

**Grondwatermodel Park
Brederode**

Definitief

Amsterdamseweg 71
1182 GP Amstelveen

Postbus 6
1180 AA Amstelveen

t 020 750 46 00
f 020 750 46 99

www.wareco.nl

Uitgebracht aan:

Park Brederode Beheer bv
Postbus 71
2100 AB HEEMSTEDE

Projecttitel : Grondwatermodel Park Brederode
Projectnaam : W_MOD Park Brederode
Soort document : Definitief
Kenmerk : Ka71a.004mel.rap.doc
Opdrachtgever : Park Brederode Beheer bv
Projectleider : drs. M.E. Elzerman
Afdeling : Waterbeheer
Paraaf afdelingshoofd: 
Datum : 22 oktober 2003

Inhoudsopgave

Tekst	pagina
Samenvatting	I
1. Inleiding	1
2. Beschrijving van het onderzoeksgebied	2
2.1. Algemeen	2
2.2. Maaiveld	2
2.3. Oppervlaktewater	2
2.4. Drainage	3
3. Bodem en geohydrologie	3
3.1. Algemeen	3
3.2. Geologie	4
3.3. Geohydrologie	5
4. Beschrijving grondwatermodel Park Brederode	7
4.1. Algemeen	7
4.2. Modelopbouw	7
4.2.1. Modelgrenzen en modelnetwerk	7
4.2.2. Modelschematisatie	7
4.2.3. Modelrandvoorwaarden	7
4.3. Modelinvoer	8
4.3.1. Neerslag en verdamping	8
4.3.2. Maaiveldgegevens	9
4.3.3. Watergangen	9
4.3.4. Grondwateronttrekkingen	10
4.4. Modelkalibratie	10
4.5. Kalibratieresultaten	11
4.6. Modelgevoeligheid	12
5. Modelberekeningen	13
5.1. Inleiding	13
5.2. Beëindiging drinkwaterwinning Kennemerduinen	13
5.3. Grondwaterstroming	13
5.3.1. Natte situatie (9 januari 2003)	13
5.3.2. Droge situatie (20 april 2003)	14
5.3.3. Eerste watervoerend pakket	15
5.4. Oppervlaktewaterafvoer	15

6. Kwelsloot	17
6.1. Algemeen.....	17
6.2. Afvoerdebiet toekomstige situatie.....	17
6.3. Grondwaterstanden toekomstige situatie	17
7. Conclusies en aanbevelingen	18

Bijlagen

1. Topografische ligging onderzoekslocatie
2. Locatietekening
3. Maaiveldhoogte
4. Schematische geologische kaart
5. Regionale geologische dwarsdoorsnede
6. Overzicht detaillering grondwatermodel
7. Winningen PWN Zuid Kennemerland
8. Resultaten modelkalibratie
9. Bollenkaart
10. Berekende isostijghoogtelijnen freatisch grondwater/wadzandpakket, natte periode
11. Berekende isostijghoogtelijnen freatisch grondwater/wadzandpakket, droge periode
12. Ontwateringsdiepte natte periode
13. Ontwateringsdiepte droge periode
14. Kwel- en wegzijgingssituatie natte periode
15. Kwel- en wegzijgingssituatie droge periode
16. Berekende isostijghoogtelijnen freatisch grondwater situatie met kwelsloot, natte periode
17. Berekende isostijghoogtelijnen freatisch grondwater situatie met kwelsloot, droge periode
18. Profiellijnen
19. Neerslaggegevens
20. Afvoerdebiet watergangen Park Brederode

Samenvatting

Park Brederode betreft het terrein van het voormalige Provinciaal Ziekenhuis te Bloemendaal. In het park wordt woningbouw voorbereid. Het hoofdgebouw wordt gerenoveerd. De nieuwe woningbouw is met name geprojecteerd ter plaatse van bestaande, te slopen, bebouwing. Park Brederode grenst direct aan de Kennemerduinen. Een deel van het park is in de 19^e eeuw ingericht door Zocher. In het midden van het park kwelt grondwater op. In het park is bijzondere flora en fauna aanwezig. Mede hierom wordt een belangrijk deel van het terrein ingericht als park- en natuurgebied.

In het park worden sinds 1999 op 10 plaatsen de grondwaterstanden gemeten. De grondwaterstroming in het park is in oostelijke richting. Het centrale deel van het park is relatief laag gelegen. Hier vindt kwel plaats. In de overige delen van het park is sprake van wegzijging van grondwater. In mei 2002 zijn de grondwaterwinningen door PWN in de Kennemerduinen beëindigd. In voorgaand onderzoek was berekend dat hierdoor de grondwaterstanden in het park zouden stijgen. Uit de metingen van 1999 tot juni 2003 blijkt, dat als gevolg van het stopzetten van de drinkwaterwinningen geen aantoonbare stijging van de grondwaterstanden heeft plaatsgevonden.

Om de invloed van voorgenomen veranderingen in de inrichting van het park op de grondwaterstanden na te gaan, is in het voorjaar van 2003 een gedetailleerd grondwatermodel voor Park Brederode opgesteld. Voor het maken van dit model zijn de meest recente gegevens gebruikt over de grondwaterstanden, het resultaat van de stopproef van PWN en de onttrekkingen van de drainagepompen in Bloemendaal.

Met behulp van het model zijn ontwateringskaarten opgesteld van de huidige situatie in zowel een natte als droge periode. In het centrale, laag gelegen deel van het park, rond de vijvers en watergangen, bedraagt de ontwatering (de afstand van het maaiveld tot aan de grondwaterspiegel) in het algemeen minder dan 1,0 meter. Ter plaatse van de toekomstige bebouwing bedraagt de ontwatering grotendeels meer dan 1,0 meter, oplopend tot meer dan 4 meter in het hoge, westelijk gelegen deel van het park.

Het oppervlaktewater in het park (de vijvers en watergangen) wordt deels gevoed door de neerslag en deels door de kwel. De kwelcomponent in de totale afvoer is bepaald op circa 60 tot 75%. Tijdens buien en enkele dagen daarna is de neerslagcomponent echter veel groter. Het water wordt door de diverse watergangen en de vijver langs de ruïne van Brederode in noordelijke richting afgevoerd. 's 's Zomers, in droge perioden, daalt de grondwaterstand zover uit dat de meest oostelijk gelegen watergangen kunnen droogvallen.

De hoeveelheid water die via een duiker onder de Velsenderlaan in de richting van de ruïne van Brederode stroomt, varieert normaliter van circa 100 m³/dag in een droge periode tot circa 170 m³/dag in een natte periode. In extreem droge omstandigheden zakt het waterpeil zover uit dat geen afvoer van water uit het park plaatsvindt.

Onder extreem natte omstandigheden met veel neerslag kan de afvoer tijdelijk toenemen tot ruim 500 m³/dag.

Met het grondwatermodel kan het effect van verschillende geplande ingrepen op het water zichtbaar worden gemaakt. Als voorbeeld is gekeken naar het effect van het graven van een aparte kwelsloot. Om kwelwater in deze sloot te krijgen, zou de bodem van de sloot op circa 1,5 meter beneden het huidige maaiveld moeten worden aangelegd. Door het graven van de kwelsloot neemt de afvoer uit Park Brederode met circa 20 m³/dag toe.

