Berekeningen waterberging DUIN Almere

Eindrapport 22 oktober 2013



Acacia Water

Samenvatting

Voor de aanleg van een nieuwe woonwijk DUIN in Almere worden twee duinpartijen aangelegd, haaks op de dijk. Mogelijk kunnen deze duinpartijen dienen als waterberging. Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd met FlexPDE (geïntegreerde verzadigde en onverzadigde zone model).

Er zijn verkennende berekeningen uitgevoerd om te onderzoeken of waterberging in de bodem van de duinpartijen mogelijk is ter vervanging of deels vervanging van berging in oppervlaktewater. De gedachte is dan om het regenwater op het duin in de grond te leiden en zo de afvoerpieken te dempen en een tijdelijke berging te creëren die langzaam afvoert naar het watersysteem.

De uitgevoerde berekeningen in combinatie met literatuuronderzoek tonen aan dat de 10m dikke laag ophoogzand een sterk vertragende en dempende werking heeft op neerslaggebeurtenissen. Het biedt de mogelijkheid de duinpartijen in te zetten voor waterberging en (deels) vervanging van oppervlaktewater.

Colofon

Documenttitel	.	Berekeningen waterberging DUIN Almere
Opdrachtgever	.	Waterschap Zuiderzeeland
Status	.	Eindrapport
Datum	.	22 oktober 2013
Projectnummer	.	N20130525
Projectteam	.	Jouke Velstra, Koos Groen en Sieger Burger

Disclaimer

Rapport: Aan dit rapport kunnen geen rechten worden ontleend. De auteurs zijn niet verantwoordelijk voor eventuele fouten of consequenties. Aanvullingen of verbeteringen zijn welkom via info@acaciawater.com

Inhoudsopgave

1 Inleiding 1

2 Geohydrologie 2

2.1 Uitgangssituatie 2

2.2 Situatie met DUIN 4

3 Modelbeschrijving 5

3.1 Berekeningsmethode 5

3.2 Modelschematisatie 6

3.2.1 Huidige situatie 6

3.2.2 Aanpassingen aan de modelschematisatie met het DUIN 7

4 Resultaten berekeningen 8

4.1 Modelresultaten huidige situatie en calibratie 8

4.1.1 Stationair modelresultaat 8

4.1.2 Tijdsafhankelijk modelresultaat en calibratie 8

4.2 Modelresultaten situatie met DUIN 9

4.2.1 Stationair modelresultaat 9

4.2.2 Tijdsafhankelijk modelresultaat, bergend vermogen bij piekgebeurtenis 12

5 Conclusies en aanbevelingen 16

5.1 Conclusies 16

5.2 Aanbevelingen 17

6 Referenties 18

1 Inleiding

Voor de aanleg van een nieuwe woonwijk (1e fase) worden twee duinpartijen aangelegd, haaks op de dijk. De toppen van deze duinen zijn tussen NAP +5 à 6 m hoog. Het maaiveld ligt op NAP -2 à -4 m. De 'duinen' wateren zijdeling af op het watersysteem. Het watersysteem moet nog ontworpen worden. De insteek is dit systeem zoveel mogelijk oppervlakkig (ondiep) te maken. Vanwege de relatief dunne deklaag en stijghoogte hoger dan huidig polderpeil is er een groot risico op instabiele watergangen.

Er komen twee peilvakken: NAP -3,5 m dicht bij de dijk, NAP -4,4 m nabij de bestaande woonwijk. Waar de peilscheiding precies komt te liggen, is nog afhankelijk van het ontwerp van het watersysteem.

De vraag is nu of de duinpartijen kunnen dienen als waterberging. De gedachte is dan om het regenwater op het duin in de grond te leiden en zo de afvoerpieken te dempen en een tijdelijke berging te creëren die langzaam afvoert naar het watersysteem.

Gevraagd is verkennende berekeningen uit te voeren om te onderzoeken of waterberging in de bodem van de duinpartijen mogelijk is ter vervanging of deels vervanging van berging in oppervlaktewater.



Figuur 1. Plangebied met omkaderd het gebied waar de duinen worden aangelegd (http://duin.nl/plan/plankaart/).

2 Geohydrologie

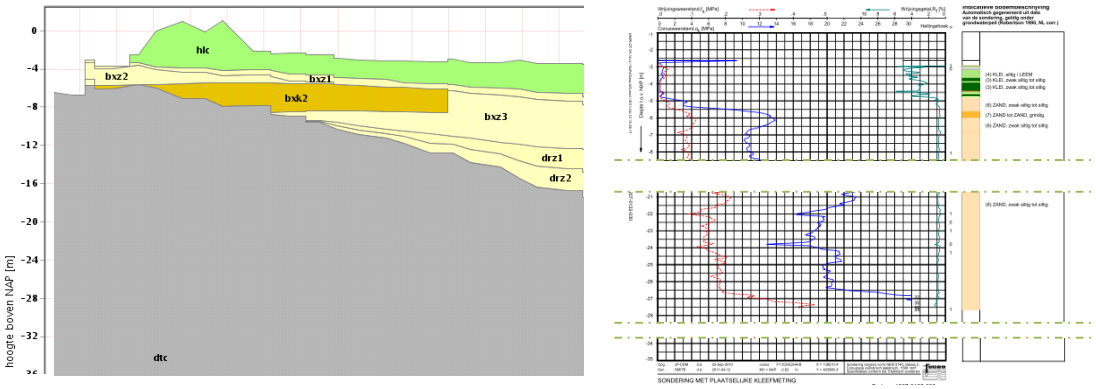
2.1 Uitgangssituatie

Bodemopbouw

Volgens REGIS (Figuur 2) komt het Drenthecomplex voor vanaf ca. -100m NAP tot ca. -5m NAP. De doorlatendheid van dit complex varieert van 15-40 m/d. Daarboven ligt de formatie van Boxtel met opeenvolgend de Boxtel 3 zanden, Boxtel 2 klei en Boxtel 1 zanden. Deze formatie komt voor van ca. -15m NAP tot de onderkant van de deklaag op -4 tot -8 m NAP.

De Boxtel 2 klei zou moeten voorkomen op een diepte van ca -8m NAP. Dit is echter in REGIS gebaseerd op slechts 1 boring. Uit sonderingen in het gebied komt deze laag niet (duidelijk) naar voren (Fugro, 2011). Bij de berekeningen wordt dan ook uitgegaan dat deze laag niet aanwezig is. De doorlatendheid van de Boxtelzanden (de laag onder de deklaag) is voor de bovenste meter bepaald met de Hooghoudtmethode door Fugro (2011) en varieert van 0.8 tot 4.1m/d. Het betreft metingen van de bovenste Boxtelzanden die fijnzandig zijn. Voor de gehele formatie ligt op basis van de sondeergegevens een wat hogere waarde voor de hand.

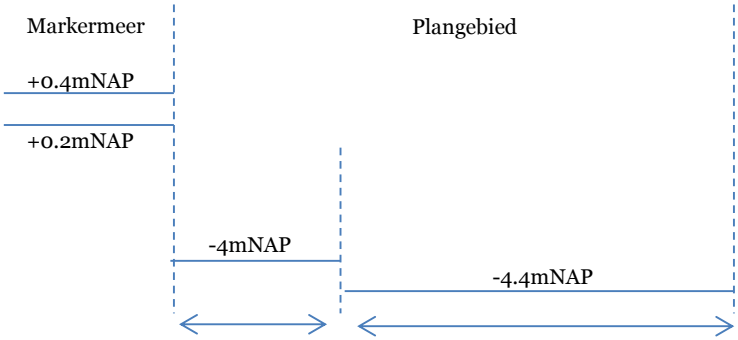
De deklaag komt voor vanaf -4m a -8m NAP tot maaiveld op ca. -3m NAP. De basis van de deklaag bestaat soms uit een veenlaagje met daarop een kleilaag. De doorlatendheid en deklaagweerstand wordt besproken in de volgende paragraaf.



Figuur 2. Links een schematische doorsnede op basis van REGIS II.1 en rechts een resultaat van sonderingen uitgevoerd door FUGRO (2011).

Waterpeilen

In het Markermeer wordt een peil gehanteerd van +0.4m NAP (winter) en +0.2 NAP (zomer). Gemiddeld kan een waarde van +0.3m NAP worden aangehouden. In het plangebied worden twee peilen gehandhaafd. Een peil van -4m NAP in een zone langs de dijk en verder landinwaarts een peil van -4.4m NAP (zie ook Figuur 3 voor een schematische weergave). In het plangebied is de slootafstand ca. 350m.



