

RAPPORT

LESA Loonse en Drunense Duinen en De Brand

Klant Provincie Noord-Brabant

Referentie: BI5957-RHD-XX-XX-RP-EO-0001

Status: Definitief/1.0

Datum: 6 oktober 2022



HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB Nijmegen
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: LESA Loonse en Drunense Duinen en De Brand

Sub titel:
Referentie: BI5957-RHD-XX-XX-RP-EO-0001
Status: 1.0/Definitief
Datum: 6 oktober 2022
Projectnaam: LESA LDD
Projectnummer: BI5957
Auteur(s): Tom Paternotte, Evy Kleingeld, Floris Verhagen

Opgesteld door: Tom Paternotte, Evy Kleingeld, Floris
Verhagen

Gecontroleerd door: Hank Vermulst / HV

Datum: 6 oktober 2022

Goedgekeurd door: Hank Vermulst / HV

Datum: 6 oktober 2022

Classificatie

Projectgerelateerd

In opdracht van:

Provincie Noord-Brabant

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Onderzoeksgebied en opzet van het onderzoek	2
2.1	Onderzoeksgebied	2
2.2	Opzet van het onderzoek	3
3	Ontwikkeling van het landschap	4
3.1	Geologische ontwikkeling	4
3.2	Ontginningsgeschiedenis	6
4	Geologie en geohydrologie	11
4.1	Geologische opbouw van de ondergrond	11
4.2	Hydrologie	13
4.2.1	Herkomst van het grondwater	13
4.2.2	Beïnvloeding van omliggende kwelgebieden	14
5	Loonse en Drunense Duinen	18
5.1	Bodem en reliëf	18
5.2	Grondwatersysteembeschrijving	23
5.3	Factoren van invloed op de grondwaterstand	26
5.3.1	Verandering in landgebruik (bebossing)	26
5.3.2	Grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening	28
5.3.3	Onttrekking van grondwater voor de industrie	33
5.3.4	Onttrekking van grondwater voor beregening	34
5.3.5	Afwateringskanaal Drongelen - Den Bosch	37
5.3.6	De polders ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen	38
5.3.7	Verstedelijking	39
5.3.8	Synthese	41
5.4	Analyse van veranderingen in grondwaterstanden	43
5.5	Ontwikkeling van (grond-)waterafhankelijke natuurwaarden	48
6	De Brand	54
6.1	Bodem	54
6.2	Hydrologie	56
6.2.1	Beschrijving van het hydrologische systeem	56
6.2.2	Herinrichting van De Brand	59

6.2.3	Grondwaterkwaliteit	60
6.2.4	Veranderingen in het grondwater na de herinrichting	62
6.3	Vegetatieontwikkeling in De Brand	65
7	Potenties voor hydrologisch natuurherstel	68
	Referenties	70
	Bijlagen	72
	Bijlage 1 Boorbeschrijvingen veldwerk in de Loonse en Drunense Duinen	73
	Bijlage 2 Grondwateronttrekkingen winningen Helvoirt, Vlijmen en Waalwijk	75

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De natuurwaarden in het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen staan onder druk. In het gebied zijn de afgelopen jaren diverse maatregelen getroffen om de instandhouding van de habitattypen en het leefgebied van de kamsalamander en drijvende waterweegbree te borgen. Echter, stikstofdepositie, verdroging en een gebrek aan natuurlijke dynamiek vormen blijvende knelpunten voor de natuur.

In de afgelopen eeuw zijn het watergebruik en peilbeheer rondom de Loonse en Drunense Duinen en De Brand ingrijpend gewijzigd. Door grondwateronttrekkingen, ontwatering, op de landbouw aangepast peilbeheer en toename van drainage in de landbouwgronden is de kweldruk in de Brand afgenomen en is het grondwaterpeil in de duinen fors gedaald. Dit heeft een algehele verdroging van het gebied tot gevolg gehad.

Om in de schil rondom het Natura 2000-gebied effectieve maatregelen te kunnen programmeren en af te wegen in een gebiedsproces (GebiedsGerichte Aanpak - GGA), is onderzoek nodig. In de GGA worden vooral hydrologische maatregelen voorzien waarbij maatregelen buiten N2000 doorwerken op de natuurdoelen in het gebied.

Aan de hand van nieuw natuurbesluit komt ook uitbreiding van habitattypen en het leefgebied van de kamsalamander in beeld. Door nieuw stikstofbeleid en daarbij behorende subsidiemogelijkheden kan nu voor herstel en uitbreiding van de natuurdoelen niet alleen op maatregelen binnen de Natura 2000-begrenzing ingezet worden maar ook in de schil eromheen.

1.2 Doel

Om de juiste strategieën voor herstel toe te passen is beter inzicht nodig in het ontstaan en functioneren van het gebied, en in processen die de bestaande natuur bepalen. Op basis van een Landschaps-Ecologische Systeem Analyse (LESA) binnen het N2000 gebied en in de schil tot concrete inrichtingsplannen te komen voor verbetering van de natuurwaarden, die in het kader van de gebiedsgerichte aanpak opgepakt kunnen worden.

Hoe zag en ziet het ecohydrologisch systeem van de Loonse en Drunense Duinen & de Brand er uit?

- Hoe heeft het systeem gefunctioneerd in het verleden? Was het vroeger natter, en zo ja, was dat overal het geval?
- Hoe ziet het systeem er nu uit? Waar liggen landschappelijke en ecologische waarden?
- Hoe hebben veranderingen in het systeem de natuurwaarden beïnvloed?
- Aan welke knoppen kan gedraaid worden om natuurwaarden te herstellen?
- Hoe beïnvloedt het hydrologisch systeem van de Loonse en Drunense Duinen, de hydrologie van omliggende kwelgebieden; behalve De Brand, ook de Westelijke Langstraat en het Vlijmens ven?

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst de opzet van het onderzoek beschreven. Het ontstaan van het landschap en de ontginningsgeschiedenis komen aan bod in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft het grotere geohydrologische systeem en de doorwerking naar de omgeving. Hoofdstuk 5 en 6 beschrijven de doorwerking van de hydrologie op de ecologische condities voor respectievelijk de Loonse en Drunense Duinen en De Brand. Tot slot wordt in hoofdstuk 7 ingegaan op de vraag welke maatregelen (in potentie) genomen kunnen worden om natuurwaarden te herstellen.

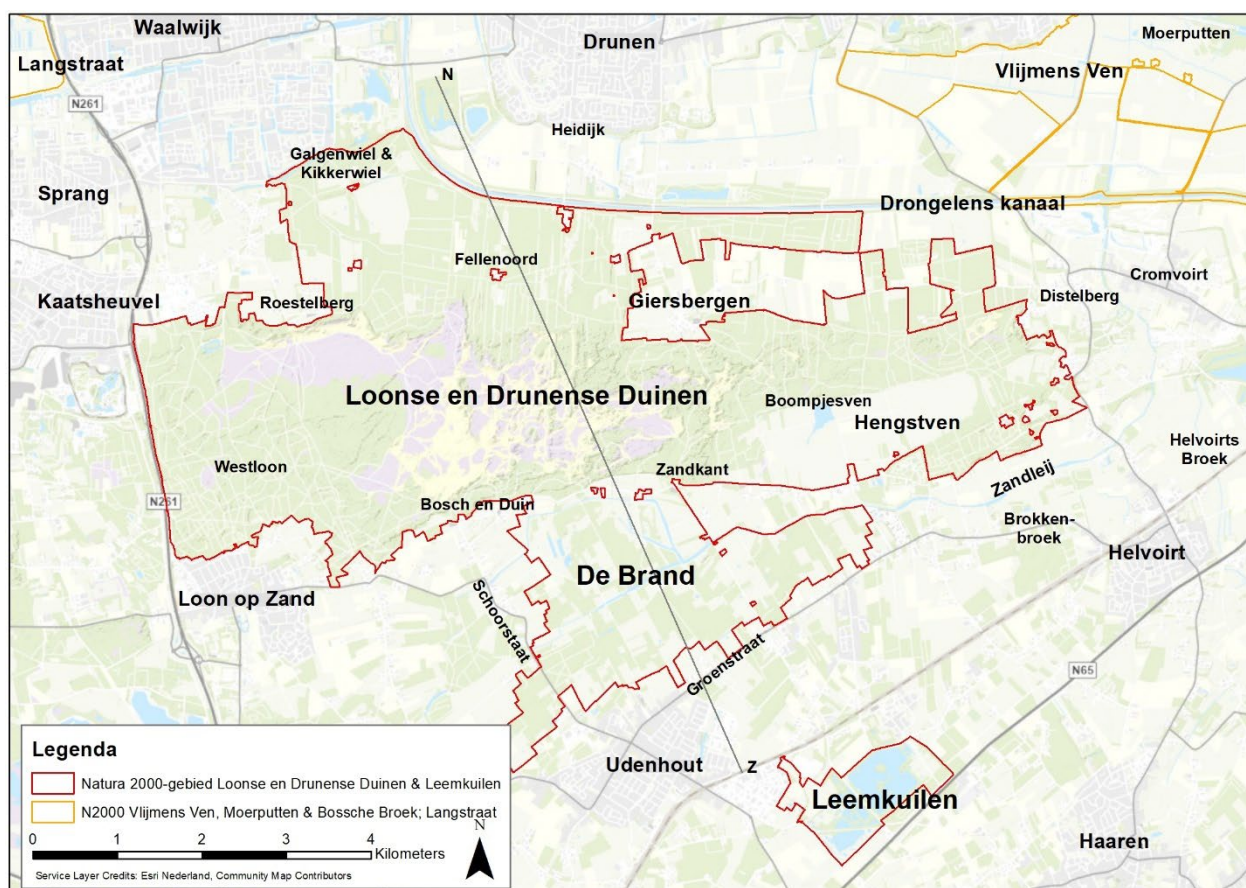
2 Onderzoeksgebied en opzet van het onderzoek

2.1 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied voor deze Landschapsecologische Systeemanalyse heeft betrekking op het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen en het beïnvloedingsgebied daar omheen.

Het onderzoeksgebied ligt in Midden Brabant in de driehoek tussen de steden Waalwijk, Tilburg en 's-Hertogenbosch (Figuur 2-1). Aan de noordzijde wordt het Natura 2000-gebied begrensd door het Drongelens Kanaal. De N261 van Tilburg naar Waalwijk vormt de westgrens van het gebied. Aan de zuidzijde wordt het gebied globaal begrensd door de N65.

Het beïnvloedingsgebied van het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen omvat het geheel van bovenstrooms gelegen infiltratiegebieden (rondom Tilburg) en benedenstrooms gelegen kwelgebieden (Langstraat, Vlijmens Ven, Helvoirts Broek) rond het gebied. Figuur 3-1 geeft een overzicht van dit beïnvloedingsgebied rond de Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen.



Figuur 2-1 Geografische ligging van het onderzoeksgebied Loonse & Drunense Duinen, De Brand en Leemkuilen, met de begrenzing van het Natura 2000-gebied als rode lijn. In de kaart zijn de belangrijkste toponiemen aangeduid, gebruikt in deze rapportage. Tevens is aangegeven waar de dwarsdoorsnede uit Figuur 3-4 ligt.

2.2 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek is primair een bureaustudie en richt zich op het inzichtelijk maken van het ecohydrologisch functioneren van de Loonse en Drunense Duinen en van De Brand, beiden deel uitmakend van het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen. Voor De Leemkuilen is een afzonderlijke LESA opgesteld door (Hanhart et al. 2022).

Om de ecohydrologische sleutelprocessen inzichtelijk te maken is een systeemanalyse uitgevoerd. Deze analyse is in hoofdzaak tot stand gekomen gebruikmakend van bestaande beschikbare informatie. Aanvullend zijn op 8 juli 2022 in het stuifzandgebied in de Loonse en Drunense Duinen een aantal bodemboringen uitgevoerd en is de grondwaterstand op dat moment bepaald. De resultaten van het veldwerk zijn als bijlage bij dit rapport gevoegd. Voorts is gebruik gemaakt van de gebiedskennis van de auteurs en van collega's.

Een grondige review van bestaande literatuur en een analyse van monitoringgegevens vormt de basis voor voorliggende rapportage. Voor de systeemanalyse is de volgende informatie verzameld:

- Geomorfologie, geologische opbouw, hoogteligging en bodem (Stiboka 1969; Harbers 1990; Buitenhuis et al. 1991; Jongmans et al. 2013; AHN 2022; BIS Nederland 2022; Dinoloket 2022).
- Bestaande hydrologische informatie (Witte et al. 2015; Verhagen et al. 2017; Dinoloket 2022; Grondwatertools 2022; Hydronet 2022).
- Historisch geografische informatie en uit de literatuur beschikbare, relevante onderzoeken en (historische) kaarten (De Bont 1989; Harbers 1990; Dirkx 2001; Nationaal Archief 2021; Topografische Dienst 2022).
- Informatie over vegetaties, flora en fauna (Provincie Noord-Brabant 2017; Clements et al. 2019; Eijsackers 2019; Alterra 2022).

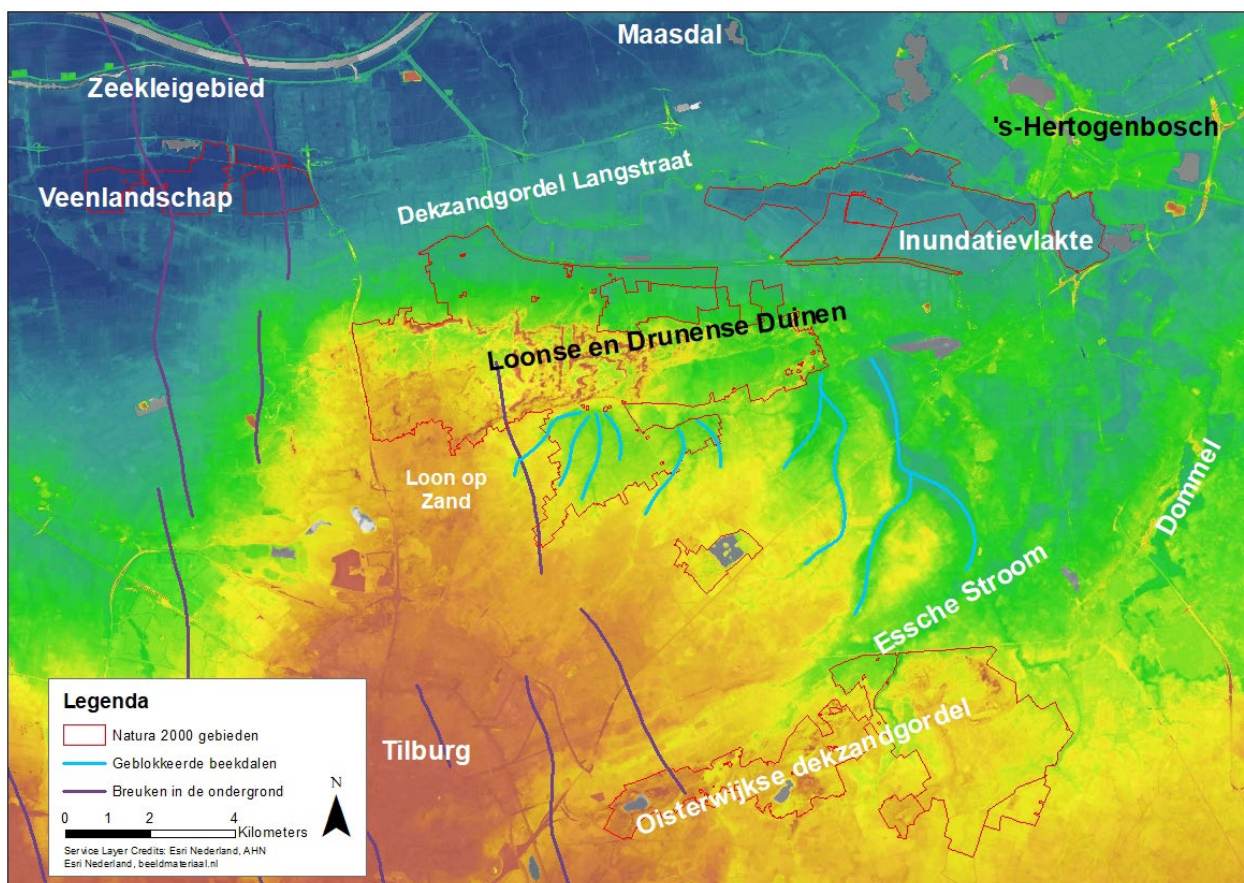
In de hier voorliggende rapportage worden alle verzamelde gegevens in onderlinge samenhang beschouwd, waarbij stapsgewijs van grof (regionale schaal) naar fijn (standplaats) wordt ingezoomd en geïntegreerd. Daarbij wordt successievelijk relevante informatie toegevoegd en wordt aldus invulling gegeven aan de systeembeschrijving.

3 Ontwikkeling van het landschap

Het landschap van het onderzoeksgebied van Loonse en Drunense Duinen, De Brand en De Leemkuilen zoals we dat nu kennen is grotendeels ontstaan gedurende de ijstijden in het Pleistoceen door aanvoer van zand en löss vanuit het Noordzee-bekken, door verspoeling van deze afzettingen door lokale beeksystemen en door lokale verstuiwing. Landschapsvorming trad in hoofdzaak op in de koudste perioden waarin de bodem bij een zeer schaarse of door afwezigheid van begroeiing vatbaar is voor erosie door wind en door water. In het Holoceen is het landschap in de Loonse en Drunense Duinen door ontginning en overexploitatie opnieuw ingrijpende veranderd.

3.1 Geologische ontwikkeling

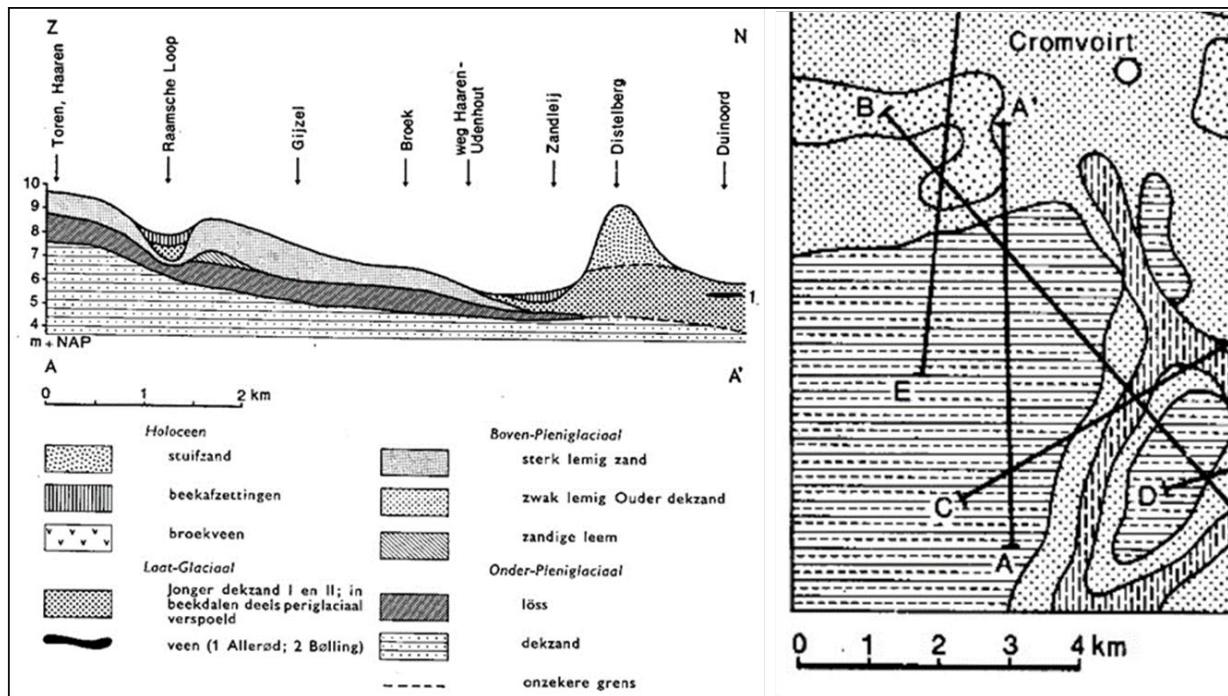
Het onderzoeksgebied is gelegen in een dalingsgebied, de Centrale Slenk. De bodemdaling in de Centrale Slenk is niet overal gelijk. De Feldbiss-breuk, het breukvlak met het Kempisch Plateau aan de westzijde bestaat uit meerdere sub-breuken en terreintreden met onderling verschillende hoogteligging. De opvallend hoge rug van Tilburg naar Loon op Zand is, vergeleken met terreintreden aan de oost- en met name aan de westzijde, minder sterk gedaald en vormt zo een lokale horst (zie Figuur 3-1¹). De hierbij omhoog gekomen zandige afzettingen zijn plaatselijk verspoeld of verstoven.



Figuur 3-1 Ligging van de besproken landschapsstructuren, geprojecteerd op het AHN. Breuken op basis van het Breukenbestand van Provincie Noord-Brabant. (AHN 2022; Provincie Noord-Brabant 2022b)

¹ Vergelijk ook Figuur 4.28. Tektonische lineamenten in het Roerdalrifstelsel (p. 121) in (Jongmans et al. 2013)

In de koudste periode van het Weichselien, het Pleniglaciaal, is vanuit het Noordzee-bekken bij overheersende westenwinden in de luwte achter de hoge rug van Tilburg naar Loon op Zand eerst een tot twee meter dik pakket lössleem, en in een latere fase een pakket sterk lemig zand afgezet (zie dwarsdoorsnede in Figuur 3-2; (Maarleveld 1954; Stiboka 1969)). In de zo ontstane dekzandvlakte trad 's-zomers erosie op door sneeuwmeltwater. Een stelsel van stroompjes en beken waterde af naar het Maasdal in het noorden. De lokale beekdalen in De Brand, Het Brokkenbroek en het Helvoirts Broek zijn in aanleg in deze koude periode gevormd (zie Figuur 3-1).



Figuur 3-2 Dwarsdoorsnede door het onderzoeksgebied. Figuur overgenomen uit (Stiboka 1969).

Het Laat Glaciaal is de laatste fase van het Weichselien. Bij de toen overheersende noordenwinden trad verstuiving op van zand vanuit drooggevalen beek- en rivierdalen. Het zand werd afgezet in enkele west-oost verlopende dekzandgordels, parallel aan de regionale beek- en rivierdalen (Stiboka 1969; Buitenhuis et al. 1991). Een van de grootste van deze dekzandgordels wordt gevormd door de Loonse en Drunense Duinen. Deze dekzandrug, opgeworpen met zand uit het brede dal van Maas en Rijn, loopt van Kaatsheuvel door tot aan Vught. Oostelijk van 's-Hertogenbosch zet deze dekzandrug op de zuidflank van het Maasdal zich voort vanaf Rosmalen tot aan Herpen.

De bebouwing van de Langstraat ligt op een tweede, lagere dekzandgordel van Sprang tot aan Vlijmen. Ten zuiden van het onderzoeksgebied is de Oisterwijkse dekzandgordel ontstaan parallel aan het dal van de huidige Voorste Stroom / Essche Stroom.

De vorming van de dekzandgordel van de Loonse en Drunense Duinen had een groot effect op de afwatering van de omgeving van De Brand en Leemkuilen. De zuid-noord gerichte afwatering werd vanaf De Brand tot aan Helvoirts Broek volledig geblokkeerd. Het stroomgebied van de beken in De Brand was in omvang beperkt. Zij konden hun loop niet verleggen. Aan de zuidzijde van de dekzandgordel vormden zich geïsoleerde meren of moerassige laagten. Het stroomgebied van de beek door het Helvoirts Broek was groter en reikte tot aan Tilburg. Nadat ook het Helvoirts Broek geblokkeerd raakte, verlegde deze beek haar loop via de Essche Stroom naar de Dommel.

Ter hoogte van 's-Hertogenbosch is de stuifzandgordel op de zuidflank van het Maasdal doorbroken. Hier komen de beken in de Centrale Slenk, in het bijzonder de Dommel en de Aa samen en monden uit in de

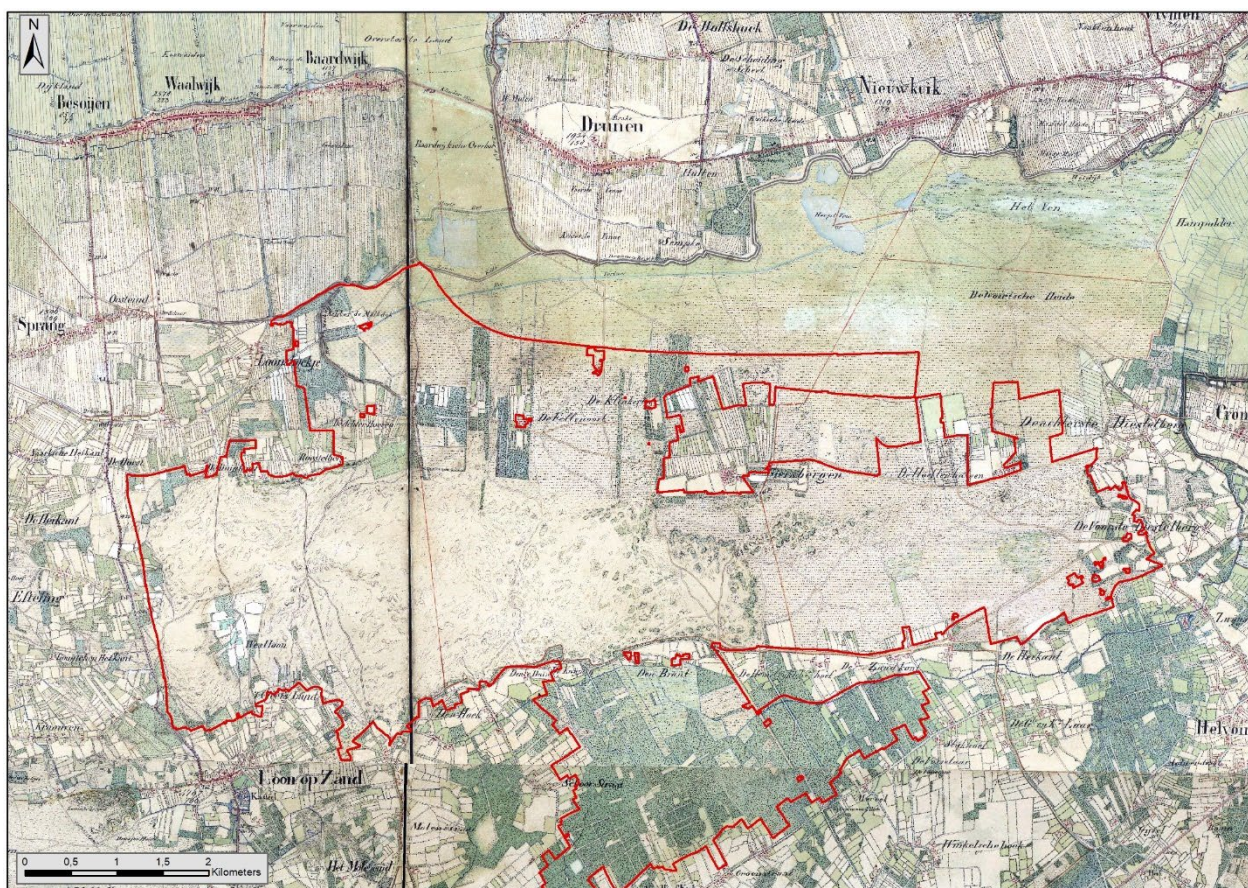
Maas. De aanwezigheid van de dekzandgordel van Sprang tot Vlijmen en enkele donken ter hoogte van 's-Hertogenbosch belemmeren de afwatering van Dommel en Aa.

In het Holoceen warmt het klimaat snel op, wordt het natter en stijgt de zeespiegel. In kommen en lagunes van de rivierdelta van Rijn en Maas vormt zich op uitgebreide schaal laagveen (broekveen en zeggeveen) en buiten de directe invloed van de rivieren uiteindelijk hoogveen (veenmosveen). Ook het gebied ten noorden en ten westen van de Loonse en Drunense Duinen raakt bedekt met veen. Ook de dekzandrug van de Langstraat verdwijnt onder het veen (Harbers 1990).

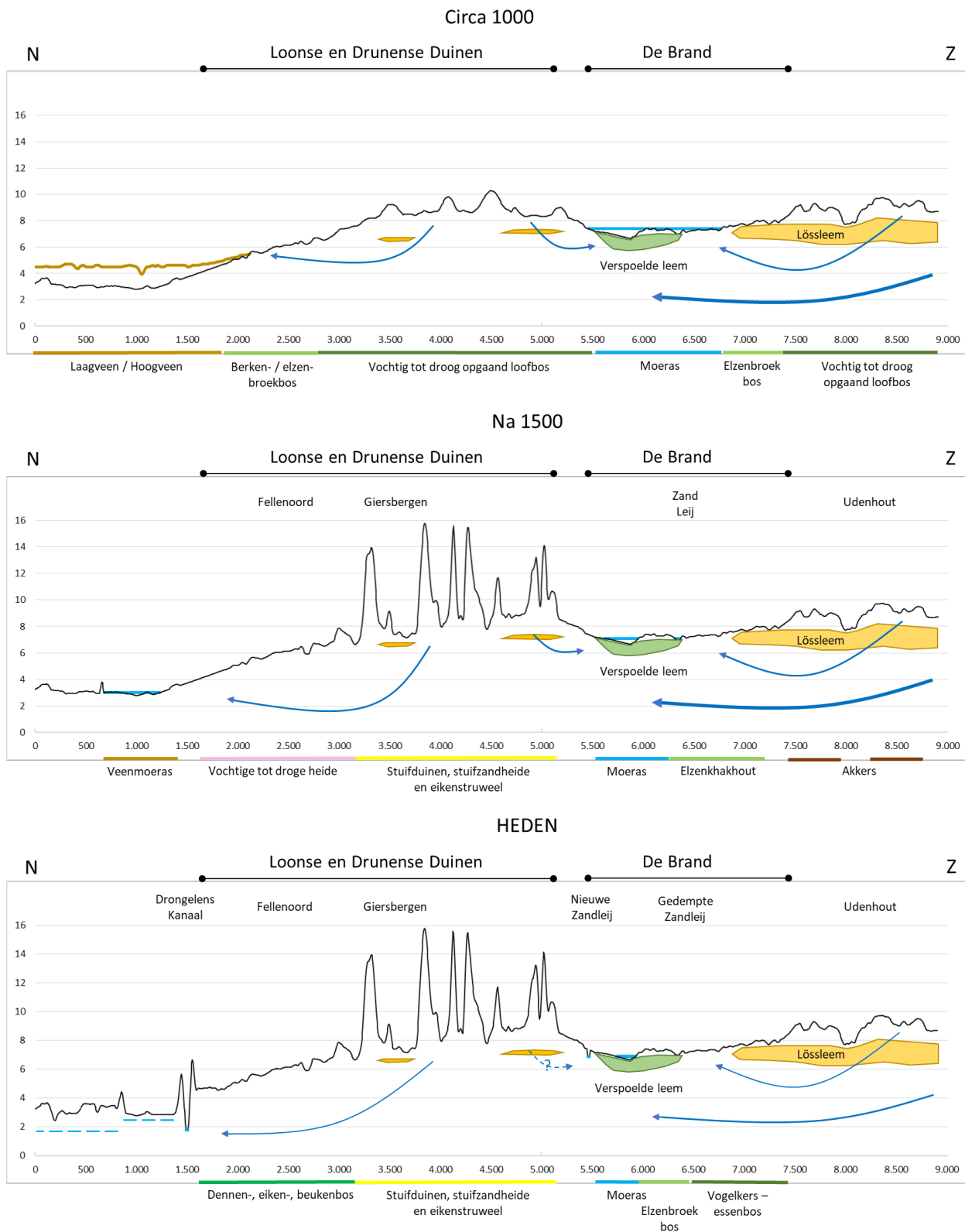
Ook in De Brand, Brokkenbroek en Helvoirts Broek ten zuiden van de Loonse en Drunense Duinen resulteert de opwarming van het klimaat en de vernatting in veenvorming, zij het zeer waarschijnlijk niet op uitgebreide schaal. In Helvoirts Broek heeft zich onder invloed van inundaties met beekwater een dik pakket broek- en zeggeveen gevormd. In De Brand zorgt de aanvoer van basenrijk grondwater, ondanks de natte omstandigheden toch voor een relatief snelle afbraak van plantenresten (Dirkx 2001).

3.2 Ontginningsgeschiedenis

In de Vroege Middeleeuwen tot het jaar 1000 was het onderzoeksgebied en de ruimere omgeving spaarzaam bevolkt en grotendeels begroeid met opgaand bos. Aan de west- en noordzijde van de Loonse en Drunense Duinen lagen uitgestrekte veengebieden (zie Figuur 3-4). Op de hogere gronden ten zuiden van De Brand hadden zich boeren gevestigd. De nattere gronden rondom De Brand en de Loonse en Drunense Duinen bleven tot in de Late Middeleeuwen onbewoond (De Bont 1989; Harbers 1990; Dirkx 2001).



Figuur 3-3 Topografische kaart voor De Loonse en Drunense Duinen, De Brand en omgeving verkend in 1838 (Nationaal Archief 2021). De rode lijn geeft de begrenzing van het Natura 2000-gebied.



Figuur 3-4 Ontwikkeling van de Loonse en Drunense Duinen aan de hand van 3 doorsneden door het gebied voor de perioden rond 1000, na 1500 en heden (zie Figuur 2-1 voor locatie van de dwarsdoorsnede). Hoogteprofiel op basis van het (AHN 2022). Leemvoorkomens op basis van Regis II (Dinoloket 2022). Historische situatie afgeleid uit (De Bont 1989; Harbers 1990; Buitenhuis et al. 1991; Dirkx 2001).

Ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen kwam de ontginning van het hier gelegen veengebied aan het eind van de Vroege Middeleeuwen op gang vanaf nederzettingen op de stroomrug aan de zuidzijde van de Maas (J. Renes in (Harbers 1990). Door het veen te ontwateren werd het geschikt gemaakt voor akkerbouw. Na verloop van tijd werden deze gronden door klink en oxidatie te nat voor akkerbouw en als weide- en hooiland gebruikt. De ontginning vond plaats in opstreckende kavels vanaf de oorspronkelijke ontginningsas op de stroomrug. Steeds verder zuidwaarts werd telkens opnieuw veen ontwaterd voor akkerbouw. De bewoningsas schoof naar het zuiden mee. Op den duur werd zo de dekzandgordel van Sprang tot Vlijmen bereikt die onder het veen tevoorschijn kwam. Vanaf deze nieuwe bewoningsas zijn rond 1300 aan de zuidzijde van het toen nog niet ontgonnen veen- en moerasgebied, dat wil zeggen aan de noordzijde van de Loonse en Drunense Duinen, verschillende hoeven gesticht, onder andere de Roestelberg, Fellenoord en Giersbergen (De Bont 1989). Het overwegend beboste duingebied werd mede gebruikt voor begrazing met vee.

Rond 1300 werd een begin gemaakt met de winning van turf in het onderzoeksgebied. De eerste uitgifte in 1293 van woeste grond voor vervening was bij 's-Gravenmoer ten westen van de Loonse en Drunense Duinen. In 1320 werden gronden bij Sprang uitgegeven voor vervening. Voor de afvoer van turf wordt in 1396 een turfvaart gegraven van Kaatsheuvel naar 's-Hertogenbosch. Vanuit deze turfvaart kon ook het gebied aan de noordzijde van de Loonse en Drunense Duinen worden verveend. Ten westen van de Loonse en Drunense Duinen ging de vervening bij Dongen nog tot in de 16^e eeuw door.

Aan de zuidzijde van de Loonse en Drunense Duinen kwam de ontginning vanaf de 12^e eeuw op gang. Loon op Zand, in die tijd Venloon geheten, is rond 1100 ontstaan in een toen nog nat gebied. De Brand was deel van een groter bosgebied, het Silva de Odenhout. Aanvankelijk werden in dit gebied hoeven gesticht op hoger gelegen gronden. Vanaf eind 13^e eeuw werden de woeste gronden in De Brand systematisch ontgonnen in stroken vanaf de ontginningsassen Groenstraat, Zandkant en Schoorstraat. Deze strokenverkaveling is nog zichtbaar in de huidige topografie (zie Figuur 2-1 en Figuur 3-3). Voor de ontwatering werden bestaande stroompjes uitgediept en rechtgetrokken. Wanneer de Zandleij vanuit De Brand naar het oosten richting Cromvoirt is doorgetrokken, is niet goed bekend (Dirkx 2001).

De hoger gelegen gronden grenzend aan de ontginningsassen werden gebruikt als bouwland. In de loop der eeuwen is hierop een esdek ontstaan (zie ook paragraaf 6.1). Daarachter lagen graslanden en de natste en zwaarste gronden bleven bebost. Aanvankelijk werd het broekbos als hakhout in gebruik genomen. Later werd dit bos omgevormd naar eikenhakhout ten behoeve van de leerindustrie.

Verstuiving van de Loonse en Drunense Duinen & vastlegging van het stuifzand

Door toename van de bevolking rondom de Loonse en Drunense Duinen na 1300 nam de druk op het gebied toe. De exploitatie van het duingebied voor houtoogst en begrazing resulteerde in de degradatie van het bos tot open heideterrein. Tegelijkertijd werden de veengebieden aan de west- en noordzijde afgegraven voor de winning van turf. Hierdoor daalde de drainagebasis van de Loonse en Drunense Duinen en bijgevolg daalde de grondwaterstand sterk². Het gebied werd steeds droger en het open en gedegradeerde landschap werd vatbaar voor verstuiving (De Bont 1989; de Jong & Jungerius 2004).

Volgens overlevering heeft de vorming van het stuifzandgebied in de Loonse en Drunense Duinen in een betrekkelijk korte periode plaatsgevonden aan het eind van de 14^e en de eerste helft van de 15^e eeuw. De bewoners en gebruikers van het gebied namen maatregelen om zich tegen het stuifzand te beschermen. In 1391 werd het dorp Venloon verplaatst naar haar huidige locatie Loon op Zand. Rond de hoeven aan de noordzijde van het duingebied werden houtsingels aangeplant. Deze groeiden uit tot nu nog aanwezige

² Degradatie van bos naar een meer open, lage heidebegroeiing leidt op zich zelf tot een verhoging van de grondwaterstand in een gebied. De grondwateraanvulling onder lage grazige of heide-vegetaties is immers groter dan onder opgaand bos (Bot 2016; Witte et al. 2019). In combinatie met een verlaging van de drainagebasis van de Loonse en Drunense Duinen als gevolg van de vervening, kon een zo grootschalige verstuiving van het gebied ontstaan.

forse randwallen, begroeid met eikenstruweel. Ook een aantal wegen door het gebied, onder andere vanaf Giersbergen naar het zuiden werden op die manier beschermd. Het stuifzandgebied bleef vervolgens eeuwenlang een woestijn. Het westelijk deel van de Loonse en Drunense Duinen was ook in het begin van de 19^e eeuw een open stuifzandgebied (zie Figuur 3-3). Het oostelijk deel inclusief het Hengstven bestond uit heide. In het Hengstven lagen enkele natte laagten.

