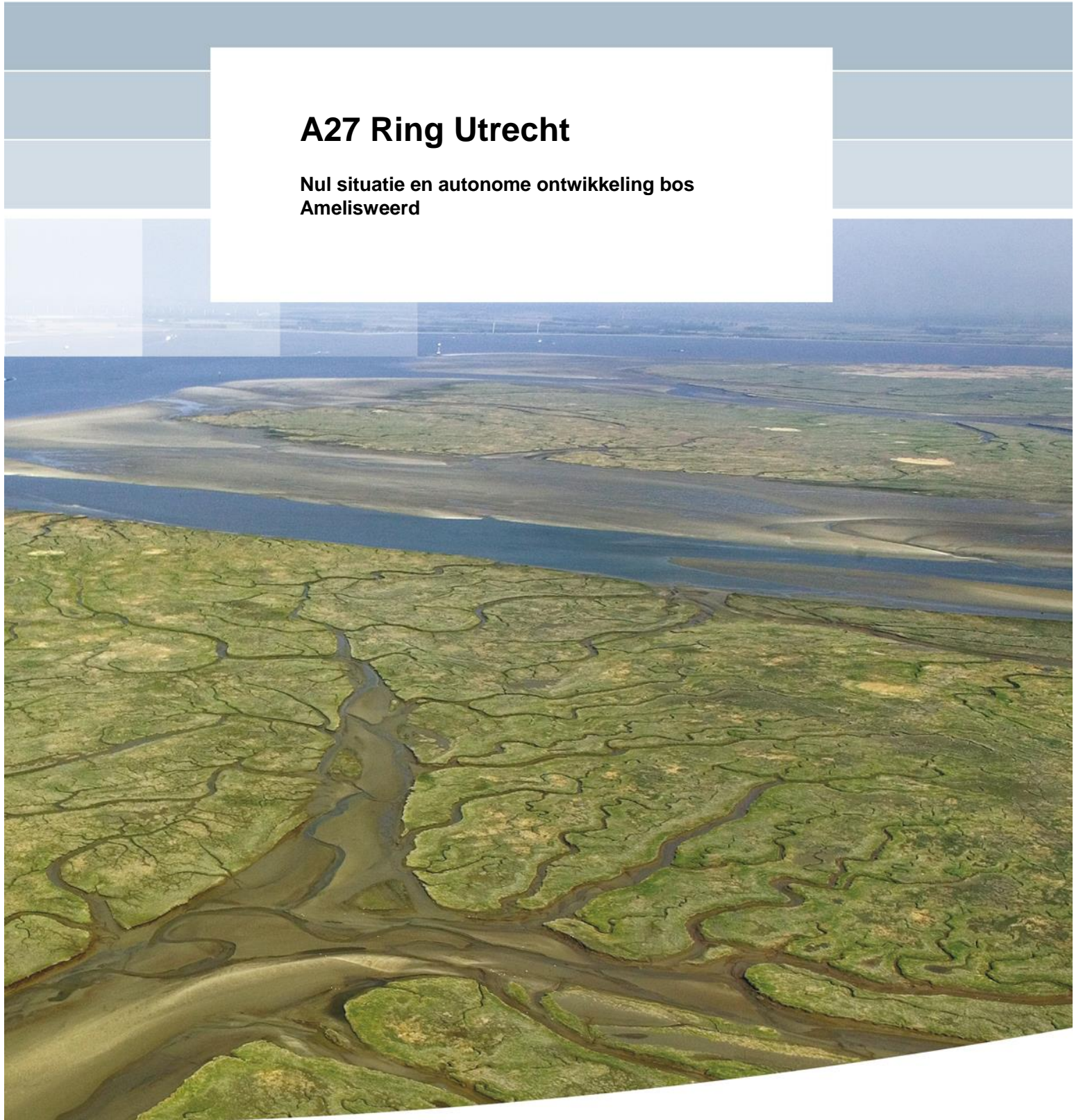


A27 Ring Utrecht

**Nul situatie en autonome ontwikkeling bos
Amelisweerd**



A27 Ring Utrecht

Nul situatie en autonome ontwikkeling bos Amelisweerd

Bas van der Grift (Deltares)
Sandra Clerkx (WenR)
Jan Hilbert (Copijn)

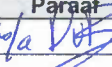


Titel
A27 Ring Utrecht

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat Water,
Verkeer en Leefomgeving,
UTRECHT

Project
11202345-000

Kenmerk
11202345-000-BGS-0014

Pagina's
35

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	Feb. 2019	Bas van der Grift		Roelof Stuurman		Marijn Kuijper	
		Sandra Clerkx					
		Jan Hilbert					

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	5
1.1 Landgoed Amelisweerd	5
1.2 Doel	6
2 Methode	8
3 Resultaten deelonderzoeken	11
3.1 Bodem	11
3.2 Grondwater	11
3.2.1 Beschrijving grondwatersysteem Markiezenbos	14
3.3 Conditie en groeiontwikkeling onderzochte bomen	16
3.4 Jaarringonderzoek	17
4 Nul situatie en autonome ontwikkelingen binnen bos Amelisweerd	19
4.1 Markiezenbos	19
4.1.1 De rol van eik en beuk	19
4.1.2 De rol van andere boomsoorten	20
4.1.3 Essentaksterfte en andere aantastingen	20
4.2 Vernetting en verdroging	21
4.2.1 Bewortelingsdiepten en Zk-waarden	21
4.3 Toekomstige bosontwikkeling	24
5 Conclusies en aanbevelingen	26
6 Literatuur	29
Bijlage(n)	
Grondwaterstanden	30

1 Inleiding

Ten behoeve van de verbreding van de A27 binnen de bestaande foliebakconstructie bij Utrecht is een uitvoeringsmethode voorzien die een grondwaterstandsverlaging in de directe nabijheid van de folieconstructie zal hebben. Dit is noodzakelijk om de verbredingswerkzaamheden binnen de bestaande folieconstructie mogelijk te maken. Zonder deze grondwaterstandsverlaging is het risico op opbarsten tijdens aanlegwerkzaamheden te groot met onacceptabel grote gevolgen voor het verkeer op de A27.

Deze beheersmaatregel heeft een uitstraling naar de omgeving. In die omgeving liggen enkele kwetsbare objecten, zoals de landgoederen van Amelisweerd en de woonwijk Lunetten. Uitgangspunt van de werkzaamheden is dat er 'geen nadelig effect' op de omgeving mag zijn. Er zijn een aantal verschillende referentie-uitvoeringsmethoden benoemd zoals het plaatsen van een schermwand en de toepassing van retourbemaling in combinatie met de grondwateronttrekking om de effecten van de bemaling op de omgeving te verminderen.

1.1 Landgoed Amelisweerd

Het landgoed Amelisweerd vormt onderdeel van een reeks landgoederen, parken en lanen die zich uitstrekken van Wijk bij Duurstede westwaarts tot Woerden en noordwaarts tot Breukelen. Al die landgoederen hebben gemeen dat ze:

- liggen op deels kalkhoudende kleiige en zandige rivierafzettingen, afgezet door de Kromme Rijn, Oude Rijn en Vecht;
- oude bomen (vaak >150 jaar) in laanstructuren en bosopstanden bevatten;
- een lange historie van continu beheer kennen.

In Amelisweerd zijn deze kenmerken bijzonder duidelijk aanwezig.

Voor Amelisweerd geldt dat er een relatief groot areaal aan gesloten bos en boslanen aanwezig is, met een groot aantal oude, dikke monumentale bomen. Tevens ligt er een groot aantal dikke dode boomstammen. Voor Amelisweerd geldt ook dat deze kenmerken voor veel mensen gemakkelijk bereikbaar en beleefbaar zijn vanwege de openbare toegankelijkheid van het gebied en de nabijheid van de stad Utrecht.

In een eerder stadium bij de formulering van het plan van aanpak Groen is besproken welke waardevolle elementen Amelisweerd kenmerken. Dat betreffen eiken/essenbos, de stinzenbeplanting en de paddenstoelen. Van deze laatste is het zo dat Amelisweerd hier in Europees verband als zeer bijzonder gezien kan worden, dus is het zeker relevant voor de omgeving. Omdat de grondwater afhankelijkheid van de laatste twee (stinzenbeplanting, paddenstoelen) geen bepalende rol speelt is gekozen om de studie Effecten Groen primair te richten op bomen (in overleg met gemeente Utrecht).

Rijkswaterstaat heeft opdracht verleend aan Deltares voor het uitvoeren van de studie 'Effecten Waardevol Groen'. Deltares voert dit project uit in samenwerking met specialisten van Wageningen Environmental Research (WEnR), Copijn Boomspecialisten B.V. en VanderSat B.V. Het doel van de studie 'Effecten Waardevol Groen' is de impact van een mogelijke verandering van de grondwaterstand/bodemvocht situatie op de waardevolle bomen en bosopstanden op de landgoederen Amelisweerd vast te stellen. Om in te kunnen schatten in welke mate (tijdelijke) veranderingen in grondwaterstanden (kunnen) leiden tot negatieve effecten voor deze bomen, is het noodzakelijk om de 'kwetsbaarheid' in beeld te brengen. Dit levert

uiteindelijk randvoorwaarden op met betrekking tot de uiteindelijke uitvoeringsmethode die door de uitvoerende aannemer toegepast zal worden.

Tijdens de formulering van het plan van aanpak 'Effecten Waardevol Groen' is besloten dat deze studie gefaseerd wordt uitgevoerd:

Fase 1: Inventarisatie en analyse beschikbare gegevens

Fase 2: Randvoorwaarden vanuit beheer-strategie Amelisweerd

- Fase 2a: Vaststellen nulsituatie en autonome ontwikkeling van het bos
- Fase 2b: Onderzoeken van de mogelijke effecten als gevolg van een ingreep op het grondwater

Fase 3: Kansencarta en monitoring Amelisweerd

Dit rapport beschrijft de resultaten van fase 2a: Vaststellen van de nulsituatie en autonome ontwikkelingen van het bos. In de conclusies en aanbevelingen in de rapportage van fase 1 (Inventarisatie en analyse van de beschikbare gegevens) is aangegeven dat met de beschikbare gegevens alleen een globale inschatting gemaakt kan worden van de kwetsbaarheid van de bomen bij een verandering van de grondwatersituatie (Van der Grift et al., 2018). Om te komen tot een betere onderbouwing is aanbevolen om aanvullende veldgegevens te verzamelen en analyseren. Om het samenspel van diverse factoren scherper te krijgen is daarom door de specialisten van WEnR en Copijn een plan uitgewerkt voor een verdiepende veldstudie. Dit is een verdiepingsslag om het verband tussen de vitaliteit en ontwikkeling van de bomen, de bodemeigenschappen en het grondwatergedrag beter in beeld te krijgen. Hierbij wordt bij een aantal referentiebomen uitgebreid gekeken naar boven- en ondergrondse boomparameters, bodemeigenschappen met een focus op de rol van het grondwater en diverse omgevingsfactoren. In aanvulling hierop is per boom een jaarringanalyse uitgevoerd en worden de meetreeksen van het grondwatermeetnet in Amelisweerd geanalyseerd. Met de verkregen resultaten kunnen causale verbanden gelegd worden tussen de ontwikkeling van de bomen, de invloed van de verschillende omgevingsfactoren en de gevolgen van een verandering in de grondwatersituatie.