1. Inleiding

Op 3 juni 2003 is door Park Brederode Beheer bv aan Wareco Amsterdam bv schriftelijk opdracht verstrekt voor het actualiseren en detailleren van het regionaal grondwatermodel en het uitvoeren van geohydrologische berekeningen met het geactualiseerde model.

Het onderzoeksgebied betreft het Park Brederode te Bloemendaal. De topografische ligging van het onderzoeksgebied is aangegeven in bijlage 1. Het onderzoeksgebied heeft een totale oppervlakte van circa 36 hectare.

Doel van de actualisatie en detaillering van het grondwatermodel is het verkrijgen van een instrument waarmee de effecten van de verschillende voorgenomen ingrepen in Park Brederode op de omgeving zichtbaar kunnen worden gemaakt. Eén van de geplande ingrepen betreft de aanleg van een (kwel)sloot.

Het bestaande grondwatermodel, dat is opgesteld ten behoeve van het Masterplan Park Brederode (Grontmij, 1999), is niet beschikbaar gesteld voor nader onderzoek. Ten behoeve van het onderzoek is daarom gebruik gemaakt van het grondwatermodel van het stedelijk gebied van Haarlem (Wareco Amsterdam bv, 2000).

Bij de gemeente Bloemendaal zijn gegevens opgevraagd ten aanzien van de bodemopbouw, het oppervlaktewater, de grondwaterstanden en onttrekkingen. De opdrachtgever heeft gegevens ten aanzien van het maaiveldniveau verstrekt. Bij PWN zijn gegevens opgevraagd met betrekking tot het debiet van de duinwinningen.

In het archief van Wareco Amsterdam bv zijn gegevens verzameld met betrekking tot de bodemopbouw, de (grond)waterstanden en de meteorologie.

Daarnaast is gebruik gemaakt van uitgevoerde onderzoeken in de omgeving van het onderzoeksgebied:

- "Grondwaterbeheersplan Bloemendaal en omgeving, basisstudie", Grontmij, d.d. februari 1996 met kenmerk RIT.95002176;
- "Park Brederode Bloemendaal", Grontmij, d.d. 15 december 1999;
- "Effecten van de reductie en stopzetting waterwinning Zuid-Kennemerland", PWN met kenmerk 19748ao, d.d. 19 mei 2000;
- "Grondwatermodel stedelijk gebied gemeente Haarlem", Wareco Amsterdam bv met kenmerk 65601\009hg, d.d. 5 juni 2000.
- "Masterplan Park Brederode Bloemendaal", BVR en Copijn Tuinarchitecten Utrecht, d.d. 29 oktober 2001;
- "Sluiting winningen Zuid Kennemerland, resultaten van stopproeven 2002", PWN met kenmerk 2003001566, d.d. februari 2003.

Ter aanvulling op bovengenoemde gegevens zijn de volgende veldwerkzaamheden uitgevoerd:

- In aanvulling op de reeds aanwezige peilbuizen zijn vijf boringen en peilbuizen geplaatst (nummers 1 tot en met 5) en ingemeten ten opzichte van NAP.
- In de vijvers van het Park Brederode zijn op twee locaties meetinrichtingen gemaakt om het peil van het oppervlaktewater te meten.

Bovenstaande veldwerkzaamheden zijn gerapporteerd in "Veldwerkgegevens Park Brederode", Wareco Amsterdam bv, kenmerk Ka71b.003hcl.rap, d.d. 19 juni 2003. De locaties van de aanwezige en aanvullend geplaatste boringen en peilbuizen, alsmede de oppervlaktewatermeetpunten zijn weergegeven in [bijlage 2](#).

2. Beschrijving van het onderzoeksgebied

2.1. Algemeen

Het onderzoeksgebied betreft het voormalig Provinciaal Ziekenhuis terrein. Een overzicht van het onderzoeksgebied is weergegeven in [bijlage 2](#).

In de huidige situatie bevinden zich in het park een aantal gebouwen van het voormalig Provinciaal Ziekenhuis. De bestaande bebouwing wordt grotendeels gesloopt. Op het vrijgekomen terrein zijn woningen gepland. Naast de realisatie van woningbouw wordt een belangrijk deel van het onderzoeksgebied ingericht als park- en natuurgebied.

2.2. Maaiveld

Het onderzoeksgebied Park Brederode is gelegen in een duinvallei die zich in noordoostelijke richting uitstrekt. De maaiveldhoogte in het onderzoeksgebied varieert van circa NAP +8,5 m in het westen van het onderzoeksgebied tot NAP +5,0 m in het zuiden en oosten van het onderzoeksgebied. De laagste maaiveldhoogte wordt aangetroffen centraal in het onderzoeksgebied, waar de maaiveldhoogte circa NAP +4,0 m bedraagt. Aan de westzijde wordt het onderzoeksgebied begrensd door de Kennemerduinen met een maaiveldhoogte van maximaal circa NAP +30 m. Aan de oostzijde van het gebied bevindt zich een strandwal (de Schapenduinen) met een maaiveldhoogte variërend van circa NAP +5,0 m tot NAP +6,0 m. In [bijlage 3](#) is de maaiveldhoogte weergegeven.

2.3. Oppervlaktewater

In de huidige situatie bevinden zich in het onderzoeksgebied verschillende watergangen, zie [bijlage 2](#). De watergangen staan met elkaar in verbinding middels duikers. Het oppervlaktewaterpeil wordt volgens Grontmij (1999) door een vaste drempelhoogte gehandhaafd op circa NAP +4,20 m. Aan de noordzijde van Park Brederode bevindt zich oppervlaktewater rond de ruïne van Brederode. Volgens Grontmij (1999) bedraagt het oppervlaktewaterpeil rond de ruïne ten gevolge van de diepte van de slootbodems ter hoogte van de Willem De Zwijgerlaan circa NAP +3,95 m.

De gemeten waterstanden bedragen circa NAP +3,92 m ter plaatse van meetlocatie B tot NAP +4,07 m ter plaatse van meetlocatie A (vijver midden in park). Het betreft meetgegevens van 13 juni 2003. Duiker D4 is ingemeten op een niveau van NAP +3,84 m. Er is tijdens een terreininspectie geen zichtbare drempel of stuw aangetroffen. Op basis van de ingemeten duikerdiepte en de uitgevoerde terreininspectie wordt derhalve verwacht dat tijdens drogere perioden het oppervlaktewaterpeil tot NAP +3,84 m kan dalen waarbij nog steeds afvoer kan optreden vanuit Park Brederode.

Verwacht wordt dat het oppervlaktewaterpeil tengevolge van opstuwning en krap gedimensioneerde duikers sterk kan variëren. Door Grontmij (1999) worden tijdelijke peilstijgingen tot NAP +4,70 m in het park genoemd. Omdat er vooralsnog slechts een beperkt aantal metingen beschikbaar is, wordt er in dit onderzoek van uitgegaan dat het gemiddelde waterpeil NAP +4,20 m bedraagt.

Het onderzoeksgebied ontvangt geen gebiedsvreemd water (oppervlaktewater van buitenaf). De afvoer vanuit het onderzoeksgebied bestaat derhalve uit grondwater en uit hemelwater. Volgens de opdrachtgever valt een deel van de watergangen in de zomerperiode droog.