Vanaf de tweede helft van de 19^e eeuw werden ten noorden van Loon op Zand en aan de noordzijde bij Roestelberg, Fellenoord en Giersbergen percelen beplant met naaldbos (zie Figuur 5-13 in paragraaf 5.3.1). Tussen deze bospercelen kwam het stuifzand tot rust en kwam eerst heide en later bos tot ontwikkeling. Ook het heidegebied in het oosten groeide dicht met bos. Tot begin van deze eeuw nam het areaal bos en heide in de Loonse en Drunense Duinen steeds verder toe ten koste van het areaal stuifzand. Het Hengstven werd vanaf de jaren 50 in de vorige eeuw ontgonnen en in gebruik genomen als landbouwgrond.

Baardwijkse Overlaat & Drongelens kanaal

Aan de noordzijde van de Loonse en Drunense Duinen liep een inundatievlakte vanaf 's-Hertogenbosch door tot aan Waalwijk. Op momenten in het jaar dat zowel de Maas als de Dommel en de Aa veel water afvoerden, raakten de lage gebieden rondom 's-Hertogenbosch, zoals het Bossche Broek en Vlijmens ven, geïnundeerd. Aan de noordkant beschermden de Heidijk en de Meerdijk Vlijmen, Drunen en Waalwijk voor overstroming.

Vanaf de 18^e eeuw werd deze inundatievlakte opgenomen in de Zuiderwaterlinie. Als onderdeel van deze linie werd in 1766 de Baardwijkse Overlaat in gebruik genomen. Hiermee kon het gebied ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen vanuit de Maas onder water worden gezet.

In de 19^e eeuw kregen de Dommel en de Aa bovenstrooms met een groeiend aanbod van water te maken (BHIC 2021). Dat had te maken met de aanvoer van Maaswater ten behoeve van ontginningen in de Belgische Kempen en in de Peel. Om wateroverlast rondom 's-Hertogenbosch te voorkomen is vanaf 1911 het Drongelens Kanaal in gebruik genomen. Ook zorgt het Drongelens Kanaal voor watertoevoer naar de polders ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen.

Ruilverkavelingen

De uitvoering van ruilverkavelingen werd in de 2^e helft van de vorige eeuw systematisch aangepakt. Ook rondom de Loonse en Drunense Duinen en De Brand hebben ruilverkavelingen plaatsgevonden (zie Tabel 3-1). In de landbouwenclave bij Giersbergen werd in 1962 de Vrijwillige ruilverkaveling Giersbergen gerealiseerd. Aanleiding hiervoor was de extreem droge zomer van 1959. Door herverkaveling werd het mogelijk voor de vier deelnemende boeren om aan de Margrietweg een centrale beregeningsinstallatie aan te leggen. Deze heeft tot 1990 gefunctioneerd (Beaard 2022a).

De Ruilverkaveling Heusden-Vlijmen in de polders ten noorden van het Drongelens Kanaal tot aan de Maas is een klassieke planmatige verkaveling, gerealiseerd eind jaren 60 en begin jaren 70. De voorheen sterk versnipperde en kleinschalige landbouwstructuur en ontwatering heeft plaatsgemaakt voor een nieuwe systematische verkavelingsstructuur en waterhuishouding. Boerderijen zijn verplaatst van de dorpen naar het buitengebied (Beaard 2022b).

Het gebied van de Ruilverkaveling Zuiderafwateringskanaal – Beneden Donge reikte van het zuiden van Waalwijk tot aan Oosterhout. De impact van deze verkaveling op het gebied tussen Waalwijk en de Loonse en Drunense Duinen lijkt beperkt tot herverdeling en vergroting van kavels. De Herverkaveling De Leijen-West en De Leijen-Oost zijn wel voorbereid, maar uiteindelijk niet in uitvoering gekomen.

Tabel 3-1 Overzicht van ruilverkavelingsprojecten in de omgeving van het onderzoeksgebied.

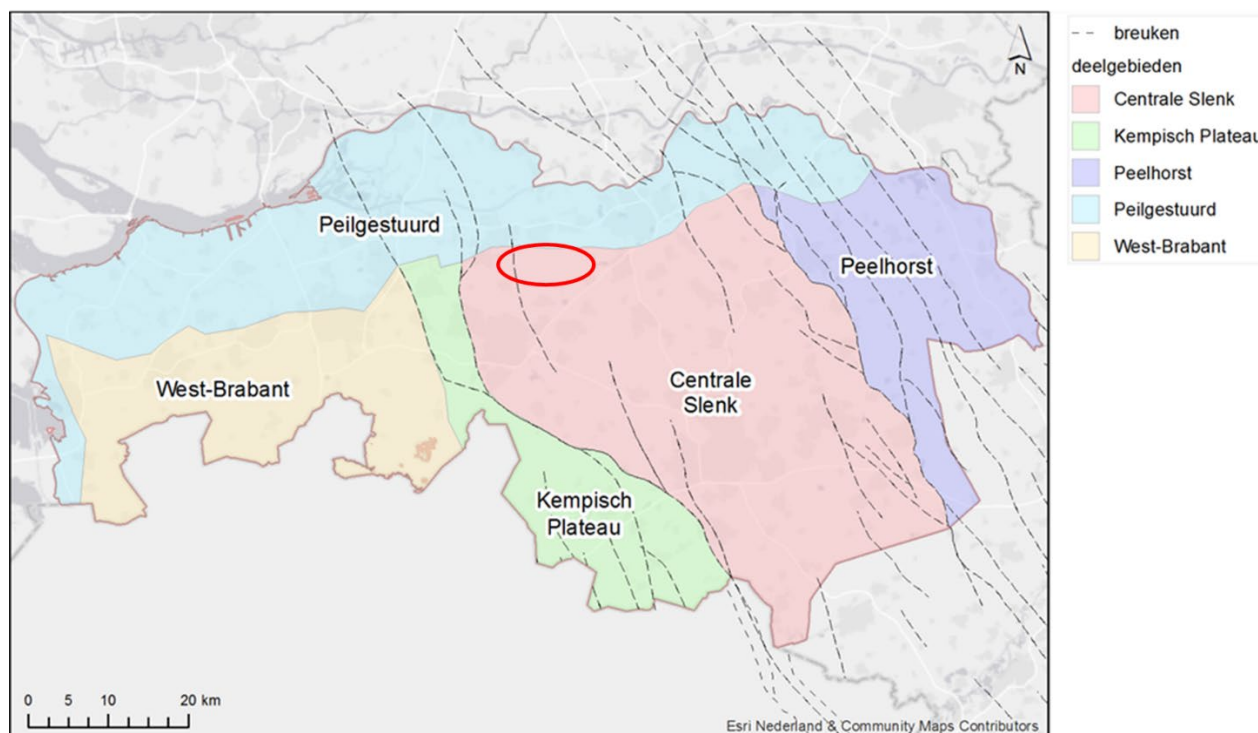
Ruilverkaveling	Periode	Locatie	Toelichting
Vrijwillige ruilverkaveling Giersbergen	begin jaren 60	Landbouwenclave tussen Drongelens Kanaal en de Loonse en Drunense Duinen	Herverkaveling, boerderij-verplaatsing en aanleg waterput en pomp t.b.v. beregening.
Heusden-Vlijmen	eind jaren '60 - begin jaren '70	Poldergebied tussen het Drongelens Kanaal en De Maas. O.a. omgeving Vlijmens Ven	Klassieke ruilverkaveling: systematische herinrichting van het poldergebied en verplaatsing van boerderijen naar de polder.
Zuiderafwateringskanaal – Beneden Donge	eind jaren 80 -begin jaren 90.	Groot gebied aan noordwestzijde van de Loonse en Drunense Duinen tot aan Oosterhout	Direct grenzend aan Loonse en Drunense Duinen (Loons Hoekje, zuidelijk van Waalwijk) is voornamelijk een herverkaveling uitgevoerd.
Herinrichting De Leijen-West en -Oost	--	Zuidelijk van Loonse en Drunense Duinen met daarin gelegen De Brand en De Leemkuilen	Wel voorbereid, niet uitgevoerd.

4 Geologie en geohydrologie

4.1 Geologische opbouw van de ondergrond

Het Natura2000 gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen is gelegen in de Centrale Slenk of Roerdalslenk (zie Figuur 4-1). Dit dalingsgebied ligt in het Rijndal-Riftsysteem dat is ontstaan na vorming van de Alpen (Jongmans et al. 2013). De Centrale Slenk wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van dikke zandlagen. Het is in de loop van honderden miljoenen jaren gedaald en opgevuld met grinden, zanden en kleien, aangevoerd door de zee, rivieren en de wind.

De Formatie van Breda (TNO-GDN 2022) bevindt zich op ongeveer 250 meter diepte. Deze bestaat uit een zeer dik pakket mariene zanden en kleien en is voor water zeer slecht doorlatend. Hierboven liggen fijne zanden van de Formaties van Oosterhout en Maassluis, die zijn afgezet in de tijd dat Noord-Brabant nog in de zee lag. Na de terugtrekking van de zee hebben de voorlopers van de Rijn en Maas sedimenten afgezet.



Figuur 4-1 Ligging van het onderzoeksgebied (rode ellips) in de Centrale Slenk of Roerdalslenk (Verhagen et al. 2017).

De Centrale Slenk werd gedurende de oudere fasen van het Pleistoceen, gedeeltelijk opgevuld met grind, zand en klei dat de oerstroom van Rijn en Maas aangevoerde. Het zijn fijne zanden, kleien en veenlagen van de Formatie van Peize-Waalre, die slecht doorlatend zijn voor water en daardoor een hydrologische scheiding voor grondwaterstromen vormen. In een volgende fase zijn de fijne tot grove zanden van lokale oorsprong van de Formatie van Stramproy afgezet. Daarop hebben de rivieren de goed doorlatende, grindhoudende grove zanden van de Formatie van Sterksel afgezet. Beide formaties vormen samen het eerste watervoerende pakket.

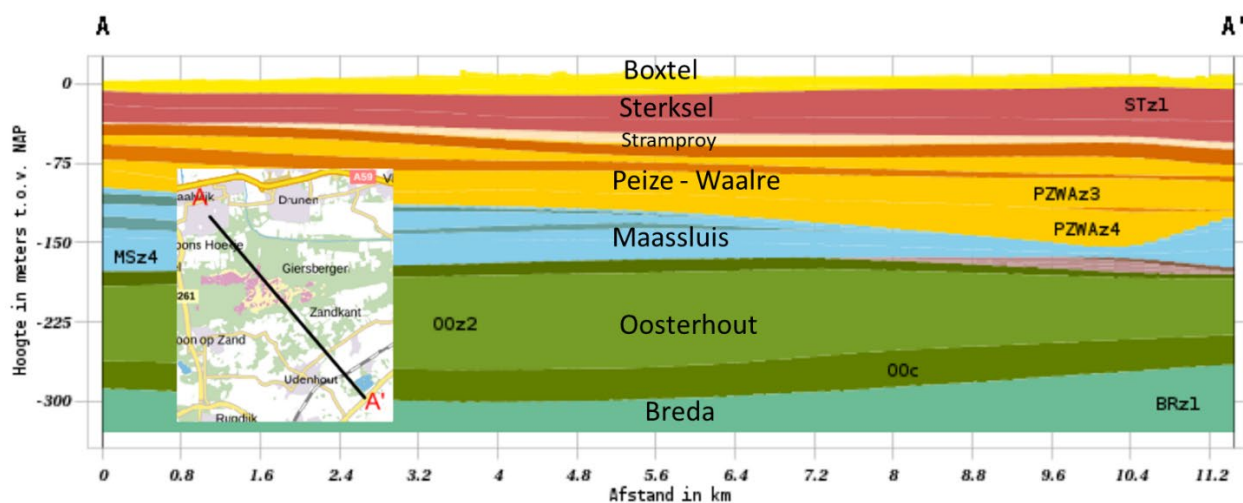
De vorming van afzettingen door de grote rivieren stopte toen de rivieren door tektonische processen hun loop verlegden. De Rijn verdween doordat deze door tektonische activiteit in Duitsland tot een andere loop werd gedwongen, terwijl de Maas naar het oosten 'schoof' door de verdere opheffing en kanteling van de Peelhorst. De afzettingen van de rivieren verdwenen nadien onder een ongeveer 20 meter dik pakket

periglaciale en eolische afzettingen. Ze werden voornamelijk gevormd tijdens de glaciële perioden van het Midden en Laat-Pleistoceen. Er heerste toen een toendraklimaat waarin begroeiing zo schaars was dat wind en water makkelijk vat konden krijgen op het sediment. De afzettingen uit die periode, die als een dek over oudere afzettingen heen liggen, worden dekzand genoemd (Formatie van Boxtel).

Vooral de ontwikkeling van de dekzandrug tussen Loon op Zand en Cromvoirt had een grote invloed op De Brand. Deze dekzandrug blokkeerde namelijk de afwatering van de stroompjes die door het gebied naar het noorden afwaterden. De dalen van die stroompjes laten zich op de hoogtekaart duidelijk onderscheiden. Ze kregen hun vorm doordat de meestal vlechtende rivieren zich door klimaatwijzigingen in verschillende fasen van het Laat-Pleistoceen gingen insnijden.

Samenvattend kan gesteld worden dat onder de Loonse en Drunense Duinen een dik zandpakket voorkomt tot op ongeveer 250 meter diepte. Hiertussen liggen beperkt een aantal kleilagen die de verticale grondwaterstroming bemoeilijken. Dit zijn met name de kleilagen van de Formatie van Peize-Waalre (op ongeveer 75 meter diepte) en de Formatie van Oosterhout (175 meter diep). De dwarsdoorsnede (Figuur 4-2) geeft een schematisch overzicht van jong naar oud:

- Formatie van Boxtel: de Formatie van Boxtel ligt hier aan het oppervlak en bestaat uit afzettingen met een fijne korrelgrootte (zand, silt en leem). Het Laagpakket van Liempde van de Formatie van Boxtel is een tot 2 meter dikke lössleemlaag die wijdverbreid voorkomt in het onderzoeksgebied. Deze lössleemlaag beïnvloedt de ondiepe grondwaterstroming.
- Formatie van Sterksel: de Formatie van Sterksel is een rivierafzetting uit het Pleistoceen, deze afzettingen bestaan uit fijn, matig grof tot grof zand. Deze Formatie vormt samen met de Formatie van Stramproy het eerste watervoerende pakket.
- Formatie van Stramproy: de Formatie van Stramproy is van lokale oorsprong en bestaat uit fijne tot grove zanden afgezet door lokale rivieren of in een estuariën of ondiep marien milieu.
- Formatie van Peize-Waalre: de Formatie van Peize-Waalre bestaat afwisselend uit zand en grind, en uit kleilagen. Deze Waalre kleien zijn voor water slecht doorlatend en vormen een scheidende laag tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket.
- Formatie van Maassluis: de Formatie van Maassluis bestaat uit mariene zanden en kleien.
- Formatie van Oosterhout: de Formatie van Oosterhout is een dik watervoerend pakket bestaande uit (marien) zand, aan de bovenkant van dit watervoerende pakket komen dunne kleilagen voor.
- Formatie van Breda: de Formatie van Breda is een zeer dik pakket bestaande uit mariene zanden en kleien. Deze formatie is voor water zeer slecht doorlatend.



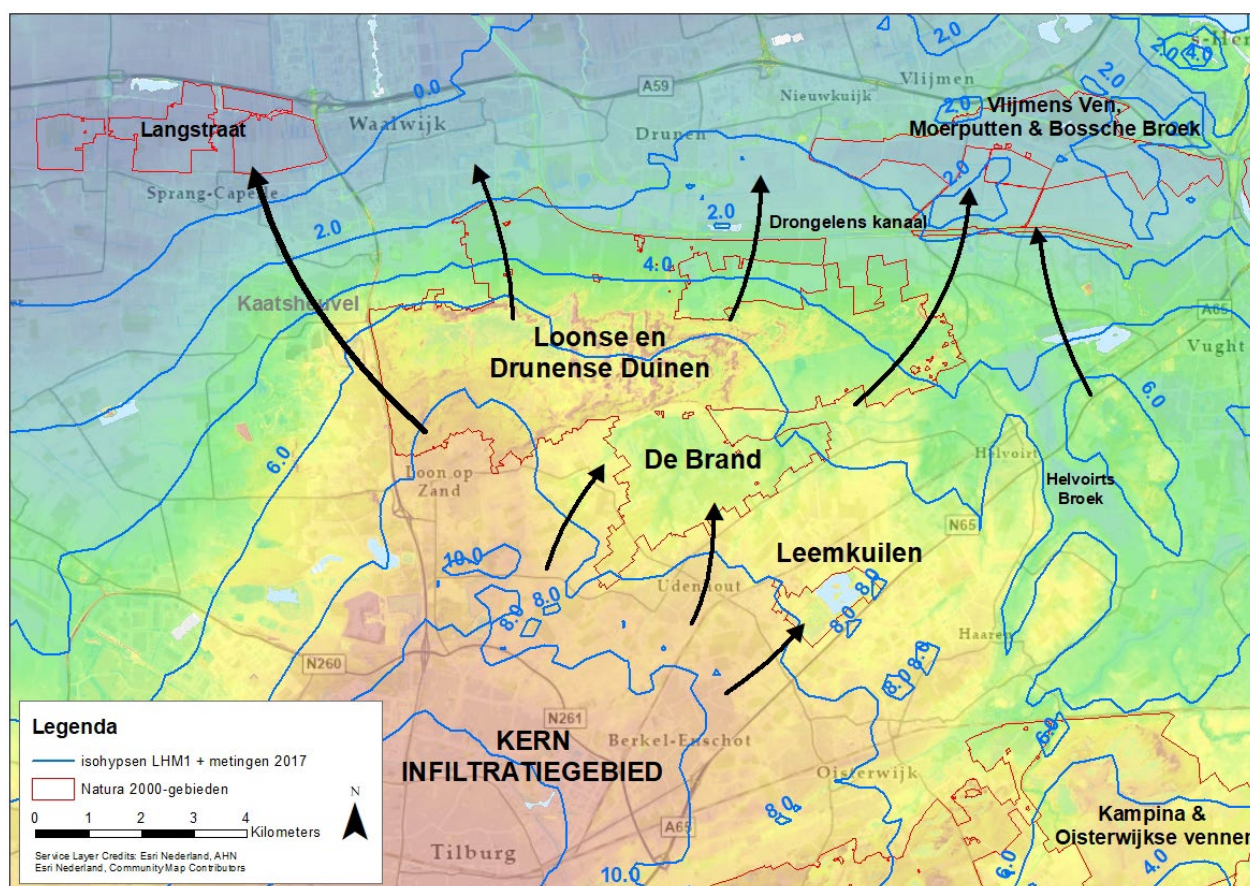
Figuur 4-2 Geohydrologische dwarsdoorsnede van het onderzoeksgebied van noordwest naar zuidoost (REGIS II v2.2; (Dinoloket 2022; TNO-GDN 2022)).

4.2 Hydrologie

Deze paragraaf beschrijft het grotere geohydrologische systeem. Dat wil zeggen dat het gebied van de Loonse en Drunense Duinen, de Brand en de Leemkuilen in een breder perspectief worden gezet ten opzichte van de omgeving en andere natuurgebieden.

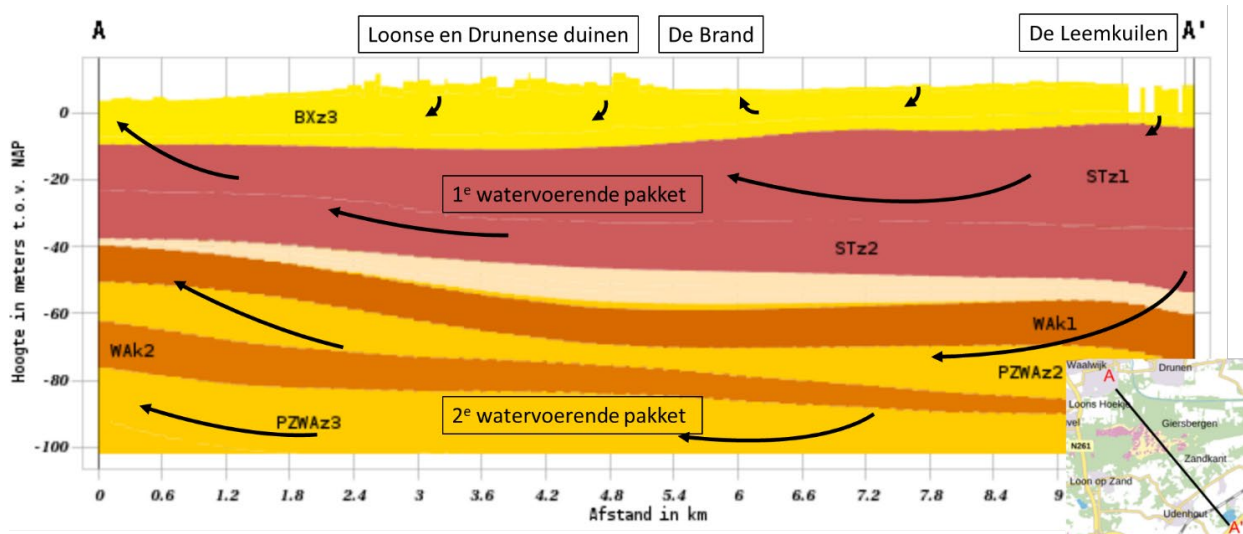
4.2.1 Herkomst van het grondwater

Op regionale schaal wordt het grondwater gevoed vanuit het kerninfiltratiegebied bij Tilburg. In Figuur 4-3 zijn de verschillende stromingsstelsels van het freatische grondwater geschetst. Grondwater stroomt in noordwestelijke richting naar de Langstraat waar het grondwater gedraineerd wordt. Grondwater stroomt vanaf Tilburg in Noordelijke richting via Loon op Zand, naar Waalwijk en het poldergebied. Grondwater dat in noordoostelijk richting stroomt wordt deels door de Brand afgevangen. Grondwater zal vervolgens weer infiltreren in het duingebied van de Loonse en Drunense duinen. Het Vlijmens Ven is deels van dit water afhankelijk. Gebieden waar grondwater wordt afgevangen zijn in Figuur 4-3 herkenbaar als gebieden waar de isohypsen verder uit elkaar komen te liggen. Dit is het geval in De Brand, maar ook het stedelijk gebied van Waalwijk werkt drainerend.



Figuur 4-3 Regionaal grondwatersysteem met isohypsenpatroon van het freatische grondwater uit (Grondwatertools 2022)

Het opkwellende grondwater is afkomstig van maximaal 60 meter diepte. De stijghoogte in dit watervoerend pakket is aanzienlijk lager dan de stijghoogten boven de Waalreklei. De Waalreklei vormt hier de scheiding tussen het eerste en tweede watervoerende pakket (Figuur 4-4). Er is hier sprake van een infiltratiesituatie, maar de weerstand van de Waalre kleilagen is zeer hoog waardoor de waterstroming tussen de twee watervoerende pakketten beperkt wordt. Het water stroomt omhoog in de poldergebieden.



Figuur 4-4 Geohydrologische systeemsschets (o.b.v. Regis II v2.2; (Dinoloket 2022)).

In Figuur 4-3 zijn de drie deelgebieden ingetekend, de Leemkuilen, De Brand en de Loonse en Drunense Duinen:

- De Leemkuilen zijn hydrologisch gezien redelijk geïsoleerd van de omgeving. De kleinere plassen liggen op een lemige ondergrond. De grotere plassen zijn dieper en doorbreken de ondiepe leemlaag. Deze plassen verliezen water naar de omgeving (Hanhart et al. 2022).
- De Brand is historisch gezien een nat en laaggelegen gebied dat veel van het toestromende water afvangt. In de huidige situatie zijn de grondwaterstanden gedaald en komt nog maar een klein gedeelte van het grondwater aan de oppervlakte. De Brand wordt gevoed met water vanuit de omringende dekzandruggen. Infiltratie van regenwater stagneert op ondiepe leemlagen.
- De Loonse en Drunense duinen zijn een lokaal infiltratiegebied. Grondwater stroomt in noordelijke richting en wordt deels afgevangen door het Afwateringskanaal Drongelen - Den Bosch. Afgezien van een paar vennetjes komt er in dit deelgebied geen verder oppervlaktewater voor. Aan de zuidkant wordt het duinmassief begrensd door de Zandkantse Leij. Maar grondwater stroomt niet vanuit het duinengebied deze kant op.

4.2.2 Beïnvloeding van omliggende kwelgebieden

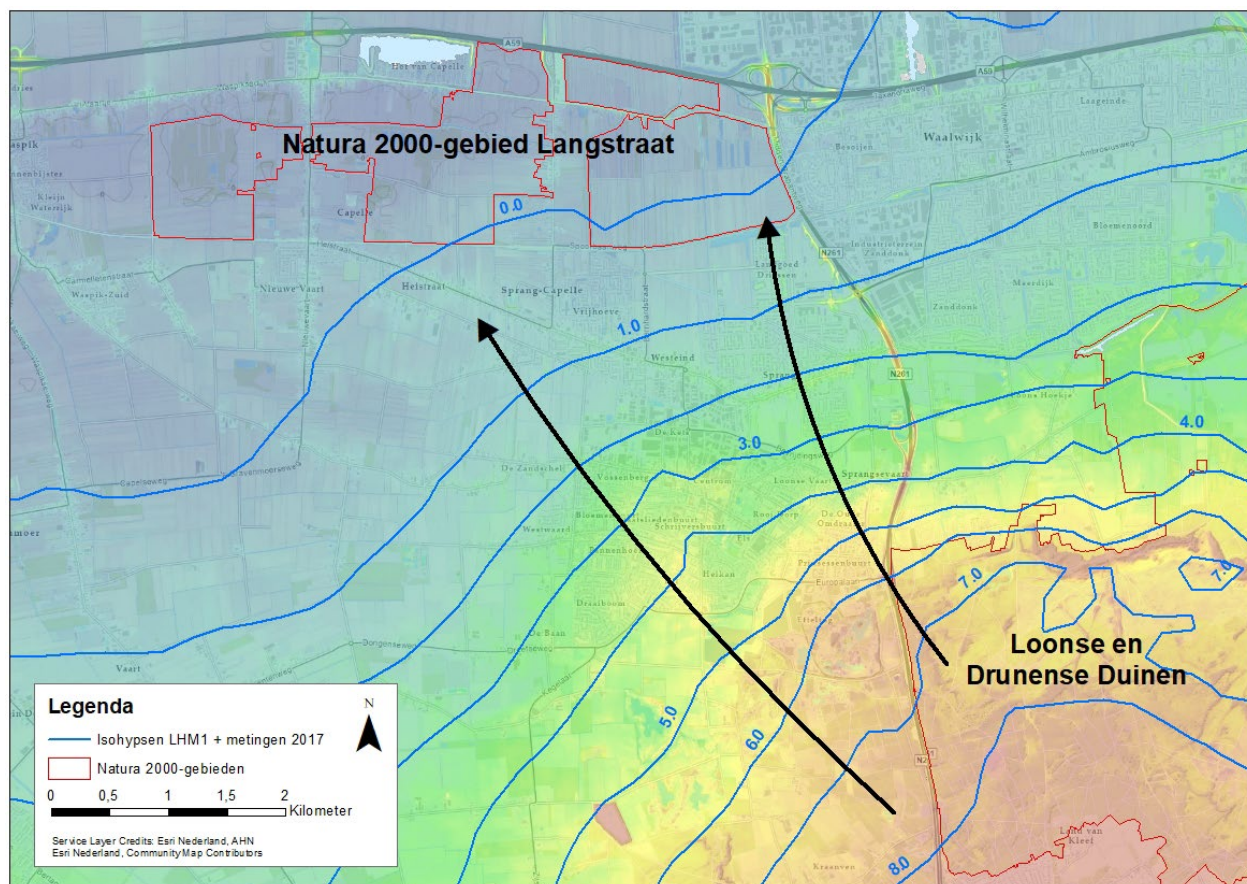
Benedenstrooms van de Loonse en Drunense Duinen liggen de Natura 2000-gebieden Langstraat en Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek. Beide gebieden herbergen kwelafhankelijke habitattypen. Ten zuiden en ten oosten van de Loonse en Drunense Duinen liggen de kwelgebieden, De Brand, Brokkenbroek en Helvoirts Boek.

Aan de hand van isohypsenpatronen van het freatisch grondwater kan de invloed van het infiltratiegebied Loonse en Drunense Duinen op de omliggende kwelgebieden inzichtelijk worden gemaakt. In Figuur 4-3 is het regionale grondwatersysteem in beeld gebracht. Grondwater stroomt van het kerninfiltratiegebied bij Tilburg in noordelijke en noordoostelijke richting naar de Loonse en Drunense Duinen en naar De Brand. In de Figuur 4-5, Figuur 4-6 en Figuur 4-7 wordt ingezoomd op de beïnvloeding van de omliggende kwelgebieden.

Natura 2000-gebied Langstraat

Natura 2000-gebied Langstraat ligt aan de zuidrand van de polders bij Waalwijk en noordoostelijk van de polders bij 's-Gravenmoer op de overgang naar de hogere zandgronden. Grondwater stroomt van deze

hogere zandgronden naar het peilgestuurde poldergebied (Figuur 4-5). Het oostelijk deel van het Natura 2000-gebied wordt gevoed met grondwater afkomstig uit het westelijk bosgebied in de Loonse Duinen (omgeving Westloon). Een groot deel van de voeding van het Natura 2000-gebied Langstraat is afkomstig van de zandgronden ten zuidwesten van de Loonse en Drunense Duinen.



Figuur 4-5 Grondwaterstroming van het freatische grondwater van de Loonse en Drunense Duinen naar Natura 2000-gebied Langstraat (Grondwatertools 2022). De zwarte pijlen geven de grondwaterstroming weer vanaf de Loonse en Drunense Duinen in de richting van Natura 2000-gebied Langstraat.

Natura 2000-gebied Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek

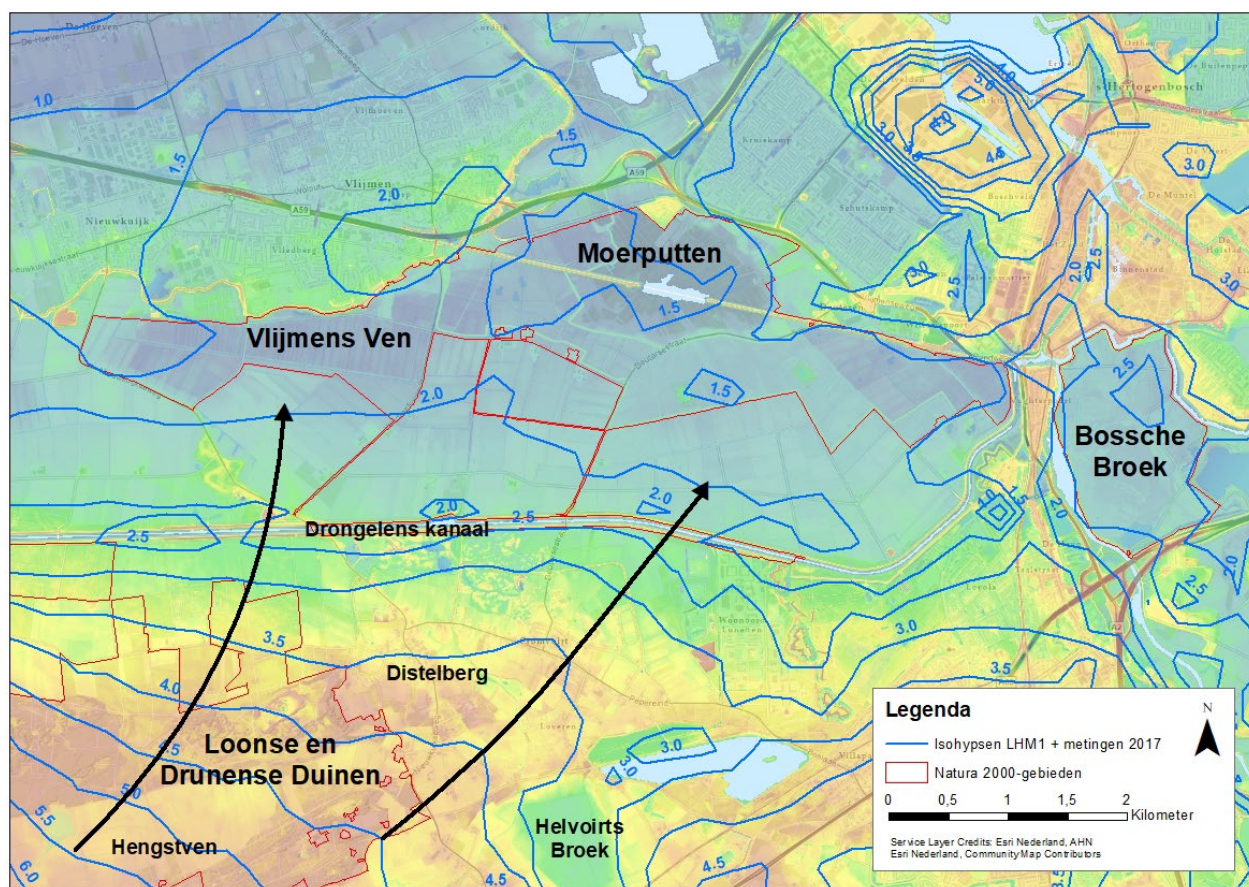
Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek ligt in een polder ingesloten tussen de lage dekzandrug bij Vlijmen, de woonwijken en industriegebieden van 's-Hertogenbosch-West en de hogere zandgronden bij Vught en de Loonse en Drunense Duinen. Het polderpeil is mede afgestemd op de natuurwaarden in het Natura 2000-gebied. Grondwater stroomt van de Loonse en Drunense Duinen noordoostwaarts (Figuur 4-6). De voeding van Vlijmens Ven en Moerputten vanuit de Loonse en Drunense Duinen is afkomstig uit het oostelijk deel vanaf het Hengstven en de stuifzanden bij Distelberg (zie ook Figuur 4-3). Ook vanuit de Vughtse Heide en de bebouwde omgeving van 's-Hertogenbosch stroomt grondwater naar het Natura 2000-gebied Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek.

De Brand, Brokkenbroek en Helvoirts Broek

Grondwater stroomt naar De Brand vanuit de hogere gronden aan de zuidwestzijde bij Loon op Zand en Tilburg, en aan de zuidzijde bij Udenhout en Biezenmortel (Figuur 4-3 en Figuur 4-7). Brokkenbroek ontvangt grondwater afkomstig van de zuidwest- en de zuidoostzijde. Helvoirts Broek tenslotte wordt gevoed vanaf de zandruggen aan de west- en oostzijde.

In het isohypsenpatroon voor De Brand valt op dat het grondwatervlak hier een gering verhang heeft. Van west naar oost daalt het grondwaterniveau één meter in 3 kilometer, van zuid naar noord is deze afstand 3,3 kilometer. De hoge stuifzandrug van de Loonse en Drunense Duinen ten westen van het Hengstven remt de grondwaterstroming vanaf De Brand noordwaarts en oostwaarts. Ten noorden van deze hoge stuifzandrug in de richting van het Drongelens Kanaal is het verhang in het grondwatervlak veel groter, in de orde van 3 meter in 1,5 kilometer.

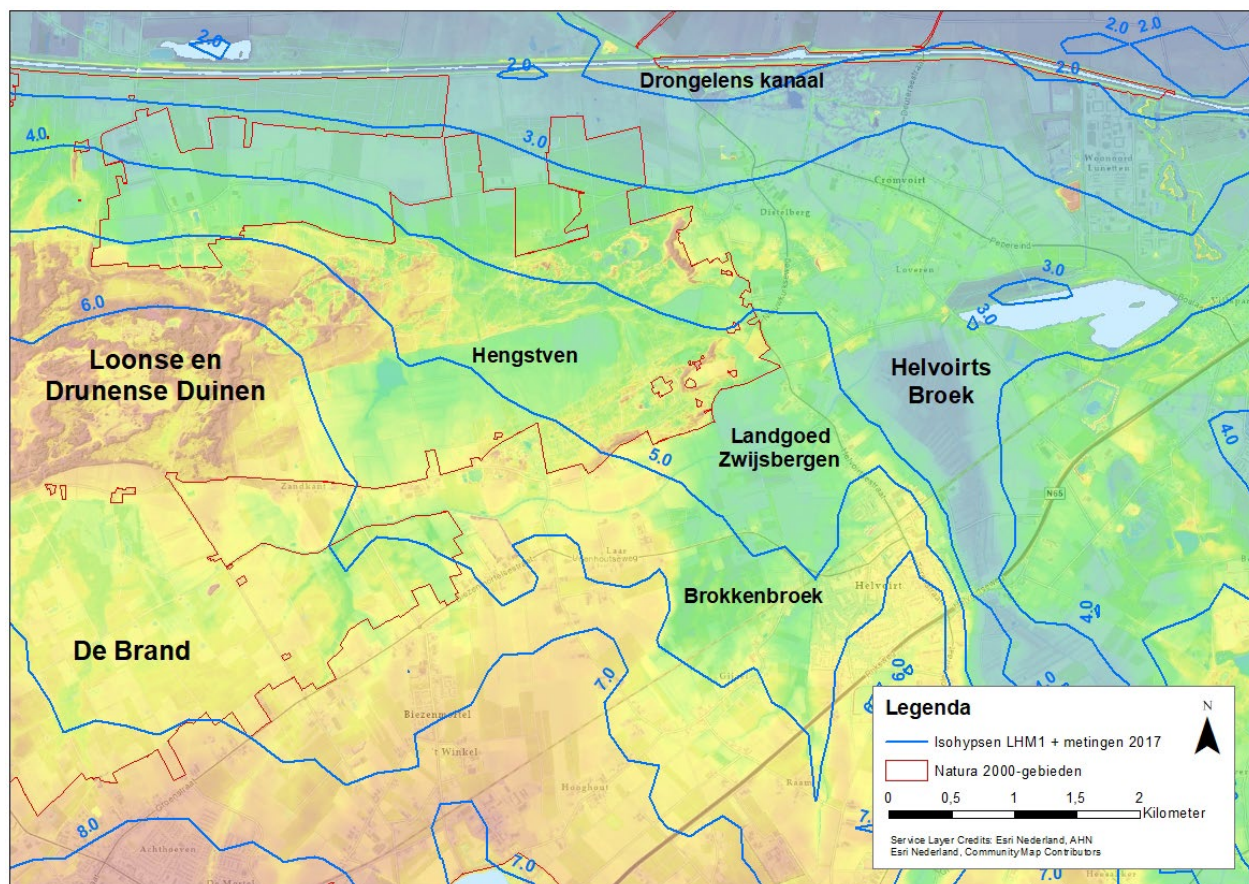
Een vergelijkbaar, zij het kleiner remmend effect van de stuifzandruggen rond het Hengstven is te zien bij Landgoed Zwijnsbergen. De Zandleij en de Roomleij hebben een drainerend effect op het oostelijk deel van De Brand. Hier zijn hydrologisch herstel - maatregelen in voorbereiding. Het diep gelegen Helvoirts Broek werkt sterk drainerend op de naastgelegen hogere gronden.