1.2 Doel

Het primaire doel van deze studie is inzicht te verkrijgen in de nul situatie en autonome ontwikkelingen binnen het bos Amelisweerd. De achterliggende vraag is in hoeverre risico's kunnen ontstaan wanneer door de geplande verbreding van de A27 in deze zone de grondwatersituatie tijdelijk verandert. Door deze vraag goed onderbouwd te beantwoorden, kunnen eisen en randvoorwaarden betreffende de realisatie van het project geformuleerd worden en als eisen aan het contract toegevoegd worden.

In het kader van de geplande ontwikkelingen dient daarnaast gekeken te worden naar de ontwikkelingen die zich bij de bomen voordoen zonder de impact van de geplande verbreding van de A27. Om dit doel te bereiken wordt beoogd om antwoorden te krijgen op de volgende vragen:

- Welke relatie er bestaat tussen de bodemopbouw en capillaire nalevering vanuit de ondergrond: wanneer is de grondwaterstand zo laag ten opzichte van de bewortelde zone, dat nalevering vanuit de ondergrond niet meer plaatsvindt en er droogteschade aan de boom kan optreden?
- Wat is de langjarige groeistatus van de bomen?
- Zijn er in het verleden abrupte veranderingen in het groeivolume van bomen opgetreden wat kan duiden op invloed van veranderingen in het grondwatervolume begin van de jaren 80 (aanleg van de A27) en eind jaren 90 (aanpassing grondwaterstanden)?

- Wat is de actuele groeistatus van de onderzochte bomen, d.w.z. of er aanwijzingen zijn voor recente vitaliteitsvermindering door – voor es – de essentaksterfte of andere, niet verder bekende oorzaken?
- Kan m.b.v. klimaat-groei analyses worden aangetoond dat specifieke klimaatcondities tot mogelijke versterking van het effect van grondwaterstandsveranderingen kunnen leiden?

De opzet en resultaten van de verdiepingsslag waarin bovenstaande vragen worden geadresseerd is uitgebreid gerapporteerd in Clerx et al. (2018). Het voorliggende rapport geeft een samenvatting van de resultaten van de verschillende deelonderzoeken in de verdiepingsslag en een beschrijving van de nul situatie en autonome ontwikkeling van het bos op basis van de resultaten van de verdiepingsslag.

2 Methode

In de zomer van 2018 is een onderzoek bestaande uit verschillende deelonderzoeken in bos Amelisweerd uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen de groei en ontwikkeling van de bomen, de samenstelling en opbouw van de bodem, het grondwatergedrag en overige omgevingsfactoren. De deelonderzoeken betreffen: 1) de bodem; 2) het grondwater; 3) de vitaliteit en groeiontwikkeling van de bomen en 4) een jaarringonderzoek.

Er zijn 25 bomen in het Markiezenbos op Nieuw Amelisweerd en 6 bomen in het Trapeziumbos op Oud Amelisweerd geselecteerd voor nader onderzoek. Het onderzoek is gericht op drie soorten: beuk (*Fagus sylvatica*), gewone es (*Fraxinus excelsior*) en zomereik (*Quercus robur*). Dit zijn de hoofdboomsoorten in het Markiezenbos en Trapeziumbos, die al vele decennia gericht aangeplant en beheerd worden. Bij de selectie van de bomen is gestratificeerd naar grondwatertrap (Gt VII versus natter), de conditie (vitaal versus niet-vitaal), indien van toepassing naar leeftijd (oud versus jonger). Het Markiezenbos wordt gezien als het meest kwetsbare deel van Amelisweerd gezien de ligging langs de A27 waar de wegaanpassing is gepland. Om eventuele andere invloeden dan grondwaterstandsveranderingen als gevolg van de aanleg van de A27 uit te sluiten als oorzaak van (ongewenste) effecten, is het Trapeziumbos op Oud Amelisweerd aangewezen als referentiegebied. Er is hierbij van uitgegaan dat de Kromme Rijn zal werken als een soort waterscheiding als het gaat over de effecten van grondwaterstandsveranderingen door de aanlegwerkzaamheden.

De ligging van de bomen en de peilbuizen in het Markiezenbos waarop het onderzoek is gebaseerd is weergegeven in Figuur 2.1.

Bodem

Tijdens het veldwerk is per boom een profielsleuf gegraven om bodemeigenschappen te karteren met een focus op de rol van het grondwater en diverse omgevingsfactoren. De belangrijkste kenmerken van de profielen zijn opgenomen in een database, waarna de kritieke z-afstand (Zk) en vochtleverend vermogen zijn afgeleid. De kritieke z-afstand is de maximale afstand tussen het grondwater en de onderkant van de effectieve wortelzone, waarover een flux van 2 mm/dag nog net mogelijk is. Wanneer de afstand tussen de bewortelde zone en de actuele grondwaterstand groter wordt dan de berekende Zk, is de kans op verdroging reëel. Andersom geldt, dat wanneer de stand van het grondwater ondieper is dan de dikte van de effectieve wortelzone en de kritieke z-afstand samen er nauwelijks vochttekorten aan de bomen zullen optreden. De Zk is berekend op basis van het bodemprofiel en dus gebaseerd op algemene kenmerken. De Zk-waarden zijn dus niet daadwerkelijk gemeten en getoetst.

Grondwater

Begin 2018 zijn diverse peilbuizen geplaatst in en rondom het Markiezenbos in Amelisweerd (Figuur 2.1). In deze peilbuizen wordt continu de grondwaterstand gemeten. De meetreeksen zijn gebruikt om het verloop van de grondwaterstanden te duiden en een vergelijking te maken tussen de laagste gemeten grondwaterstand en de kritische grondwaterstand voor de vochtvoorziening.

Vitaliteit en groeiontwikkeling bomen

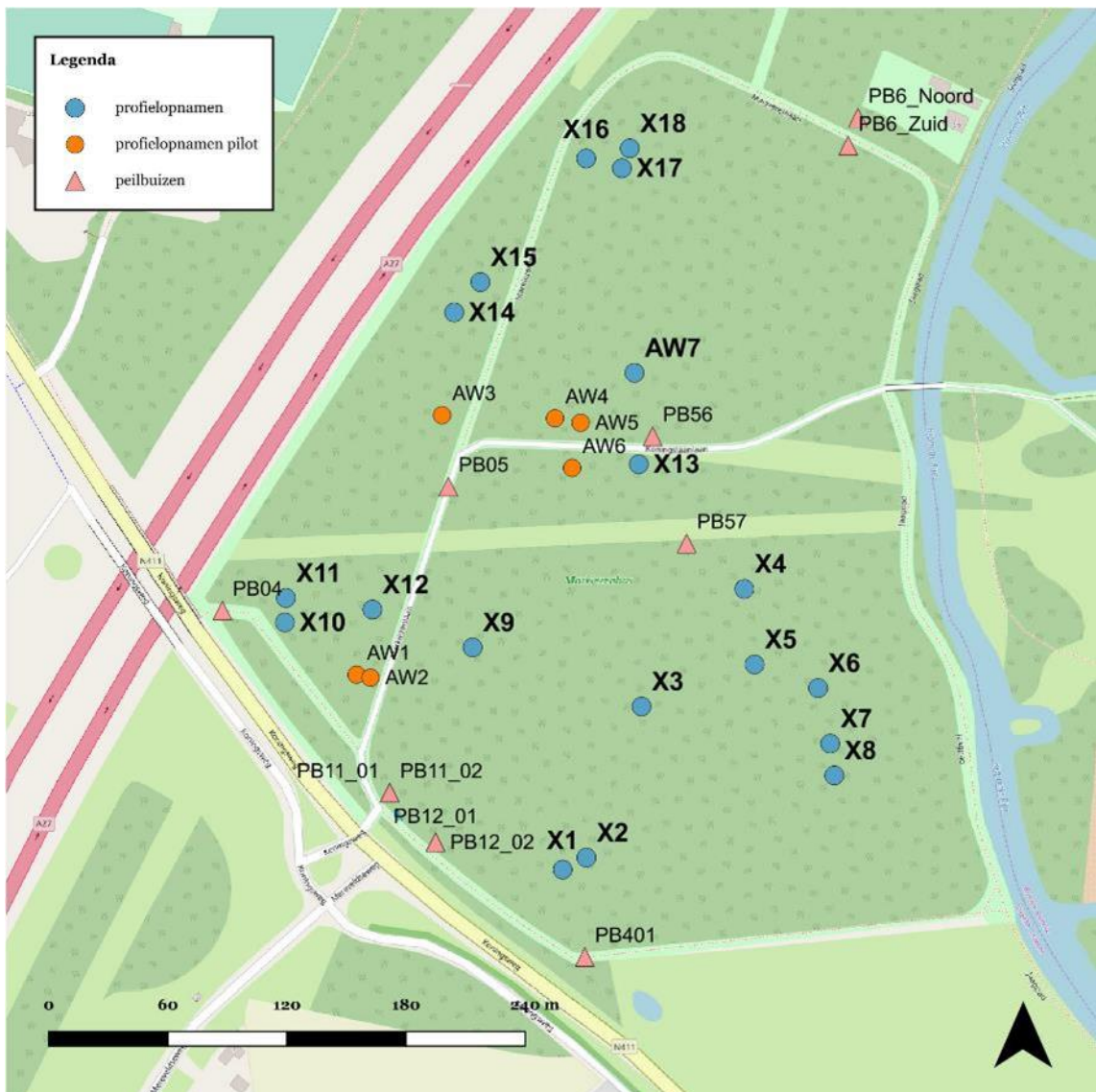
Van elke boom binnen de onderzochte selectie zijn in het veld verschillende boomtechnische parameters opgenomen, waaronder afmetingen (stamdikte, boomhoogte, kroondiameter, hoogte van de onderste primaire en secundaire kroontakken) en de conditie. Daarnaast is gekeken naar gebreken en aantastingen of symptomen hiervan, die een rol zouden kunnen

spelen bij de ontwikkeling van de boom. Uit al deze variabelen tezamen wordt de vitaliteit van de boom afgeleid.

Op basis van het huidige totaalbeeld zijn vervolgens conclusies getrokken wat betreft het functioneren van de boom in de laatste jaren tot enkele decennia.

