

Grondwaterproblematiek op landgoed het Bouwhuis



Feite Harmannij

Aveco de Bondt

1-7-2016

VOORWOORD

Voor u ligt de rapportage over een onderzoek naar problemen met grondwater op landgoed 'het Bouwhuis'. Dit onderzoek is gedaan als bachelor scriptie voor de studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. In dit verslag wordt inzicht verkregen in de problematiek en worden er aan het eind aanbevelingen gedaan om deze problemen te verminderen.

Bij deze wil ik ook de mensen bedanken die hebben geholpen tot het tot stand brengen van dit onderzoek. Hierbij denk ik vooral aan Johan Damveld die begeleider was vanuit de Universiteit Twente en aan Joop Meinders en Thijs Visser, die als begeleiders vanuit Aveco de Bondt fungeerden. Verder wil ik ook mijn jaargenoten bedankten voor hun kritisch blik richting het verslag.

SAMENVATTING

Het analyseren van grondwaterstromingen is een bekend onderwerp. In dit onderzoek wordt dit gedaan om inzicht krijgen in de situatie op landgoed 'het Bouwhuis' in Enschede. Het doel van dit onderzoek is om uiteindelijk aanbevelingen te kunnen doen voor oplossingen die de waterproblemen zullen verminderen. Deze problemen bestaan uit een hoge grondwaterstanden, waarbij er bij hevige neerslag water op het maaiveld komt te liggen. De vraag hierbij is om oplossingen te vinden die, naast het verbeteren van de waterhuishouding, ook de aanblik van het landgoed verbeteren en iets terugbrengen van de voormalige uitstraling.

Deze analyse van het grondwater is gedaan door een computermodel te maken met daarin de grondopbouw, oppervlaktewater en de neerslag in de omgeving. Vervolgens is het model gekalibreerd met een aantal proefmetingen die gedaan zijn in het projectgebied. Met het model is vervolgens de invloed van ingrepen in de situatie onderzocht. De grondwaterstanden zijn bekeken voor een neerslagevent dat eens per tien jaar voorkomt.

Uit de resultaten van het model kwam naar voren dat de waterproblemen op het terrein in ieder geval gedeeltelijk ontstaan door de grondwaterstand. Ook werd duidelijk dat de problemen tijdens het genoemde event omvangrijk zijn. Van de onderzochte maatregelen hadden vooral het aanleggen van drainage en het verbeteren van watergangen in het gebied een grondwater-verlagend effect. Het verbeteren van de grond zorgde daarentegen nauwelijks voor een grondwaterverlaging.

De conclusie is dat vooral het verbeteren van de watergangen een gewenste oplossing is, in acht nemend dat de uitstraling van het terrein een belangrijke factor is. Daarnaast kan drainage worden toegepast afhankelijk van de exacte bouwplannen.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	1
SAMENVATTING	2
1 INTRODUCTIE	4
2 THEORETISCH KADER	7
3 METINGEN GRONDWATERSTANDEN	11
4 MODEL	14
5 RESULTATEN	24
6 DISCUSSIE	30
7 CONCLUSIE	31
8 AANBEVELINGEN	33
REFERENTIES	34
APPENDICES	36

1 INTRODUCTIE

1.1 AANLEIDING

Dit onderzoek gaat over een opdracht die ingenieursbureau *Aveco de Bondt* voor *Twentse Zorgcentra* uitvoert. Deze zorginstelling heeft plannen voor nieuwbouw voor een van hun locaties, '*het Bouwhuis*'. In de huidige situatie is het terrein hier niet geschikt voor. Dit als gevolg van de terugkerende wateroverlast op het terrein.

De beheerders van het terrein hebben geobserveerd dat de situatie die zich nu voordoet op het terrein verre van optimaal is. Dit uit zich doordat er bijvoorbeeld zichtbaar water ligt op sommige plaatsen van het terrein. De plaats waar de nieuwe bebouwing moet komen is weergegeven in Figuur 1. De bebouwing die op deze locatie nog wel zichtbaar is in de figuur, is in werkelijkheid gesloopt. Het plan is om op deze locatie ook weer nieuwe gebouwen te plaatsen. Dit is een van de locaties waarvan de beheerders hebben aangegeven dat het er nat is, wat een probleem kan vormen voor de gemaakte plannen.

Naast de plannen voor nieuwe bebouwing, wil de zorginstelling ook graag het aanzicht van het landgoed verbeteren. De zorginstelling staat op een oud landgoed, maar het onderhoud is de laatste jaren gebrekkig geweest. *Twentse Zorgcentra* heeft als wens dat het aanzicht van het terrein meer gaat lijken op de situatie uit het verleden.

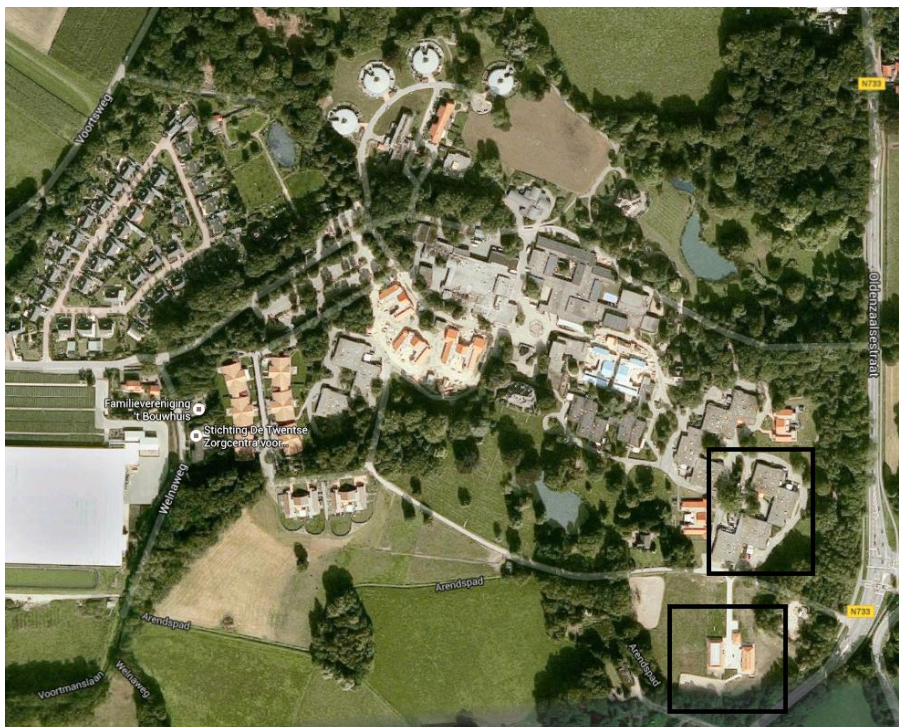
1.2 ACHTERGROND PROJECTGEBIED

Het gebied waar het onderzoek gedaan wordt is landgoed '*het Bouwhuis*', ten noorden van Enschede en kent een lange geschiedenis. De oudste gebouwen die op het terrein staan zijn opgenomen als gemeentelijk monument (Stichting Cultureel Erfgoed Enschede, sd) en deze worden genoemd in documentatie uit de vijftiende eeuw (Wiefker, 1989).

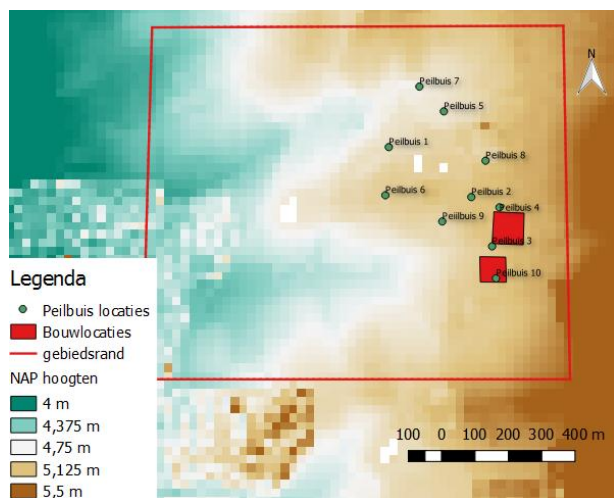
In het verleden is het terrein lang in handen geweest van textielbaronnen. Rond 1970 veranderde het terrein van eigenaar (Wiefker, 1989). Het terrein is toen ingericht als een gemeenschap voor verstandelijke beperkten (Stichting Cultureel Erfgoed Enschede, sd). Dit is ook de huidige functie van het gebied.

De situatie van het terrein rond 1970 is opgenomen in Figuur 26 van Appendix D. Uit deze Appendix blijkt dat het terrein 45 jaar geleden vooral bestond uit stukken grasland. Relevant voor het onderzoek zijn de watergangen die op deze kaart zichtbaar zijn. Bijvoorbeeld de watergang aan de zuidkant van het terrein. Deze liep toentertijd door tot en met de plaats waar nu de manege ligt. Ook heeft deze watergang een tak naar het noorden. Ook ligt er een watergang die, zoals verderop in dit verslag te zien is, over het terrein loopt waar straks gebouwd moet gaan worden. Het opvallende aan deze watergang is dat deze half bovengronds en half ondergronds loopt. Verder is duidelijk dat er nauwelijks bebouwing aanwezig was op het terrein, voordat de zorginstelling zich er vestigde.

Een overzicht van het gebied is weergegeven in Figuur 1. In deze figuur zijn ook de locaties weergegeven waar nieuwbouw moet gaan verrijzen. Op de noordelijke locatie is de huidige bebouwing al gesloopt en op de zuidelijke locatie ligt op dit moment nog een manege. In de figuur is verder te zien dat er, naast een hoeveelheid bebouwing, meerdere vijvers in het gebied aanwezig zijn. Hiervan zijn er twee weergegeven in deze figuur en is er nog een aanwezig in het noorden van het gebied, die lastig op deze afbeelding te zien is. Een ander kenmerk van het gebied is het aflopende maaiveld. Het gebied ligt op een stuwwal en daardoor zijn er hoogteverschillen binnen het projectgebied. Dit is zichtbaar in Figuur 2.



Figuur 1 Overzicht van 'het Bouwhuis' inclusief de bouwlocaties, aangegeven met zwarte kaders.



Figuur 2 Hoogteverschillen in het projectgebied

1.3 ONDERZOEKSDOEL

Het doel van dit onderzoek is de situatie met betrekking tot grondwater in kaart brengen. Met deze informatie kan onderzocht worden hoe deze situatie zo verbeterd kan worden dat de omgeving bruikbaar is om de bouwplannen van *Twentse Zorgcentra* te realiseren. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is om aanbevelingen te doen die dit probleem oplossen en rekening houden met de uitstraling van het gebied.

1.4 ONDERZOEKSVRAGEN

De hoofdvraag van dit onderzoek is: *‘Hoe kan de huidige situatie op het terrein van ‘het Bouwhuis’ verbeterd worden met betrekking tot grondwater, zodat deze gebieden gebruikt kunnen worden voor de realisatie van de bouwplannen en het historische karakter van het gebied bewaard blijft of verbeterd wordt.’*

Deze vraag is opgedeeld in drie deelvragen:

1. *Welke processen en randvoorwaarden zijn relevant en hoe kunnen deze worden opgenomen in het model?*
2. *Waardoor worden de problemen met grondwater veroorzaakt in de huidige situatie?*
3. *Hoe kan de huidige situatie worden verbeterd richting een situatie waarin de nieuwbouw kan plaatsvinden en waarin ook het aanzicht van het gebied verbeterd wordt.*

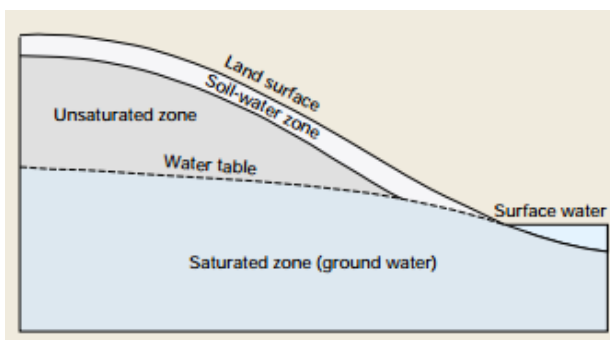
1.5 METHODIEK

Zoals uit de deelvragen al blijkt, zal het onderzoek bestaan uit drie delen. Als eerste zal er een literatuurstudie gedaan worden om te kijken naar de relevantie factoren binnen het onderwerp. Ook zal hier gekeken worden naar de relevante factoren in de omgeving van het project en het computerprogramma dat gebruikt gaat worden. Hierna zal met de opgedane kennis en metingen in het gebied een model worden gebouwd van de huidige situatie. Dit zal aan moeten tonen dat er daadwerkelijk grondwaterproblemen zijn en waar deze problemen ontstaan. Als laatste zal aan de hand van het model worden gekeken hoe de situatie kan worden verbeterd met verschillende ingrepen.

2 THEORETISCH KADER

2.1 GRONDWATER

Grondwater is het water dat aanwezig is in de poriën in de grond. Grondwater kan worden onderverdeeld in twee lagen. De eerste laag is de laag boven het grondwaterpeil en de andere laag het water dat onder dit niveau aanwezig is. De bovenste laag is niet geheel verzadigd met water en de leegten die daar in de grond aanwezig zijn, worden dan ook gevuld met zowel lucht als water. De laag onder de grondwaterspiegel, of freatisch vlak, is geheel verzadigd met water (Harter, 2003). Een voorbeeld van hoe deze grens tussen beide lagen loopt is te zien in Figuur 3. Dit figuur laat zien dat het grondwater meeloopt met de geografische vorm van het maaiveld. De figuur laat ook zien dat het water zich opbolt ten opzichte van het oppervlaktewater.



Figuur 3 Grondwaterspiegel verloop ten opzichte van oppervlaktewater (Winter, Harvey, Franke, & Alley, 1998).

De laag water onder het freatisch vlak, ook wel freatisch water genoemd, kan in twee typen worden onderverdeeld. Het eerste type is een aquifer of watervoerende laag. Deze laag wordt gedefinieerd als een laag waar men water uit kan onttrekken. Het is ook de laag waar het grondwater stroomt, dus de eigenschappen van deze laag zijn belangrijk als de grondwaterstromingen worden bestudeerd. De belangrijkste fysische eigenschappen van deze laag zijn de porositeit en de doorlatendheid. Porositeit is een maat voor hoeveel ruimte er aanwezig is in een grondlaag en daarmee hoeveel water er geborgen kan worden. De doorlatendheid van een laag geeft aan hoe makkelijk water door een laag heen loopt. De lagen die niet onder de noemer aquifer vallen, zijn onder te verdelen in aquitards en aquicludes (Heath, 2004). Aquitards zijn lagen waar nog wel enigszins water door heen kan stromen en aquicludes zijn lagen waar dit helemaal niet mogelijk is.