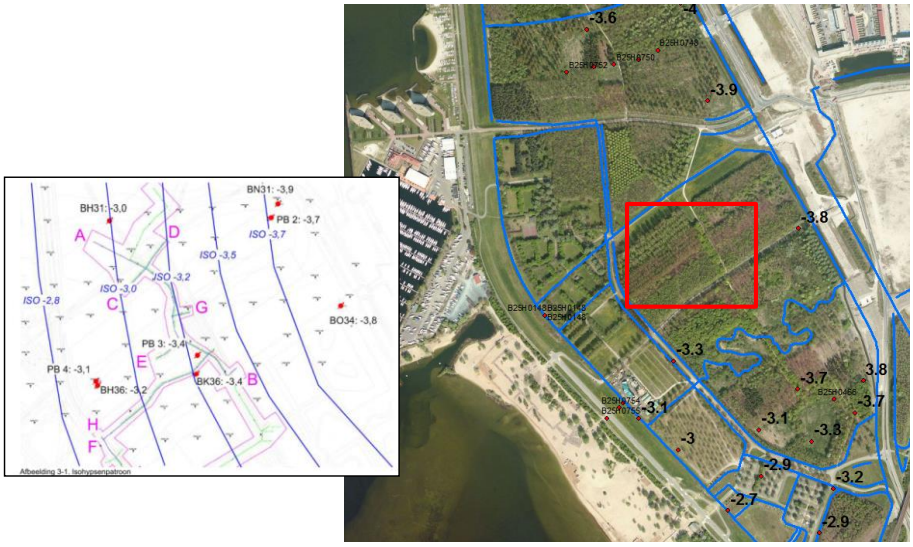
Figuur 3. Schematische weergaven waterpeilen in het plangebied.

Stijghoogtebeeld en deklaagweerstand

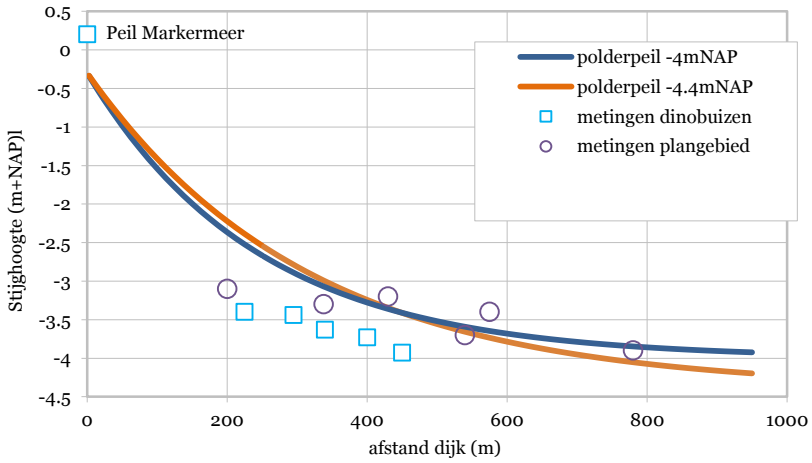
Een globaal beeld van het isohypsen patroon is weergegeven in Figuur 4. Zoals verwacht neemt de stijghoogte af vanaf het Markermeer landinwaarts. Aan de rand van het plangebied, het verst verwijderd van de dijk, is ligt de stijghoogte ca. 50cm boven het gehandhaafde polderpeil.

Voor de schematisatie wat het geohydrologisch systeem en berekening van mogelijkheden van waterberging in het DUIN is het van belang de hydraulische weerstand van de deklaag te kennen. Daartoe is gebruik gemaakt van de formule van Mazure (1936). Deze formule beschrijft analytisch het verloop van de stijghoogte vanaf de dijk (peil Markermeer -0.3m NAP) landinwaarts voor een situatie met een deklaag en een onderliggende zandlaag. Wat dus overeenkomt met de hier geldende situatie. In de betreffende formule kan met één polderpeil worden gerekend. De berekeningen zijn daarom uitgewerkt voor beide heersende polderpeilen (-4m en -4.4m NAP). Het berekende stijghoogteverloop is vergeleken met de meetraai uit het DINOloket en metingen uit het plangebied.

Er is gevarieerd met parameterwaarden voor doorlatendheid en weerstand van respectievelijk de zandlaag en deklaag. Voor de zandlaag is gevarieerd binnen reële waarden van de Boxtelzanden tussen de 5m/d en 40m/d met een dikte van 100m. Het beste resultaat wordt bereikt met een deklaagweerstand van 50d tot 250d. Figuur 5 geeft de resultaten weer bij een doorlatendheid van 5m/d en een deklaagweerstand van 100d (polderpeil -4m NAP) en 200d (polderpeil -4.4m NAP). Hieruit kan worden geconcludeerd dat de deklaagweerstand in dit gebied beperkt is. Dit beeld wordt bevestigd door de een drainageafstand van 24m wat indicatief is voor een goede doorlatendheid (= lage weerstand) van de deklaag.



Figuur 4. Globaal beeld van de stijghoogte onder de deklaag. Rechts op basis van metingen door Fugro (2011). Links globaal isohypsenpatroon in binnen het rood omlijnde gebied. Tevens weergegeven is een raai van peilbuizen uit het DINOloket ten noorden van het plangebied.



Figuur 5. Stijghoogteverloop berekend met de formule van Mazure voor twee varianten, polderpeil -4m NAP en -4.4m NAP.

2.2 Situatie met DUIN

Voor de aanleg van een nieuwe woonwijk (1e fase) worden twee duinpartijen aangelegd, haaks op de dijk (Figuur 1). De toppen van deze duinen liggen tussen NAP +5 à 6 m hoog. Uitgaande van het huidige maaiveld van NAP -2 à -4 m bestaat de duinpartij uit ca. 10m zand. Er zijn met betrekking tot de eisen van het ophoogzand eisen gesteld die zijn opgenomen in “Rapport betreffende ophoging middenduin-zuid fase 1 te Almere-poort” (pag 31, Fugro, 2011).

De ‘duinen’ wateren zijdeling af op het watersysteem. Het watersysteem moet nog ontworpen worden. De insteek is dit systeem zoveel mogelijk oppervlakkig (ondiep) te maken. Op basis van de voorlopige ontwerptekeningen is een slootafstand van 300m aangehouden.

3 Modelbeschrijving

3.1 Berekeningsmethode

Er zijn twee benaderingen te overwegen voor het uitvoeren van de berekeningen. De eerste benadering is een uitgebreide benadering met een volledig 3D grondwatermodel model in bijvoorbeeld Modflow. Dit vergt een flinke inspanning voor de bouw en calibratie van het model.

Een andere benadering is met een 2D doorsnede model, in dit geval op basis van FlexPDE. Een benadering die beter past binnen de onzekerheden over de precieze uitvoering van het watersysteem en duinpartijen snel inzicht wordt verkregen in de (on)mogelijkheden van waterberging in een dergelijke duinpartij. Er kan, als dat nodig is, een volgende stap worden gemaakt met een 3D model. Bijvoorbeeld als het systeem in breder verband van de omgeving moet worden onderzocht of gekoppeld met SOBEK (bijvoorbeeld bij droogvallende sloten, zie o.a. Velstra, 2006 [1]).

Modelbenadering op basis van FlexPDE

Het model moet is staat zijn in zeer groot detail de stroming in het DUIN en ontwateringsmiddelen te simuleren. Grondwatermodellen zoals triwaco en modflow zijn vaak ontoereikend als het gaat om zeer gedetailleerde schematisaties en/of de combinatie van verschillende schaalniveau's.

Het grootste deel van de stroming in een duin zal plaatsvinden door de onverzadigde zone. Het resterende deel via de verzadigde zone. Het model moet daarom in staat zijn om de onverzadigde en verzadigde zone volledig geïntegreerd te simuleren. Bestaande koppelingen tussen grondwater- en onverzadigde zone modellen zijn hiervoor niet geschikt.

Deze argumenten pleiten voor een alternatieve modelcode op basis van FlexPDE. FlexPDE is de 'volgende generatie' modelsoftware waarmee op zeer gedetailleerde schaal geïntegreerd verzadigde en onverzadigde dichtheidsafhankelijke stroming desgewenst met stoftransport gesimuleerd kan worden.