Jaarringonderzoek

Per boom is een jaarringanalyse uitgevoerd. De jaarringreeks van een boom bevat informatie over de leeftijd en de groeidynamiek van een boom. De gemiddelde breedte van de jaarringen zegt iets over het groeiniveau van een boom en de groeidynamiek beschrijft de veranderingen van de groeiactiviteit over de tijd. Het groeiniveau van een boom verandert geleidelijk met toenemende stamdiameter (leeftijdstrend); abrupte veranderingen van het groeiniveau (meerjarige groeidepressies of groeisurten) duiden op veranderingen in omgevingscondities (veranderingen in grondwaterstanden of vrijstelling) die invloed hebben op de algehele vitaliteit van de bomen. Daarnaast varieert de jaarringbreedte van jaar tot jaar afhankelijk van jaarlijks wisselende groeiomstandigheden, die voornamelijk gelinkt zijn aan klimaatfactoren (bijvoorbeeld droge zomers). De invloed van klimaatfactoren (temperatuur, neerslag) varieert afhankelijk van de specifieke standplaatscondities, maar ook tussen boomsoorten afhankelijk van onder andere soort specifieke eigenschappen, zoals tijdstip van uitlopen, wortel morfologie etc. Klimaat-groei relaties van boomsoorten op een standplaats bevatten informatie over groei-limiterende klimaatfactoren. Deze informatie kan relevant zijn om de gevoeligheid van boomsoorten tegenover veranderingen in klimaatfactoren maar ook standplaatsfactoren, in dit geval veranderingen in waterbeschikbaarheid, in te schatten.



Figuur 2.1 Ligging van peilbuizen (driehoekjes) en geselecteerde bomen met profielopnamen uit de pilot (oranje) en aanvullende opnamen (blauw) in het Markiezenbos. Kaart ondergrond: Openstreetmap.org.

3 Resultaten deelonderzoeken

3.1 Bodem

In het algemeen is de profielopbouw vanaf maaiveld een overgang van lichte klei in de bovengrond naar zware klei in de ondergrond, waaronder weer een zandlaag ligt. De bovengrondtextuur kan verschillen van zware zavel tot zware klei, met een enkele ophoging of bijmenging met zand aan maaiveld. De kleilagen waren op sommige locaties zo zwaar en compact dat het zelfs met een graafmachine moeilijk was om de grond laagsgewijs naar de diepte toe af te schrapen.

De zwaardere kleilaag kan zeer stagnerend werken voor vocht/regenwater van bovenaf, maar ook een belemmering zijn voor de wortels. Deze zwaardere kleilaag is niet overal duidelijk aangetroffen.

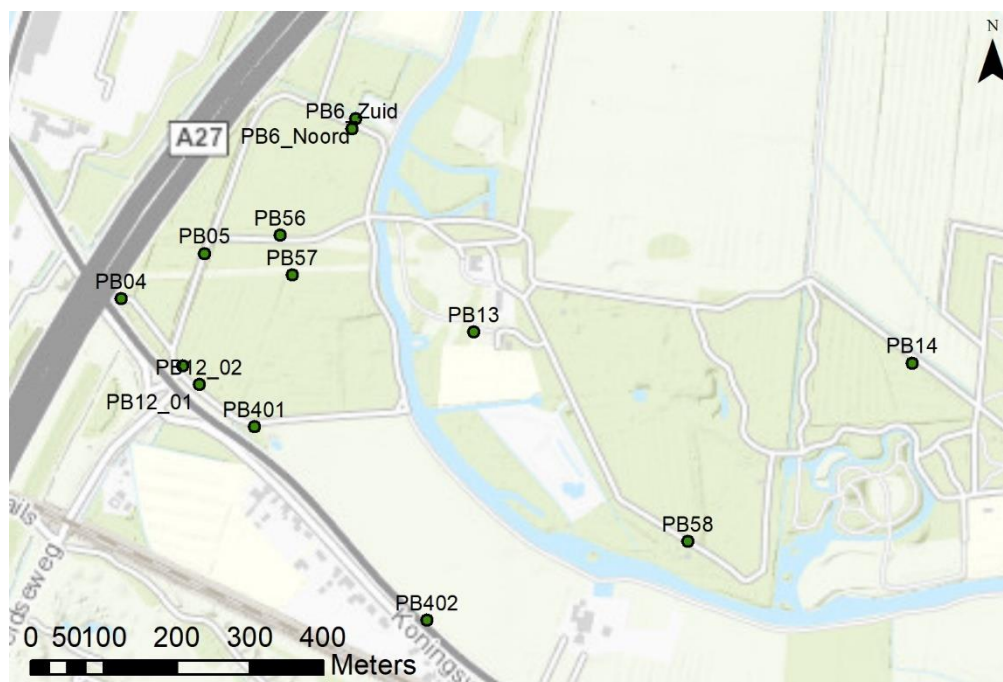
Uit kuilen die op kleine afstand (soms minder dan 20 m) van elkaar liggen, komt relatief grote variatie voor in de begin- en einddiepte van de verschillende textuurlagen. Hieruit moet worden vastgesteld dat de bodemopbouw in Amelisweerd op kleine schaal een grote variatie vertoont.

In de meeste profielen is (grof) zand in de ondergrond aangetroffen. Soms is de zandlaag leemhoudend. De begindiepte van de zandlaag varieert sterk, van 72 cm-mv tot 180 cm-mv. Gemiddeld ligt de begindiepte van de zandlaag in het Trapeziumbos dieper (146 cm-mv) dan in het Markiezenbos (105 cm-mv). De diepte waarop de kalkhoudende laag zich bevindt, varieert van 20 cm-mv tot dieper dan de onderkant van de profielkuil.

De kritieke z-afstand (Z_k) varieert sterk met de profielopbouw en de diepte van de GLG. Het Markiezenbos heeft gemiddeld een grotere kritieke z-afstand dan het Trapeziumbos (respectievelijk 115 en 67 cm).

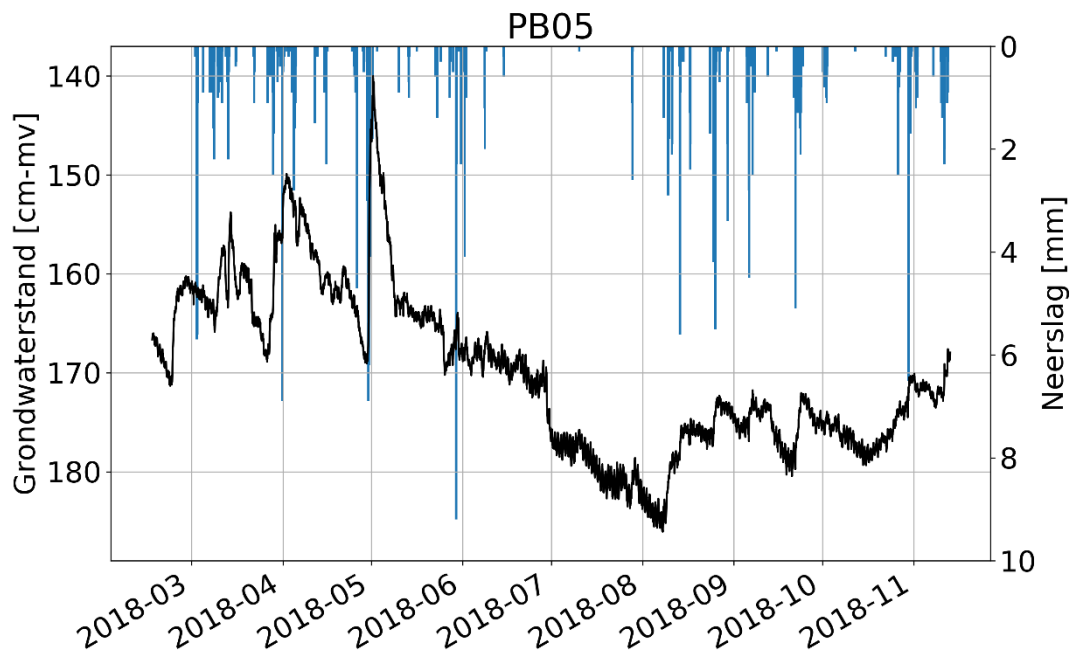
3.2 Grondwater

Begin 2018 zijn diverse peilbuizen geplaatst in en rondom het Markiezenbos in Amelisweerd voor het monitoren van grondwaterstanden (Figuur 3.1 en Tabel 3.1). De grondwatermeetreeksen van het monitoringsnet in Amelisweerd zijn niet in de verdiepingsslag geanalyseerd en worden daarom hieronder wat uitgebreider beschreven. De meetreeksen zijn echter te kort om aan een uitgebreide grondwatersysteemanalyse te onderwerpen.