2.2 GRONDWATERSTROMINGEN

Een belangrijke grondlegger van het bepalen van stromingen in grondwater is Henry Darcy (Darcy, 1856). Hij heeft zijn wet, de Wet van Darcy, opgesteld voor stromingen door poreuze media (Whitaker, 1986). Darcy beschreef in zijn wet dat de mate van stroming door een poreuze laag proportioneel is met de potentiële energie, namelijk $v = ki$. Waarbij i het verhang is in het grondwater en k een constante die de doorlatendheidscoëfficiënt wordt genoemd. Dus de snelheid van het grondwater en daarmee het debiet is evenredig met de verschillen in grondwaterstanden tussen twee punten.

De andere factor die in de formule staat is de doorlatendheidscoëfficiënt. Deze coëfficiënt is gerelateerd aan de soortelijke massa van de vloeistof: $k = K * ((\rho g)/\mu)$ (Muskat, 1937). Dus de snelheid van het grondwater is ook afhankelijk van de dichtheid ρ van de vloeistof, de viscositeit μ van de vloeistof en de permeabiliteit K ,

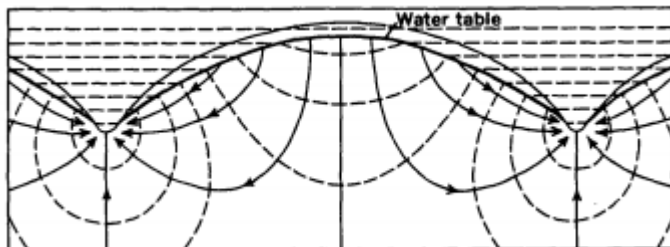
wat weer een functie is van de korrelgrootte, diameter en de indeling van de korrels van het materiaal waar de grond uit opgebouwd is (Thusyanthan & Madabhushi, 2003).

Deze parameters komen dus voort uit de materialen die in de grond aanwezig zijn. Het is dus mogelijk om de stromingen in de grond te beïnvloeden door iets te veranderen aan de opbouw van materialen in de grond. Een mogelijkheid is bijvoorbeeld om een laag klei te vervangen door een laag zand om zo de stroomsnelheid in de grond te verhogen. Zand heeft immers een hogere porositeit dan klei en dus kan er gemakkelijker water doorheen stromen (Hoekstra, 2013).

De wet van Darcy wordt vaak gecombineerd met het principe dat massa behouden blijft. Met deze twee wetten kan een drukverdeling worden bepaald. Deze verdeling kan worden opgelost door gebruik te maken van de Laplace-vergelijking (Verruijt, Soil Mechanics, 2007). Deze vergelijking wordt veel gebruikt binnen de stromingsleer. Deze vergelijking dicteert samen met de randvoorwaarden de stroming van water door grond.

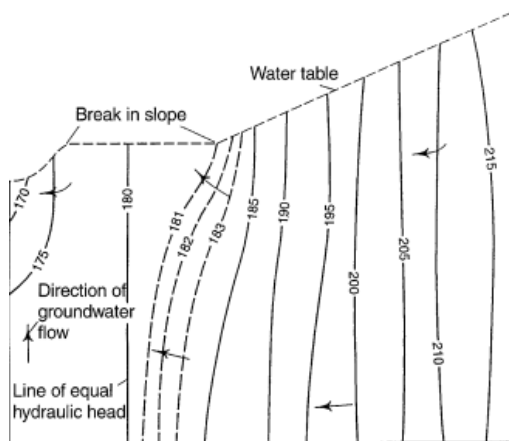
2.3 GRONDWATERSTROMINGEN IN HELLINGEN

Een helling in het maaiveld heeft invloed op hoe het water stroomt door de grond. In Figuur 4 is weergegeven hoe grondwater zal stromen onder uniforme omstandigheden. Het is zichtbaar dat het grondwater niet de kortste weg volgt. De lijn die wel wordt gevolgd is afhankelijk van de materialen die daar aanwezig zijn. Door verschillen in materialen in het gebied zullen de lijnen ook onderbroken worden. Duidelijk is dat het water stroomt van de hogere gebieden naar de lagere gebieden, wat ook te verwachten is op basis van de Wet van Darcy. Het is ook zichtbaar dat het grondwaterniveau dichtbij het oppervlak komt. Dit kan kwel veroorzaken als het grondwater door de bovenlaag van de bodem heen dringt. Dit is ook hetgeen zichtbaar is in Figuur 4 waar oppervlaktewater ontstaat bij de twee laagste punten in de figuur.



Figuur 4 Grondwater stromingen in een uniforme doorlatende laag (Lohman, 1972)

Ook een onderbreking in de waterspiegel heeft invloed op de stromingen in de grond. Deze invloed is te zien in Figuur 5. In dit voorbeeld is te zien dat een onderbreking naar boven van de waterspiegel als invloed heeft dat de stroming van het water een extra component omhoog heeft. Andersom geldt hetzelfde. Als de waterspiegel naar beneden wordt onderbroken dan zal de grondwaterstroming naar beneden lopen (Winter, 1998).

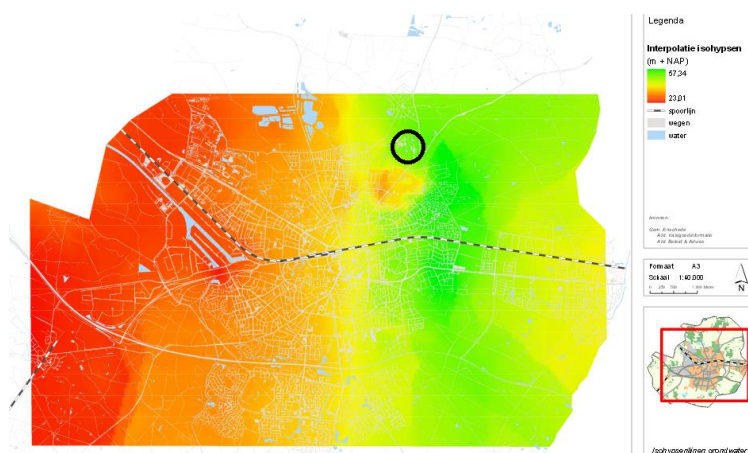


Figuur 5 Grondwaterstanden die de invloed van een onderbreking in het freatisch vlak op de rondwaterstromingen aangeven (Winter, 1998)

2.4 GRONDWATER IN ENSCHEDE

Enschede heeft een geschiedenis met problemen op het gebied van grondwater. Bijna de gehele stad is gepositioneerd op een stuwwal. De invloed van deze stuwwal op de grondwaterstand is zichtbaar in Figuur 6 waar ook de locatie van het 'het Bouwhuis' is weergegeven. Door deze stuwwal is kwel in Enschede een bekend begrip. Dit heeft ook te maken met de opbouw van de stuwwal. Er zijn namelijk kleilagen aanwezig in de stuwwal die vlak bij de oppervlakte liggen. Doordat deze lagen zo dicht tegen de oppervlakte aanliggen kan het regenwater lastig infiltreren in de grond. Hierdoor kunnen lokale overstromingen ontstaan bij grotere hoeveelheden neerslag (Wareco, 2015).

Een andere oorzaak van de hoge grondwaterstanden in Enschede, is de afwezigheid van drainagesystemen in het bebouwd gebied. In het verleden werd het water uit de grond onttrokken door de grootschalige textielindustrie die in de stad aanwezig was. Deze textielfabrieken zijn echter allemaal gesloten en daarmee kwam ook een einde aan de wateronttrekkingen uit de grond. Hierdoor stijgen de grondwaterstanden richting de niveaus van voordat de grootschalige industrie kwam (Gemeente Enschede, 2016). Of dit de verklaring is voor alle problemen is echter niet zeker. Hiervoor zou eerst onderzoek gedaan moeten worden naar het verband tussen het verdwijnen van de industrie en het stijgen van de grondwaterstanden.



Figuur 6 De verschillende grondwaterniveaus in Enschede ten opzichte van NAP met de locatie van 'het Bouwhuis' omcirkeld (Gemeente Enschede, 2016).

2.5 MICROFEM

De grondwaterstromingen in het gebied zullen geanalyseerd worden door deze te modeleren. Hiervoor zal gebruikt gemaakt worden van *Microfem*. *Microfem* is een program dat specifiek ontworpen is om grondwaterstromingen in kaart te kunnen brengen. *Microfem* doet dit door middel van de eindige elementen methode. Met deze methode kan het programma stromingen doorrekenen in situaties die bestaan uit meerdere watervoerende pakketten (Smiten & Hemker, 2004).

Het programma is ontworpen door dr. C.J. Hemker van de Vrije Universiteit Amsterdam (Grondwaterformules.nl, sd). Het programma werkt door een net van onregelmatige punten op te lossen. Het programma gaat dan aan de hand van dichtbij zijnde vaste punten, welke de vastgestelde randvoorwaarden zijn, andere punten berekenen. Door dit proces een aantal keer te itereren kan het gehele model worden doorerekend (Microfem, sd). Door informatie over de grondlagen in te voegen kan het programma gaan rekenen aan de grondwater stromingen. De maximale capaciteit van het programma is 20.000 punten voor het generen van een netwerk. Voor het aantal watervoerende lagen geldt een maximum van 20 lagen (Diodato, 2000).

Een nadeel aan het gebruik van *Microfem* en daarmee een eindige elementen methode is de theorie erachter. Deze theorie is vaak vrij abstract (Verruijt, 1972). De ontwikkelaars van het programma zijn überhaupt onduidelijk over welke theorie erachter het programma zit. Doordat niet dit niet helemaal duidelijk is, is het ook moeilijk om iets te zeggen over de gebreken.

Microfem kan gezien worden als een vrij simpel programma. Het programma berekent de grondwaterstanden aan de hand van een aantal eigenschappen die in zijn gegeven door de gebruiker. Daarbuiten heeft het programma weinig functionaliteit om objecten of andere onregelmatigheden in een gebied te simuleren. Deze zullen dus door de gebruiker moeten worden omgezet in eigenschappen die wel in het programma passen. Het nadeel hieraan is dat er aannames gedaan moeten worden, die niet altijd even accuraat zijn. Het voordeel is dat er meer inzicht is in hoe bepaalde verschijnselen zijn gemodelleerd.

3 METINGEN GRONDWATERSTANDEN

3.1 SOORTEN METINGEN

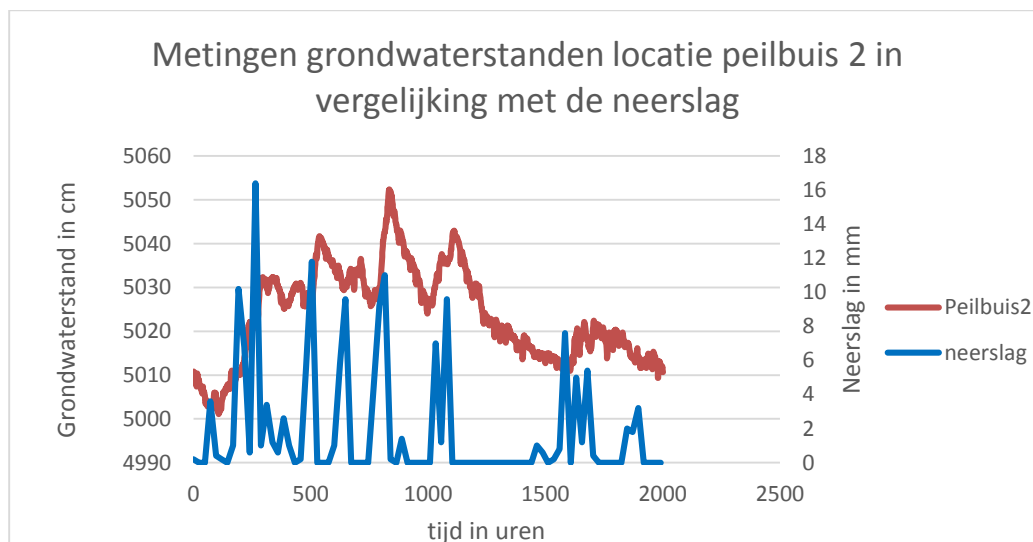
Om data te generen voor het onderzoek zijn er metingen verricht op de locatie van 'het Bouwhuis'. Deze metingen zijn erop gericht om de verschillende grondwaterstanden in het gebied in kaart te brengen.

Een totaal van tien peilbuizen is verspreid over het terrein geplaatst om de grondwaterstanden te meten. Samen met metingen van de maaiveldhoogte geven de metingen inzicht in zowel de grondwaterstand ten opzichte van het NAP als de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld. De tien meetpunten kunnen worden onderverdeeld in twee soorten metingen. Deze soorten metingen hebben verschillende doeleinden. Zeven metingen zijn gedaan door een gat in de grond te boren en daar een peilbuis in te hangen. Deze metingen zijn erop gericht de grondwaterstand in kaart te brengen. Met de resultaten van deze metingen kan later het model gekalibreerd en gevalideerd worden, doordat bekend is van elke meting op welke locatie deze gedaan is. De grondwaterstand op die locatie kan dus vergeleken worden met die uit het model. Elk uur meet het apparaat in de peilbuis de druk, gemeten over een periode van 19 januari tot en met 11 april.

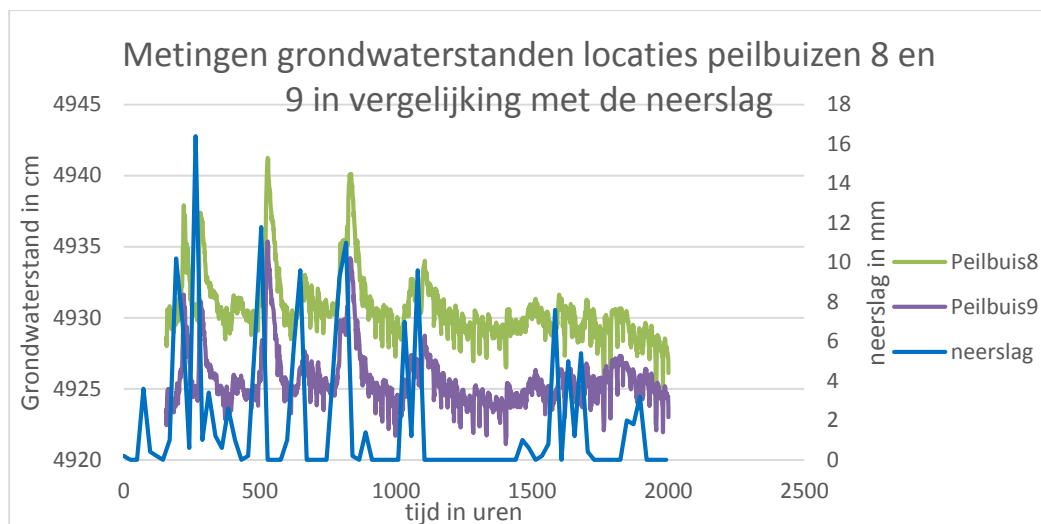
Bij de overige drie meetpunten gaat het om peilbuizen die de waterstand meten in de vijvers. Deze peilbuizen meten geen grondwater, maar oppervlaktewater. Waterstanden in oppervlaktewater zijn vaak constant, doordat het water snel kan worden afgevoerd. Deze punten kunnen dienen als punten met een vaste waterhoogte binnen het model, die worden gebruikt voor de berekening van grondwaterstanden in de rest van het model.