Figuur 4-6 Grondwaterstroming van het freatische grondwater van de Loonse en Drunense Duinen naar Natura 2000-gebied Vlijmens Ven, Moerputten en Bossche Broek (Grondwatertools 2022). De zwarte pijlen geven de grondwaterstroming weer vanaf de Loonse en Drunense Duinen in de richting van dit Natura 2000-gebied.

Resumé

- De Langstraat wordt deels gevoed met grondwater afkomstig uit het westelijk bosgebied van de Loonse en Drunense Duinen.
- Vlijmens Ven en De Moerputten worden gevoed met grondwater afkomstig van de hogere gronden rondom beide gebieden. Vanuit het oostelijk deel van de Loonse en Drunense Duinen stroomt grondwater vanaf het Hengstven en de Distelberg naar Vlijmens Ven.
- De hoge stuifzandrug van de Loonse en Drunense Duinen direct ten noorden van De Brand remt de grondwaterstroming vanuit De Brand naar het noorden en het oosten.



Figuur 4-7 Grondwaterstroming van het freatische grondwater van De Brand naar benedenstroomse kwelgebieden (Grondwatertools 2022).

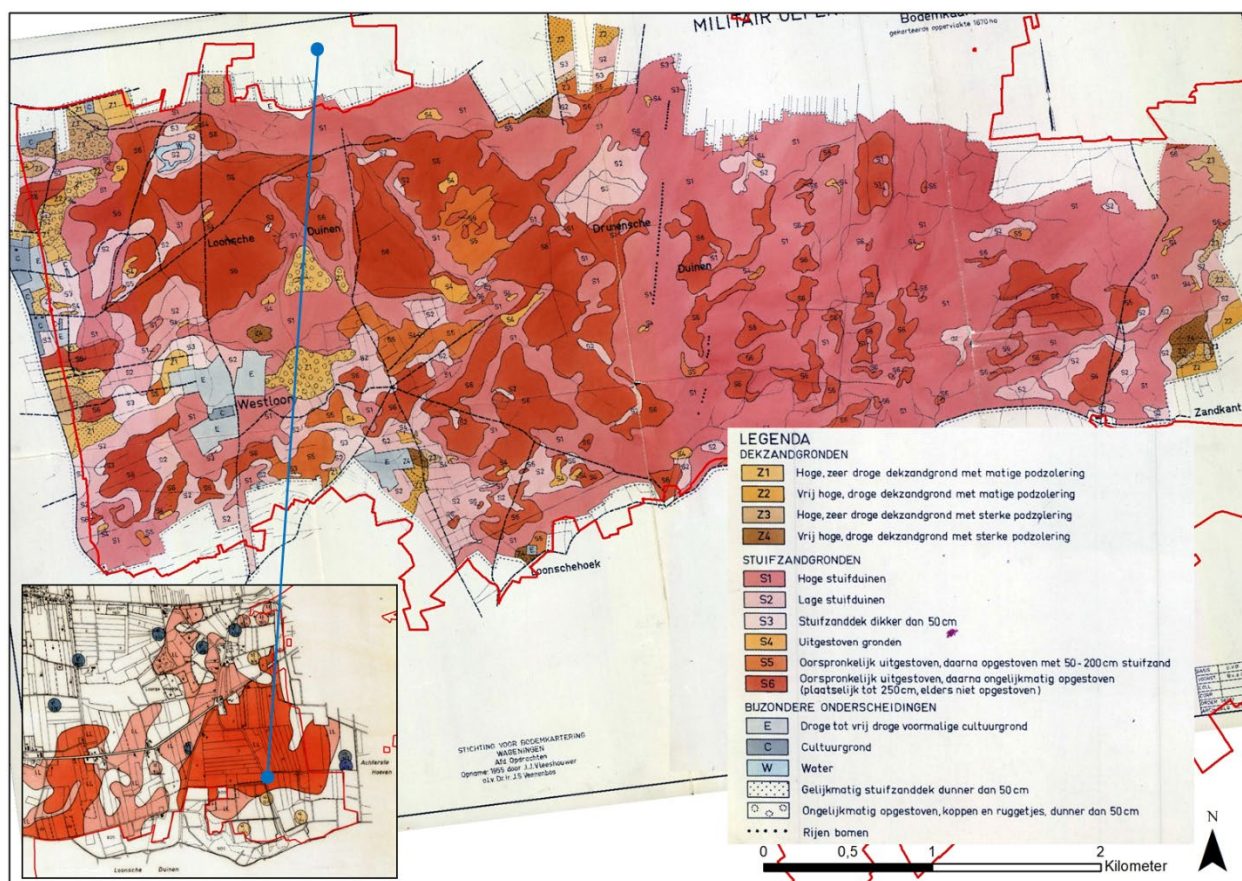
5 Loonse en Drunense Duinen

De Loonse en Drunense Duinen zijn geohydrologisch en ecohydrologisch gezien een witte bladzijde. Er is geen eerder onderzoek bekend naar dit grondwatersysteem. Natuurmonumenten geeft aan dat het gebied in het verleden veel natter is geweest (Clements et al. 2019). Tot eind jaren '80 stonden grote delen van de uitgestoven laagtes tot maart-april onder water. De grondwaterstand is volgens Natuurmonumenten de afgelopen 40 jaar enorm gedaald. Deze daling wordt geweten aan grondwaterwinningen uit het tweede watervoerende pakket.

In dit hoofdstuk achterhalen we de oorzaken van grondwaterstands dalingen in het gebied, analyseren we de veranderingen in grondwaterstanden voor de afgelopen 50 jaar aan de hand van meetreeksen rondom het gebied en gaan we in op de effecten voor grondwaterafhankelijke natuur in de Loonse en Drunense Duinen.

5.1 Bodem en reliëf

Op de Bodemkaart 1:50.000 zijn de Loonse en Drunense Duinen grotendeels gekarteerd als duinvaaggronden in kalkloos leemarm of zwak lemig fijn zand (zie Bodemdata.nl (BIS Nederland 2022)). Een minerale eerdlaag en inspoelingshorizont ontbreken.



Figuur 5-1 Bodemkaart (1:10.000) uit 1955 voor het Militair oefenterrein Loonse en Drunense Duinen (Vleeshouwer 1958). Inzet links: Bijzondere Lagenkaart uit 1965 voor het landbouwgebied aan de noordwestzijde van de Loonse en Drunense Duinen (Kleinsman & Rutten 1965). In bruinrood: lössleem op <80 cm-mv; in roze lössleem op 80-120 cm-mv.

Een overeenkomstig beeld is zichtbaar op de Bodemkaart (1:10.000) voor het Militair oefenterrein Loonse en Drunense Duinen (Vleeshouwer 1958). Deze kaart laat de dynamiek in het stuifzandgebied in meer

detail zien, bestaande uit lage en hoge stuifduinen, uitgestoven laagtes en uitgestoven en weer opgestoven gronden. Bodemvorming is alleen zichtbaar aan de randen van het kaartbeeld en rond de oude bewoningslocatie bij Westloon. Plaatselijk zijn ook in het stuifzandgebied sporen bewaard gebleven van de bodemopbouw voorafgaand aan de verstuiving in het gebied Figuur 5-2.



Figuur 5-2 Oorspronkelijke podzolbodems, bewaard gebleven in het stuifzandgebied van de Loonse en Drunense Duinen. Links een haarpodzolprofiel onder een eikenstrubbe centraal in het stuifzandgebied. Rechts bleekgrijze uitspoelingshorizont (E-horizont) aan maaiveld ten zuiden van Giersbergen.

Veldonderzoek naar de aanwezigheid van leemlagen

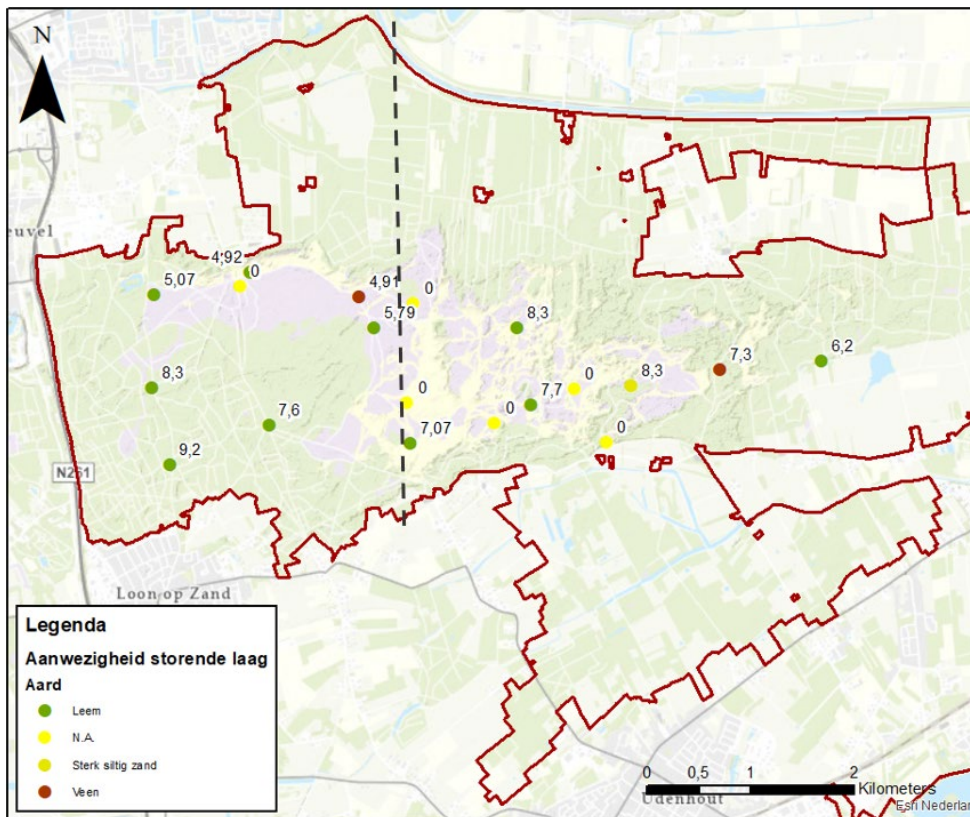
Over de verbreiding van ondiep aanwezige leemlagen (lössleem van het Laagpakket van Liempde; zie ook paragraaf 6.1) en zogenaamde schijngrondwaterspiegels bestond onzekerheid. Uit een beperkt aantal bodemboringen in Dinoloket (2022) blijkt dat plaatselijk ondiep in de ondergrond leem en soms veen is aangetroffen. Daarom is aanvullend veldwerk uitgevoerd om meer inzicht te krijgen over de ondiepe bodemopbouw en de diepte van het grondwater.

Op 8 juli 2022 is veldwerk uitgevoerd in het stuifzandgebied binnen de Loonse en Drunense Duinen. Van de zeven boringen van het veldwerk van juli 2022 is er in vier boringen een leemlaag aangetroffen, en in één boring een veenlaag. In twee boringen is geen scheidende laag aangetroffen. Deze inzichten zijn aangevuld met de schaarse gegevens uit Dinoloket. Dit levert het beeld op van Figuur 5-3. De top van de scheidende laag komt voor op een diepte tussen NAP+9,2 meter en NAP +4,9 meter. De leemlaag ligt in het zuidelijk deel globaal wat hoger dan in het noordelijk deel en er is veel spreiding in de ligging. Er lijkt in het stuifzandgebied geen sprake te zijn van een aaneengesloten laag. In het westelijk deel van de Loonse en Drunense Duinen lijkt deze leemlaag meer aaneengesloten (vergelijk ook Figuur 5-1, inzet links).

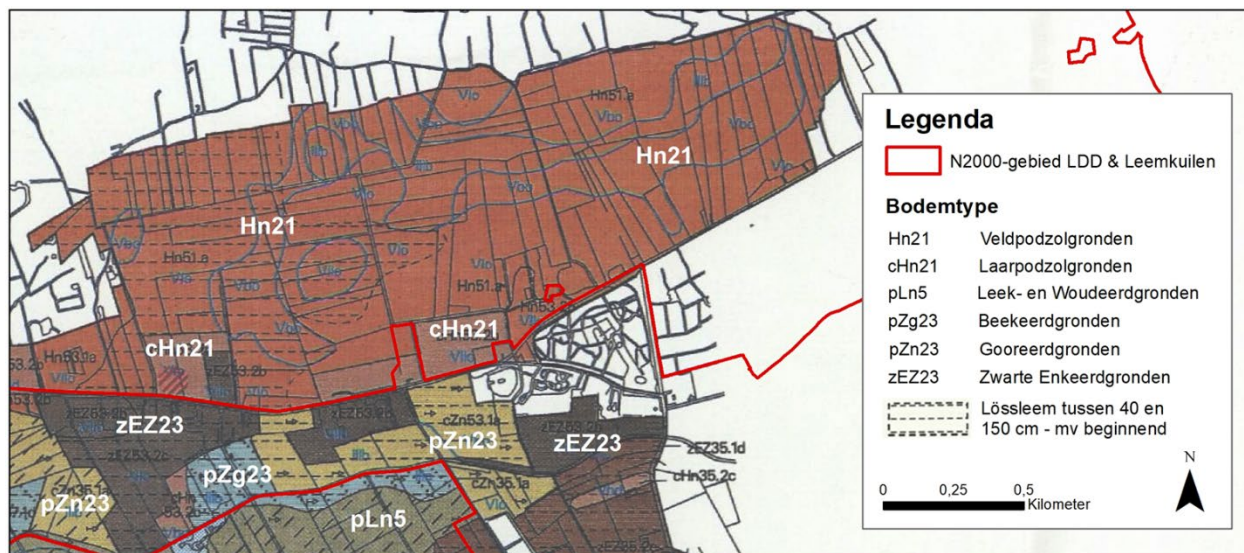
Hengstven

De bodem in het Hengstven, (locatie op Figuur 2-1), wijkt af van de bodem van het hierboven beschreven stuifzandgebied. De bodem bestaat hier overwegend uit Veldpodzolgronden (Hn21) in leemarm en zwak lemig fijn zand. De bodemkaart voor de Herinrichting De Leijen-West laat daarnaast zien dat hier in het westelijk deel op uitgebreide schaal leem voorkomt in de ondergrond. Deze sluit aan op de leemlagen in De Brand (zie Figuur 6-1). Uit een onderzoek naar het ecologisch herstel van het Hengstven (Hullenaar 2004) volgt dat in de rest van het Hengstven leem ondiep in de ondergrond voorkomt.

De veldpodzolbodems hier zijn kenmerkend voor hoge waterstanden in de winterperiode als gevolg van het ondiep in de ondergrond aanwezige leem. Dat dit gebied natter is dan het overige deel van de Loonse en Drunense Duinen blijkt ook uit het feit dat juist hier sloten zijn gegraven om water uit het gebied af te voeren. Het gebied watert via een diepe sloot dwars door het aangrenzende duingebied af naar het Drongelens Kanaal.



Figuur 5-3: De aanwezigheid van een storende laag op basis van veldwerk en gegevens uit (Dinoloket 2022). Het label toont de top van de ligging van de storende laag (in m +NAP). De zwarte stippellijn toont de locatie van de dwarsdoorsnede uit Figuur 5-11.

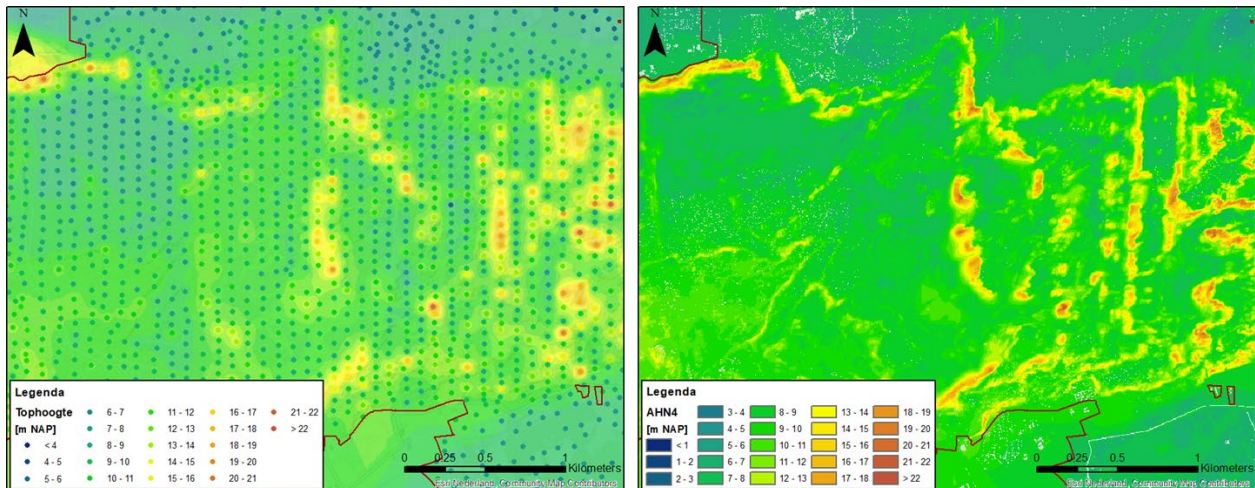


Figuur 5-4 Bodemkaart voor het Hengstven, Kartering 1:25.000 uit 1992 gemaakt ter voorbereiding van de Herinrichting De Leijen-West (Leenders 1992).

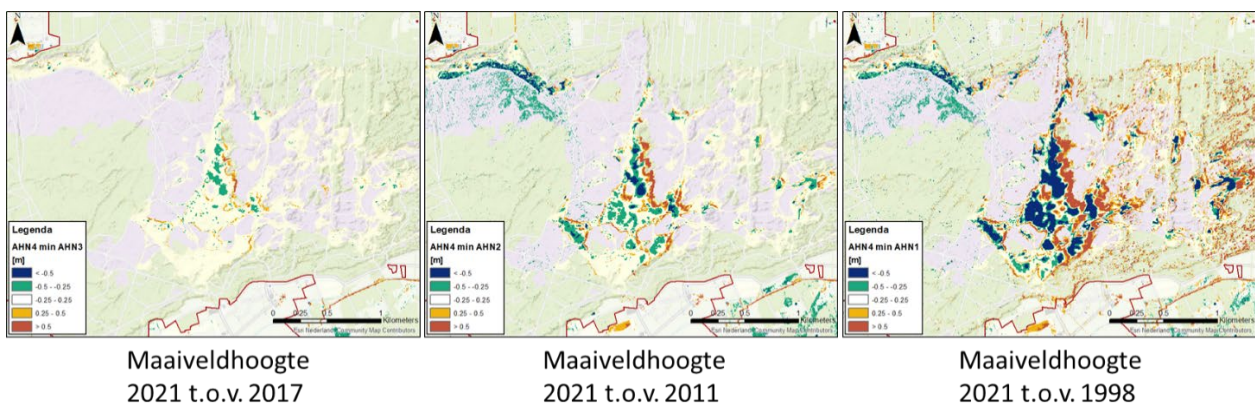
Reliëf

Figuur 5-5 toont een vergelijking van het huidige maaiveld op basis van het AHN4 met het bestand TOPhoogteMD van het maaiveld uit de jaren '60/'70 van de vorige eeuw (Dataregister Rijkswaterstaat 2022). Op hoofdlijnen laat dit bestand hetzelfde patroon zien van de ligging van de hoger gelegen duinen.

De maaiveld inmeting uit 1960-1970 bevat alleen puntdata waardoor geen gedetailleerde vergelijking gemaakt kan worden met de huidige maaiveldhoogte. Voor de maaiveldhoogtes uit 1998, 2011 en 2017 kan deze vergelijking wel worden gemaakt. Figuur 5-6 toont een vergelijking tussen deze maaiveldhoogtes.



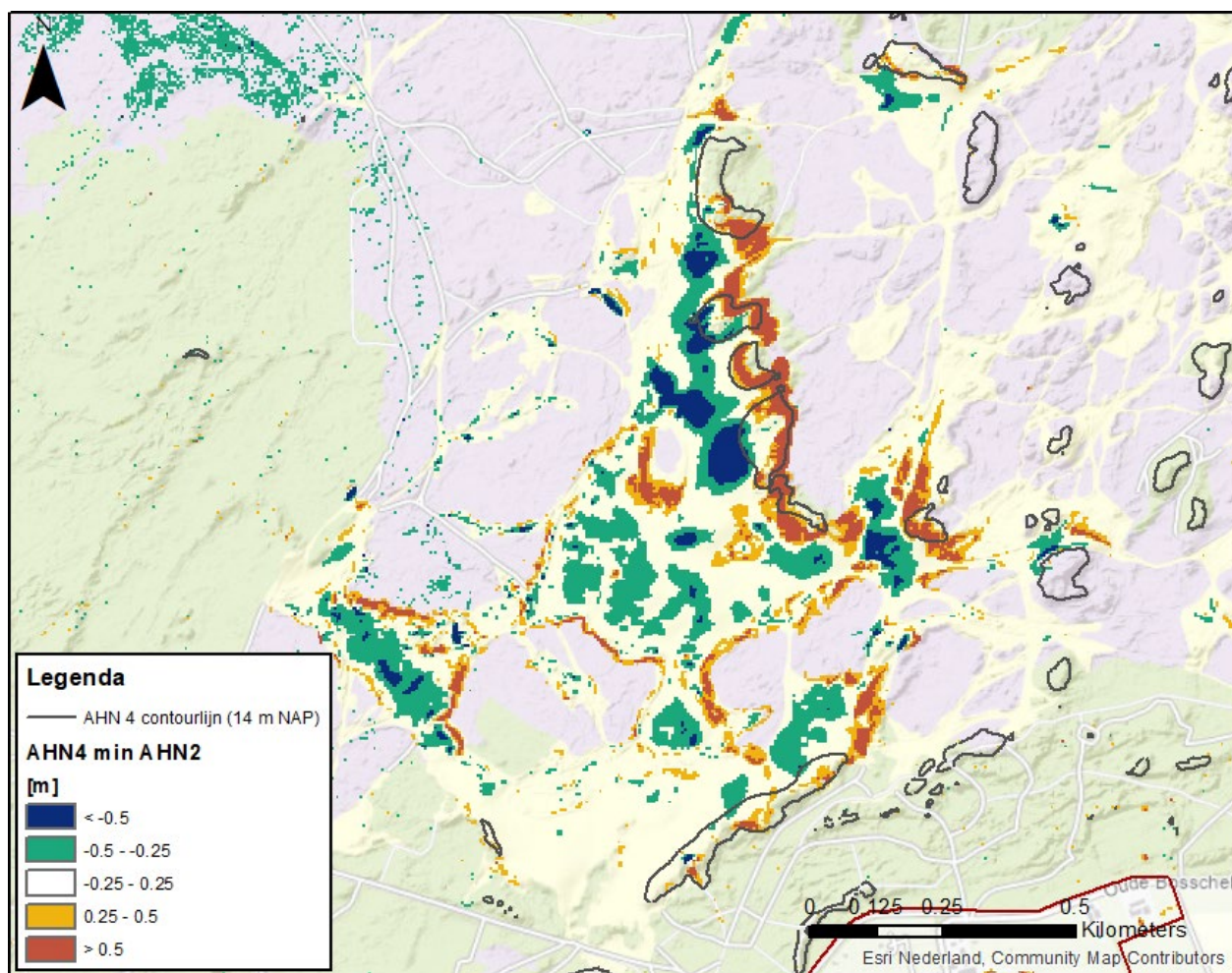
Figuur 5-5 Vergelijking TOPhoogteMD (Maaiveldhoogte-punten; met interpolatie), ingemeten in 1960/1970 links, en maaiveldhoogte uit het AHN4 rechts (AHN 2022).



Figuur 5-6 Verandering in maaiveldhoogte voor het centrale zandverstuivingsgebied op basis van AHN1 t/m AHN4 (AHN 2022). N.B. de eerste maaiveld inmeting AHN1 van 1998 is minder nauwkeurig dan latere inmetingen,

In het centraal gelegen zandverstuivingsgebied in de Loonse en Drunense Duinen is nog steeds sprake van actieve verstuiving. Het zand verstuift hier over de tijd vanuit het westen langzaam richting het oosten. In Figuur 5-6 zijn aan de westzijde van de kaarten groen/blauwe kleuren zichtbaar, dit is een afname van de maaiveldhoogte, naar het oosten toe neemt de maaiveldhoogte toe (oranje/rode kleuren). Voor de periode 1998 tot 2021 kunnen de verschillen in maaiveldhoogte toenemen tot enkele meters. Voor de laatste paar jaar (2021 t.o.v. 2017) is het verschil in de orde grootte van tientallen centimeters (tot maximaal één meter voor het overgrote deel van het gebied).

Verder ingezoomd op het centrale deel van het actieve stuifzandgebied (Figuur 5-7) kan worden geconstateerd dat het zand voornamelijk uit de lageregelegen delen vóór de duintoppen wordt uitgestoven. Het zand verplaatst zich naar de toppen én de oostzijde (lijzijde) van de toppen van de huidige duinen. De huidige laagtes worden dus niet dichtgestoven. De duinen “wandelen” als het ware naar het oosten toe.



Figuur 5-7 Verandering in maaiveldhoogte van 2021 t.o.v. 2011 ingezoomd op het gebied met de meeste verstuiwing. In grijs is de contourlijn van de huidige maaiveldhoogte zichtbaar (14 m NAP). (AHN 2022)



Figuur 5-8 Verstuiwing in het centrale stuifzandgebied. Links: het stuifduin 'rolt' over de stuifzandheide heen. Rechts: zandafzetting aan de oostzijde (lijzijde) van het stuifduin.

5.2 Grondwatersysteembeschrijving

De Loonse en Drunense Duinen liggen hoger ten opzichte van de omgeving. Het zandlichaam is een infiltratiegebied. Er zijn storende lagen (leem en veen) in de ondergrond aanwezig waarop het grondwater kan stagneren, dit kan mogelijk zorgen voor schijngrondwaterstanden. Aan de noordkant wordt het gebied begrensd door het Afwateringskanaal Drongelen – Den Bosch en aan de zuidkant bevindt zich de Zandkantse Leij. Vooral het Afwateringskanaal aan de noordzijde heeft een drainerende werking door zijn lage ligging. Er is geen drainerend oppervlaktewatersysteem aanwezig in het centrale deel van de Loonse en Drunense duinen. Het Hengstven watert wel af via een diepe sloot noordwaarts dwars door het aangrenzende duingebied naar het Drongelens Kanaal.



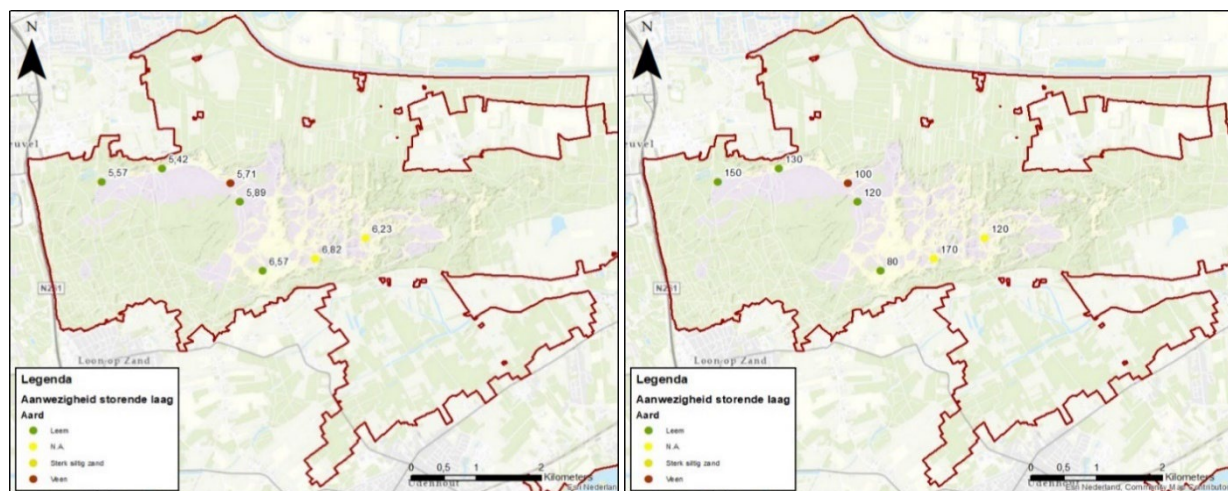
Figuur 5-9 Natte plekken in het voorjaar van 2018 in de Loonse en Drunense Duinen (luchtfoto's van Topotijdreis (Topografische Dienst 2022)). Links natte laagte met pioniersvegetaties in het stuifzandgebied ten noorden van Bosch en Duin. Rechts twee laagten met venvegetaties in en naast een duinpan nabij Distelberg.

Peilbuizen en dus metingen van de grondwaterstand ontbreken geheel in het centrale deel van de Loonse en Drunense Duinen. Grondwater lijkt in het veld op het oog diep weg te zakken in het stuifzandgebied. Bestudering van de grondwaterstandsmetingen in de omgeving leert echter dat het grondwater helemaal niet zo diep zit.

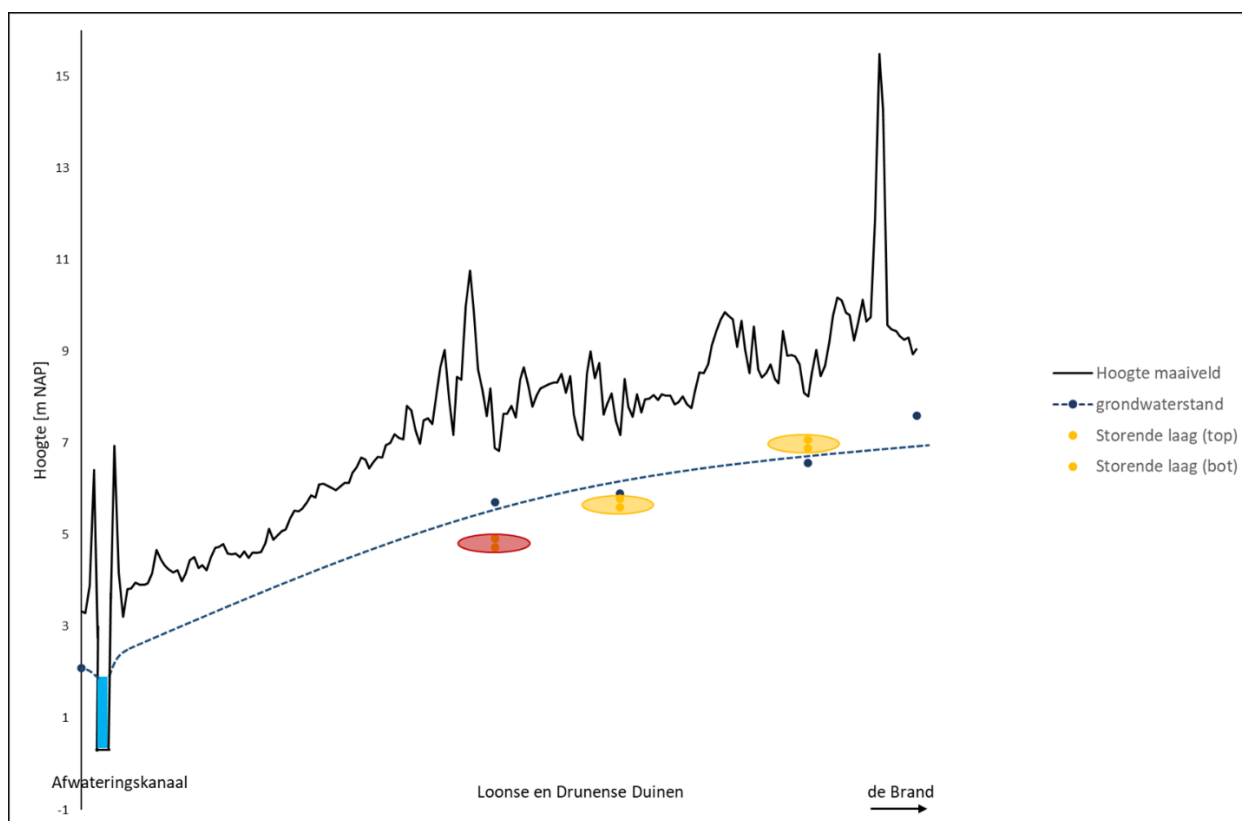
Een bodem- en vegetatiekartering uit 1958 laat zien dat het grondwater in eerdere decennia waarschijnlijk tot vlak aan of tot boven maaiveld heeft gestaan (zie paragraaf 5.5; (Vleeshouwer 1958)). Daarnaast kunnen ondiepe scheidende leem- of veenlagen mogelijk voor extra weerstand zorgen waarop water kan stagneren.

Diepte van het grondwater

De vraag was hoe diep het grondwater zit. Bij het veldwerk is op 8 juli 2022 ook de grondwaterstand op dat moment bepaald. De gemeten grondwaterstand varieert tussen 80 en 170 cm onder maaiveld. Het veldwerk is uitgevoerd na een periode met weinig neerslag, in een historisch gezien droge periode. We kunnen daarom aannemen dat de waargenomen grondwaterstanden relatief laag zijn en in de buurt liggen van de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG).



Figuur 5-10: Grondwaterstand ten opzichte van NAP (links) en ten opzichte van maaiveld (rechts)



Figuur 5-11: Dwarsprofiel van de maaiveldhoogte aangevuld met informatie uit het veldwerk d.d. 8 juli 2022 naar de aanwezigheid van storende lagen (rood=veen, geel=leem) en een geïnterpoleerde lijn van de tijdens het veldwerk gemeten grondwaterstand (aangevuld met grondwaterstanden uit Dinoloket aan de noord- en zuidrand). Locatie dwarsprofiel zichtbaar in Figuur 5-3.

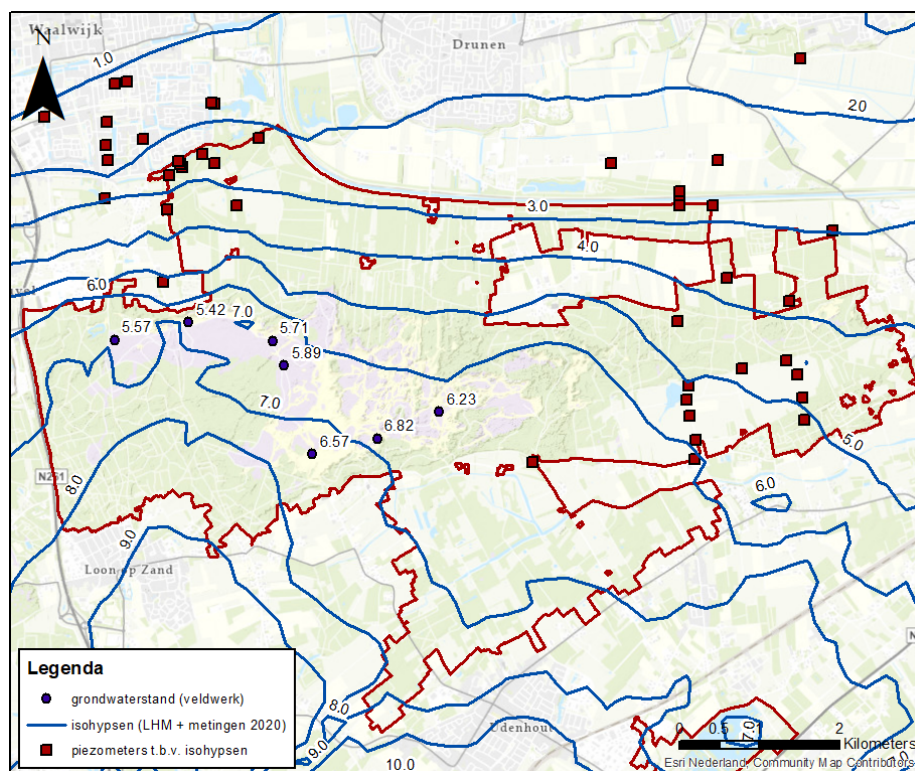
Te zien is dat de grondwaterstand afloopt van zuid naar noord (Figuur 5-10 en Figuur 5-11), zoals ook uit het regionale isohypsenbeeld te zien is (Figuur 4-3). De grondwaterstanden liggen 80 tot 170 centimeter onder maaiveld in de lage delen van het stufzandgebied. In nattere tijden zullen de grondwaterstanden aanmerkelijk hoger zijn (zie Figuur 5-9).

Synthese

De resultaten van het veldwerk en de beschikbare kennis van de omgeving (grondwaterstandsgegevens uit Dinoloket) zijn samengevat in een dwarsdoorsnede van noord naar zuid over de Loonse en Drunense Duinen (Figuur 5-3). De volgende inzichten kunnen hieruit worden gedestilleerd:

- De grondwaterstand volgt ongeveer de ligging van het maaiveld. De grondwatergradiënt neemt toe in het gebied tussen de duinen en het Afwateringskanaal Drongelen – Den Bosch.
- De reden voor deze toename in gradiënt is de lage ligging van de polders ten noorden van het Drongelens Kanaal die grondwater draineren en afvoeren. Deze aanzuigende werking zorgt voor een verlaging in grondwaterstand.
- De bodem van het Drongelens Kanaal ligt laag. Bij een waterpeil van NAP +1,8 tot +2,0 meter en een gemiddelde waterdiepte van 2 meter (IWACO, 1994) ligt de kanaalbodem ter hoogte van de Loonse en Drunense Duinen op NAP 0,0 meter. De gemeten grondwaterstanden liggen hoger dan het kanaalpeil.
- De grondwaterstand volgt ongeveer de regionale gradiënt. Schijngrondwaterspiegels lijken niet voor te komen of spelen een kleinere rol. Dit wordt ook bevestigd door het veldwerk. Het grondwater komt soms ver boven en soms onder de scheidende laag voor

Het ruimtelijk beeld van de gemeten grondwaterstanden tijdens het veldwerk van 8 jui (de punten in Figuur 5-10) is gecombineerd met de isohypsen voor het jaar 2020 uit (Grondwatertools 2022). Naar verwachting liggen de gemeten grondwaterstanden van juli 2022 lager dan de isohypsen van 2020. Maar de metingen passen wel goed binnen het ruimtelijk patroon.