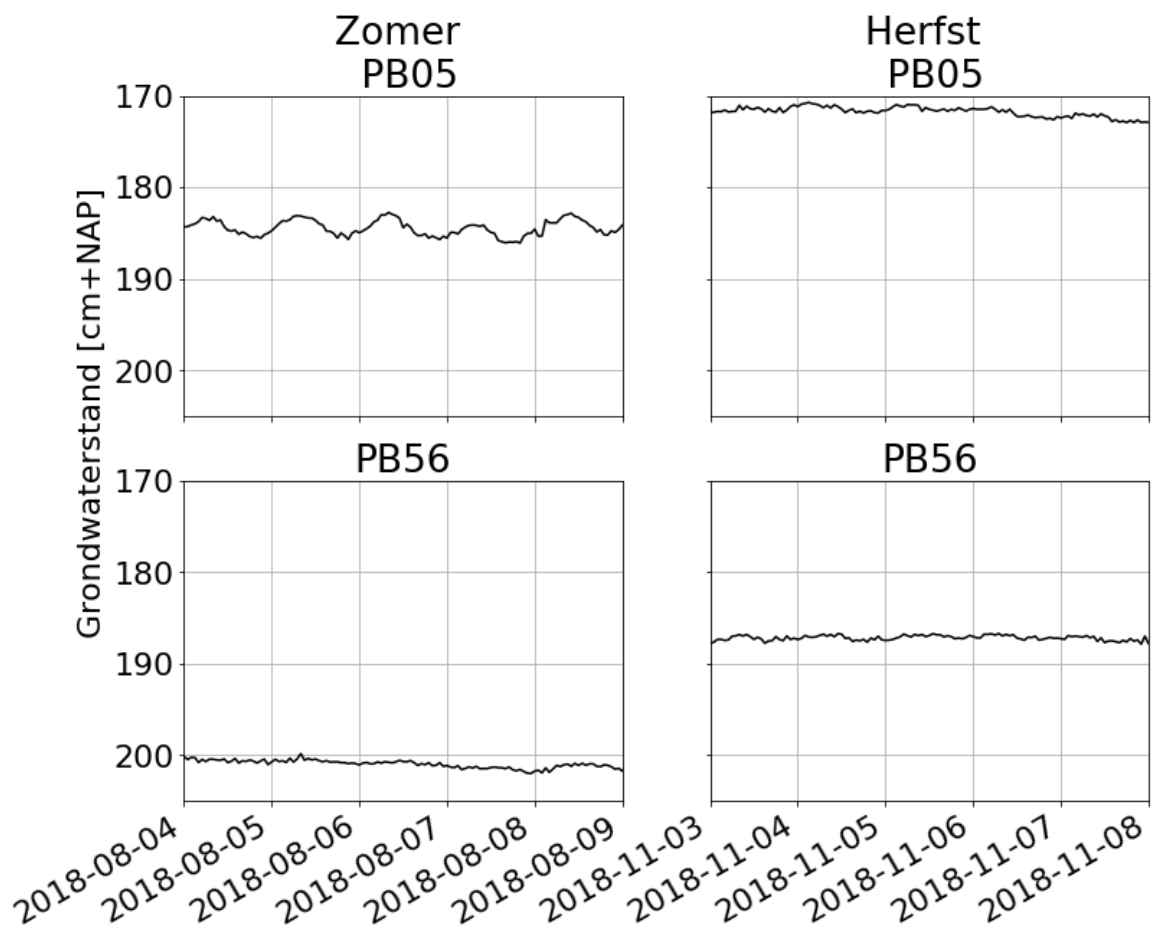


Figuur 3.1 Grondwatermonitorningsnetwerk Amelisweerd

De gemeten grondwaterstand gedurende de meetperiode (15 februari – 13 november 2018) is voor peilbuis 05 weergegeven in Figuur 3.2. De figuren voor de overige peilbuizen zijn opgenomen in Bijlage A. Voor PB05 varieert de grondwaterstand over de gehele meetperiode tussen de 140 en 186 cm beneden maaiveld. Voor het gehele monitorningsnetwerk in Amelisweerd variëren deze tussen de 59 en 203 cm beneden maaiveld. In de periode maart t/m mei schommelt de grondwaterstand grofweg rond de 110 en 185 cm onder maaiveld, met pieken tot maximaal 59 cm beneden maaiveld als gevolg van neerslag. Vanaf mei zet een daling in als gevolg van de droge zomer, met maximale grondwaterdiepten rond de 202 cm beneden maaiveld (PB56). Opvallend is dat neerslag rond eind mei/begin juni geen reactie lijkt te hebben op de grondwaterstanden. Mogelijk was deze neerslag zeer lokaal en nagenoeg afwezig in Amelisweerd of werd deze volledig opgenomen door de vegetatie. Vanaf half augustus herstelt het grondwaterniveau zich enigszins, maar blijft relatief laag tot het einde van de gemeten periode. De grondwatermetingen hebben een dagelijkse variatie zoals te zien is voor PB05 in Figuur 3.3.



Figuur 3.2 Verloop grondwaterstand en neerslag PB05



Figuur 3.3 Verloop grondwaterstand in PB05 en PB56 in augustus en november 2018

De ondiepe peilbuizen PB11_01, PB12_01 en PB401 stonden droog gedurende de meetperiode en zijn niet meegenomen in de analyse. Opvallend is de extreme reactie op neerslag bij Peilbuis PB402, buiten het Markiezenbos gelegen. Hier stijgt het grondwater begin mei met meer dan 80 cm na een bui. Doordat deze peilbuis in een greppel langs de Koningsweg ligt (zie Figuur 3.1) stroomt er mogelijk water richting de peilbuis bij extreme neerslag.

De iets diepere filters PB11_02 en PB12_02 laten geen afwijkend beeld zien ten opzichte van de ondiepere filters. Aangezien er geen water scheidende lagen boven deze filters aanwezig zijn, is dit conform verwachting.

De gemiddelde variatie tussen de hoogste en laagste grondwaterstand in 2018 was 49 cm. Dit komt overeen met de gemiddelde langjarige dynamiek in grondwatermeetreeksen in het gebied (Van der Griff et al., 2018). Deze 49 cm lijkt relatief gering gezien de extreem droge omstandigheden in de zomer van 2018. Ter vergelijking: de dynamiek in een grondwatermeetreeks in het oosten van Nederland over dezelfde periode bedroeg meer dan 150 cm.

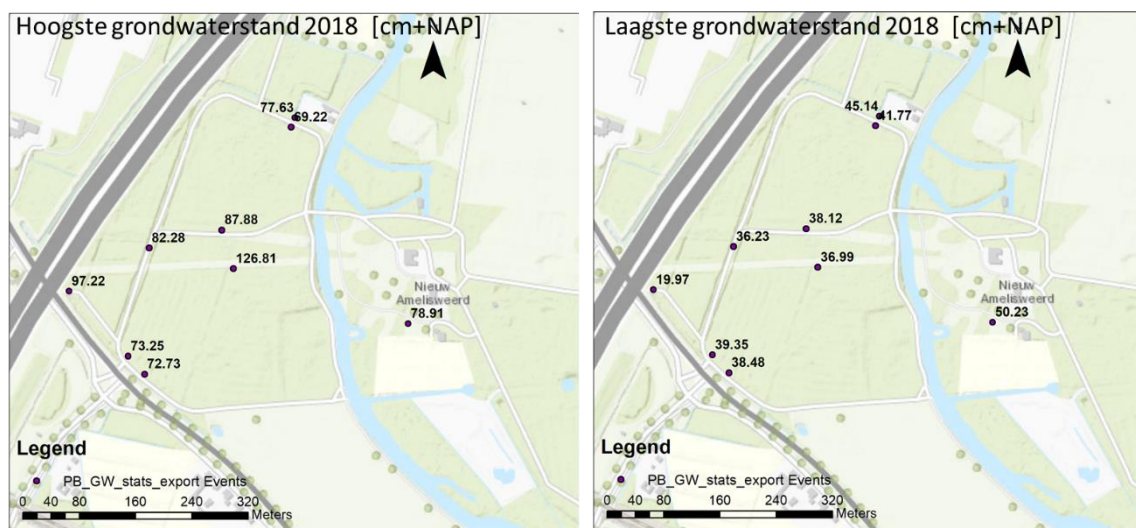
Tabel 3.1 Peilbuizen in het Markiezenbos en statistieken van de gemeten grondwaterstanden in 2018.

Naam peilbuis	Diepte onderkant filter		Grondwaterstanden				
	[cm+NAP]	[cm-mv]	Gemiddeld [cm-mv]	Mediaan [cm-mv]	Hoogst (HG) [cm-mv]	Laagst (LG) [cm-mv]	Variatie (HG-LG) [cm]
PB04	5	190.6	148.5	156.2	98.4	175.6	77.3
PB05	-7	229.3	169.8	170.3	140.0	186.1	46.1
PB11_01	112	129.4	126.3	126.3	124.9	128.3	3.4
PB11_02	-172	414.1	190.0	191.3	168.9	202.8	33.9
PB12_01	159	81.7	79.2	79.2	77.7	80.9	3.2
PB12_02	-124	364.7	189.2	190.3	168.0	202.2	34.3
PB13	14	170.9	121.9	122.0	106.0	134.7	28.7
PB14	15	179.1	136.5	137.6	116.1	151.2	35.0
PB401	67	132.1	129.9	129.9	126.8	132.6	5.8
PB402	-10	232.4	176.5	187.9	100.3	200.5	100.3
PB56	26	214.1	184.5	186.6	152.2	202.0	49.8
PB57	1	184.5	128.5	132.6	58.7	148.5	89.8
PB58	2	197.3	143.9	145.3	123.9	159.2	35.3
PB6_Noord	3	170	115.5	115.8	95.4	127.9	32.5
PB6_Zuid	6	176.9	129.0	128.7	113.7	141.1	27.4

3.2.1 Beschrijving grondwatersysteem Markiezenbos

De maaiveldhoogte in het Markiezenbos kent enige variatie. Het maaiveld aan de oostkant ligt rond de 1,57 tot 1,83 m + NAP en de westkant ligt hoger tussen de 2,01 en 2,41 m + NAP. De bodem bestaat uit een kleiige bovenlaag van 0,1 tot 1,55 m dik met daaronder een zandpakket (bovenkant zandpakket op 0,29 tot 2,31 m + NAP, gemiddeld 1,26 m + NAP,). De kleiige bovenlaag is op sommige plekken erg dun en/of zandig, maar lokaal zeer compact, waardoor water lokaal moeilijk kan infiltreren.

De maximale gemeten grondwaterstand in het Markiezenbos in 2018 bevond zich overwegend tussen 0,7 en 1,0 m+NAP (Figuur 3.4), op de meeste plekken in de zandlaag, dus onder de onderkant van de kleiige bovenlaag. In peilbuis PB57 was de maximale grondwaterstand het hoogst: 1,3 m+NAP. De laagst gemeten grondwaterstand in de droge zomer van 2018, bevond zich rond de 0,4 m+NAP. De laagste meting in peilbuis PB04 direct langs de A27 in het westen lag op 0,2 m+NAP en in de peilbuizen rond de Kromme Rijn in het oosten hoger tussen de 0,4 en 0,5 m+NAP. Het peil in de Kromme Rijn op het moment van de laagst gemeten grondwaterstanden begin augustus was ongeveer 0,53 m boven NAP. Gedurende de droge periode afgelopen zomer was het peil van de Kromme Rijn dus hoger dan de grondwaterstand. Ook neemt de grondwaterstand in het Markiezenbos af met een toename van de afstand tot de Kromme Rijn. Dit duidt erop dat er in de zomer infiltratie van water vanuit de Kromme Rijn kan plaatsvinden. De mate waarin dit optreedt en de daling van de grondwaterstand gebufferd wordt hangt sterk af van de bodemweerstand tegen infiltratie onder invloed van aanwezig slib e.d. Ook de interactie met het eerste watervoerend pakket is een belangrijke factor bij de verandering van ondiepe grondwaterstanden.



Figuur 3.4 Hoogste en laagste gemeten grondwaterstand in het Markiezenbos in 2018. Het hoogste peil in de Kromme Rijn in 2018 is 0,78 cm+NAP en het laagste peil was 0,53 cm+NAP.

In de rapportage van fase 1 van de studie A27 Effecten Waardevol Groen is beschreven dat er halverwege de jaren '90 een peilverandering voor de Kromme Rijn is geweest waarbij het zomerpeil van 0,45 m+NAP is afgeschaft. Vanaf dan is het streef peil gedurende het gehele jaar 0,58 m+NAP geworden (Van der Grift et al., 2018). Deze peilverhoging is niet teruggevonden in de beschikbare meetreeksen met grondwaterstanden. Dit lijkt in tegenspraak met de observatie zoals hierboven beschreven waarbij de grondwaterstand in het Markiezenbos beïnvloedt wordt door de Kromme Rijn. Het ontbreken van trendmatige veranderingen in grondwaterstand als gevolg van deze peilverhoging kan mogelijk ook verklaard worden door het ontbreken van een geschikte grondwatermeetreeks waarin dit terug gezien kan worden. Twee peilbuizen met meetreeksen over deze periode liggen beide op een behoorlijke afstand van de Kromme Rijn.

Naast de invloed van de Kromme Rijn wordt het grondwatersysteem in het Markiezenbos gebufferd door toestroom van grondwater dat geïnfiltreerd is op de Utrechtse Heuvelrug. Alhoewel Amelisseweerd niet gekarakteriseerd kan worden als een kwelgebied kan de voeding met regionaal grondwater er wel voor zorgen dat de grondwaterstand niet te ver uitzakt.

De grondwatermetingen hebben een dagelijkse variatie zoals te zien is voor PB05 in Figuur 3.3. De dagelijkse variatie komt voor in de zomer, waarbij de grondwaterstanden ongeveer 2,5 cm dalen gedurende de dag en 2,5 cm stijgen gedurende de nacht. Dit wordt veroorzaakt door verdamping van het bos. De verdamping vindt plaats overdag, terwijl de bomen 's nachts niet verdampen, en de grondwaterstanden zich herstellen. In de herfst stopt deze verdamping, en Figuur 3.3 laat dan ook zien dat de dagelijkse variatie (bijna) niet meer voor komt. Het feit dat ook in de droge periode met de laagste grondwaterstanden de dagelijkse variatie nog te zien is, geeft aan dat het grondwater dan nog steeds beschikbaar is voor verdamping. Voor PB56, welke een iets diepere grondwaterstand heeft, is deze dagelijkse variatie niet te zien, waarschijnlijk vindt hier ofwel geen significante verdamping vanuit het grondwater plaats, of wordt het grondwater sneller aangevoerd.