Naast de metingen van de grondwaterstand is ook gekeken naar de neerslag gedurende de periode. De grootste hoeveelheid neerslag gedurende vier dagen die voorkwam tijdens de meetperiode was ongeveer 34 mm (Het Weer Actueel, 2016). De maatgevende neerslag waarop de situatie echter wordt geanalyseerd bedraagt 80 mm in een periode van vier dagen (KNMI, 2004), dit is de neerslag die gemiddeld een per tien jaar voorkomt.

3.2 UITKOMSTEN METINGEN



Figuur 7 Grondwaterstandsmeting ten opzichte van NAP van peilbuislocatie 2 vergeleken met de neerslag in dezelfde periode



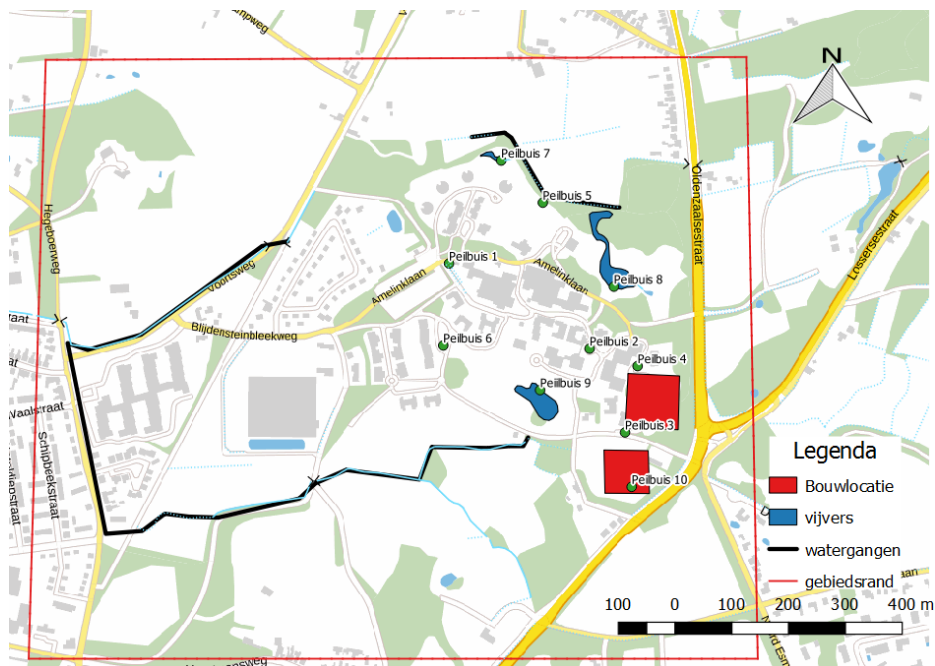
Figuur 8 Metingen grondwaterstanden peilbuis acht en negen ten opzichte van het NAP vergeleken met neerslag in dezelfde periode

Figuur 7 en Figuur 8 laten metingen van verschillende van verschillende peilbuizen zien. Bij Figuur 7 gaat het om een peilbuis die direct grondwater meet. Hierbij is duidelijk een vrij groot verschil in de metingen te zien. De fluctuaties in de grondwaterstanden tonen een duidelijk verband met de neerslag die ook is weergegeven in de figuur. De bandbreedte is in Figuur 8 een stuk kleiner, waar het om een meting van oppervlaktewater gaat. Toch vertonen deze metingen een duidelijk verband met de neerslag die ook in de figuur zijn weergegeven. Dit betekent dat aanname dat deze punten constant zijn, niet helemaal klopt. Doordat de bandbreedte wel een stuk kleiner is, ongeveer 15 centimeter voor het oppervlaktewater tegenover 20 tot 80 centimeter voor het grondwater, is deze aanname wel acceptabel. Dit komt ook doordat de grondwaterstanden snel weer terugkeren naar een evenwichtsstand. De perioden dat deze aanname niet klopt zijn dus kort, maar de resultaten voor perioden met extreme neerslag kunnen dus afwijken van de werkelijkheid.

Een andere opmerkelijk aspect in Figuur 8 is de overeenkomst in de metingen van beide peilbuizen. Beide metingen zijn gedaan in een vijver. Dat deze zoveel op elkaar lijken zou kunnen betekenen dat de vijvers met elkaar verbonden zijn. Het verschil tussen de vijvers kan verklaard worden door meetfouten bij het bepalen van de NAP-hoogte of een structurele fout in de peilbuizen. Het is ook mogelijk dat er iets in de verbinding tussen de vijvers aanwezig is dat het verschil veroorzaakt. Dat de vijvers met elkaar verbonden zijn wordt ook bevestigd door Figuur 24 uit Appendix B.

Peilbuis	Gem meting t.o.v. NAP	Min meting t.o.v. NAP	Max meting t.o.v. NAP
1	4834	4822	4846
2	5024	5001	5052
3	5068	5041	5117
4	5095	5068	5138
5	4868	4846	4882
6	4952	4929	4985
7	4733	4728	4742
8	4931	4925	4941
9	4926	4921	4935
10	5073	5037	5130

Tabel 1 Samenvatting gemeten grondwaterstanden peilbuizen in cm ten opzichte van het NAP



Figuur 9 Overzicht van 'het Bouwhuis' met de modelrand, de watergangen, de vijvers die als randvoorwaarden dienen, de peilbuislocaties en de bouwlocaties.

Tabel 1 geeft een overzicht van de metingen weer. De locaties van de peilbuizen zijn zichtbaar in Figuur 9. Uit de getallen is op te maken dat er een groot verschil ligt tussen de verschillende grondwaterstanden in het gebied, in ieder geval met NAP als referentieniveau. Dit heeft te maken met de stuwwal waarop 'het Bouwhuis' en heel Enschede staat. Hierdoor loopt het maaiveld af en daardoor loopt ook het grondwater af. Dit aflopende maaiveld is goed te zien in Figuur 2. De waarden ten opzichte van het maaiveld zijn gebruikt om dit aflopende effect goed in beeld te krijgen. Deze getallen zeggen echter niet zoveel over de eventuele problemen die ontstaan op het terrein. Hiervoor zijn de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld een betere indicatie, deze zijn weergegeven in Tabel 7 uit Appendix A. Uit deze waarden blijkt dat er tijdens de meetperioden al enkele punten op het terrein liggen waar het water dicht bij het maaiveld komt. Hierbij valt op dat de punten die dicht bij de bouwlocatie liggen, hoge grondwaterstanden laten zien. Deze punten laten nog geen water op het maaiveld zien, maar deze grondwaterstanden zorgen wel voor drassige grond. Wat ook al een probleem kan zijn. Verder laat peilbuis 5 grondwaterstanden boven het maaiveld zien. Dit betekent dus dat daar de problemen nog groter zijn. En bij dit alles moet nog rekening gehouden worden dat de neerslag in de periode die gemeten is, niet in de buurt kwam van de maatgevende neerslagperiode die gemiddeld een keer in de tien jaar voorkomt.

4 MODEL

4.1 DE WERKING VAN MICROFEM

Zoals eerdergenoemd in dit verslag, zal de situatie worden bekeken door deze te modelleren in *Microfem*. Dit model zal stap voor stap worden opgebouwd door steeds nieuwe informatie toe te voegen die belangrijk is voor de grondwaterstromingen in het gebied.

Wat *Microfem* doet is het bepalen van de grondwaterstanden afhankelijk van een aantal ingevoerde parameters. Dit doet het model door eerst een netwerk van punten te genereren. Dit netwerk van punten wordt gebouwd op basis van de precisie die de gebruiker wenst en een aantal punten die worden aangegeven door de gebruiker. Aan de hand van een aantal punten met vastgestelde grondwaterhoogte en informatie over de grond wordt vervolgens het model per punt opgelost.

Microfem gebruikt bij de berekening van grondwaterstanden een aantal eigenschappen van de grond. De eerste is de transmissiviteit van de grond. Dit is een waarde welke aangeeft hoe makkelijk grondwater horizontaal door de bodem stroomt. De waarde is het product van de horizontale doorlatendheid en de dikte van de grondlaag. Een andere eigenschap die *Microfem* gebruikt is de verticale weerstand. Deze eigenschap geeft aan hoeveel weerstand het water ondervindt als het van de ene laag doorstroomt naar de volgende laag. De laatste eigenschap die van belang is in het project is de bergingscoëfficiënt van de grondsoorten. Deze waarde geeft een indicatie over hoeveel water er uit een laag grond gehaald kan worden en is nauw verbonden met de porositeit.

Het model gebruikt ook de neerslag in het gebied. Per punt in het gebied kan een neerslag worden aangegeven. Deze kan ook veranderd worden door de tijd heen. *Microfem* gebruikt de neerslag in de waterbalans van het model. Als er meer neerslag valt dan zullen de grondwaterstanden hoger worden.

4.2 BEGRENISING

De eerste belangrijke invoer is de geografische rand van het model. Deze rand heeft geen grote invloed op het model, maar dan moet deze wel ver genoeg verwijderd liggen van de locaties die als uitvoer gebruikt gaan worden. Het is dus belangrijk dat deze randen een ruime marge hebben ten opzichte van de bouwlocatie op het terrein. Ook is het goed om ervoor te zorgen dat er voldoende randvoorwaarden liggen binnen het gebied dat gemodelleerd wordt. Deze randvoorwaarden dienen als vaste waarden binnen het model. Als er veel randvoorwaarden opgenomen zijn, dan komt dit ten goede aan de precisie van het model. Mits deze randvoorwaarden echter goed gedefinieerd zijn. Waar de begrenzing van het gebied uiteindelijk terecht is gekomen is zichtbaar in Figuur 9.

4.3 RANDVOORWAARDEN

De randvoorwaarden zijn dus van groot belang van het model. Met deze waarden berekent het model de grondwaterstanden voor het gehele model. Hierbij zijn de vastgestelde punten van groot belang. Deze randvoorwaarden dienen als punten in het model waar de grondwaterstanden constant zijn door de tijd. Vaak gaat het hier om oppervlaktewater. In het geval van 'het Bouwhuis' zijn er op het terrein de waterstanden van drie vijvers gemeten. De vijvers hebben een niet helemaal constant peil, maar ze zijn wel bruikbaar als randvoorwaarde. Deze vijvers zijn weergegeven in Figuur 9.

Hiernaast zijn er enkele watergangen net buiten het terrein aanwezig. Deze kunnen ook dienen als randvoorwaarden. Het voordeel van deze watergangen is dat deze buiten 'het Bouwhuis' zelf liggen. Daardoor

kunnen deze randvoorwaarden dienen als een grens rond het gebied waarvan de waterstand bekend is. Samen met de randvoorwaarden binnen dit model lijkt dit een goede opzet te zijn om goede resultaten te verkrijgen uit het model. Het nadeel aan deze watergangen is dat de waterstanden niet gemeten zijn. Van een aantal is wel bekend hoe hoog de aanwezige kruinen liggen van de stuwen die in de watergangen liggen (Waterschap Vechtstromen, 2016). Van een groot deel zijn echter geen gegevens bekend. Dit probleem kan worden opgelost door de watergangen te inspecteren of door aannames te doen op basis van de beschikbare informatie. In dit geval zijn de waterstanden geschat en is ervan uitgegaan dat de gebruikte watergangen constant zijn over de tijd. Dit betekent dat ze bruikbaar zijn als randvoorwaarden. De geselecteerde watergangen zijn in Figuur 9 getoond.

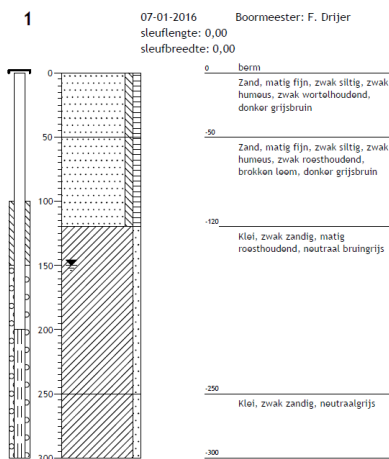
Een andere factor die als randvoorwaarde gebruikt wordt, zijn de drainagesystemen die op het terrein liggen. Dit zijn buizen die onder de grond liggen. Het water kan via de buitenkant van deze buizen in de buis lopen. Dit water wordt dan afgevoerd. Deze drainagesystemen zijn belangrijk, omdat ze de waterhoogte kunstmatig op een bepaalde hoogte brengen. En omdat ze zorgen voor een constante waterhoogte kunnen ze dienen als randvoorwaarde.

Appendices A en B geven een indicatie van waar de drainage ligt. Figuur 24 in Appendix B is een detailtekening van een gebouw op het terrein, waarbij ook de drainage is weergegeven. Figuur 25 uit Appendix C geeft de locatie aan van de drainageputten op het terrein. Uit inspectie van deze punten blijkt dat het hier gaat om drainage die ongeveer anderhalve meter onder het maaiveld ligt. Deze drainage is voorzien van een pomp die niet bij alle putten werkte. Uit de inspectie van de putten bleek ook dat het hier waarschijnlijk gaat om ringdrainage rond de gebouwen.

In het model zijn drainage put 3 tot en met 10 meegenomen als ringdrainage die anderhalve meter onder het maaiveld liggen. Drainageput 11 werkte tijdens de inspectie niet en van de overige punten is het moeilijk in te schatten hoe de drainage eromheen precies ligt. Ook liggen deze putten verder van de gebieden waar het vaak nat is en daarmee zijn ze ook minder van belang.

4.4 BODEMOPBOUW

De volgende informatie die wordt ingevoegd in het model is de bodemopbouw. De bodemopbouw is bepalend voor de eigenschappen van de bodem. Daarmee bepaalt de grondopbouw voor een belangrijk gedeelte de grondwaterstromingen. De grondopbouw is onderzocht tegelijkertijd met het plaatsen van de peilbuizen. Er is op dat moment een boor de grond in gegaan die de lagen grond naar boven heeft gehaald die in de bodem aanwezig zijn. Aan de oppervlakte is door de boormeester bepaald welke grondsoorten in de grond aanwezig zijn. Vanuit deze observaties worden profielen opgesteld die gedigitaliseerd zijn. Vanuit deze profielen kan vervolgens worden geïnterpreteerd welke eigenschappen bij de verschillende grondlagen horen. Het profiel van peilbuis 1 is te zien in Figuur 10.