2.4. Drainage

Aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied bevinden zich sportvelden, welke worden gedraineerd door middel van een drainagesysteem. Het drainageniveau bedraagt NAP +4,35 m. Het drainagesysteem lost middels een pompsysteem op het oppervlaktewater ten westen van de sportvelden.

3. Bodem en geohydrologie

3.1. Algemeen

De bodemopbouw van het onderzoeksgebied is beschreven op basis van voorgaande onderzoeken, genoemd in hoofdstuk 1 en een groot aantal boringen in het onderzoeksgebied van overige milieu- en bodemonderzoeken. Aanvullend is gebruik gemaakt van:

- "Geohydrologische kaart Zuid-Kennemerland", Wareco Amsterdam bv, d.d. december 1989;
- "Grondwaterkaart van Nederland", kaartblad 24 oost, 25 west/oost, (Dienst Grondwaterverkenning TNO, 1979);
- "Vereenvoudigde geologische kaart van Haarlem en omgeving", RGD 1995;
- de door Wareco Amsterdam bv aanvullend geplaatste boringen, zie [bijlage 2](#).

In [bijlage 4](#) is een schematische geologische kaart weergegeven van het modelgebied. Een regionale geologische dwarsdoorsnede is opgenomen in [bijlage 5](#).

3.2. Geologie

De geologische opbouw wordt gekenmerkt door Holocene afzettingen op de onderliggende Pleistocene pakketten. In de geohydrologische literatuur wordt het Holocene pakket aangeduid als "deklaag" en de diepere watervoerende pakketten als 'eerste' tot en met 'vierde' watervoerend pakket. Voor de beschrijving van de bodemopbouw wordt zoveel mogelijk de terminologie van het NITG-TNO aangehouden. De Holocene deklaag wordt, in aanvulling tot de algemeen gangbare geohydrologische schematisatie, verder onderverdeeld in twee afzonderlijke watervoerende pakketten.

Holoceen

Vrijwel alle Holocene afzettingen behoren geologisch tot de Westland Formatie. Een uitzondering hierop is het ophoogmateriaal dat niet tot een geologische formatie wordt gerekend. De bovenzijde van het Holocene pakket wordt in het onderzoeksgebied veelal gevormd door een opgebrachte ophooglaag. De ophooglaag bestaat voornamelijk uit (plaatselijk puinhoudend) zandig materiaal. Binnen het Holocene pakket zijn de volgende afzettingen te onderscheiden:

Jonge- en Oude Duin - en Strandzanden

In het onderzoeksgebied worden direct beneden het maaiveld of beneden het ophoogmateriaal Oude Duin- en Strandzanden aangetroffen. Aan de westzijde van het onderzoeksgebied worden direct beneden het maaiveld Jonge Duin- en Strandzanden aangetroffen. De dikte van het pakket varieert van minder dan één meter tot circa 20 meter ter plaatse van de hoogste duinen. De onderzijde van de Jonge Duinzandafzettingen bevindt zich gemiddeld op circa NAP +3 m.

Hollandveen

Ingewatergangen in de Oude Duin- en Strandzanden worden in het onderzoeksgebied plaatselijk veenlenzen aangetroffen, zie [bijlage 4](#). De veenlenzen in de Westlandformatie, met uitzondering van het Basisveen, worden tot het Hollandveen gerekend. De dikte van het Hollandveen varieert ter plaatse van het onderzoeksgebied van circa 0,1 m tot 0,5 m. De basis van het Hollandveen bevindt zich op een diepte variërend van circa NAP +2,8 m tot NAP +3,9 m.

Wadzanden

Onder het Hollandveen of direct onder de Duinzanden wordt een wadzandpakket aangetroffen. Op basis van boringen in de omgeving van het onderzoeksgebied betreft dit naar verwachting een sterk horizontaal gelaagd pakket. De dikte van het wadzandpakket varieert ter plaatse van het onderzoeksgebied van circa 10 tot 15 m. De dikte van het wadzandpakket neemt vanaf het duingebied af in oostelijke richting.

Basisveen, Laag van Velsen

De onderzijde van het Holocene pakket wordt gevormd door het Basisveen en de lokaal afgezette kleilaag van Velsen (Calais I). De dikte van deze slecht doorlatende laag varieert van 0 tot 5 meter. De basis van dit pakket veen- en kleilagen wordt in het onderzoeksgebied aangetroffen op circa NAP -20 meter.

Pleistoceen

Onder het Basisveen wordt een pakket fijne tot grove Pleistoceen zanden aangetroffen. De onderzijde van dit pakket bevindt zich volgens de Grondwaterkaart van Nederland ter plaatse van de onderzoekslocatie op een diepte van tenminste circa NAP -130 m.

Voor een gedetailleerde beschrijving van de bodemopbouw en geohydrologie van de diepere geologische formaties wordt verwezen naar de rapportage "Grondwaterbeheersplan Bloemendaal en Omgeving, basisstudie".

3.3. Geohydrologie

In het onderzoeksgebied zijn watervoerende pakketten en waterscheidende lagen te onderscheiden.

Watervoerende pakketten zijn relatief goed waterdoorlatende zand- of grindpakketten waarin de horizontale component van de grondwaterstroming overheerst. De hoeveelheid horizontaal stromend grondwater is bepaald door het product van het stijghoogteverschil over een afstand x en het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket (kD -waarde). De kD -waarde is het product van de horizontale doorlaatfactor k_h (m/dag) en de dikte D (m) van het watervoerend pakket.

Waterscheidende lagen zijn slecht waterdoorlatende klei-, zavel- of veenlagen en sterk kleihoudende zandlagen waarin de verticale component van de grondwaterstroming overheerst. De hoeveelheid verticaal stromend grondwater is bepaald door het quotiënt van het stijghoogteverschil tussen de boven en onder de scheidende laag gelegen watervoerende pakketten en de verticale hydraulische weerstand (c) van de scheidende laag. De hydraulische weerstand van een scheidende laag is gedefinieerd als het quotiënt van de dikte van de scheidende laag d (m) en de verticale doorlaatfactor k_v (m/dag).

Van boven naar beneden zijn in het onderzoeksgebied de volgende lagen te onderscheiden:

Freatisch watervoerend pakket

Dit pakket wordt direct beneden maaiveld aangetroffen en bestaat uit ophoogmateriaal en de Jonge en/of Oude Duin- en Strandafzettingen. De dikte van het pakket bedraagt gemiddeld circa 1,5 meter. Het doorlaatvermogen van het freatische watervoerend pakket varieert naar schatting van circa $2,0 \text{ m}^2/\text{dag}$ tot $2,5 \text{ m}^2/\text{dag}$.

Bovenste scheidende laag

De bovenste scheidende laag wordt gevormd door de veenlenzen (Hollandveen). De dikte van de scheidende laag varieert aanzienlijk en bedraagt gemiddeld 0,5 meter. De hydraulische weerstand van de bovenste scheidende laag is afhankelijk van de dikte van het veenpakket. Naar schatting varieert de hydraulische weerstand van circa 100 dagen tot 150 dagen. Daar waar de bovenste scheidende laag ontbreekt, is er sprake van direct hydraulisch contact tussen het freatisch- en wadzandpakket, zie [bijlage 4](#).