De relatief geringe afname van de grondwaterstanden in de zomer van 2018, de grondwaterstanden ten opzichte van de Kromme Rijn en de dagelijkse variatie in grondwaterstanden duiden erop dat het grondwatersysteem relatief goed gebufferd is. Mogelijk door aanvoer van regionaal kwelwater en oeverinfiltratie vanuit de Kromme Rijn.

3.3 Conditie en groeiontwikkeling onderzochte bomen

De meeste onderzochte bomen vallen qua conditie binnen de categorieën goed en voldoende. Slechts enkele exemplaren zijn ingedeeld binnen de categorie matig. Aangezien er enkele exemplaren zijn waar het conditiebeeld onderin en in het midden van de kroon anders is dan in de bovenkroon, is in die gevallen ervoor gekozen om met een tussencategorie (voldoende tot matig) te werken.

Dit conditiebeeld is representatief voor grote delen van de onderzochte zones binnen het onderzochte Markiezenbos en het Trapeziumbos.

Verder wordt wat betreft de resultaten van dit deelonderzoek en de hieruit voortkomende conclusies verwezen naar Clerkx et al. (2018).



Foto links: jonge beuk met goede groei en conditie (boom 4).

Foto rechts: bij deze zware eik (boom 15) is de conditie voldoende tot matig. De boom is niet in staat om met zijn kroon de beschikbare ruimte volledig te benutten, wat mede samenhangt met in het verleden uitgebroken hoofdtakken.

3.4 Jaarringonderzoek

Analyse van de korte en lange termijn groeidynamiek van eiken, essen en beuken in het Mar-kiezenbos en Trapeziumbos in Amelisweerd laat geen verband zien met de verlaging van grondwaterstanden in de jaren 1980 of de verhoging van het peil in de Kromme Rijn eind jaren 1990 (Figuur 3.5). De jaarringpatronen van alle onderzochte bomen wijzen niet op een verlaagde vitaliteitsstatus in de laatste decennia of jaren. De groeipatronen van de onderzochte bomen variëren sterk, wat veroorzaakt is door verschillen in leeftijd, maar ook in micro-standplaats omstandigheden, zoals ook blijkt uit de profielbeschrijvingen die aantonen dat zowel de bodemstructuur als de diepte van het grondwater op korte afstand sterk variëren.

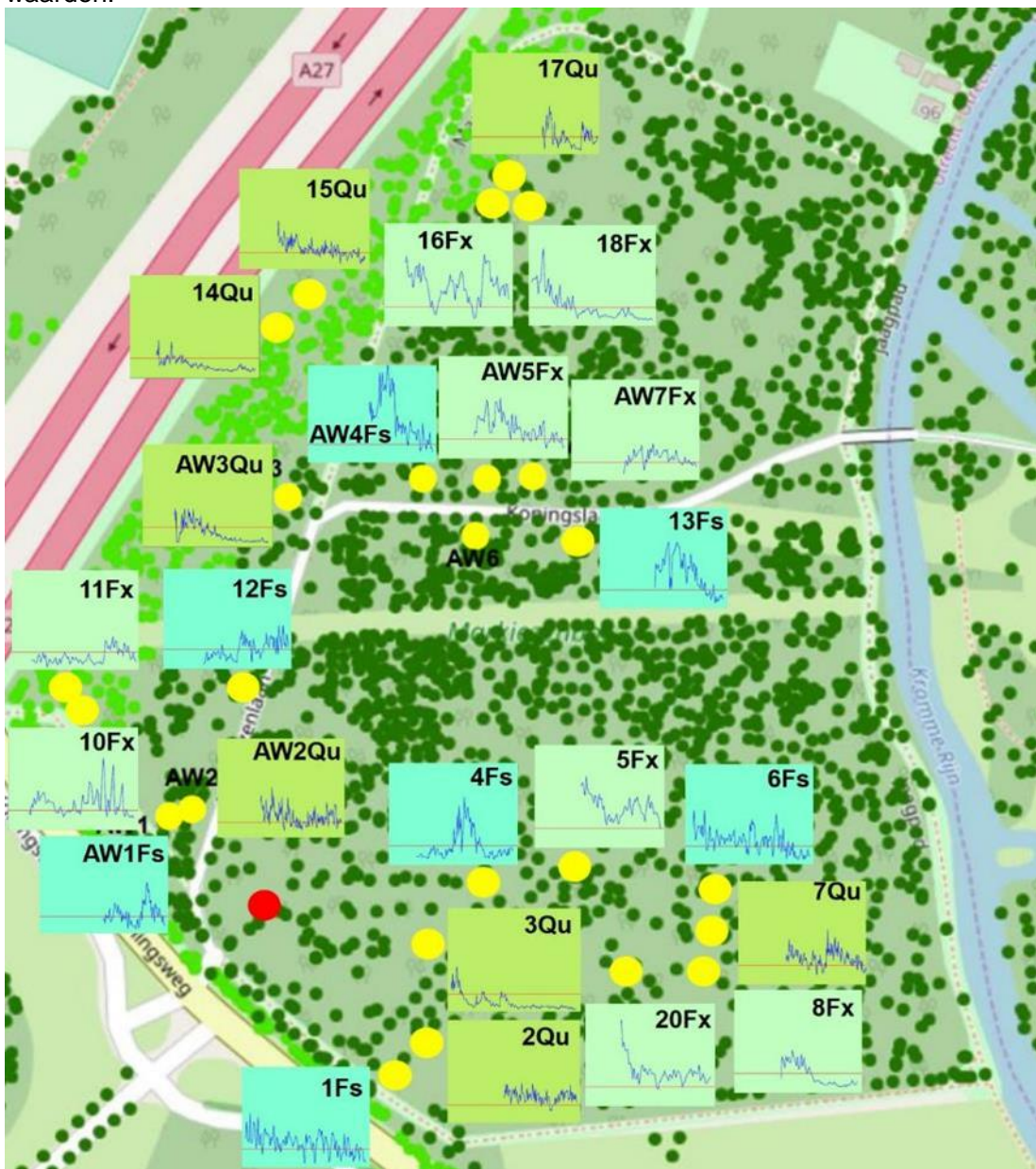
De groei van de drie onderzochte boomsoorten is beïnvloed door jaarlijks wisselende weersomstandigheden. De drie soorten variëren in klimaat-groei relaties, maar laten allen een sterk effect van droogtejaren (jaren met weinig neerslag tijdens het groeiseizoen) op de groei zien. De onderzochte bomen hebben in het verleden geen negatieve groeireactie op bekende grondwaterdaling bij de aanleg van de A27 begin jaren 1980 en de peilverhoging van de Kromme Rijn eind jaren 1990 laten zien. Dit duidt op plasticiteit van de onderzochte bomen in reactie op veranderende groeiomstandigheden.

Op basis van deze resultaten kan de volgende inschatting worden gemaakt over een mogelijke (groei)reactie van de drie boomsoorten op toekomstige (kunstmatige) veranderingen in het grondwaterniveau. De bomen reageren plastisch op verlaging in het grondwaterniveau, verondersteld dat het niveau van verlaging in de orde van grootte ligt zoals in het verleden is gebeurd. Het onderzoek heeft echter ook laten zien dat alle drie soorten gevoelig zijn voor

jaren met zeer droge condities tijdens het groeiseizoen. Op basis van dit onderzoek kan geen uitspraak worden gedaan over wat de consequentie is van een gecombineerd effect van grondwaterverlaging met één of zelfs meerdere droge jaren. De grondwaterdalingen in het verleden gingen niet gepaard met droogtejaren.

Op basis van deze conclusie wordt aanbevolen om het effect van de geplande grondwaterverlaging nauwkeurig te monitoren. Daarbij zou naast monitoren middels peilbuizen en vochtsensoren ook het effect op de bomen direct (in real-time met dendrometers en sapflow meters) gemeten kunnen worden.

Met betrekking tot de leeftijd van de bomen kan worden vastgesteld dat de plantjaren in het Gemeentelijk bestand te ver uiteen liggen met de werkelijk gemeten (of geëxtrapoleerde) waarden.



Figuur 3.5 Jaarringpatronen van 18 bomen in het Markiezenbos, Amelisweerd (Fx= es, FS=beuk, Qu= eik); bron kaart: Pilot verdiepingsslag vitaliteit bomen i.r.t. bodem en grondwater (Clerkx et al., (2018).

4 Nul situatie en autonome ontwikkelingen binnen bos Amelisweerd

De autonome ontwikkelingen in Amelisweerd kunnen worden afgeleid uit de groei-ontwikkeling van de bomen in de afgelopen decennia tot heden en uit de resultaten van de verschillende deelonderzoeken en waarnemingen. Hierbij is vooral naar het Markiezenbos gekeken omdat dit bos direct naast de A27 ligt en hier dus de grootste effecten van de werkzaamheden verwacht kunnen worden.

Hieronder worden enkele van deze autonome ontwikkelingen nader beschreven voor het Markiezenbos waar tijdens het onderzoek de meeste opnamen zijn gemaakt. Naar verwachting gelden de uit het onderzoek getrokken conclusies ook voor het Trapeziumbos ten oosten van de Kromme Rijn. Om dit te valideren zouden in dit deel van het bos echter meer waarnemingen gemaakt moeten worden. De beschrijving van de autonome bosontwikkeling in deze paragraaf beperkt zich daarom tot het Markiezenbos.

4.1 Markiezenbos

Het Markiezenbos wordt gedomineerd door (zomer)eik, beuk en gewone es. De leeftijd van deze soorten loopt sterk uiteen. De ontstaansgeschiedenis van het huidige bos voert tot ongeveer 1800 toen het landgoed volledig werd heringericht (Van Wirdum 1981). Een deel van de oudste eiken is mogelijk van daarvóór (bomen van circa 1790 zijn aangeboord). Volgens cultuurhistorisch onderzoek zijn ook de eerste beuken aan het begin van de 19^{de} eeuw ingebracht (Maes, 2009), maar over het algemeen zijn de beuken iets jonger dan de eiken (deze studie). De es is in het noordelijke deel al langere tijd aanwezig als hakhout en spaartelgen. De oudste stoven stammen waarschijnlijk uit de 18^{de} eeuw (Maes, 2009). In het begin van de 19^{de}, maar vooral in 20^{ste} eeuw is in het Markiezenbos ook es als opgaande boomsoort aangeplant. Restanten van een groter bestand van Ruwe iepen komen verspreid voor en ook zoete kers, gewone esdoorn. Populier en haagbeuk komen in kleinere aantallen voor.