Figuur 5-12 Isohypsenpatroon uit Grondwatertools op basis van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) en metingen van de grondwaterstanden voor het jaar 2020 (Grondwatertools 2022). Hieraan toegevoegd zijn de resultaten van de grondwaterstandsmetingen van het veldwerk in juli 2022.

5.3 Factoren van invloed op de grondwaterstand

Een van de belangrijke onderzoeksvragen van deze LESA is welke factoren van invloed zijn geweest op de verandering in grondwaterstand in de Loonse en Drunense Duinen. Als deze factoren bekend zijn, dan kan ook beter worden bepaald in hoeverre de grondwaterstand in de toekomst weer hersteld kan worden. Deze factoren worden langsgelopen in een logische historische volgorde.

5.3.1 Verandering in landgebruik (bebossing)

Het gebied heeft gedurende 170 jaar een metamorfose ondergaan. Rond 1850 was het gebied geheel open, bedekt met stuifzand en deels zeer schaars begroeid (zie Figuur 3-3). Daarna is het zandgebied omgezet in steeds meer heide en bosgebied (bovenste afbeelding van Figuur 5-13). Het westelijk deel van het duinengebied, de Loonse Duinen, is in de 20^e eeuw vrijwel geheel bebost. Uit de topografische kaarten volgt ook dat dat bos voornamelijk uit naaldbos bestaat. De meeste voormalige stuifzand- en heidegebieden zijn in Noord-Brabant beplant of spontaan dichtgegroeid met grove den, een boomsoort die ook groeit op arme bodems. Pas recent in 2015 is hier in het LIFE project 'Sand Dynamics in Inland Dunes' afgerond, waarbij een deel van het bos gekapt en in heide omgezet (Clements et al. 2019).

Het type landgebruik heeft een grote invloed op de grondwateraanvulling ((Witte et al. 2019). Bos verdampt aanzienlijk meer water dan heidegebied, wat weer meer verdampt dan stuifzand. De grondwateraanvulling in kaal duinzand kan bijna drie keer hoger zijn (550 mm/j) dan in met naaldbos bebost gebied (200 mm/j); heide zit hier tussenin (350 mm/j) (kengetallen³ gebaseerd op het Grondwaterzakboekje (Bot 2016) en vergeleken met andere bronnen, o.a. Draagkrachtstudie & Expertdialoog de Veluwe (Verhagen et al. 2014, 2017)).

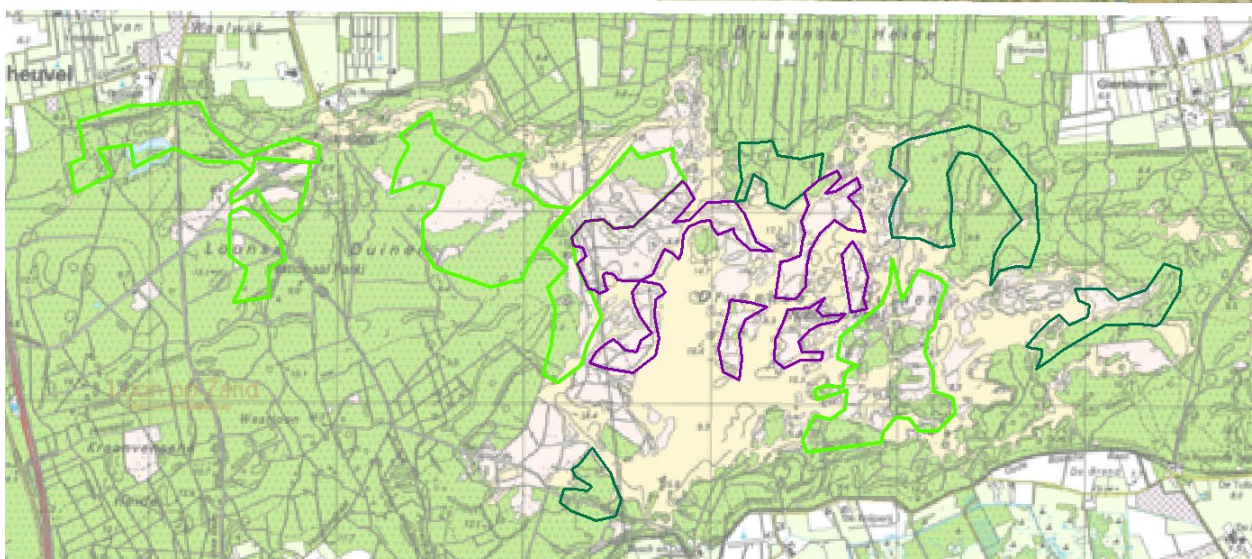
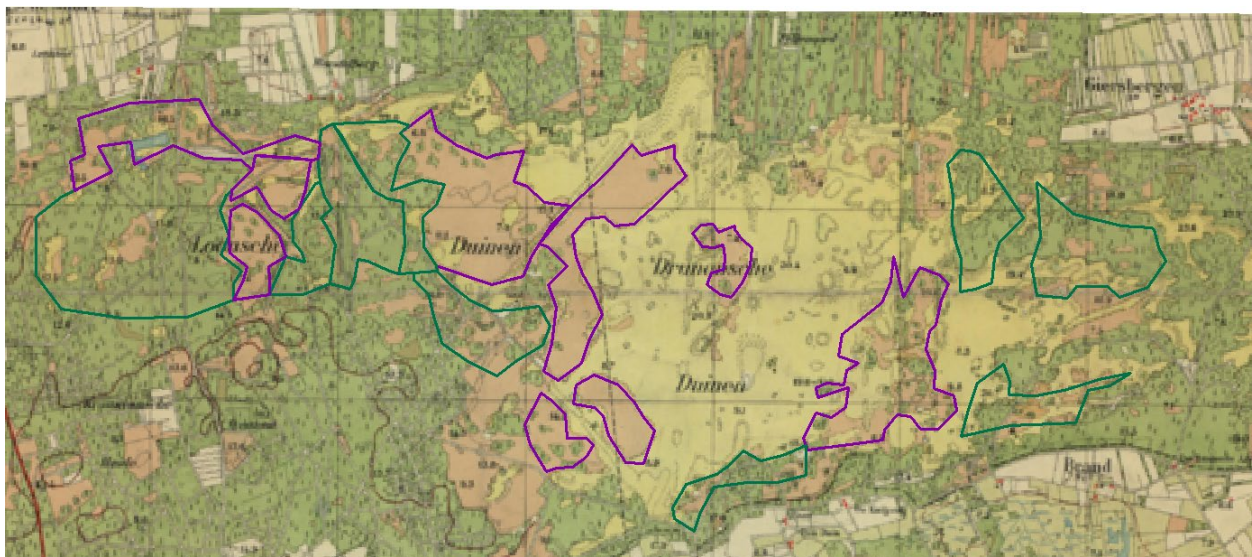
Op basis van de topografische kaarten uit 1900, 1950, 2000 en 2021 is een schatting gemaakt van de verandering in landgebruik en dit is vertaald naar de verandering in grondwateraanvulling. De paarse kleuren in Figuur 5-13 laten zien waar nieuwe heidegebied is ontstaan; de groene kleuren zijn nieuw beboste gebieden.

Op de topografische kaarten is te zien dat in de eerste helft van de 20^e eeuw de grootste veranderingen hebben plaats gevonden. Toen is ongeveer 400 ha zandgrond omgezet, ongeveer in een gelijk deel heide en naaldbos. In de tweede helft van de 20^e eeuw is de bebossing verder voortgezet (circa 215 ha), zowel vanuit zand als heidegrond. Aan het begin van de 21^e eeuw vindt een trendbreuk plaats. Dan wordt begonnen met het omvormen van bebost gebied naar heidegebied, zowel aan de westzijde in de Loonse Duinen (83 ha), als aan de oostzijde (24 ha) in de Drunense Duinen.

De verandering in grondwateraanvulling hebben we in beeld gebracht voor drie periodes (zie Tabel 5-1). In de eerste helft van de 20^e eeuw hebben de grootste veranderingen plaats gevonden in landgebruik en dan neemt de grondwateraanvulling⁴ ook het sterkst af (1,11 miljoen m³ per jaar). In de periode 1950 – 2000 neemt de grondwateraanvulling nog verder af met 0,60 miljoen m³ per jaar. Deze hoeveelheid komt jaarlijks minder ten goede aan het grondwater over een oppervlak van ongeveer 850 hectare (de omvang van het zandgebied in 1900, zie bovenste afbeelding in Figuur 5-13). Dit is een waterschijf van 20 cm en vertaald naar een verandering in grondwaterstand komt dit overeen met een grondwaterstandsval van ongeveer 60 cm. De gebruikte kentallen zijn een schatting van de verdamping per landgebruikstype, maar deze beschouwing laat zien dat het effect van verandering in landgebruik groot is geweest.

³ De werkelijke grondwateraanvulling onder verschillende vegetaties bos, heide, stuifzand is afhankelijk van veel verschillende factoren, zoals aard en dichtheid van de ondergroei, type bos / heide en de vochtvoorziening (bodemtype, diepte grondwaterstand). De hier gebruikte getallen voor grondwateraanvulling zijn gebaseerd op in de literatuur beschikbare kennis over grondwateraanvulling. Harde cijfers over grondwateraanvulling onder vegetaties zijn echter schaars (Verhagen et al. 2014; Steenvoorden et al. 2021)

⁴ De verandering in grondwateraanvulling is als volgt berekend: De oppervlakte in verandering landgebruik * verandering in verdamping per jaar





Figuur 5-13 Verandering in landgebruik (Bron: Topotijdreis (Topografische Dienst 2022)); donkergroen= van zand naar bos, lichtgroen= van heide naar bos, donkerpaars= van zand naar heide, lichtpaars= van bos naar heide.

Door het kappen van bos in het noordelijk deel van de Loonse Duinen in 2010 en omvorming naar heide in de jaren daarna neemt de grondwateraanvulling weer wat toe: met 0,16 miljoen m³ per jaar. Maar netto is nog steeds sprake van een grote afname ten opzichte van de situatie van 1900.

Tabel 5-1 Verandering in landgebruik in de Loonse en Drunense Duinen per periode en resulterende verandering in verdamping

	Verandering landgebruik (ha)			Verandering in verdamping (*1.000.000 m ³ /jaar)		
	1900-1950	1950-2000	2000-2021	1900-1950	1950-2000	2000-2021
toen – nu						
Zand – bos	214	61		0,75	0,21	
Zand - heide	178	81		0,36	0,16	
Heide - bos		155			0,23	
Bos - heide			107			-0,16
Totaal	392	297	107	1,11	0,60	-0,16

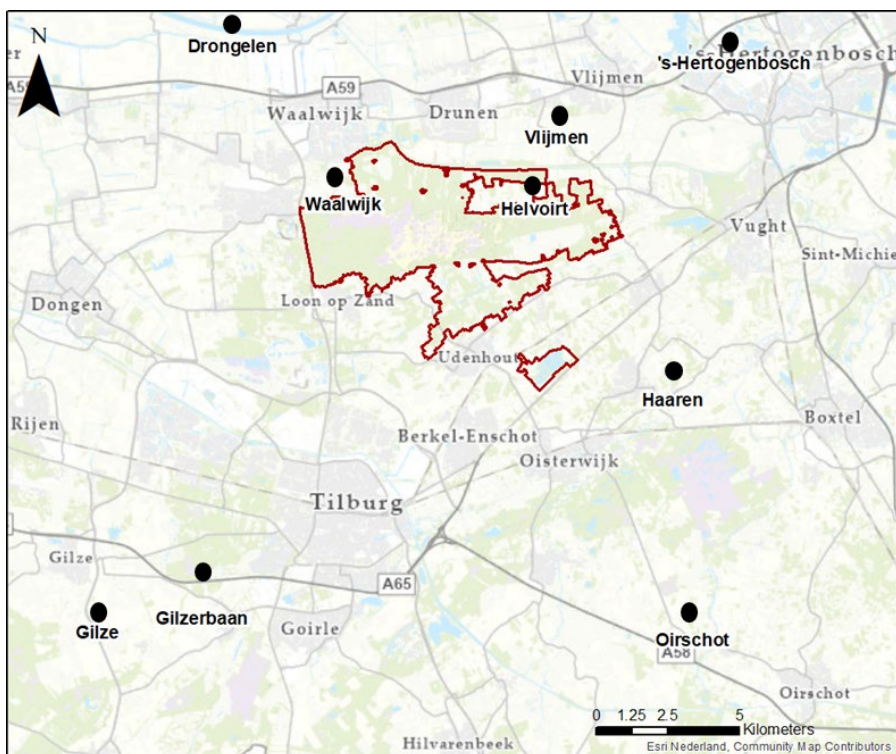
5.3.2 Grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening

Door Brabant Water wordt grondwater onttrokken ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening. Deze onttrekking vindt vooral uit diepere lagen plaats, waardoor diepe stijghoogten worden verlaagd en ook freatische grondwaterstanden worden verlaagd. Deze paragraaf geeft een overzicht van de mogelijke effecten.

De vijf meest relevante winningen

Er zijn vijf grondwaterwinningen ten behoeve van het drinkwater in de nabijheid van het onderzoeksgebied (zie Figuur 5-14 en Tabel 5-2). Van deze grondwaterwinningen wordt in de winning Gilzerbaan ten zuidwesten van Tilburg verreweg het meeste grondwater onttrokken. Hoewel deze winning op enige afstand ligt, heeft deze grondwaterwinning vanwege haar omvang toch een grote invloed op het kerninfiltratiegebied tussen Tilburg en Loon op Zand (zie Figuur 4-3).

De meeste grondwaterwinningen onttrekken water van onder de Waalreklei, uit het tweede watervoerende pakket. Uitzondering hierop vormt de winning Waalwijk die grondwater onttrekt van boven de Waalreklei uit het eerste watervoerende pakket.



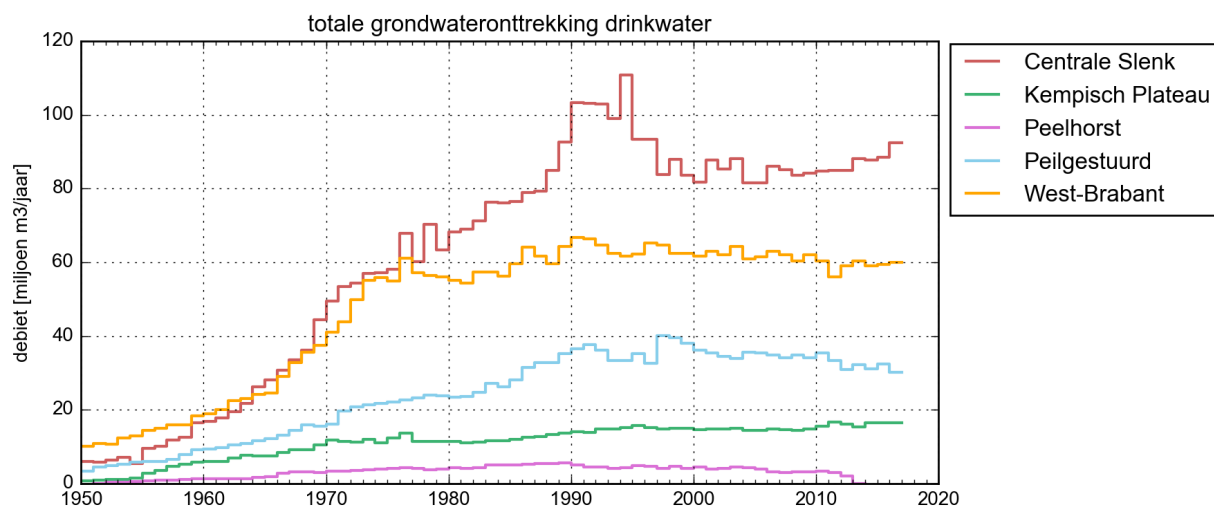
Figuur 5-14 Drinkwaterwinningen in de omgeving van het onderzoeksgebied

Veranderingen in de tijd

Grondwaterwinningen in Noord-Brabant zijn geleidelijk toegenomen tot ongeveer halverwege de negentiger jaren van de vorige eeuw (Figuur 5-15). De Loonse en Drunense Duinen liggen binnen het geohydrologisch deelgebied de Centrale Slenk. Dit deelgebied wordt gekenmerkt door dikke en diepe watervoerende pakketten waaruit gemakkelijk water kan worden gewonnen. Door de hoge doorlatendheid van de watervoerende pakketten, veroorzaken de verschillende individuele grondwaterwinningen samen een grote verlaging in het tweede watervoerende pakket. Het individuele effect per winning is moeilijk te onderscheiden.

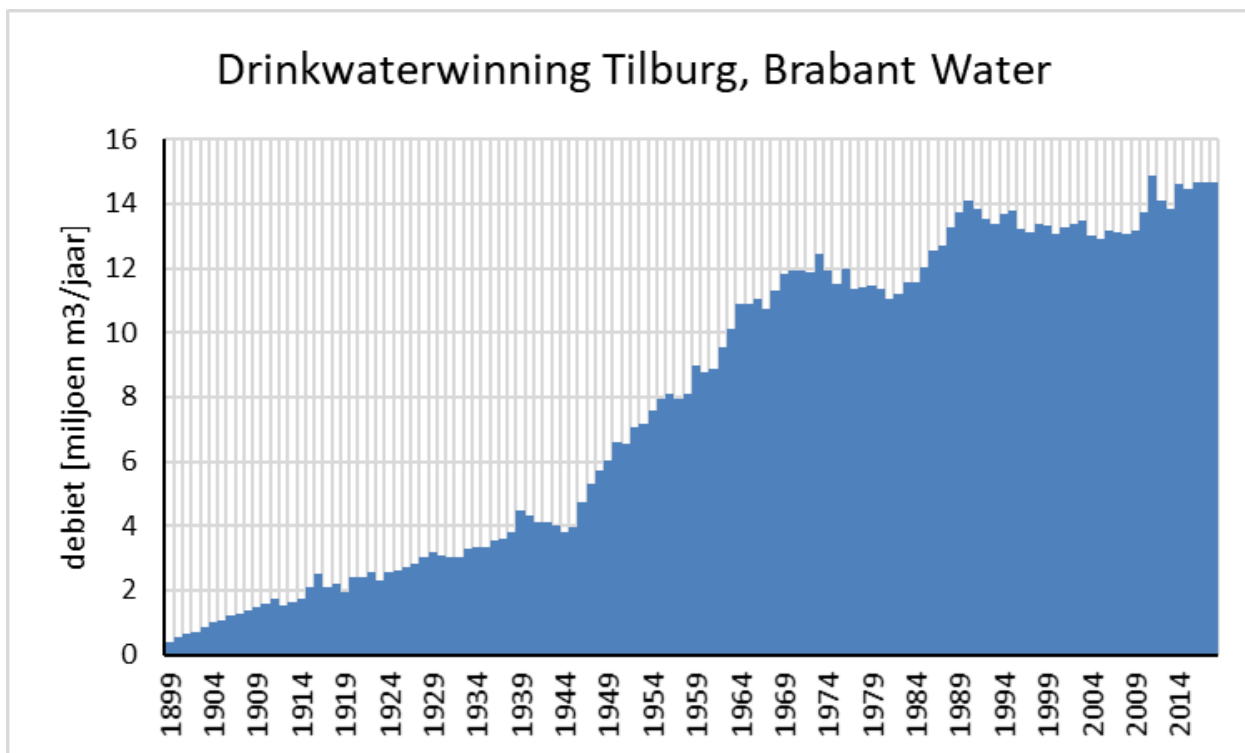
Tabel 5-2 Kenmerken van vijf grondwaterwinningen in de directe nabijheid van onderzoeksgebied

Winning	Startjaar onttrekking	Gemiddelde diepte		Gemiddelde debiet 2009 t/m 2016 [miljoen m ³ /jaar]
		van (m+NAP)	tot (m+NAP)	
Haaren	1963	-125.5	-169.0	6.8
Helvoirt	1983	-59.1	-87.7	1.3
Tilburg	1898	-113.2	-140.2	14.2
Vlijmen	1957	-119.4	-157.9	1.5
Waalwijk	1986	-31.6	-47.9	1.1
Haaren	1963	-125.5	-169.0	6.8



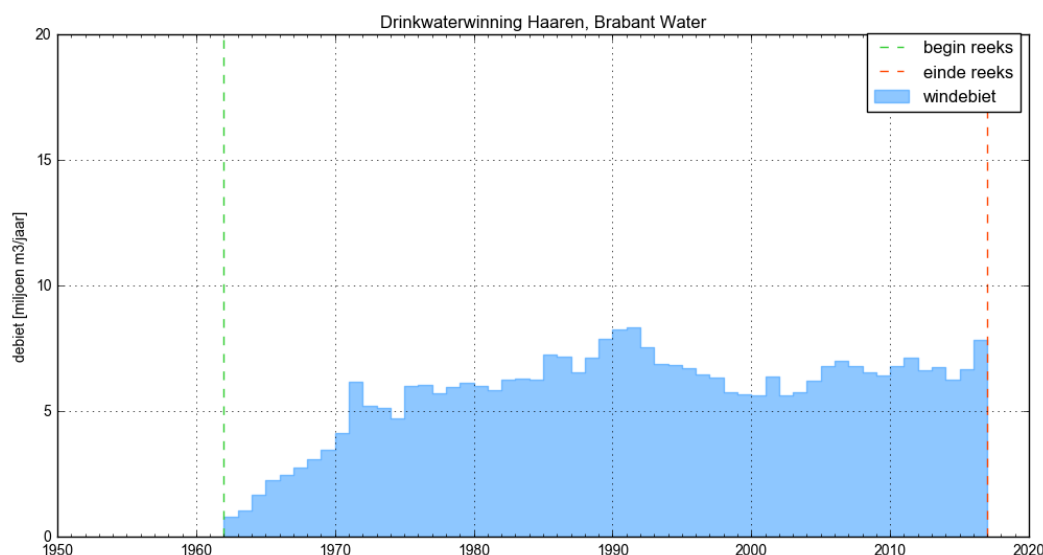
Figuur 5-15 Gemiddelde jaarlijkse onttrekking grondwater ten behoeve van openbare drinkwatervoorziening onderverdeeld in vijf deelgebieden (Bron data: Brabant Water en Evides)

In afwijking van het algemene beeld in de provincie Noord-Brabant is in de buurt van de Loonse en Drunense Duinen de grondwaterwinning al sterk toegenomen vanaf de 1945 ten gevolge van de winning Tilburg (ook wel Gilzerbaan genoemd; zie Figuur 5-16). Deze grondwaterwinning is de grootste van Noord-Brabant, is de eerste openbare drinkwaterwinning in Noord-Brabant en al gestart in 1899. Vooral in de vijftiger en zestiger jaren van de vorige eeuw is het debiet van deze winning sterk toegenomen (Figuur 5-16). De hoeveelheid gewonnen grondwater nam in deze periode toe van ongeveer 4 tot 12 miljoen m³/jaar. In de huidige situatie wordt ongeveer 14 miljoen m³/jaar grondwater gewonnen.



Figuur 5-16: Jaarlijks onttrokken hoeveelheid grondwater van de drinkwaterwinning Tilburg (Gilzerbaan)

Qua grootte is winning Haaren nummer twee. Deze winning is in 1963 gestart en bereikte een piek in winningshoeveelheid begin jaren '90 (Figuur 5-17). De andere drie grondwaterwinningen onttrekken minder grondwater (tussen de 1,0 en 1,5 miljoen m³/jaar). De grafieken met onttrokken jaardebieten zijn opgenomen in Bijlage 1.



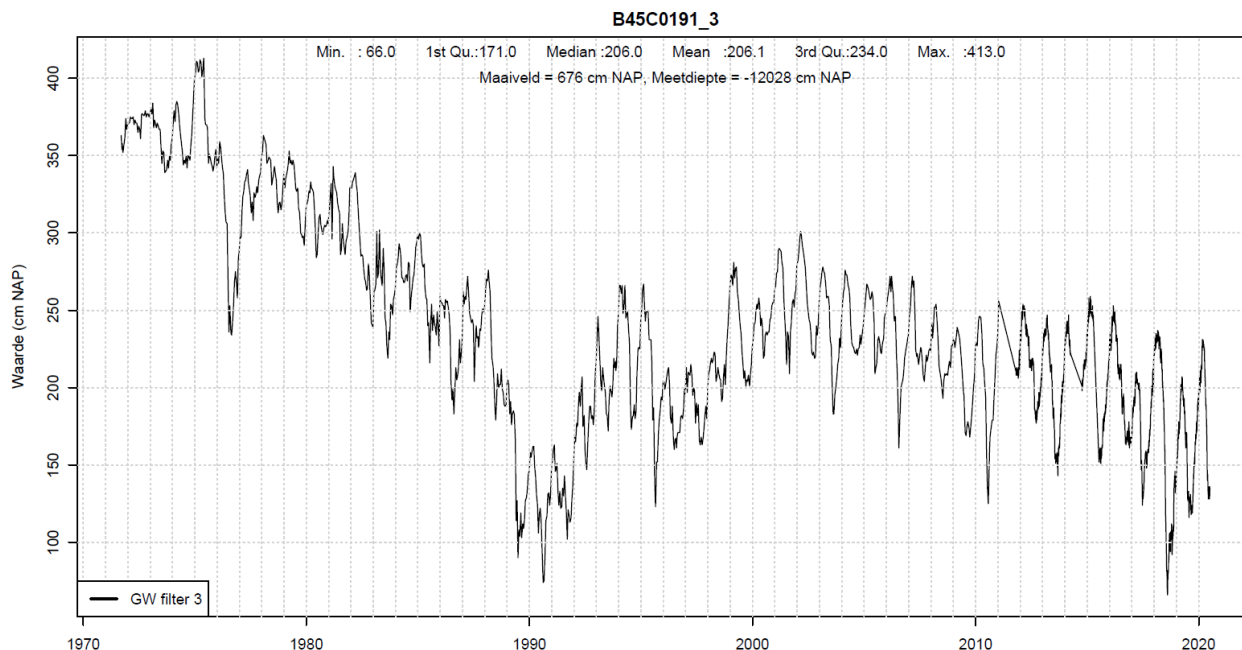
Figuur 5-17: Jaarlijks onttrokken hoeveelheid grondwater van de drinkwaterwinning Haaren

Invloed van de grondwateronttrekking

De grondwateronttrekkingen vinden voor het grootste deel plaats van onder de Waalreklei in het tweede watervoerende pakket. Uit het project Draagkracht (Verhagen et al. 2017) is berekend dat de stijghoogte in het tweede watervoerende pakket met meters is gedaald ten gevolge van grondwateronttrekkingen in de Centrale Slenk.

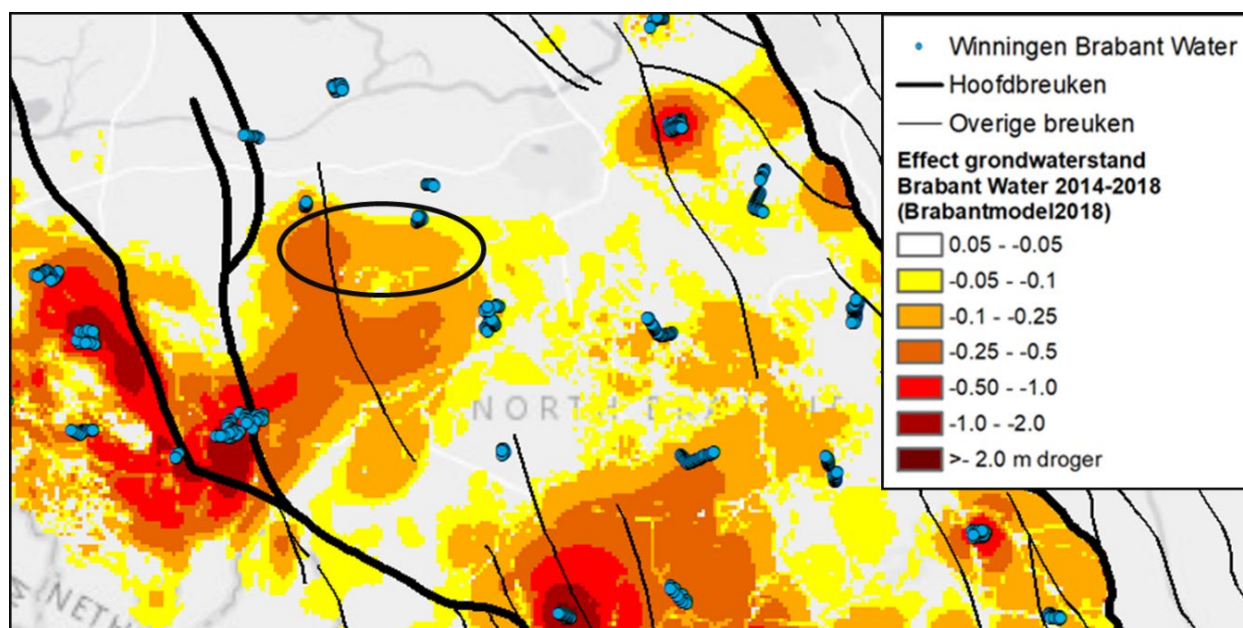
Dit beeld wordt bevestigd door metingen. Tussen de Brand en het duinengebied staat een peilbuis met vijf filters (B45C0191, coördinaten 141077, 406797). Het derde filter staat op een diepte van 127 meter onder maaiveld in het tweede watervoerende pakket. De stijghoogte wordt hier gemeten vanaf 1971. De stijghoogte bedroeg toen ongeveer 3,5 meter +NAP en daalt tot 1990 tot ongeveer 1,0 meter +NAP, een daling van 2,5 meter (zie Figuur 5-18). Het is aannemelijk dat de stijghoogte vóór de jaren '70 nog aanmerkelijk hoger was. De stijghoogte heeft zich in de periode na 1990 hersteld, maar de laatste 10 jaar daalt de diepe stijghoogte weer. De gemeten stijghoogte van B45C0191 is meters lager dan de metingen boven de Waalre klei (globaal NAP +4,7 meter). Er is daarom sprake van een infiltratiesituatie. Dit was al het geval in 1971 (ongeveer 1 meter verschil tussen grondwaterstand en diepe stijghoogte). Er is geen sprake van een omkering van kwel naar infiltratie en daarom zijn de effecten op de waterkwaliteit ook beperkt.

De verlaging in stijghoogte werkt beperkt door tot in het freatische watervoerende pakket. De weerstand van de Waalreklei in de Centrale Slenk is hoog waardoor de waterstroming naar het bovenliggende watervoerende pakket sterk beperkt wordt. Daarnaast wordt het effect op de freatische grondwaterstand gedempt door het oppervlaktewatersysteem. Dit is de reden dat de effecten op de grondwaterstand in de Brand minder groot zijn dan onder de Duinen.



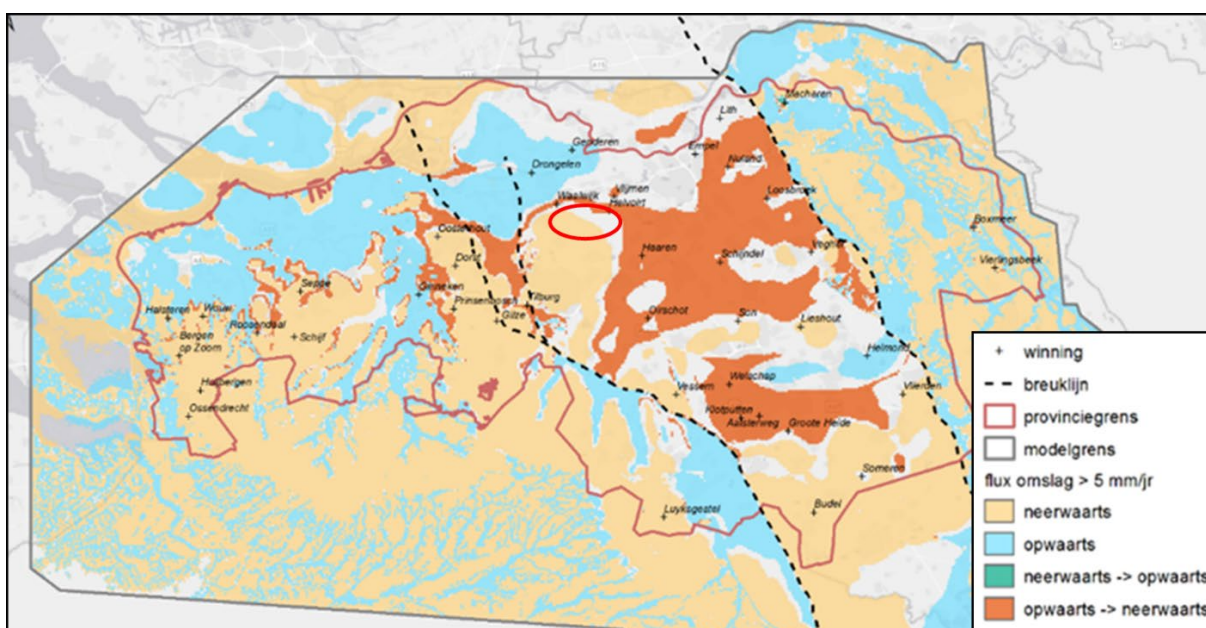
Figuur 5-18 Gemeten stijghoogte onder de Waalre klei op een locatie in het Hengstven (Dinoloket 2022). Locatie op Figuur 5-31.

Uit eerdere modelberekeningen (Figuur 5-19) volgt dat de effecten op de grondwaterstand 10 tot 25 cm zijn voor het centrale en oostelijk deel van De Loonse en Drunense Duinen en ruim 25 cm voor het westelijk deel tussen Loon op Zand en Waalwijk. Voor De Brand is het effect 5 tot 10 cm. De daling in grondwaterstand is een optelsom van alle winningen van Brabant Water. De effecten van de winningen Tilburg en Waalwijk zijn ook apart doorgerekend (van Wachtendonk & van der Wal 2020). De winning Waalwijk veroorzaakt ongeveer 5 tot 20 cm en de winning Tilburg veroorzaakt tot 5 cm grondwaterstands-daling in het westelijk Duinengebied. Vanwege de geringe diepte van onttrekken bij de winning Waalwijk, heeft deze vooral een lokaal effect.



Figuur 5-19 Berekende daling in freatische grondwaterstand als gevolg van alle winningen van Brabant Water voor de situatie 2014-2018 (bron: (van Wachtendonk et al. 2021)). Ligging van het onderzoeksgebied in de zwarte ellips.

De toename in grondwateronttrekking heeft niet alleen een effect op stijghoogten en grondwaterstanden, maar ook op de sterkte van de kwelflux. De daling in diepe stijghoogte is veel groter dan de daling in freatische grondwaterstanden. Oorspronkelijk was in grote delen van de Centrale Slenk sprake van een kwelsituatie. Door de grote daling in stijghoogtes in het tweede watervoerende pakket is de regionale kwelsituatie omgeslagen in een infiltratiesituatie (Verhagen et al. 2017). Voor de Loonse en Drunense Duinen gaat het om een smalle zone aan de noordzijde. Het poldergebied ten noordwesten van Waalwijk blijft een regionaal kwelgebied en het infiltratiegebied ten zuiden van de duinen (omgeving Loon op Zand en Tilburg) was vroeger ook al een infiltratiegebied.



Figuur 5-20 Regionale verandering in verticale stromingspatronen van het tweede naar het eerste watervoerende pakket ten gevolge van het onttrekken van grondwater voor drinkwater en industrie. Gebaseerd op Draagkracht grondwater Noord-Brabant (Verhagen et al. 2017). Voor de Loonse en Drunense Duinen gaat het om de stroming over de Waalreklei. Ligging van het onderzoeksgebied in de rode ellips.

5.3.3 Onttrekking van grondwater voor de industrie

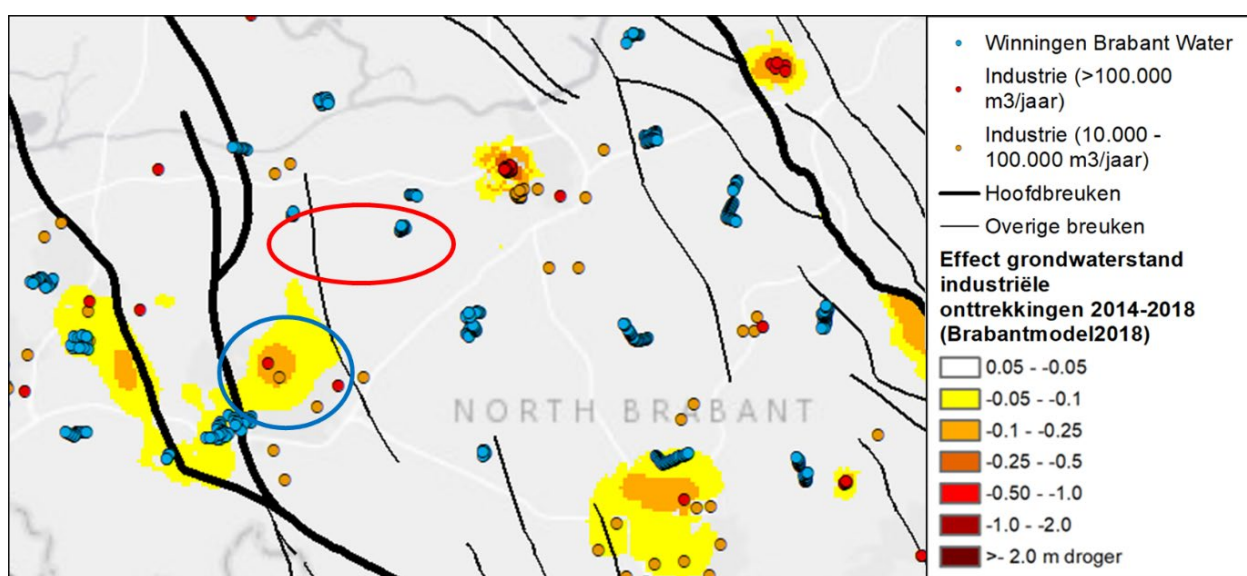
De industrie gebruikt ook grondwater ten behoeve van hun productieprocessen. Door besparingsmaatregelen is deze hoeveelheid sinds de tachtiger jaren sterk afgenomen (Verhagen et al. 2017). Ten opzichte van de drinkwateronttrekkingen wordt nu een beperkte hoeveelheid grondwater door de industrie onttrokken (in Noord-Brabant globaal 20 miljoen m³/jaar ten opzichte van 200 miljoen m³/jaar voor drinkwater). Ook in de omgeving van de Loonse en Drunense Duinen zitten enkele grote bedrijven die hun onttrekking in de laatste decennia sterk gereduceerd of afgebouwd hebben.

