of deze soorten ook werkelijk zijn verdwenen is niet geheel zeker, omdat niet bekend is hoe groot de inventarisatie-inspanning is geweest. De betreffende soorten (Tabel 3), zijn vrijwel allemaal iets kritischer soorten van vochtige en voedselarme omstandigheden. Sommige zijn meer van zure standplaatsen, zoals ronde zonnedauw, dwergzegge/geelgroene zegge en stekelbrem en andere juist van meer (zwak)gebufferde standplaatsen, zoals schildereprijs en gevleugeld hertshooi.

Tabel 3: Soorten in de NDFF voor 2013, na 2013 niet meer waargenomen.

Soort niet meer waargenomen	Laatste waarneming	Indicatie
Tongerense Veen		
Boswilg	2008	droog-vochtig, matig voedselrijk
Dwergzegge/Geelgroene zegge	2008	vochtig, voedselarm
Gevleugeld hertshooi	2008	vochtig, voedselarm
Grote ratelaar	2005	matig voedselrijk
Ronde zonnedauw	2008	vochtig-nat, voedselarm, zuur
Schildereprijs	2005	vochtig, voedselarm
Stekelbrem	2003	droog-vochtig, zuur
Waterpostelein	2008	vochtig-nat, matig voedselarm
Paalveen		
Kruipwilg	1992	droog-vochtig
Ronde zonnedauw	1992	vochtig-nat, voedselarm, zuur

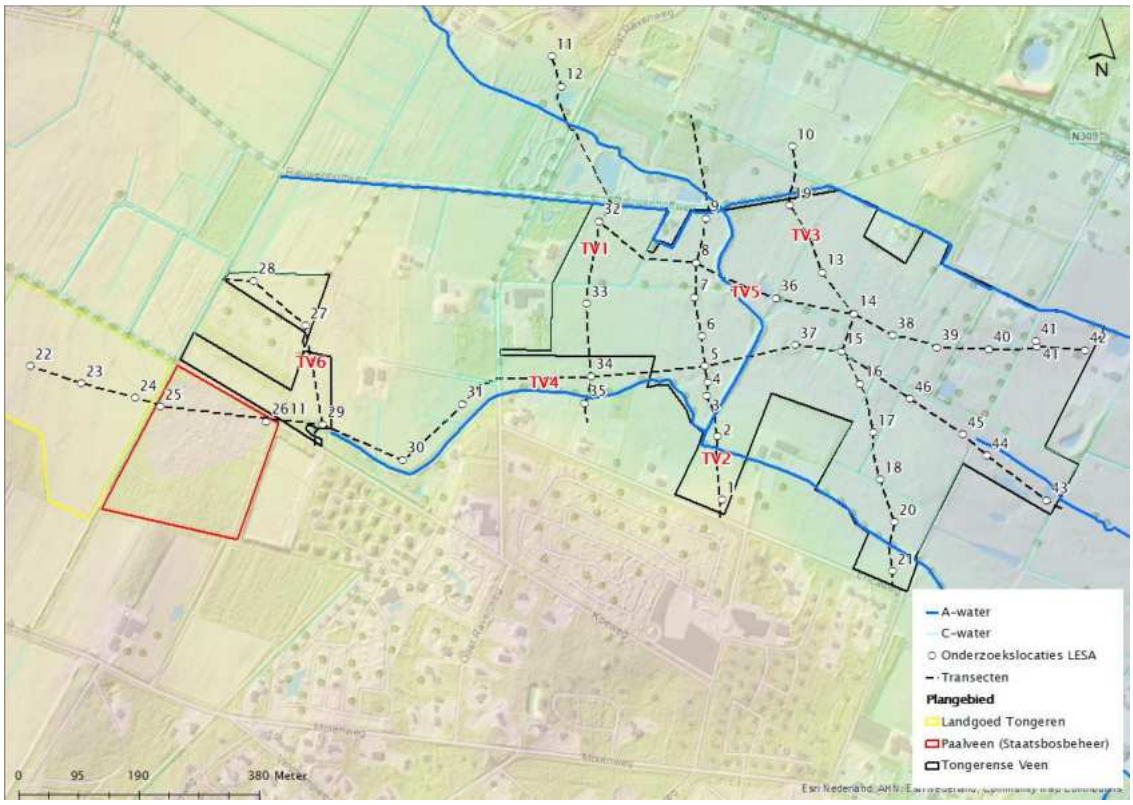
4.5.4 Conclusies vegetatie en flora

De vegetatie bestaat grotendeels uit rompgemeenschappen; beter ontwikkelde vegetaties komen slechts op een paar plekken voor. Het grootste deel van het gebied bestaat uit extensieve, halfnatuurlijke graslanden met rompgemeenschappen van vochtig en matig voedselrijk grasland. Minder kritische vochtindicatoren komen daar verspreid voor en geven aan dat er wel al een ontwikkeling in gang is gezet van agrarisch naar natuurlijker grasland. De bijzondere soorten en vegetaties staan vooral in en rond het Paalveen en in het heringerichte veldrushooiland of in de sloten en slootkanten. Dit zijn de plekken waar nog wel soorten van vochtige, voedselarme standplaatsen voorkomen. Elders is het nu te droog of te voedselrijk door ontwatering en bemesting (in het verleden). De beter ontwikkelde plekken geven de potenties aan voor het gebied bij vernatting en bij vergroting van de grondwaterinvloed.

De aanwezigheid van galigaan in de rand van het Paalveen wijst er op dat in het verleden sprake was van afstromend basenrijk water. Vermoedelijk was hier vroeger een kalkrijke vorm van kleine zeggenvegetatie (kalkmoeras) aanwezig. In het grasland ten noorden van het Paalveen is nog wel de minder basenrijke variant van kleine zeggenvegetatie aanwezig. Door de verdroging en vermindering van de grondwaterinvloed heeft een storingssoort als pitrus een kans gekregen.

4.6 Dwarsdoorsneden

De verzamelde gegevens langs de transecten zijn uitgewerkt tot dwarsdoorsneden (Figuur 63). Deze geven inzicht in de relatie tussen de bodem, hydrologie en vegetatie. In deze paragraaf wordt een aantal dwarsdoorsneden beschreven.



Figuur 63: Locaties transecten en boorlocaties, waarvan dwarsdoorsneden zijn uitgewerkt.

TV1 (Noord-zuid, ten oosten van de Oost Ravenweg)

TV1 loopt van noord-noordwest naar zuid. Het begint op de noordelijke dalflank en kruist de Vlasbeek en de 2 bermsloten van de Oost-Ravenweg. De constant hoge waterstanden in de zomer en winter en het geringe verschil in stijghoogte ondanks de diepe ontwatering wijst op grondwaterdruk. De Dorpse beek heeft een sterk ontwaterend effect op de ontwateringstoestand van dalbodem. Op het moment van opname lijkt de centrale sloot bij boornummer 33 enigszins te voeden. Deze valt in de zomer droog. De Paalbeek heeft een heel constante afvoer, maar heeft een sterk ontwaterend effect op de opbolling van de zuidelijke dalflank in het winterseizoen (Bijlage 2).

De vegetatie bij boring 12 bevat een gradiënt van veldrushooiland (r16Aa02 Associatie van veldrus en Gevlekte orchis) via kleine zeggenvegetatie (r9Aa03 Associatie van Moerasstruisgras en Zompzegge) naar open water, waarin langs de randen de rompgemeenschap van duizendknoopfonteinkruid groeit. Het gebied tussen boring 12 en de Oost-Ravenweg is in het verleden ontgraven ten behoeve van natuurontwikkeling. Het geeft daarmee de potentie aan van deze sterk door grondwater gevoede zone. Bij de Dorpse beek komt een basale vorm van elzenbroekbos voor, deels verruigd met grote brandnetel, maar de rest van het transect bevat basale rompgemeenschappen die getuigen van het landbouwkundig verleden of zijn nog in landbouwkundig gebruik.

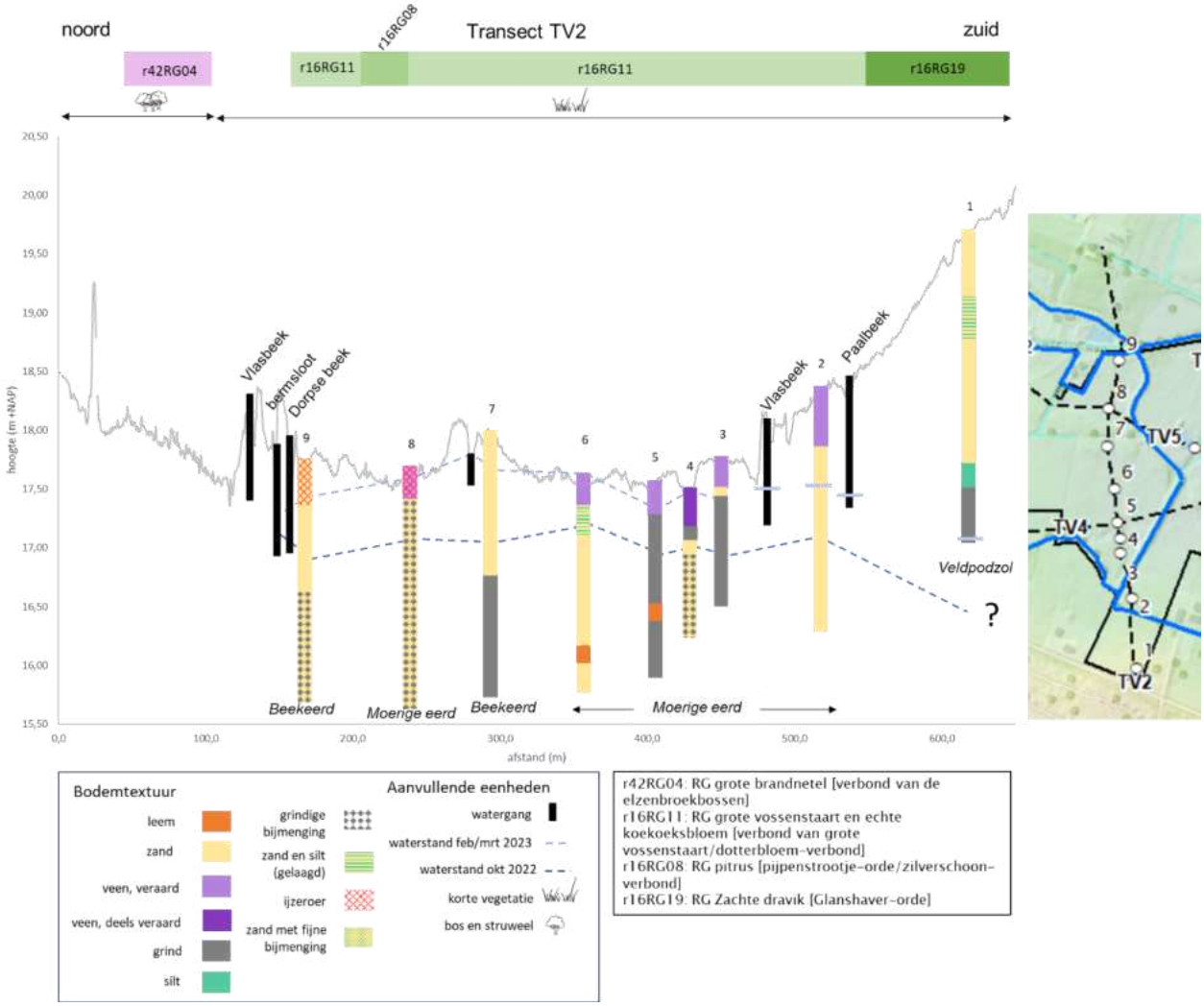
TV2 (noord-zuid, ten westen van de Vlasbeek)

TV2 loopt van noord naar zuid door het dal van het Tongerense Veen. Het transect kruist twee keer de opgeleide Vlasbeek. Boring 1 op de zuidflank betreft een veldpodzolgrond, gevormd onder infiltrerend regenwater, en ligt buiten het beekdal. De siltlaag die hier is aangetroffen betreft waarschijnlijk een verstuwde laag (kleischot). De rest van de boringen ligt in het smeltwaterdal. In de laagste delen zijn moerige eerdgronden aanwezig (veenpakket <40 cm), boring 7-9 liggen op een grondwatergevoed zandruggetje. De diepere ondergrond bestaat uit grind of zand met grindige bijmenging, waar grondwater gemakkelijk zijn weg naar boven kan vinden. Bij boring 8 en 9 ijzeroer in de toplaag aanwezig, ontstaan door zeer ijzerrijke kwel.

In de winter stond de waterstand aan maaiveld, in de zomer zo'n 50 cm dieper. Daarbij komt het veen droog te liggen waardoor het mineraliseert, het veen is overal veraard. De Vlasbeek is opgeleid en heeft geen onttrekkende werking op de grondwaterstanden. Hoewel de Paalbeek grotendeels is opgeleid, zijn er tracés waar de beek wel een verdrogend effect heeft in de winter (in de zomer van 2022 stond de beek droog). Met name de (niet opgeleide) Dorpse Beek en de bermsloot aan de andere kant van de Rauwenhoffweg hebben een negatieve invloed op de grondwaterstanden, deze voerden ook in de zomer nog grondwater af.

Opvallend is de bijzonder lage zomerwaterstand bij boring 1 met het kleischot (zie vraagteken). Een hypothese is dat het kleischot opstuwing van grondwater bij boring 2 t/m 9 veroorzaakt, terwijl boring 1 net in het andere compartiment ligt. Een andere oorzaak kan een lokale onttrekking van grondwater zijn, hier zijn echter geen aanwijzingen voor vanuit de LESA.

De vegetatie bestaat uit rompgemeenschappen, als gevolg van verdroging, verzuring en bemesting in het verleden. Het bos aan de noordkant is verruigd met grote brandnetel. De meest voorkomende rompgemeenschap op dit traject is die met grote vossenstaart (r16RG11 Rompgemeenschap Grote vossenstaart en Echte koekoeksbloem).



Figuur 64: Dwarsdoorsnede TV2 met bodemopbouw, waterstanden, watergangen en vegetatie. De waterstanden in de Vlasbeek en Paalbeek in het zuiden zijn niet verbonden met de rest van de waterstanden, omdat de beken zijn opgeleid en het dus 'schijnspiegels' betreffen.

TV3 (noord-zuid, ten oosten van de Vlasbeek)

TV3 loopt van noord naar zuid door het dal, ten oosten van de Vlasbeek (Figuur 66). Aan beide zijden bestaat het transect uit podzolgronden, waarbij in het zuiden een laarpodzolgrond is gekarteerd; een veldpodzolgrond met een plaggendek van maximaal 35 cm. De akker staat niet op de kadastrale kaart van 1832, maar verschijnt rond 1920 op kaart. Dit betekent dat hier bij de laarpodzolgrond sprake is van een jonge ontginning.