4.1.1 De rol van eik en beuk

Grote eiken horen bij de meest imposante en dominante bomen in het Markiezenbos. De grote en vol uitgegroeide exemplaren behoren tot de oudste bomen van het bos. Her en der vallen eiken van dit formaat uit, maar veel exemplaren hebben nog steeds een hoge toekomstverwachting en kunnen nog decennia lang een rol binnen het bos vervullen.

In de onderlaag van het bos komen echter amper eiken voor. Er zijn bijna geen verjonging en zaailingen aangetroffen. Mogelijk kiemt de eik op deze gronden slecht. In het Markiezenbos staan op diverse plaatsen grote eiken met kleine kroon en vrij slanke stammen. Deze bomen bleken bij de jaarringanalyse veel ouder te zijn dan hun stamdiameter deed vermoeden. Dit zijn bomen die langzaam groeien, waarschijnlijk onderdrukt door hun beter groeiende buren en bij eventuele vrijgekomen ruimte door het wegvallen van een grote boom in de buurt, (nog) niet met betere groei konden reageren.

Hoewel beuk in voldoende mate zal zijn aangeplant, is ook zijn concurrerende vermogen reden voor de dominante positie in het Markiezenbos. Door het wegvallen van veel essen en de afnemende rol van de eik ontstaat nog meer ruimte voor de beuk. Diverse zeer grote beuken met leeftijden oplopend tot meer dan 150 jaar heersen in hun omgeving. Ook in de wat dichtere opstanden lukt het de jongere beuken om door te groeien tot in het kronendak en hier een toenemende rol te spelen (mede heersend). Het enige aandachtspunt bij beuk is een zekere droogtegevoeligheid (Kunz et al. 2018). Deze uit zich in verminderde groeiprestaties

wanneer er lange droogteperiodes zijn in het eerste deel van het groeiseizoen (mei tot juli). Uit de analyses blijkt echter ook dat de beuk zich in de jaren daarna weer kan herstellen, wanneer de klimaatcondities weer genormaliseerd zijn.

4.1.2 De rol van andere boomsoorten

Gewone esdoorn komt vooral in het westelijke deel van het Markiezenbos veel voor. Esdoorn zaait zich sterk uit in zones waar grote bomen wegvallen en voldoende licht beschikbaar komt.

In de nattere delen van het Markiezenbos zijn in het verleden ook populieren geplant (1960). Van deze beplantingen staan er nog diverse exemplaren in verschillende zones van het bos, zoals in het centrale deel van het Markiezenbos. Deze natte plek wordt niet zo zeer gevormd door hoge grondwaterstanden, maar meer door stagnatie van regenwater op een zeer compacte kleilaag die vrij ondiep begint. De populier is echter ook op z'n retour in het bos.

In de struiklaag is de gewone vogelkers (*Prunus padus*) veruit de meest voorkomende soort en slaat sinds een paar jaar massaal op waar essen zijn afgestorven als gevolg van essentaksterfte. De vogelkers staat in veel zones zo dicht dat het bos hier nagenoeg ondoordringbaar is geworden.

4.1.3 Essentaksterfte en andere aantastingen

De essentaksterfte heeft in de afgelopen jaren tot uitval van een aanzienlijk aantal essen in het Markiezenbos geleid. Het betreft een ziekte die in Nederland pas enkele jaren geleden vanuit Noordoost Europa binnenkwam in voor het eerst in 2010 is vastgesteld in Nederland. Binnen haar beheer velt de gemeente de exemplaren die afgestorven zijn of als gevolg van de aantasting risico's kunnen veroorzaken voor de bezoekers van het bos.

Het is niet te verwachten dat de ziektedruk in de komende tijd omlaag gaat. Op het moment van dit schrijven zijn niet alle bomen aangetast. Onduidelijk is in hoeverre dit alsnog gaat plaatsvinden. Voor de essentaksterfte is er tot nu toe geen remedie of behandeling.

De es zal hierdoor haar rol als hoofdboomsoort binnen het bos gedeeltelijk kwijtraken. In zones waar afstervende essen in een gemengde opstand staan, zullen de bomen van andere soorten de vrijkomende ruimte in beslag nemen. Dit is voor een deel door uitbreiding van naburige volwassen bomen. In zones met voornamelijk es kunnen grotere gaten in het bos ontstaan, die niet volledig dichtgroeien door de naburige bomen. Hier zal natuurlijke en spontane verjonging optreden, van onder andere Vogelkers (*Prunus padus*), tenzij de beheerder hier gerichte herplanting uitvoert. Vogelkers kan zo op termijn ontwikkelen tot een tweede boomlaag onder beuk, es en esdoorn. Dit is een bekend verschijnsel in bossen op rijke kleigronden. Ook hazelaar en meidoorn profiteren hier mee. De vogelkers biedt wel ruimte voor beuk en esdoorn om zich te vestigen en op termijn de eerste boomlaag te vormen.

Naast de essentaksterfte zijn het vooral verschillende houtparasitaire schimmels die zorgen voor aantastingen bij bomen in Amelisweerd. Uit de veldwaarnemingen blijkt dat de ziektedruk door de honingzwam hier vrij hoog is. Naar verwachting zullen regelmatig bomen conditioneel achteruitgaan of zelfs afsterven als gevolg van een aantasting door de honingzwam of een andere zwam. Dit hoort echter bij een natuurlijke bosontwikkeling en heeft qua omvang een (zeer) beperkte impact op het bos als geheel.

De iep is als boomsoort grotendeels verdwenen uit het Markiezenbos. De meeste oudere iepen zijn inmiddels afgestorven als gevolg van een aantasting door de iepziekte. Verspreid over Amelisweerd komen jonge iepen voor. De natuurlijke verjonging met zaailingen van iep

is beperkt. Ook deze jonge iepen kunnen door de iepziekte worden aangetast. Iep zal daarom een ondergeschikte rol blijven spelen.

4.2 Vernatting en verdroging

Vernatting is in delen van het bos een probleem. De grond is hier in de wintermaanden regelmatig zompig en er heersen omstandigheden die voor veel boomsoorten ongunstig zijn. Het gaat hierbij vooral op het centrale deel van het Markiezenbos waar de populier is aangeplant. Op basis van het veldonderzoek is geconstateerd dat dit waarschijnlijk het gevolg is van de zeer compacte kleilaag die op sommige plekken vrij ondiep is aangetroffen. In natte tijden stagneert regenwater op deze laag en kan niet of slechts heel langzaam naar beneden infiltreren.

Droogteverschijnselen en -schades bij bomen binnen het Markiezenbos zijn in het verleden niet gemeld of beschreven. Het jaar 2018 was echter een uitzonderlijk jaar door zijn extreem lange droogte in combinatie met hoge temperaturen gedurende de hele voorzomer en zomer. Tijdens het veldonderzoek is daarom regelmatig gekeken in hoeverre bij bomen symptomen zichtbaar worden die duiden op droogtestress. Hier zijn vanaf eind juli tot en met september de volgende zaken waargenomen:

- Bij de gewone esdoorn was verdroging van blad al vanaf juli zichtbaar. Dit betrof veel jonge en jongvolwassen zaailingen in het westelijke deel langs de A27 waar de meeste esdoorns staan. Daarnaast was dit beeld wat later en in mindere mate ook bij enkele oudere esdoorns vlakbij de ingang naar het bos en naar het Madammenlaantje te zien.
- Bij diverse volwassen beuken was te zien dat het blad in de bovenkroon vanaf augustus begon te krullen en soms qua kleur te veranderen. Hier en der lieten bomen al blad uit de bovenste kroondelen vallen terwijl de onderste kroondelen nog groen en volledig functioneel waren.
- Bij eik en es waren er geen opvallende symptomen die gerelateerd hadden kunnen worden aan droogtestress.

Dit beeld wordt ook bevestigd door de jaarringanalyse. De groei van alle drie de onderzochte boomsoorten nam alleen duidelijk af in extreme droogtejaren zoals 1959, 1976 en 1996. De groei van deze bomen herstelde in de jaren na deze droogtejaren. Het lijkt er op dat ook 2018 als extreem droogtejaar geldt, maar tijdens de monsternamen in augustus was de jaarring nog niet volgroeid om de effecten ervan te zien. Dat effect kan pas over enkele jaren worden vastgesteld. Verder kunnen in de terugkoppeling met neerslaggegevens conclusies getrokken worden wat betreft de effecten van veel of weinig vocht gedurende verschillende delen van het jaar. Uit de reactie van de bomen op de natuurlijke schommelingen binnen het klimaat kan worden afgelezen dat er sprake is van een systeem met in de basis een goede plasticiteit ten aanzien van schommelingen en veranderingen. Dit duidt erop dat het grondwatersysteem relatief goed gebufferd is, hetgeen door grondwatermeetreeksen (paragraaf 3.2) is bevestigd.

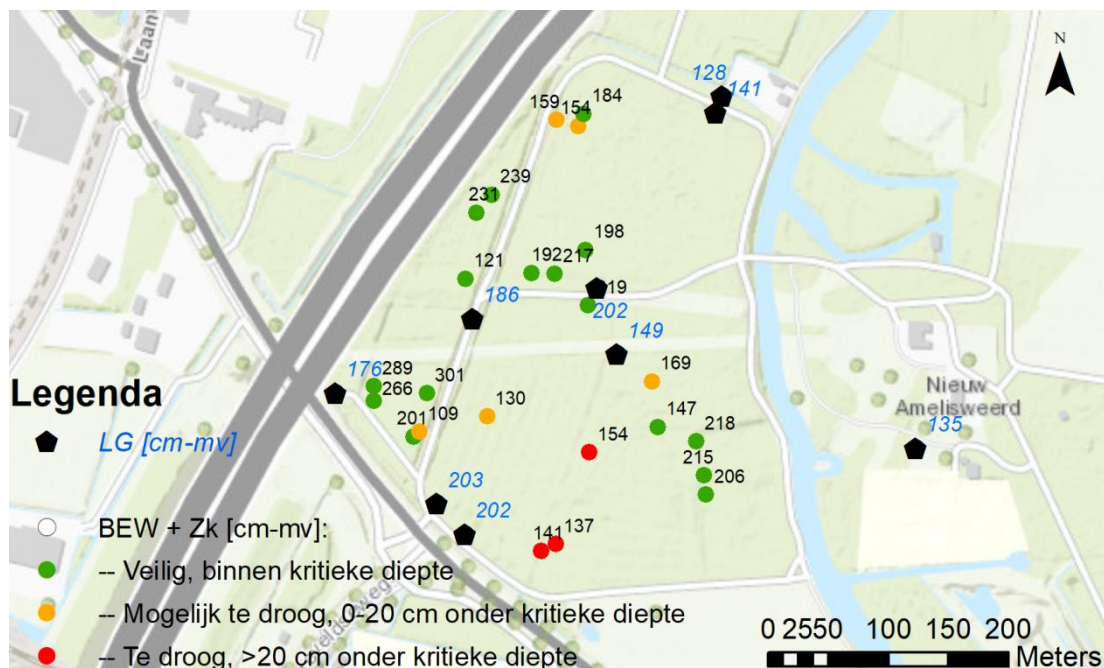
De onderzochte bomen hebben in het verleden ook geen negatieve groeireactie laten zien op grondwaterveranderingen tijdens de aanleg van de A27 begin jaren 1980 en peilverandering eind jaren 1990. Dit bevestigt een goede plasticiteit van de onderzochte bomen in reactie op veranderende groeiomstandigheden in combinatie met een gebufferd grondwatersysteem.