Figuur 10 Voorbeeld van een boorprofiel, dit geval de boring die gedaan is bij peilbuis 1.

Er zijn vijf boorprofielen beschikbaar. De boorprofielen laten eerst een laag zand zien en vervolgens een laag klei. De laag zand is echter niet constant in dikte. Deze is dan ook gevarieerd over het model. Dit is gedaan door de dikte die uit de profielen kwam in te voeren in het model en deze vervolgens te interpoleren over de rest van het model. Dit is gedaan met de Inverse Distance Weighting (IDW) interpolatie. Deze methode is gebaseerd op het idee dat de waarde van een onbekend punt afhankelijk is van de waarden in de buurt. Deze afhankelijkheid is vervolgens gebaseerd op de afstand tot de punten in de buurt. Vaak wordt deze afstand verheven met een macht (Lu & Wong, 2008). In dit geval is de afstand gekwadrateerd. Onder deze laag zand begint de kleilaag. Deze laag is ingevoerd met een dikte die gelijk is aan de afstand van de onderkant van de zandlaag tot aan het NAP. Deze laag klei blijkt volgens een bodemonderzoek door te lopen tot in ieder geval 80 meter onder het maaiveld (Dinoloket, 1975).

4.5 BODEMEIGENSCHAPPEN

Als de bodemopbouw is ingevoerd, dan is de volgende stap het invoeren van eigenschappen van de bodem. De soort grond is van invloed op hoe gemakkelijk water stroomt door de bodem en dit heeft weer invloed op waar het water heen stroomt en dat bepaalde mede de hoogte van de grondwaterstanden per locatie.

In het model zijn twee grondsoorten meegenomen: zand en klei. De eigenschappen van deze grondsoorten zijn aangenomen zoals ze staan in Tabel 2. Deze waarden kunnen verschillen van de werkelijke waarden in het projectgebied. De waarden zijn geschat op basis van vuistregels (Diepen, 2000). Vooral de k-waarde kan veel variatie vertonen. Omdat het lastig is om deze goed te meten, zal dit een van de parameters zijn om het model te kalibreren. Dit kan door de waarden voor het hele model te veranderen, maar dit kan ook door deze waarde te variëren binnen het projectgebied.

	K-waarde	horizontale	Bergingscoëfficiënt	Verticale weerstand (d)
	doorlatendheid (m/d)			
Zand	5		0,2	0
Klei	0,1		0,01	500

Tabel 2 Parameters

4.6 NEERSLAG

De neerslag is ook van belang voor de grondwaterstanden in het gebied. Als er meer neerslag valt dan zullen de grondwaterstanden logischerwijs stijgen. Dit blijkt als de gedane metingen naast de regenval worden uitgezet.

De grondwaterstanden volgen de neerslag duidelijk. De grondwaterstanden stijgen en dalen minder snel dan de hoeveelheid neerslag, maar er is wel een duidelijk verband tussen de twee.

De neerslag is initieel meegenomen als uniform over de tijd. Er zijn historische meetgegevens van de neerslag beschikbaar die gedaan zijn vanuit het weerstation Twenthe van het KNMI (KNMI, 2016). Deze gegevens beslaan een langere periode dan de gegevens die gebruikt zijn bij de vergelijking met de metingen. Dezelfde gegevens zijn beschikbaar voor de verdamping. Aan de hand van deze twee reeksen, is er gekeken hoe groot het neerslag overschot gemiddeld is geweest in de afgelopen tien jaar. Het gemiddelde van deze metingen kwam uit op ongeveer 0,55 mm per dag. Deze waarde is gebruikt als invoer voor de dagelijkse neerslag in het model. Deze dagelijkse neerslag gedurende een lange tijdsperiode zorgt ervoor dat het model richting een evenwichtswaarde. Ook wordt de neerslag gebruikt om te kijken of het model op dezelfde manier reageert op perioden van veel neerslag, als te zien is in de gedane metingen.

4.7 BEBOUWING

De aanwezigheid van bebouwing kan ook een invloed hebben op hoe het grondwater stroomt. Dit heeft vooral te maken met de kelders die onder de bebouwing liggen. Water kan niet door de muren van de kelders heen stromen. Voor het model is aangenomen dat alle gebouwen op het terrein een kelder hebben. Voor de diepte van de kelder is een waarde van drie meter geschat. Om het bestaan van de kelders te representeren in het model is voor de locaties van de gebouwen een zeer lage waarde voor de doorlatendheid ingevoerd. Dit is gedaan voor alle gebouwen op het terrein. De aanwezige gebouwen zijn weergegeven in Figuur 1.

4.8 KALIBRATIE EN VALIDATIE

Als de relevante factoren in het model geïmplementeerd zijn, dan kan het model gekalibreerd worden. De bedoeling hiervan is dat het model zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid komt. Dit wordt gedaan door het model zo goed mogelijk overeen te laten komen met metingen die gedaan zijn. De kalibratie zal gedaan worden aan de hand van de metingen van de waterstanden. Van deze metingen zijn er drie gebruikt als vaste waterhoogte in het model, dus deze zijn niet bruikbaar voor de kalibratie. Hierdoor blijven er nog 7 punten over voor de kalibratie en validatie van het model. Van deze punten is data beschikbaar door de tijd heen. Een mogelijkheid is dus om deze tijdreeks in de tweeën te hakken en een split-sample test uit te voeren. Waarbij de ene helft van de tijdreeks voor kalibratie gebruikt wordt en de andere helft voor de validatie. Hier is echter niet voor gekozen, omdat het gemiddelde van de grondwaterstand door de tijd heen een waarde is waarop gekalibreerd wordt. Deze waarden zouden voor beide reeksen ongeveer gelijk zijn. Daardoor zou er geen goede validatie mogelijk zijn voor deze waarden.

Voor dit model is er gekozen om de helft van de punten te gebruiken als kalibratie en de andere helft als validatie. De punten zijn zo geselecteerd als koppels die ruimtelijk dicht bij elkaar liggen. Van elk koppel zal een punt gebruikt worden voor kalibratie en een voor validatie. Hierdoor zijn 3 koppels ontstaan en is het overige punt gebruikt als extra kalibratiepunt.

Er zal op twee manieren worden gekalibreerd. De eerste manier is hierboven al kort genoemd. Bij deze indicator zal worden geprobeerd de grondwaterstanden die uit het model komen overeen te laten komen met de gemiddelde waarden van de metingen.

De andere methode maakt gebruik van het gegeven dat er data door de tijd heen beschikbaar is. Deze verschillen kunnen ook uit het model komen door de bijbehorende neerslag ook veranderlijk over de tijd in het model te verwerken. De gemeten grondwaterstanden door de tijd heen zouden dan overeen moeten komen met de berekende waarden die uit het model komen. Hierbij gaat het er niet om dat de exacte waarde gelijk

aan elkaar zijn. Het gaat erom dat het model op dezelfde manier op neerslag reageert als dat gebeurt in de werkelijkheid. Dit betekent dus dat vooral de verschillen door de tijd heen voor de metingen en het de uitkomsten van het model gelijk zijn. Hiervoor is de bandbreedte van de grondwaterstanden een goede indicator.

Er zijn een aantal onzekere parameters in het model die gebruikt kunnen worden om het model te kalibreren. In dit model zijn dat de k-waarde, de bergingscoëfficiënt en de hoogte van de watergangen.

Vervolgens kan met de punten waarop niet gekalibreerd is, gevalideerd worden. Voor de indicatoren waarop gekalibreerd is kan ook gekeken worden of de validatiepunten daar ook in de buurt van de werkelijkheid komen. Als dit het niet geval is dan kan er opnieuw op een andere manier gekalibreerd worden. Het kan ook zijn dat deze punten wel goed de werkelijkheid representeren. Dit wijst erop dat het model doet waarvoor het bestemd is en daardoor kan vertrouwen worden gevestigd in de resultaten.

4.9 RESULTATEN KALIBRATIE EN VALIDATIE

Initieel zijn alle k-waarde op 5 gezet en alle bergingscoëfficiënten op 0,1. Deze waarden zijn zo aangepast dat de kalibratiepunten zo goed mogelijk overeenkomen met de metingen. De resultaten van de kalibratie zijn weergegeven in Tabel 3 en Tabel 4.

Peilbuis	1	2	5	10
Bergingscoëfficiënten initieel	0,1	0,1	0,1	0,1
K-waarden initieel	5	5	5	5
Afwijking in cm van het model in gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van meting voor kalibratie	-1,05	0,05	-0,12	-0,12
Afwijking in cm van het model in bandbreedte grondwaterstand ten opzichte van meting voor kalibratie	-0,74	-0,01	0,01	0,01
Bergingscoëfficiënten na kalibratie	0,3	0,1	0,06	0,06
K-waarden na kalibratie	15	1	8	31
Afwijking in cm van het model in gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van meting na kalibratie	-0,06	0,09	-0,04	-0,04
Afwijking in cm van het model in bandbreedte grondwaterstand ten opzichte van meting na kalibratie	-0,01	-0,03	-0,02	-0,02

Tabel 3 Resultaten kalibratie voor kalibratiepunten, waarbij een negatieve waarde een te hoge waarde van het model aangeeft en een positieve waarde een te lage waarde

Peilbuis	3	4	6
Afwijking in cm van het model in gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van meting voor kalibratie	-0,70	0,48	0,24
Afwijking in cm van het model in bandbreedte grondwaterstand ten opzichte van meting voor kalibratie	-0,03	0,14	-0,27
Afwijking in cm van het model in gemiddelde grondwaterstand ten opzichte van meting na kalibratie	0,16	0,72	0,71
Afwijking in cm van het model in bandbreedte grondwaterstand ten opzichte van meting na kalibratie	-0,01	0,16	0,20

Tabel 4 Resultaten kalibratie voor validatiepunten, waarbij een negatieve waarde een te hoge waarde van het model aangeeft en een positieve waarde een te lage waarde

Uit de tabellen blijkt dat het model voor de kalibratiepunten dicht bij de metingen komt. Als echter gekeken wordt naar de parameters die uit de kalibratie komen, dan is het de vraag of deze realistisch zijn. Voor zand geldt over het algemeen dat zowel de horizontale weerstand als de bergingscoëfficiënt toeneemt naarmate de zanderigheid van de bodemsoort toeneemt. In dit geval is te zien dat bij peilbuis 10 de bergingscoëfficiënt laag

is en de horizontale weerstand hoog. Dit is geen reële situatie. Dit zou veroorzaakt kunnen worden, doordat er geen boorprofiel beschikbaar was bij deze peilbuis. Hierdoor is de dikte van de zandlaag afgeleid van de andere boorprofielen. Dit komt mogelijk niet overeen met werkelijke situatie. Ook de andere grondparameters lijken allemaal niet erg waarschijnlijk in vergelijking met elkaar, maar hier zijn de waarden minder extreem.

Voor de validatiepunten geldt dat er een punt is dat het redelijk doet en dat er twee punten zijn die ongeveer 70 centimeter afwijken en daarmee minder goed de werkelijkheid lijken te representeren. Bij punt 6 zou dit kunnen komen doordat hier, net als bij punt 10, geen boorprofiel beschikbaar was. Daardoor is ook voor dit punt de dikte van de grondlaag afgeleid door middel van interpolatie. Dat de locatie van peilbuis 4 zoveel afwijkt is moeilijker te verklaren, dit punt ligt vlak bij een drainagebuis en men zou verwachten dat hierdoor de grondwaterstand wel redelijk vaststaat. Het model geeft echter een te lage waarde aan op die plek. Mogelijk stond de drainage tijdens de metingen niet aan, dit zou het verschil kunnen verklaren.

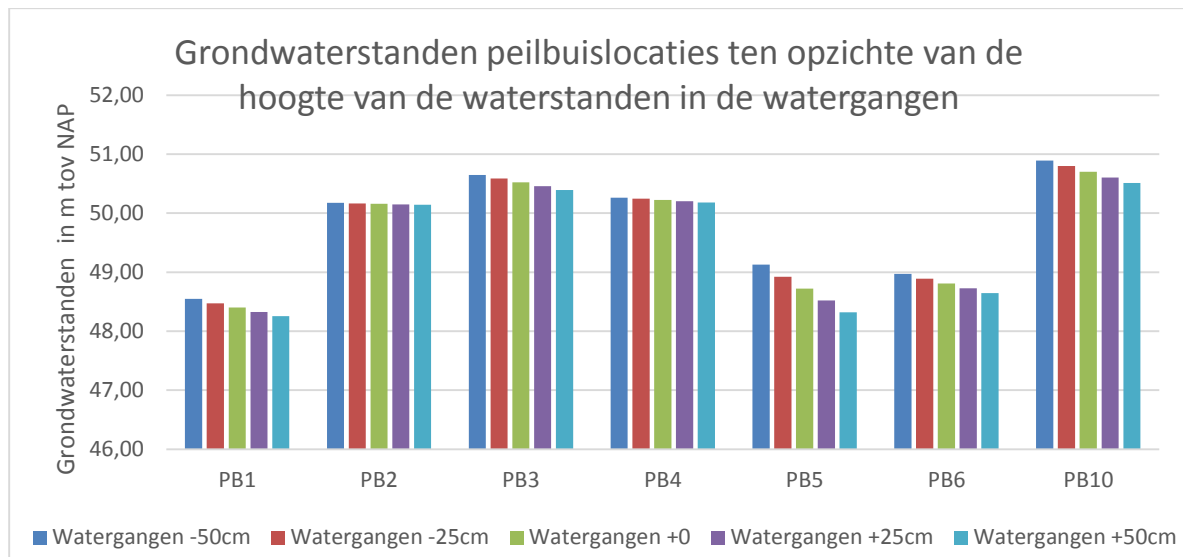
Algemeen kan over de resultaten gezegd worden dat deze niet erg accuraat zijn voor de punten waarop niet is gekalibreerd. Bij het bestuderen van de resultaten dient dit ook in acht te worden genomen. De locatie van peilbuis 3 in het model geeft echter wel een goede beschrijving van de werkelijkheid. Dus van de punten rond deze locatie kan verwacht worden dat ze wel accuraat door het model worden bepaald.

4.10 GEVOELIGHEID

In deze paragraaf wordt gekeken naar hoe gevoelig het model is voor bepaalde parameters. Deze gevoeligheid geeft inzicht in hoe het model werkt en welke parameters belangrijk zijn ten opzichte van andere parameters. De eigenschappen die worden geanalyseerd in het model op gevoeligheid zijn de grondparameters, de hoogte van de watergangen en de drainage.