FlexPDE werkt op basis van partiële differentiaal vergelijkingen met de mogelijkheid tot onder andere

- Vertaling naar eindige elementen niveau gecombineerd cm tot m en km
- Per rekenstap dynamische eindige elementen grids (meer rekenpunten als het nodig is bijv. complexe stroming of hoge fluxen)
- Integrale oplossing van Darcy- (grondwater) en Richards-vergelijking (onverzadigd) met stoftransport en dichtheidsstroming
- In 1D, 2D en 3D

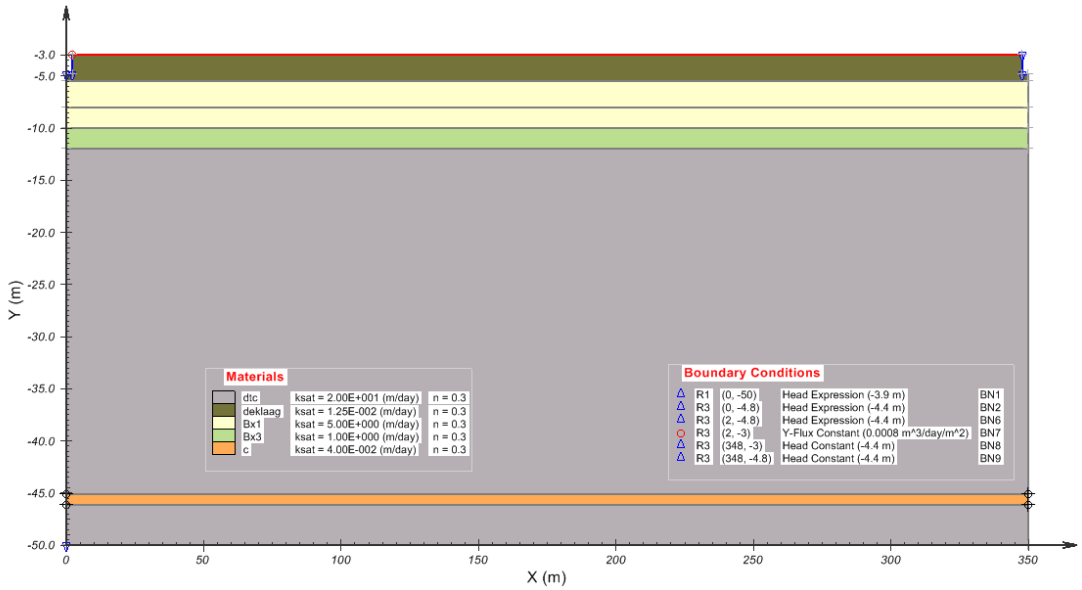
De berekeningen worden uitgevoerd met een 2D doorsnede principe model op basis van FlexPDE.

[1] 'Geïntegreerde koppeling SOBEK-TRIWACO volgens OpenMI' Stromingen jrg 12, nr 3, J. Velstra, WJ Zaadnoordijk, S. Hummel en R. Ververs.

3.2 Modelschematisatie

3.2.1 Huidige situatie

Op basis van gegevens uit REGIS II.1, de eerder genoemde Fugro rapporten (Fugro, 2011) en de analyse van het huidige watersysteem is een modelschematisatie gemaakt. Figuur 6 geeft de laagschematisatie voor de uitgangssituatie.



Figuur 6. Modelschematisatie van huidige situatie voor het stationaire model.

Laagopbouw en bodemparameters

Het maaiveld is vastgelegd op -3m NAP. De deklaag heeft een wisselende dikte. In het model is uitgegaan van een dikte van 2,5m (basis op -5.5m NAP). De deklaagweerstand is 50d tot 250d. In het model is dit vertaald naar een vertikale en horizontale doorlatendheid (dus isotroop) van 0.0125m/d wat resulteert in een weerstand van 200d.

Onder de deklaag bevinden zich de Boxtel zanden tot een diepte van -12m NAP. Uit de aanwezige sonderigen en boringen komt naar voren dat de Boxtel formatie hier in zijn geheel uit zand bestaat. Wel wordt onderscheid gemaakt tussen de Boxtel 1 (Bx1) en Boxtel 3 (BX3) zanden. De doorlatendheid is afgeleid uit de gegevens van REGIS II.1 en grondwatermodelstudies in de regio waaruit een waarde van 5m/d voor Bx1 en 15m/d voor Bx3 geldt.

Hieronder bevindt zich het gestuwde zandpakket dat in REGISII.1 termen DTC heet. De doorlatendheid van dit pakket van 20m/d is afgeleid uit de gegevens van REGIS II.1 en grondwatermodelstudies.

Randvoorwaarden

De bovenrandvoorwaarde wordt gevormd door de fluxterm bestaande uit het resulterende neerslagoverschot. Gebruik is gemaakt van de gegevens van de KNMI stations Lelystad en Zeewolde. Het stationair gemiddelde neerslagoverschot is 0.8mm/d. In de tijdsafhankelijke berekeningen is gebruik gemaakt van gegevens op dagbasis voor neerslag en verdamping, rekening houdend met loofbos gewasfactor en interceptie.

Aan beide zijden is een sloot geschematiseerd waarin een vast peil wordt gehandhaafd van -4.4m NAP. De verticale modelranden werken als waterscheiding wat zich vertaald als een dichte modelrand (geen

flux). Als onderrandvoorwaarde geldt een vaste stijghoogte van -3.9m NAP (op basis van metingen). Dit niveau ligt hoger dan het slootpeil waardoor sprake is van een kwelsituatie. Net boven de onderrand is een fictieve slechtdoorlatende laag opgenomen. Deze reguleert de flux vanaf de onderrandvoorwaarde en treedt feitelijk op als onderrandvoorwaarde. Hierdoor is het mogelijk dat het model zelf de kwelflux berekent afhankelijk van de optredende grondwaterstanden. Bij een hoge grondwaterstand wordt de kwelflux kleiner of kan omkeren in infiltratie, bij een lage grondwaterstand neemt de kwelflux toe.

3.2.2 Aanpassingen aan de modelschematisatie met het DUIN

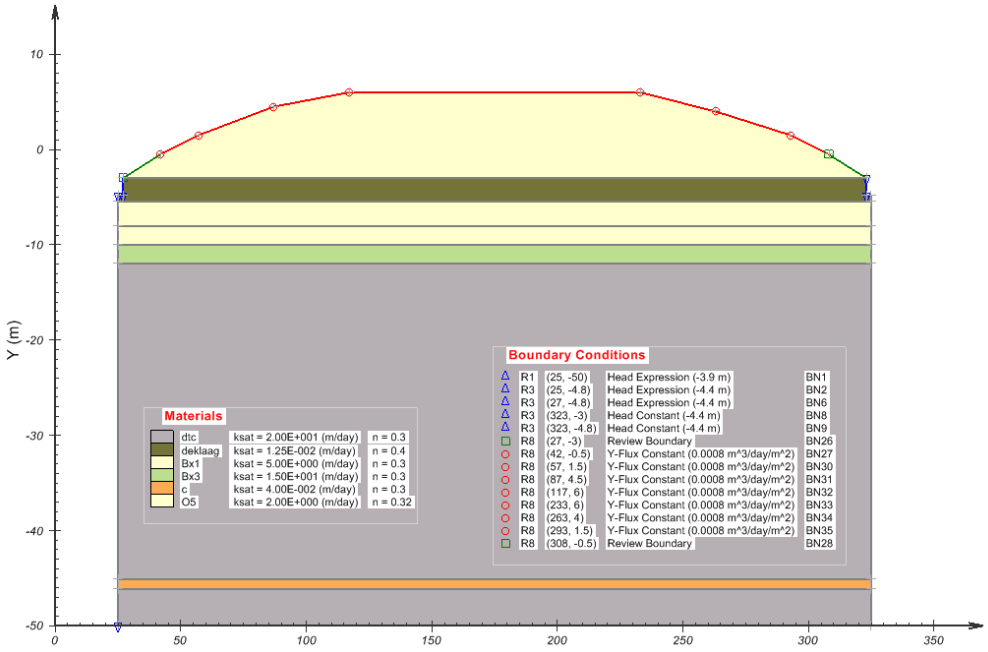
Figuur 7 geeft de situatie weer met een duin, weergeven is de bodemopbouw, modelparameters en dimensies. Hieronder worden de aanpassingen ten opzichte van het uitgangsmodel besproken.