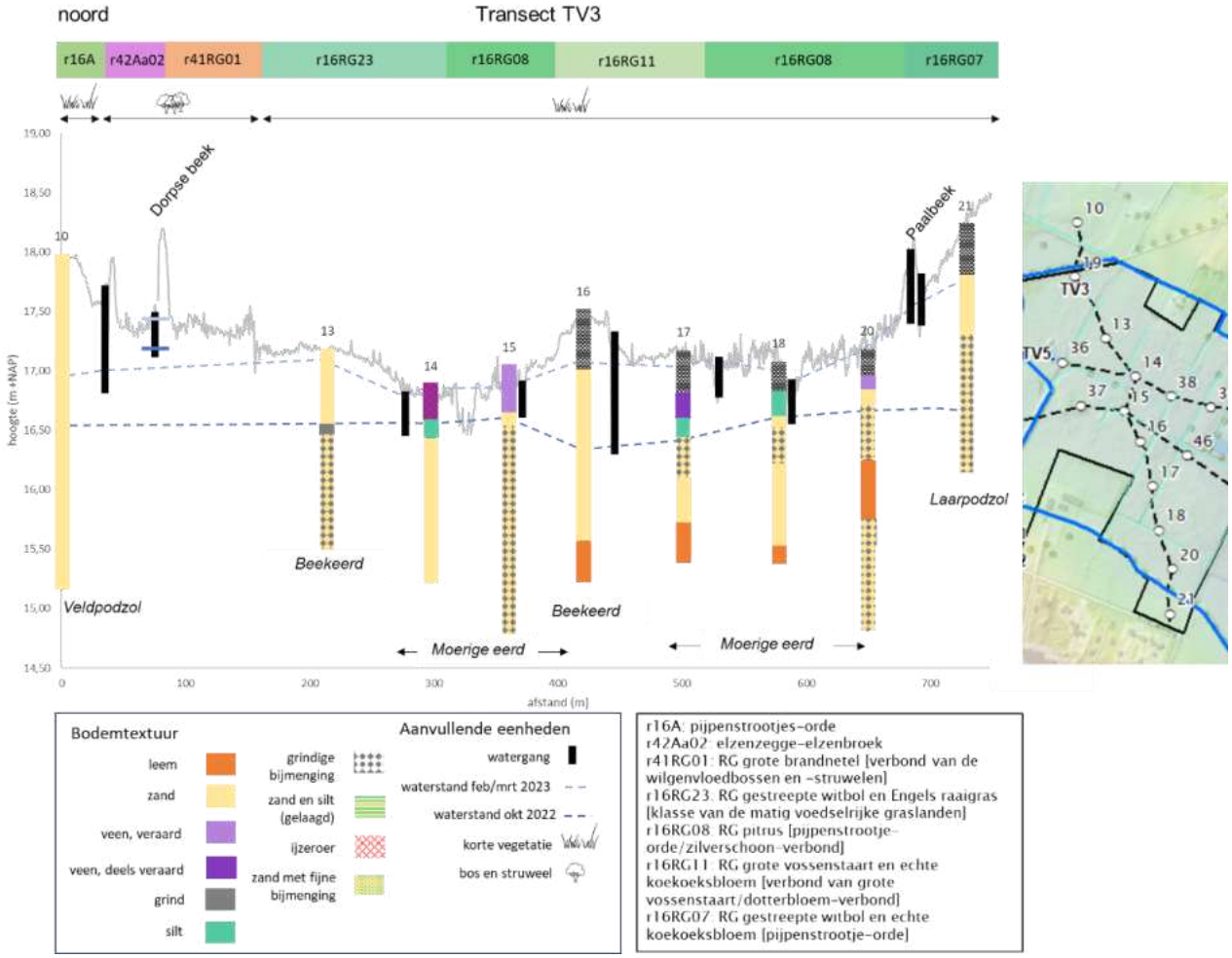
Net als bij TV2 zit er veel grind in de ondergrond, maar is er ook op vier locaties leem in de diepere ondergrond aangetroffen (boring 16, 17, 18, 20). De samenstelling is vergelijkbaar als van de lagen die als silt zijn beschreven, maar beter verkneedbaar en daarom leem genoemd. Onduidelijk is in hoeverre deze leemlagen door verspoeling door smeltwater is zijn afgezet, of dat het scheefgestelde kleilagen (kleischotten) zijn zoals bij boring 1 in TV2.

Ook hier bestaat de bodem uit moerige eerdgronden (<40 cm veen) en grondwatergevoede zandruggetjes (beekeerdgronden), bij boring 13 en 16. IJzeroer bij boring 14 getuigt van invloed van ijzerrijke kwel, althans in het verleden. Het veen is veraard, als gevolg van te lage zomerwaterstanden, waardoor het veen komt droog te liggen. Op locatie 16, 17, 18, 20 is het veen in het verleden bezand, vermoedelijk om de percelen beter toegankelijk te maken.

De watergangen bevatten in de winter water, in de zomer stond een deel van de watergangen droog. De greppels tussen 14-15 en 18-20 bevatten nog water en met name de diepe greppel tussen 16 en 17 heeft een onttrekkende werking in de winter én zomer. Hierdoor bolt water slechts beperkt op in de zandrug bij 16, waar van nature de waterstanden aan maaiveld staan in de winter en nu 50 cm eronder. De Paalbeek is opgeleid en de Dorpse Beek is ter hoogte van dit transect ondiep, beide beken hebben hier geen onttrekkende werking.

De vegetatie bestaat veelal uit rompgemeenschappen als gevolg van verdroging, verzuring en bemesting in het verleden. Hiertoe behoren enkele grote oppervlakten met rompgemeenschap pitrus (r16RG08), in het centrum rond boring 15 en net ten noorden van de Paalbeek bij boring 18 en 20. In het noorden is een elzenzegge-elzenbroekbos gekarteerd (r42Aa02), dit betreft het retentiebosje langs de Dorpse Beek.

Figuur 65 Retentiebosje langs de Dorpse Beek



Figuur 66: Dwarsdoorsnede TV3 met bodemopbouw, waterstanden, watergangen en vegetatie.

TV4 (west-oost, Paalveen)

TV4 loopt van west naar oost vanuit het perceel van Landgoed Tongeren via het Paalveen, langs de Paalbeek naar het Tongerense Veen (Figuur 68). De doorsnede laat een doorstroomveen zien op een sterke helling, met 5 m hoogteverschil over een afstand van 1,8 km. Her en der liggen er grondwatergevoede zandruggen in het doorstroomveen (boring 30, 37, 44). Het resterende veenpakket is dun (<40 cm) en veraard. De winterwaterstanden waren aan maaiveld of iets daaronder. In de zomer valt het veen droog waardoor het mineraliseert.

Opvallend is dat bij het Paalveen de waterstand in de winter en zomer ongeveer even hoog is, ondanks de diepe watergang ten westen die haaks op de grondwaterstroming ligt. Dat getuigt van een grote grondwaterdruk. Verder benedenstrooms neemt die druk af, waardoor het verschil tussen zomer en winter groter is. Ten oosten van boring 37 getuigt het ijzeroer in de toplaag ook van een sterke invloed van ijzerrijk grondwater. Grondwater hier gemakkelijk omhoog komen door de grind in de ondergrond. Beide zones liggen in verschillende compartimenten tussen de veronderstelde kleischotten. Vermoedelijk zorgen die kleischotten voor de plaatselijk (extra) grote grondwaterdruk.

De zones waar de grondwaterdruk (extra) hoog is, hebben ook een hoge bodem-pH (Figuur 70).[36] Hoewel dit in het westen nog wel te zien is op het perceel van Landgoed Tongeren, maar het Paalveen is (diep) verzuurd. Doordat de watergang gebufferd grondwater afvangt, krijgt het Paalveen steeds meer een regenwatersignatuur. Ook buiten het Paalveen is te zien dat het gebied verzuurt: de toplaag is overal zuurder dan de onderliggende bodemlagen. De dikte van de verzuurde toplaag hangt samen met de zomergrondwaterstand (Figuur 70).

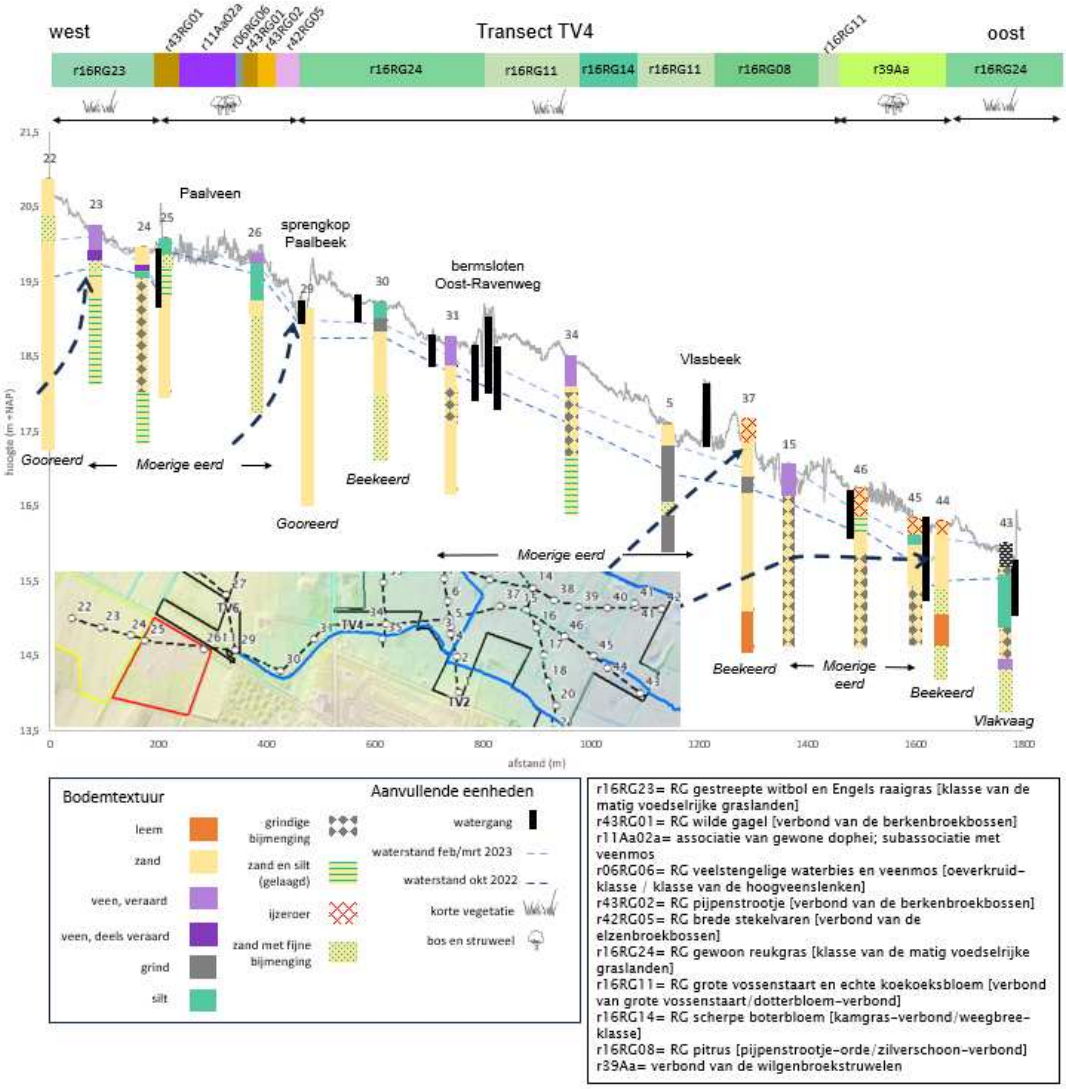
Qua invloed van de watergangen valt met name de diepe ontwatering ten westen van het Paalveen op, de bermsloten bij de Oost-Ravenweg en de behoorlijk diepe greppels in het natuurgebied tussen boring 46 en 43. De Vlasbeek is opgeleid en heeft geen verdrogende werking.

De vegetatie bestaat grotendeels uit rompgemeenschappen, van pitrus, grote vossenstaart of gewoon reukgras. Het Paalveen is een uitzondering met de Associatie van Gewone dophei met veenmos en aan de randen berkenbroekbos met struweel van wilde gagel. Ook komt galigaan voor (niet te zien in de doorsnede), wat bijzonder is gezien dit basenminnende omstandigheden indiceert, terwijl de bodem en het water nu zuur tot zwak gebufferd zijn. Van galigaan is bekend dat deze lang kan blijven staan bij verslechterende condities.

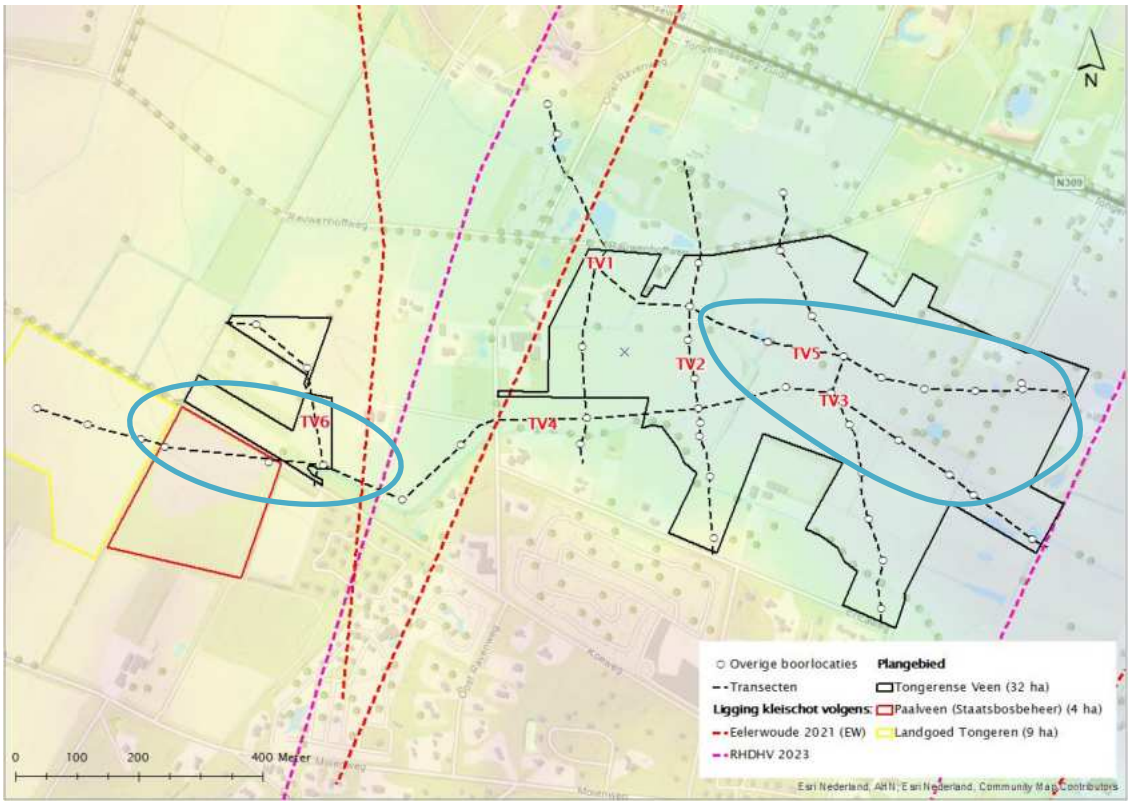
In de brede (en diepe) greppels rond boring 45 en 46 is een nat wilgenbroekstruweel ontstaan, waarin de ondergroei van holpijp het afvangen van ijzerrijk water aangeeft (Figuur 67).

Figuur 67: Wilgenbroekstruweel in de brede greppels rond boring 45/46.

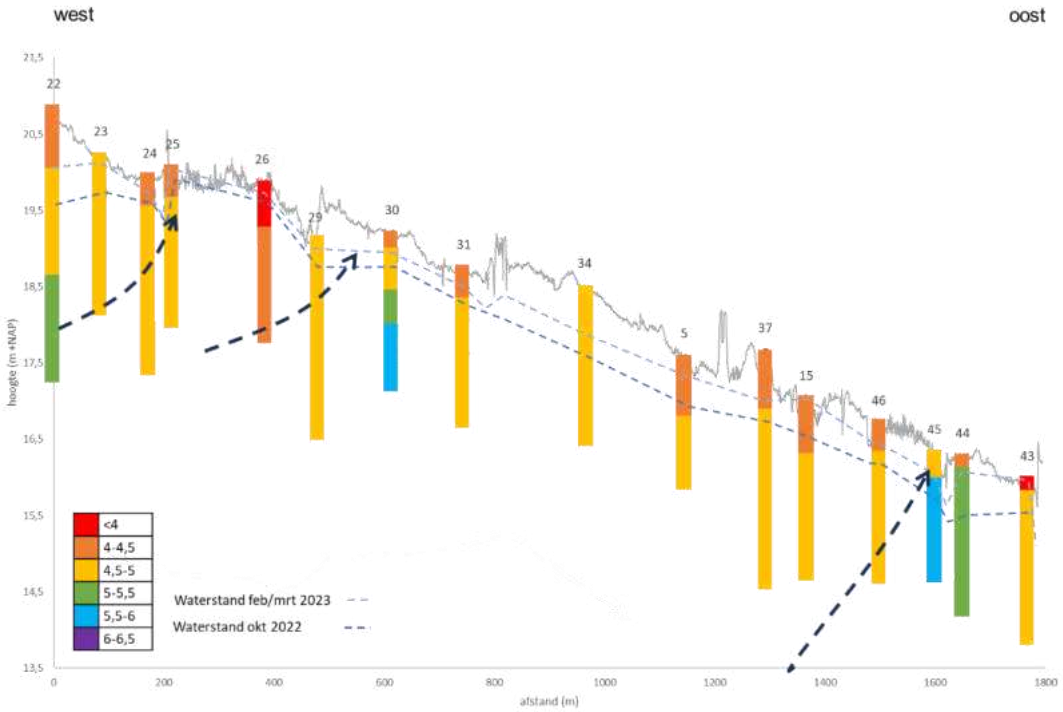
[36] Zie ook 4.3.4.



Figuur 68: Dwarsdoorsnede TV4 met bodemopbouw, waterstanden, watergangen en vegetatie. Bij de gestippelde pijlen is de grondwaterdruk hoog. In het tussenliggende deel liggen de winter- en zomerwaterstand wat verder uit elkaar, omdat de ontwatering daar meer invloed heeft op de waterstanden.