Watergangen

De gevoeligheid van het model op de aangenomen waterstanden is onderzocht door deze waterstanden te veranderen in het model. De waterstanden worden achtereenvolgens verlaagd met 25 en 50 cm en daarna met dezelfde hoeveelheden verhoogd. De uitkomsten hiervan zijn zichtbaar in Figuur 11. Hierin is duidelijk effect merkbaar dat de het grondwater mee zakt met het oppervlaktewater. Dit is ook verklaarbaar, aangezien grondwater zich opbolt tussen oppervlaktewater. Het verschil in gevoeligheid tussen locaties van de peilbuizen, heeft te maken met de afstand tot deze watergangen. Peilbuis 5 ligt bijvoorbeeld vlak bij een watergang en peilbuis 4 ligt hier juist ver vandaan. Ook de afstand tot andere locaties met vaste waterstanden is van belang, omdat een punt dat dicht bij een dergelijke locatie ligt vooral daarvan afhankelijk is. En hiermee dus minder afhankelijk de watergangen rond het gebied.



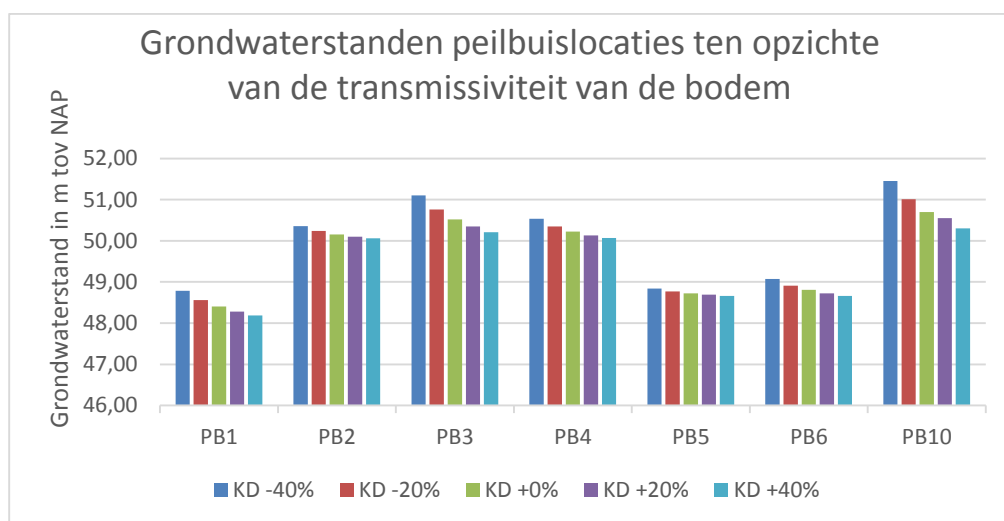
Figuur 11 Gevoeligheid van het model voor verandering in hoogte van de watergangen

Grondparameters

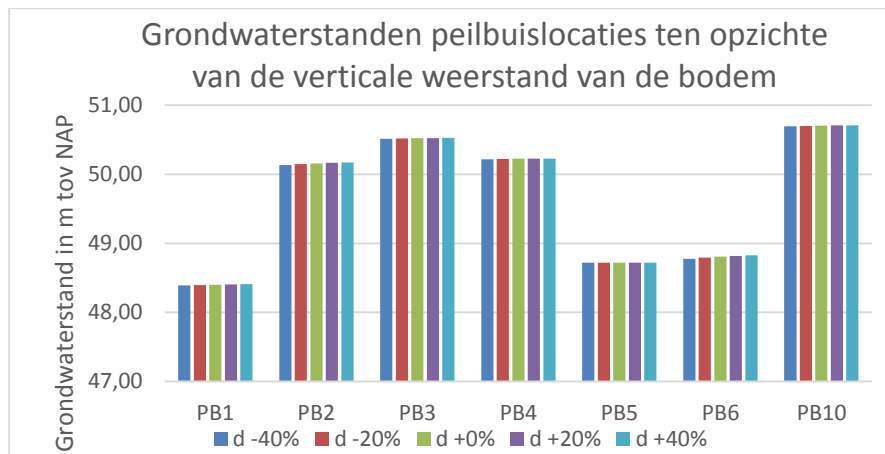
Een indicatie van de gevoeligheid van het model voor grondparameters is gegeven in Figuur 12 en Figuur 13. De eerste figuur geeft de gevoeligheid voor de transmissiviteit (verticale weerstand in m^2/d) van de bodem. Deze waarde is het product van de dikte van een laag in de bodem en de k -waarde van deze laag. Voor deze laatste parameter is ook gekalibreerd. Zoals uit de wet van Darcy verwacht wordt, geeft een hogere transmissiviteit een lager grondwaterstand. Dit komt doordat bij een hogere k -waarde er meer water wegstroomt.

Uit de grafiek blijkt dat het model gevoelig is voor de transmissiviteit en dus de k -waarde. Ook dit is in overeenstemming met de wet van Darcy, waarin de k -waarde een belangrijke eigenschap van de grond is. Wel verschilt de gevoeligheid tussen de verschillende punten. Dit heeft weer te maken met de afstand tot locaties met vast grondwaterhoogten, waardoor de grondwaterstand vaster staat dan bij locaties waarin dit niet het geval is.

Kijken naar de verticale weerstand, dan valt op het model hier niet gevoelig voor is. Dit is ook wat de verwachting was. Het enige wat bekend is van deze waarde is dat deze hoog dient te zijn. Dat deze waarde weinig invloed op het model heeft, betekent dat ook geen verder onderzoek nodig is naar een exactere waarde hiervoor.



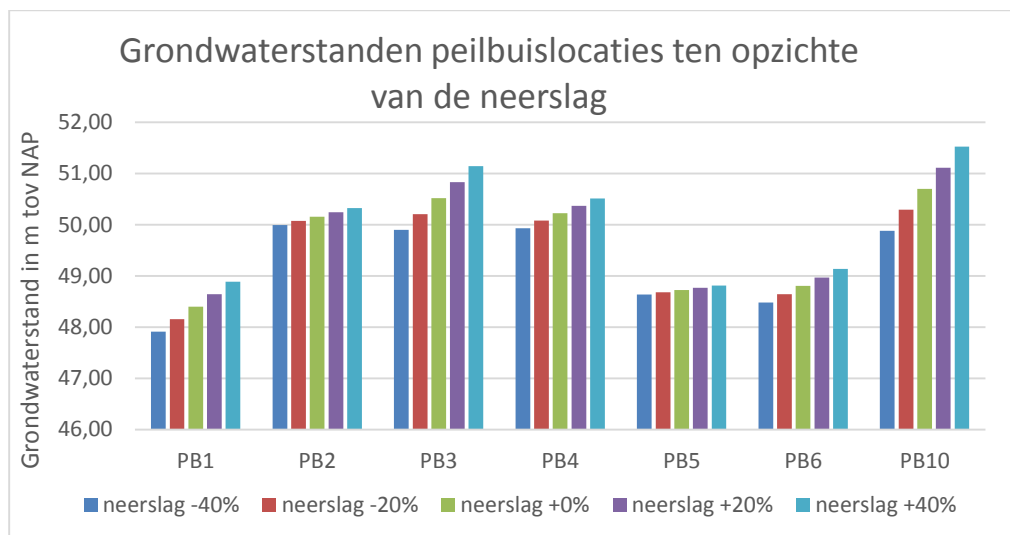
Figuur 12 Gevoeligheid van het model voor verandering van de transmissiviteit van de bodem



Figuur 13 Gevoeligheid van het model voor verandering van de verticale weerstand van de bodem

Neerslag

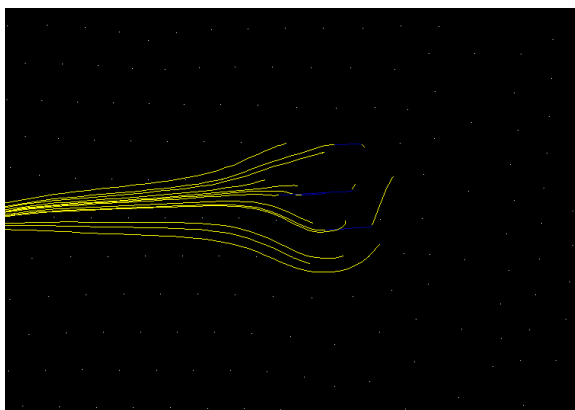
Als de neerslag verhoogd wordt dan is de verwachting dat ook de grondwaterstanden in het model zullen stijgen. Als de neerslag verminderd dan is de verwachting dat ook de grondwaterstanden zullen dalen. Dit effect is ook in het model en Figuur 14 terug te zien. De waarden in de grafiek tonen aan dat de neerslag een belangrijke factor is bij het bepalen van de grondwaterstanden.



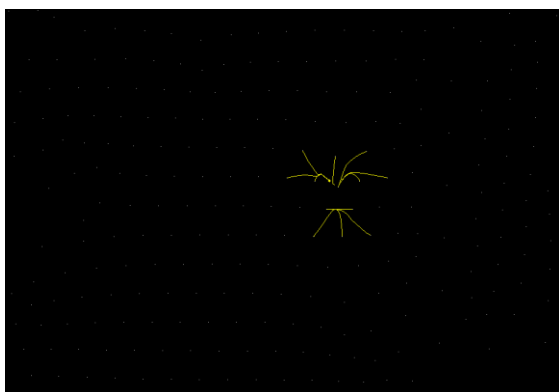
Figuur 14 Gevoeligheid van het model voor verandering van de neerslag

Drainage

Om een idee te krijgen van de invloed van drainage, zijn er zogenaamde stroomlijnen weergegeven in Figuur 15 en Figuur 16. In deze figuren zijn de stroomlijnen getekend vanaf een gebouw dat gedraineerd is. In de eerste afbeelding is de situatie weergegeven zoals deze wordt als de drainage uitstaat en in de tweede figuur is de situatie weergegeven zoals deze wordt als de drainage wel in werking is. Het gebouw ligt in beide figuren in het midden van de afbeelding. De stroomlijnen laten zien hoe het grondwater stroomt door de tijd heen. In de figuren zijn dit de stromingen vanaf het gebouw gedurende 100 jaar. In het geval dat er geen drainage aanwezig is, dan stroomt het grondwater rond het gebouw af naar het oosten, de stuwwal af. Als er wel drainage ligt, dan zal het grondwater hierheen stromen en daar als het ware verdwijnen. Dit is zichtbaar in Figuur 16, waar er geen lijnen van het gebouw wegstromen.



Figuur 15 Stroomlijnen van een gebouw zonder drainage, waarbij gele lijnen een hogere grondwaterstroom aangeven en de blauwe diepere grondwaterstromingen



Figuur 16 Stroomlijnen van een gebouw met drainage, waarbij gele lijnen een hogere grondwaterstroom aangeven en de blauwe diepere grondwaterstromingen

4.11 MODELUITKOMSTEN VOOR HUIDIGE SITUATIE

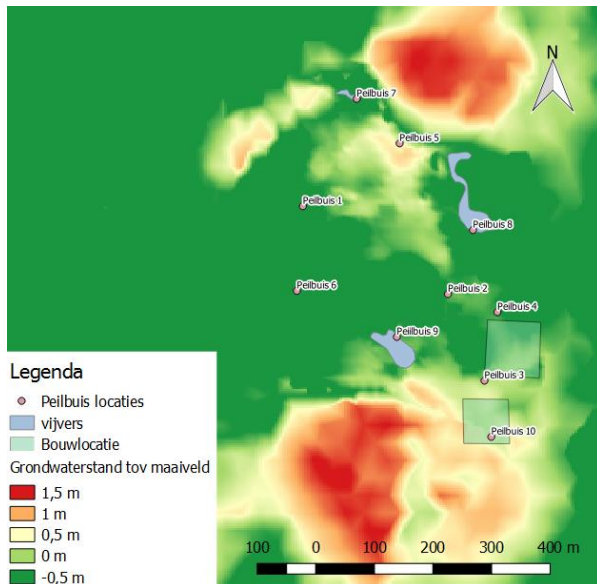
Grondwaterproblemen ontstaan als het grondwater dicht bij het maaiveld staat. De grondwaterstanden uit het model zijn opzicht van het NAP, dus deze zeggen op zichzelf nog niets over de mogelijke problemen in het gebied. Om deze problemen te bestuderen is het ook noodzakelijk om de bijbehorende maaiveldhoogte te kennen. Voor de hoogte van het maaiveld zijn de gegevens van het Algemene Hoogtebestand Nederland beschikbaar. Dit bestand geeft complete informatie van de maaiveldhoogte in het hele gebied. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat deze gegevens niet heel accuraat zijn. Op de locatie van de peilbuizen zijn ook metingen gedaan met een gps en deze waarden wijken tot enkele decimeters af van de waarden uit het AHN. Er zijn ook metingen gedaan op het gebied zelf. Deze waarden zijn accurater, maar zijn niet beschikbaar voor het gehele gebied. Daarom is gekozen om deze waarde te gebruiken en aan te vullen met de waarde van het AHN. Deze waarde komen uit de dataset AHN3 (NGR, 2015).

Het model is doorgerekend per maand met aansluitend een neerslagperiode die eens in de zoveel jaar voorkomt. Uit de resultaten blijkt dat de grondwaterstanden het hoogst zijn na de maand Januari. Deze maand is dan ook genomen als indicator voor de grondwaterproblematiek.

In Figuur 17 is de situatie weergegeven die ontstaat bij neerslag die eens in de 10 jaar voorkomt en aansluitend aan de maand Januari valt. Dit is de referentiesituatie waarmee mogelijke oplossingen worden doorgerekend. In de figuur zijn de rode vlekken de locaties waar volgens de uitkomsten het model water op het maaiveld komt te staan. De hoge standen uit de legenda zijn slechts theoretisch, omdat water dat uit de grond naar boven komt, weg zal stromen. Maar de waarden zijn wel een indicatie voor de hevigheid van de

problemen. De locaties waar de problemen het grootst zijn, en waar dus ingegrepen dient te worden, blijven het zuidelijk de bouwlocatie en het gebied rond peilbuis 5. Dit was ook te zien in de metingen zoals gegeven in Tabel 7 uit Appendix A, waar ook waterstanden vlak onder of boven het maaiveld te zien waren.

Hierbij heeft de bouwlocatie wel prioriteit, omdat daar een droge situatie zeer wenselijk is. Ook wil men geen water tegen de kruipruimte hebben staan. Dit betekent dat daar de grondwaterstand aanzienlijk naar beneden zal moeten.