Wadzandpakket

Het wadzandpakket wordt gevormd door de oude Duin- en Strandzanden. De dikte van het wadzandpakket bedraagt circa 15 à 20 meter. Het doorlaatvermogen van het wadzandpakket is in de regionale modelstudie voor het onderzoeksgebied gekalibreerd op circa 170 m²/dag. Op de locaties waar de bovenste scheidende laag ontbreekt, vormen het freatisch- en wadzandpakket één geheel.

Scheidende laag aan de basis van het Holoceen

Het Basisveen en de kleiafzettingen van de Laag van Velsen (Calais I) vormen tezamen de scheidende laag tussen de Holocene en Pleistocene afzettingen. De scheidende laag is ter plaatse van het hele onderzoeksgebied aanwezig. De weerstand van de scheidende laag kan sterk variëren en bedraagt op basis van de resultaten van stopproeven 2002 ter plaatse van de winningen Koningshof circa 1.600 tot 1.900 dagen, ter plaatse van de winning Bloemendaal circa 1.000 tot 2.000 dagen en ter plaatse van de winning Santpoort circa 3.000 tot 4.000 dagen. Ter plaatse van het onderzoeksgebied wordt de weerstand geschat op circa 3.000 tot 4.000 dagen.

Eerste watervoerend pakket

Het eerste watervoerend pakket wordt gevormd door de zandige Formaties van Twente en de grofzandige afzettingen van de Eem Formatie. De bovenzijde van het eerste watervoerend pakket wordt aangetroffen op een gemiddelde diepte van circa NAP -20 meter. De dikte bedraagt gemiddeld circa 40 meter. Op basis van de resultaten van stopproeven 2002 wordt het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket ter plaatse van het onderzoeksgebied geschat op circa 350 tot 800 m²/dag.

Eerste scheidende laag

Vanaf een diepte variërend van circa NAP -35 meter tot NAP -70 meter wordt de eerste scheidende laag aangetroffen, bestaande uit de glaciële kleiafzettingen van de Formatie van Drente. De scheidende laag heeft een dikte van circa 7 meter tot maximaal 40 meter. Over de weerstand van de eerste scheidende laag zijn geen literatuurgegevens beschikbaar.

Tweede en derde watervoerend pakket

Onder de eerste scheidende laag wordt het tweede en derde watervoerend pakket aangetroffen, bestaande uit de matig tot zeer grofzandige afzettingen van de Formaties van Urk/Sterksel en de Formaties van Maassluis en Harderwijk.

Beide pakketten worden plaatselijk gescheiden door kleiafzettingen van de Fromaties Drente en Kedichem. De totale dikte die de watervoerende pakketten bedraagt varieert van circa 150 tot 200 meter. Met betrekking tot de doorlatendheid van het tweede en derde watervoerend pakket zijn slechts zeer beperkte gegevens beschikbaar.

4. Beschrijving grondwatermodel Park Brederode

4.1. Algemeen

Voor het geohydrologisch modelonderzoek is gebruik gemaakt van het programmapakket MicroFem (versie 3.60.00, juli 2003). MicroFem is een semi-driedimensionaal grondwaterstromingsmodel en is geschikt voor zowel stationaire als instationaire grondwaterstroming.

4.2. Modelopbouw

4.2.1. Modelgrenzen en modelnetwerk

Het grondwatermodel betreft een nadere uitwerking en detaillering van het grondwatermodel van het stedelijk gebied van Haarlem (Wareco Amsterdam bv, 2000). Het model van het stedelijk gebied van Haarlem is een detaillering van het regionale grondwatermodel, opgesteld in het kader van het grondwaterbeheersplan Bloemendaal en omgeving (Grontmij, 1996-1999). De modelgrenzen zijn gelijk aan het regionale grondwatermodel.

Het modelnetwerk is ter plaatse van het onderzoeksgebied verder verdicht en heeft ter plaatse van het Park Brederode een knooppunt dichtheid van circa 4 m. Binnen het onderzoeksgebied zijn alle watergangen ingevoerd als een driedubbele rij knooppunten. Een overzicht van het modelnetwerk ter plaatse van het onderzoeksgebied is weergegeven in [bijlage 6](#).

4.2.2. Modelschematisatie

Het grondwatermodel is conform de in hoofdstuk 3 beschreven geohydrologische schematisatie van de bodem opgebouwd uit vijf modellagen.

Sinds de detaillering van het regionale grondwatermodel voor het stedelijk gebied van Haarlem in 2000 zijn aanvullende data beschikbaar gekomen ten aanzien van de bodemparameters (doorlatendheden en weerstanden) en grondwaterstanden. Bij de detaillering en actualisatie van het grondwatermodel voor het onderzoeksgebied is gebruik gemaakt van deze aanvullende informatie. Buiten het onderzoeksgebied zijn de bodemparameters niet gewijzigd.

4.2.3. Modelrandvoorwaarden

Voor alle modelgrenzen dienen modelrandvoorwaarden ingevoerd te worden ten aanzien van de grondwaterstand of -stroming. Het betreft randvoorwaarden aan de bovenzijde, onderzijde en de buitengrenzen van het modelgebied. Deze randvoorwaarden kunnen stationair zijn of instationair.

Voor alle modelrandvoorwaarden geldt dat ze niet van invloed mogen zijn op de binnen het modelgebied uitgevoerde modelberekeningen.

De randvoorwaarden van het regionale model zijn bij de detaillering ter plaatse van het Park Brederode niet gewijzigd. De uitgevoerde modelberekeningen worden niet beïnvloed door de gestelde randvoorwaarden. Ter plaatse van de modelgrenzen is uitgegaan van vaste stijghoogten. De ondergrens van het model wordt gevormd door de zoet-zoutgrens in het Pleistocene pakket onder de Kedichem- en Drenteklei.

De bovenrandvoorwaarde van het model wordt gevormd door infiltrerend neerslagwater. In het duingebied betreft de bovenrandvoorwaarde van het model een vrij bewegende freatische grondwaterspiegel. In het overige deel van het modelgebied is als tweede bovenrandvoorwaarde een vast ontwateringsniveau ingevoerd. Dit kan bestaan uit een vast oppervlaktewaterpeil, een polderpeil of een vast drainageniveau.

Daarnaast is voor het onderzoeksgebied als randvoorwaarde gesteld dat indien het grondwater boven het maaiveld stijgt, dit direct wordt afgevoerd.

4.3. Modelinvoer

4.3.1. Neerslag en verdamping

Voor het bepalen van de neerslag en verdamping ter plaatse van het modelgebied is gebruik gemaakt van de gegevens van het KNMI voor de periode 1990-2003. De hoeveelheid (bruto) neerslag is gemeten door het meetstation Overveen (station 225). Voor de verdamping is gebruik gemaakt van gegevens van het meetstation Schiphol (station 240).

De netto neerslag wordt bepaald door de bruto neerslag, de gemiddelde specifieke neerslagintensiteit boven het aardoppervlak, te verminderen met de verdamping. Als verdamping wordt de "potentiële verdamping" gebruikt, een waarde die bepaald is door de "referentie-gewasverdamping" berekend volgens Makking te vermenigvuldigen met een gewasfactor.