Figuur 69: Blauw omlijnd zijn de zones met (extra) grote grondwaterdruk in transect TV4 en TV5, te zien aan permanent hoge waterstanden en/of ijzeroer in de toplaag. Opvallend is dat deze kwelzones telkens iets stroomopwaarts van de veronderstelde kleischotten liggen.



Figuur 70: Dwarsdoorsnede TV4 met de pH van de bodem op verschillende diepten en de waterstanden. Bij de gestippelde pijlen is de grondwaterdruk hoog, het zijn twee zones, waarschijnlijk gescheiden door een kleischot. De grondwaterdruk uit zich in een hoge bodem-pH.

TV5 (west-oost)

TV5 loopt net als TV4 van west naar oost en ligt iets noordelijker. Het hele transect ligt in het doorstroomveen. Het veenpakket is in het westen (boring 32) relatief dik, dit is eveneens een zone waar de bodem-pH hoog is (zie 4.3.4), een plek waar de invloed van gebufferd grondwater groot is. In de rest van de doorsnede is het veenpakket dun (<40 cm) en veraard. Opvallend zijn de ijzerstenen in de toplaag op bijna alle locaties, die getuigen van ijzerrijke kwel. De centrale sloot in de omgeving van boring 36 en 15 bevatte ook erg veel ijzer. De waterstand wordt duidelijk beïnvloed door de Dorpse Beek en diepe sloten tussen boring 38 en 40. De detailontwatering net ten westen van dit transect is ook mogelijk van invloed op de ontwateringstoestand.
De winterwaterstand was vrijwel gelijk met de maaiveldhoogte en op tal van plekken stond circa 1 decimeter water op maaiveld. Problematisch zijn de zomergrondwaterstanden. Deze zakken overal tot onder het veenpakket wat leidt tot veenmineralisatie, verzuring en het vrijkomen van voedingstoffen door afbraak van organisch materiaal (Bijlage 2).

De vegetatie bestaat ook hier vooral uit rompgemeenschappen van pitrus, grote vossenstaart, gestreepte witbol of gewoon reukgras. In het centrale deel is ook hier het natte wilgenbroekstruweel aanwezig, rond boring 36, 14 en 38.

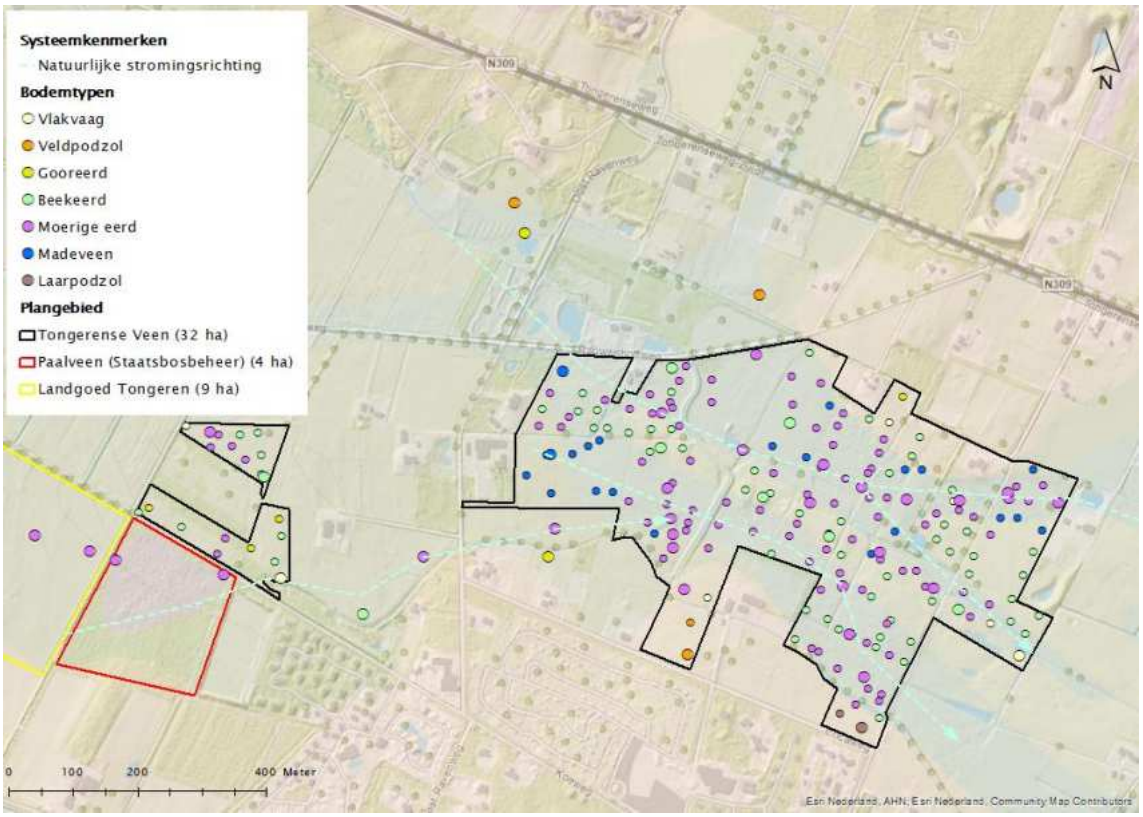
4.7 Synthese

Het Tongerense Veen ligt in een smeltwatergeul uit het Weichselien. Zo hoog in het systeem zijn deze geulen veelal droog, maar in dit geval is er sprake van een voormalig veengebied. Dit getuigt van een continue toevoer van grondwater en slechte afvoer, met veenvorming als gevolg. Ondanks de ontwatering in het gebied zijn de waterstanden op veel plekken stabiel en nog relatief hoog. IJzeroer in de bodem laat zien dat er in het verleden ook diepe ijzerrijke kwel aan maaiveld voorkwam.

De grote grondwaterdruk is toe te schrijven aan twee factoren:

1. De Veluwe vormt door de hoogteligging en zandige samenstelling een groot grondwaterreservoir. Normaal gesproken zouden vooral de randen van de Veluwe nat zijn omdat het water, dat opbolt in de stuwwal, hier uittreedt. Denk aan het Gulbroek, Vossebroek, Vemdebroek (IJsselvallei) en het Zwartebroek (Gelderse Vallei).
2. Het Tongerense Veen ligt echter hoger in het landschap dan voorgenoemde broekgebieden. Dat grondwater hier al wil uittreden, komt doordat het grondwater wordt geblokkeerd op drie manieren:
    a. Op 200 m onder NAP is een kleipakket aanwezig (formatie van Maassluis) dat richting het oosten oploopt
    b. Ten oosten wordt het grondwater geblokkeerd door klei-opvullingen in het tongbekken op 80 m onder NAP (formatie van Kreftenheye; laagpakket van Twello) en de keileem die daar op aansluit (formatie van Drente, laagpakket van Gieten)
    c. Scheefgestelde kleilagen (kleischotten) in de stuwwal zorgen ervoor dat grondwater slecht richting het oosten kan stromen. Hierdoor ontstaat een verticale waterbeweging binnen de gestuwde afzettingen.

Samengevat wordt het Veluwesysteem richting het oosten steeds slechter doorlatend waardoor het grondwater al hoog op de helling uittreedt. Gedurende het Holoceen heeft zich hierdoor een doorstroomveen kunnen ontwikkelen. Er zijn twee hoofdsystemen te onderscheiden (Figuur 71), namelijk een noordelijk en zuidelijk smeltwaterdal. Deze systemen worden gescheiden door een kwelgevoede zandrug. Beide smeltwaterdalen in zijn totaliteit vormen een geheel van een doorstroomveen met in eerste instantie een vegetatiemozaïek van natte heide, kleine zeggengemeenschap, blauwgrasland, dotterbloemhooiland. Het reliëf bepaalt waar meer of minder invloed is van neerslagwater en daarmee waar arme en rijkere plekken zijn.



Figuur 71: Het systeem bestaat uit twee hoofdsystemen. Het noordelijke smeltwaterdal dat op een helling en een zuidelijke slenk waarvan het westelijk deel op een helling ligt en basenhoudende omstandigheden bevat, waar het Paalveen onderdeel van is. Het meest oostelijke deel van deze zuidelijke slenk ligt vlakker en zal zich op de langere termijn vermoedelijk gaan ontwikkelen tot een voedselarmer veen. De groene symbolen zijn kwelgevoede zandgronden die potenties hebben voor blauwgrasland (gebufferde plekken) of vochtig heischraalgrasland (minder buffering). De velddata zijn geprojecteerd op de geomorfologische kaart (WENR).

Het enorme veenareaal op de Oost-Veluweflank zoals dat in 1573 figuratief is ingetekend, lijkt goed mogelijk. Het op historische kaarten aangegeven Dorpse Veen en het huidige Paalveen vormen onderdelen van dit grote veencomplex dat er begin 19de eeuw nog lag. Vooral vanaf de periode 1802-1812 is het ontgonnen vanuit de randen, waarna het in steeds kleinere eenheden uiteenviel. Door het steken van turf, ontginning en verdroging is het veen grotendeels verdwenen en het maaiveld in het gebied is verlaagd. Het veenpakket dat nu nog resteert, is dun en bovendien verdroogd. De opgeleide beken hadden en hebben vermoedelijk weinig invloed op de hydrologie in het gebied, maar de overige ontwateringen zorgen voor droogval van het veen in de zomer. De verdroging in combinatie met bemesting in het verleden zorgt voor verzuring van de toplaag van de bodem. De bodem is bovendien nog steeds te voedselrijk voor ontwikkeling van schralere vegetatietypen, ondanks dat er al jaren een verschralingsbeheer wordt gevoerd. Ook de waterwinning bij Epe heeft invloed gehad op de hydrologie van het gebied. Sinds 2015 is de intentie om de effecten van de waterwinning te compenseren door water te infiltreren, wat in 2020 en 2021 is gelukt, maar in droge jaren niet.

Door bemesting, verzuring en verdroging bestaat de vegetatie veelal uit rompgemeenschappen (niet goed ontwikkelde vegetaties). Indicatorsoorten voor kwel in sloten en taluds van greppels en ingerichte terreindelen laten de potenties zien voor vegetaties van matig voedselrijke en basenrijke condities. Het voorkomen van galigaan in het Paalveen wijst op het historisch voorkomen van basenrijk veen. Basenrijk grondwater komt hier nog wel voor, maar wordt door ontwateringen afgevangen. De waterstanden zijn in het Paalven noog steeds hoog, maar het betreft voornamelijk zuur regenwater.

5 Potenties en knelpunten

Op basis van de LESA zijn in dit hoofdstuk de natuurpotenties beschreven en de knelpunten die de ontwikkeling in de weg staan. Omdat de vegetatie in het gebied op dit moment door verdroging, vermesting en versnippering alleen uit niet goed ontwikkelde rompgemeenschappen bestaat, zijn de potenties opgedeeld voor de korte termijn en lange termijn, uitgaande van herstel van de hydrologie en voedselarmere bodems.

De potenties en knelpunten zijn geformuleerd voor het Tongerense Veen in eigendom van GLK en de particuliere eigenaren. Het Paalveen en het perceel van Landgoed Tongeren zijn wel meegenomen in de LESA om de hydrologische relatie te begrijpen, maar zijn geen onderdeel van de uitwerking van potenties, knelpunten en maatregelen.

5.1 Potenties

5.1.1 Korte termijn

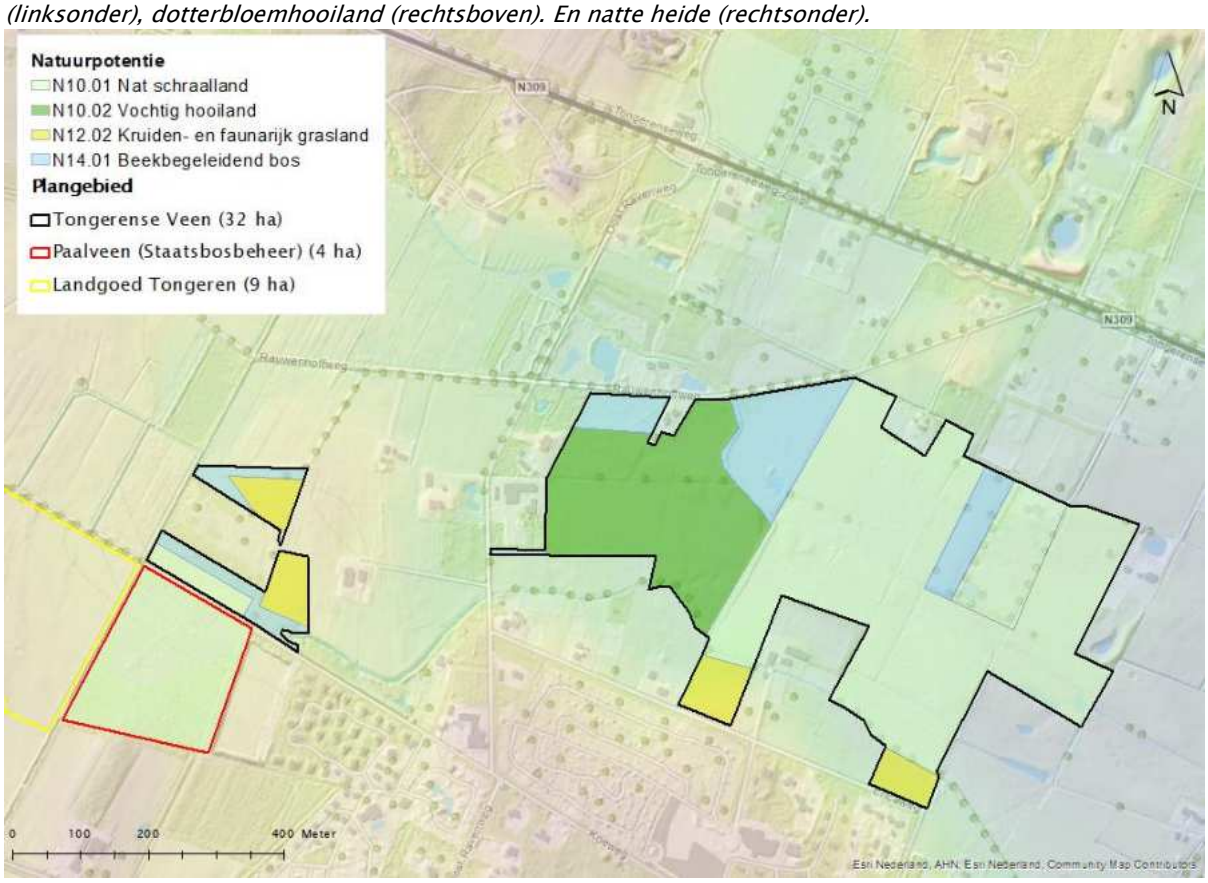
De twee smeltwaterdalen bevatten op hoofdlijnen allemaal veen, maar de ene plek is basenrijker dan de andere. De ondergrond is daarbij bepalend (kleischotten), maar ook het reliëf is sturend. Op de vlakkere delen zal er meer regenwater stagneren, terwijl op de hellingen meer basenrijk grondwater zal uittreden en afstromen. De plekken met regenwaterstagnatie zijn daardoor mineraalarmer, leidend tot schralere vegetatietypen, waaronder natte heide, vochtig heischraal grasland en kleine zeggengemeenschappen. Daar waar meer stroming van grondwater plaatsvindt is blauwgrasland, veldrusschraalland en dotterbloemhooiland te verwachten (Figuur 72).

De kwelgevoede zandrug die de twee hoofdsystemen scheidt, heeft potentie voor blauwgrasland op de meer gebufferde plekken of vochtig heischraalgrasland op de wat zuurdere plekken.

In Figuur 73 zijn globaal de natuurpotenties op korte termijn weergegeven voor korte vegetaties, aansluitend bij het huidige beheer. Er kan ook gekozen worden voor uitbreiding van bos.[37]

[37] Zie paragraaf 3.4 voor de bostypen per bodemtype.

Figuur 72: Voorbeelden van kleine-zeggenvegetaties (linksboven), overgangen naar blauwgrasland (linksonder), dotterbloemhooiland (rechtsboven). En natte heide (rechtsonder).



Figuur 73: Overzicht van potentiële natuurdoelen, wanneer de knelpunten worden opgelost. Het beekbegeleidend bos is in de huidige situatie al aanwezig, hoewel in basale vorm.