Figuur 17 Grondwaterstanden na Januari ten opzichte van het maaiveld in de huidige situatie met een bui die eens per tien jaar voorkomt

5 RESULTATEN

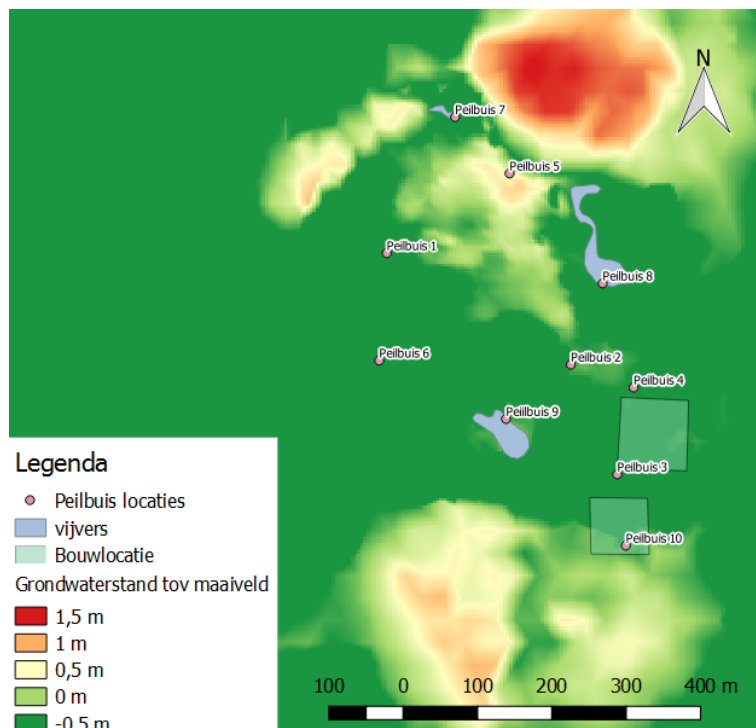
5.1 VERBETEREN WATERGANGEN

Op het terrein zijn een aantal watergangen aanwezig. Deze watergangen zijn vaak niet goed onderhouden en werken daarom niet zo goed als dat oorspronkelijk het geval was. Uit de resultaten van het model blijkt dat er vooral in zuiden en in de buurt van peilbuis 5 iets gedaan moet worden. Bij beide punten liggen op dit moment al watergangen die ook in het model verwerkt zijn. Het gebruik van deze watergangen kan echter nog worden uitgebreid.

Zuidelijke watergang

De oorspronkelijke zuidelijke watergang is duidelijk zichtbaar in Figuur 26 van Appendix D. In de tijd dat deze kaart gemaakt is, lagen er nog twee watergangen waarbij er ook nog een kleine tak richting het noorden aanwezig was. In de huidige situatie loopt de watergang niet zo ver meer door. Wel ligt er nog een watergang met aansluitend een pijp tot en met de bouwlocaties, maar of deze nog werkt is niet duidelijk. Ook de watergang is behoorlijk dichtgeslibd, wat zichtbaar in Figuur 27 van Appendix E. De tak naar het noorden is helemaal dichtgeslibd en heeft geen werking meer. Wat hier gedaan kan worden is het her in gebruik nemen van de watergang tot en met de bouwlocaties. Dit kan gedaan worden door deze uit te graven of door de buis die daar ligt schoon te maken en de rest van de watergang uit te baggeren. Ook kan de tak naar het noorden weer worden uitgegraven. De toestand van deze tak kan bekeken worden in Figuur 28 in Appendix E.

Deze ingrepen worden gemodelleerd door de zuidelijk watergang in het model door te trekken en deze een lagere grondwaterstand te geven. Hierbij wordt ook de noordelijke tak weer toegevoegd. Deze watergangen gaan dan dienen als randvoorwaarde in het model. Aangenomen is dat de waterstand van deze watergangen anderhalve meter onder het maaiveld komt te liggen.



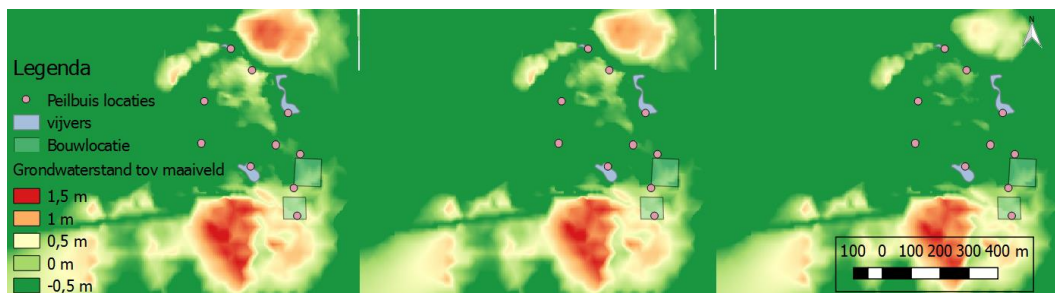
Figuur 18 Grondwaterstanden 'het Bouwhuis' nadat de zuidelijke watergang is opgewaardeerd

In het model zijn de ingrepen rond de zuidelijke watergangen zoals beschreven ingevoerd. De grondwaterstanden die ontstaan onder hetzelfde neerslagsscenario als dat van de huidige situatie zijn weergegeven in Figuur 18. Duidelijk is dat de grondwaterstanden gedaald zijn. Zoals te verwachten is, zijn vooral de grondwaterstanden rond de watergang gedaald. Hier zijn de grondwaterstanden dan ook duidelijk gedaald. De problemen zijn echter niet helemaal verdwenen, maar het is wel een grote verbetering ten opzichte van de voorgaande situatie. Deze oplossing heeft echter maar een beperkte invloed op de rest van het projectgebied, dus deze oplossing is niet genoeg om de situatie op het hele terrein te verbeteren.

Noordelijke watergang

De noordelijke watergang kan op eenzelfde manier worden aangepakt. Dit stuk is helaas niet op de historische kaart van Figuur 26 uit Appendix D weergegeven. De watergangen loopt momenteel ten noorden van de vijver waarin peilbuis 8 ligt en stroomt uit in de vijver met peilbuis 7 erin. Ook loopt de watergang nog een stukje door ten noorden van deze vijver. Figuur 29 in Appendix E geeft een indicatie van de toestand van deze watergang. Vroeger bestond er ook een verbinding tussen de eerstgenoemde vijver en de watergang. Deze verbinding is nog wel zichtbaar, maar heeft zijn werking verloren als te zien in Figuur 30 van Appendix E.

De ingrepen die hier gedaan kunnen worden liggen in het uitbaggeren en opwaarderen van de watergang. Dit kan gemodelleerd worden door de huidige watergang dieper te laten liggen in het model. Ook kan de verbinding tussen de vijver en deze watergang hersteld worden. Het is echter lastig om dit te modelleren, omdat het onduidelijk is wat dit met het waterpeil van vijver acht doet. En dit waterpeil is weer direct verbonden met het peil van vijver negen. Een mogelijkheid hier is om een bepaalde waterstandsdeling van de vijvers acht en negen te bestuderen in het model. Dit zou in de werkelijkheid overeenkomen met een bepaalde hoogte van een uitlaat. In het model kan dan gekeken worden hoe groot de invloed van de diepte van een uitlaat is. Aangenomen is dat de watergang evenveel mee daalt als de vijvers dat doen.



Figuur 19 Grondwaterstanden op 'het Bouwhuis' voor van links naar rechts de situaties met een waterstandsdeling van de vijvers van 25 cm, 50 cm en 100 cm

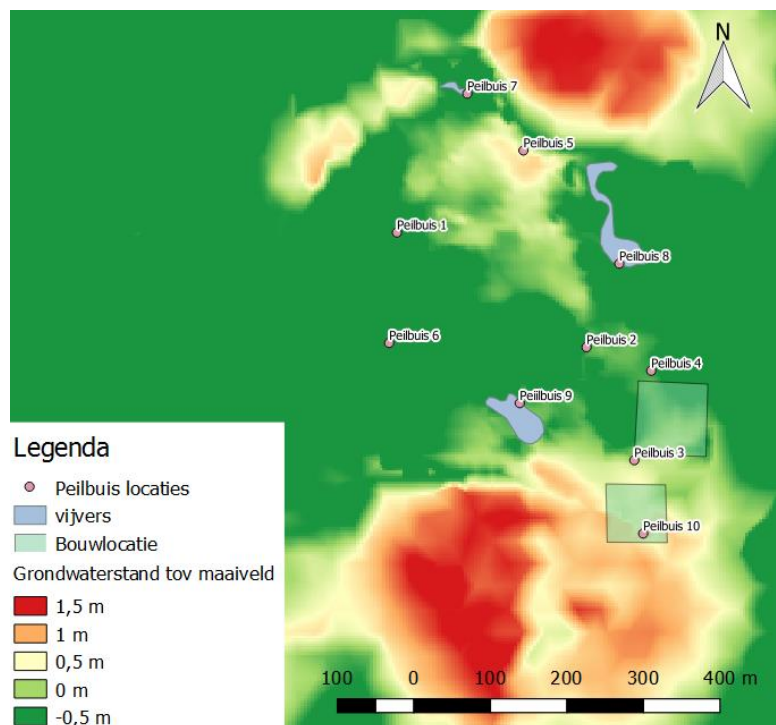
Voor deze aanpak van de noordelijke watergang is gekeken naar wat de grondwaterstand doet bij een daling van 25cm, 50cm en 100cm. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 19. Zoals verwacht dalen de grondwaterstanden meer als de waterstand in de vijvers lager ligt. De verandering vinden plaats bij de watergang die opgewaardeerd is in het noorden, maar bij deze oplossing wordt de situatie in het zuiden ook enigszins verbeterd. De effecten zijn op die locatie echter niet dusdanig groot dat het een oplossing voor het probleem is.

Uit de figuren komt ook naar voren dat er een significante daling van de waterstand in de vijvers nodig is om het probleem op te lossen. Bij een daling van 25 of 50 centimeter blijven er nog veel problemen bestaan, pas bij de een meter daling van een meter lijkt het erop dat de grondwaterstanden beneden het maaiveld blijven. Toch blijven er ook dan problemen ontstaan bij een neerslagsscenario dat eens per tien jaar voorkomt. Als de

problemen rond peilbuislocatie 5 dus opgelost moeten worden dan zullen daar waarschijnlijk extra maatregelen nodig zijn.

Oostelijke watergang

Een watergang die nog niet in het model geïmplementeerd is, is de watergang die in het oosten van het gebied naast de Oldenzaalsestraat ligt. Deze watergang is erg klein en daarom niet opgenomen in het model. Het is mogelijk om deze watergang op te waarderen en wel mee te nemen in het model. Doordat deze watergang aan de rand van het model ligt waar nu nog geen randvoorwaarde is ingesteld zou deze de grondwaterstand in het gehele model kunnen verlagen. De invloed van de opwaardering van deze watergang is bestudeerd door de waterstand ervan in het model vast te zetten op anderhalve meter onder het maaiveld.



Figuur 20 Grondwaterstanden 'het Bouwhuis' nadat de oostelijke watergang is opgewaardeerd

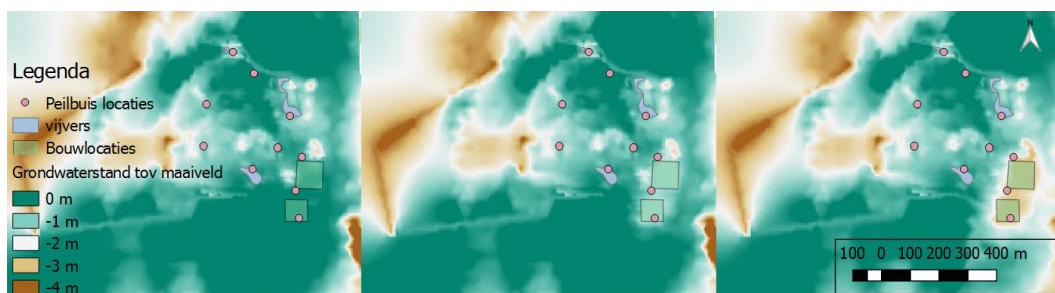
De invloed van de opwaardering van de oostelijke watergang is bekeken met het model. De uitkomsten hiervan zijn weergegeven in Figuur 20. Wat direct opvalt is deze ingreep nauwelijks invloed heeft op grondwaterstanden in de gebieden, waarin op dit moment problemen ontstaan. Dit zou kunnen komen doordat de watergang weinig invloed heeft op het model in zijn geheel, maar waarschijnlijker is dat deze maatregel vooral een lokale grondwaterstands­daling teweegbrengt. En aangezien het gebied rond de watergang al weinig waterstanden in de buurt van het maaiveld kent, is de invloed van deze maatregel nauwelijks zichtbaar in de figuur.

5.2 DRAINAGE

Bij drainage wordt er een systeem aangelegd dat ervoor zorgt dat de grondwaterstand omlaag naar het niveau van het systeem wordt getrokken. Dit gaat door middel van buizen waar het water in kan stromen. Deze buizen laten het water vervolgens afstromen uit het gebied waar de drainage ligt. Dit kan door het weg te pompen of door gebruik te maken van het vrije verval. Op deze manier wordt het grondwater omlaag getrokken.

Draineren is echter wel een kostbare ingreep en is daarom vooral geschikt om lokaal de grondwaterstand naar beneden te krijgen. Het is wel een effectieve manier om dit te doen en het grondwater kan hiermee aanzienlijk naar beneden worden gebracht. Hiermee is het een uitermate geschikt middel om de grondwaterstanden rond de bouwlocatie naar beneden te krijgen. Het is wenselijk dat er geen water tegen de kruipruimtes van de gebouwen aanstaat. Als er een kelder onder het gebouw komt, dan wil men hier liever ook geen water tegenaan hebben staan.

Beide situaties worden onderzocht aan de hand van het model. Om de kruipruimte watervrij te houden is aangenomen dat het water minimaal 1,5 meter onder het maaiveld moet staan. Voor een kelder is aangenomen dat het grondwater dan minimaal drie meter onder het maaiveld moet blijven. Met het model wordt vervolgens onderzocht hoeveel water er afgevoerd moet worden om deze grondwaterstanden te creëren. Dit is dan ook de hoeveelheid water die een pomp in het drainagesysteem moet kunnen wegpompen. Dit wordt voor beide locaties bepaald.



Figuur 21 Grondwaterstanden op 'het Bouwhuis' voor van links naar rechts de huidige situatie, de situatie met drainage op 1,5 m en de situatie met drainage op 3 m

Figuur 21 toont de gevolgen voor de grondwaterstanden voor de situatie met drainage op 1,5 en 3 meter diep. Doordat er een pomp in de drainage zit zal de waterstand op de bouwlocaties nooit boven een bepaald niveau komen. De figuur laat ook zien dat deze drainage ook een vrij groot effect heeft op de nabije omgeving. Bij een drainage op drie meter onder het maaiveld is de invloed op de grondwaterstand zichtbaar tot op meer dan honderd meter van het drainagesysteem. Verder dan de nabije omgeving reikt het resultaat van deze oplossing echter niet.