Duinzand

In het rapport van Fugro (2011) zijn de eisen ten aanzien van het ophoogzand gegeven met betrekking tot de korrelverdeling. Dit type zand komt overeen met grof zand volgens de Staringreeks (Wösten et al., 2001). Dit is een classificatie van onverzadigde bodemfysische parameters. Het rapport geeft geen uitsluitsel over de doorlatendheid van het ophoogzand. Normaliter kan hiervoor een lage doorlatenheid worden aangehouden van 0,8m/d tot 8 m/d. Om de snelle afvoer component en daarmee de mogelijkheden van bergend vermogen te onderzoeken is uitgegaan van een goed doorlatend zand (in termen van afvoeren een 'worst case' benadering. Er is daarom gerekend met twee waarden van 20m/d en 2 m/d.

Randvoorwaarden

De schematisatie van de sloten is gelijk gebleven. De slootafstand is echter kleiner gemaakt, namelijk 300m (was 350m in de huidige situatie). Tevens is aan de voet van het duin aan weerzijden de mogelijkheid toegevoegd om bij hoog optredende grondwaterstanden water grondwater te laten uittreden.



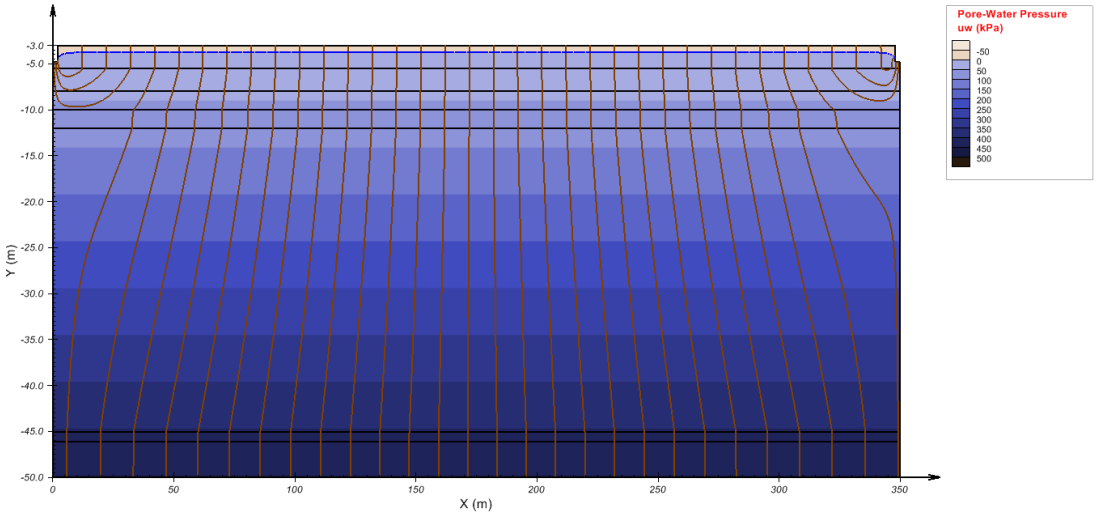
Figuur 7. Modelschematisatie van de situatie met DUIN voor het stationaire model.

4 Resultaten berekeningen

4.1 Modelresultaten huidige situatie en calibratie

4.1.1 Stationair modelresultaat

Het resultaat toont een opbolling tussen de twee sloten. Deze opbolling ligt iets boven de gemiddelde stijghoogte van Boxtel zanden onder de deklaag. Hierdoor concentreert de kwel zich in de waterlopen en in het perceel zelf sprake is van infiltratie. De sloten voor een deel van het water af een groot deel van het neerslagwater wordt afgevoerd naar onder de deklaag liggende zandpakket (1e wvp).

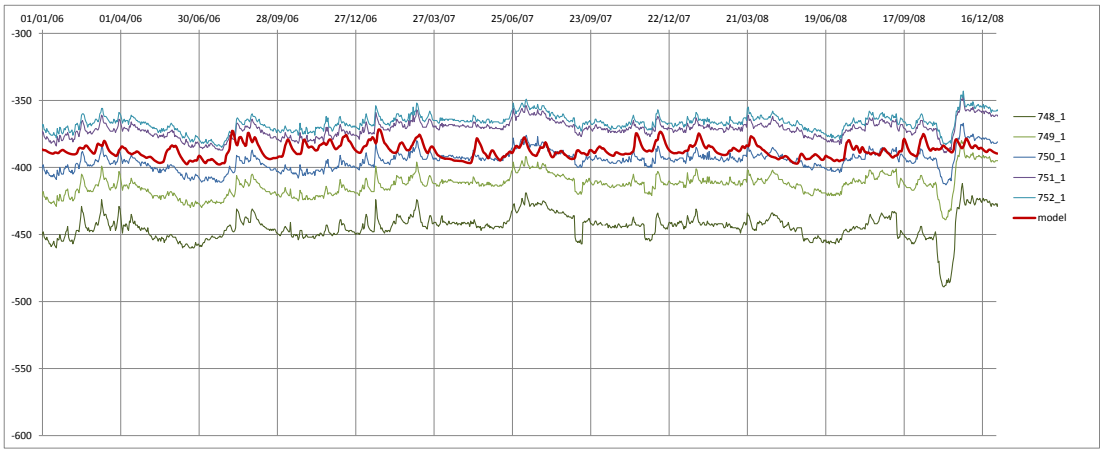


Figuur 8. Stationair modelresultaat voor de huidige situatie.

4.1.2 Tijdsafhankelijk modelresultaat en calibratie

Het model is gecalibreerd op meetreeksen van een raai peilbuizen (BH25H0748- BH25H0752) net ten noorden van het aandachtsgebied waar het DUIN komt, maar wel in het plangebied. De reden om deze te gebruiken is een bruikbare meerjarige meetreeks. Hiermee is het mogelijk de dynamiek van het grondwatersysteem te toetsen.

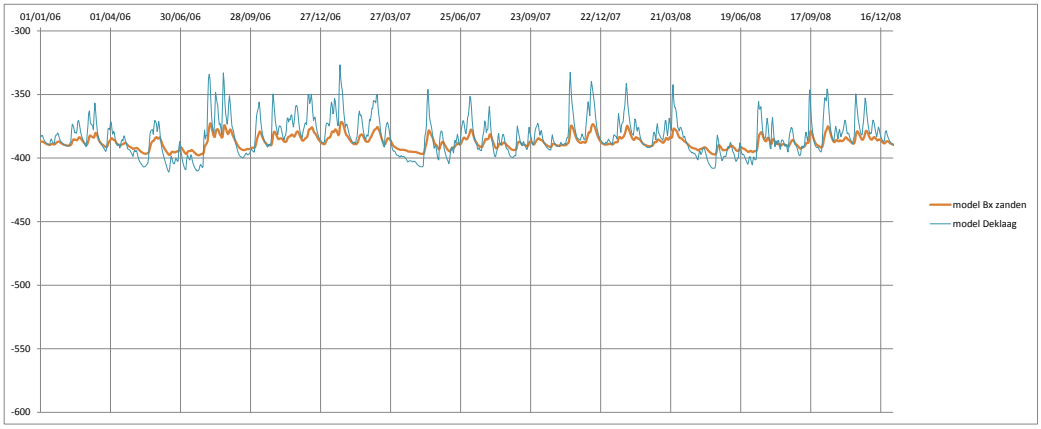
Figuur 9 toont het verloop van de stijghoogte in het 1e watervoerende pakket (Boxtelzanden) voor de gemeten waarden en de gesimuleerde waarden. Het model is goed in staat de dynamiek te volgen zoals die ook optreedt in de metingen. De absolute hoogte komt overeen met een waarde die ook wordt aangetroffen in het aandachtsgebied (stationair gecalibreerd).



Figuur 9. Tijdsafhankelijk modelresultaat voor de huidige situatie.

Er zijn metingen beschikbaar van de freatische grondwaterstand in de deklaag. Om een indruk te geven van het verschil tussen de optredende grondwaterstanden en de stijghoogte in de Boxtelzanden is een grafiek gemaakt om dit weer te geven (Figuur 10). De grondwaterstand in de deklaag reageert, zoals verwacht, wat sterker op de dynamiek. Dit vanwege de bodemkarakteristieken van de deklaag.

De grafieken tonen dat er in natte perioden sprake is van 'infiltratie' in het perceel. De stijghoogte Boxtelzanden is lager dan de freatische grondwaterstand. In droge perioden is sprake van kweldruk, de stijghoogte Boxtelzanden is hoger dan de freatische grondwaterstand in het perceel.



Figuur 10. Tijdsafhankelijk modelresultaat voor de huidige situatie. Freatische grondwaterstand en stijghoogte van de onderliggende Boxtelzanden.