5.1.2 Lange termijn

Na verloop van tijd zal bij voldoende herstel van de hydrologie een doorstroomveen ontstaan. In de internationale literatuur staat dit veentype bekend als 'Durchstromungsmoore' of 'percolation mires'.[38] Doorstromingsvenen zijn secundaire venen, wat inhoudt dat ze ontstaan nadat er een ander type veen is ontwikkeld. Primaire venen, waaruit een doorstromingsveen kan ontstaan, zijn verlandings-, vermorsings, helling- of kwelvenen.[39] Randvoorwaarde voor het ontstaan van een doorstromingsveen is een groot en constant aanbod van water. In doorstromingsvenen wordt veen gevormd doordat het veenpakket, in bijzonder het bovenste deel, continu doorstroomd wordt door grondwater. Dat grondwater treedt uit in hellingen die het watervoerend pakket aansnijden. Daardoor kan een continue grondwaterstroom vanaf de rand van de laagte optreden en het veen groeien. Deze continue laterale waterstroom voedt het veen ook met basen en nutriënten. Vanwege de continue en snelle stroming door de sterke helling van een gebied, kunnen ook bij relatief basenarm grondwater toch basenminnende soorten en vegetaties voorkomen.[40] Vanwege hun matig voedselrijke karakter behoren de doorstroomvenen dan ook tot de zogenoemde overgangsvenen ('Übergangsmoore', 'transition mires').[41] Deze zitten tussen laag- en hoogveen in en bevatten aspecten van beiden.

Het grote wateraanbod zorgt er tevens voor dat deze venen snel kunnen groeien. Dat wordt bevestigd door de ontwikkelingen in het Wisselse Veen, sinds de uitvoering van de herstelmaatregelen in 1993. Het veen groeit het sterkst daar waar het grondwater in de helling uittreedt. Het behoudt daarom zijn typische hellende oppervlak.[42]

Herstellen van het doorstroomveen draagt bij aan de biodiversiteit. Het Tongerense Veen ligt hoog in het landschap en vormt daarmee een oase van vocht en kalk voor het verder overwegend droge en arme Veluwesysteem. Belangrijke kerngebieden zijn het Paalveen en het Dorpse Veen. Herstel van veenvorming draagt bovendien bij aan het vastleggen van CO_2, in tegenstelling tot de huidige situatie waarbij CO_2 vrijkomt doordat het veen mineraliseert. Herstel van het veenpakket zorgt bovendien op termijn voor het langer vasthouden van water en levert daarmee ook een bijdrage aan klimaatadaptatie om stroomafwaarts neerslagpieken af te vlakken (Figuur 74).

---

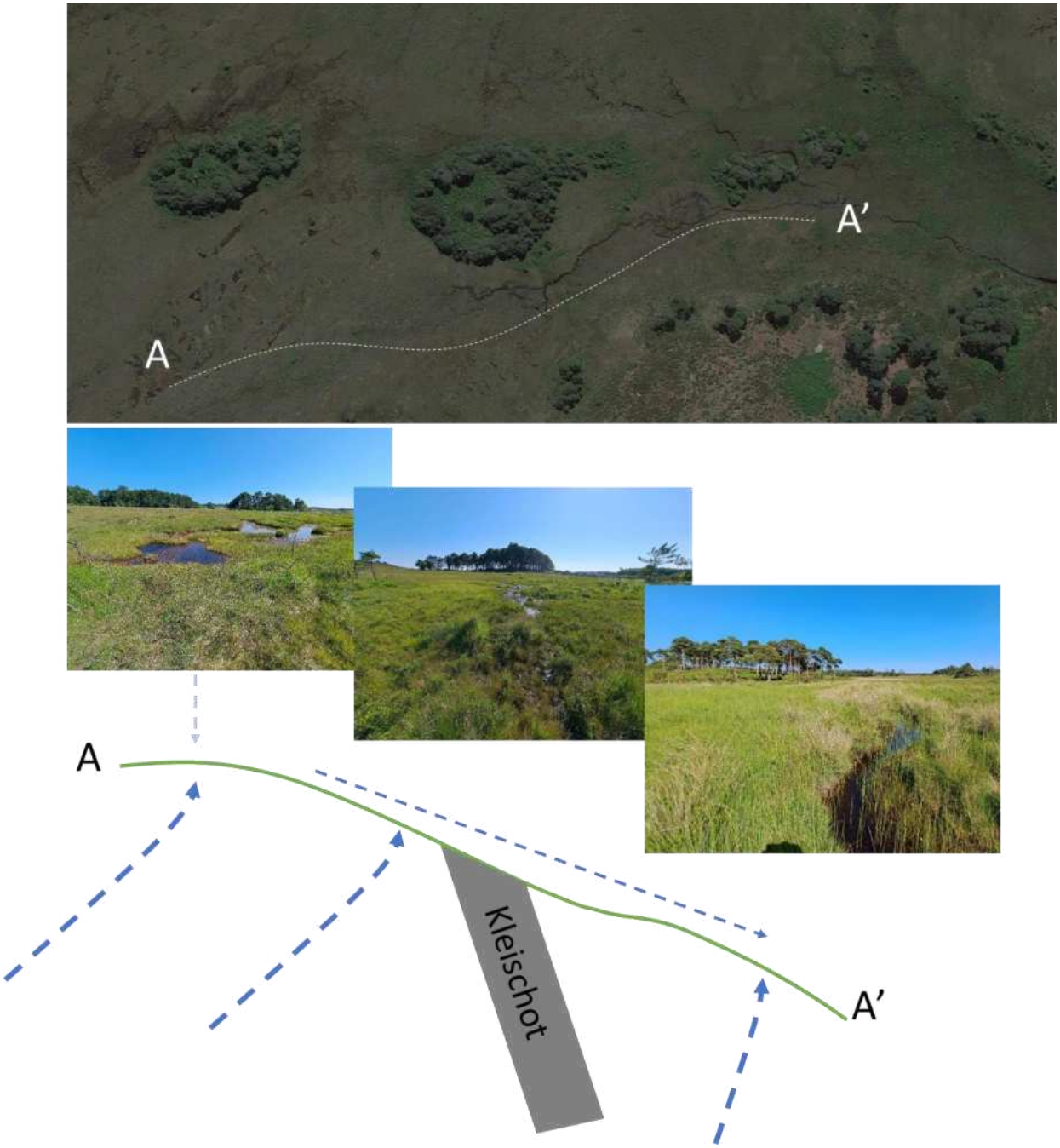
[38] Succow & Jeshke, 1990 (Durchstromungsmoore); Joosten et al., 2017 (percolation mires).

[39] Succow & Jeshke, 1990.

[40] Analoge situaties zijn het brongebied van de Mosbeek (Kieskamp, 2014) en het Wisselse Veen (Jansen et al., 2019).

[41] Succow & Jeshke, 1990; Joosten et al., 2017.

[42] Jansen et al., 2019.



Figuur 74: Langetermijnperspectief voor de zone tussen het Paalveen, Dorpse Veen en de rest van het smeltwaterdal aan de hand van een doorsnede en foto's uit een doorstroomveen in het New Forest, Engeland. Op relatief vlakke terreindelen kunnen neerslaglenzen op het veen ontstaan met een meer zure tot zwakgebufferde vegetatie, (natte heide, zwakgebufferde vennen). Daar waar buffering vanuit de ondergrond plaatsvindt en bovendien stroming over hellend terrein ontstaan slenken met basenminnende vegetaties (kleine zeggenvegetatie, blauwgrasland). Onderin het systeem is door aanrijking van mineralen uit het veen en ondergrond een meer matig voedselrijke vegetatie aanwezig (grote zeggen, dotterbloemhooiland).

5.2 Knelpunten

5.2.1 Verdroging en verzuring

Het verminderen van de ontwatering is een absolute topprioriteit om de milieuproblematiek in dit gebied op te lossen en de ontwikkeling van gezonde natuur mogelijk te maken. Door ontwatering mineraliseert het veen. Dit leidt niet alleen tot verzuring en vermesting, maar ook tot het vrijkomen van CO_2. Belangrijke knoppen om aan te draaien zijn het dempen van detailontwatering en de centrale zeer brede sloot die globaal van noordwest naar zuidoost door het gebied stroomt. Het verondiepen van grotere waterlopen heeft op een aantal plekken veel effect op de verdroging. Het gaat hierbij om de Dorpse beek en een aantal sloten met een noordoost-zuidwest oriëntatie.

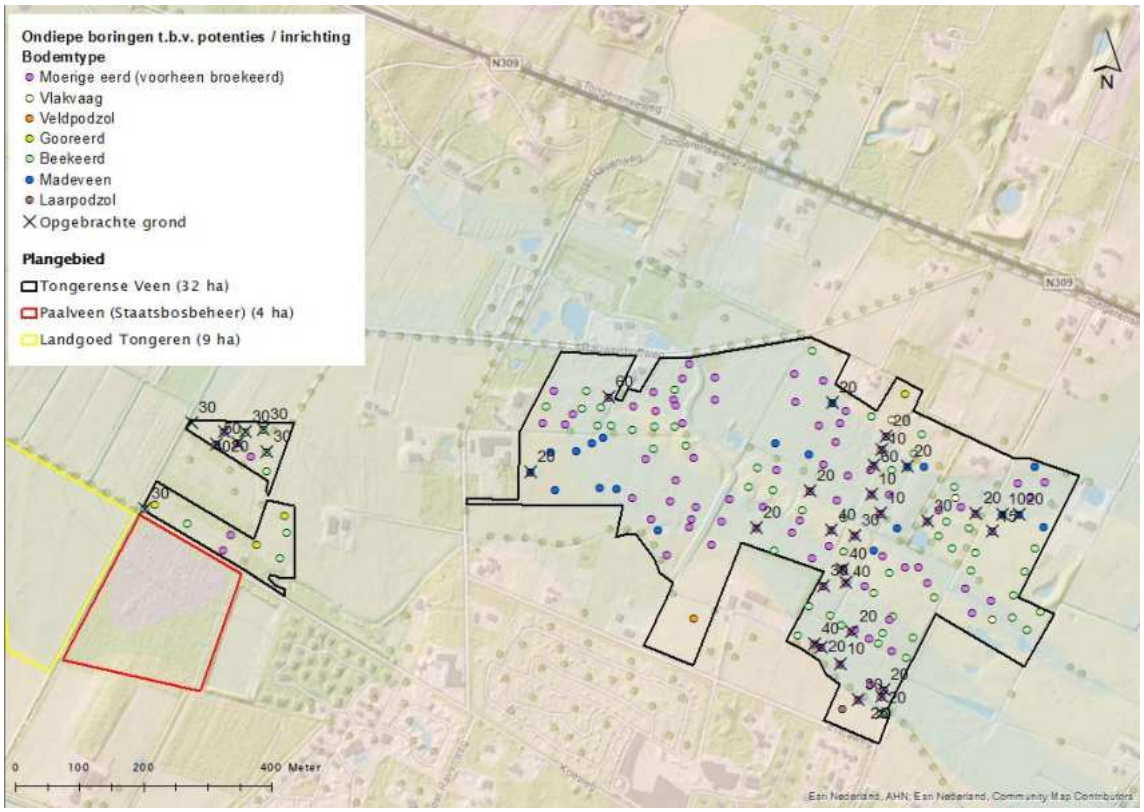
Ook moeten de conclusies met betrekking tot verdroging door de eerdere onderzoeker Hanhart (2021) niet worden vergeten:

1. Er speelt een algehele daling van de grondwaterstand van het Veluwe systeem
2. Pieken in de netto-onttrekking van grondwater door de drinkwinning en herinfiltratie van beekwater van de winning Epe. Deze pieken vonden met name plaats in 2015 en 2018.
3. Ontwatering van het plangebied verminderen door het verdiepen van sloten.

In hoofdstuk 6 wordt het oplossen van verdroging en verzuring verder uitgewerkt.

5.2.2 Opgebrachte grond, vermesting

Het Dorpse Veen (kerngebied) is voldoende schraal om middels hydrologisch herstel en intensivering van het verschralingsbeheer de vegetatie op orde te krijgen. De randen van het gebied (dalflanken) zijn echter tot op grotere diepte fosfaatverzadigd en kunnen het beste worden afgegraven. Deze zones vallen grotendeels samen met de locaties waar in het verleden zand is opgebracht (Figuur 75). Afgraven van deze laag houdt dus ook in dat de veenbodem aardkundig wordt hersteld. Van groot belang daarbij is wel dat de hydrologie op orde is, omdat anders het risico bestaat dat de restveenlaag verder afgebroken wordt. Afgraven van de opgebrachte grond is mogelijk zonder de natuurlijke afvoerrichting van het systeem te beïnvloeden. Hier wordt in hoofdstuk 6 verder op ingegaan.



Figuur 75: Kaartbeeld van opgebrachte grond (X) en met label de dikte daarvan.

5.2.3 Erosie

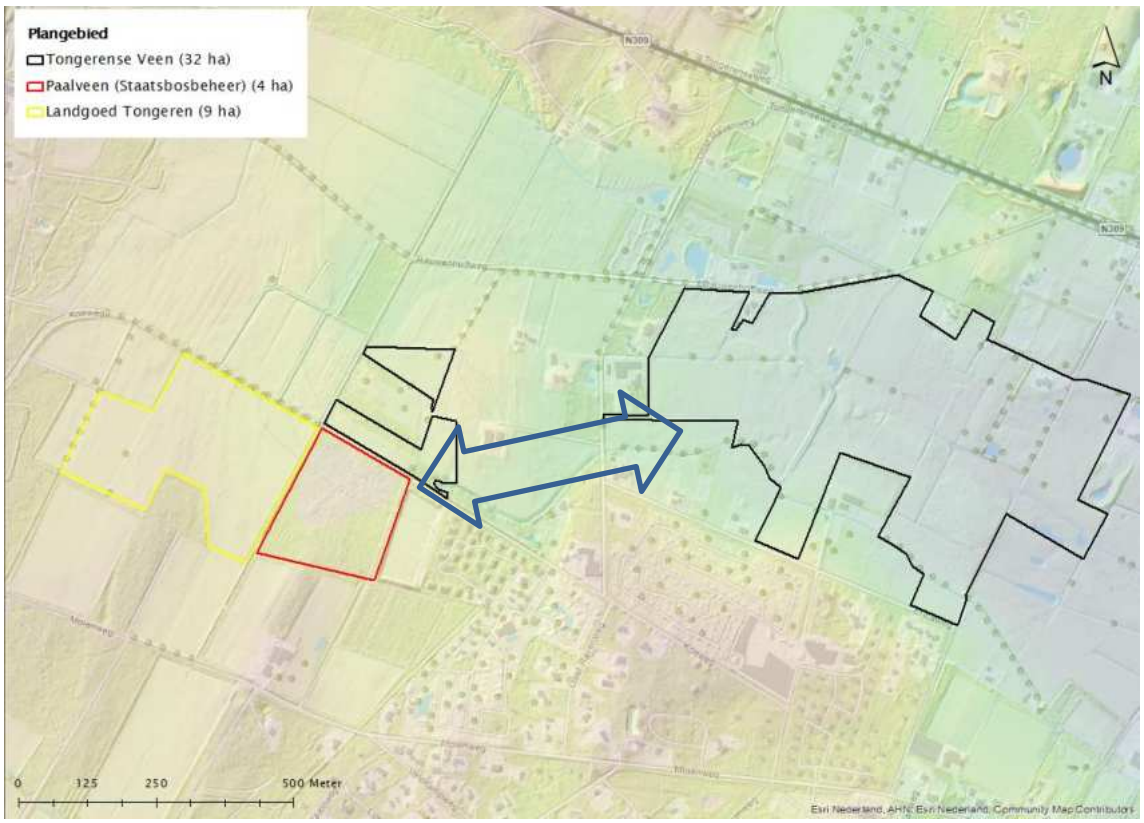
Vooral in de bronloop van de Paalbeek, maar ook in andere watergangen waar jaarlijkse schouw (opschoning) plaatsvindt, is sprake van bronerosie. Dit houdt in dat het verschil tussen het uittreden van grondwater en diepte van de slootbodem zo groot is dat de oevers uitzakken door verplaatsing van zand uit de oever. Vanuit cultuurhistorisch perspectief is het niet noodzakelijk om de spreng zo diep uit te baggeren om deze watervoerend te houden. Het probleem van bronerosie langs het begin van de Paalbeek is zo groot dat er veenafbraak plaatsvindt. Figuur 76 toont het afbrokkelen van 40 cm veen, waardoor het omliggende broekbos verdroogt en verzuurt. Het resultaat is verruiging van de vegetatie met braam en brandnetel. Het verondiepen van de bronkoppen van de Paalbeek is wenselijk om erosie te stoppen en het herstel van alluviaal bos (elzenbroekbos) mogelijk te maken.

Figuur 76. Bronerosie langs de bronkop van de Paalbeek. Het veen brokkelt af doordat de beek jaarlijks te diep wordt geschoond. Hierdoor is het elzenbroekbos verruigd en mineraliseert het veen.