De netto neerslag bedraagt aldus:

$$P_n = P - E_p \text{ waarin: } E_p = f \times E_r$$

P_n = netto neerslag

P = bruto neerslag

E_p = potentiële verdamping

f = gewasfactor

E_r = referentie-gewasverdamping

De netto neerslag in het onderzoeksgebied is voor de periode van 1990 tot 2003 weergegeven in [bijlage 19a](#). In bebouwde gebieden zal een deel van de netto neerslag direct worden afgevoerd naar het rioolstelsel of het oppervlaktewater. In deze gebieden is een verhardingspercentage toegepast. Het verhardingspercentage geeft het percentage van de netto neerslag weer dat niet bijdraagt aan de grondwateraanvulling. Een overzicht van de gehanteerde gewasfactoren en verhardingspercentages is weergegeven in [Tabel 1](#).

Tabel 1: Toegepaste gewasfactoren en verhardingspercentages.

Vegetatie/oppervlak	Gewasfactor (f)	Verhardingspercentage
Duingebied	0,8	0 %
Stedelijk gebied	0,7	50 %
Gebouwen	0,8	100 %
Oppervlaktewater	1,3	0 %
Overig	1,0	0 %

Ter plaatse van het Park Brederode zijn de gebouwen als afzonderlijke eenheden ingevoerd.

4.3.2. Maaiveldgegevens

Ter plaatse van het onderzoeksgebied is de maaiveldhoogte ingevoerd aan de hand van de door de opdrachtgever ter beschikking gestelde gegevens. De beschikbare maaiveldgegevens zijn lineair geïnterpoleerd tussen de meetpunten. In het overige modelgebied zijn geen aanpassingen gedaan aan de reeds in het model opgenomen maaiveldgegevens. De in het grondwatermodel opgenomen maaiveldhoogte is weergegeven in [bijlage 3](#).

4.3.3. Watergangen

Zoals beschreven valt volgens opgaaf van de opdrachtgever een deel van de watergangen in het onderzoeksgebied gedurende een deel van het jaar droog. De watergangen hebben een ontwaterende functie wanneer het waterpeil stijgt tot boven het drempelniveau, in deze situatie het aanlegniveau van de duiker aan de noordzijde van het park. Het niveau waarop het gebied wordt ontwaterd is gelijk aan het optredende oppervlaktewaterpeil van de watergangen.

Wanneer het oppervlaktewaterpeil beneden het aanlegniveau van duiker D4 uitzakt, hebben de watergangen geen ontwaterende functie.

Buiten het onderzoeksgebied zijn geen aanpassingen gedaan aan de ingevoerde oppervlaktewater- en polderpeilen.

4.3.4. Grondwateronttrekkingen

In het modelgebied is op verschillende locaties grondwater onttrokken. De NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) heeft diverse diepe en ondiepe winlocaties in bedrijf gehad.

Ten behoeve van de vernatting van het duingebied heeft sinds 1992 een reductie van de grondwateronttrekkingen van PWN in het eerste watervoerend pakket plaatsgevonden. De hoeveelheid grondwaterwinning in Zuid-Kennemerland is sinds 1999 teruggebracht tot circa 5 miljoen m³/jaar. In de periode van 7 mei tot en met 18 juni 2002 zijn de resterende PWN-winningen Koningshof, Bloemendaal en Santpoort gefaseerd uitgezet. Om ongewenste stijging van de grondwaterstand te voorkomen wordt sindsdien door de gemeente Bloemendaal grondwater onttrokken uit het eerste watervoerend pakket (zogenaamde compenserende onttrekkingen).

Ten behoeve van de onderhavige grondwatermodellering is gebruik gemaakt van de maandcijfers van de PWN-onttrekking over de periode van 1990 tot 2003. Een overzicht van de door PWN onttrokken debieten is weergegeven in [bijlage 7](#).

Overige onttrekkingen

Buiten de grootschalige industriële onttrekkingen hebben in het modelgebied verschillende kleinschalige (particuliere) onttrekkingen plaatsgevonden. Deze onttrekkingen zijn ingevoerd op basis van de gegevens van het grondwaterregister van de Provincie Noord Holland.

4.4. Modelkalibratie

Bij de modelkalibratie worden nog onbekende of geschatte geohydrologische parameters, zoals doorlatendheden van watervoerende lagen, hydraulische weerstand van waterscheidende lagen en bergingscoëfficiënten, geoptimaliseerd. De door het grondwatermodel berekende grondwaterstanden worden na elke wijziging van een geohydrologische parameter getoetst aan de feitelijke grondwaterstanden. Modelkalibratie is derhalve een iteratief proces.

De nauwkeurigheid tot waarop het grondwatermodel kan worden gekalibreerd is afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid geohydrologische parameters en het aantal grondwaterstandmeetpunten met een voldoende lange meetperiode.

Het grondwatermodel was reeds gekalibreerd voor het stedelijk gebied van Haarlem. Sinds de stopzetting van de PWN-winningen in juni 2002 zijn intensieve meetprogramma's door de gemeente Bloemendaal en PWN uitgevoerd. Daarnaast heeft PWN een analyse van de stopproeven uitgevoerd. Het grondwatermodel is op basis van de aanvullende informatie gekalibreerd voor de periode van januari 1990 tot mei 2003. Bij de kalibratie is overwegend gebruik gemaakt van maandelijkse gegevens met betrekking tot de neerslag en de onttrekkingsdebieten. Voor de periode van januari 2003 tot en met mei 2003 is het model getoetst op basis van dagelijkse neerslag- en verdamping gegevens.

De modelkalibratie heeft geleid tot een aantal aanpassingen van de modelparameters:

Verticale weerstand bovenste waterscheidende laag

De aanwezigheid van Hollandveen is voor het onderzoeksgebied op basis van de beschikbare boringen gedetailleerd in beeld gebracht, zie [bijlage 4](#). Op basis van de modelkalibratie varieert de weerstand van de bovenste waterscheidende laag van circa 100 tot 150 dagen. Waar het Hollandveen ontbreekt is aan de verticale weerstand van de bovenste waterscheidende laag een weerstand van circa 35 dagen toegekend.

Verticale weerstand Basisveen

De verticale weerstand van de deklaag is op basis van de resultaten van de stopproeven 2002 (PWN, februari 2003) en de modelkalibratie ter plaatse van het modelgebied ingevoerd als 4.500 dagen.

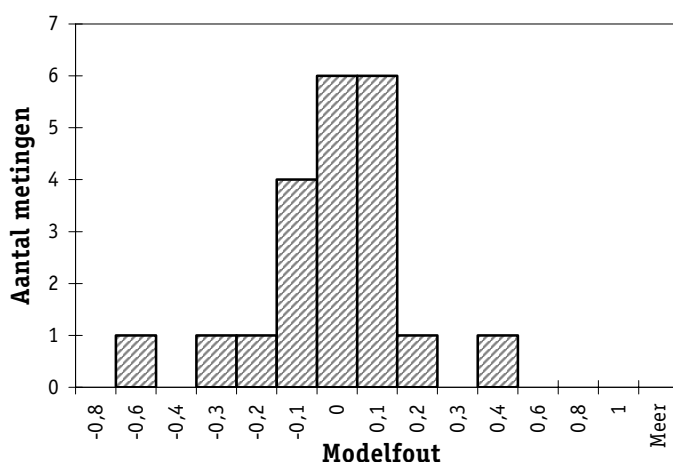
4.5. Kalibratieresultaten

In [bijlage 8](#) is voor de peilbuizen in Park Brederode en in de nabije omgeving het gemeten en berekende stijghoogteverloop weergegeven. Voor de peilbuizen waarvan slechts handmetingen beschikbaar zijn van 1992 tot 1996 zijn volledige berekeningsreeksen weergegeven voor de periode 1992 tot 2003. Voor de overige peilbuizen zijn reeksen weergegeven voor de afgelopen 3 jaar, waarin de resterende PWN-winningen zijn uitgeschakeld.