4.2.1 Bewortelingsdiepten en Zk-waarden

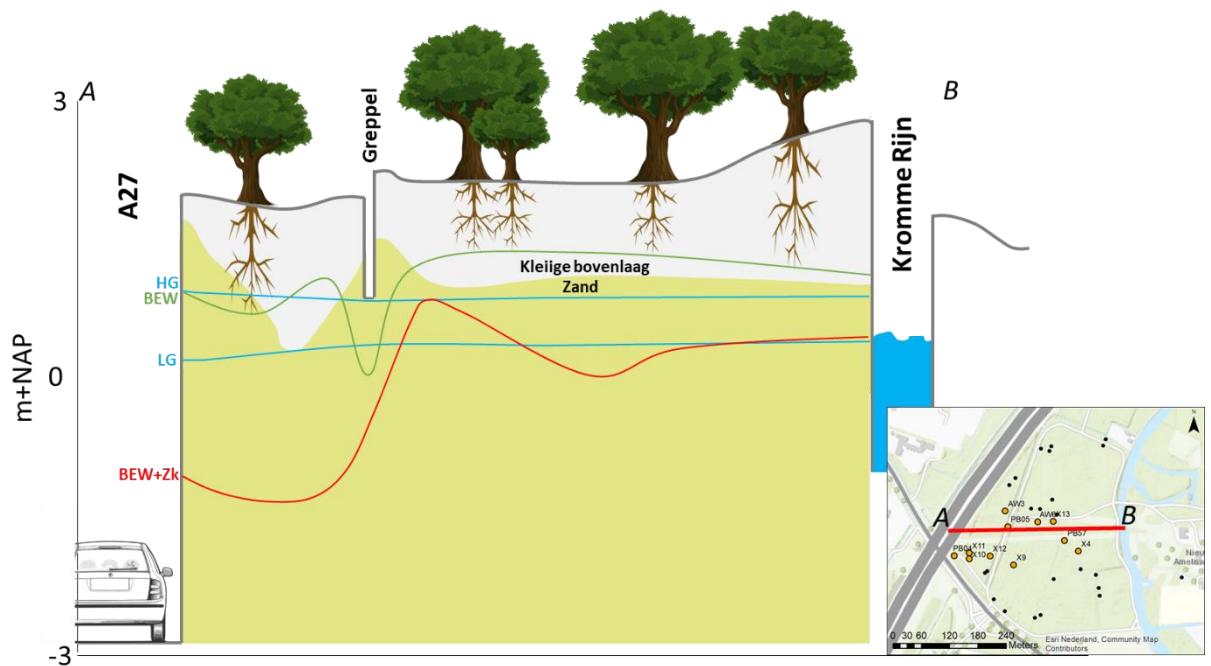
Aan de hand van bodemprofielen en bewortelingsdiepten is een Zk-waarde afgeleid. De kritieke z-afstand Zk is een maat voor de capillaire nalevering uit de ondergrond wanneer het grondwater te laag is om bereikbaar te zijn voor de boomwortels. Indien het grondwater meer dan de Zk-waarde onder de boomwortels komt te liggen kan droogteschade optreden. De

boomwortels bevinden zich deels in de bovenste kleiige laag en deels in het zandpakket. De maximale worteldiepte ligt tussen 0,70 en 1,30 m beneden maaiveld. De kritieke grondwaterstanden waaronder droogteschade aan de bomen kan optreden is berekend uit de effectieve bewortelingsdiepte (80% van de bewortelbare diepte) + de Zk-waarde en bevindt zich op 0,99 tot 3,01 m beneden maaiveld (Figuur 4.1). Er is geen relatie gevonden tussen de effectieve bewortelingsdiepte en Zk-waarde en geen duidelijk ruimtelijk patroon te zien in de kritieke grondwaterstanden.

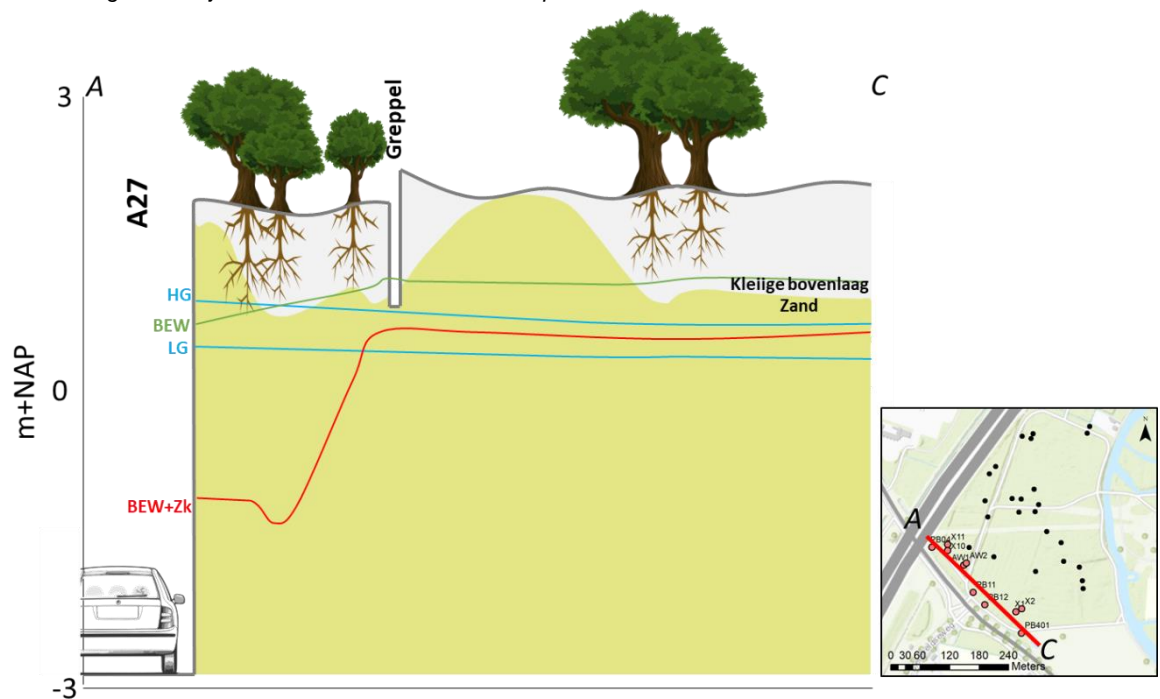
Figuur 4.2 en Figuur 4.3 zijn twee dwarsdoorsneden door het Markiezenbos op basis van gemeten variabelen van de dikte van de kleilaag, de hoogste (HG) en de laagste grondwaterstand (LG) gemeten in de peilbuizen in de zomer van 2018, en de gemeten effectieve bewortelingsdiepte (BEW) en de kritische grondwaterstand voor verdroging (BEW+Zk: rode lijn). De aangegeven greppel in de figuur loopt links van de toevoerweg vanuit de Koningsweg richting het noorden. Ter hoogte van deze weg met greppel is de meest kwetsbare zone voor verdroging. Dit is waar de lijn voor kritische grondwaterstand de LG raakt of er zelfs boven komt. In de dwarsdoorsnede parallel aan de Koningsweg (Figuur 4.3) is de zone met kans op verdroging breder dan ter hoogte van de noordelijke dwarsdoorsnede. Een aantal van de rood gemerkte bomen in Figuur 4.1 staat ter hoogte van deze greppel en aan de zuidkant van het Madammenlaantje.



Figuur 4.1 De laagst gemeten grondwaterstanden in de peilbuizen (LG, m-mv) en de kritieke grondwaterstanden voor het optreden van droogteschade voor de onderzochte bomen (BEW+Zk, m-mv). De kleuren van de bomen komt overeen met de codering in tabel 1 uit Clerkx et al. (2018): groen: nalevering vanuit ondergrond in voldoende, oranje: nalevering kan in extreem droge jaren te weinig zijn, Rood: boom in droogtejaren kwetsbaar.



Figuur 4.2 Dwarsdoorsnede door het Markiezenbos ten noorden van het Sneeuwkllokjeslaantje met aan de linker kant de A27 en rechts de Kromme Rijn. Aangegeven zijn het waterpeil van de Kromme Rijn, de hoogst (HG) en laagst (LG) gemeten grondwaterstand in 2018. Daarnaast de effectieve bewortelingsdiepte (BEW) en kritieke grondwaterstand (BEW+Zk). Inzet: locatie van doorsnede, de oranje meetpunten zijn de profielkuilen die gebruikt zijn voor het samenstellen van het profiel.



Figuur 4.3 Dwarsdoorsnede door de zuidwestkant van het Markiezenbos. Aangegeven zijn het waterpeil van de Kromme Rijn, de hoogst (HG) en laagst (LG) gemeten grondwaterstand in 2018. Daarnaast de bewortelingsdiepte (BEW) en kritieke grondwaterstand (BEW+Zk). Inzet: locatie van doorsnede, de oranje meetpunten zijn de profielkuilen die gebruikt zijn voor het samenstellen van het profiel.

De continue monitoring van de grondwaterstanden in 2018 is erg waardevol gebleken voor de duiding van de gevoeligheid van het bos voor droogteschade. De zomer van 2018 was immers een extreem met zeer lange droge perioden in combinatie met hoge temperaturen gedurende de hele voorzomer en zomer. In Tabel 4.1 aangegeven hoeveel bomen bij een grondwaterstand als in 2018 voldoende capillaire nalevering krijgen en hoeveel niet. Daarbij is ook beoordeeld wat het effect zou zijn als de kritieke Zk-waarde 20 cm groter of kleiner is dan berekend. Het gaat dan om maximaal vijf bomen die onterecht als veilig aangemerkt zouden worden.

Uit de studie is gebleken dat het risico op droogteschade in het algemeen klein is.

Tabel 4.1 Verdeling van het aantal bomen waarbij de grondwaterstand in de zomer van 2018 dieper of ondieper was dan de kritieke diepte. De onzekerheid over de kritieke Zk-waarde is verwerkt in klassen 2 en 3, waarbij rekening gehouden is met een marge van 20 cm

Klasse	Grondwaterstand zomer 2018	Aantal bomen
1	Veilig, ruim binnen kritieke diepte	14
2	Waarschijnlijk veilig, binnen 20 cm van kritieke diepte	5
3	Mogelijk te droog, binnen 20 cm onder kritieke diepte	6
4	Te droog, meer dan 20 cm onder kritieke diepte	5
totaal		30

Bij deze analyse moet wel bedacht worden dat het dus gaat om een mogelijk vochttekort gedurende de periode dat de kritische grondwaterstand onderschreden wordt. In hoeverre dat nadelig is voor de boom zal afhangen van:

- de duur van deze onderschrijding;
- de periode waarin deze optreedt (wel of niet in het groeiseizoen);
- de hoeveelheid bodemvocht die nog als hangwater in de bodemporiën binnen de bewortelingszone beschikbaar is.