5.2.4 Versnippering tussen Landgoed Tongeren en Tongerense Veen

De kerngebieden Paalveen en Dorpse Veen en Tongerense Veen liggen geïsoleerd van elkaar. De Paalbeek zou een verbinding kunnen vormen voor zowel flora als fauna, wanneer deze niet meer zo sterk ontwaterd en de percelen langs deze beek als natuur kunnen worden ingericht. De percelen ten noorden van het Paalveen lijken kleine snippers, maar het tussenliggende blok bestaat uit een basale vorm van elzenbroekbos. Aan de westzijde grenzen deze blokken ook aan bestaand bos, waardoor er toch al sprake is van een noordelijk bufferzone van het Paalveen.

In het Paalveen was ooit sprake van meer basenhoudende omstandigheden, gezien het voorkomen van galigaan. Dit is een 'hard memory'-soort, wat inhoudt dat hij nog lang aanwezig blijft ook al is de standplaats verslechterd. Galigaanmoeras is zelfs een habitattype binnen Natura 2000, maar staat nu ernstig onder druk, doordat het basenhoudende grondwater de groeiplaats niet meer bereikt. Om galigaanmoeras te kunnen herstellen is het wenselijk om een samenwerking met Landgoed Tongeren aan te gaan.



Figuur 77. Overzicht van gefragmenteerde stukken natuur. Het verbinden van ecologisch waardevolle kernen via de ontwikkeling van een verbindingszone is wenselijk.

6 Maatregelenadvies

6.1 Afwegingskader

Op basis van de LESA is een maatregelenadvies opgesteld voor het Tongerense Veen[43] om de natuurwaarden van het gebied te verhogen. Het advies is gebaseerd op het uitgangspunt dat het doorstroomveen wordt hersteld. Daarvoor is het nodig om:

- Watergangen zoveel mogelijk te dempen en beken te verondiepen;
- Daarbij garanderen dat het water voldoende doorstroomt om regenwaterstagnatie en interne eutrofiëring te voorkomen. Onderzoekcentrum B-WARE geeft als richtlijn aan dat de bodem van oktober tot april onder water kan staan en in de zomer beperkt (10-20 cm bij veenbodems) droog moet vallen. Dan wordt binding van resterend fosfaat (P) gegarandeerd en verruiging van de vegetatie voorkomen;[44]
- De voedselrijke toplaag waar nodig af te graven.

Een belangrijke kanttekening bij het verwijderen van de voedselrijke toplaag bij verder intacte bodemprofielen (niet begraven), is dat het nooit ten koste mag gaan van het hydrologisch functioneren van het systeem. Dit betekent dat terughoudend moet worden omgegaan met ontgraving van dekzandruggen, waar 's winters opbolling van grondwater plaatsvindt. Grondwaterstroming vanuit de dekzandruggen naar laaggelegen terreindelen kan namelijk leiden tot buffering vanuit diepere bodemlagen. In grondwatergevoede bodems (beekeerd- en broekeerdgronden) kan ontgraving de enige oplossing zijn om soortenrijke graslanden tot ontwikkeling te laten komen. Het onderzoek van B-WARE geeft inzicht in de ontwikkeltijd bij maaien en afvoeren (zonder afgraven), waarbij vervolgens de terreingesteldheid ook mee moet worden gewogen. Maaien en afvoeren is slecht mogelijk en onwenselijk in te natte terreinen.

Het verwijderen van opgebrachte grond betekent dat de oorspronkelijke bodem en het reliëf worden hersteld. Echter betekent het wel dat veenlagen die nu begraven zijn, weer bloot komen te liggen. Daarvoor is het van groot belang dat de hydrologie op orde komt, omdat anders deze veenlagen (die nu wel al veelal veraard zijn), verder kunnen degraderen.

6.2 Afgraven

Het afgraafadvies is opgenomen in Figuur 80. Een aantal delen zijn bodemchemisch gezien goed op orde. In de praktijk uit zich dat niet altijd, zoals de graslanden ten westen van de Vlasbeek, waar pitrus dominant is. De verwachting is dat bij hydrologisch herstel (vernatting, maar ook het verbeteren van de doorstroming) in combinatie met een beheer van maaien en afvoeren met aangepast materiaal tegen insporing, de pitrus in bedekking zal afnemen.

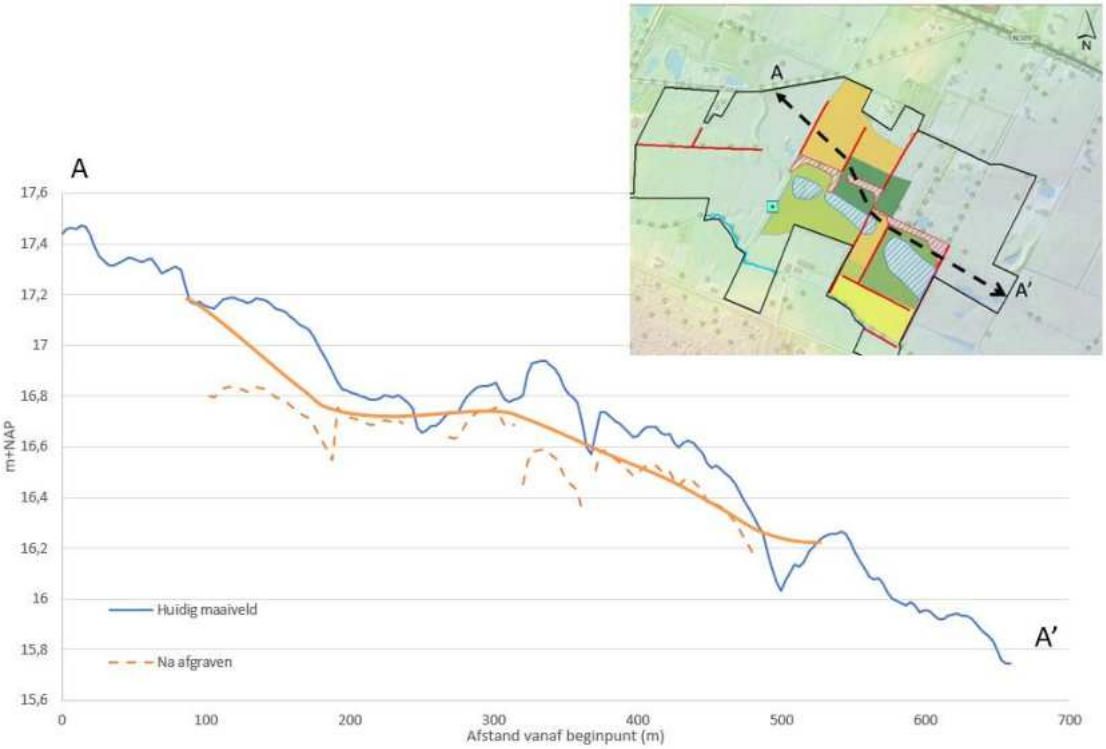
In Figuur 78 is het nieuwe maaiveldverloop aangegeven en is gebaseerd op het afgraafadvies en het opheffen van ontwatering. De doorlopende oranje lijn bevat het nieuwe maaiveld wanneer de waarbij aandacht is voor de creatie van een geleidelijke overgang (Figuur 78). Na herstel is er sprake van een kwelhelling.

---

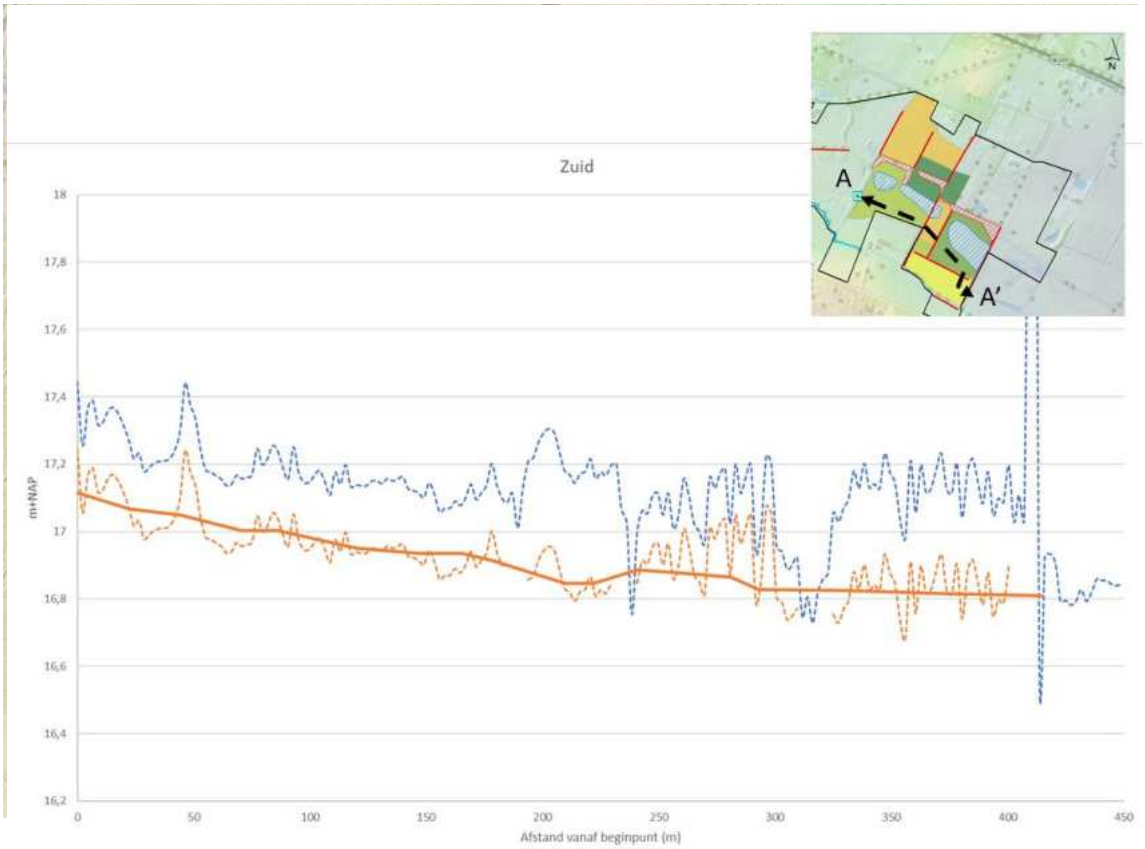
[43] Het Paalveen en het perceel van Landgoed Tongeren zijn niet meegenomen in de uitwerking van de potenties, knelpunten en maatregelen. Wel zijn hydrologische knelpunten volgend uit deze LESA opgenomen.

[44] Koning et al., 2023; Bijlage 1.

In het zuidelijke smeltwaterdal is minder reliëf aanwezig. Hierdoor zal er op de lange termijn vermoedelijk een ontwikkeling naar een voedselarm veen (hoogveen) tot stand komen. Dit geldt vooral voor het oostelijke deel, waar het reliëf vrij vlak ligt (Figuur 79).



Figuur 78: Doorsnede van de huidige maaiveldhoogte in het noordelijke smeltwaterdal, met daarin de nieuwe maaiveldhoogte na afgraven op basis van bodemchemisch onderzoek. Zoals te zien kan het water blijven doorstromen zodat het risico op verzuring en interne eutrofiëring wordt beperkt.



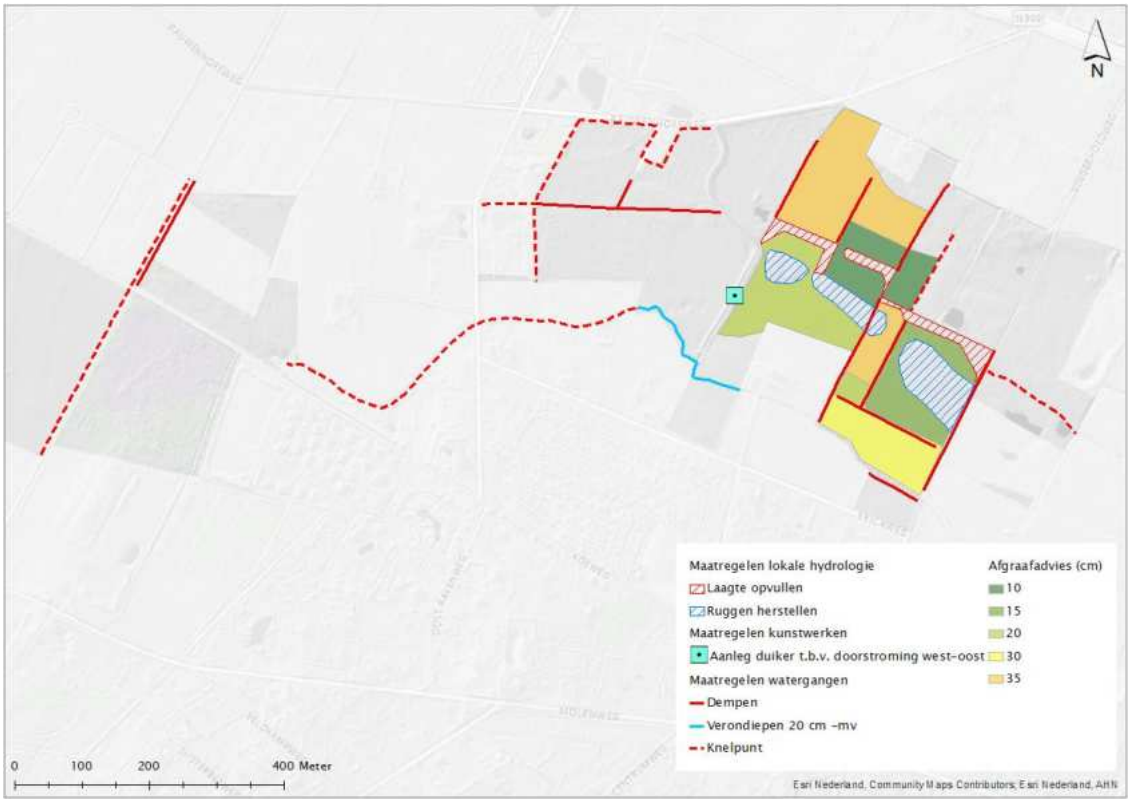
Figuur 79: Doorsnede van de huidige maaiveldhoogte in het zuidelijke smeltwaterdal, met daarin de nieuwe maaiveldhoogte na afgraven op basis van bodemchemisch onderzoek. Vermoedelijk zal zich in het oostelijke deel op de wat langere termijn een voedselarmer veen tot ontwikkeling komen.

6.3 Hydrologische maatregelen

De geadviseerde hydrologische maatregelen zijn (samen met de geadviseerde ontgravingen) opgenomen in Figuur 81. Herstel van de lokale hydrologie is nodig om veenoxidatie tegen te gaan en de bodemverzuring te stoppen. Het gaat om het verondiepen en dempen van sloten. Daar waar watergangen grenzen aan andere grondeigenaren is een nader gebiedsproces nodig om de mogelijkheden voor verminderen van ontwatering te onderzoeken.

Omdat een aantal zandruggen zijn doorgraven, onthoofd dienen deze voor herstel van de lokale hydrologie te worden aangevuld met schraal (geel) zand. Centraal door het Tongerense Veen loopt een brede watergang die een soort stromende laagte bevat. Deze dient ook met schraal (geel) zand te worden opgevuld om verzuring van aangrenzende percelen te stoppen.

Het aanleggen van de duiker onder de opgeleide beek is nodig om doorstroming en daarmee verzuring te verminderen. In het veld is een oude meanderende structuur zichtbaar van een voorloper van de Paalbeek. De duiker dient ter hoogte van deze structuur te worden aangebracht zodat het water weer zijn oude verloop krijgt. In combinatie met hydrologisch herstel zal de pitrusbedekking ten westen van de Vlasbeek naar verwachting afnemen.



Figuur 81 Maatregelenadvies voor herstel en ontwikkeling van een doorstroomveen. De afgraafdieptes zijn inclusief het verwijderen van opgebrachte grond. Het maatregelenadvies is opgesteld voor alleen het Tongerense Veen, maar voor het Paalveen en de Paalbeek zijn belangrijke hydrologische knelpunten opgenomen die de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur in het Paalveen en Tongerense veen in de weg staan.

6.4 Effecten

Hydrologische effecten van de maatregelen zijn getoetst in het kader van deze LESA. Een vervolgonderzoek (hydrologisch model) zal inzichtelijk moeten maken in hoeverre de natuurdoelen hydrologisch gezien haalbaar zijn met de geadviseerde maatregelen en wat eventuele effecten zijn op andere functies dan natuur. De particuliere percelen in het noordelijke en westelijke deel van het gebied liggen relatief laag in het landschap en worden mogelijk beïnvloed bij hydrologische ingrepen. Ophogen van deze percelen kan een oplossing zijn voor hydrologische problemen. De woningen behorend bij deze percelen liggen hoger, maar ook hier zijn mogelijk voorzieningen nodig.