In de omgeving van de Loonse en Drunense Duinen zijn zes bedrijven die meer dan 100.000 m³ per jaar onttrekken (Tabel 5-3). Hiervan liggen vijf winningen ten zuiden van de Loonse en Drunense Duinen in de omgeving van Tilburg en Dongen. Van dit cluster winningen is de onttrekking van FujiFilm de grootste. Op deze locatie vindt nu een pilot plaats om afvalwater te zuiveren om dit later in het productieproces weer te kunnen gebruiken. Het doel is om het grondwatergebruik zo te verminderen.

De effecten van de huidige industriële grondwaterwinningen zijn eerder berekend (van Wachtendonk & van der Wal 2020). Het cluster van onttrekkingen in Tilburg en Dongen heeft een beperkt lokaal effect op de grondwaterstand in de omgeving. Het effect op de Loonse en Drunense Duinen is zeer beperkt (Figuur 5-21).

Tabel 5-3 Geregistreeerde (gemiddelde 2015 en 2016) debieten onttrekkingen voor industrie

Naam bedrijf	Gemeente	Onttrekkingsdebiet gemiddeld voor de periode 2015 / 2016 (in miljoen m3/jaar)
Fujifilm	Tilburg	1.5
International Flavors en Fragrances	Tilburg	0.2
Coca-Cola	Dongen	0.5
Ecco Tannery	Dongen	0.3
Trobas Gelatine	Dongen	0.5
Maasoever Cold Store	Waspik	0.2



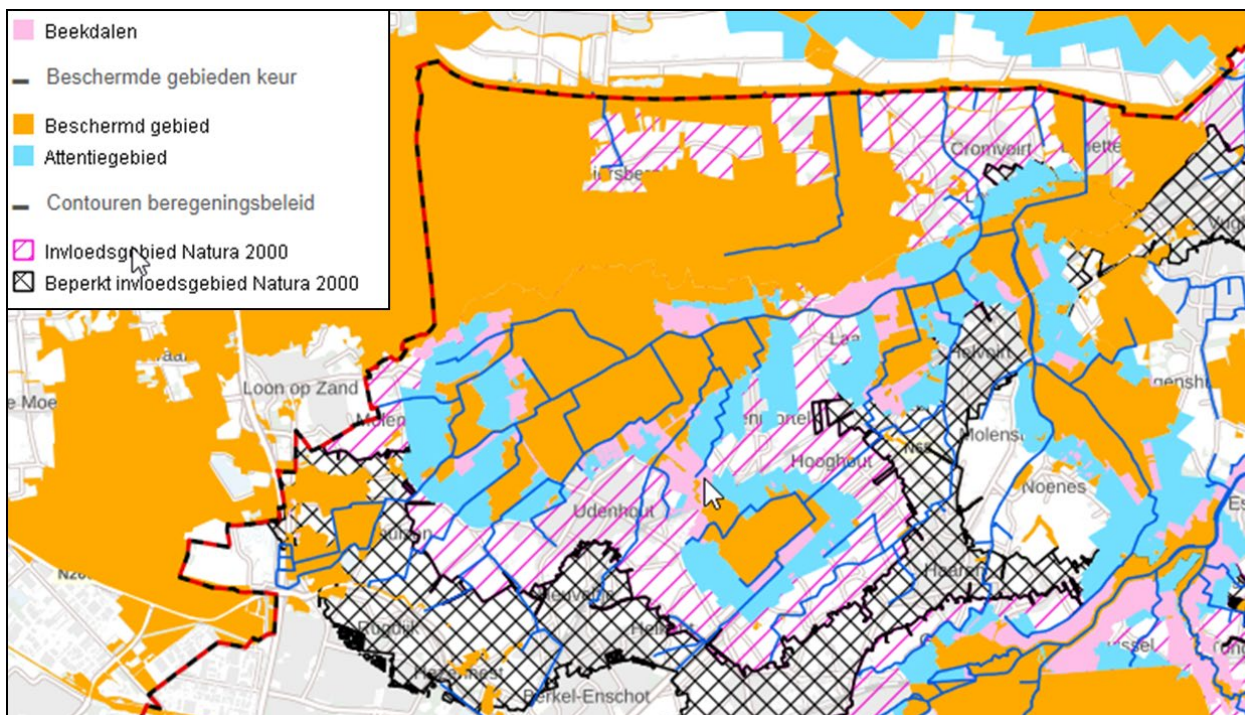
Figuur 5-21 Berekende daling in freatische grondwaterstand als gevolg van de industriële winningen in Brabant voor de periode 2014-2018 (bron: (van Wachtendonk & van der Wal 2020). Ligging van het onderzoeksgebied in de rode ellips. In de blauwe cirkel is het effect zichtbaar van het cluster aan industriële grondwaterwinningen rond Tilburg en Dongen.

5.3.4 Onttrekking van grondwater voor beregening

Door agrariërs wordt grondwater opgepompt ten behoeve van beregening van gewassen. Het is niet precies bekend hoeveel grondwater waar onttrokken wordt. De registratie van de locatie en diepte van onttrekkingen is niet compleet. Uit de jaarlijkse opgaves van agrariërs blijkt dat er in de laatste droge jaren (2018-2020) aanzienlijk meer grondwater is onttrokken dan in voorgaande jaren. Dit heeft te maken met een grotere behoefte aan water vanwege de droogte, maar ook met een uitbreiding in capaciteit. Er komen nog steeds nieuwe beregeningsputten bij.

Waterschap De Dommel verleent alleen vergunning als nieuwe putten buiten de beschermde gebieden en bufferzones staan (Figuur 5-22). Bestaande putten mogen worden verplaatst vanuit de beschermde gebieden naar locaties buiten de attentiegebieden en invloedsgebieden Natura 2000. Bestaande putten mogen ook worden verplaatst binnen de attentiegebieden en invloedsgebieden Natura 2000 indien de afstand tot de beschermde gebieden daarmee wordt vergroot (Waterschap De Dommel 2020); nota bene: dit beleid geldt in de drie waterschappen binnen het onderzoeksgebied).

De intensiteit van beregening uit grondwater verschilt over de provincie. Rondom de Brand zijn intensieve teelten aanwezig, zoals de boomteelt en teelt van graszoden. Voor deze teelten wordt regelmatig gebruik gemaakt van beregening uit grondwater. De dichtheid aan beregeningsputten is echter minder groot in vergelijking met andere intensieve landbouwgebieden in Noord-Brabant zoals de Peelhorst en West-Brabant. In de praktijk wordt grondwater onttrokken uit de eerste goed doorlatende watervoerende laag. Rond De Brand zit deze laag relatief ondiep op 20 tot 30 meter onder maaiveld. Effecten van beregening zijn daarom in dit gebied lokaal groot tot aan maaiveld.



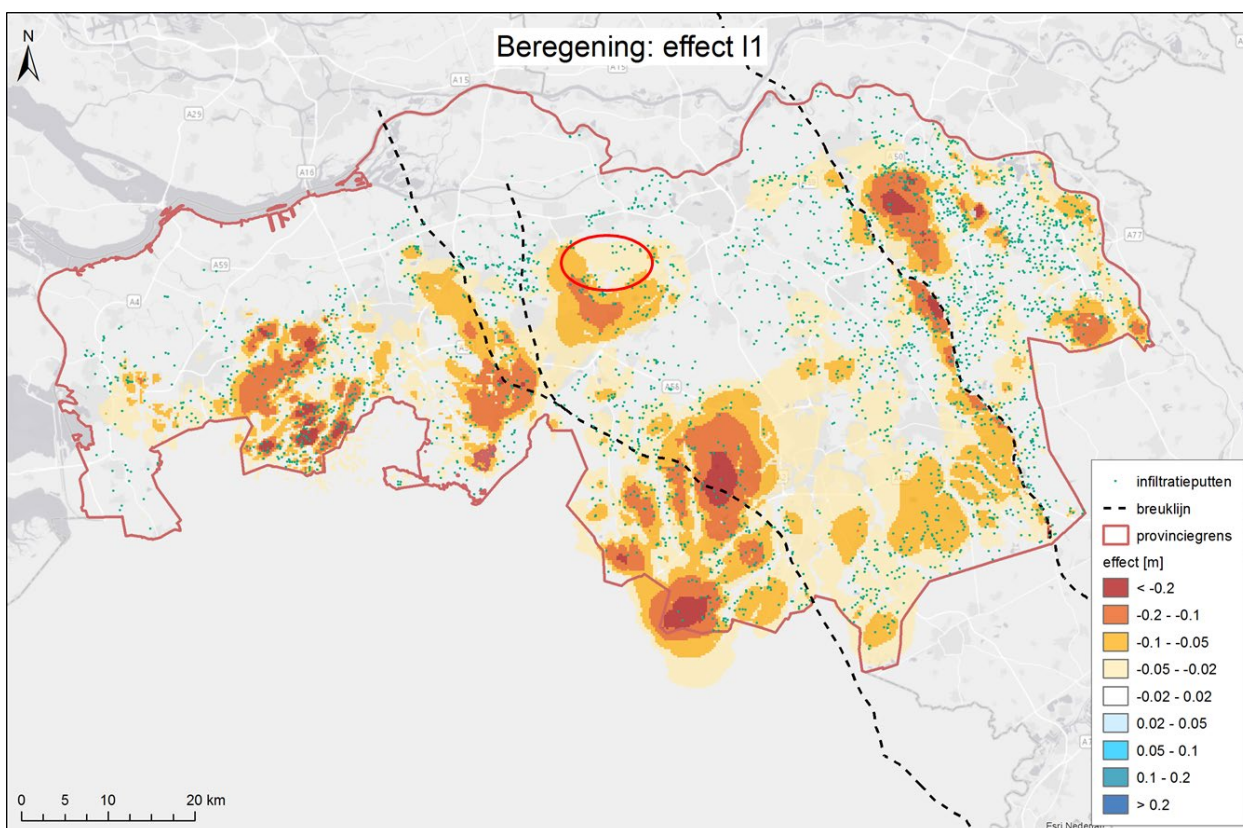
Figuur 5-22 Beschermde gebieden, attentiegebieden en invloedsgebied Natura2000 met strengere regels voor beregening uit grondwater (Waterschap De Dommel 2020).

De effecten van grondwaterberegening zijn eerder berekend met het provinciale grondwatermodel Noord-Brabant (Royal HaskoningDHV 2019; van Wachtendonk in prep.). Ook beregening is in dit model opgenomen. De locaties van de beregeningsputten zijn opgenomen aan de hand van de vergunningsgegevens. Het beregeningsdebiet is bepaald aan de hand van het vochttekort. Als er een vochttekort optreedt wordt er zoveel grondwater onttrokken dat het vochttekort wordt opgeheven. De hoeveelheid beregening verschilt per jaar en komt goed overeen met de jaarlijks geregistreerde hoeveelheden.

Met het provinciale grondwatermodel is een gemiddeld effect berekend van 5 tot 10 cm aan de westzijde van de Loonse en Drunense Duinen en 5 cm aan de zuidzijde van De Brand. In noordelijke richting wordt het effect van beregening kleiner. Aan de noordrand van de Loonse en Drunense Duinen is het gemiddeld effect 2 cm. Het beeld gepresenteerd in Figuur 5-24 is de gemiddelde verlaging voor het gehele jaar. Het effect op de laagste grondwaterstanden is groter. De effecten zullen in droge zomers nog groter zijn. Het onttrokken debiet kan dan wel drie keer groter zijn dan in een gemiddelde zomer. Bovendien treden de effecten vooral op in de meest droge zomermaanden. Daarom kan de grondwaterstand wel met decimeters dalen in een droge zomer.



Figuur 5-23 Beregning uit grondwater op een perceel waarop graszoden worden gekweekt. Deze locatie ligt in het NNB aan de zuidrand van het Hengstven in het zuidoostelijk deel van de Loonse en Drunense Duinen. Foto juli 2022.



Figuur 5-24 Berekende gemiddelde verlaging in grondwaterstand aan maaiveld (modellaag 1) ten gevolge van beregning in een gemiddeld jaar. Berekening m.b.v. provinciale grondwatermodel Noord-Brabant, de locaties van de beregeningsputten zijn opgenomen aan de hand van de vergunningsgegevens, het beregeningsdebiet is bepaald aan de hand van het vochttekort (van Wachtendonk in prep.).

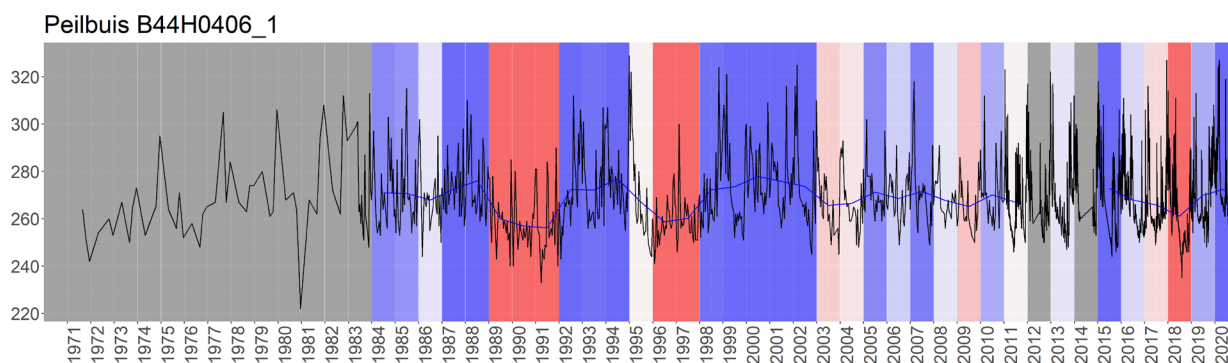
Na 1950 is de agrarische productie in geheel Nederland sterk gestegen. Meer productie betekent ook een hoger watergebruik. Volgens berekeningen door KWR (Witte et al. 2015) heeft dit geresulteerd in een daling van de grondwaterstand van gemiddeld 23-33 cm in 60 jaar tijd (1950-2010) in het zandlandschap van de provincie Noord-Brabant. Voor de Loonse en Drunense Duinen wordt in deze studie een verlaging berekend in de orde van 25 cm.

5.3.5 Afwateringskanaal Drongelen - Den Bosch

Ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen ligt het Afwateringskanaal Drongelen – Den Bosch met een relatief laag waterpeil. Het Afwateringskanaal is tussen 1907 en 1911 aangelegd met als doel om 's-Hertogenbosch te ontlasten bij wateroverlast, veroorzaakt door hoog water op de Maas in combinatie met hoog water in de Dommel en de Aa (BHIC 2021).

In 1994 is onderzoek gedaan naar mogelijke peilaanpassing van het kanaal, waarbij rekening moest worden gehouden met het verdrogende effect van het kanaal op de Loonse en Drunense Duinen en met wateroverlast in het poldergebied aan de andere kant van het kanaal. De bodemhoogte van het kanaal loopt af van NAP +0,36 meter bij het inlaatpunt tot aan NAP -0,48 meter bij de overlaat (IWACO 1994). Globaal ligt de bodem dan ter hoogte van de LDD op 0 meter NAP. In de negentiger jaren werd een zomerpeil van NAP +1,8 en een winterpeil van NAP +1,4 meter gehandhaafd. Tegenwoordig wordt een waterpeil van +1,8 tot +2,0 meter NAP gehandhaafd (van Tuinen 2014).

Uit waterbodemonderzoek bleek dat de kanaalbodem uit fijn zand met een dunne laag slib bestaat (IWACO 1994). Vanwege de geringe doorstroming in een kanaal vindt er vaak ophoping van slib plaats op de kanaalbodem. De effecten op het grondwatersysteem van een kanaal zijn daarom in de regel gering. Metingen in peilbuis B44H0406, ongeveer 500 meter ten noorden van het kanaal gelegen, bevestigen dit beeld (Figuur 5-25). De grondwaterstand ligt hier ongeveer een meter hoger dan het gemiddelde kanaalpeil. De gemiddelde grondwaterstand is in de afgelopen 50 jaar weinig veranderd, er zijn geen trendbreuken te zien die mogelijk te maken hebben met het peilbeheer en onderhoud van het kanaal. De grondwaterstand van deze peilbuis en het kanaalpeil zijn eerder in dit rapport schematisch weergegeven in het profiel in Figuur 5-11.



Figuur 5-25: Gemeten grondwaterstand in B44H0406 (500 meter ten noorden van het Afwateringskanaal Drongelen - Den Bosch)

5.3.6 De polders ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen

Ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen tot aan de Maas ligt een poldergebied. De polderpeilen zijn hier aanzienlijk lager dan de grondwaterstanden in het duingebied. Grondwater wordt daarom aangetrokken naar deze gebieden.



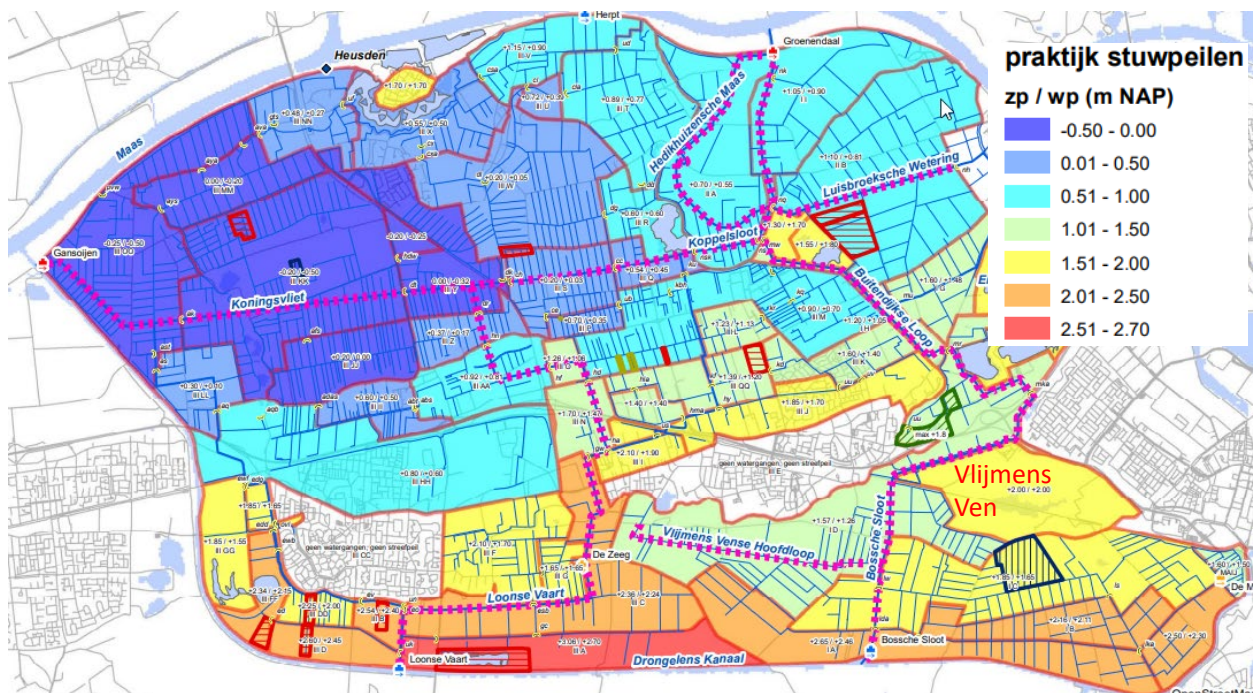
Figuur 5-26 Topografische kaart van 1922 (links) en 2022 (rechts) rond Drunen (Topografische Dienst 2022).

De polders bestaan al vanaf de late middeleeuwen. Het watersysteem is regelmatig aangepast aan de wensen van de watergebruikers. Historisch gezien was dit vooral voor de landbouw, de laatste decennia komt er steeds meer aandacht voor de wensen van de natuur. Bestudering van de topografische kaart laat zien dat 100 jaar geleden de duinen overgingen van een nat moerassig gebied naar een poldergebied met een intensief slotenstelsel. 100 jaar later is er veel bebouwing bijgekomen en is de ontwatering aangepast met een stelsel van hoofdafwateringen en kleinere sloten.

Een grote verandering in het gebied is gerealiseerd in de jaren 60 en 70 in de Ruilverkaveling Heusden-Vlijmen. De polders zijn planmatig en grootschalig herverkaveld, boerderijen zijn verplaatst naar het buitengebied en de waterhuishouding is ingrijpend aangepast (Beaard 2022b).

Voor het poldergebied, ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen, het Koningsvliet heeft Waterschap Aa en Maas in 2014 een peilbesluit genomen (van Tuinen 2014). De doorgevoerde veranderingen zijn beperkt geweest. De belangrijkste aanpassingen waren gericht op het doorvoeren van GGOR maatregelen in de natuurgebieden Hooibroeken, Moerputten en Vlijmens Ven.

In het landbouwgebied wordt een zomerpeil gehanteerd dat in de regel 10 tot 30 cm hoger is ingesteld dan het winterpeil. In peilvakken rond natuurgebieden zoals het Vlijmens Ven wordt een vast waterpeil gehanteerd (Figuur 5-27). De grondwaterstanden t.o.v. maaiveld zijn hier hoger dan in landbouwgebieden. Ook te zien is dat in de peilvakken langs het Drongelens Kanaal een hoger streefpeil (NAP +2,45 tot NAP 3,06 meter) wordt gehandhaafd dan het kanaalpeil (NAP +1,8 tot +2,0 meter).



Figuur 5-27 Peilbesluit Koningsdiep met streefpeilen per peilvak (van Tuinen 2014)

5.3.7 Verstedelijking

De Provincie Noord-Brabant is sterk verstedelijkt vanaf de jaren 70. Verharding en riolering zorgen voor versnelde afvoer van regenwater. De grondwateraanvulling neemt hierdoor af.

Zuidwestelijk gelegen kerninfiltratiegebied

In het kerninfiltratiegebied (zie Figuur 4-3) ten zuiden van het onderzoeksgebied liggen vier stedelijke kernen; Loon op Zand direct ten zuiden van de Loonse en Drunense duinen, Udenhout aan de zuidrand van de Brand, en Berkel Enschoot en Tilburg liggen wat verder van het onderzoeksgebied. Deze stedelijke kernen zijn over de tijd sterk uitgebreid. Figuur 5-28 laat hier een overzicht van zien voor de jaren 1955, 1970, 1985 en 2010.

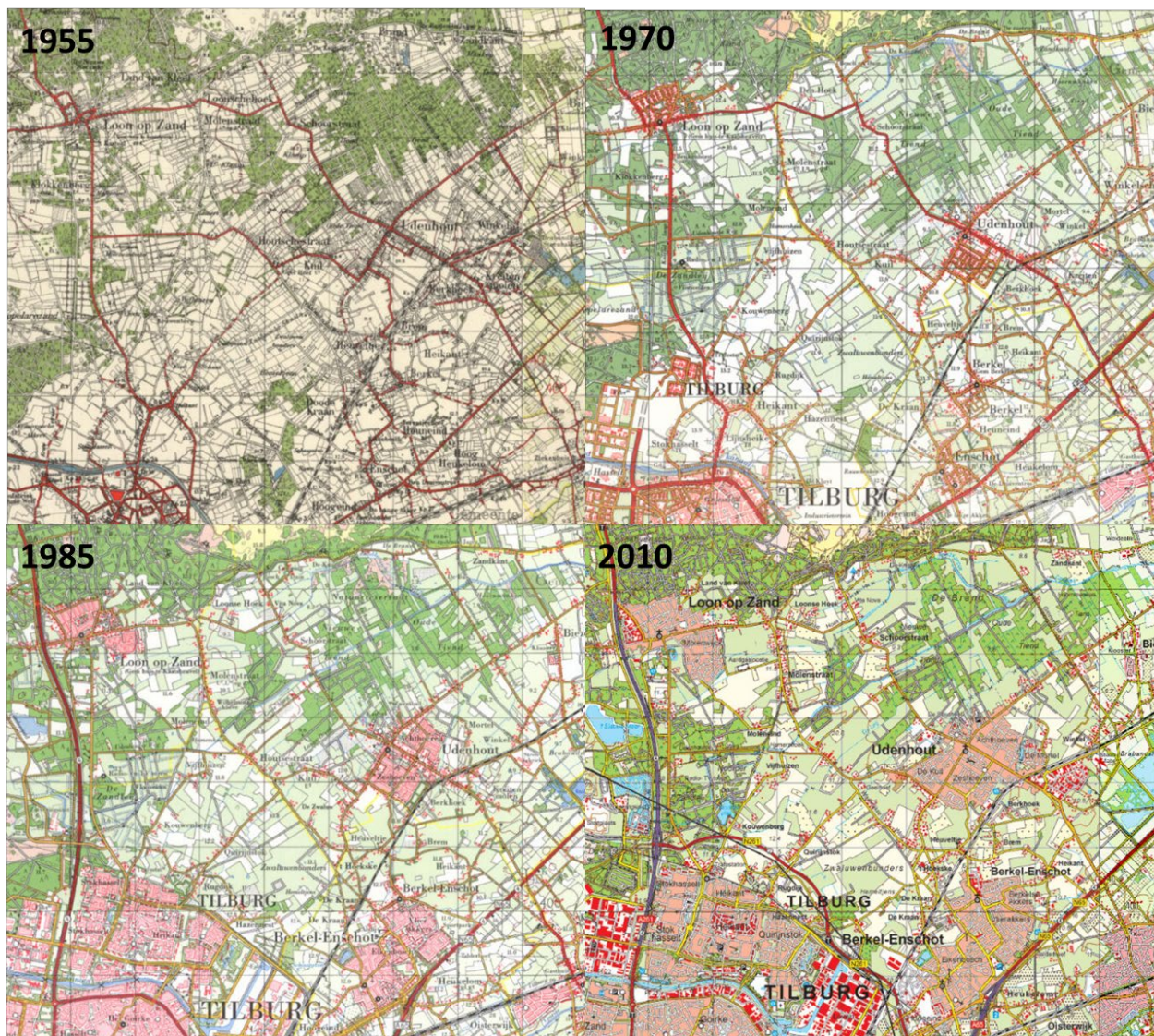
Tabel 5-4 Afname grondwateraanvulling in verstedelijkt gebied. Kengetallen uit het Grondwaterzakboekje (Bot 2016).

Stedelijke kern (oppervlakte in ha.)					Afname grondwateraanvulling (in miljoen m ³ /jr.)			
	1955	1970	1985	2010	1955-1970	1970-1985	1985-2010	totaal
Loon op Zand	5	32	74	126	0.02	0.03	0.04	0.09
Udenhout	6	40	94	250	0.03	0.04	0.12	0.18
Tilburg Noord *	20	200	725	960	0.14	0.39	0.18	0.71
Berkel Enschoot	6	24	152	240	0.01	0.10	0.07	0.18

*) Voor Tilburg Noord is het gebied op de kaartuitsnede meegenomen in de berekening.

Door de verstedelijking is ook de grondwateraanvulling in het kerninfiltratiegebied veranderd. Uitgaande van een overgang van gras landbouw (grondwateraanvulling 300 mm/j) naar bebouwd gebied (grondwateraanvulling 225 mm/j) (kengetallen uit het Grondwaterzakboekje (Bot 2016)) neemt de

grondwateraanvulling binnen het gebied op de kaart naar schatting af met 1,15 miljoen m³ (zie Tabel 5-4). De hier gepresenteerde getallen zijn onzeker. Er is helaas weinig bekend over de grondwateraanvulling in bebouwd gebied, vooral door gebrek aan betrouwbare verdampingscijfers (Witte et al. 2014).



Figuur 5-28 Verstedelijking vanaf 1955 van Tilburg, Loon op Zand, Udenhout en Berkel-Enschot in het kerninfiltratiegebied ten zuidwesten van de Loonse en Drunense Duinen en De Brand. Bron Topotijdreis (Topografische Dienst 2022).

Poldergebied ten noorden van de Loonse en Drunense Duinen

Waalwijk is vanaf de jaren '50 van de vorige eeuw zuidwaarts gegroeid tot aan de rand van De Loonse en Drunense Duinen. Deze uitbreiding (de wijken Zanddonk, Meerdijk, Bloemenoord) heeft vooral plaats gevonden in de zeventiger jaren. Eind jaren '90 vond de laatste uitbreiding plaats net ten noorden van de Meerdijk en het Galgenwiel.

Om het gebied voor bewoning voldoende te ontwateren, vindt er onderbemaling plaats (Figuur 5-29). In de isohypsenkaart (Figuur 4-3) is aan de rand van Waalwijk ook een verlaging van de grondwaterstand zichtbaar⁵. Ook in de zuidelijke uitbreidingswijken van Drunen Venne-West en -Oost vindt onderbemaling plaats.



Figuur 5-29 Onderbemaling aan de zuidrand van Waalwijk, net ten noorden van de Meerdijk en het Galgenwiel aan de rand van de Loonse en Drunense Duinen.

5.3.8 Synthese

In het verleden hebben een aantal gebeurtenissen en ontwikkelingen (mogelijk) invloed gehad op de grondwaterstand in het onderzoeksgebied. Figuur 5-30 geeft een samenvatting van de belangrijkste historische invloeden op een tijdlijn. In deze figuur is weergegeven wanneer de grootste veranderingen hebben plaats gevonden. Verandering in landgebruik vindt plaats in de gehele periode, maar de relatief grootste verandering heeft plaatsgevonden aan het begin van deze eeuw.

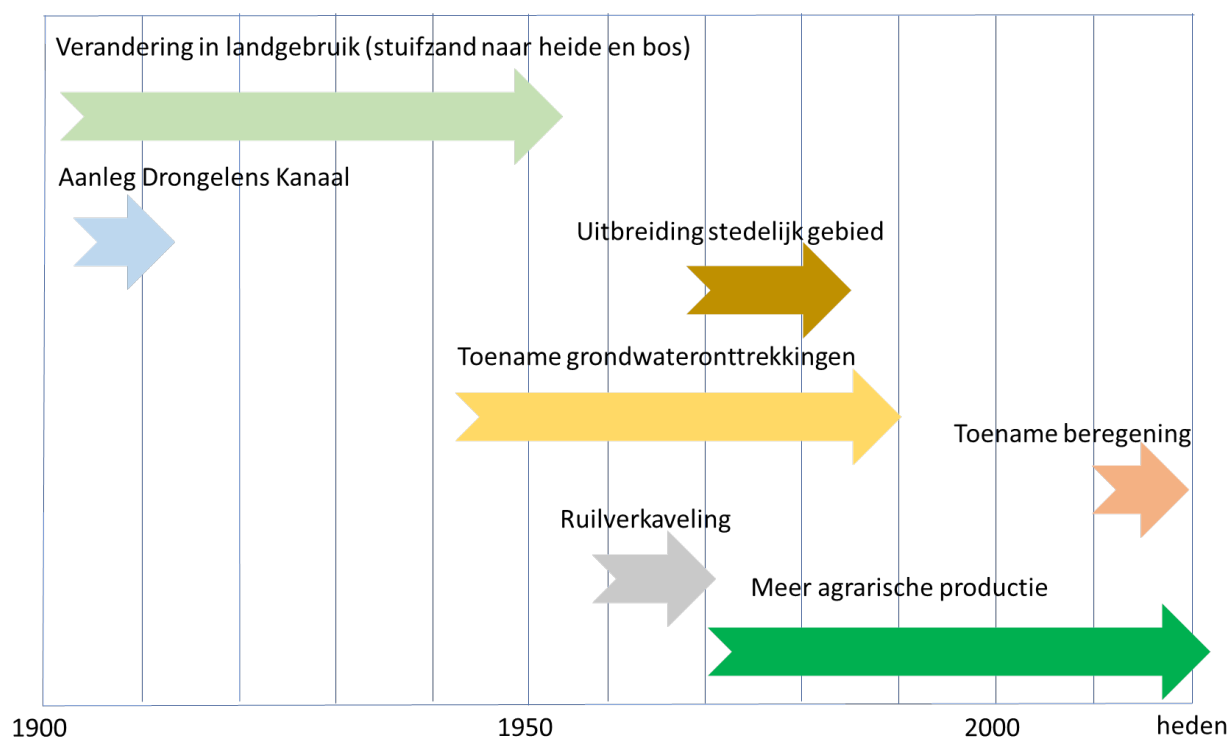
De verschillende invloedsfactoren hebben een verschillende impact op het grondwatersysteem. De verandering van stuifzand naar bos heeft een grote invloed gehad op de grondwaterstanden in het duinengebied (Tabel 5-5). Dit geldt ook voor de grondwateronttrekkingen.

De invloedsfactoren hebben ook een verschillende ruimtelijke impact. De grondwateronttrekkingen in een ruime straal om het duinengebied hebben nog een invloed op de grondwaterstanden in dit gebied. De verstedelijking heeft alleen een lokale invloed op de grondwaterstroming en grondwaterstanden.

⁵ Het bemalingsgebied van deze uitbreidingswijken ligt buiten het werkgebied van Waterschap Brabantse Delta. Het gehanteerde peil hebben we niet kunnen achterhalen. In het peilgebied Spoorzone net ten noorden van deze onderbemaling hanteert Waterschap Brabantse Delta een vast peil van 0,8 m+NAP. De zuidelijke uitbreidingswijken van Drunen liggen buiten het werkgebied van Waterschap Aa en Maas. In het peilgebied net ten noorden van deze onderbemaling hanteert Waterschap Aa en Maas een vast peil van 0,6 m+NAP (van Tuinen 2014).

Tabel 5-5 Samenvatting van impact op grondwatersysteem en geografische impact van omgevingsfactoren

Invloedsfactor	Impact op grondwatersysteem Loonse en Drunense Duinen	Ruimtelijke impact
Verstedelijking	Beperkt	Lokaal (omgeving Waalwijk / Loon op Zand)
Beregening	Middelgroot	Regionaal
Afwateringskanaal Drongelen	Beperkt	Lokaal (kanaalzone)
Verandering landgebruik	Groot	Duinengebied
Ruilverkavelingen	Middelgroot	Regionaal
Grondwateronttrekkingen	Groot	Regionaal

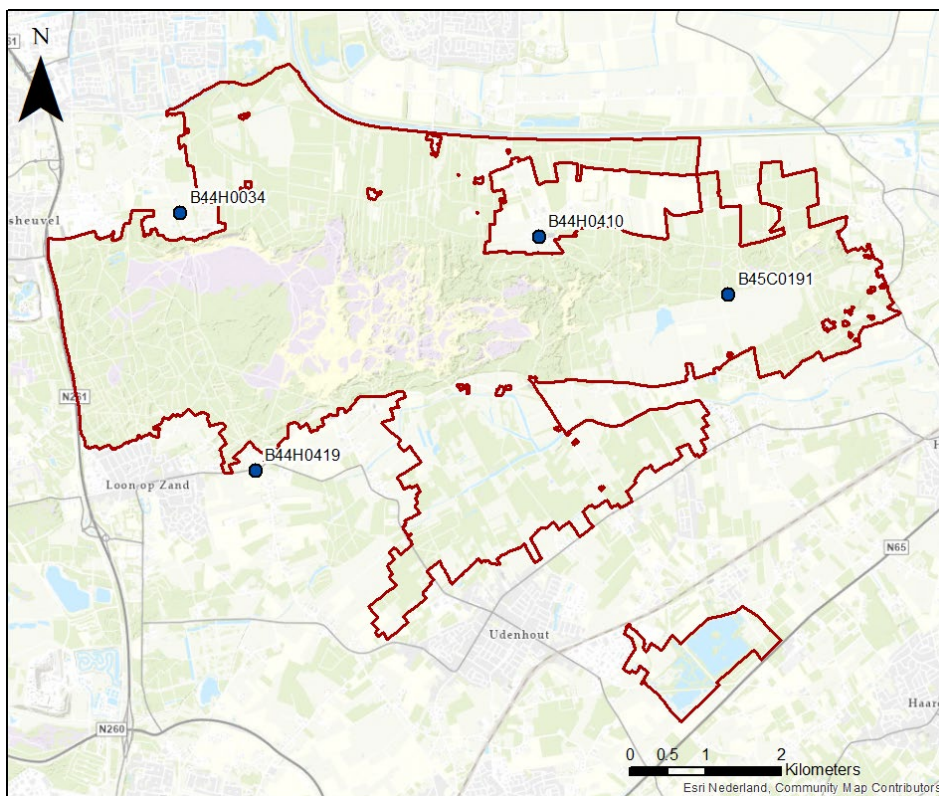


Figuur 5-30 Tijdbalk met de historische invloeden op de grondwaterstand in de Loonse en Drunense Duinen.

5.4 Analyse van veranderingen in grondwaterstanden

In de voorgaande paragraaf zijn de historische veranderingen van land en watergebruik in historisch perspectief geplaatst. De vraag is of deze veranderingen ook terugkomen in de geregistreerde grondwaterstanden in het gebied. Alhoewel het grondwater in het duinengebied in elk geval in de laagtes niet diep onder maaiveld staat, is er nooit een peilbuis geplaatst in dit gebied. In Dinoloket komt althans geen enkele peilbuis voor. Misschien was men bang dat de peilbuizen ondergestoven zouden worden, of wellicht was er onvoldoende belangstelling om de grondwaterstand te kennen in dit gebied.