Bij een beperkt aantal peilbuizen worden relatief grote afwijkingen van de gemeten grondwaterstanden ten opzichte van de berekende grondwaterstanden geconstateerd. Mogelijk betreft het hier onbekende, lokale afwijkingen in de bodemopbouw of filtergegevens. Voor peilbuizen 55 en 112 zijn geen handmetingen beschikbaar.

In [bijlage 9](#) is het gemiddelde verschil tussen de berekende en gemeten grondwaterstanden in 2002 weergegeven in een bollenkaart. De grootte van de "bollen" geeft aan hoeveel de berekende waarden gemiddeld afwijken van de gemeten grondwaterstanden.

De verdeling van de modelfout voor 2002 is in Figuur 1 in weergegeven. Uit Figuur 1 blijkt dat voor het merendeel van de meetpunten de meetfout rond nul ligt (normaalverdeling) waarbij het grootste aantal meetpunten een gemiddelde afwijking vertonen tussen -0,1 en 0,1 m.



Figuur 1: Frequentietabel voor de gemiddelde meetfout berekend voor 2002.

Het grondwatermodel berekent de hoogte en variatie van de freatische grondwaterstanden binnen een acceptabele foutenmarge van circa 0,10 m. Geconcludeerd wordt dat het grondwatermodel als instrument voor de bepaling van effecten van verschillende ingrepen op de grondwaterstanden in Park Brederode voldoende nauwkeurig is gekalibreerd.

4.6. Modelgevoeligheid

Uit de kalibratie is gebleken dat de hoogte van de met het grondwatermodel berekende freatische grondwaterstanden relatief ongevoelig is voor veranderingen in de weerstand van de watergangen. Een verdubbeling of halvering van de slootweerstand levert geen grote verschillen in de berekende freatische grondwaterstanden. De slootweerstand is echter wel een zeer gevoelige parameter voor de berekende kwelstroom vanuit het freatisch- en wadzandpakket. Een halvering van de slootweerstand kan, bij gelijkblijvende grondwaterdruk vanuit het freatisch- en wadzandpakket, leiden tot een verdubbeling van de kwelstroom. De slootweerstand is als zodanig niet direct te meten.

Analoog aan het bovenstaande is de ingevoerde weerstand tussen het freatisch- en het wadzandpakket voor de locaties waar het Hollandveen ontbreekt, een relatief ongevoelige parameter voor de simulatie van de freatische grondwaterstand. De opwaartse stroming (flux) die door het grondwatermodel wordt berekend vanuit het wadzandpakket is echter wel sterk afhankelijk van deze weerstand. Deze weerstand is eveneens niet direct te meten en heeft wel invloed op de berekende kwel- en infiltratiestromen en daarmee de afvoer van de watergangen.

Bovenstaande onzekerheden leiden tot de conclusie dat de met het model berekende kweldebieten als indicatief moeten worden beschouwd. Om de totale afvoer van de sloot uit te splitsen naar diverse afvoercomponenten (kwel, neerslag, berging) dienen op basis van langdurige en hoogfrequente afvoer-, neerslag- en grondwaterstandmetingen waterbalansberekeningen te worden uitgevoerd voor het gehele stroomgebied. Deze gegevens zijn op dit moment niet beschikbaar en worden gezien het doel van het onderzoek niet noodzakelijk geacht.

5. Modelberekeningen

5.1. Inleiding

Met behulp van het grondwatermodel is de freatische grondwaterstand berekend voor zowel een representatief natte als droge periode.

Een representatief natte periode in relatie tot een representatieve hoge grondwaterstand wordt gedefinieerd als een periode in een winterhalfjaar (oktober tot en met maart) waarin in een aaneengewatergangen periode van tien dagen circa 60 mm bruto neerslag valt. Dit is de hoeveelheid neerslag die gemiddeld eenmaal per jaar, berekend uit de periode van 1906-1977, in een winterseizoen voorkomt. 9 januari 2003 betreft een representatief natte situatie.

Een representatief droge periode wordt gedefinieerd als een periode van negen aaneengewatergangen droge dagen. Een droge dag wordt gedefinieerd als een dag waarop maximaal 0,3 mm bruto neerslag valt (bron: KNMI). 20 april 2003 betreft een representatief droge situatie.

5.2. Beëindiging drinkwaterwinning Kennemerduinen

Op basis van de uitgevoerde stopproeven en intensieve monitoring van de grondwaterstanden is door PWN geconcludeerd (februari 2003) dat de beëindiging van de duinwaterwinningen in juni 2002 ter plaatse van Park Brederode niet heeft geleid tot een structurele toename van de freatische grondwaterstand. Op basis hiervan, de recente grondwaterstandmetingen en de modelkalibratie wordt verwacht dat de freatische grondwaterstanden in Park Brederode niet significant verder zullen stijgen als gevolg van de beëindiging van de PWN-winningen.

In verband met het ontbreken van debietmetingen kan niet eenduidig worden vastgesteld of de stopzetting van de winningen heeft geleid tot een toename van de afvoer van de watergangen in Park Brederode. Op basis van de opgetreden stijging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket van circa 0,7 m, wordt verwacht dat de kwel is toegenomen.

5.3. Grondwaterstroming

In [bijlage 10](#) zijn de berekende isostijghoogtelijnen weergegeven van het freatisch watervoerend pakket op 9 januari 2003 (representatief nat). In [bijlage 11](#) zijn de isostijghoogtelijnen weergegeven voor de situatie op 20 april 2003 (representatief droog).

Zowel in het freatisch watervoerend pakket als het wadzandpakket is in het algemeen sprake van een oost- tot zuidoost gerichte grondwaterstroming, vanaf het duingebied richting de verticale onttrekkingsputten in Bloemendaal en de ten oosten van Haarlem gelegen poldergebieden.

5.3.1. Natte situatie (9 januari 2003)

In de natte situatie varieert de freatische grondwaterstand van circa NAP +5,0 m in het westen van het onderzoeksgebied tot circa NAP +4,0 m in het oostelijk deel van Park Brederode, zie [bijlage 10](#).

In [bijlage 10](#) is aan het grondwaterstandverloop zichtbaar dat de watergangen in het park een ontwaterende functie hebben. Daarnaast zijn tevens kleine variaties in de grondwaterstand zichtbaar ten gevolge van de aanwezigheid van bebouwing (verhard oppervlak).

In [bijlage 12](#) is de ontwateringsdiepte tijdens de natte situatie weergegeven. In het centrale deel van Park Brederode, rondom de vijvers en watergangen, bedraagt de ontwateringsdiepte in de natte situatie in het algemeen minder dan 1,0 m. Aan de westelijke zijde, rondom de watergangen in het centrale deel van het park, is de ontwateringsdiepte in een natte situatie minder dan 0,5 m. In het hoger gelegen westelijk deel van het park neemt de ontwateringsdiepte toe tot circa 5,0 m.