4.2 Modelresultaten situatie met DUIN

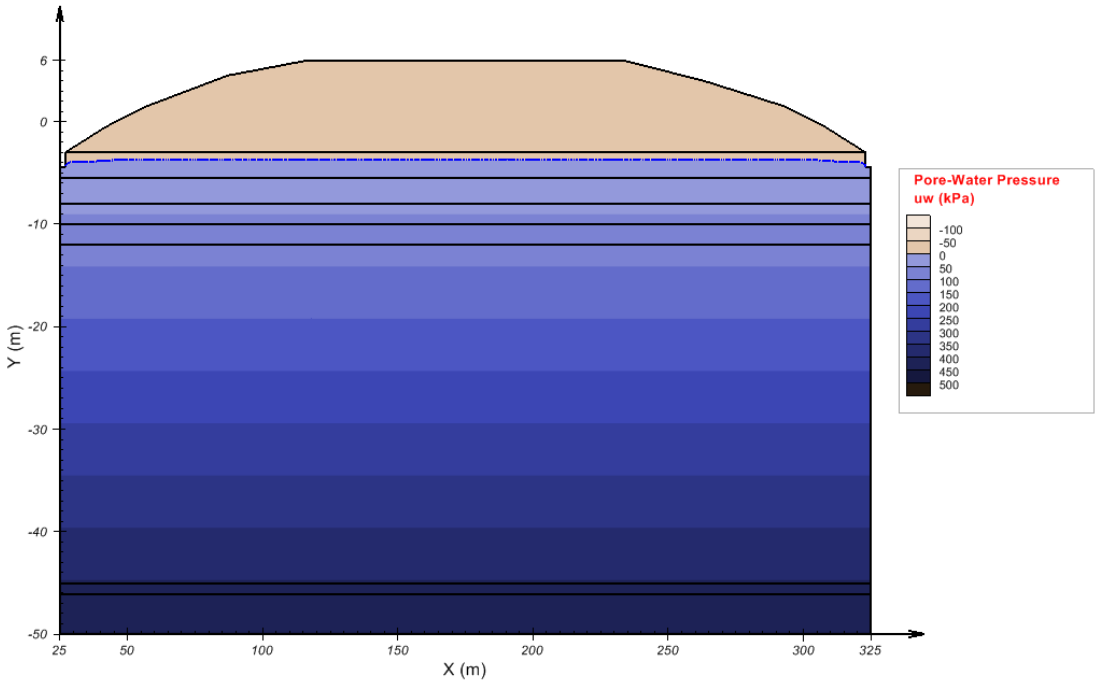
Het model is goed in staat de huidige situatie te simuleren. Het model is vervolgens aangepast aan een schematische situatie met een duinpartij. De resultaten worden hieronder nader toegelicht.

4.2.1 Stationair modelresultaat

Gemiddeld

Als eerste is het model doorgerekend met dezelfde randvoorwaarden als het stationaire model zonder duin. Dat wil zeggen met een deklaagweerstand van 250d en een neerslagoverschot van 0.8mm/d. Voor het duinzand zelf (zie ook eerder) is uitgegaan van grof zand (Staringreeks O5) met een doorlatendheid van 20m/d.

Figuur 11 geeft het resultaat weer. Het berekende verschil met en zonder duin is beperkt. Dit komt door de stationaire situatie waardoor de aan/afwezigheid van het duin geen effect heeft op de berekende grondwaterstand.



Figuur 11. Stationair modelresultaat voor de situatie met duin.

Nat

Het model is doorgerekend met dezelfde randvoorwaarden als het stationaire model voor de gemiddelde situatie. Het neerslagoverschot voor een natte situatie is afgeleid door voor de natte maanden per jaar het gemiddelde te bepalen over de periode 1991 tot en met 2012. De grondwateraanvulling wordt daarmee meer dan twee keer zo hoog ten opzichte van het gemiddelde, namelijk 1,9mm/d.

Het berekende verschil met en zonder duin is beperkt. Het berekende verschil zonder duin en met duin in een natte situatie is een ca. 13cm hogere grondwaterstand (-3.8 gemiddeld versus -3.67 NAT)

Droog

Het model is doorgerekend met dezelfde randvoorwaarden als het stationaire model voor de gemiddelde situatie. Het neerslagoverschot voor een droge situatie is afgeleid door voor de droge maanden per jaar het gemiddelde te bepalen over de periode 1991 tot en met 2012. De grondwateraanvulling wordt dan negatief, namelijk -0,11mm/d.

Het berekende verschil met en zonder duin is beperkt. Het berekende verschil zonder duin en een situatie met duin in een droge situatie is ca. 10cm lagere grondwaterstand (-3.8 gemiddeld versus -3.9 DROOG).

Gemiddeld met lage doorlatendheid ophoogzand

Eerder is beschreven dat voor het ophoogzand eisen aan de korrelverdeling is gegeven en dat echter geen informatie is gegeven over de doorlatendheid. Standaard is een doorlatendheid aangenomen van 20m/d. Een hoge waarde die leidt tot een snelle afvoer, een ‘worst-case’ benadering. Om de mogelijke invloed op de afstroming te bepalen is een berekening uitgevoerd met een waarde van 2 m/d, en

bodemkarakteristieken van fijn zand (O1). De overige randvoorwaarden zijn hetzelfde als de berekening voor de gemiddelde situatie.

Het berekende verschil met en zonder duin is beperkt. En heeft geen invloed op de optredende grondwaterstand.

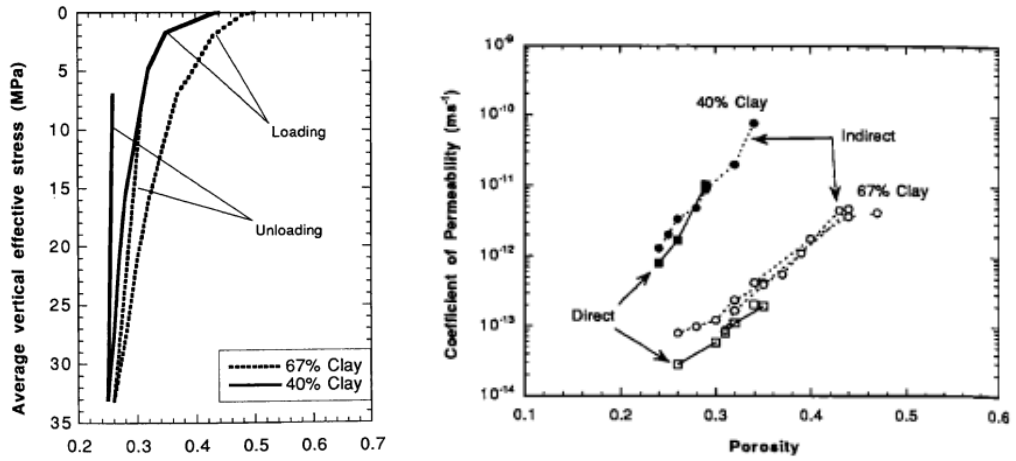
Gemiddeld met gecompacteerde deklaag

Het opbrengen van 10m ophoogzand heeft ook gevolgen voor de dikte van de deklaag. Fugro (2011) berekent een compactie van de deklaag tot 80cm. Op een totale dikte van de deklaag van ca. 2,5m is dit een aanzienlijk effect.