Met het model is ook de benodigde pompcapaciteit bepaald. Deze is gelijk aan de hoeveelheid water die in het model de drainage instroomt tijdens het maatgevende scenario. De capaciteiten die hier uitkomen zijn weergegeven in Tabel 5 en Tabel 6, voor respectievelijk de noordelijke en zuidelijke bouwlocatie. Hierbij is ook gekeken of deze benodigde capaciteit veranderd als de watergangen in de omgeving worden opgewaardeerd. Verwacht zou worden dat dit zorgt voor een vermindering van de benodigde capaciteit, omdat deze ingreep ervoor zorgt dat de waterstand al lager is. Hierdoor zou de hoeveelheid water die weg wordt gepompt moeten verminderen. Dit blijkt echter niet uit de getallen die uit het model komen. Hieruit blijkt, dat vooral bij de drainage op 3 meter, er juist meer gepompt moet worden. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat de zuidelijke watergang vlak bij de bouwlocatie ligt. En in deze watergang ligt de waterstand vast op anderhalve meter onder het maaiveld. Deze situatie zorgt ervoor dat het drainagesysteem het grondwater op kort afstand het water ongeveer 1,5 meter moet laten dalen.

	Drainage op 1,5 m	Drainage op 3 m
Zonder opwaardering zuidelijk watergang	257	365
Met opwaardering zuidelijk watergang	258	499

Tabel 5 Modeluitkomsten voor de capaciteit die de pomp van de drainage moet hebben bij de noordelijke bouwlocatie voor verschillende situaties in m3 per dag

	Drainage op 1,5 m	Drainage op 3 m
Zonder opwaardering zuidelijk watergang	344	441
Met opwaardering zuidelijk watergang	305	620

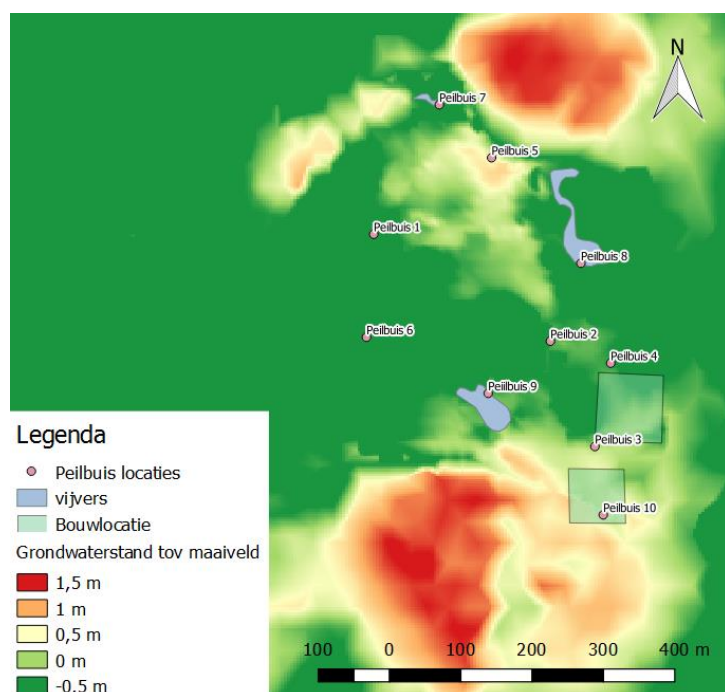
Tabel 6 Modeluitkomsten voor de capaciteit die de pomp van de drainage moet hebben bij de zuidelijke bouwlocatie voor verschillende situaties in m3 per dag

5.3 GRONDVERBETERING

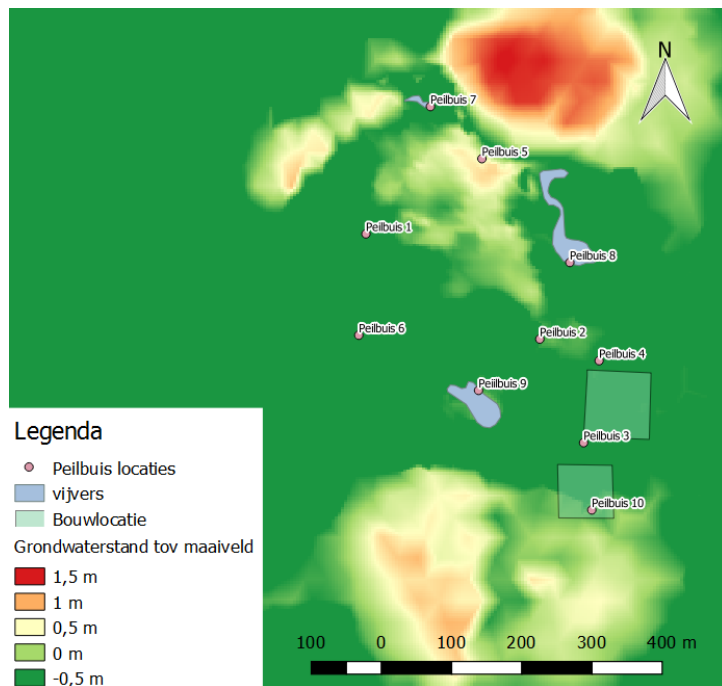
Een oplossing kan zijn om de grondsamenstelling zo te veranderen dat het water makkelijker kan infiltreren en kan wegstromen. Dit kan bereikt worden door een zandigere grondsoort te creëren. Een manier waarop dit mogelijk is, is door het land om te ploegen en zand te mengen door de grond. Een andere mogelijkheid is om een laag grond af te graven en hiervoor een andere laag grond terug te plaatsen.

Doordat in het model de huidige bodemopbouw een onzekere factor is, is het moeilijk om te bepalen waar grondverbetering mogelijk is. Ook hoeveel de grond vervolgens verbeterd kan worden is lastig vast te stellen. Een gehele laag grond vervangen is wel goed te modeleren in het model, omdat hierbij de oude opbouw minder van belang is. Wel blijft ook hierbij de vraag hoe betrouwbaar de uitkomsten zijn als ze worden vergeleken met de uitkomsten van de huidige situatie.

Uit de kalibratie komt, dat de k-waarde bij de bouwlocaties in het model al erg hoog is. Het is echter de vraag hoe betrouwbaar deze waarden zijn. Om toch de invloed van grondverbetering te onderzoeken, wordt k-waarde rond de bouwlocaties met een percentage verhoogd. Met het model kan vervolgens bekeken worden wat invloed hiervan is. Mocht dit volgens deze methode een goede oplossing zijn, dan kan in een later stadium verder onderzocht worden of grondverbetering een optie is. De percentages die gebruikt worden zijn 12,5 procent, 25 procent en 50 procent.



Figuur 22 Grondwaterstanden op 'het Bouwhuis' bij verhoging van de k-waarde met 50%



Figuur 23 Grondwaterstanden op 'het Bouwhuis' bij verhoging van de k-waarde met 50% en opwaardering van de zuidelijke watergang

Het model is gebruikt om de consequenties van een verhoogde k-waarde te bekijken in de huidige situatie. De uitkomsten van een verhoging van de k-waarde met 50% op de bouwlocaties zijn te vinden in Figuur 22. Hieruit blijkt dat deze ingreep een minimale uitwerking heeft op de grondwaterstanden. Een mogelijkheid is dat dit komt doordat alleen lokaal de k-waarde wordt verhoogd en dit in de gebieden hierom heen niet gebeurt. Daardoor kan het water wel makkelijker stromen, maar het kan nergens naartoe. Om te onderzoeken of dit inderdaad het geval is, is dezelfde ingreep ook doorgerekend in een situatie waarin de zuidelijke watergang is opgewaardeerd. Deze watergang grenst aan de gebieden en zou het water dus weg kunnen voeren. Figuur 23 geeft de grondwaterstanden in deze situatie. Als deze standen worden vergeleken met die van Figuur 18 dan valt op dat ook nu er nauwelijks verandering zichtbaar is in de grondwaterstanden. De figuren geven wel een indicatie dat er nu iets meer gebeurt met de grondwaterstanden, maar nog steeds is het erg weinig. Blijkbaar heeft grondverbetering in deze situatie niet het gewenste effect. Dit zou er mee te maken kunnen hebben dat de k-waarde en daarmee transmissiviteit van het gebied al vrij hoog is. Hierdoor heeft een grondverbetering weinig effect meer.

6 DISCUSSIE

In de metingen die gedaan zijn van het grondwater zullen een aantal meetfouten zitten. Een eerste meetfout is zichtbaar in Figuur 7 en Figuur 8 uit hoofdstuk. In de figuren lijkt het erop dat de grondwaterstanden een dagelijkse cyclus doormaken. Het is echter onwaarschijnlijk dat de grondwaterstand een dergelijk sterke dagelijkse cyclus vertoont. De oorzaak hiervan ligt waarschijnlijk bij de gebruikte barometer. De grondwaterstand wordt bepaald aan de hand van de druk. Deze druk bij de peilbuizen is de som van de waterdruk en de luchtdruk. De luchtdruk wordt hiervan af gehaald op basis van de waarde die wordt gemeten door een barometer. Maar deze barometer heeft druk niet gemeten onder dezelfde omstandigheden als de peilbuizen. De barometer lag binnen en de peilbuizen hingen buiten. Overige meetfouten kunnen liggen in de gebruikte apparatuur. Dit zullen echter relatief kleine fouten zijn in vergelijking met de significantie van de uitkomsten van het model.

Een belangrijk middel in dit onderzoek is het gebruikte model. De betrouwbaarheid van de resultaten zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van het model. Bij de validatie is al geconcludeerd dat het model op sommige punten niet overeenkomt met de werkelijkheid. Deze afwijking kan op een aantal manieren verklaard worden. De oorzaak kan liggen in de gebruikte neerslag. Deze is gemeten in Enschede west en kan enigszins verschillen met de neerslagwaarden in het gebied. Ook kunnen er onbekende factoren in het gebied meespelen die op dit moment niet bekend zijn. Zo zou er nog meer drainage in het gebied kunnen liggen, of zijn er grondlagen aanwezig die niet uit de boringen blijken. Wat ook een onbekende factor is in het model, is wat precies de invloed is van de stuwwal. Het kan zijn dat door deze stuwwal er veel extra water door de grond het gebied in stroom. Om dit goed te analyseren zou de stuwwal vanaf de top meegenomen moeten worden in het model. Het hellende maaiveld is wel meegenomen in het model, maar waarschijnlijk heeft de stuwwal meer invloeden die buiten het bereik van dit model liggen.

De implicatie van deze afwijkingen is dat het model niet gebruikt kan worden om precies aan te duiden waar de problemen liggen en hoe groot de problemen precies zijn. Er komen wel getallen uit het model die grondwaterstand tot op millimeters geven. De afwijkingen die uit de validatie komen laten echter zien dat dit het model in werkelijkheid minder nauwkeurig is. Door deze afwijkingen te verklaren en de onzekerheid van het model in acht te nemen, kan het model echter wel gebruikt worden om de grondwaterproblemen te identificeren. Uit de analyse van de gevoeligheid van het model blijkt ook dat het model werkt op een manier die verwacht zou worden als gekeken wordt naar de processen in de werkelijkheid. Dit betekent dat de uitkomsten van het model voor ingrepen in het gebied, een goede indicatie zijn voor de gevolgen in de werkelijkheid. Dit wil nog niet zeggen dat deze gevolgen accuraat worden berekend, maar wel dat op basis van deze resultaten kan worden gezegd welke ingrepen wel nuttig zijn en welke niet.

Een andere factor van onzekerheid is de input van het model. Een groot deel van de input en met name van de grondparameters is gebaseerd op een beperkt aantal samples die genomen zijn in het gebied. Ook was de kwaliteit van deze samples niet zo hoogwaardig dat er waarden uit konden worden genomen die direct in het model kunnen worden toegepast. Dit was meer een kwestie van kalibratie van het model. En aangezien er weinig punten beschikbaar waren met metingen, is er ook op een beperkt aantal punten gekalibreerd. Dit alles samen zorgt ervoor dat er een vrij grote onzekerheid heerst over de punten die ver van een meetpunt afliggen. De precisie van deze punten is dus voor een groot deel afhankelijk van hoe goed de interpolatiemethode het verschil in waarden in het gebied simuleert. De validatiepunten geven wel een indicatie hiervan, maar dit zijn punten die nog relatief dichtbij de kalibratiepunten liggen. Voor de punten die verder weg liggen is het dus moeilijk om aan te geven hoe goed de parameters zijn bepaald en hoe de grondwaterstanden daar dus worden berekend. Voor de resultaten komt dit erop neer dat er meer vertrouwen kan worden gevestigd op punten die dicht bij de peilbuizen liggen, dan op de punten die hier verder van liggen. Aan de andere kant zorgt de gebruikte interpolatiemethode ervoor dat de waarden ver van de metingen lijken op de waarde bij de metingen zelf. Dus als de grond daar niet al te veel afwijkt met de grond rond de peilbuizen, dan zullen de resultaten realistisch zijn.

7 CONCLUSIE

Uit het onderzoek is gebleken dat er een aantal zaken belangrijk kunnen zijn bij het modeleren van grondwaterstromingen. Uit de wet van Darcy blijkt dat de doorlatendheidscoëfficiënt, of k-waarde, een belangrijke grondparameter is. Een andere parameter die de stromingen beïnvloed is de porositeit van de bodem. In het model is deze opgenomen als de bergingscapaciteit van de bodem. Naast de grondparameters is ook het nabije oppervlaktewater van belang. Grondwater tussen twee waterlichamen zal zich hiertussen opbollen. Door de waterstand vast te zetten op deze locaties, is dit effect meegenomen in het model.

Relevant voor dit onderzoek is ook de invloed die een aflopend maaiveld uitoefent op de grondwaterstanden. Het projectgebied ligt op de helling van een stuwwal en hierdoor zal het grondwater beïnvloed worden. In het model is dit meegenomen door de dikte van de bodemlagen in het model te zetten.

Uit de resultaten van het model blijkt dat de waterproblemen, in ieder geval deels, ontstaan door het grondwater. Als er een groot neerslagevent plaatsvindt, dan zal het grondwater boven het maaiveld uitkomen. Dit zorgt voor problemen in het gebied. Er zijn verschillende oplossingen onderzocht om deze problemen op te lossen. De resultaten hiervan zijn dat bijvoorbeeld de bovenste laag zand niet het probleem is. De verbetering van deze laag heeft nauwelijks invloed op de grondwaterstanden. Het zou wel goed kunnen dat de laag klei onder deze laag zand een deel van het probleem is. Hier is echter weinig aan te doen, omdat deze laag al een redelijk afstand onder het maaiveld ligt. Ook is dit een erg dikke laag, dus het verbeteren van de bodemlaag zou erg kostbaar worden.