6.5 Aandachtspunten

Van belang is dat met name in de niet af te graven gebieden het beheer wordt geïntensiveerd, middels jaarlijkse maaien en afvoeren met voor natte terreinen geschikt materieel. Beweiding wordt in natte gebieden niet geadviseerd omdat dit leidt tot verslemping, mineralisatie van veen en tijdens droogval tot eutrofiering vanwege afbraakprocessen. Op plekken waar regenwater stagneert leidt dit tot oppervlakkige verzuring en daarmee pitrus.

Het verwijderen van opgebrachte grond betekent dat de oorspronkelijke bodem en het reliëf worden hersteld. Echter betekent het wel dat veenlagen die nu begraven zijn, weer bloot komen te liggen. Daarvoor is het van groot belang dat de hydrologie op orde komt, omdat anders deze veenlagen (die nu wel al veelal veraard zijn), verder kunnen degraderen.

7 Perspectief lange termijn voor de venen op de oost-Veluwe

7.1 Ambities vanuit Natura 2000

Onze onderzoeksgebieden liggen op de overgang van het Natura 2000-gebied Veluwe naar het IJsseldal. Zij liggen deels binnen het Natura 2000-gebied Veluwe maar voor het grootste deel er buiten. Volgens het Natura 2000 beheerplan Veluwe is de kernopgave voor de Veluwe onder meer: versterking van overgangen van droge naar natte gebieden, en ook: herstel van de ruimtelijke samenhang met de omgeving. Onze onderzoeksgebieden zouden kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van het habitattype Overgangs- en trilvenen (H7140A) en wellicht ook aan de habitattypen Blauwgrasland (H6410) en Kalkmoerassen (H7230). Kansen voor uitbreiding binnen de begrenzing van het Natura 2000-gebied Veluwe zijn nihil.

In het Herstelprogramma Vennen en venen (Provincie Gelderland, 2023) zijn ambities aangegeven voor het nabij gelegen Wisselse Veen: de vennen daar hebben de potentie voor overgangs-en trilveen (H7140A). Stroomafwaarts daarvan kan volgens het herstelprogramma op den duur dotterbloemhooiland en wellicht kalkmoeras ontwikkelen. Er zijn maatregelen benoemd voor onder meer vernatting van het gebied, naar aanleiding van de uitgevoerde LESA. Het Tongerense Veen, Pollense Veen, Nijmolense en Smallertse Beek worden weliswaar niet genoemd in het herstelprogramma, maar hebben een vergelijkbare potentie.

In het Herstelprogramma Beken (Provincie Gelderland, 2023) is voor de beken in het Tongerense Veen aangegeven dat de betekenis voor het habitattype Beken en rivieren met waterplanten (H3260A) en voor de doelsoorten beekprik en rivierdonderpad beperkt is en dat de kans op herstel klein is. Hierop ligt in het Tongerense Veen dus niet de focus. De Smallertse Beek levert wel een bijdrage aan het doelbereik voor de beekprik en voor rivierdonderpad. Knelpunten zijn de aanwezigheid van barrières en risico's voor de waterkwaliteit.

Vanuit het Natura 2000 beleid lijkt een focus op het vernatten van het gebied, om ambities vergelijkbaar met het Wisselse Veen te realiseren, dus het meest voor de hand te liggen.

7.2 Klimaatverandering

Klimaatverandering dwingt ons om het hoofd te bieden aan temperatuurstijging, lange perioden van droogte en neerslagextremen. De CO_2-uitstoot van verdrogende veengebieden is in Nederland maar liefst twee keer zo hoog als de totale vastlegging.[45] Het herstel van veenmosveen zorgt voor een beperking van de CO_2-uitstoot.[46] Dat benadrukt de grote rol die veengebieden spelen in het mitigeren van klimaatverandering. Bij veenlandschappen denkt men al snel aan de grote veengebieden van west-Nederland, de kop van Overijssel en Friesland. Maar ook de hogere zandgronden kennen een geschiedenis van veengebieden, die door ontginning en ontwatering verdwenen of aangetast zijn. De **oost-Veluwse venen spelen vanwege de grote herstelkansen een belangrijke rol in de ontwikkeling van een klimaatrobuuster landschap.** Ecosysteemdiensten zijn niet alleen het

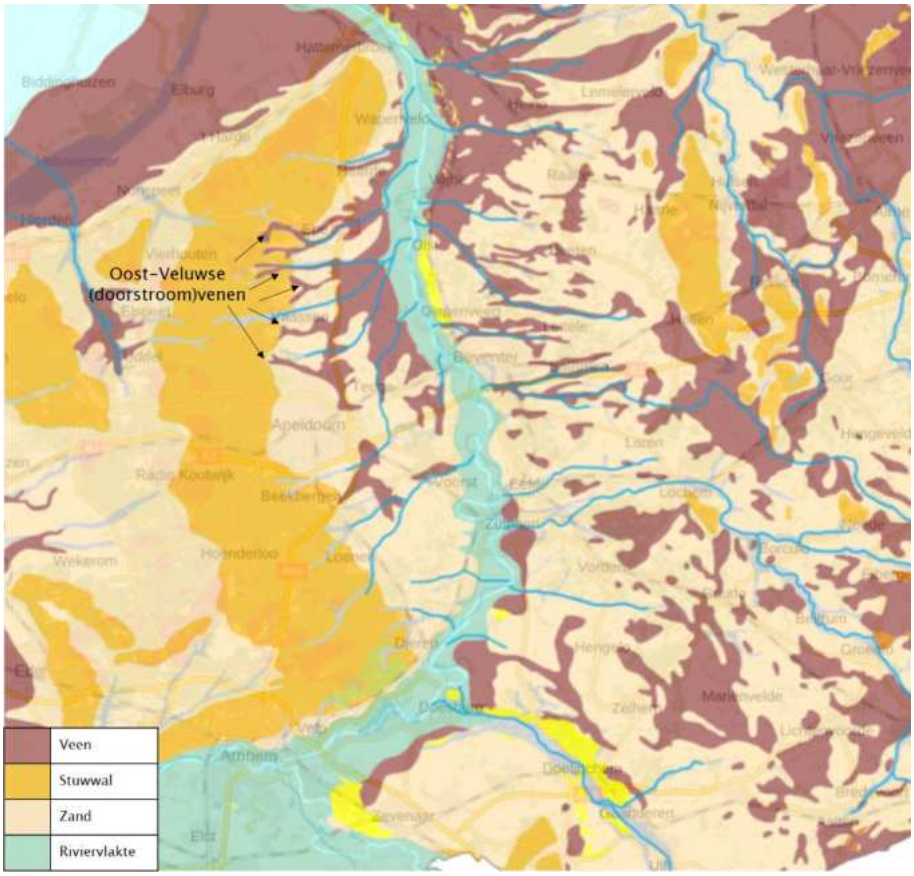
[45] Lof et al., 2017.

[46] Pacheco-Cancino et al., 2023.

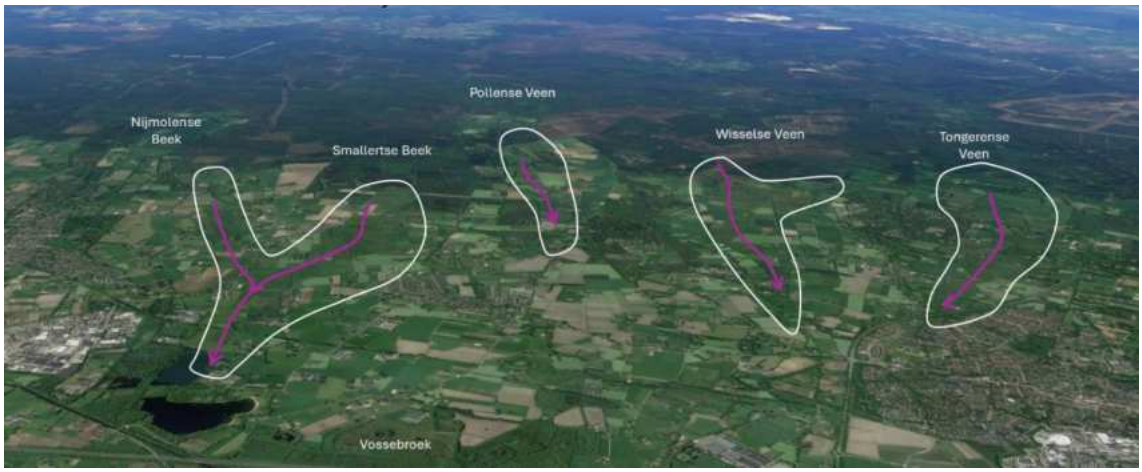
opslaan van CO_2 (en het stoppen van de uitstoot), er zijn ruime mogelijkheden voor vasthouden van water en het verhogen van de biodiversiteit en beleefbaarheid.

7.3 De oost-Veluwse venen

Tussen de oost-Veluwe en de IJssel speelde veenvorming een belangrijke rol. Het water kan hier van nature moeilijk weg. De grondwaterdruk is door het steile verhang van de stuwwal namelijk groot en de slechtdoorlatende geologische afzettingen in het tongbekken van de IJssel zorgen voor tegendruk. Daardoor was hier sprake van stabiel natte condities waardoor hier grote laagveenmoerassen of broekgebieden, zoals het Vossenbroek, Vemderbroek en Gulbroek, ontstonden. Door gestuwde kleischotten op de stuwwal waren ook hoog op de helling venen aanwezig (Figuur 82). Voorbeelden zijn het Wisselse Veen, Tongerense Veen, het Pollense Veen en in het Nijmolense en Smallertse beekdal (Figuur 83). Door de helling ontstond het veen onder invloed van continu stromend grondwater, maar met verschillende eigenschappen (zuur tot basenhoudend) en bijbehorende gradiënten in vegetatie. Wanneer de diverse venen zich verder ontwikkelen ontstaat er een zogenaamd 'doorstroomveen'.



Figuur 82: Schematische weergave van de veengebieden tussen de Veluwe en IJsselvallei, rond 1500 (paleografische kaart van Vos).



Figuur 83: Doorstroomvenen op de oostflank van de Veluwe bij Epe en Emst. Op de voorgrond de overgang naar de broekgebieden (laagveenmoerassen): het Vossenbroek is nog net zichtbaar (kaart ondergrond: Google Earth).

7.4 Ecosysteemdiensten van de oost-Veluwse venen

De oost-Veluwse venen spelen een belangrijke rol in het creëren van een robuust landschap. Het herstellen van de venen op de oost-Veluwe draagt bij aan het behalen van de Natura 2000-beleidsdoelen, het mitigeren van klimaatveranderingen en actieve venen leveren vele ecosysteemdiensten.

7.4.1 Koolstofdioxide (CO_2)

Broeikasgassen, vooral CO_2, zorgen ervoor dat warmte wordt vastgehouden op de aarde waardoor de temperatuur stijgt. Om de omvang en snelheid van opwarming van de aarde te verminderen, is het van belang om de CO_2-uitstoot te verminderen en de opslag te vergroten.

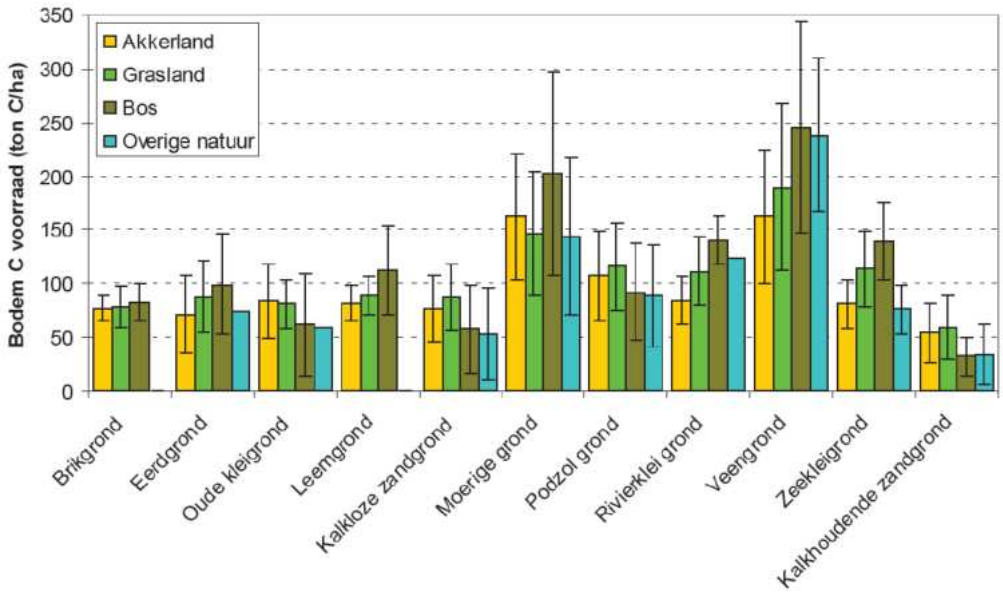
Veengebieden zijn bij uitstek geschikt voor het vastleggen van CO_2. Aan de hand van de data uit de Landelijke Steekproef Kartering (LSK)[47] zijn koolstofvoorraden berekend voor verschillende soorten landgebruik. **In moerige en veenbodems is de koolstofvoorraad ruim twee keer (!) zo hoog als op vergelijkbare droge bodems** (Figuur 84 en Figuur 85). Daarbij komt dat in venen de CO_2-vastlegging 7 tot 10 keer sneller gaat dan op zandgronden. Ze zijn daarmee de grootste CO_2-vastleggers van de wereld.[48]

Veengebieden worden daarentegen juist een bron van CO_2-uitstoot wanneer ze ontwaterd worden en het veen gaat oxideren.[49] Zoals eerder gezegd, is de CO_2-uitstoot van veengebieden in Nederland maar liefst twee keer zo hoog als de totale vastlegging.

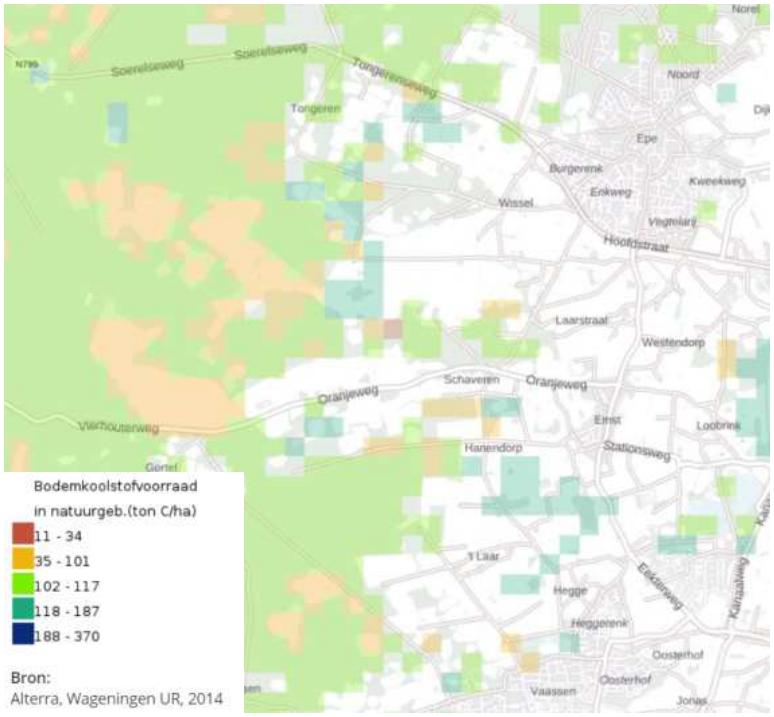
[47] De LSK is een gestratificeerde nationale steekproef, die is uitgevoerd in de periode 1990-2000 waarbij op ongeveer 1400 locaties bodemmonsters op vijf verschillende diepten zijn geanalyseerd.

[48] Joosten et al., 2016.

[49] Pacheco-Cancina et al., 2023.



Figuur 84: Koolstofopslag in verschillende bodems in ton C/ha. Moerige en veengronden bevatten twee keer zoveel koolstof als droge bodems (kalkloze zand- en leemgronden) (Uit Lesschen et al 2012).