Relevant voor de uitgevoerde berekeningen is of een dergelijke compactie van invloed is op de weerstand van de deklaag, en daarmee op de piekafvoer en optredende grondwaterstanden. Er is met betrekking tot compactie en invloed op de weerstand een 'quickscan' wetenschappelijke literatuur uitgevoerd (o.a. Mesri & Olson (1971) en Dwehurst et al. (1998)). Enkele conclusies hieruit zijn:

- Door de compactie zal het porievolume afnemen (zie Figuur 12, links)
- Afname porievolume doet de weerstand van de deklaag doen toenemen.
- De weerstand kan met factoren toenemen (zie Figuur 12, rechts)

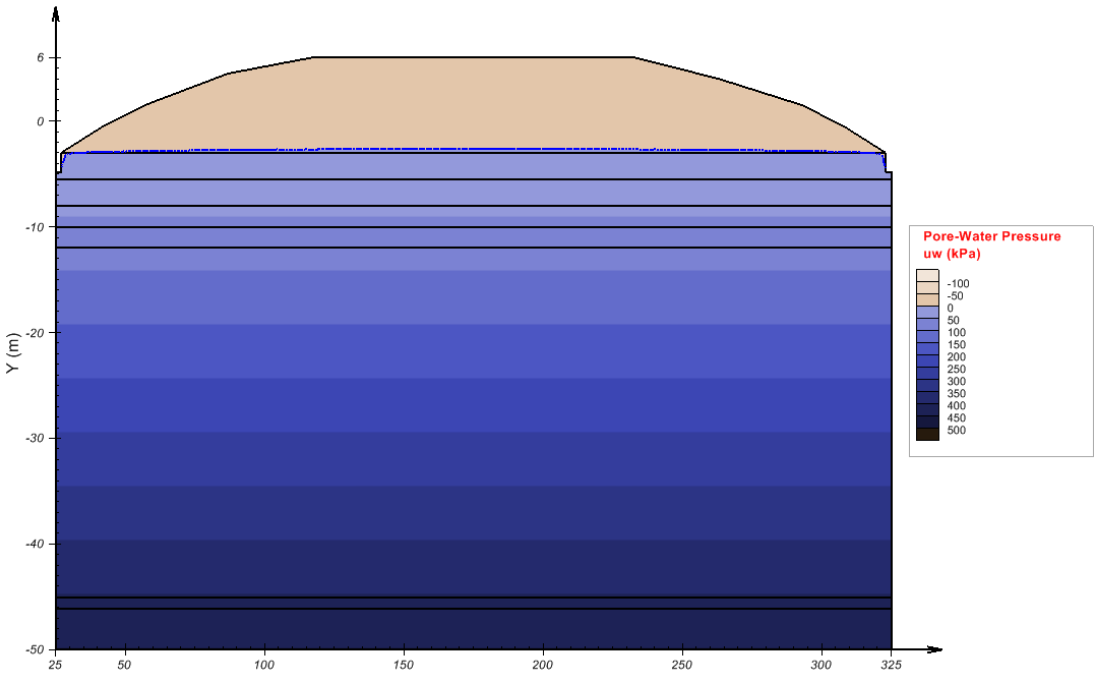
In welke mate weerstand hier zal toenemen vergt meer tijd om dit uit de bestaande literatuur te vinden en valt buiten de huidige scope van het project.



Figuur 12. Afname van porositeit met toenemende compactie (links) en afname porositeit en daarmee afnemende doorlatendheid (uit Dwehurst et al. (1998)) .

Om een indruk te krijgen van het effect van een toegenomen weerstand van de deklaag is een berekening uitgevoerd met een hogere weerstand van de deklaag. De weerstand in de huidige situatie is 250d. In deze berekening is een weerstand van 2500d toegekend.

Figuur 13 geeft het berekende resultaat weer. Het resultaat van een hogere weerstand voor de deklaag is een hoger optredende grondwaterstand die nu boven het huidige maaiveld (boven de deklaag) en in het duin komt te liggen. Het berekende verschil met en zonder duin is een ca. 116cm hogere grondwaterstand (-3.8m NAP gemiddeld versus -2.64m NAP gemiddeld met gecompacteerde deklaag)

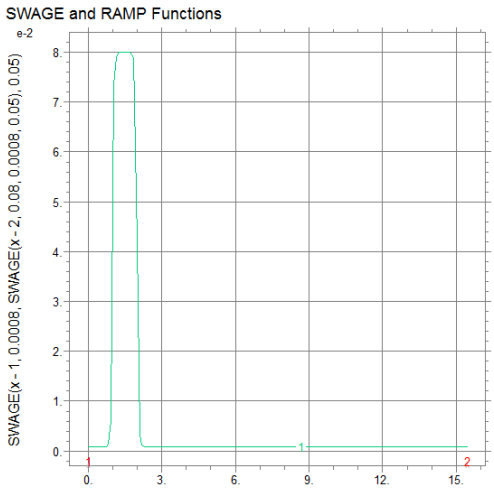


Figuur 13. Stationair modelresultaat voor de situatie met duin met een gecompacteerde deklaag.

4.2.2 Tijdsafhankelijk modelresultaat, bergend vermogen bij piekgebeurtenis

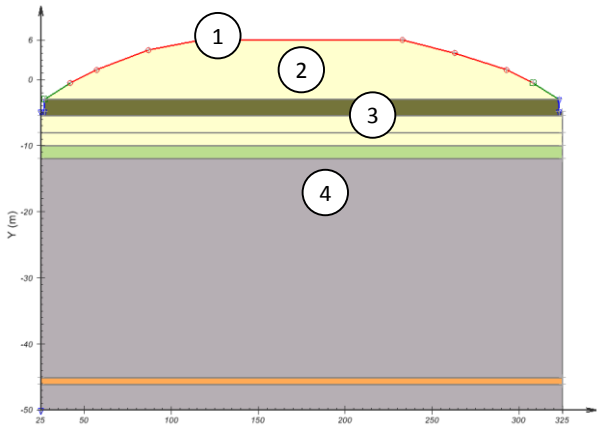
'Westland bui'

De Westland bui kenmerkt zich door een neerslag van 78mm in één dag. Om deze gebeurtenis te simuleren is een bui van 80mm die valt in één dag als grondwateraanvulling in het model opgenomen. Dit is niet de daadwerkelijke 'Westland bui' maar een enkele puls (Figuur 14). In het model wordt uitgegaan dat de gehele bui tot grondwateraanvulling komt.



Figuur 14. Geschematiseerde 'Westland bui' als een enkele puls van 80mm gedurende een volledige dag.

Deze piekgebeurtenis leidt slechts tot een zeer geringe toename van de afvoer naar de sloten. De verandering is zo klein dat het niet aantoonbaar is uit de modelberekeningen. De reden voor de berekende geringe verandering in de afvoer heeft een aantal oorzaken die hieronder nader worden toegelicht.

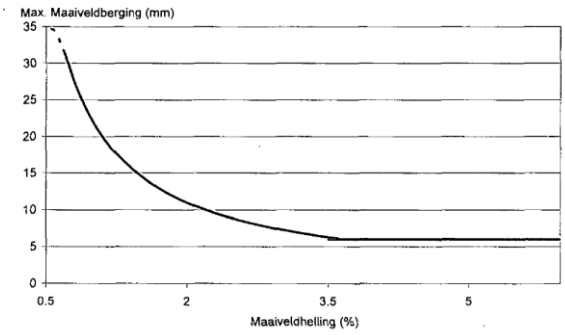


Figuur 15. Geschematiseerde situatie van het DUIN. Effecten op bergen vermogen en afvoer 1) oppervlakkige afvoer, 2) dikke onverzadigde zone, 3) deklaag en 4) stijghoogte Boxtelzanden.

Oppervlakkige afvoer

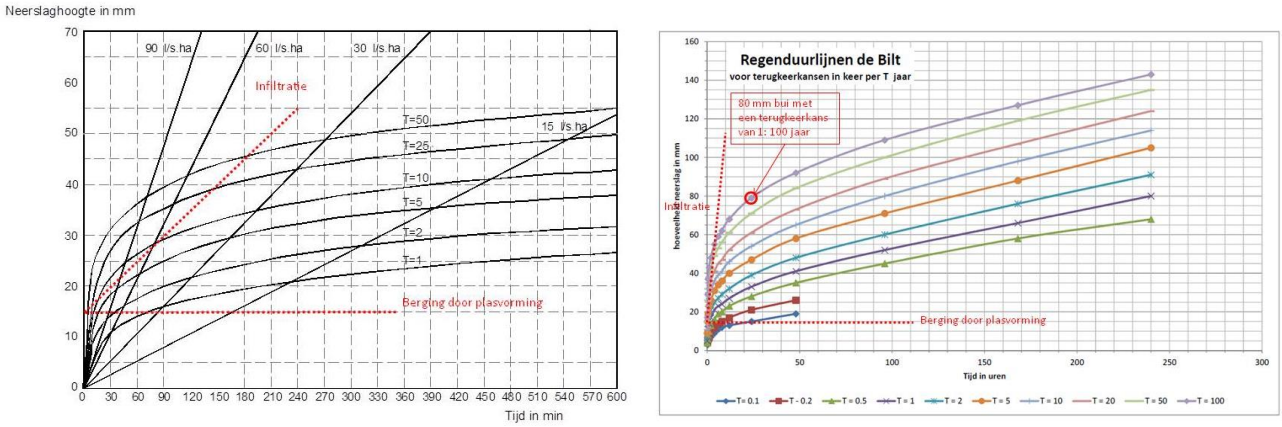
Oppervlakkige afvoer treedt op als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem overschrijdt. In het model is hier nog geen rekening gehouden. Dit behoort wel tot de mogelijkheden, maar binnen de tijd voor de verkennende berekeningen is dit aspect niet gesimuleerd. Om een indruk te krijgen van de relevantie van oppervlakkige afvoer wordt dit nu op basis van literatuur beschreven.