Een andere oplossing die onderzocht is, is het opwaarderen van de watergangen. Deze zijn in de huidige situatie slecht onderhouden en dit zou een oorzaak kunnen zijn van de waterproblemen. Als gekeken wordt naar de resultaten die de oplossing van dit probleem geeft, dan blijkt dat dit waarschijnlijk ook een van de oorzaken is. De resultaten laten zien dat er een significante verlaging van de grondwaterstand kan worden gerealiseerd door deze werkzaamheden. Zowel in het noorden als in het zuiden van het gebied is een mogelijkheid om de watergangen op te knappen met een grondwaterstandsverlaging als gevolg. Ook de mogelijkheid van het opwaarderen van de oostelijke watergang is onderzocht, maar dit had niet de gewenste effecten.

Een oplossing die ook is onderzocht is het aanleggen van een drainagesysteem. Dit is niet zozeer een oplossing voor het algehele waterprobleem op het terrein, maar zorgt er wel voor dat de grondwaterstand daalt op de locatie waar nieuwbouw gepland is. De resultaten wijzen uit dat, afhankelijk van de diepte van de drainage, er meer of minder pompcapaciteit nodig is als het drainagesysteem wordt gecombineerd met het opwaarderen van de zuidelijke watergang.

Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat het drainagesysteem de beste oplossing is voor het realiseren van een droge ondergrond voor de nieuwbouw plannen. Deze oplossing is het minste afhankelijk van de onzekerheid van het model en als er meer zekerheid wenselijk is, dan kan dit alsnog bereikt worden door het gebruik van een grotere pomp. Hierbij is de diepte van de drainage wel sterk afhankelijk van wat de bouwplannen precies worden.

Een oplossing die meer rekening houdt met de aanblik van het terrein is het opwaarderen van de watergangen in het gebied. Hierbij gaat het vooral om de noordelijke en zuidelijke watergangen in het gebied. Uit de resultaten blijkt dat het verbeteren hiervan leidt tot significant lagere waterstanden, waarbij de zuidelijk watergang ook grote invloed heeft op de waterstanden op de bouwlocaties. Ook de oostelijke watergang kan opgewaardeerd worden, maar dit zal meer voor het oog zijn dan voor verlaging van de grondwaterstanden. Het blijft echter onwaarschijnlijk dat het opwaarderen van de watergangen de problemen afdoende oplost.

De beste manier om de situatie wat betreft grondwater te verbeteren, zodat er nieuwbouw gerealiseerd kan worden en de historische aanblik van het terrein wordt verbeterd, is door aan de ene kant drainage aan te

leggen rond de bouwlocatie en aan de andere kant de watergangen in het noorden en zuiden van het gebied te verbeteren. Bij beide watergangen geldt echter wel dat het onderhoud een belangrijke factor is. De reden dat de watergangen er momenteel slecht bij liggen heeft ook te maken met het achterstallige onderhoud. In het geval dat de watergangen daadwerkelijk worden aangepakt dan is het dus belangrijk dat er ook hieraan gedacht wordt, anders zit men over vijf tot tien jaar misschien wel weer met hetzelfde probleem.

8 AANBEVELINGEN

Uit de conclusie heeft het de voorkeur om de waterproblematiek op het terrein van 'het Bouwhuis' aan te pakken door de watergangen op te waarderen in combinatie met drainage rond de toekomstige gebouwen. Met deze ingrepen heeft de *Twentse Zorgcentra* zowel een goede garantie op droge voeten en tevens een terrein dat meer lijkt op hoe het vroeger eruit zag. Hierbij is vooral aan te bevelen om de noordelijke en zuidelijke watergang te verbeteren, omdat deze, naast de uitstraling, ook bijdragen aan de verlaging van de grondwaterstand. De oostelijke watergang kan ook worden opgewaardeerd, maar dit zou slechts een esthetische toevoeging zijn.

Om dit te doen zal echter nog wel vervolgonderzoek moeten gebeuren naar de haalbaarheid van deze maatregelen. Er zal bijvoorbeeld onderzoek gedaan moeten worden om te kijken of er wel ruimte is voor de maatregelen die voorgesteld zijn. In het model is het relatief makkelijk om iets aan te passen maar in werkelijkheid kan die nog weleens moeilijk zijn. Als de watergangen gerealiseerd worden is het ook de vraag of het water direct afgevoerd mag worden. Door deze maatregelen zal er een behoorlijke toename zijn in de piekafvoeren en mogelijk mag dit niet direct worden afgevoerd op de watergangen die worden beheerd door het waterschap. Als dit het geval is dan zal er een berging moeten worden aangelegd of een andere oplossing om het water tijdelijk op te houden. Voor de drainage zal bij het bestuderen van de haalbaarheid vooral naar de gevolgen van de waterstandsaling moeten worden gekeken. Het zou kunnen zijn dat er flora met minder water komt te zitten, hiervan zullen de gevolgen moeten worden ingeschat.

Verder zou er nog onderzoek gedaan kunnen worden om de resultaten van het model te verbeteren. Er zou bijvoorbeeld op meer plekken op het terrein grondonderzoek gedaan kunnen worden. Vooral op de locaties waar het model nu afwijkt zou kunnen worden gekeken of de gekalibreerde waarden overeenkomen met de werkelijkheid. Ook zou er een uitgebreidere analyse van de gehele stuwwal waarop het terrein ligt, gedaan kunnen worden. Hiermee kan bekeken worden wat precies de invloeden zijn die deze stuwwal teweegbrengt.

Het kan ook interessant zijn om te onderzoeken of een deel van de waterproblemen ontstaat door andere oorzaken dan grondwater. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat er water op het maaiveld blijft staan doordat de bovenste grondlaag zo is opgebouwd dat er geen water kan infiltreren.

REFERENTIES

- Darcy, H. (1856). *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Paris: Victor Dalmont.
- Diepen, F. v. (2000). *Cultuurtechnisch Vademecum*. Doetinchem: Elsevier.
- Dinoloket. (1975, Mei 05). *dinoloket.nl*. Opgeroepen op 20 April, 2016, van <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Diodato, D. M. (2000). Software Spotlight. *Groundwater*, 649-650.
- Gemeente Enschede. (2016, 23 Maart). *Enschede.nl*. Opgehaald van <https://www.enschede.nl/openbare-ruimte/bodem/grondwateroverlast>
- Grondwaterformules.nl. (sd). *grondwaterformules.nl*. Opgeroepen op 23 Maart, 2016, van <http://grondwaterformules.nl/index.php/wie-is-wie/geohydrologen/hemker>
- Harter, T. (2003). *Basic Concepts of Groundwater*. Opgehaald van <http://groundwater.ucdavis.edu/>: <http://groundwater.ucdavis.edu/files/156562.pdf>
- Heath, R. C. (2004). *Basic Ground-Water Hydrology*. Reston: U.S . Geological Survey.
- Het Weer Actueel. (2016). *hetweeractueel.nl*. Opgeroepen op 20 April, 2016, van <http://www.hetweeractueel.nl/weer/enschede-west/historie/>
- Hoekstra, A. (2013). *Water*. Enschede: Universiteit Twente.
- KNMI. (2004). *bibliotheek.knmi.nl*. Opgehaald van http://bibliotheek.knmi.nl/klimaatbrochures/nieuwe_neerslagstatistiek_voor_waterbeheerders.pdf
- KNMI. (2016). *knmi.nl*. Opgeroepen op 20 April, 2016, van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, 1044-1055.
- Microfem. (sd). *microfem.com*. Opgeroepen op 23 Maart, 2016, van <http://www.microfem.com/>
- Muskat, M. (1937). *The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media*. New York: McGraw- Hill.
- NGR. (2015). Actueel Hoogtebestand Nederland 3.
- Smits, F., & Hemker, C. J. (2004). Modelling the interaction of surface-water and groundwater flow by linking DufLOW to MicroFem. Karlovy Vary, Czech Republic.
- Stichting Cultureel Erfgoed Enschede. (sd). <http://cultureelerfgoedenschede.nl/>. Opgeroepen op 22 Maart, 2016, van [http://cultureelerfgoedenschede.nl/monumenten/landgoederen/landhuis%20het%20bouwuis.html](http://cultureelerfgoedenschede.nl/monumenten/landgoederen/landhuis%20het%20bouwhuis.html)
- Thusyanthan, N., & Madabhushi, S. (2003, Maart). <http://www-civ.eng.cam.ac.uk/>. Opgehaald van http://www-civ.eng.cam.ac.uk/geotech_new/publications/TR/TR326.pdf
- Verruijt, A. (1972). <http://www.swim-site.nl>. Opgehaald van <http://www.swim-site.nl/pdf/swim03.html>
- Verruijt, A. (2007). *Soil Mechanics*. Delft: VSSD.

- Wareco. (2015, October). *wareco.nl*. Opgehaald van <http://www.wareco.nl/assets/files/publicaties/28-29%20stadsbeek%20Land%20en%20Water%20okt.pdf>
- Waterschap Vechtstromen. (2016). *kaarten.vechtstromen.nl*. Opgeroepen op 04 20, 2016, van <https://kaarten.vechtstromen.nl/openbaar/>
- Whitaker, S. (1986). Flow in porous media I: A theoretical derivation of Darcy's law. *Transport in Porous Media*, 3-25.
- Wiefker, J. (1989). Het Amelink en Het Bouwhuis al in vijftiende eeuw bekend; Verdwenen boerderijen in Lonneker. *n Sliepsteen*, pp. 3-6.
- Winter, T. C. (1998). Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems. *Hydrogeology Journal*, 28-45.
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., & Alley, W. M. (1998). *Groundwater and Surface water, a single resource*. Denver: U.S. government printing office.

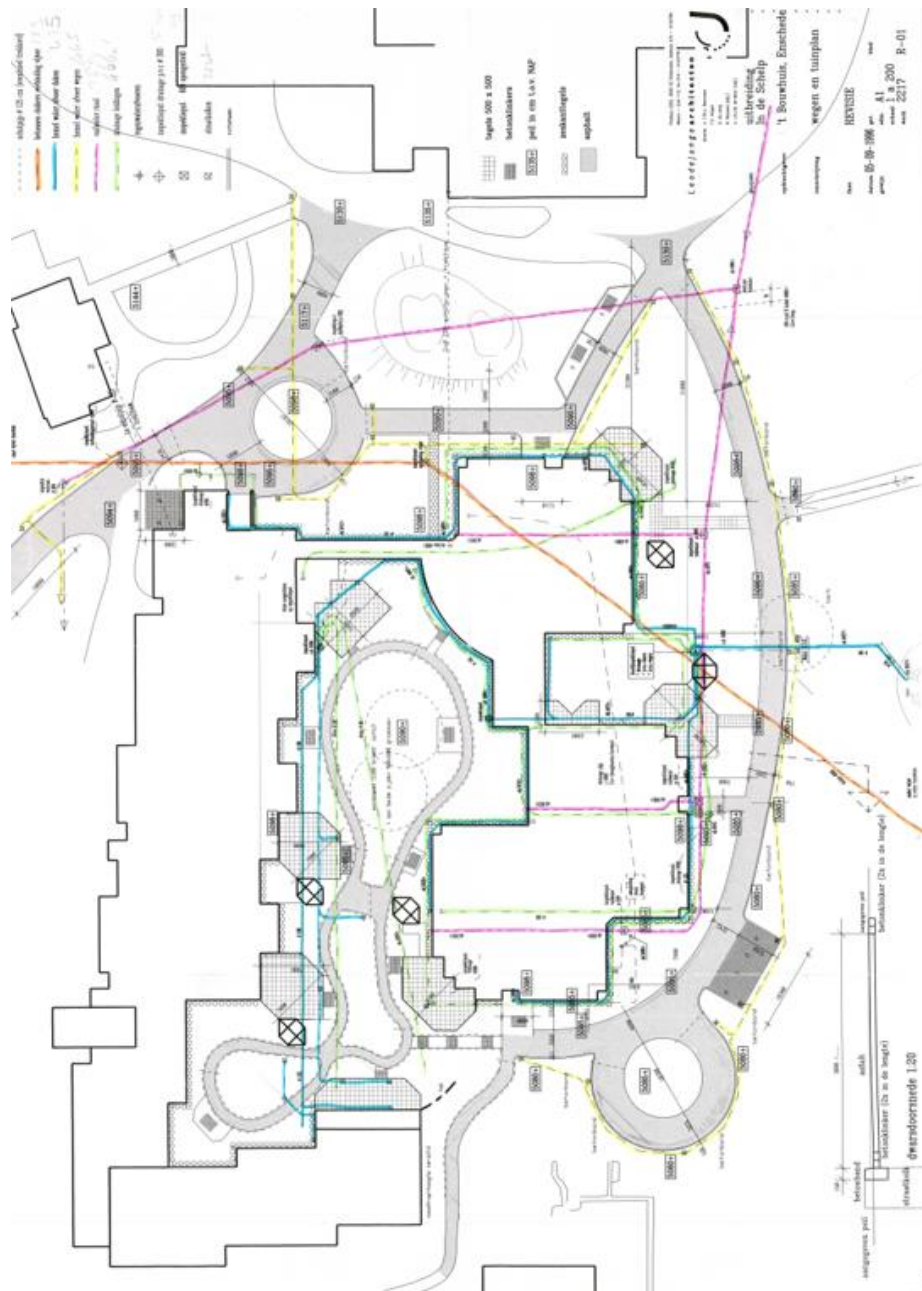
APPENDICES

Appendix A

Peilbuis	Gem meting t.o.v. NAP	Min meting t.o.v. NAP	Max meting t.o.v. NAP
1	4834	4822	4846
2	5024	5001	5052
3	5068	5041	5117
4	5095	5068	5138
5	4868	4846	4882
6	4952	4929	4985
7	4733	4728	4742
8	4931	4925	4941
9	4926	4921	4935
10	5073	5037	5130

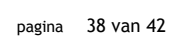
Tabel 7 Samenvatting gemeten grondwaterstanden peilbuizen in cm ten opzichte van het NAP

Appendix B



Figuur 24 Wegen- en tuinplan van gebouw schelp, welke overeenkomt met het gebouw ligt tussen de drainageputten 5 tot en met 9 in Appendix B

datum 10 juni 2016



Appendix D



Figuur 26 Situatie van 'het Bouwhuis' in 1971, waarbij alleen de zuidkant van het terrein is weergegeven

Appendix E



Figuur 27 Indicatie van de huidige toestand van de watergang in het zuiden van 'het Bouwhuis'



Figuur 28 Indicatie van de huidige toestand van de noordelijk tak van de watergang in het zuiden van 'het Bouwhuis'



Figuur 29 Indicatie van de huidige toestand van de watergang in het noorden van 'het Bouwhuis'



Figuur 30 Indicatie van de huidige toestand van de verbinding tussen de watergang in het noorden van 'het Bouwhuis' en de vijver in oosten van het landgoed