In [bijlage 14](#) is de kwel- en infiltratiesituatie tussen het freatisch- en wadzandpakket weergegeven. Duidelijk zichtbaar is dat alle watergangen in het park een ontwaterende functie hebben; het kwelwater wordt via de watergangen afgevoerd. Omdat de freatische grondwaterstand ter plaatse van verhard oppervlak niet wordt gevoed door de neerslag, ontstaat hier tevens een opwaarts gerichte grondwaterstroming vanuit het wadzandpakket. Deze kwelzones leiden echter niet direct tot een toename van de afvoer, omdat ze niet in verbinding staan met ontwateringsmiddelen. De totale kwelstroom die in de natte periode wordt afgevoerd door de watergangen in Park Brederode is indicatief berekend op circa 127 m³/dag.

5.3.2. Droge situatie (20 april 2003)

In de droge periode varieert de freatische grondwaterstand van circa NAP +4,7 m in het westen van het onderzoeksgebied tot circa NAP +3,8 m in het oostelijk deel van Park Brederode, zie [bijlage 11](#). In [bijlage 11](#) is aan het verloop van de grondwaterstand zichtbaar dat een deel van de watergangen in het park slechts een beperkte tot geen ontwaterende functie hebben.

In [bijlage 13](#) is de ontwateringsdiepte tijdens de droge situatie weergegeven. In het centrale deel van Park Brederode, rondom de vijvers en watergangen, bedraagt de ontwateringsdiepte in de droge situatie in het algemeen minder dan 1,0 m. Aan de westelijke zijde, rondom een beperkt aantal watergangen in het centrale deel van het park, is de ontwateringsdiepte in de droge situatie minder dan 0,5 m. In het hoger gelegen westelijk deel van het park neemt de ontwateringsdiepte toe tot circa 5,0 m. De ontwateringsdiepte neemt in de droge situatie met name in het oostelijke deel van Park Brederode toe tot circa 1,0 à 2,0 m.

In [bijlage 15](#) is de kwel- en infiltratiesituatie weergegeven tussen het freatisch en wadzandpakket. In vergelijking met de natte situatie is de kwel- en infiltratie-intensiteit in zijn geheel afgenomen. De meest oostelijk gelegen watergangen hebben, in tegenstelling tot de natte situatie, een infiltrerende functie. Het oppervlaktewater stroomt hier uit de watergangen naar het grondwater. De totale kwelstroom in een droge periode is indicatief berekend op circa 55 m³/dag. Deze kwelstroom ontstaat in de meest westelijk gelegen watergangen. Doordat in de, hiermee in verbinding staande, overige delen van het afvoerstelsel een infiltratiesituatie heerst, zal de kwelstroom niet (volledig) tot afvoer komen.

5.3.3. Eerste watervoerend pakket

De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket varieert van circa NAP +1,0 m in het westen van het onderzoeksgebied tot circa NAP +0,5 m in het oosten van het onderzoeksgebied.

Vanaf 1994 is sprake van een stijgende trend in de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket als gevolg van de stopzetting van de duinonttrekkingen van PWN. Met het grondwatermodel is sinds de stopzetting van de winningen van PWN in juni 2002 een gemiddelde stijging in het eerste watervoerend pakket berekend van circa 0,7 m. Dit komt overeen met de waargenomen toename van de grondwaterstand zoals beschreven in de rapportage "Sluiting winningen Zuid Kennemerland, resultaten van stopproeven 2002" (PWN, 2003).

5.4. Oppervlaktewaterafvoer

De hoeveelheid oppervlaktewaterafvoer in de watergangen van Park Brederode wordt bepaald door de neerslag, horizontale toestroming vanuit het freatisch watervoerend pakket, kwelstroming vanuit diepere watervoerende pakketten en wegzijging naar de dieper watervoerend pakketten

Het is niet mogelijk om de specifieke instationaire kwel- en infiltratiesituatie die ontstaat in een droge situatie te modelleren. Zoals beschreven in paragraaf 5.3.2. is in de droge situatie in de westelijke delen van de watergangen sprake van een kwelsituatie terwijl in de, hiermee in verbinding staande, oostelijk gelegen watergangen een infiltratiesituatie heerst. Door het model wordt de totale kwelstroom in de watergangen als afvoer beschouwd. Een deel van deze kwelstroom uit de westelijke watergangen zal echter in de oostelijke delen van de watergangen, waar een infiltratiesituatie heerst, opnieuw infiltreren en derhalve niet tot afvoer komen.

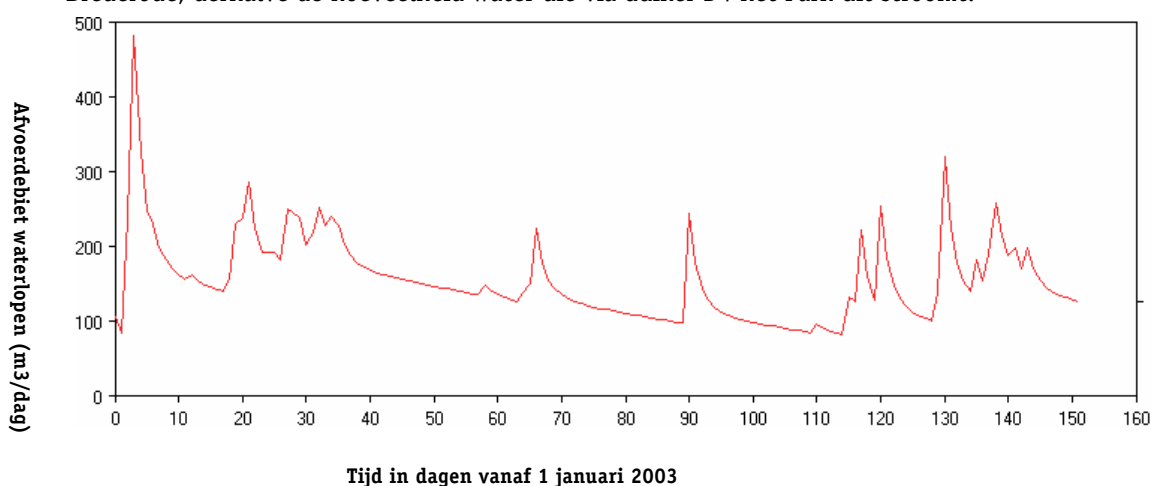
De kwelcomponent van de totale afvoer die door de watergangen wordt afgevoerd heeft een relatief beperkte variatie ten opzichte van de neerslagcomponent en vormt voor een groot deel de basisafvoer van de watergangen in Park Brederode. De kwelcomponent varieert gemiddeld van circa 60% van de totale afvoer in een droge situatie tot 75% van de totale afvoer in een natte periode. Tijdens buien en enkele dagen daarna is de neerslagcomponent echter veel groter en neemt de kwelcomponent tijdelijk af tot minder dan 30% van de totale afvoer van de watergangen.

De kwelcomponent varieert op basis van indicatieve modelberekeningen van circa 50 m³/dag tot maximaal circa 150 m³/dag. De met het model berekende afvoer (inclusief neerslag en zijdelingse toestroming) varieert van circa 100 m³/dag tot meer dan 500 m³/dag. In extreem droge omstandigheden zakt het waterpeil zover uit dat geen afvoer van water uit het park plaatsvindt. De berekende afvoerdebieten dienen als indicatief te worden beschouwd in verband met de genoemde onzekerheden ten aanzien van (sloot)weerstanden, de modelschematisatie en de infiltratie van een deel van de afvoer in een droge periode.