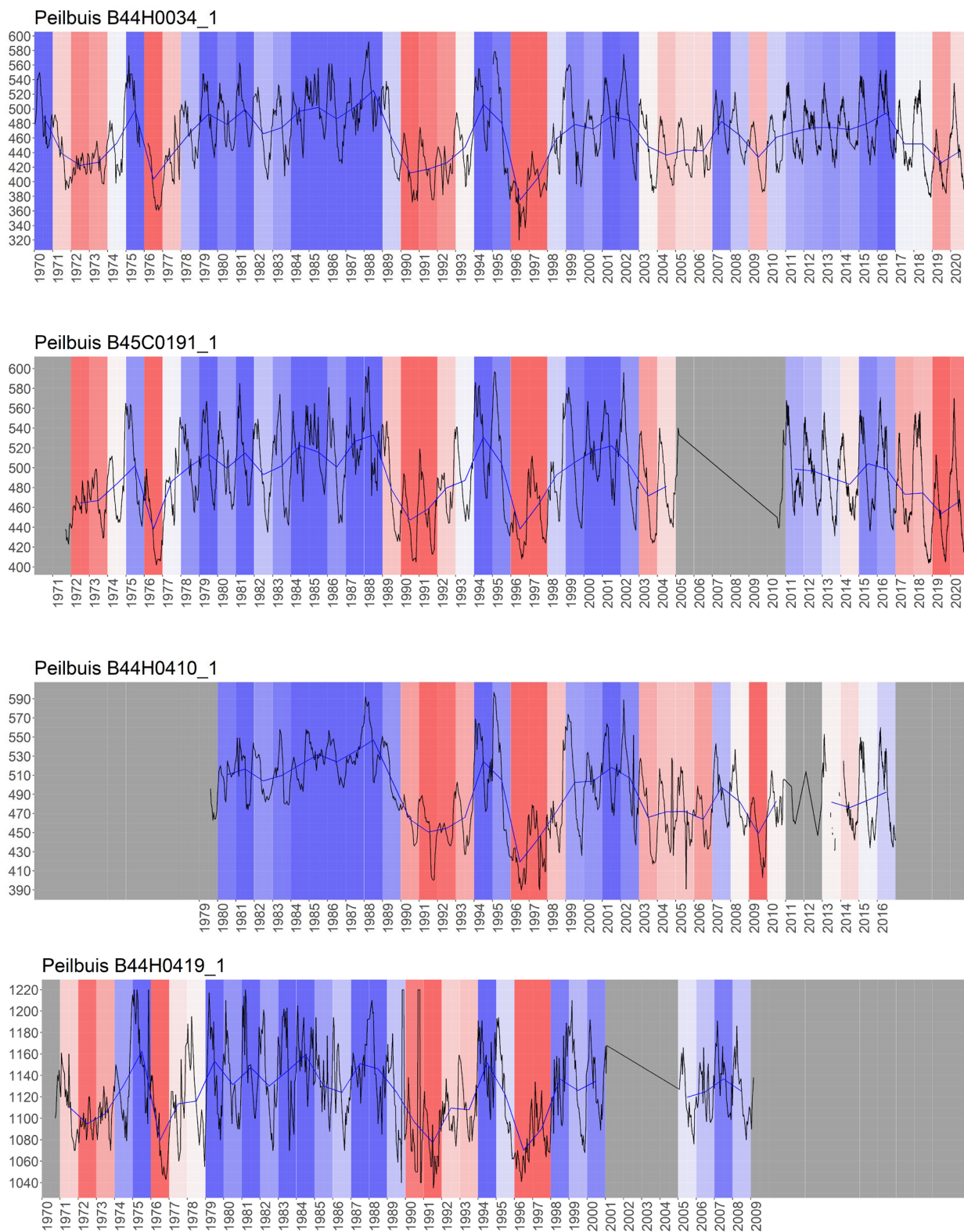
Daarom zijn we teruggevallen op beschikbare peilbuizen aan de rand van de Loonse en Drunense Duinen. Hier zijn veel meetlocaties beschikbaar. Op basis van ruimtelijke spreiding en beschikbaarheid van metingen in de tijd hebben we vier tijdreeksen uitgekozen om nader te bestuderen (zie Figuur 5-31 en Tabel 5-6). De vier peilbuizen staan verspreid langs het duingebied: bij het Hengstven (B45C0191), in de buurt van Giersbergen (B44H0410), aan de zuidrand van Waalwijk (B44H0034) en aan de oostrand van Loon op Zand (B44H0419).



Figuur 5-31 Locaties ondiepe peilbuizen voor analyse van de grondwatertrends in de laatste 50 jaar.

Figuur 5-32 toont de gemeten grondwaterstanden van de vier locaties in de periode 1970-2020 (voor zover beschikbaar). Met kleurbalken is de relatieve hoogte van de grondwaterstand weergegeven voor de betreffende peilbuis. De rode kleuren geven aan dat de grondwaterstand op de betreffende locatie laag was in de meetperiode; blauwe kleuren zijn de relatief hoge grondwaterstanden.

Figuur 5-32 laat zien dat het kleurenpatroon voor de vier locaties vergelijkbaar is. De jaren '70 hadden relatief lage grondwaterstanden, in de jaren '80 waren de grondwaterstanden hoog en deze daalden weer scherp begin jaren '90. Het begin van deze eeuw had relatief hoge grondwaterstanden. Na 2016 dalen de grondwaterstanden weer tot het huidige relatief lage niveau.



Figuur 5-32 Gemeten freatische grondwaterstanden voor vier ondiepe peilbuizen (Bron data: (Dinoloket 2022)).

De veranderingen in grondwaterstand zijn in Tabel 5-6 samengevat per decennium ten opzichte van de jaren '80. De jaren '80 waren het natste decennium. De grondwaterstand is gedaald in andere decennia

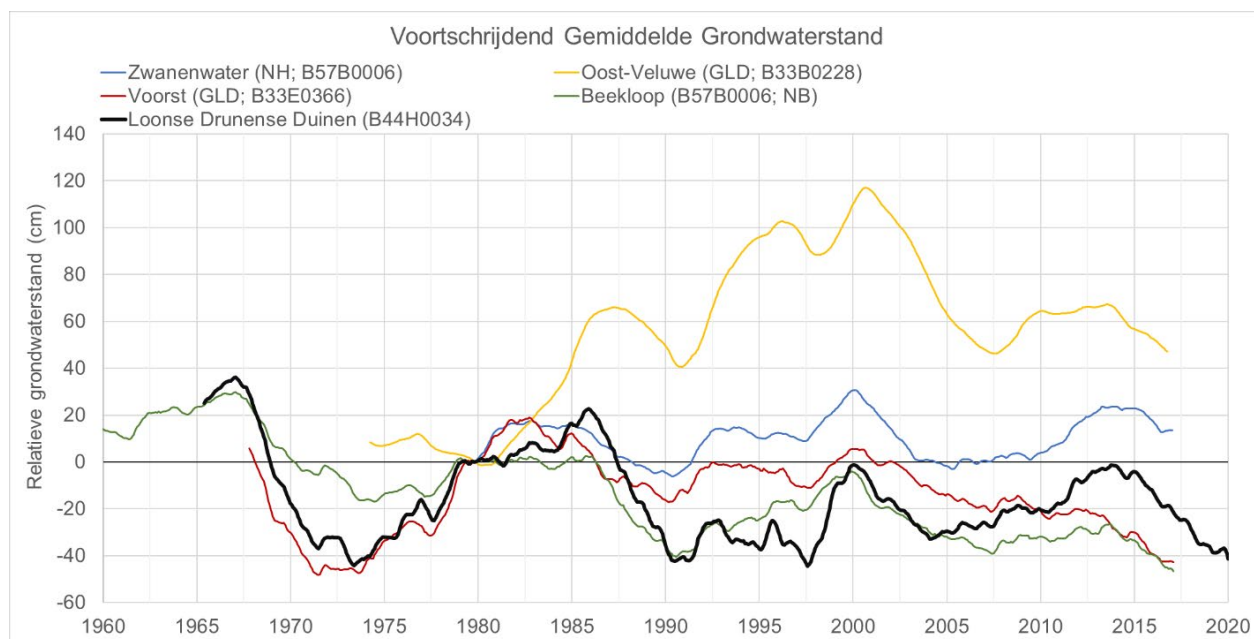
ten opzichte van de referentieperiode. Er is geen duidelijk afnemende trend zichtbaar. De jaren 2020 tot heden kennen een lage grondwaterstand. Dit is te verklaren door de droge jaren en de korte periode waarover deze afname wordt berekend (metingen tot eind 2021).

Er is geen plotseling trendbreuk zichtbaar, zoals dit bij de stijghoogte wel is gemeten (door de invloed van de grondwaterwinningen; zie Figuur 5-18). De (ondiepe) winning Waalwijk is gestart 1985. De invloed van deze winning is niet zichtbaar in de gemeten tijdreeks van de nabijgelegen peilbuis (zie tijdreeks B44H0034 in Figuur 5-32). De historische gebeurtenissen met de grootste invloed op de grondwaterstand vonden plaats voor 1960, zoals de verandering in landgebruik in het natuurgebied en de toename in grondwaterwinning bij Tilburg. In de reeksen van de afgelopen vijftig jaar zien we vooral de neerslagfluctuaties terug, er is geen duidelijke verdrogende trend zichtbaar vanaf 1970.

Tabel 5-6 Gemiddelde verandering in grondwaterstand per decennium [cm] t.o.v. 1980 voor vier peilbuizen (Dinoloket 2022).

Periode	B44H0034	B44H0410	B44H0419	B45C0191
1970 - 1979	-36		-20	-27
1980 - 1989	0	0	0	0
1990 - 1999	-48	-50	-30	-28
2000 - 2009	-29	-37	-11	-10
2010 - 2019	-23	-36		-23
2020 - heden	-47			-43

De grondwaterstanden in infiltratiegebieden worden dus in sterke mate beïnvloed door de variaties in neerslag en verdamping. Dit geldt voor de vier peilbuizen, maar ook voor andere locaties in Nederland. Als we de reeks B44H0034 spiegelen aan enkele andere lange reeksen verspreid over Nederland, is het patroon vergelijkbaar met de grondwaterstanden op andere hooggelegen locaties zoals het Noord-Hollands duinengebied of de Veluwe.



Figuur 5-33 Langjarig voortschrijdend (60 maanden) gemiddelde gemeten freatische grondwaterstand voor vijf peilbuizen ten opzichte van referentiejaar 1980. De dikke zwarte lijn is de grondwaterstand in de Loonse en Drunense Duinen. (Dinoloket 2022)

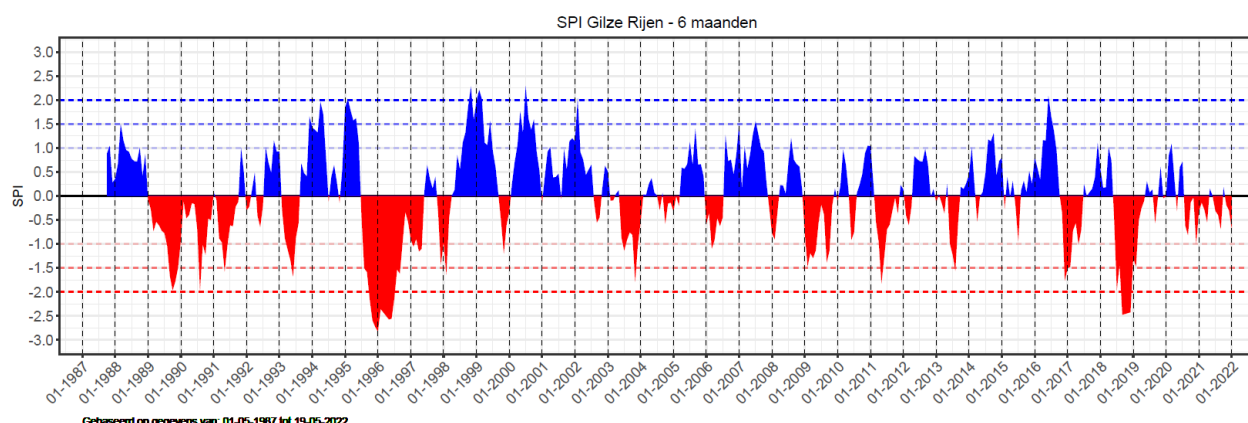
In Figuur 5-33 is het langjarig voortschrijdend gemiddelde (60 maanden) van de grondwaterstand gepresenteerd, met als referentiejaar 1980. Zo kan goed de langjarige trend zichtbaar worden gemaakt. Met de dikke zwarte lijn is de grondwaterstand in de Loonse en Drunense Duinen (B44H0034) zichtbaar. De trend is op hoofdlijnen vergelijkbaar met de gemeten trend bij de andere vier peilbuizen. Er zijn ook verschillen, de grondwaterstand was in de jaren '90 relatief laag in de Loonse en Drunense Duinen, maar herstelde ook weer sterk vanaf 1998⁶. Dit heeft te maken met lokale verschillen in neerslag in Nederland.

Relatie met fluctuaties in neerslag

De fluctuatie in grondwaterstanden wordt dus vooral bepaald door de afwisseling in neerslag over de jaren. De variatie in de grondwaterstand kan voor een groot deel worden verklaard door variatie in natte en droge jaren (SPI- index, zie Figuur 5-34).

SPI

Om een beeld te krijgen van de langjarige afwijkingen in neerslag en verdamping kan gebruikt worden van de SPI (Standardized Precipitation Index). De SPI wordt bepaald door de gemeten hoeveelheid neerslag om te rekenen naar een index, gebaseerd op de afwijkingen van de gemeten waarden ten opzichte van het langjarig gemiddelde van de neerslag over dezelfde periode (Vicente-Serrano et al. 2010).



Figuur 5-34 SPI index (periode van 6 maanden) voor KNMI station Gilze Rijen. Bron: (KNMI 2022)

Behalve een variatie in neerslag en verdamping per jaar is er ook sprake van een trendmatige verandering. Sinds 1906 is de jaarlijkse neerslag met ruim 20 procent toegenomen (kengetallen uit De Bosatlas van het klimaat (Sluijter & Leenaers 2011)). Deze extra neerslag valt vooral in de winter. De temperatuur in Nederland is vanaf de jaren '70 duidelijk aan het stijgen. Dit leidt tot toename van de verdamping.

Voor het gebied van de Loonse en Drunense Duinen geldt dat het neerslagoverschot in de periode 1981-2010 het grootst was, veroorzaakt door een hogere regenval in vergelijking met de periode 1951-1980, maar een lagere verdamping dan de periode 1991-2020 (Tabel 5-7).

Fluctuaties in neerslag hebben invloed op de grondwateraanvulling, maar ook op de oppervlakkige afstroming over de hellingen naar de laagtes in het duinengebied. Bij grote buien vindt meer oppervlakkige afstroming plaats.

⁶ Uit neerslaggegevens voor de neerslagstations Tilburg en Giersbergen van het KNMI volgt dat in de jaren 1998 – 2001 de neerslaghoeveelheden in de omgeving van De Loonse en Drunense Duinen bovengemiddeld hoog waren (KNMI 2022).

Tabel 5-7 Gemeten neerslag en verdamping in KNMI neerslagstations Capelle, Tilburg en Boxtel. Bron: (KNMI 2022)

Periode	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)#	Neerslagoverschot (mm)#
1951-1980	750	555	195
1981-2010	818	580	238
1991-2020	815	601	214

verdamping in periode 1951-1980 methode Penman is bewerkt tot cijfers methode Makkink

5.5 Ontwikkeling van (grond-)waterafhankelijke natuurwaarden

In het Europese en Provinciale natuurbeleid zijn de Loonse en Drunense Duinen vooral van belang voor de instandhouding van natuurwaarden van droge standplaatsen, zoals stuifzanden, stuifzandheiden en oude eikenbossen. Het effect van grondwaterstands dalingen in het gebied is daarmee schijnbaar van minder groot belang. Toch dragen de aanwezige 'natte' natuurwaarden wezenlijk bij aan de kwaliteit van de Loonse en Drunense Duinen als geheel. Deze paragraaf geeft inzicht in mogelijke effecten van grondwaterstands daling op de 'natte' natuurwaarden van het gebied.



Figuur 5-35 Eikenstruweel op stuifzandkoppen en pijpenstrootje op een podzolbodem in het stuifzandgebied ten zuiden van Giersbergen.

Vochtminnende vegetaties en soorten in het centrale stuifzandgebied

Een vegetatiekartering (Figuur 5-36) uit 1955 voor het Militair Oefenterrein Loonse en Drunense Duinen laat zien dat in uitgestoven laagtes in het centrale stuifzandgebied op een vrij uitgebreide schaal vochtminnende vegetaties voorkwamen. Deze bestonden uit een meestal ijle begroeiing van trekrus, pijpenstrootje en kruipwilg.

Grotere arealen van deze vochtminnende vegetaties zijn nu niet meer aanwezig. Ze zijn echter niet geheel verdwenen uit het gebied. In de periodiek natte laagte in het stuifzandgebied net ten noorden van Bosch en Duin (zie Figuur 5-9) is in een vegetatiekartering in 2010 een waterpeper-pitrusvegetatie en een trekrus-pioniervegetatie gekarteerd (Aptroot 2010). Beide vegetaties zijn hier actueel aanwezig (zie Figuur 5-38, linker foto en de foto op het voorblad).

In Figuur 5-37 is de verbreiding van vochtminnende soorten in het centrale stuifzandgebied, opgenomen in de NDFF weergegeven. Verspreid over het stuifzandgebied komen trekrus, pijpenstrootje en kruipwilg voor. Een opvallende vlek voor pijpenstrootje is op een vrijgestoven oude podzolbodem in overigens kaal stuifzand (Figuur 5-2, rechts en Figuur 5-35). In de overgangen naar bos aan de west- en de zuidzijde staat dopheide. In een dopheidevegetatie langs het fietspad ten zuiden van Giersbergen is ook bruine snavelbies en moeraswolfsklauw aangetroffen.



6 oktober 2022

- De kieming van vochtminnende soorten is afhankelijk van de aanwezigheid van tenminste tijdelijk vochtige standplaatsen. Het areaal vochtige standplaatsen is in vergelijking met de vegetatiekartering uit 1955, en ook in vergelijking met de natte periode in de jaren tachtig fors afgenomen. De natte laagte ten noorden van Bosch en Duin is een van deze overgebleven vochtige standplaatsen.
- Als vochtminnende soorten als trekrus en kruipwilg zich eenmaal gevestigd hebben, kunnen ze zich handhaven bij een daling van de waterstand of verhoging (= bezanding) van het maaiveld.
- In stuifzandgebied komt zand in beweging op kale bodem. Door verstuiving kunnen natte laagten ontstaan. Zand wordt vastgelegd in de begroeiing. Als al het zand wordt vastgelegd verdwijnen op termijn natte plekken met vochtminnende begroeiing.



Figuur 5-38 Links pioniermilieu met trekrus op de voorgrond in een periodiek natte laagte, rechts kruipwilg en biggenkruid langs een pad.

Venvegetaties in het oostelijk deel van de Loonse en Drunense Duinen

Ondanks de aanwezigheid van een diepe ontwaterende sloot vanaf het Hengstven noordwaarts naar het Drongelens Kanaal, lijken de hydrologische condities in het oostelijk deel van de Loonse en Drunense Duinen gunstig voor de instandhouding van venvegetaties. In de bodem is leem aanwezig waarop water kan stagneren.



Figuur 5-39 Links een ven met een fraaie zonering in een uitgestoven laagte nabij Distelberg, rechts het Boompjesven, een in 2015 gegraven laagte in het Hengstven.

In een uitgestoven laagte ten westen van Distelberg ligt een ven met een fraaie zonering van droog naar nat. In 2010 is het gekarteerd als knolrusven (Aptroot 2010), nu wordt het ven gedomineerd door gewone waterbies. Van droog naar nat staan in heide gewone dophei, in een pijpenstrootje-zone moeraswolfsklauw, waternavel, geoorde wilg en wolfsfoot en in het laagste deel van de gradiënt knolrus, pitrus, waterveenmos en gewone waterbies. Dit ven is ook leefgebied voor de kamsalamander. Het Boompjesven is in 2015/2016 aangelegd in het Hengstven. Het ven ligt in het verlengde van een geblokkeerd beekdal vanuit De Brand (zie Figuur 3-1). Het ven is goed watervoerend (mededeling Lex Querelle, beheerder bij Natuurmonumenten). Uit maaisel zijn hier veelstengelige waterbies, pilvaren, oeverkruid en waterpostelein opgekomen (Clements et al. 2019). Ook komt moerashertshooi voor en helaas ook watercrassula. Dat inheemse soorten zich kunnen handhaven tussen de watercrassula is een gunstig teken.

Oude eikenbossen

Een knelpunt in de ontwikkeling van de Oude eikenbossen (H9190) is de versnelde verzuring van de bodem door stikstofdepositie (Clements et al. 2019). Door de extra verzuring door ammoniak neemt de buffering in de bodem snel af. Dit is waarschijnlijk een van de hoofdoorzaken van de eikensterfte in de afgelopen tien jaar. Het habitatype oud eikenbos staat hierdoor erg onder druk en kan lokaal verdwijnen.

Dit effect wordt volgens Natuurmonumenten mogelijk versterkt door daling van de grondwaterstand in de Loonse en Drunense Duinen. De hypothese hierbij is dat in het verleden hoge grondwaterstanden in de winter zorgden voor enige vorm van buffering in het gebied van onder uit. Die buffering is nu weggefallen. Deze LESA moet inzicht geven in de hydrologische component in de waargenomen eikensterfte.

Uit de hydrologische analyse komen geen aanwijzingen die dit mechanisme bevestigen of weerleggen. De grondwaterstanden in het gebied zijn ontegenzeggelijk gedaald en het gebied is droger dan in de jaren tachtig (zie ook Figuur 5-33). Uit de grondwatersysteembeschrijving (paragraaf 5.2) volgt echter dat de grondwaterstanden niet zover zijn gedaald dat de leemlagen die voor buffering kunnen zorgen, buiten bereik komen van het grondwater (zie dwarsdoorsnede Figuur 5-11). Bij het veldwerk op 8 juli 2022, na een droge periode, stond het grondwater soms boven, soms net onder de plaatselijk aanwezige leemlagen.



Figuur 5-40 Links kwijsend oud eikenbos op een stuifzandkop in opgaand bos, rechts een vitaal eikenstruweel op een stuifzandkop aan de rand van het stuifzandgebied.

De Oude eikenbossen (H9190) komen in de Loonse en Drunense Duinen overwegend voor op hogere stuifzandkoppen, meters boven de laagten die in het verleden tot in het voorjaar onder water stonden. De grondwaterstands dalingen t.o.v. de jaren 80 in 4 peilbuizen rondom de Loonse en Drunense Duinen zijn in

grootteorde tot 50 cm (Tabel 5-6). Alhoewel hierover harde gegevens ontbreken, is de grootteorde van de grondwaterstandsaling in het gebied zelf hiermee vergelijkbaar. Het effect hiervan op de standplaatscondities voor Oude eikenbossen in de Loonse en Drunense Duinen is zonder nader onderzoek niet vast te stellen. Om dat effect te kunnen vaststellen is in ieder geval inzicht nodig in de volgende aspecten:

- Op welke manier worden de oude eikenbossen met water gevoed? Is er sprake van een hangwaterprofiel (capillaire werking) of worden de oude eikenbossen tijdelijk of permanent met grondwater gevoed?
- Wat is de rol van toevoer van vocht en voedingsstoffen via symbiose met schimmels?
- De Loonse en Drunense Duinen zijn een inzijsgebied. Het bovenste grondwater is van zichzelf mineralenarm. In hoeverre wordt dit grondwater in de bodem aangerijkt en kan het bijdragen aan de buffering van de oude eikenbossen? Is er sprake van toestroom van aangerijkt grondwater vanuit het zuiden?
- Hoe is het gesteld met de verzuring van de bodem als gevolg van stikstof-depositie onder oude eikenbossen? Eikenstruweel in stuifzandgebied lijken vitaler dan eikenstruweel ingesloten in opgaand bos. In hoeverre speelt verstuiving hierbij een rol?

Galgenwiel en Kikkerwiel

Aan de uiterste noordrand van de Loonse en Drunense Duinen, tegen de zuidrand van Waalwijk liggen het Galgenwiel en het Kikkerwiel, beiden aangewezen als habitatype H3130 Zwakgebufferde vennen (zie Figuur 2-1). Uit gegevens in de Landelijke Vegetatie Databank (Alterra 2022) volgt dat hier in het verleden vegetaties van vensystemen zijn aangetroffen⁷. In 15 van de 25 opnamen is moerashertshooi aangetroffen, in 14 opnamen knolrus en verder in kleinere aantallen soorten als wilde gagel, melkeppe, duizendknoopfonteinkruid en vlottende bies.



Figuur 5-41 Galgenwiel (links) en Kikkerwiel (rechts), beiden met een matig voedselrijke watervegetatie van gele plomp en veelwortelig kroos in het Galgenwiel, en witte waterlelie en riet in het Kikkerwiel.

Recent is de kwaliteit van Galgenwiel en Kikkerwiel achteruit gegaan. Beide wielen geven een indruk dat ze extensief onderhouden worden. Zo groeien langs de oevers overhangende bomen, waardoor ze beiden weinig licht ontvangen, is er veel bladinvall en is in de loop der jaren een dik pakket slib ontstaan. Gevolg hiervan is dat kenmerkende venoever-soorten nauwelijks voorkomen (Horstink et al. 2016).

Figuur 5-41 geeft een indruk van de huidige toestand van beide wielen. Uit de haalbaarheidsstudie komt naar voren dat in het Galgenwiel geen gebufferd grondwater meer toetreedt. In het Kikkerwiel is dat nog

⁷ De meeste opnamen in de Landelijke Vegetatie Databank stammen uit 1956 en 1965 en zijn op kilometerhok-basis. In de twee recentere opnamen uit 1987 en 1994 zijn ook venoever-soorten aangetroffen.

beperkt het geval. Dit hangt samen met de algehele grondwaterstandsaling in de Loonse en Drunense Duinen die is beschreven in de paragrafen 5.3 en 5.4. Specifiek voor deze locatie speelt de verstedelijking van Waalwijk en de onderbemaling van de zuidelijke woonwijken een rol (zie Figuur 5-29). Los van de grondwaterstandsaling heeft bladinvall van bos tot op de oevers van beide wielen een sterk negatief effect op de waterkwaliteit en daarmee op de kansen voor ontwikkeling van zwakgebufferde vennen.

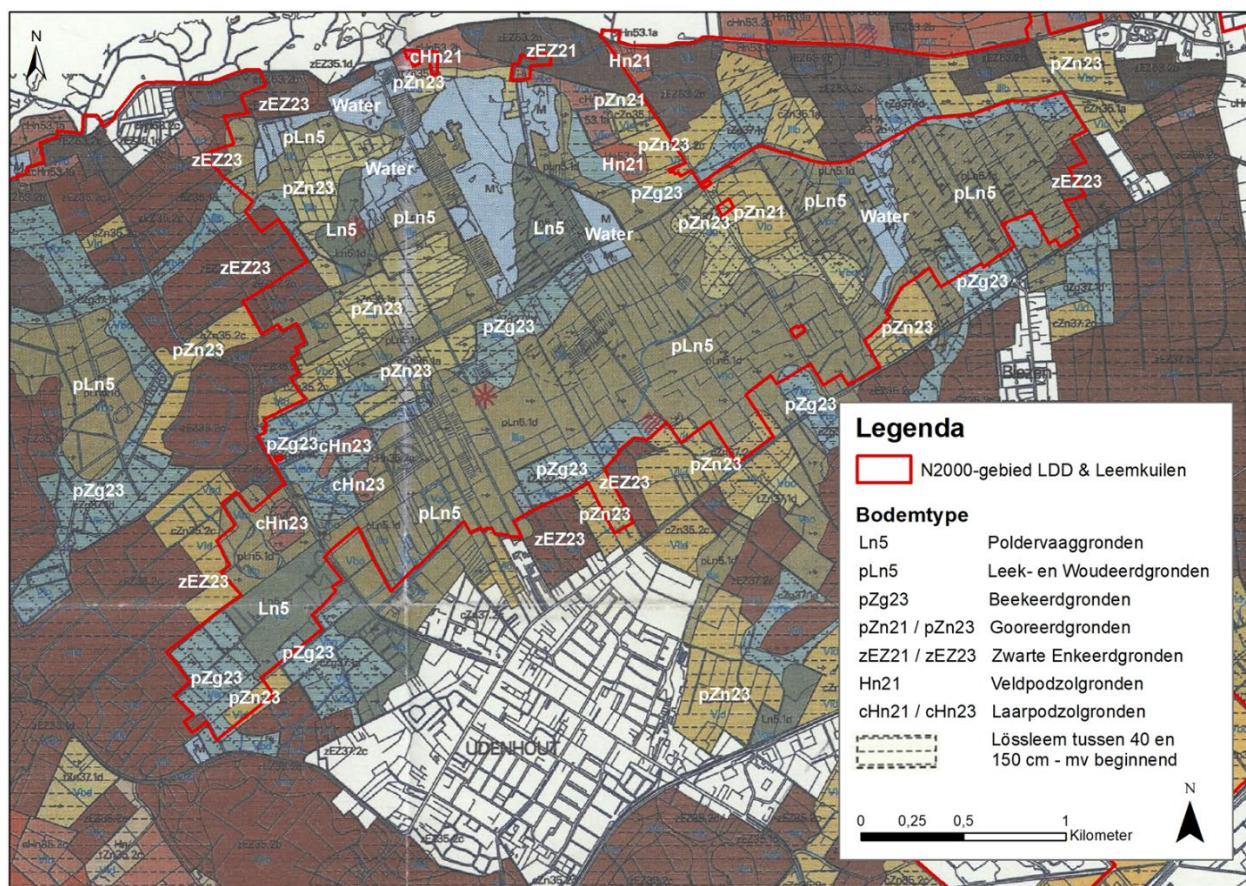
6 De Brand

Over de ecohydrologische werking van De Brand is al veel geschreven en gestudeerd. In dit hoofdstuk wordt daarom een samenvatting gegeven van de karakteristieken van het gebied, aangevuld met recente gegevens over de gerealiseerde natuurinrichting, uit hydrologische monitoring en uit de vegetatie- en soortenkartering.

6.1 Bodem

De bodem in De Brand en omgeving is in 1992 gekarteerd ter voorbereiding van de Herinrichting De Leijen-West (Leenders 1992). Deze herinrichting is uiteindelijk niet tot uitvoering gekomen. De bodemkaart Figuur 6-1 geeft een goed beeld van het ontstaan van het landschap en van de ontginningsgeschiedenis.

Uit de bodemkaart volgt dat De Brand in aanleg een kwelgebied is. De bodem bestaat overwegend uit natuurlijke, als gevolg van kwel ontwikkelde leek- en woudeerdgronden, beekeerdgronden en gooreerdgronden. Podzolgronden komen voor over geringe oppervlakte op enkele hogere zandkopjes. Op akkers ontwikkelde enkeerdgronden worden aangetroffen op de randen van het gebied langs de middeleeuwse ontginningbasis aan de Groenstraat, de Zandkant en de Schoorstraat.



Figuur 6-1 Bodemkaart (1:25.000) uit 1992 gemaakt ter voorbereiding van de Herinrichting van De Leijen-West (Leenders 1992).

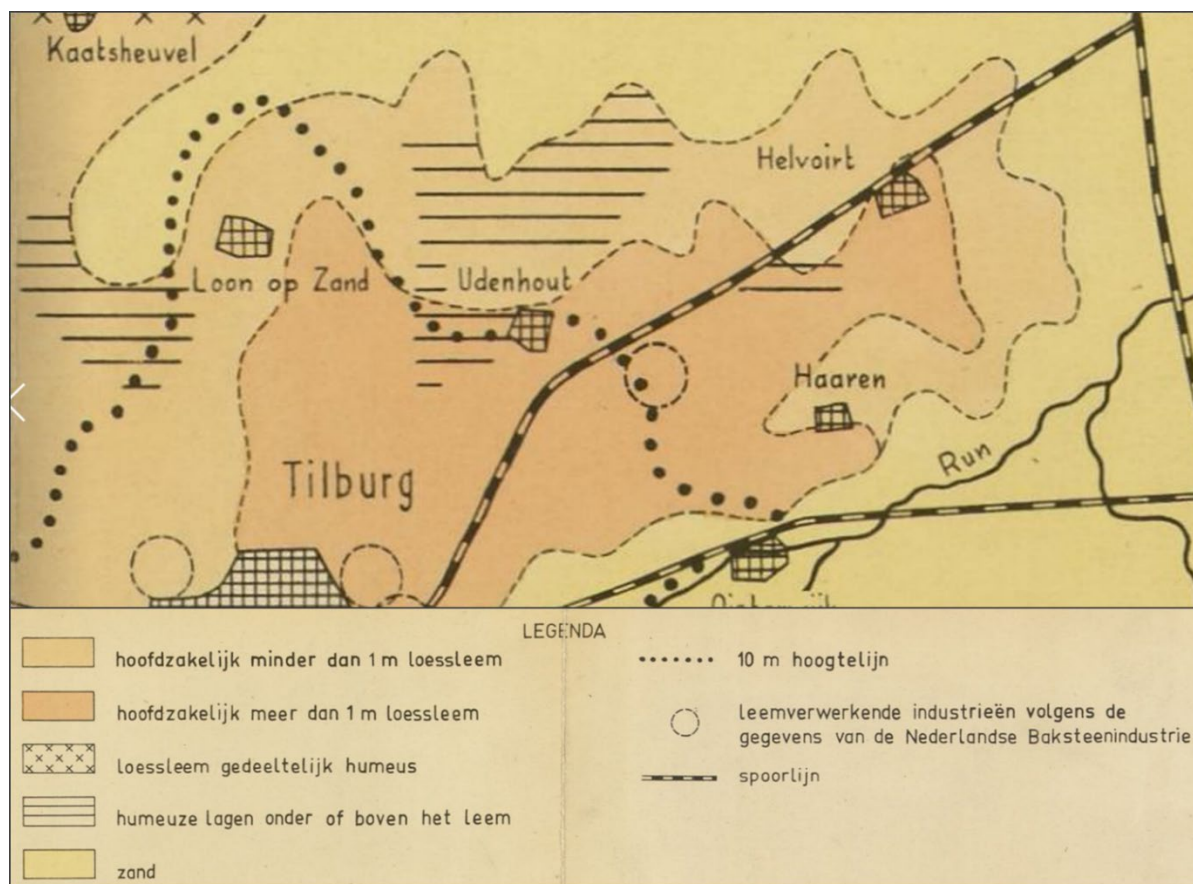
De bodemkaart volgt het ruimtelijk beeld van de opbouw van het landschap (zie ook Figuur 3-2). Op de hoge gronden rond De Brand en vooral ten zuiden van de Groenstraat komen sterk lemige gooreerdgronden (pZn23) voor met lössleem ondiep in de ondergrond. Lager in het landschap bestaat het grootste

deel van De Brand uit Leek- en Woudeerdgronden (pLn5), ontwikkeld in lössleem. De op de hogere gronden aanwezige laag lemig fijn zand is hier kennelijk geërodeerd. Nog lager in het landschap wordt De Brand doorsneden door een stelsel van beken. Op de bodemkaart zijn deze herkenbaar als beekeerdgronden (pZg23). Hier is de oorspronkelijk afgezette lössleemlaag geërodeerd.

De laagste delen aan de noordzijde van De Brand zijn hier gekarteerd als water. Op de Bodemkaart 1:50.000 staan ze als Vlierveengronden op zavel of klei (BIS Nederland 2022). Hier is de verspoelde leem tot bezinken gekomen nadat het bekenstelsel van De Brand door rivierduinvorming aan de noordzijde geblokkeerd raakte (zie ook Figuur 3-1). Dikke veenpakketten ontbreken omdat (vroeger) door de toestroom van basenrijk grondwater het organische stof snel werd afgebroken (Dirkx 2001)

De lössleem die in De Brand dicht onder of aan maaiveld voorkomt, wordt gerekend tot het Laagpakket van Liempde van de Formatie van Bortel en is ook wel bekend als Brabantse Leem (TNO-GDN 2022). Ook onder de Loonse en Drunense Duinen komt deze laag plaatselijk meer of minder aaneengesloten voor (zie Figuur 5-1; inzet links, Figuur 5-3 en Figuur 5-4).

Figuur 6-2 geeft de verbreiding van deze lössleem rond Udenhout weer. Deze Brabantse leem is plaatselijk kalkrijk omdat skeletjes van zoetwaterslakjes in de bodem zijn afgezet. De kalkhoudende leemlagen kunnen plaatselijk voor kalkhoudend en ijzerrijk grondwater zorgen. Kwel kwam in De Brand in het verleden waarschijnlijk op veel grotere schaal voor dan tegenwoordig het geval is. Sporen daarvan zijn nog aanwezig in de bodem in de vorm van ijzerhydroxide en moeraskalk. De leemlagen hebben een grote invloed op de waterhuishouding van de Brand. De leemlagen komen grillig voor in de ondergrond. Op plekken waar de leemlaag dun is of geheel ontbreekt kan kwelwater relatief makkelijk omhoog stromen.



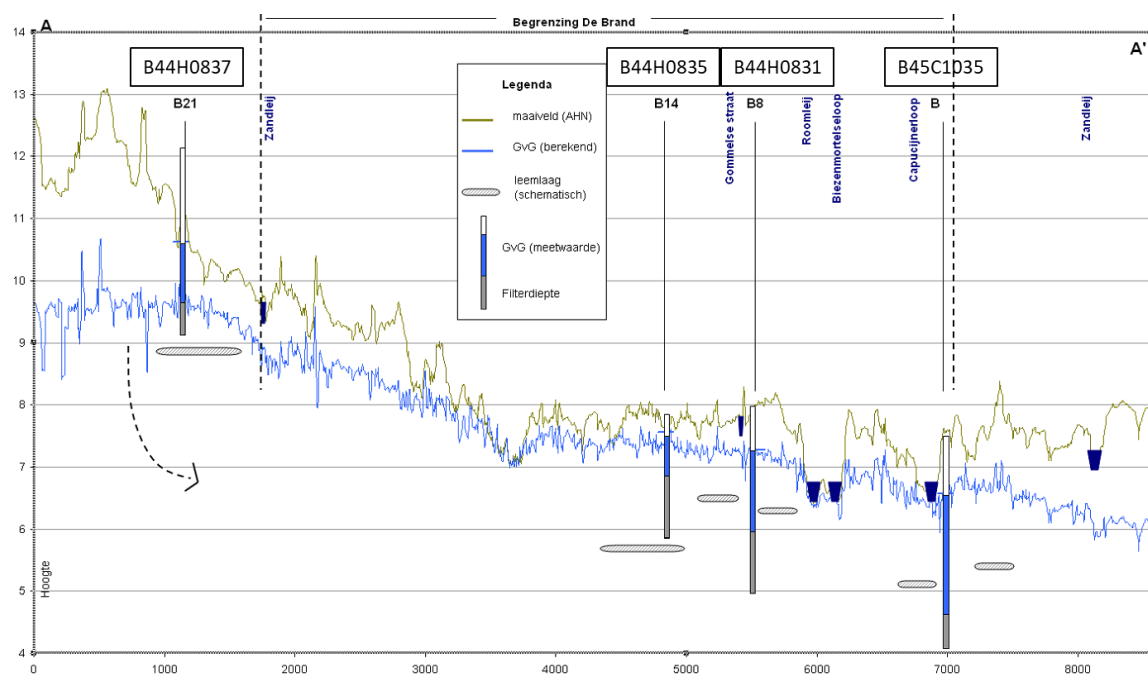
Figuur 6-2 De verbreiding van lössleem in de omgeving van Udenhout. Uit 'De aanwezigheid van leem in Brabant' (Maarleveld 1954).