Zoals gezegd treedt oppervlakkige afvoer op als de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de bodem overschrijdt. Door plasvorming op de bodem, die altijd een zekere onregelmatigheid vertoont, wordt ook een deel van de neerslag geborgen. Met de regenduurlijnen kan worden berekend welk deel van een 'Westland bui' wordt geborgen en welke neerslaggebeurtenissen met een bepaalde terugkeerkans kunnen worden geborgen.



Figuur 16. Verband tussen maximale maaiveldberging en helling (Huinink, 1986).

Volgens Huinink (1986) en Stolte et al (2000) vertoont de berging op grasland een relatie met de helling. Als we aannemen dat de helling niet meer bedraagt dan 1 % dan zou een berging door plasvorming mogelijk zijn van minimaal 15 mm. We nemen aan dat de bodem uit fijn lemig zand bestaat, die een stationaire infiltratiecapaciteit heeft van 10 mm/hr (Cultuurtechnisch Vademecum). Dit lijkt een conservatieve aanname, omdat de initiële capaciteit meestal hoger is. Op basis van de regenduurlijnen voor het station de Bilt (Buishand en Veld, 1980) kunnen we bepalen welk deel van de neerslaggebeurtenissen tot oppervlakkige afstroming komt.



Figuur 17. Terugkeerkans van neerslaggebeurtenissen (links) en regenduurlijnen van de Bilt (rechts).

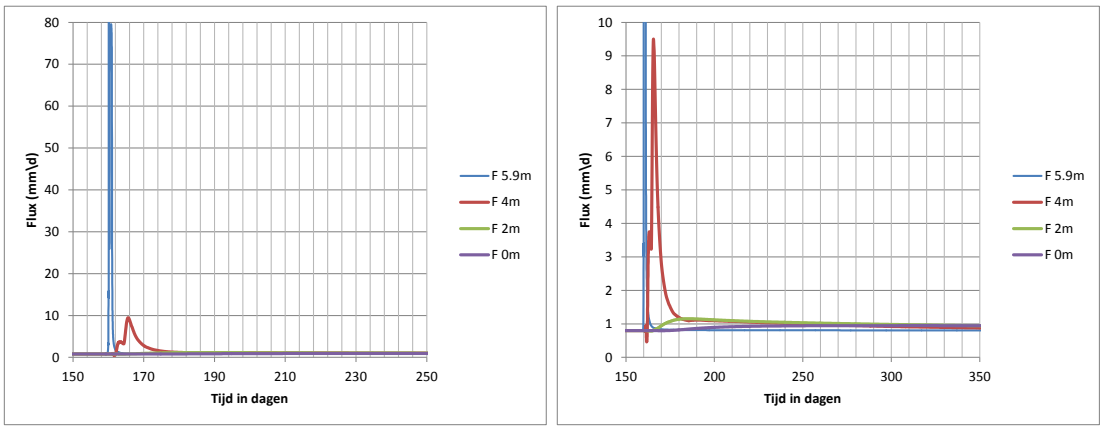
In Figuur 17 (links) is te zien dat bij buien van korte duur met terugkeerkansen van eenmaal per 10 jaar tot eenmaal per 100 jaar oppervlakkige afstroming plaatsvindt (Echter de 1: 100 jaar regenduurlijn staat niet in deze figuur). In die gevallen zal er maximaal 15 mm van de buien tot afstroming komen. De vraag is of dit echt gebeurt gegeven de conservatieve aannames. In Figuur 17 (rechts) staan buien met een langere duur weergegeven. Hierin wordt ook de maatgevende 'Westland bui' met een terugkeerkans van 1: 100 jaar aangeduid. Het lijkt erop dat juist bij deze bui geen oppervlakkige afstroming optreedt.

Op basis van deze analyse lijkt het gerechtvaardigd om voor de drainage van piekbuien geen rekening te houden met oppervlakkige afstroming bij begroeide vlakke zandbodems. Uiteraard verandert dat als er sprake is van verhard oppervlak of steile hellingen.

Effect van een dikke onverzadigde zone

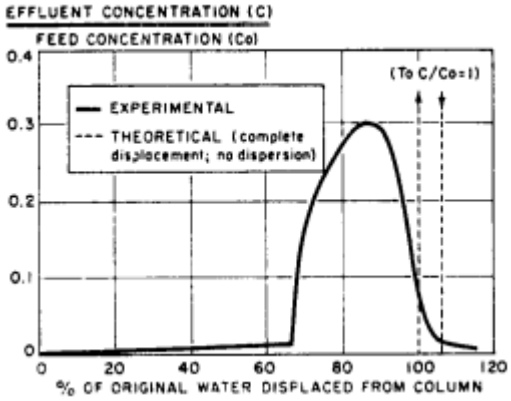
Er is sprake van een onverzadigde zone van ca. 10m dik. Het verloop van de neerslaggebeurtenis van 80mm is gevolgd op verschillende dieptes in het duin. Figuur 18 toont het verloop van de neerslagpuls op verschillende dieptes.

Wat duidelijk wordt uit de berekening is dat de dikte van de onverzadigde zone er voor zorgt dat de neerslagpiek vrijwel geheel uitvlakt voordat het de grondwaterspiegel heeft bereikt. Wat resulteert in een vrijwel niet waarneembare toename in de afvoer van de sloten.



Figuur 18. Ontwikkeling van de bui (neerslagpuls) op verschillende dieptes in de tijd (rechts met aangepaste verticale as).

Waardoor treedt deze demping en vertraging (ook wel retardatie) op? Al in 1965 zijn experimenten uitgevoerd door Horton en Hawkins met een neerslagpiek op een zandkolom van 1,5m. Het resultaat is vertaald naar een dimensieloze grafiek (Figuur 19). De grafiek toont dat van een piek met eenheid 1 er uiteindelijk 0.3 (ca. een derde) als piekhoogte aankomt verdeelt over een langere tijd. De lange reistijd en demping van neerslag wordt bevestigd door andere studies (o.a. Bengtsson et al., 1987 en Stuyfzand, 1993). Waarbij reistijden in de orde van een jaar voorkomen bij een dikte van de onverzadigde zone van 10m.



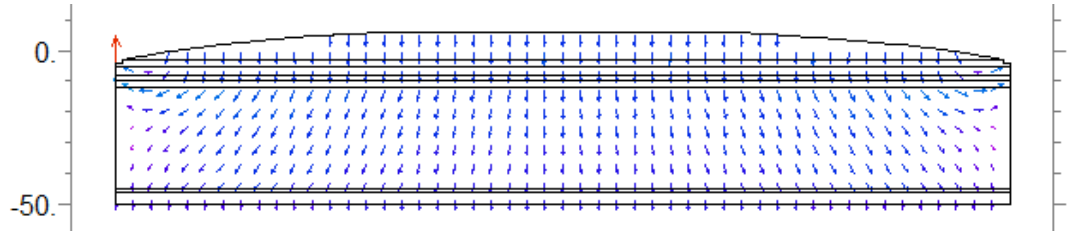
Figuur 19. Retardatie en demping van een neerslagpiek (Horton en Hawkins, 1965).

Hogere deklaagweerstand door compactie

In de stationaire berekeningen is een simulatie uitgevoerd met een hogere deklaagweerstand dat ontstaan is door compactie. Uit de stationaire berekening blijkt dat de grondwaterstand zal toenemen. Echter de stijging zal gering zijn wanneer de retardatie en demping van de onverzadigde zone in ogenschouw wordt genomen. Het verwachte effect op de afvoer is klein. Er is hiertoe geen berekening uitgevoerd.

Afstroming naar de onderliggende Boxtelzanden

In de gemiddelde situatie met een neerslagoverschot is sprake van infiltratie in het grootste deel van het perceel en concentreert de kwel zich inde sloten. Bij een piekgebeurtenis zal de grondwaterstand stijgen (afhankelijk van de retardatie en demping in meer of mindere mate). Hierdoor zal er een groter stijghoogteverschil ontstaan tussen grondwaterstand (in deklaag en ophoogzand) en stijghoogte (in Boxtel-zanden). Hierdoor neemt de infiltratie in het 'perceel' toe en infiltreert er dus meer naar het onderliggende pakket.