De watergangen in Park Brederode hebben in een representatief natte periode een ontwaterende en afwaterende functie. Het afvoerdebiet van de watergangen in het onderzoeksgebied is voor de representatief natte periode berekend op circa 170 m³/dag (9 januari 2003). Het afvoerdebiet is op 22 mei 2003 gemeten op 175 m³/dag. Dit betreft een relatief natte situatie.

De watergangen hebben in een representatief droge periode slechts een beperkte ontwaterende en afwaterende functie. Het afvoerdebiet van de watergangen in het onderzoeksgebied is voor de representatief droge periode berekend op circa 92 m³/dag (20 april 2003). Op 12 juni 2003 is het afvoerdebiet ter plaatse van duiker D4 gemeten op circa 108 m³/dag; 12 juni 2003 betreft een relatief droge situatie. In een droge periode zal de netto afvoer uit het Park Brederode echter kleiner zijn omdat de berekende afvoer (deels) weer zal infiltreren in de bodem in de oostelijk gelegen watergangen. De netto afvoer uit het park kan voor een droge periode derhalve met het grondwatermodel slechts indicatief worden benaderd.

Figuur 2 geeft het berekende totale afvoerdebiet weer van de huidige watergangen in Park Brederode, derhalve de hoeveelheid water die via duiker D4 het Park uit stroomt.



Figuur 2: Indicatief (totaal) afvoerdebiet watergangen Park Brederode in 2003. In een droge periode zal, door lokale infiltratie, de totale afvoer lager zijn.

6. Kwelsloot

6.1. Algemeen

Onderdeel van het Masterplan Park Brederode is het tot ontwikkeling laten komen van (nieuwe) ecologische waarden. Ter plaatse van het Park Brederode is een nieuwe kwelsloot gepland. Met de aanleg van de kwelsloot wordt beoogd meer "schoon" kwelwater af te vangen en te voorkomen dat de watergangen droogvallen. De overige watergangen gaan in verhouding meer hemelwater afvoeren dan de nieuw aan te leggen kwelsloot.

Ten aanzien van het ontwerp van de kwelsloot zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De ligging van de kwelsloot zoals aangegeven in [bijlage 16](#).
- De kwelsloot mag gedurende het jaar niet droogvallen.

6.2. Afvoerdebiet toekomstige situatie

De toekomstige kwelsloot is in het model ingevoerd. De geprojecteerde ligging van de sloot is weergegeven in [bijlage 16](#). Het model is met dagelijkse neerslaggegevens doorgerekend voor de periode van 1 januari 2003 tot 31 mei 2003.

In [bijlage 20](#) is het berekende indicatieve totale afvoerdebiet van de watergangen in Park Brederode weergegeven voor zowel de huidige als toekomstige situatie na aanleg van de kwelsloot. In [bijlage 20](#) is tevens de netto neerslag weergegeven en het verschil tussen beide totale afvoerdebieten.

Door de aanleg van de kwelsloot, zoals aangegeven in [bijlage 16](#), neemt het totale afvoerdebiet vanuit Park Brederode gemiddeld met circa 20 m³/dag toe. Dit komt doordat de slootbodem van de toekomstige kwelsloot het grondwaterpeil vrijwel permanent aansnijdt, waardoor grondwater via de sloot gaat afstromen.

6.3. Grondwaterstanden toekomstige situatie

De berekende freatische grondwaterstanden na aanleg van de kwelsloot zijn voor een natte en droge periode respectievelijk in [bijlage 16](#) en [bijlage 17](#) weergegeven. In [bijlage 18](#) zijn de freatische grondwaterstand en de grondwaterstand in het wadzandpakket ten opzichte van het maaiveldniveau weergegeven in drie dwarsprofielen loodrecht op de kwelsloot. De ligging van de profiellijnen is eveneens weergegeven in [bijlage 16](#) en [bijlage 17](#).

Uit de berekende grondwaterstanden blijkt dat de grondwaterstand ter plaatse van de kwelsloot in een representatieve droge periode uitzakt tot een diepte van circa NAP +4,2 m.

7. Conclusies en aanbevelingen

Het grondwatermodel van Park Brederode betreft een instrument waarmee de effecten van de verschillende ingrepen in Park Brederode zichtbaar kunnen worden gemaakt.

Op basis van de uitgevoerde stopproeven door PWN, de recente grondwaterstandmetingen en de modelkalibratie wordt verwacht dat de freatische grondwaterstanden in Park Brederode niet significant verder zullen stijgen als gevolg van de beëindiging van de PWN-winningen.

In verband met het ontbreken van debietmetingen kan niet eenduidig worden vastgesteld of de stopzetting van de winningen heeft geleid tot een toename van de afvoer van de watergangen in Park Brederode. Op basis van de opgetreden stijging van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket van circa 0,7 m, wordt verwacht dat de kwelcomponent van de totale afvoer is toegenomen.

Op basis van de uitgevoerde modelberekeningen wordt het volgende geconcludeerd:

- In het centrale deel van Park Brederode, rondom de vijvers en watergangen, bedraagt de ontwateringsdiepte in het algemeen minder dan 1,0 m. Aan de westelijke zijde, rondom de watergangen in het centrale deel van het park, is de ontwateringsdiepte in het algemeen minder dan 0,5 m. In het hoger gelegen westelijk deel van het park neemt de ontwateringsdiepte toe tot circa 5,0 m.
- De kwelcomponent van de totale afvoer bedraagt op basis van indicatieve berekeningen in een natte periode circa 127 m³/dag. In een droge periode is de kwelcomponent indicatief bepaald op circa 55 m³/dag. Het totale afvoerdebiet van de watergangen in het onderzoeksgebied is voor een representatief natte periode berekend op circa 170 m³/dag. Het afvoerdebiet in een droge periode kan met het grondwatermodel niet goed worden berekend. De kwelcomponent bedraagt gemiddeld 60% tot 75% van de totale afvoer.
- Door aanleg van een kwelsloot aan de westzijde van de huidige watergangen neemt het totale afvoerdebiet gemiddeld met circa 20 m³/dag toe. Deze toename wordt door de ligging van de sloot op een stroomopwaarts niveau van het grondwater volledig door de aanleg van de kwelsloot gegenereerd.

De met het model berekende kweldebieten moeten als indicatief worden beschouwd in verband met onzekerheden ten aanzien van hydraulische (sloot)weerstand. Om de totale afvoer van de sloot uit te splitsen naar diverse afvoercomponenten (kwel, neerslag, berging) dienen op basis van langdurige en hoogfrequente afvoer-, neerslag- en grondwaterstandmetingen waterbalansberekeningen te worden uitgevoerd voor het gehele stroomgebied. Deze gegevens zijn op dit moment niet beschikbaar.

Geadviseerd wordt de huidige grondwaterstandmonitoring deels te automatiseren door plaatsing van dataloggers en uit te breiden met continu-metingen van het afvoerdebiet en de neerslag. Op basis van de resultaten van de monitoring kan worden beoordeeld of de huidige ontwaterings- en afwateringsmiddelen in de huidige en toekomstige situatie voldoende groot gedimensioneerd zijn om wateroverlast in natte perioden te voorkomen.