6.2 Hydrologie

De Brand is een laag gebied dat te midden van hogere dekzandruggen is gelegen. De ruggen zijn voornamelijk oost-west gesitueerd. De Brand is gelegen in een komvormige depressie ten zuiden van de hoge dekzandrug van de Loonsche en Drunense duinen, ten westen ervan ligt de hoge dekzandrug van Tilburg naar Loon op Zand, en ten zuiden en oosten ervan liggen de lagere dekzandruggen van Berkel-Enschot, Haaren en Helvoirt. Water kon daarom moeilijk afgevoerd worden en dit maakte De Brand een nat gebied bestaande uit laagveenmoeras en plaatselijk hoogveen.

6.2.1 Beschrijving van het hydrologische systeem

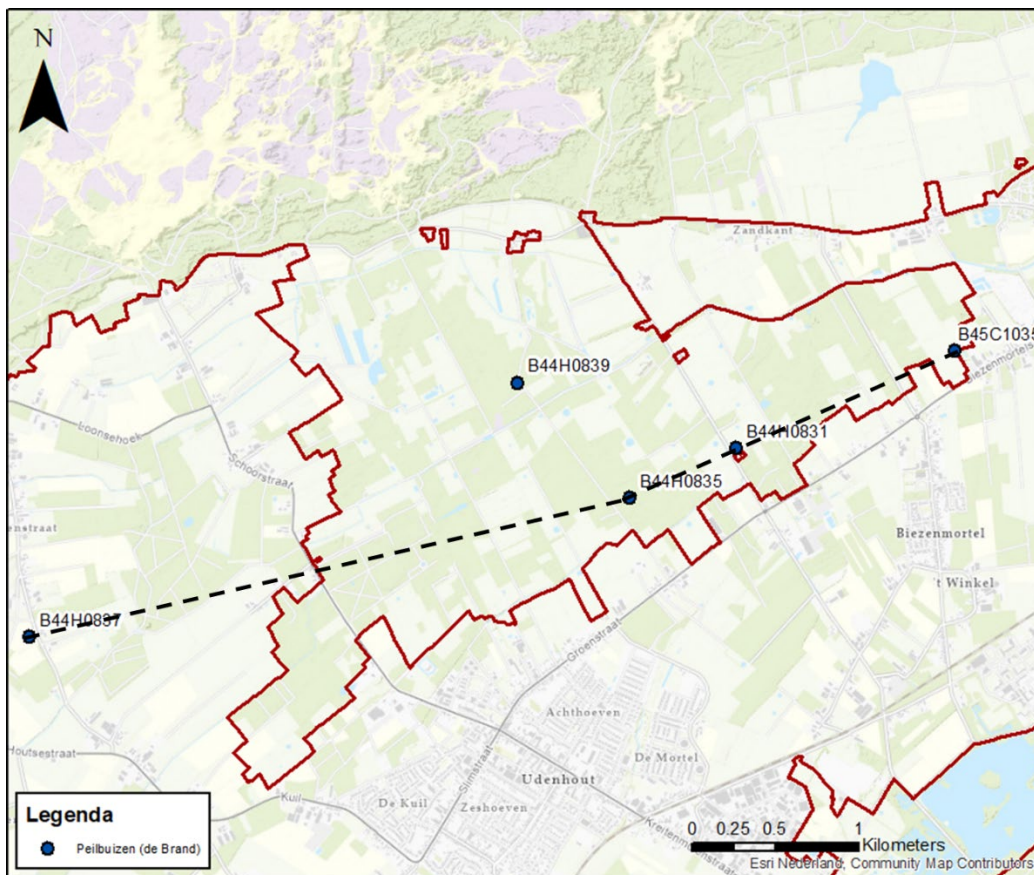
In de eerdere regionale geohydrologische beschrijving is te zien in Figuur 4-3 dat De Brand wordt gevoed met grondwater vanuit het zuidelijk gelegen infiltratiegebied. Daarnaast vindt ook voeding plaats vanuit de hoger gelegen dekzandrug bij Tilburg en Loon op Zand. De werking van dit grondwatersysteem is geschematiseerd in een dwarsprofiel in Figuur 6-3. De hoge dekzandrug ligt links in Figuur 6-3 waar het grondwater twee meter onder maaiveld ligt. De Brand ligt 5 meter lager ten opzichte van deze dekzandrug en hier komt het grondwater tot vlak aan maaiveld en wordt gedraineerd door de aanwezige waterlopen.



Figuur 6-3 Dwarsprofiel van grondwaterstanden (metingen en berekende waarden) in de Brand (Bron: Royal Haskoning, 2009).

In De Brand zijn veel peilbuizen aanwezig. In het jaar 2000 is waterschap De Dommel gestart met een uitgebreid meetprogramma naar de hydrologie van De Brand. Evaluatie van de metingen gaf het volgende beeld (Verhagen et al. 2009):

- Er is een groot verschil tussen droge en natte tijden. In natte tijden komt het water tot vlak onder of zelfs aan maaiveld. Het grondwater staat maximaal 90 cm diep. Het water stagneert vooral op locaties met ondiepe leemlagen in de ondergrond;
- In de zomer zakt de grondwaterstand uit tot een GLG diepte van ongeveer 60 tot 240 cm onder maaiveld;

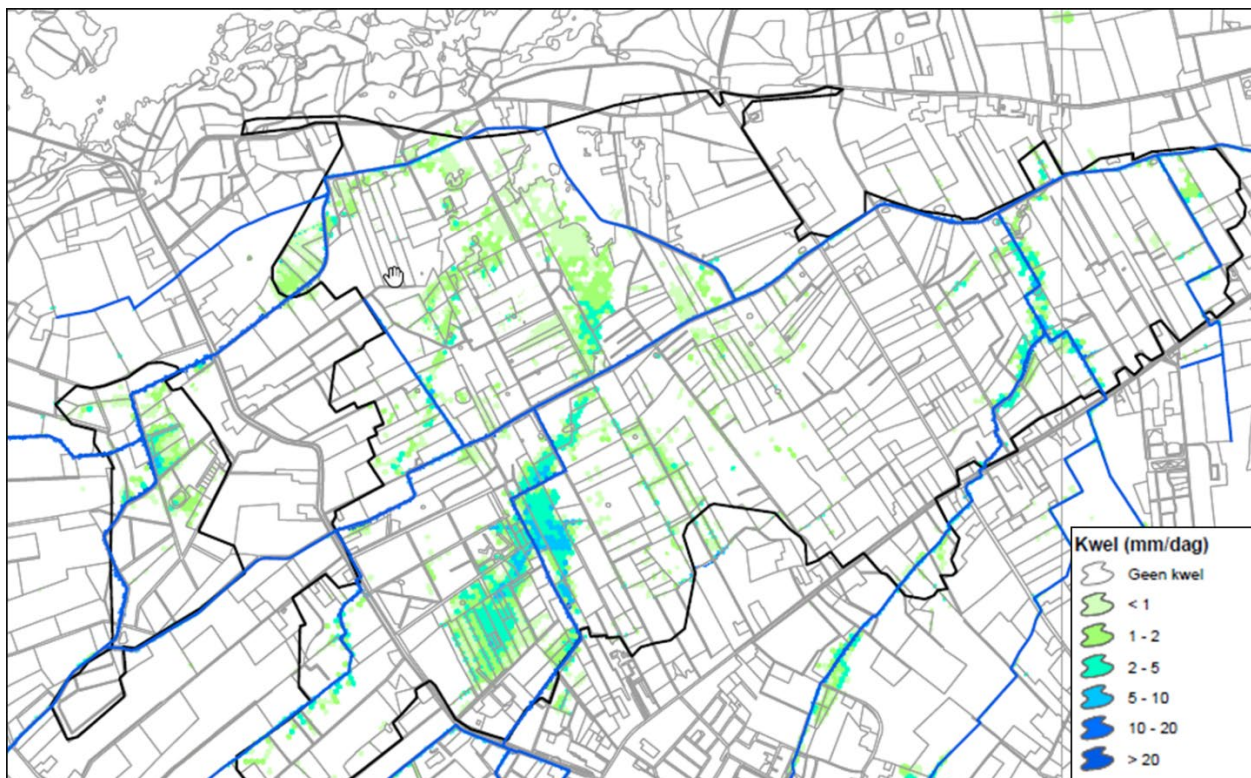


Figuur 6-4 Peilbuizen de Brand, inclusief ligging van het dwarsprofiel (zie Figuur 6-3).

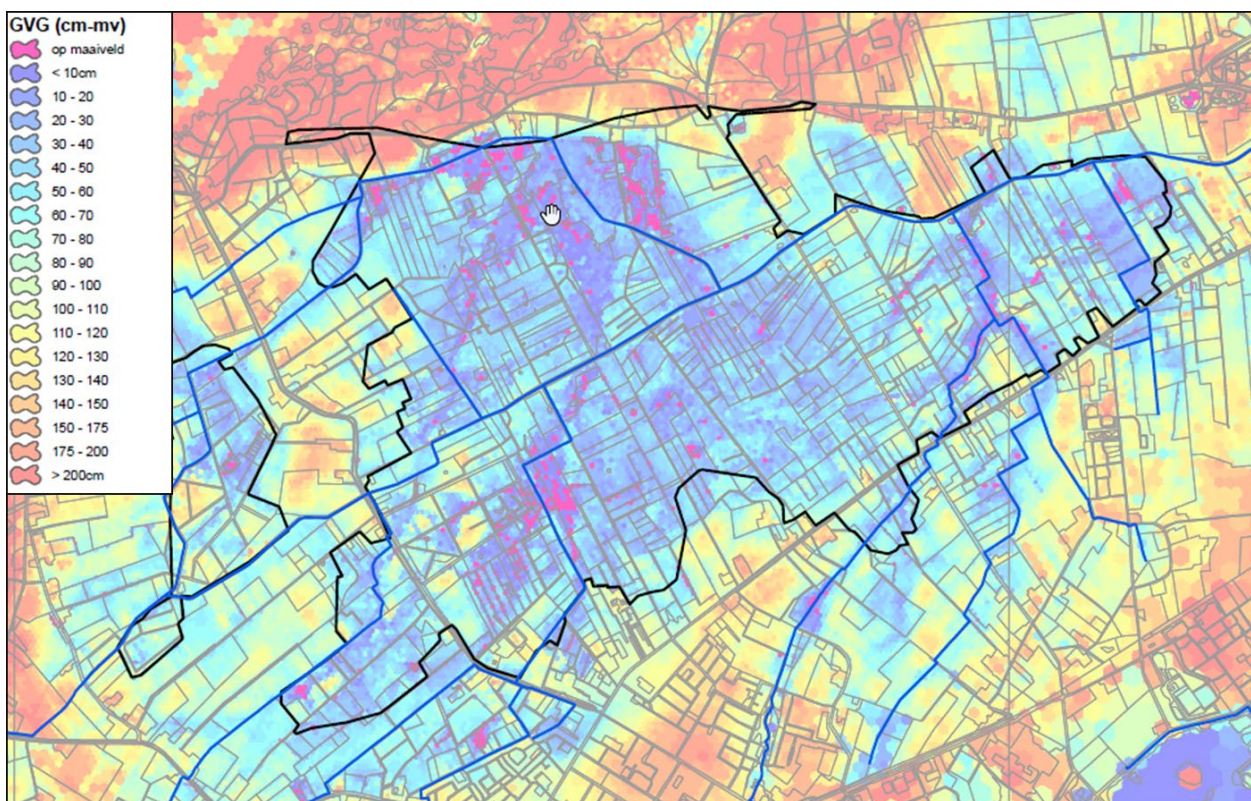
Kwel

In een deel van de Brand is kwel aanwezig. Deze kwel is waarschijnlijk van regionale oorsprong uit het gebied ten zuidwesten van De Brand (zie ook Figuur 4-3). Echter over deze kwelstroom bestond onzekerheid omdat het ontbreekt aan peilbuizen met diepe filters. Door het grondwatermodel werd veel minder kwel berekend. Kwel kwam volgens het model vooral voor in de historische laagtes van het gebied: de Oerleij. Dit zijn ook de locaties waar het grondwater in het voorjaar tot aan of vlakbij het maaiveld komt (Figuur 6-6). Het kwelwater is niet afkomstig van grote diepte (van onder de Waalreklei), maar is afkomstig van de omliggende hoge dekzandkoppen.

Het grondwater uit het eerste watervoerend pakket komt vaak niet in de wortelzone, maar verdwijnt direct in de waterloop. In de gebieden met grotere kweldruk krijgt het neerslagwater geen kans om in de ondergrond te dringen. Het opkwellend water drukt het regenwater weg.



Figuur 6-5 Berekende gemiddelde kwel in De Brand voor de situatie 2009, vóór de herinrichting van De Brand. Uit 'GGOR Natte Natuurparel De Brand' (Verhagen et al. 2009).



Figuur 6-6 Berekende GVG in De Brand voor de situatie 2009, vóór de herinrichting van De Brand. Uit 'GGOR Natte Natuurparel De Brand' (Verhagen et al. 2009).

Oppervlaktewater

Door De Brand loopt een aantal gegraven en natuurlijke waterlopen. De waterlopen dienen zowel voor de wateraanvoer aan het agrarische gebied als de waterafvoer van de RWZI in Tilburg-Noord en andere lozingen in het bovenstroomse gebied. De belangrijkste waterlopen zijn de Zandleij, de Zandkantse Leij, de Leij (of Broekkamploop), Kasteelloop, Endekeloop en Roomleij. De Zandleij door De Brand is sinds 2019 gedempt (zie later in paragraaf 6.3). Overstroming kwam voor in extreme situaties en was ongewenst op locaties waar vochtige schraallanden voorkomen.

De Oerleij bestaat uit bestaande laagtes binnen De Brand, die in het verleden zijn ontstaan door stroompjes die door het gebied in noordelijke richting afwaterden en tegengehouden werden door de dekzandrug van de Loonsche en Drunense duinen. De dalen van deze stroompjes zijn nog duidelijk te onderscheiden op de hoogtekaart in Figuur 3-1. Deze dalen zijn veelal begroeid met elzen- en eiken-hakhoutbos.

Resumé

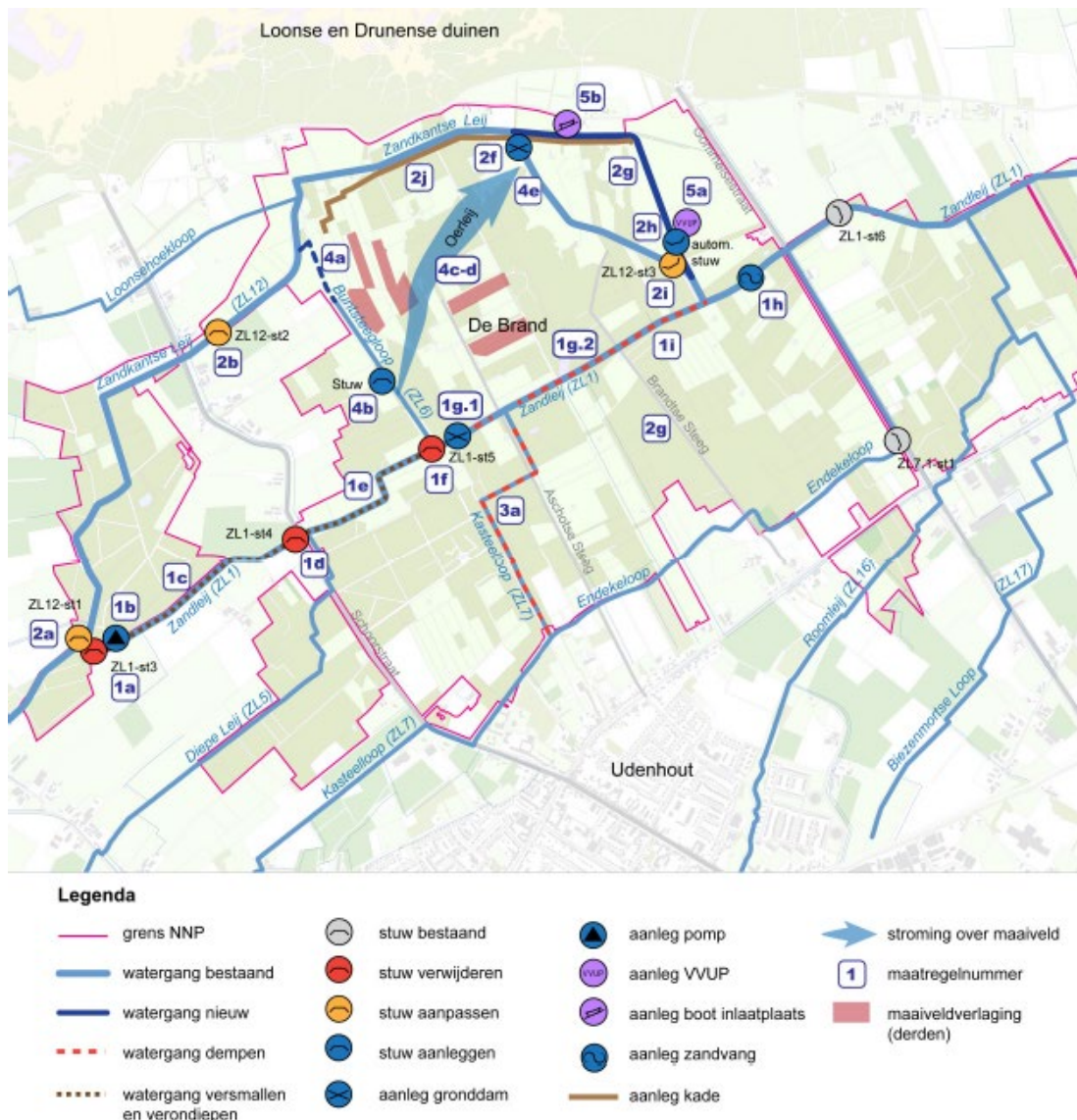
In grootste deel van De Brand treedt wegzijging op naar de diepere ondergrond, kwel komt maar beperkt voor. Op regionale schaal stroomt het diepere grondwater in noordoostelijke richting. De stijghoogtepotentiaal neemt af in deze richting, terwijl de grondwaterstand vrij constant is. De regionale kwel komt daarom vooral nog in het zuidwestelijke gedeelte van De Brand voor. Vanuit hogere ruggen stroomt lokaal grondwater toe. Dit water stroomt door en over de leemlagen, waardoor de waterkwaliteit kan veranderen. Vanuit de relatief hoog door het gebied geleide Zandkantse Leij kan oppervlaktewater infiltreren. De Zandleij werkt drainerend. Door stagnatie boven leemlagen ontstaan lokaal systemen.

6.2.2 Herinrichting van De Brand

Na een lange voorbereidingstijd is gewerkt aan de uitvoering van de herinrichting De Brand. Het hoofddoel van het plan is om het oppervlaktewater om het gebied heen te leiden. Dit is goed voor de waterkwaliteit in het gebied en vermindert de drainage van grondwater binnen De Brand.

De belangrijkste maatregelen zijn (zie Figuur 6-7):

- Het omleiden van water door een nieuw gegraven waterloop aan de zuidzijde van De Brand: de Endekeloop. Deze waterloop is in 2009 aangelegd en heeft de waterafvoerende functie overgenomen van de gedempte Kasteelloop.
- Het dempen van een deel van de Zandleij. Deze gegraven waterloop lag relatief diep en ving daarom kostbaar kwelwater af. Daarnaast werd door dit kanaal effluentwater van de RWZI aangevoerd met een relatief slechte waterkwaliteit. In tijden van hevige regenval kon het gebied vanuit de Zandleij met dit 'vervuilde' oppervlaktewater overstromen. De Zandleij is in 2017 eerst afgedamd en is in 2019 verondiept.
- De Buntsteegloop watert af op de Zandkantse Leij in plaats van de Zandleij. Hiervoor is een nieuwe verbindingssloot gegraven en verlengd in noordelijke richting tot deze aantakt op de Zandkantse Leij.
- Het water dat vroeger door de Zandleij stroomde moet nu grotendeels worden afgevoerd door de noordelijke Zandkantse Leij. Deze waterloop is verlegd en aangepast om het water te kunnen afvoeren. Hiervoor zijn stuwen geautomatiseerd.
- Door demping van de Zandleij zal de grondwaterstand hier verder stijgen. Afvoer van lokaal water vindt plaats door de Oerleij. Het water kan weer traag stromen zoals vroeger ook het geval was. Oude stroomgeulen zijn hersteld door het lokaal opengraven en uitdiepen van rabatten. De kade langs de Zandkantse Leij is verlaagd over een lengte van 150 tot 200 meter zodat het lokale water in de Zandkantse Leij kan stromen.



Figuur 6-7 Hoofdmaatregelen inrichtingsplan de Brand (de Kraker 2015).

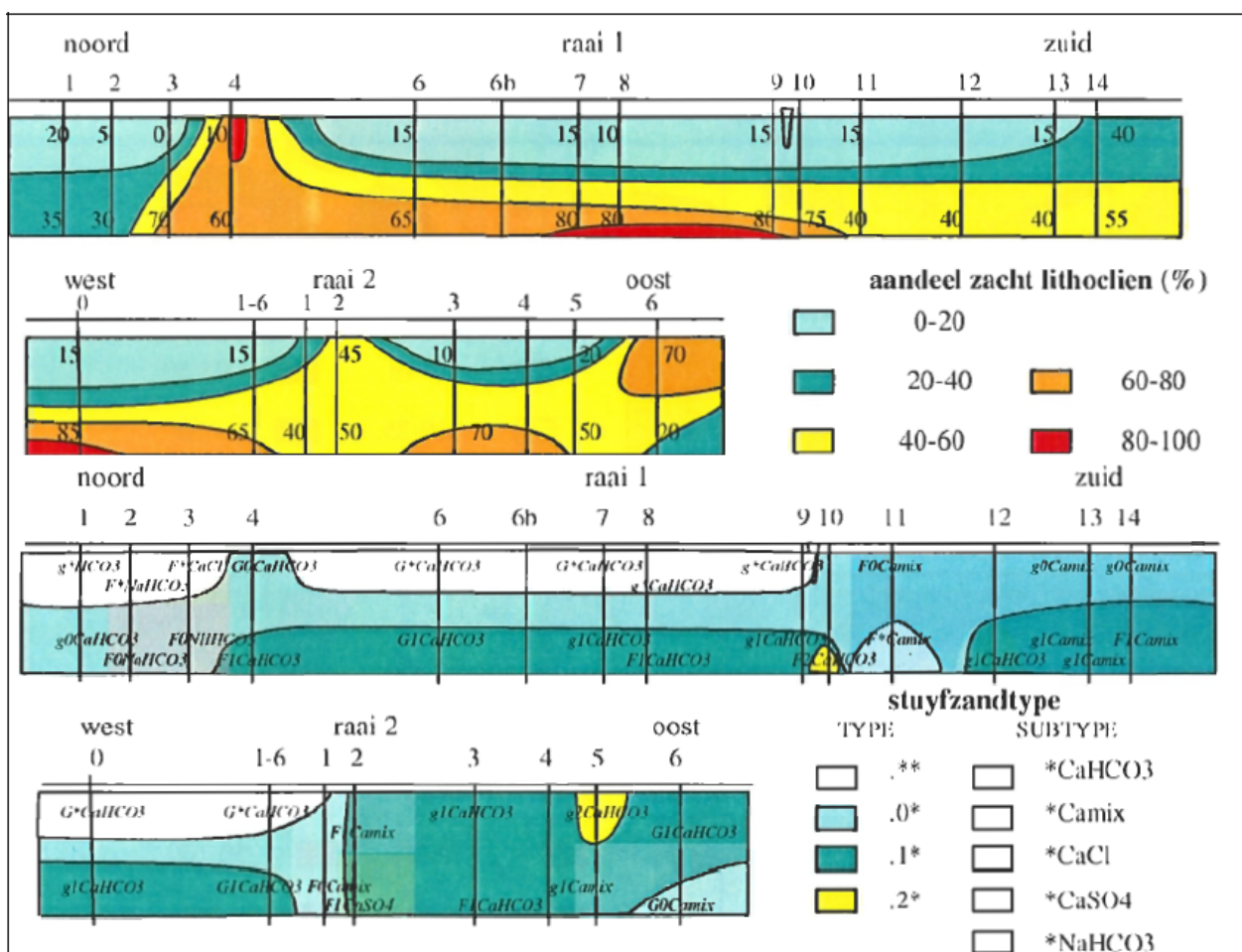
6.2.3 Grondwaterkwaliteit

In de rapportage GGOR Natte Natuurparel De Brand (Verhagen et al. 2009) is de grondwaterkwaliteit in eerder de Brand in beeld gebracht. Deze analyse was weer gebaseerd op eerdere studies zoals 'Blussen van De Brand' (Oranjewoud 1997) en een Alterra rapport (Jansen 2001) waarbij De Brand gebruikt is als voorbeeldgebied voor een goed waterkwaliteitsonderzoek met voldoende grondwaterkwaliteitsanalyses.

Het systeem kan als volgt getypeerd worden:

- Grondwater is zwak zuur tot neutraal.
- Grondwater in de diepere filters bevat meer kalk dan de ondiepere filters. De kalkrijkdom in het bodemprofiel wordt bepaald door de mate waarop het kalkrijke diepe kwelwater kan mengen met het kalkarme regenwater.
- Het ondiepe grondwater heeft op een aantal plekken een verhoogd kalkgehalte ten gevolge van landbouwkundige bekalking, dan wel door lateraal contact met de leemlagen.
- Verhoogde concentraties nitraat en ammonium laten landbouwinvloed zien.

In het onderste deel van Figuur 6-8 is het grondwater geclassificeerd volgens de Stuyfzand methodiek. De letter en cijfercode geeft weer om wat voor grondwater het gaat. Bijna al het water uit figuur 2.6 is zoet kalkrijk grondwater. Belangrijkste verschil is de kalkrijkdom. In de figuur is te zien dat de kalkrijkdom in de diepte toeneemt (donkerder kleur blauw in de figuur betekent meer kalk). Ook deze figuur toont dus aan dat er een zoetwaterbel drijft op het diepere kalkrijke grondwater. Alleen bij plek 10 (gele vlek in Figuur 6-8) in de noord-zuid raai komt grondwater tot aan maaiveld voor dat van grotere diepte afkomstig lijkt te zijn. Lokale zandkoppen hebben een relatief dunne leemlaag of ontbreekt leem. Daar kan dieper grondwater opstijgen en daarna horizontaal afstromen. Op basis van de grondwaterkwaliteit is geconcludeerd dat De Brand een stagnatiegebied is waar slechts lokaal dieper grondwater omhoog kan stromen.



Figuur 6-8 Geochemische dwarsprofielen (Jansen 2001).



Figuur 6-9 Locatie van monsterpunten voor de geochemische typing (Jansen 2001).

6.2.4 Veranderingen in het grondwater na de herinrichting

Grondwaterstanden

Uit de voorgaande paragraaf blijkt dat er in het verleden uitgebreid is gemeten aan ondiepe grondwaterstanden. Door het nemen van maatregelen is het hydrologisch systeem van De Brand veranderd. De vraag is of de grondwaterstanden en waterkwaliteit ook zo aangepast zijn als vooraf berekend en beschreven. Hiervoor is een monitoring en evaluatieplan nodig waarin vooraf meetdoelen en een meetstrategie worden uitgewerkt. Het ontbreekt echter aan een dergelijk plan en het valt ook op dat grondwaterstanden minder intensief worden gemeten dan vroeger werd gedaan.

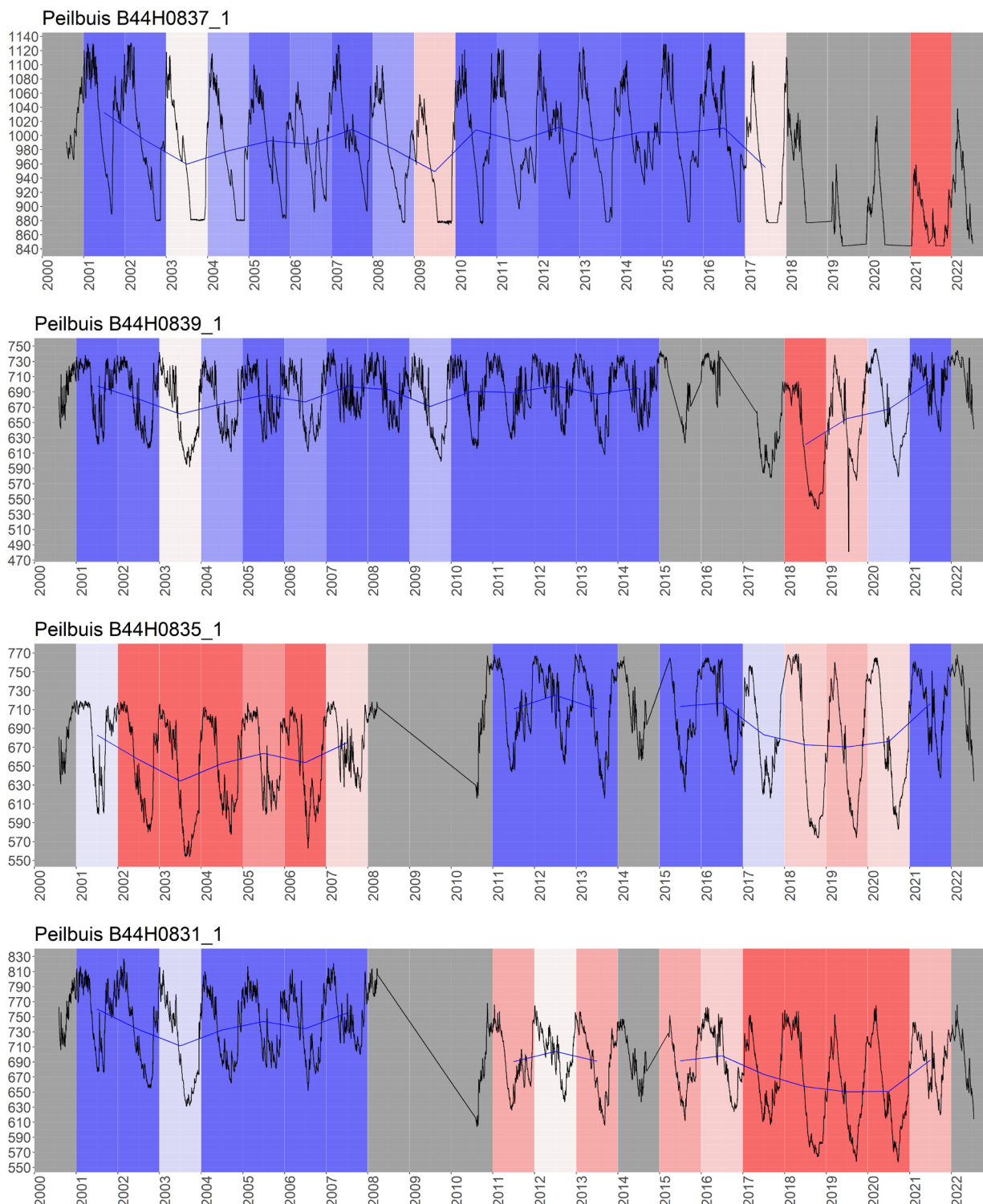
Figuur 6-4 toont tijdreeksen van gemeten grondwaterstanden in de vier peilbuizen uit het eerder gepresenteerde dwarsprofiel van de Brand (Figuur 6-3) aangevuld met een peilbuis midden in de Brand. Data is opgehaald uit Dinoloket en voor de periode 2018-2019 uit Hydronet. Opvallende zaken in de tijdreeksen worden hieronder kort beschreven en in Tabel 6-1 samengevat.

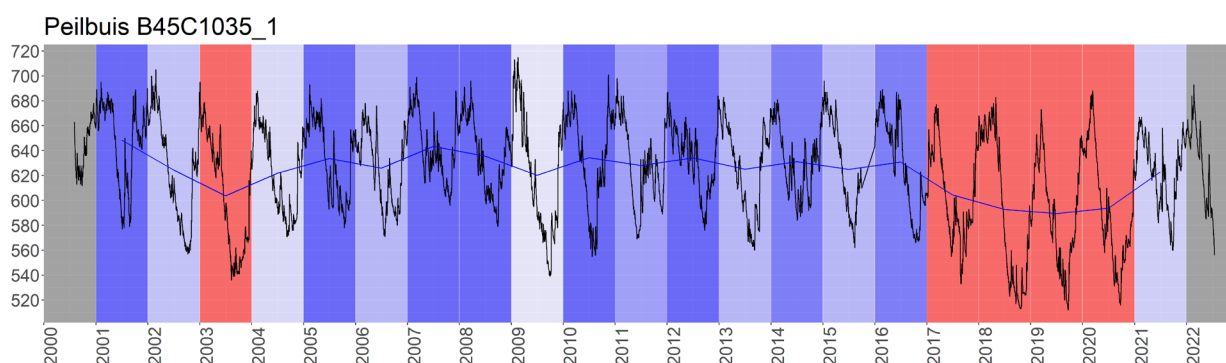
De tijdreeksen van de peilbuizen aan beide uiteinden van de raai laten geen veranderingen zien, die kan worden toegeschreven aan de realisatie van hydrologisch herstel – maatregelen in De Brand. De westelijke peilbuis B44H0837 staat in landbouwgebied ten westen van De Brand. De vernattingsmaatregelen werken niet zover door. De oostelijke peilbuis B45C1035 staat in het oostelijk deel van De Brand. Hydrologisch herstel – maatregelen moeten hier nog worden gerealiseerd.

Beide peilbuizen B44H0835 en B44H0831 aan de zuidzijde van De Brand staan nabij de Endekeloop. Deze waterloop is in 2009 aangelegd en heeft de waterafvoerende functie overgenomen van de vanaf Udenhout gedempte Kasteelloop die dwars door De Brand naar de Zandleij liep. Rond 2009 is in de tijdreeksen van beide peilbuizen een sprong zichtbaar in de grondwaterstand. Voor peilbuis B44H0835 is deze sprong opwaarts, voor peilbuis B44H0831 is deze sprong neerwaarts. Tussen beide buizen bevindt zich in het tracé van de Endekeloop een stuw.

De tijdreeks van de peilbuis B44H0839 centraal in De Brand net ten noorden van de gedempte Zandleij vertoont na 2017 een sprong met name in de zomergrondwaterstand. In de droge jaren 2018 – 2020 zakt

de zomergrondwaterstand diep weg. In 2021 herstelt de grondwaterstand zich weer. In 2017 is de Zandleij eerst afgedamd en in 2019 sterk verondiept. De Zandleij voerde effluent af van de RWZI Tilburg. Die voeding het grondwaterlichaam is weggefallen. Trage afstroming van neerslagwater en lokaal grondwater zorgt voor hoge grondwaterstanden in de winter. In droge zomers kan het grondwater dieper wegzakken.





Figuur 6-10 Tijdreeksen uit het dwarsprofiel door de Brand (Bron: Dinoloket en Hydronet) * bij de overgang van Dinoloket naar Hydronet tijdreeks was op sommige locaties een sprong in de tijdreeks zichtbaar (2019).

Tabel 6-1 Verklaring voor de veranderingen in de getoonde tijdreeksen in Figuur 6-10.

Peilbuis	Maaiveldhoogte [m NAP]	Opmerking
B44H0837	11,46	Geen bijzonderheden. Peilbuis in landbouwgebied. Hier zijn geen vernattingsmaatregelen uitgevoerd. In de droge jaren vanaf 2017 is de grondwaterstand gedaald.
B44H0839	7,42	Peilbuis nabij de gedempte Zandleij. Neerwaartse sprong in zomergrondwaterstand van +/- 40 cm in droge jaren na afdammen en later dempen van de Zandleij. Lokale voeding vanuit de Zandleij (effluent RWZI Tilburg) is weggevallen.
B44H0835	7,86	Opwaartse sprong na aanleg van de Endekeloop ten zuiden van de meetlocatie in 2009. Benedenstrooms staat in de Endekeloop een stuw.
B44H0831	7,86	Locatie benedenstrooms van een stuw in de Endekeloop en nabij een woning. Neerwaartse sprong na aanleg van de Endekeloop op korte afstand van de meetlocatie in 2009. Direct grenzend aan de Endekeloop is de grondwaterstand gedaald.
B45C1035	6,94	Geen bijzonderheden. Maatregelen 'De Brand fase II' in het gebied waar deze peilbuis is gesitueerd moeten nog worden uitgevoerd.

Interessant is om te beoordelen wat er gebeurd is vanaf 2017. De tijdreeksen in Figuur 6-10 tonen lagere zomergrondwaterstanden; de grondwaterstand zakt in de zomers van 2018, 2019 en 2020 diep weg. Dit is logisch verklaarbaar omdat dit erg droge zomers waren. De grondwaterstanden herstelden zich wel telkens weer in de daaropvolgende winter.

De grote fluctuaties in grondwaterstand tussen zomer en winter in droge jaren zijn te verwachten in sterk lemige of leembodems, vanwege de geringe bergingscoëfficiënt. De zomer van 2021 was aanzienlijk natter dan de voorgaande zomers. De grondwaterstand is in deze zomer minder ver weggezakt. De meetreeksen zijn nog te kort om een uitspraak te doen over een trendverandering ten gevolge van de herinrichting van de Brand. Behalve langere meetreeksen is ook een goede controle van de data nodig en een overkoepelend meet- en evaluatieplan.