Figuur 20. Stroming van het water in de onverzadigde en verzadigde zone in een periode met neerslagoverschot.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Analyse aangeleverde informatie en DINOloket

- De hydraulische weerstand van de deklaag is beperkt (50d – 250d)
- Er is in de huidige situatie sprake van een klassiek beeld van twee sloten en een perceel.
- In huidige situatie sprake van afwisseling infiltratie en kweldruk in het perceel en permanente kwel in de sloot.

Modelsimulaties stationair

- In de nieuwe situatie met 10m ophoogzand veranderd er niet veel aan de hydrologische uitgangssituatie
- Berekeningen voor gemiddelde, droge en natte situatie laten geringe effecten zien op de optredende grondwaterstanden en afvoeren
- Door het opbrengen van 10m ophoogzand zal de compacteren. Nu 2 a 2,5m dik en zal tot ca. 80cm dunner worden. De verwachting is dat hierdoor de hydraulische weerstand zal toenemen. Uitgegaan is nu van 10x toename weerstand (250d -> 2500d). Dit resulteert in een hogere grondwaterstand in een natte periode.

Modelsimulaties tijdsafhankelijk met extreme neerslag event

- Een 'Westland bui' zal vertragen en afvlakken door:
    - Aanwezigheid van dikke onverzadigde zone waardoor retardatie en demping optreedt,
    - hoogteverschillen waardoor meerdere pulsen naar beneden toe die dit versterkt,
- In termen van afvoeren wordt een groot deel geïnfiltreerd in het diepere pakket (Boxtel-zanden) en slechts een beperkt deel voert af naar de sloot.

Bergend vermogen van het DUIN

Kan de initiële vraagstelling op basis van deze verkennende berekeningen worden beantwoord? De vraagstelling luidde: kunnen de duinpartijen dienen als waterberging. Waarbij de gedachte is om het regenwater op het duin in de grond te leiden en zo de afvoerpieken te dempen en een tijdelijke berging te creëren die langzaam afvoert naar het watersysteem. En de bodem mogelijk ter vervanging of deels vervanging van berging in oppervlaktewater kan dienen.

De hier uitgevoerde berekeningen kunnen deze vraag bevestigend beantwoorden. De belangrijkste argument is de sterk vertragende en dempende werking van de 10m dikke laag ophoogzand. Om meer zekerheid hierover te krijgen is naast het uitvoeren van modelberekeningen literatuuronderzoek gedaan waarin de resultaten worden bevestigd.

Er zijn wel enkele aannames gedaan. Het betreft bijvoorbeeld de bestaande weerstand van de deklaag, de te verwachtend weerstand van de deklaag na compactie en de doorlatendheid van het ophoogzand.

5.2 Aanbevelingen

Modelsimulaties

De uitgevoerde verkennende berekeningen tonen aan dat de 10m dikke laag ophoogzand een sterk vertragende en dempende werking heeft op neerslaggebeurtenissen. Het biedt de mogelijkheid de duinpartijen in te zetten voor waterberging en (deels) vervanging van oppervlaktewater.

De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van een aantal aannames met betrekking tot de geohydrologische karakteristieken. Het betrof dan ook verkennende berekeningen. Voor de vervolgstappen richting ontwerp en inrichting van het oppervlaktewatersysteem is het van belang om deze geohydrologische karakteristieken beter te kennen. Op basis van deze kennis aanvullende berekeningen uit te voeren die helpen bij het verdere ontwerp, inrichting en het gebruik van het DUIN voor waterberging.

Aangeraden wordt om:

- de weerstand of doorlatendheid van de huidige deklaag vast te stellen. De huidige aanname van de weerstand is gebaseerd op indirecte aanwijzingen.
- de weerstand of doorlatendheid na compactie vast te stellen. De huidige aannames is op basis van enkele literatuurwaarden, maar is sterk lokaal afhankelijk.
- de onverzadigde bodem karakteristieken van het 'ophoogzand' te bepalen. De huidige aanname is op basis van de standaard Staringreeks. De werkelijke waarden kunnen afwijken.
- de doorlatenheid (of ook wel Ksat) van het 'ophoogzand' te bepalen.

De voorgenoemde bepalingen kunnen deels in het laboratorium en deel in situ ter plaatste worden uitgevoerd. Aangeraden wordt om de in deze studie uitgevoerde berekeningen opnieuw uit te voeren op basis van meer ontwerpinformatie en voorgenoemde aanvullende geohydrologische karakteristieken.

Infitratiecapaciteit

Bij gebruik van het DUIN als waterberging dient wel aandacht te worden gegeven aan de infiltratiecapaciteit van de bodem. Een korte schets is gegeven in dit rapport. Evenals voor de modelsimulaties is deze eerste schets gebaseerd om aannames uit de literatuur. Ook is gekeken naar het al dan niet optreden van oppervlakkige afvoer of plasvorming. Met betrekking tot beide dient bij gebruik van het DUIN rekening te worden gehouden. Dit kan door het aanleggen van opvang en infiltratievoorzieningen (bijvoorbeeld een wadi of andere voorzieningen).

Kansen uitbreiding waterberging DUIN

Uit de verkennende berekeningen komt een beeld naar voren dat het regenwater op het DUIN geborgen kan worden en dat een piekgebeurtenis van neerslag in het DUIN sterk vertraagd en afgevlakt tot afvoer zal komen. Dit biedt mogelijk ook perspectief voor 'Kop Zuid' en/of ' Kop Noord'. Een gebied met een hoog percentage verhard oppervlak. De snelle afvoer vanuit dit gebied bepaald naar verwachting de inrichting van het oppervlaktewatersysteem in het te ontwikkelen gebied. Een suggestie is om de afvoer vanuit de 'Kop Zuid' en/of 'Kop Noord' van hemelwater het zandlichaam van het DUIN in te leiden via een infiltratievoorziening. Idee hierachter is dat deze bebouwde gebieden enkele meters hoger liggen dan het huidige maaiveld ter plaatse van het DUIN. De afvoer kan dan onder vrij verval afgevoerd worden en infiltreren in het hart van het zandlichaam van het DUIN. Dit water komt dan eveneens vertraagd en afgevlakt tot afvoer waardoor de benodigde afvoercapaciteit van het oppervlaktewatersysteem wellicht kleiner gedimensioneerd kan worden.

Het is aan te bevelen deze mogelijkheden nader te onderzoeken met verkennende berekeningen. Dit kan met hetzelfde modelinstrumentarium dat is gebruikt voor de verkennende berekeningen beschreven in dit rapport.

6 Referenties

Bengtsson, L., Saxena, R.K., Dressie, Z. (1987). Soil water movement estimated from isotope Tracers. Hydrological Sciences ~ Journal - des Sciences Hydrohgiques, , 4,12/1987

Buishands, T.A. en C.A. Velds (1980) Neerslag en verdamping; K.N.M.I., De Bilt.

Dwehurst, D.N., Aplin, A., Sarda, JP., Yang, Y. (1998). Compaction-driven evolution of porosity and permeability in natural mudstones: An experimental study. Journal of geophysical research. Vol. 103, NO. B1. Pp 651-661.

Huinink, J.T.M. (1986) Grasland: rond of vlak?; in: De Buffer, jrg. 32, nr 1, pag 1-14.

Mazure, J.P., 1936. Geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer. Algemene landsdrukkerij - 's-Gravenhage, pp.67-131.

Mesri, G., Olson, R.E. (1971). Mechanics controlling the permeability of clays. Clays and Clay Minerals Vol 19, pp. 151-158.

Stolte, J., Ritsema, C., Wosten, H. (2000). Oppervlakkige afvoer: een combinatie van helling, bodem, gewas en regen. Stromingen 6, nr. 4.

Struyk, R.J., Kooijman, W., Vloemans, H. (2011). Rapport betreffende ophoging middenduin-zuid fase 1 te Almere-poort, FUGRO opdrachtnr. 1207-0132-030.

Stuyfzand, P.J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Dissertatie, Vrije Universiteit.

Van der Valk, M.J.H. (2011). Rapport betreffende aanleg duinen Almere poort te Almere, FUGRO. Opdrachtnr. 1207-0132-040.

Wösten, J.H.M.; Veerman, G.J.; Groot, W.J.M. de; Stolte, J. (2001) Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks; vernieuwde uitgave 2001, Alterra-rapport 153.

Acacia Water
Jan van Beaumontstraat 1
2805 RN Gouda

Telefoon: 0182 – 686424
Internet: www.acaciawater.com
Email: info@acaciawater.com