Duur en periode van de onderschrijding zijn afhankelijk van de organisatie van de werkzaamheden. De hoeveelheid hangwater is afhankelijk van de bewortelingsdiepte en het vochthoudend vermogen van de bodemlagen en kan voor een kleigrond met een bewortelingsdiepte van 80 cm al snel meer dan 200 mm vocht naleveren (Ten Cate et al., 1995). Bij een verdamping van 2 mm/dag is dat voldoende om een periode van 100 dagen te overbruggen. Vooral bij ondiepere beworteling kan dan een probleem optreden, bij een grotere bewortelingsdiepte zijn weinig problemen te verwachten.

4.3 Toekomstige bosontwikkeling

Uitgaande van actuele processen die in het bos spelen, gecombineerd met leeftijd van de hoofdboomsoorten, is de verwachting voor de komende paar decennia dat op hoofdlijnen het bos gedomineerd zal blijven door eik en beuk. Het aandeel eik zal geleidelijk iets kleiner kunnen worden, maar ook in beuk kan sterfte door ouderdom gaan optreden, om de simpele reden dat beuk veel minder oud kan worden dan eik. De afname van es zal verder toenemen, maar nog niet helemaal verdwijnen. Afhankelijk van het aantal droogtejaren in de komende 10-20 jaar kan de boomsoortensamenstelling nog iets verschuiven. Beuk is het meest gevoelig voor droogte en kan dus worden getroffen wanneer het aantal droogtejaren binnen een kort tijdsbestek toeneemt.

Omdat de drie hoofdboomsoorten wel wat kwetsbaar zijn door leeftijd, ziekte of droogtegevoeligheid, zouden andere soorten een toenemende rol kunnen gaan spelen. Gewone esdoorn is een kanshebber gezien het gemak waarmee deze zich verjongt, maar ook gewone esdoorn is kwetsbaar in tijden van droogte. Wanneer extreemjaren zoals 2018 toch een uit-

zondering blijken te zijn, wordt verwacht dat de boomsoortensamenstelling alleen drastisch kan veranderen door toenemende sterfte onder de es.

5 Conclusies en aanbevelingen

De heterogeniteit van de bodem van het Markiezenbos is groot, en hierdoor is er grote variatie in de beworteling en de kritische grondwaterstand. De ruimtelijke variatie in de grondwaterstanden is met enkele decimeters minder groot. In de warme en droge zomer van 2018 is het grondwater uitgezakt tot een maximum tussen ongeveer 1,3 en 2 meter beneden maaiveld. De laagst gemeten grondwaterstanden stonden bij enkele bomen dieper dan de kritische waarde waarbij het contact tussen het grondwater en de wortels als gevolg van capillaire opstijging is verbroken: hier was een risico op droogteschade aan de bomen aanwezig. Het verder uitzakken van de grondwaterstand wordt voorkomen door regionale kwel vanaf de heuvelrug en/of infiltratie van oppervlaktewater vanuit de Kromme Rijn.

De onderzochte bomen hebben in het verleden geen negatieve groeireactie laten zien op de natuurlijke schommelingen binnen het klimaat en grondwaterveranderingen tijdens de aanleg van de A27 begin jaren 1980 en peilverandering eind jaren 1990. Dit duidt op een goede plasticiteit van de onderzochte bomen in reactie op veranderende groeiomstandigheden in combinatie met een relatief goed gebufferd grondwatersysteem.

Aanbevelingen

Op basis van de onderzoeksresultaten is aanbevolen om het bodemvocht en de grondwaterstand continu te monitoren door middel van bodemvochtprofielsensoren en peilbuizen met drukopnemers. De profielsensoren hebben meerdere functies. Op de locatie waar ze staan geven ze direct informatie over de vochtverdeling in de bodem op verschillende dieptes. Hierdoor kunnen zij mede gebruikt worden voor monitoring en risicobeheersing in de uitvoeringsperiode. Maar de gegevens die deze sensoren genereren zijn potentieel ook een belangrijk deel van de puzzel om nog meer scherpere te krijgen in de verhouding tussen bodemopbouw, grondwatergedrag, de vochtverdeling in het bodemprofiel en de invloed van neerslag. Door de verdiepingsslag en de hierbij gemaakte waarnemingen is veel informatie gegenereerd waaruit behoorlijk wat conclusies over het functioneren van het systeem zijn afgeleid. Door metingen op meerdere dieptes en over een langere periode kan een beter beeld worden gegenereerd en kunnen we zien of de gemeten realiteit aansluit op de conclusies, die we tot nu toe konden trekken. Inmiddels zijn al vier locaties ingericht (zie onderstaand tekstkader). Deze locaties tezamen met de overige peilbuizen in het Markiezenbos kunnen gebruikt worden om eventuele effecten van geplande beheersmaatregel nauwkeurig te monitoren. Eventueel kan ook het effect op de bomen direct in real-time gemeten gaan worden (met dendrometers en sapflow meters).

Aanbevolen wordt om de dynamiek in grondwaterstanden ook tijdens het aankomende groei-seizoen nauwkeurig te monitoren. Monitoring tijdens deze nul-situatie kan extra inzicht geven in het gedrag van het grondwatersysteem in het jaar volgend op een extreem droog jaar.

Om het grondwatersysteem in het Markiezenbos nog beter in beeld te krijgen is het daarnaast tevens van belang om de regionale geohydrologie hierin te betrekken. Gedacht moet worden aan zaken als neerslag, verdamping, diverse grondwater-onttrekkingen en regionale kwel. Deze aspecten worden in het project grondwatermodellering opgepakt. Ook wordt momenteel een meetnet ingericht voor permanente monitoring van het grondwater rondom de A27.

De kenmerken van het grondwatersysteem kunnen verder inzichtelijk worden gemaakt door middel van chemische analyse van het grondwater in combinatie met bodemchemische eigenschappen zoals bodem-pH. Op deze manier kan een onderscheid worden gemaakt naar de herkomst van het bovenste grondwater: neerslagwater, oeverinfiltraat van de Kromme Rijn of regionaal kwelwater. Dit geeft additioneel inzicht in de mate van buffering van de grondwaterstand als gevolg van klimatologische omstandigheden en/of beheersmaatregelen tijdens de verbreding van de A27.

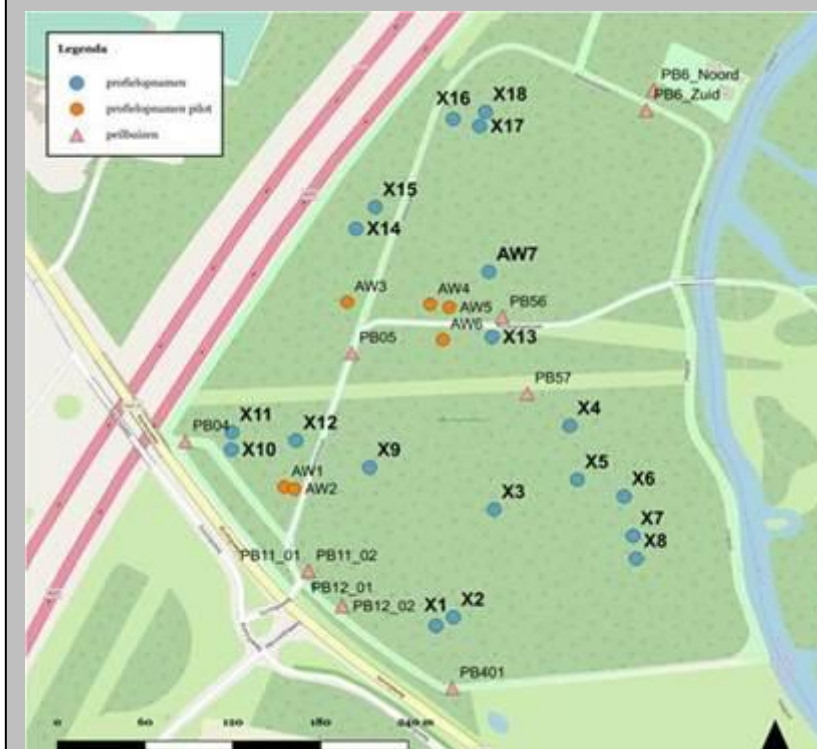
Aanbevolen wordt om te zijner tijd de informatie uit het grondwatermodel, het grondwatermeetnet (inclusief waterkwaliteit) en de profielsensoren gezamenlijk te analyseren. Dit geeft additioneel inzicht in de vochthuishouding van het Markiezenbos als gevolg van klimatologische omstandigheden en/of beheersmaatregelen tijdens de verbreding van de A27.

Selectie monitoringslocaties

De bodemvochtsensoren en peilbuizen zijn geplaatst bij vier bomen die op basis van bodemkenmerken en grondwaterstanden en actuele worteldieptes in de gevarezone komen op momenten van droogte in de voorjaar-nazomer (dus grondwaterstand onder GLG). De achterliggende gedachte is bomen te selecteren die op momenten van langdurige droogte niet meer in contact kunnen komen met het grondwater en waarbij de capillaire nalevering te laag is om nog vocht te leveren. Dit zijn ook de risicoplekken bij langdurige grondwateronttrekking voor de werkzaamheden. Daarnaast zijn twee bomen geselecteerd om spreiding/variatie mee te nemen met als doel het systeem bodem-grondwater-beworteling wat breder te volgen.

De volgende bomen zijn voorzien van een bodemvochtsensor en peilbuis:

1. Boom AW2 (Eik) → kritieke grondwaterstand
2. Boom X14 (Eik) → spreiding/variatie: vitale maar slecht groeiende boom
3. Boom AW7 (Es) → spreiding/variatie: zone met andere grondwatertrap
4. Tussen boom X1 (Beuk) en X2 (Eik) → kritieke grondwaterstand



6 Literatuur

A.P.P.M. Clerkx, J. Hilbert, U. Sass-Klaassen, Joris Schaap, Bas van Delft, Lina Akh, Paul Copini (2018) Vitaliteit en groei van bomen in relatie tot bodem en grondwater in Amelisweerd; verdiepingsslag. Wageningen Environmental Research, Rapport concept.

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

Jörg Kunz, Georg Löffler & Jürgen Bauhus, 2018. Minor European broadleaved tree species are more drought-tolerant than *Fagus sylvatica* but not more tolerant than *Quercus petraea*. *Forest Ecology and Management*, Volume 414, 15 April 2018, Pages 15-27. (<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.016>)

Maes, B. (2009) Historische dendrologie Landgoederen Oud en Nieuw Amelisweerd en Rhijnauwen. Utrecht, Rapport Ecologisch Adviesbureau Maes Utrecht.

Van der Grift, B., S. Clerkx, J. Hilbert, J. Schellekens, A. Veldhuizen, B. van Delft, L. Bos-Burgering, H. Bootsma, D. van Ree (2018) A27 Ring Utrecht, Inventarisatie en analyse beschikbare gegevens t.b.v. bepaling effecten waardevol groen. Deltares rapport 11202345-000-BGS-0009.

Wirdum, G. Van, & Groot-Veenbaas, G. de. (1981). *Ondergrond, Bodem en Waterhuishouding van oud en nieuw Amelisweerd*. Leersum.

Grondwaterstanden