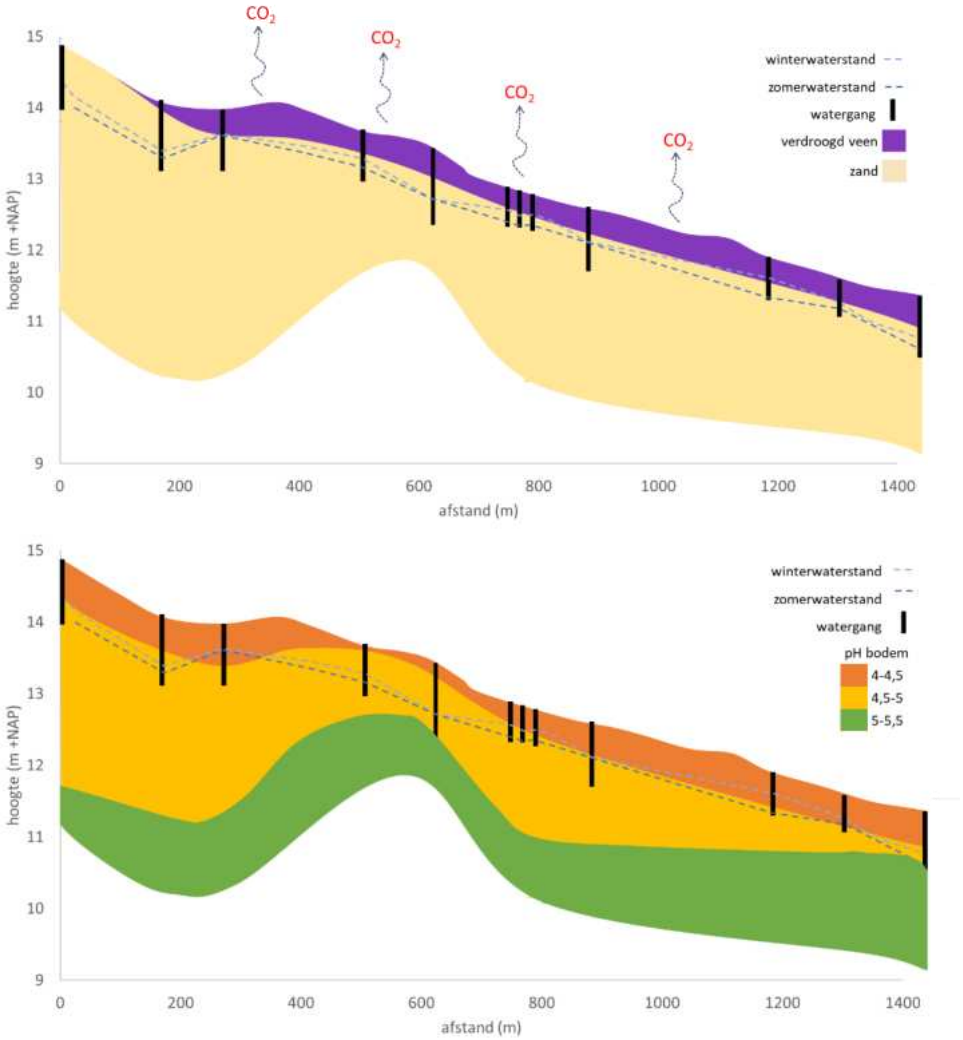
Figuur 85: Bodemkoolstofvoorraad op de oost-Veluwe bij Epe (bron: Alterra, 2014; gebaseerd op Lesschen et al., 2012).

7.4.2 Water vasthouden

De oost-Veluwse venen zijn van groot belang voor de CO_2-opslag van de hogere zandgronden. Dat zit hem met name in de grote herstelkansen van deze, momenteel degraderende, venen. De waterstanden zijn in deze venen namelijk nog steeds relatief hoog en stabiel. De venen liggen bovendien in de laagste delen van het landschap (beekdalen), waar de bewoningsdichtheid vrij laag is. Daardoor zijn de uitstralingseffecten van watermaatregelen naar verwachting beperkt.

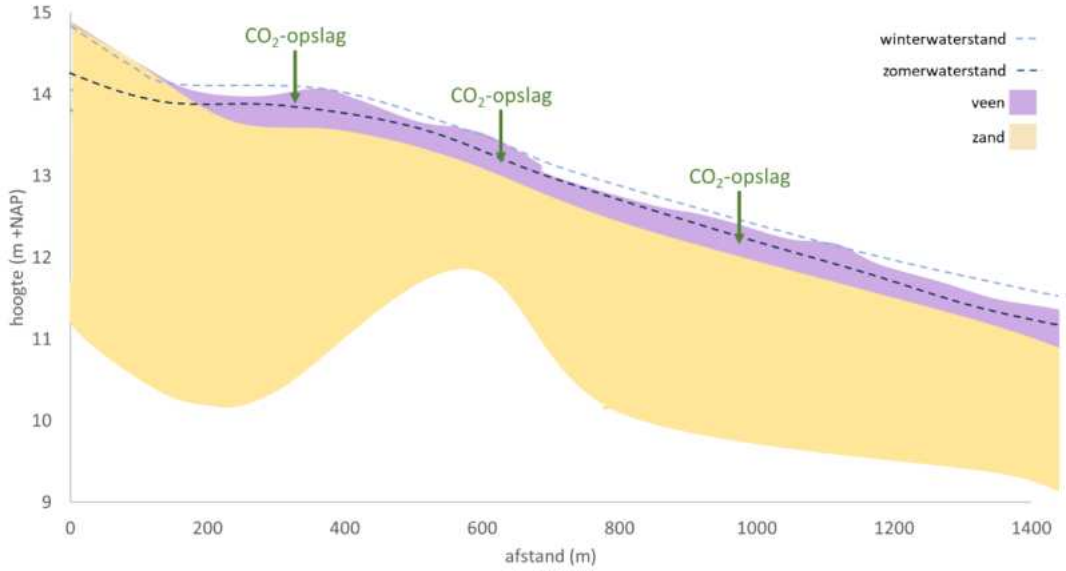
Het huidige watersysteem is erop gericht om water zo snel mogelijk af te voeren. Het watersysteem moet beter bestand worden tegen extreme weersomstandigheden. Veengebieden zijn erg geschikt om water langer vast te houden. Vaak wordt gesproken over 'sponswerking', te danken aan veenmossen die tot 20 keer hun eigen gewicht aan water vasthouden. Een belangrijk deel van de sponswerking van de oost-Veluwse venen is verloren gegaan door ontginning en verdroging. Het resterende veen staat dezelfde toekomst te wachten als niet wordt ingegrepen in de hydrologie. De beken hebben een grote omvang, en er is een uitgebreid stelsel van detailontwateringen. Het veen ligt droog en oxideert, waardoor steeds meer van de sponswerking verloren gaat, de bodem verzuurt en bovendien CO_2 vrijkomt.

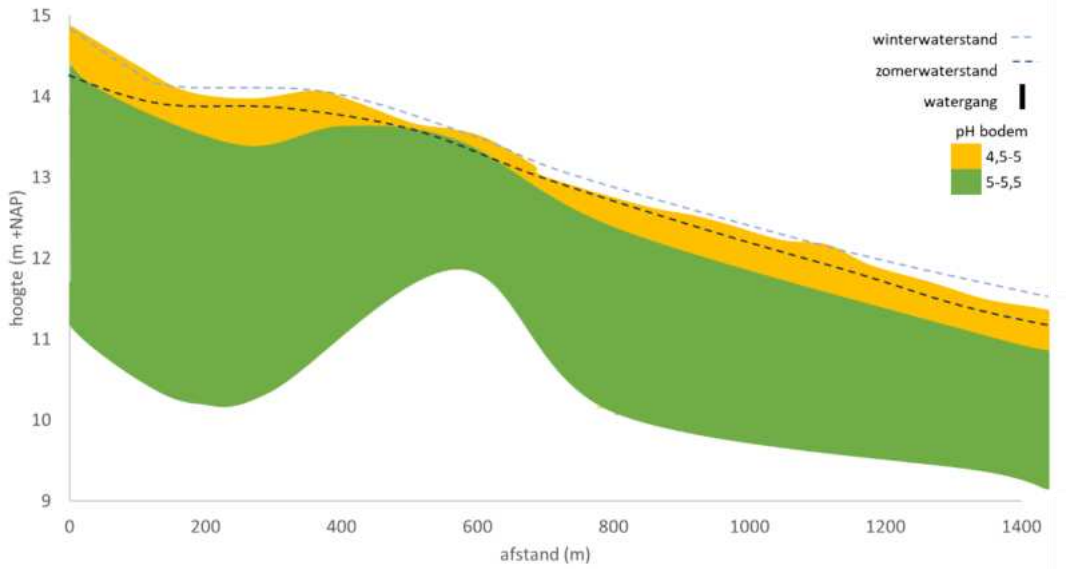
Figuur 86: Veenmosontwikkeling op in 2004 ingerichte natuur. Duidelijk zichtbaar is de sponswerking door ca 20 cm dikke veenmosontwikkeling.



Figuur 87: Door greppels en beken staat het water lager dan het restveen. Daardoor oxideert het veen en komt CO_2 vrij (boven). Bovendien verzuurt de bodem doordat mineraalrijk grondwater niet voldoende aan het oppervlak komt (onder) (gebaseerd op data uit LESA Nijmolense Beek).

In goed ontwikkelde veengebieden staat 's winters het grondwater aan maaiveld. Vanaf april zakt het water maximaal 30 cm weg. Ook de minerale gronden in de beekdalen zijn geschikt voor waterberging. 's Winters staan deze gebieden onder water tot pakweg april. Door de invloed van dit mineraalrijke grondwater stopt de verzuring en neemt de pH weer toe. In het voorjaar zakt het water in de grond.





Figuur 88: Bij een goede waterhuishouding staat het veen tot april onder water, waarna het maximaal enkele decimeters wegzakt. Daardoor kan het veen weer groeien en wordt CO_2 opgeslagen. Daarnaast stopt de bodemverzuring (onder) doordat mineraalrijk grondwater weer langer aan maaiveld staat.

7.4.3 Biodiversiteit

De oost-Veluwse venen vormen een mineraalrijke, natte oase in het verder droge landschap van de Veluwse stuwwal. Ze zijn eveneens een schakel tussen de stuwwal en de rijke IJsselvallei, waardoor een waardevol gradiënt ontstaat. Abiotische diversiteit (bodem, water) bepaalt in grote mate de biotische diversiteit, van planten en dieren. Herstel van de abiotische variatie is dus de belangrijkste motor achter het vergroten van de biodiversiteit.

In de huidige situatie is de biodiversiteit in de oost-Veluwse venen matig. Het Tongerense en Pollense Veen en de venen in de Nijmolense en Smallertse Beek zijn verdroogd, verzuurd en te rijk aan voedingsstoffen door bemesting in het verleden. Bij herstel zijn op de lange termijnen vegetaties van doorstroom- en kwelvenen te verwachten. Denk aan

blauwgraslanden, slenken met kleine zeggen, en kwelgevoede dotterbloemhooilanden en elzenbroekbossen.

Door het grote wateraanbod is de verwachting dat het veen relatief snel kan groeien. Een kijkje bij het Wisselse Veen geeft een beeld van de hoge potenties. Met relatief weinig inspanning zijn hier in een zeer korte tijd (vanaf 1995) grote resultaten behaald. Het veen is weer in ontwikkeling en het gebied is een biodiversiteitshotspot voor bijzondere vegetaties en fauna. Het gebied vormt een ware oase voor mineralen en vocht voor het systeem van de Veluwe als geheel. Het herstellen van de overgang van de droge arme Veluwe naar deze rijke flanken leidt daarmee tot systeemherstel en een gezond biodivers landschap.

Figuur 89: Het Wisselse Veen, een rijke oase te midden van een droog en arm zandlandschap van de Veluwe.

Figuur 90 Elzenbroekbos (Tongerense Veen)

Figuur 91 Voorbeeld van een bloemrijk veldrushooiland (Schildbroek, bij Groesbeek)

7.4.4 Recreatieve waarde

De oost-Veluwse venen zijn in beperkte mate beleefbaar, omdat ze vanwege hun nattigheid voor normaal schoeisel slecht toegankelijk zijn. Desondanks zijn ze prima vanaf bestaande openbare wegen te aanschouwen, omdat dit vrij open landschappen zijn (Figuur 93 Voorbeeld van beleving van een broekgebied (Soerense Broek) vanaf de weg (Broekdijk)). Voor de fijnproever zijn op Landgoed Tongeren vlonderpaden aangelegd. Dit gebied grenst aan het Wisselse Veen en biedt een mooi voorbeeld van de ontsluiting van een mooi ontwikkelend veengebied voor recreatie. Wandelaars kunnen hier zonder natte voeten te krijgen, genieten van dit bijzondere open landschap vanaf het vlonderpad (Figuur 92).

Figuur 93 Voorbeeld van beleving van een broekgebied (Soerense Broek) vanaf de weg (Broekdijk)

Figuur 92 Vlonderpad op Landgoed Tongeren. Foto: Gemeente Epe.

Literatuur

Bakker, M.A. & J.J. Van Der Meer, 2003. Structure of a Pleistocene push moraine revealed by GPR: the eastern Veluwe Ridge, The Netherlands. Geological Society, London, Special Publications, 211(1), 143-151.

De Bakker, H. & J. Schelling, 1981. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland : de hogere niveaus en codering van bodemtypen overeenkomstig de legenda van de bodemkaart van Nederland 1:50.000.

Ten Cate, J.A.M., A.F. van Holst, H. Kleijer & J. Stolp, 1995. Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften. Deel D: interpretatie van bodemkundige gegevens voor diverse vormen van bodemgebruik. Technisch document / DLO-Staring Centrum; No. 19-D). SC-DLO.

Van Engelenburg, J., 2012. Uitbreiding infiltratieproject Epe: Aanvraagonderbouwend rapport Waterwetvergunning. Vitens.

Van Engelenburg, J., T. Spek & A. Van Doorn, 2012. Is een stuwwal modelleerbaar? H_2O, 9-2012.

Hagens, 1998. Negen eeuwen Watermolens op de Veluwe. Op kracht van stromend water. NV Uitgeverij Smit van 1876. Hengelo.

Hanhart, K., 2021. Onderzoek waterhuishouding Dorpse beek, Epe. Eelerwoude.

Jansen, A., K. Hanhart, G. Maljaars & J. Vrielink, 2013. Aanvullend bodemonderzoek plagdiepte landgoed Tongeren. Hanhart Consult, Lochem.

Jansen, A.J.M., H. Smeenge, A.A.M. Kieskamp, M. Van Der Linden, T. Termaat, M. Van Os & G.H. Bulten, 2019. Wisselse Veen: systeemanalyse en inrichtingsplan. Bosgroepen, Ede.

Joosten, H., A. Sirin, J. Couwenberg, J. Laine & P. Smith, 2016. Chapter 4: The role of peatlands in climate regulation. Peatland restoration and ecosystem services: Science, policy and practice. 66.

Lesschen, J.P., H.I.M. Heesmans, J.P. Mol-Dijkstra, A.M. van Doorn, E. Verkaik, I.J.J. van den Wyngaert & P.J. Kuikman, 2012. Mogelijkheden voor koolstofvastlegging in de Nederlandse landbouw en natuur (No. 2396). Alterra.

Maas, C. & A.J.M. Jansen, 1993. Ecohydrological processes in almost flat wetlands, Proceedings van het symposium Engineering Hydrology, ASCE, San Francisco, Chin Y. Kuo.

Kieskamp, A.A.M., T. Termaat & H. Smeenge, 2022. LESA Gulbroek. Bosgroep Midden-Nederland, Ede.

Kieskamp, A.A.M., H. Smeenge & M. Van Os, 2024. Smallertse Beek LESA en maatregelenadvies. Bosgroep Midden-Nederland, Ede.

Koning, S., W. De Jong, M. Van Mullekom & F. Smolders, 2023. Bodem- en hydrochemisch onderzoek natuurpotenties Tongerense Veen. RP-22.159.23.48, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.

Menke H, H. Renes, G. Smid, P. Stork, J. Meijer., 2007. Veluwse beken en sprengen. Cultuurhistorisch overzicht van het sprengenbekenlandschap van de Veluwe. Uitgeverij Matrijs i.s.m. Stichting tot Behoud van de Veluwe Sprengen en Beken.

Pacheco-Cancino, P.A., R. F. Carrillo-López, A. Sepulveda-Jauregui & M.A. Somos-Valenzuela, 2023. Sphagnum mosses, the impact of disturbances and anthropogenic management actions on their ecological role in CO2 fluxes generated in peatland ecosystems. Global Change Biology, 30(1), e16972.

Provincie Gelderland, 2023. Herstelprogramma Beken. Natura 2000 Veluwe.

Provincie Gelderland, 2023. Herstelprogramma Vennen en venen. Natura 2000 Veluwe.

Neefjes, J.W.P.M., 2018. Landschapsbiografie van de Veluwe: historisch-landschappelijke karakteristieken en hun ontstaan. Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed.