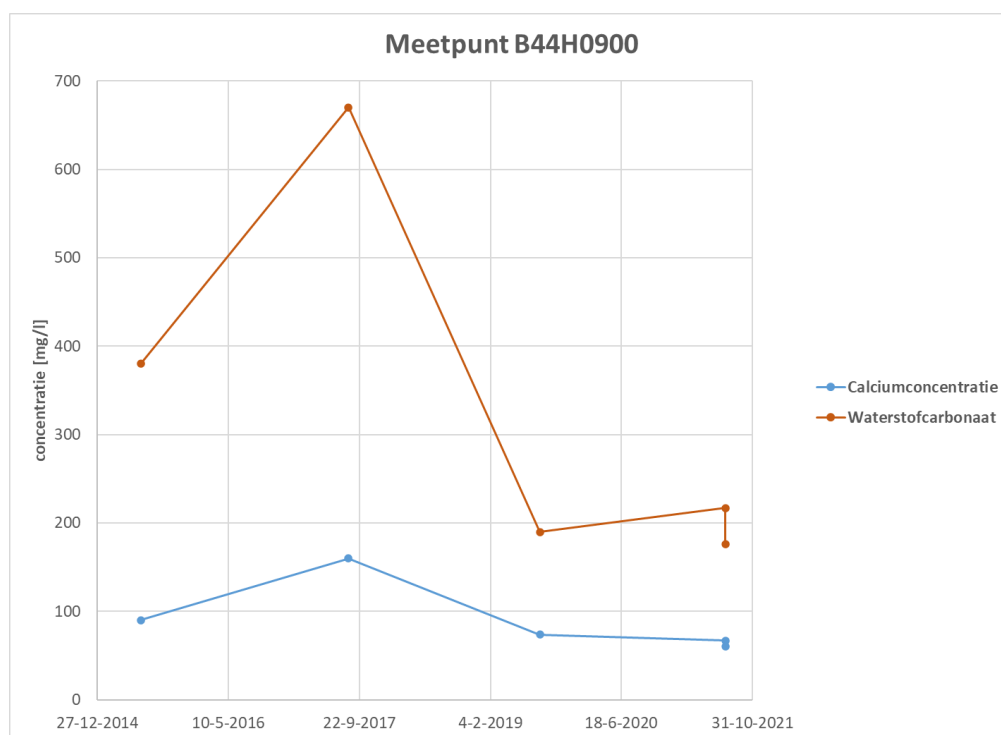
Grondwaterkwaliteit

Het grondwatertype in De Brand werd voor de herinrichting gedomineerd door een regenwaterachtig type. Dieper grondwater werd snel door de Zandleij afgevoerd en afvoer van regenwater door de Oerleij werd beperkt. Met de maatregelen wordt hier een verandering in aangebracht. De vraag is of de grondwaterstroming door de maatregelen is veranderd en of dit merkbaar is in de grondwaterkwaliteit. In

dat geval zal het regenwaterachtige grondwater gaan veranderen in een meer grondwaterachtig type dat kalkrijker is.

Op dit moment wordt er nog maar één locatie in de Brand bemonsterd, dit is meetpunt 9 (uit Figuur 6-8), centraal gelegen in de Brand, dichtbij de Zandleij. Hier werden relatief hoge waterstofcarbonaat concentraties gemeten, mogelijk omdat de diep ingesneden waterloop water van grotere diepte aantrok. Sinds 2017 (na inrichting van de Brand) is er sprake van lagere concentraties calcium en waterstofcarbonaat (zie Figuur 6-11). Het is aannemelijk dat de kwelinvloed hier is afgenomen. Als de freatische grondwaterstand stijgt en de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket stijgt niet, dan neemt de kwelflux af. Verhoging van de kweldruk in het eerste watervoerende pakket is van belang om kwelherstel in De Brand mogelijk te maken.

De meetreeks is nog te kort om hier harde conclusies uit te trekken. Bovendien zou het interessant zijn om ook in andere delen van het gebied de waterkwaliteit te volgen zoals in de Oerleij om te beoordelen of hier de kalkconcentraties wel stijgen.



Figuur 6-11 Metingen Calcium en Waterstofcarbonaat in meetpunt B44H0900 (meetpunt 9, zie voor ligging Figuur 6-9).

6.3 Vegetatieontwikkeling in De Brand

Het doel van de herinrichting van De Brand is om met de reeds uitgevoerde en nog voorziene⁸ aanpassingen aan de waterhuishouding de condities voor natte natuurwaarden binnen het gebied te verbeteren. Daarmee is invulling gegeven aan de in het Europese, Nationale en Provinciale beleid vastgelegde doelen voor verbetering van de waterkwaliteit- en kwantiteit, behoud en versterking van natuurwaarden, realisatie van de ambitiebeheertypen en de Natura 2000-doelstellingen (de Kraker 2015). De realisatie van deze doelen moet blijken uit monitoring.

⁸ Als aanvulling op het project 'Aanpassing Zandkantse Leij & Zandleij, Herstel Natte Natuurparel De Brand' is in 2022 het project 'De Brand fase II' in voorbereiding genomen. Zodra het gehele NNB is gerealiseerd, zijn aanvullende maatregelen aan waterlopen mogelijk.



Figuur 6-12 Impressie van de vegetatie in De Brand na uitvoering van de natuurherstelmaatregelen. Links moerasbos aan de zuidzijde van de Zandkantse Leij. Rechts elzenbroekbos aan de zuidzijde van de gedempte Zandleij.

In 2019 is in de terreinen van Het Brabants Landschap in De Brand, De Leemkuilen en het Brokkenbroek een soortinventarisatie en flora- en vegetatiekartering uitgevoerd (Eijsackers 2019). Dat is vlak na uitvoering van de herinrichting van De Brand in 2017. De laatste maatregel van deze herinrichting, het dempen van de Zandleij, vond plaats in 2019. De inventarisatie en kartering is te beschouwen als nulmeting voor de veranderingen in de ecohydrologische condities in het gebied.

In Tabel 6-2 en Figuur 6-13 zijn resultaten weergegeven uit de vegetatiekartering voor aan vochtige tot natte omstandigheden gebonden standplaatsen, vertaald naar de standplaats in De Brand. Het kaartbeeld van de vegetatiekartering komt goed overeen met de hoogteligging uit het AHN en met de bodemtypes in De Brand (Figuur 6-1).

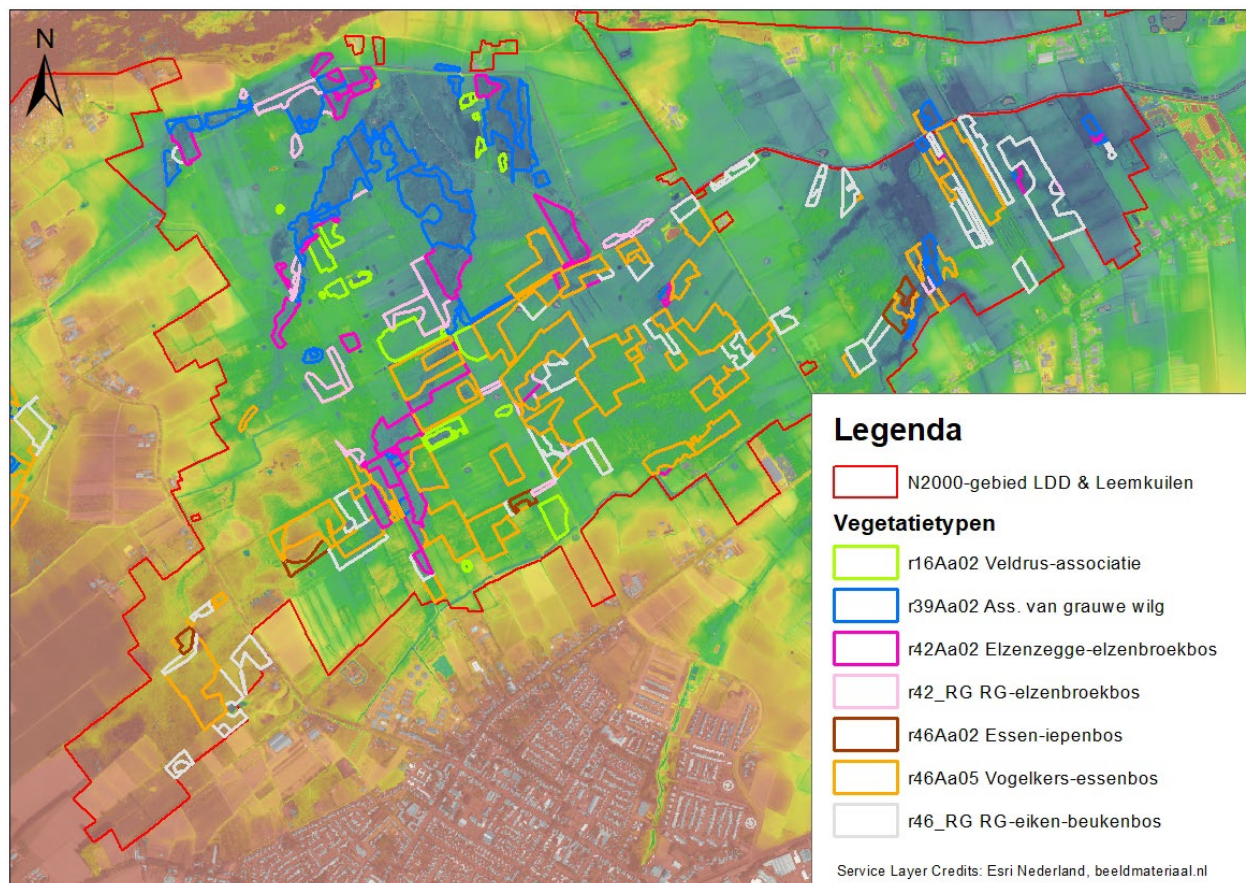
Wilgenstruweel (r39Aa02) komt vooral voor in de laagste en natste delen van de beekdalen in De Brand. In goed ontwikkelde vegetaties komen de ondergroei moeraskruiden als gele lis, blauw glidkruid, stijve zegge en moeraswalstro voor. In de hogere delen van de beekdalen is elzenbroekbos tot ontwikkeling gekomen. Een groot areaal van dit elzenbroekbos heeft een goede kwaliteit, met in de kruidlaag elzenzegge vaak in hoge bedekkingen en daarnaast wijfjesvaren, ijle zegge, stijve zegge en zwarte bes en rietklasse-soorten als penningkruid, moeras-vergeet-me-nietje, waterviolier (kwelindicator) en watermunt. In soortenarmere vegetaties (r42-RG) domineren hennegras, braam, moeraszegge of grote brandnetel de kruidlaag.

Een groot areaal van de bossen op leembodems in het zuidelijk deel van De Brand wordt ingenomen door Vogelkers-essenbos (r46Aa5). De boomlaag bestaat uit zwarte els, zomereik en gewone es. In de struiklaag groeit vaak hazelaar, soms gewone vogelkersen in de kruidlaag komen in hoge bedekkingen stekelvarens, klaverzuring, ruwe smeile, ijle zegge en elzenzegge voor. Essen-iepenbos (r46Aa02) beslaat een klein areaal in De Brand op de hogere flanken van de beekdalen. De boomlaag bestaat uit zomereik, esdoorn en gewone es. In de struiklaag zijn hazelaar en wilde kamperfoelie vaak in hoge bedekkingen aanwezig.

Verspreid in het westelijk deel van De Brand op gooreerdgronden en beekkeerdgronden is Veldrusschraalland (r16Aa02) in aanzet aanwezig. De percelen zijn recent ingericht en soortenarm. Het van oudsher aanwezige schraalgrasland in het noordelijk deel van De Brand is, gezien het beperkte areaal zeer soortenrijk.

Tabel 6-2 Toelichting op de standplaats van 'natte' bostypen en schraalgraslanden in De Brand (Eijsackers 2019; Schaminée et al. 2019).

Vegetatietype	Standplaats in De Brand
r16Aa2 Veldrusschraalland	In aanzet aanwezig en verspreid over het westelijk deel van De Brand. Een klein areaal in het noorden is soortenrijk en heeft een goede kwaliteit.
r39Aa02 Associatie van grauwe wilg	In de laagste delen van de beekdalen in De Brand, met name in het moerasgebied met Vlierveengronden grenzend aan de Zandkantse Leij.
r42Aa02 Elzenzegge-elzenbroekbos r42-RG Rompgemeenschap Elzenbroekbos	In de hogere delen van de beekdalen in De Brand
r46Aa02 Essen-iepenbos	In het zuidelijk deel van De Brand in kleine oppervlakten op de flanken van hogere gronden naar de beekdalen.
r46Aa05 Vogelkers-essenbos r46-RG Rompgemeenschap Eiken- beukenbos	Vooraf ten zuiden van de (voormalige) Zandleij op leembodems (leek- en woudeerdgronden).

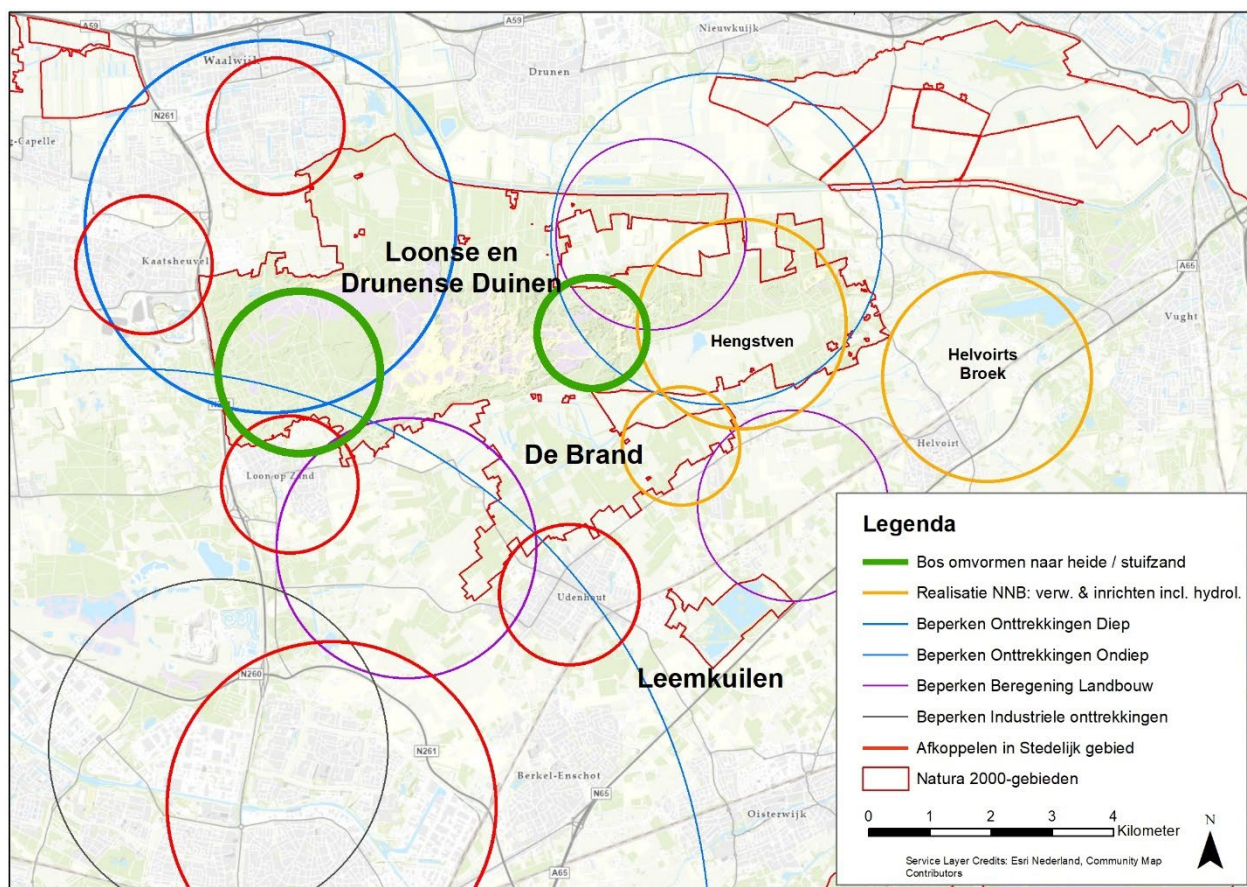


Figuur 6-13 Vegetatiekaart uit 2019 voor De Brand geprojecteerd op het AHN (Eijsackers 2019; AHN 2022). Selectie van 'natte' bosvegetaties en schraalgraslanden uit de vegetatiekaart.

7 Potenties voor hydrologisch natuurherstel

Een van de belangrijke onderzoeksvragen van deze LESA is welke factoren van invloed zijn geweest op de verandering in grondwaterstand in de Loonse en Drunense Duinen. Als deze factoren bekend zijn, dan kan ook beter worden bepaald in hoeverre de grondwaterstand in de toekomst weer hersteld kan worden.

De factoren zijn uitgebreid beschreven in paragraaf 5.3 van dit rapport. In Figuur 7-1 zijn deze factoren samengevat. De grootte van de cirkel is een maat voor de geografische invloed, de dikte van de cirkel is een maat voor de grootte van het effect. De verandering in landgebruik, van zand naar bos, op de Loonse en Dunense Duinen wordt als grootste factor gezien en daarom is deze cirkel het meest dik weergegeven.



Figuur 7-1 Overzicht van mogelijkheden om in en rond het Natura 2000-gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen de hydrologische condities voor natuurherstel te verbeteren.

Bos omvormen naar heide / stuifzand

Bosomvorming naar heide of stuifzand heeft lokaal een groot effect op de grondwateraanvulling (zie ook Witte et al. (2019)). Daarmee is niet gezegd dat dit de voor de hand liggende maatregel is om de Loonse en Drunense Duinen te vernatten. Het bos herbergt immers zelf ook natuurwaarden en bos draagt bij aan het beperken van de effecten van klimaatverandering. Provincie Noord-Brabant streeft naar een forse uitbreiding van het areaal bos binnen haar grenzen en naar een even forse verbetering van de kwaliteit van het bos.

Anderzijds is voor instandhouding van natuurwaarden in het stuifzandgebied van belang dat het gebied voldoende open blijft. Afname van het areaal verstuifbaar zand leidt op den duur tot achteruitgang van het areaal en van de kwaliteit van de habitattypen 'H2310 Stuifzandheiden' en 'H230 Zandverstuivingen'. Het

LIFE project 'Sand Dynamics in Inland Dunes' laat zien wat bosomvorming kan opleveren (Clements et al. 2019). De toegenomen grondwateraanvulling is een bonus.

Realisatie Natuurnetwerk Brabant

Het ligt voor de hand dat realisatie van het Natuurnetwerk Brabant, d.w.z. omvorming van landbouwgrond naar natuur, bijdraagt aan het hydrologisch natuurherstel. Dan kunnen immers ontwateringsmiddelen voor de landbouw worden gedempt of verondiept, stuwstanden worden verhoogd en beregeningsputten worden gesaneerd. Wanneer het Natuurnetwerk in zijn geheel is gerealiseerd, wordt aanvullende verondieping van waterlopen en vernatting mogelijk.

In 2022 is het project 'De Brand fase II' in voorbereiding genomen. Dit project voorziet in hydrologisch natuurherstel in het oostelijk deel van De Brand. In het Hengstven is het Natuurnetwerk nog niet geheel gerealiseerd (zie ook Figuur 5-23). Door dit gebied loopt nog een diepe sloot die de afwatering verzorgt noordwaarts dwars door het aangrenzende duingebied naar het Drongelens Kanaal. Na realisatie van het Natuurnetwerk verliest de sloot zijn landbouwfunctie en kan deze worden gedempt.

Beperken grondwateronttrekkingen

De meeste grote grondwateronttrekkingen in en rond het onderzoeksgebied zijn gesitueerd in diepere watervoerende pakketten. Het effect van deze grondwaterwinningen samen op de regionale grondwaterstand is groot. Door de grote daling in stijghoogtes in het tweede watervoerende pakket als gevolg van deze onttrekkingen, is de regionale kwelsituatie in de Centrale Slenk omgeslagen in een infiltratiesituatie (Verhagen et al. 2017). Het lokale effect van deze diepe grondwateronttrekkingen op de grondwaterstand is minder groot. Een reductie van de onttrekking leidt in de directe omgeving tot een beperkte toename van de freatische grondwaterstand. Die toename is wel merkbaar in een groot gebied rondom de onttrekking.

Grondwateronttrekkingen in het ondiepe watervoerend pakket hebben wel lokaal een groot effect. Een reductie van deze onttrekkingen of een verplaatsing naar diepere watervoerende pakketten, leidt dan in de directe omgeving tot een duidelijke toename van de freatische grondwaterstand. In het onderzoeksgebied betreft dit de drinkwaterwinning Waalwijk, en waarschijnlijk (een aantal) beregeningsputten voor de landbouw.

Maatregelen in stedelijk gebied

Het effect van stedelijke bebouwing en infrastructuur op de grondwateraanvulling in inrijgebieden is niet eenduidig. Het effect verschilt van dorp tot dorp en van wijk tot wijk. De grondwateraanvulling hangt onder andere af van de mate van verstening (aandeel groen, aandeel verhard oppervlak), van het rioelstelsel (gemengde of gescheiden regenwaterafvoer) en of er mogelijkheden zijn voor regenwaterinfiltratie.

In stedelijke poldergebieden is het effect op de grondwaterstand in aangrenzend natuurgebied voor de hand liggend. Het gehanteerde lage peil is afgestemd op een niveau waarbij schade aan huizen, gebouwen en nutsvoorzieningen kan worden voorkomen, en vormt tegelijkertijd de drainagebasis voor aangrenzend natuurgebied. Door middel van bemaling wordt dit peil gehandhaafd. In Waalwijk grenst het stedelijk poldergebied direct aan het Ganzenwiel in de Loonse en Drunense Duinen.

Referenties

- AHN. 2022. Actueel Hoogtebestand Nederland. Online beschikbaar: <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>.
- Alterra. 2022. Landelijke Vegetatiedatabank. *Landelijke Vegetatie Databank*. Online beschikbaar: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/googlemapslvddata.aspx?meta=info>.
- Aptroot, A. 2010. *Vegetatie- en florakartering van de Loonse en Drunense duinen in 2010*. Natuurmonumenten, 's-Graveland.
- Beaard, B. 2022a. Historisch Heusden: De vrijwillige ruilverkaveling in Giersbergen. *Heusden.nieuws.nl*.
- Beaard, B. 2022b. Historisch Heusden: Ruilverkaveling Heusden – Vlijmen. *Heusden.nieuws.nl*.
- BHIC. 2021. Afwateringskanaal 's-Hertogenbosch-Drongelen. *Verhalen - BHIC*. Online beschikbaar: <https://www.bhic.nl/ontdekken/verhalen/afwateringskanaal-s-hertogenbosch-drongelen>.
- BIS Nederland. 2022. Bodemdata.NL. Online beschikbaar: <https://bodemdata.nl/>.
- Bot, B. 2016. *Grondwaterzakboekje*. Bram Bot, Olst.
- Buitenhuis, A., S. J. Kluiving, G. W. de Lange, R. W. de Waal, & H. P. Wolfert. 1991. *Geomorfologische gesteldheid van Midden en Oost Noord-Brabant*. Staring Centrum, Wageningen.
- Clements, G., T. Cooijmans, & I. de Potter. 2019. *Kwaliteitstoets NP De Loonse en Drunense Duinen 2019*. Natuurmonumenten, 's-Graveland.
- Dataregister Rijkswaterstaat. 2022. Dataregister Rijkswaterstaat. Online beschikbaar: <https://maps.rijkswaterstaat.nl/dataregister/srv/eng/catalog.search#/home>.
- De Bont, C. 1989. *Het cultuurhistorisch landschapsonderzoek van het streekplangebied "Midden- en Oost-Brabant". Een historisch-geografische verkenning*. Provincie Noord-Brabant, 's-Hertogenbosch.
- Dinoloket. 2022. Dinoloket Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond. Online beschikbaar: <https://www.dinoloket.nl/>.
- Dirkx, G. H. P. 2001. *Historische ecologie van De Brand en De Mortelen (Noord- Brabant)*. Alterra, Wageningen.
- Eijsackers, D. N. 2019. *SNL-monitoring De Brand 2019 Inventarisatie van broedvogels, dagvlinders, sprinkhanen, libellen, flora en vegetatiekartering en structuurkartering in terreinen van Brabants Landschap*. Ecoresult B.V., Dordrecht.
- Grondwatertools. 2022. Grondwatertools. Online beschikbaar: <https://www.grondwatertools.nl/grondwatertools-viewer>.
- Hanhart, K., E. Brouwer, Y. Verstijnen, & L. Spa. 2022. *Ecohydrologisch onderzoek N2000 Leemkuilen - eindconcept*. Eelerwoude & B-Ware, Goor.
- Harbers, P. 1990. *Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 Toelichting bij kaartblad 44 Oost Oosterhout*. Staring Centrum, Wageningen.
- Horstink, Y., N. Manschot, & K. Hanhart. 2016. *Haalbaarheidsstudie naar herstel van het Galgenwiel en Kikkerwiel*. Eelerwoude, Culemborg.
- Hullenaar, J. W. 2004. *Ecologisch herstel Hengstven Uitwerking inrichtingsplan op basis van ecohydrologisch vooronderzoek*. Bell Hullenaar Ecohydrologisch Adviesbureau, Zolle.
- Hydronet. 2022. Hydronet. *HydroNET Portal*. Online beschikbaar: <https://portal.hydronet.com/login.aspx>.
- IWACO. 1994. *Onderzoek gewenst peil Drongelens Kanaal*. IWACO, 's-Hertogenbosch.
- Jansen, P. C. 2001. *Inventarisatie van waterkwaliteit voor ecologische doeleinden*. Alterra, Wageningen.
- de Jong, P., & P. Jungerius. 2004. De Loonse en Drunense Duinen op oude kaarten zijn opmaat voor beheervisie. *Vakblad Natuur Bos & Landschap*. december:24–26.
- Jongmans, A. G., W. G. van den Berg, M. P. W. Sonneveld, G. J. W. C. Peek, & R. M. van den Berg van Saparua. 2013. *Landschappen van Nederland Geologie, Bodem en Landgebruik*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Kleinsman, W. B., & G. Rutten. 1965. *De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied "Het Zuiderafwateringskanaal"*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- KNMI. 2022. Klimatologie - Informatie over weer in het verleden. Online beschikbaar: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie>.
- de Kraker, G. 2015. *Projectplan Aanpassing Zandkantse Leij & Zandleij Herstel Natte Natuurparel De Brand*. Royal HaskoningDHV, Eindhoven.
- Leenders, W. H. 1992. *De bodemgesteldheid van het herinrichtingsgebied De Leijen-West*. DLO-Staringcentrum, Wageningen.
- Maarleveld, G. C. 1954. *De aanwezigheid van leem in Noord-Brabant*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

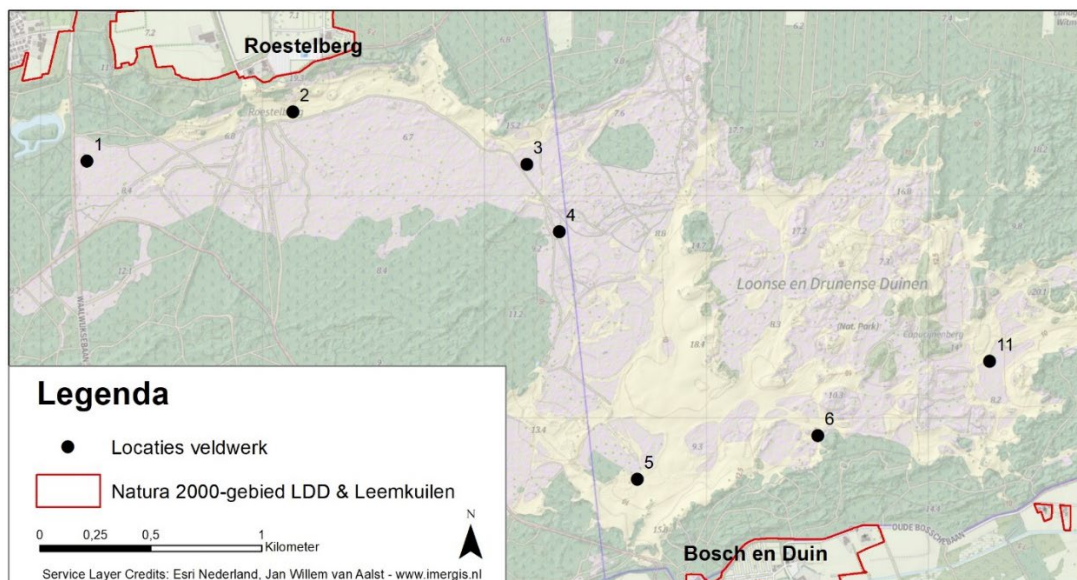
- Nationaal Archief. 2021. Nationaal Archief, Militaire en topografische kaarten. Online beschikbaar: <https://www.nationaalarchief.nl/onderzoeken/kaarten/militaire-en-topografische-kaarten>.
- Oranjewoud. 1997. *Blussen van De Brand. Drie scenario's voor meer en beter water voor natuurgebied De Brand*. Oranjewoud, Oosterhout.
- Provincie Noord-Brabant. 2022b. Georegister provincie Noord-Brabant. Online beschikbaar: <https://georegister.brabant.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/home>.
- Provincie Noord-Brabant. 2017. Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen Natura 2000 Beheerplan.
- Royal HaskoningDHV. 2019. *Update Hydrologische Gereedheidskist Noord-Brabant*. Royal HaskoningDHV.
- Schaminée, J., R. Haverman, S. Hennekens, M. Horsthuis, J. Janssen, I. D. Ronde, N. Smits, & K. Sýkora. 2019. *Veldgids Plantengemeenschappen van Nederland*. KNNV Uitgeverij, Wageningen.
- Sluijter, R., & H. Leenaers. 2011. *De Bosatlas van het klimaat*. Noordhoff atlasproducties / KNMI, Groningen.
- Steenvoorden, M., L. Huisman, & L. Vermeijden. 2021. *Provincie Noord-Brabant, Quicksan effecten revitalisering bossen*. Tauw, Utrecht.
- Stiboka. 1969. *Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000 Toelichting bij kaartblad 45 West 's-Hertogenbosch*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- TNO-GDN. 2022. Stratigrafische Nomenclator van Nederland. Online beschikbaar: <https://www.dinoloket.nl/stratigrafische-nomenclator>.
- Topografische Dienst. 2022. Topotijdreis: 200 jaar topografische kaarten. Online beschikbaar: <https://www.topotijdreis.nl/>.
- van Tuinen, E. S. J. 2014. *Toelichting peilbesluit Koningsvliet*. Witteveen+Bos, Deventer.
- Verhagen, F., T. Spek, F. Witte, B. Voortman, E. Moors, E. Querner, G. van den Eertwegh, & J. van Bakel. 2014. Begrijpen we het watersysteem? Expertdialoog de Veluwe. *Stromingen*. 20(3):5–19.
- Verhagen, F., T. van Steijn, J. Hunink, & R. Stuurman. 2017. *Draagkracht grondwater Noord-Brabant*. Royal HaskoningDHV & Deltares, Amersfoort.
- Verhagen, F. Th., P. R. de Koning, & B. J. van der Wal. 2009. *GGOR Natte Natuurparel De Brand*. Royal Haskoning, 's-Hertogenbosch.
- Vicente-Serrano, S. M., S. Beguería, & J. I. López-Moreno. 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 23:1696–1718.
- Vleeshouwer, J. J. 1958. *Militaire oefenterreinen Deel 7 De bodem- en de vegetatiekartering van het militaire oefenterrein Loonse en Drunense Duinen*. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- van Wachtendonk, A. in prep. *Ondiepe infiltratie via beregeningsputten. Conceptrapport*. Royal HaskoningDHV, Amersfoort.
- van Wachtendonk, A., F. Verhagen, & E. Steinbusch. 2021. *Effectberekening Nederlandse Woningen in het Brabantmodel*. Royal HaskoningDHV, Amersfoort.
- van Wachtendonk, A., & B. J. van der Wal. 2020. *Grondwaterstudie Tilburg en Waalwijk; Berekening effecten van grondwateronttrekkingen Waalwijk, Gilze en Gilzerbaan op grondwaterstanden*. Royal HaskoningDHV, Amersfoort.
- Waterschap De Dommel. 2020. Vierde partiële herziening Beleidsregels voor waterkering, waterkwantiteit en grondwater, Waterschap De Dommel.
- Witte, J. P. M., I. Leunk, D. G. Cirkel, H. F. M. Aarts, & W. J. Zaadnoordijk. 2014. Achtergrondverlaging en grondwateraanvulling in Noord-Brabant. *Stromingen*. 24(4):53–65.
- Witte, J. P. M., B. Voortman, K. Nijhuis, M. van Huijgevoort, S. Rijpkema, & T. Spek. 2019. Met het historische landschap verdween er water van de Veluwe. *Stromingen*. 33(5):91–107.
- Witte, J. P. M., W. J. Zaadnoordijk, D. G. Cirkel, I. Leunk, & H. F. M. Aarts. 2015. *Grondwateraanvulling en achtergrondverlaging in de provincie Noord-Brabant*. KWR, Nieuwegein.

Bijlagen

Bijlage 1 Boorbeschrijvingen veldwerk in de Loonse en Drunense Duinen

Op 8 juli 2022 is veldwerk uitgevoerd in het stuifzandgebied door een veldmedewerker van Royal HaskoningDHV met ondersteuning van een voertuig en medewerker van Natuurmonumenten. Op voorhand zijn relatief laaggelegen delen in het landschap uitgezocht, waar vroeger natte plekken in het veld zijn waargenomen. De te onderzoeken locaties zijn geografisch verdeeld over het gebied, moesten voldoende goed toegankelijk zijn en mochten niet in te kwetsbare delen van het gebied liggen. Voor het veldwerk was één werkdag beschikbaar. Op basis van deze randvoorwaarden kon op zeven locaties een boring gezet worden.

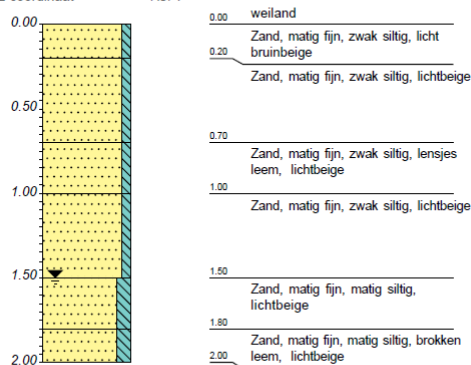
Er is geboord tot maximaal 2 meter beneden maaiveld. Er is bepaald of er storende lagen in de bodem aanwezig zijn en wat de huidige grondwaterstand is. De grondwaterstand is met een open boorgat-methode bepaald, dat wil zeggen dat geboord is totdat er water wordt aangetroffen en dat enige tijd is gewacht tot er water in het boorgat is toegestroomd.



Boorbeschrijvingen conform NEN 5104

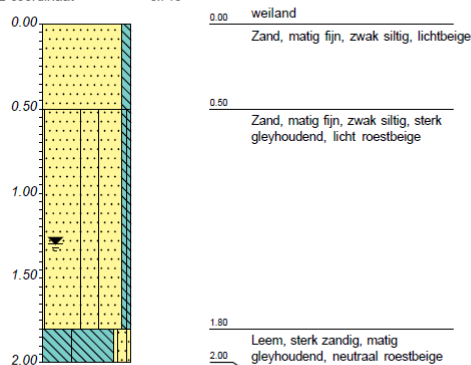
Boring: 1

X-coördinaat: 133210.12
Y-coördinaat: 407155.99
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 150
Z-coördinaat: 7.074



Boring: 2

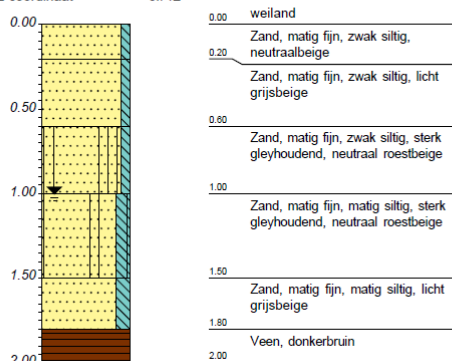
X-coördinaat: 134137.75
Y-coördinaat: 407377.29
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 130
Z-coördinaat: 6.716



Boring:

3

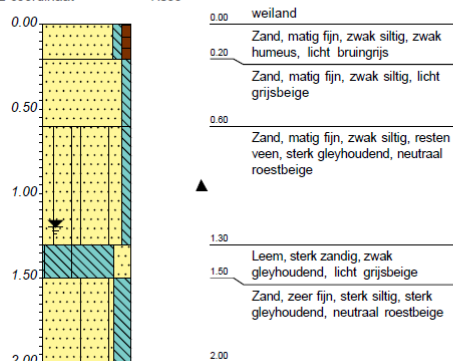
X-coördinaat: 135191.05
Y-coördinaat: 407140.95
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 100
z-coördinaat: 6.712



Boring:

4

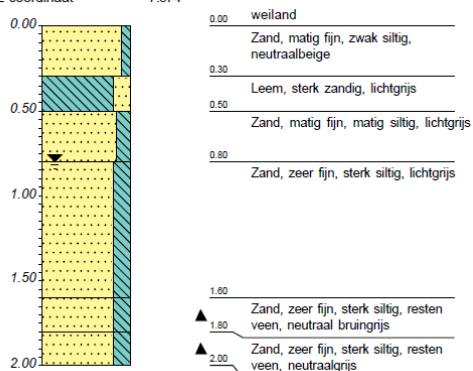
X-coördinaat: 135338.41
Y-coördinaat: 406837.35
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 120
z-coördinaat: 7.093



Boring:

5

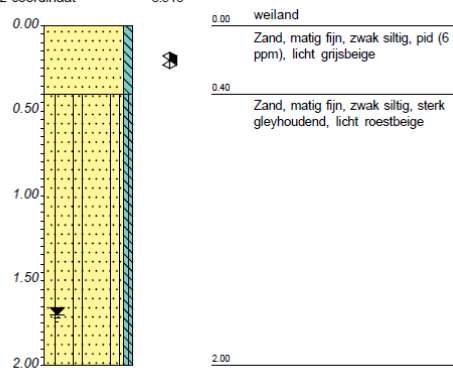
X-coördinaat: 135689.45
Y-coördinaat: 405724.34
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 80
z-coördinaat: 7.374



Boring:

6

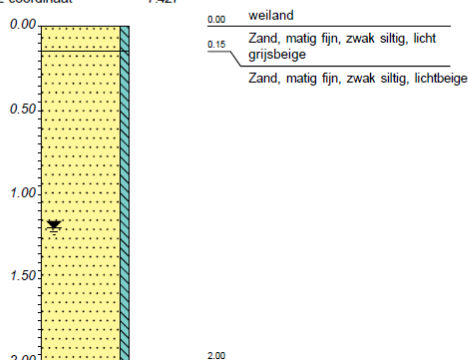
X-coördinaat: 136503.09
Y-coördinaat: 405919.48
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 170
z-coördinaat: 8.516



Boring:

11

X-coördinaat: 137275.90
Y-coördinaat: 406254.20
Datum: 8-7-2022
Grondwaterstand: 120
z-coördinaat: 7.427



Bijlage 2 Grondwateronttrekkingen winningen Helvoirt, Vlijmen en Waalwijk