Schaminée, J., R. Haveman, S. Hennekens, M. Horsthuis, J. Janssen, I. de Ronde, N. Smits & K. Sýkora, 2019. Veldgids Plantengemeenschappen van Nederland. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Schaminée, J., J. Janssen, E. Weeda, P. Hommel, R. Haveman, P. Schipper & D. Bal, 2015. Veldgids Rompgemeenschappen. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Smeenge, H., 2020. Historische landschapsecologie van Noordoost-Twente
Acht interdisciplinaire studies op het snijvlak van aardkunde, ecologie en cultuurhistorie (ca. 13.000 BP - heden). Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.

Smeenge, H., A.A.M. Kieskamp & M. Van Os, 2024. Nijmolense Beek LESA en maatregelenadvies. Bosgroep Midden-Nederland, Ede.

Tijdeman, E., L. Avis & A. Krikken, 2023. Actualisatie tijdreeksanalyse waterwinning Epe. RoyalHaskoningDHV, rapport BI6879-RHD-RP-0001.

Succow, M. & H. Joosten (red.), 2001. Landschaftsökologische Moorkunde. Stuttgart.

Vista landschapsarchitectuur en stedenbouw i.s.m. Lantschap, 2011. Cultuurhistorische Kansenkaarten Wisselse Poort. Kansen voor meekoppeling van cultuurhistorie in de integrale opgaven voor de Wisselse Poort, in het bijzonder deelgebieden Tongeren-Wissel en Zuuk-Grift. Provincie Gelderland.

Vos, P., 2015. Origin of the Dutch coastal landscape. Long-term landscape evolution of the Netherlands during the Holocene, described and visualized in national, regional and local palaeogeographical map series. Proefschrift, Utrecht University

Werkgroep Kadastrale Atlas Gelderland van de Vereniging Gelre, 2003. Kadastrale atlas Gelderland 1832. Velp.

Willemse, N.W., J. Neefjes & F. De Roode, 2008. Onderzoeksgebied Groot Soerel; een archeologisch, landschappelijk en historisch-geografisch onderzoek. RAAP Archeologisch Adviesbureau B.V.

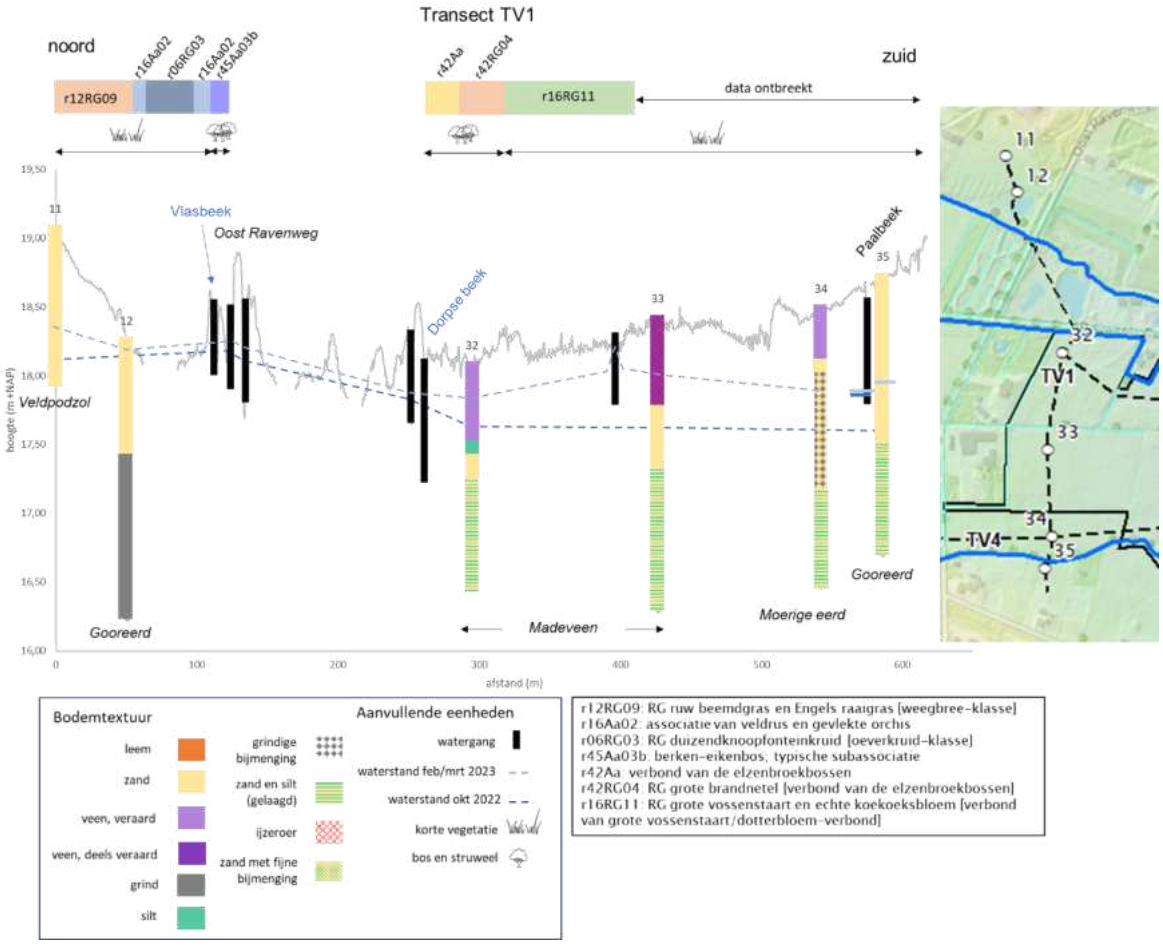
Bijlagen

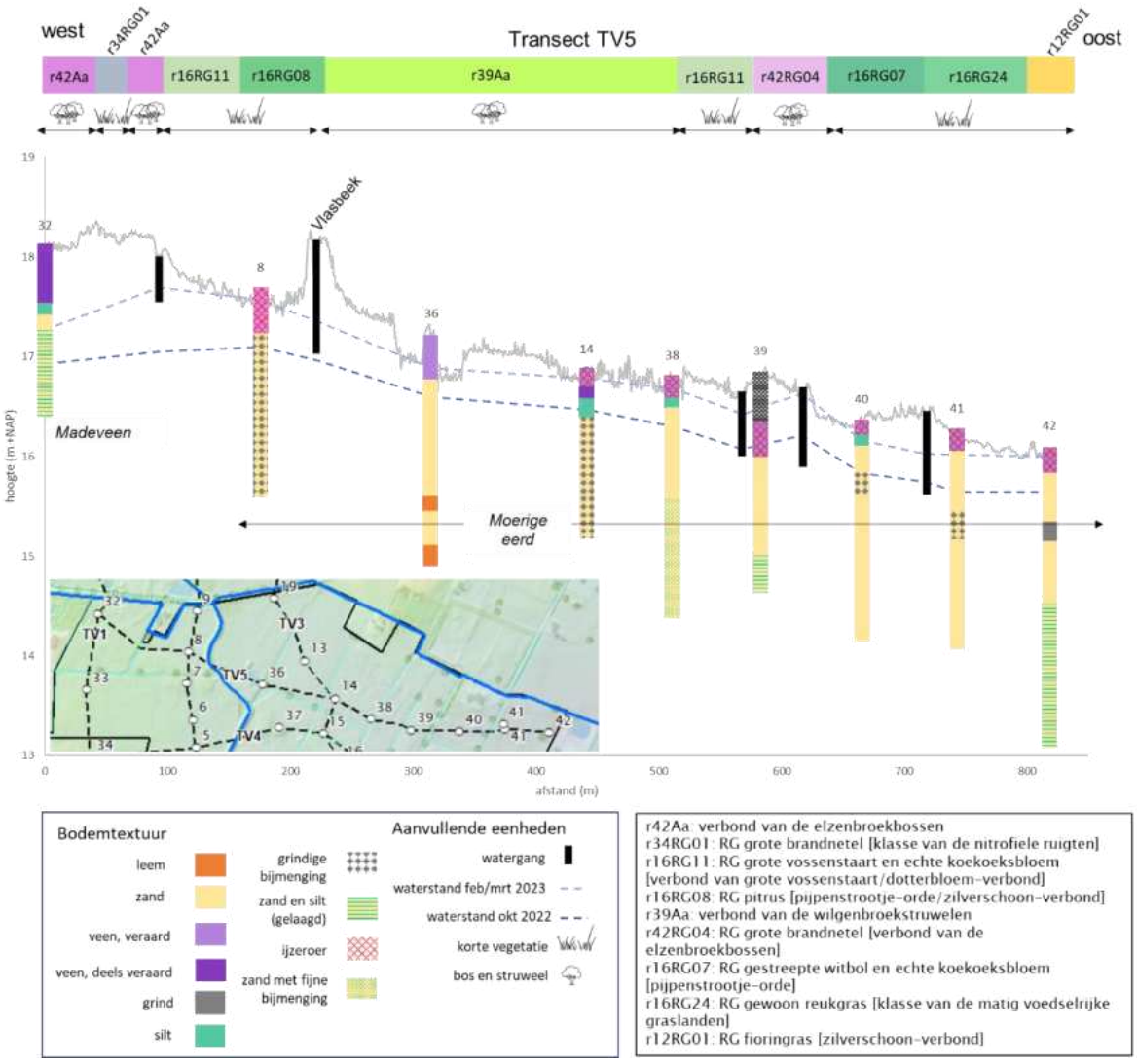
Bijlage 1

Bodem- en hydrochemisch onderzoek natuurpotenties Tongerense Veen

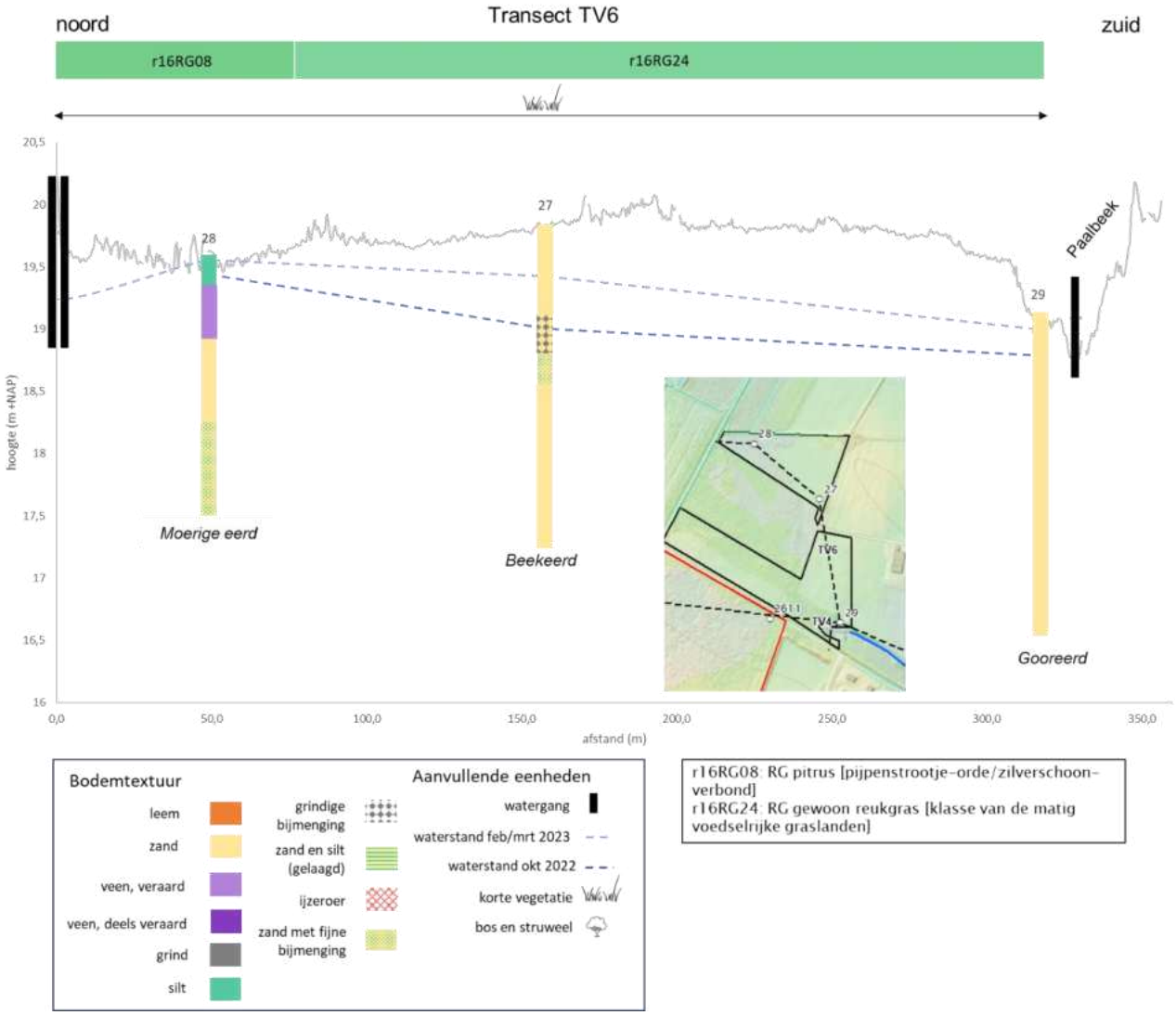
Aparte bijlage

Bijlage 2 Overige dwarsdoorsneden





r42Aa: verbond van de elzenbroekbossen
r34RG01: RG grote brandnetel [klasse van de nitrofiele ruigten]
r16RG11: RG grote vossenstaart en echte koekoeksbloem [verbond van grote vossenstaart/dotterbloem-verbond]
r16RG08: RG pitrus [pijpenstrootje-orde/zilverschoon-verbond]
r39Aa: verbond van de wilgenbroekstruwelen
r42RG04: RG grote brandnetel [verbond van de elzenbroekbossen]
r16RG07: RG gestreepte witbol en echte koekoeksbloem [pijpenstrootje-orde]
r16RG24: RG gewoon reukgras [klasse van de matig voedselrijke graslanden]
r12RG01: RG fioringras [zilverschoon-verbond]


Transect TV6
noord
zuid
r16RG08
r16RG24
hoogte (m +NAP)
afstand (m)
Moerige eerd
Beekeerd
Gooreerd
Paalbeek
Bodemtextuur
leem
zand
veen, veraard
veen, deels veraard
grind
silt
grindige bijmenging
zand en silt (gelaagd)
ijzeroer
zand met fijne bijmenging
Aanvullende eenheden
watergang
waterstand feb/mrt 2023
waterstand okt 2022
korte vegetatie
bos en struweel
r16RG08: RG pitrus [pijpenstrootje-orde/zilverschoon-verbond]
r16RG24: RG gewoon reukgras [klasse van de matig voedselrijke graslanden]

Bijlage 3

Peilbuizen metadata

NITG	X	Y	GLG	GVG	GHG	Maaiveld	Filter onderkant	Filter onderkant	Start	Eind
			m+NAP					m-mv		
B27D0371_1	193375	485050	16,3	16,6	16,7	18,0	16,0	2,0	1981	1993
B27D0246_1	192240	484670	19,2	19,5	19,6	19,8	18,9	0,9	1964	2005
B27D0514_1	191560	484065	20,1	20,3	20,4	20,7	17,6	3,1	2010	2017
B27D0516_1	192319	485035	18,8	18,9	19,1	19,2	16,1	3,1	2010	2017
B27D0513_1	191402	484318	20,1	20,3	20,5	21,3	17,4	3,9	2010	2017
B27D0515_1	191627	485001	20,0	20,3	20,5	21,6	17,5	4,1	2010	2017
B27D0538_1	191978	484746	19,5	19,8	19,9	20,0	18,0	2,0	2014	2019
B27D0539_1	192039	485127	19,6	20,0	20,2	20,5	18,5	2,0	2014	2019
B27D0377_1	193540	484650	15,3	15,7	15,9	16,6	14,4	2,2	1987	2019
B27D0543_1	191897	483750	19,3	19,6	19,7	19,9	17,6	2,3	2014	2019
B27D0540_1	192032	485514	19,6	20,0	20,1	20,7	18,0	2,7	2014	2019
B27D0541_1	192193	485377	18,6	18,9	19,0	19,9	17,1	2,7	2014	2019
B27D0517_1	192471	485222	18,2	18,4	18,5	18,9	15,9	3,0	2010	2019
B27D0372_1	193360	485030	16,4	16,7	16,8	17,8	14,2	3,6	1993	2019
B27D0525_1	193013	484859	16,4	16,8	17,0	17,5	13,7	3,8	2013	2019

Bijlage 4 Informatie per vegetatietraject

Aparte bijlage (excel)