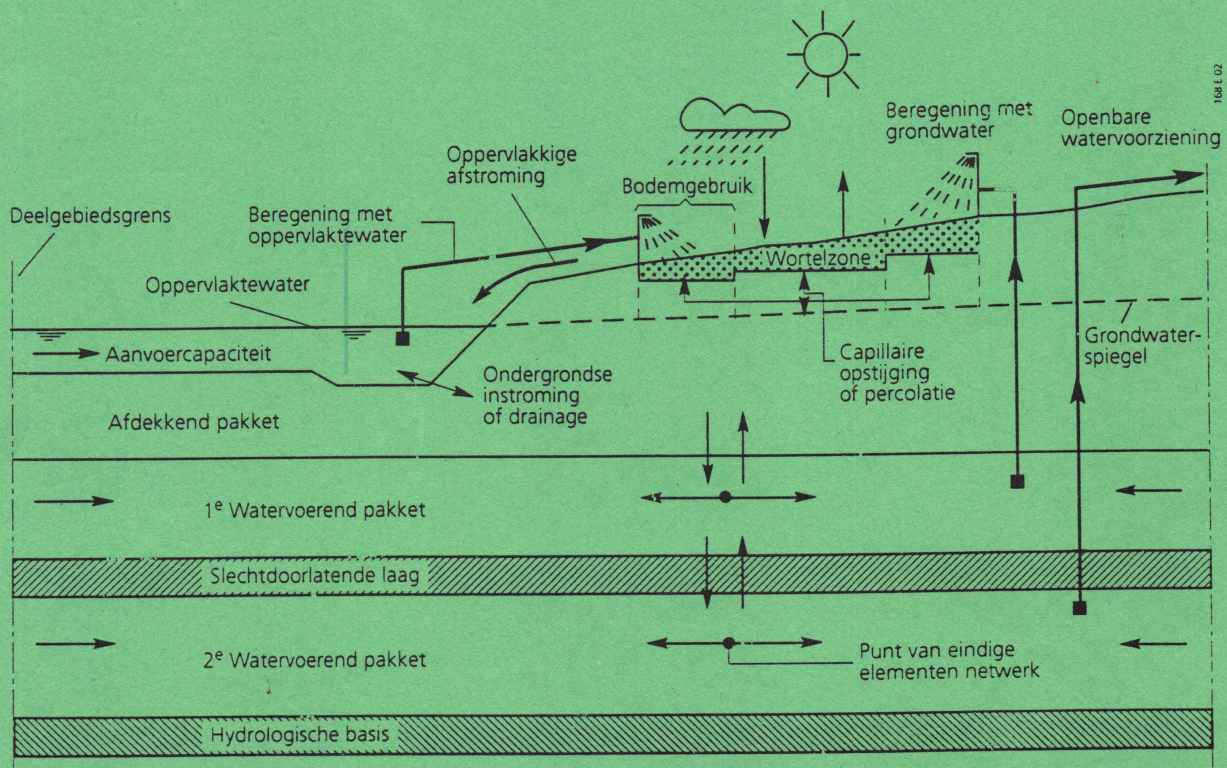


De invloed van fysische gebiedskenmerken en menselijke ingrepen op hydrologische droogte.

Een modelstudie met SIMGRO in Twente



Karin de Bruijn en Casper Hoefsloot, april 1997

Afstudeeronderzoek

INTERNE MEDEDELING, NO. 453

DLO-Staring Centrum, Wageningen

Landbouwuniversiteit, Wageningen

De invloed van fysische gebiedskenmerken en menselijke ingrepen op hydrologische droogte.

Een modelstudie met SIMGRO in Twente

Karin de Bruijn en Casper Hoefsloot, april 1997

Afstudeeronderzoek

Begeleiders:

E. Querner	DLO-Staring Centrum
H. van Lanen	Landbouwniversiteit Wageningen

INTERNE MEDEDELING, NO. 453

DLO-Staring Centrum, Wageningen	Landbouwniversiteit, Wageningen
---------------------------------	---------------------------------

Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van ons afstudeervak hydrogeologie. Het onderzoek is uitgevoerd voor het Staring Centrum (DLO) en de Landbouwniversiteit Wageningen. Het komt voort uit een project van UNESCO. Het onderzoek bestond uit een veldwerkperiode en een modelstudie.

Tijdens het onderzoek hebben wij van veel mensen vaktechnische hulp en morele steun gekregen, die wij hiervoor van harte bedanken.

Een aantal mensen willen wij speciaal noemen. Ten eerste bedanken we onze begeleiders dhr. Van Lanen en dhr. Querner voor hun raadgevingen. Veel informatie hebben we ontvangen van dhr. Top van het Waterschap Regge en Dinkel en van dhr. Den Otter van de Rijks Geologische Dienst. Daarom willen we ook het waterschap en de RGD en in het bijzonder dhr. Top en dhr. Den Otter bedanken. Tenslotte willen we dhr. Van de Weerd bedanken voor de hulp bij het veldwerk.

KdeBruijn 

Karin de Bruijn en Casper Hoefsloot

Samenvatting

Deze studie is uitgevoerd in het kader van het Low-Flow project dat deel uitmaakt van het onderzoeksprogramma FRIEND. Dit onderzoeksprogramma levert een bijdrage aan het International Hydrological Program van UNESCO.

De doelstellingen van deze studie zijn *het bepalen van de invloed van fysische gebiedskenmerken op het optreden van hydrologische droogte en het onderzoeken van de invloed van enkele mogelijke menselijke ingrepen op de waterhuishouding in het algemeen en op de hydrologische droogte in het bijzonder*. Om deze doelstellingen te verwezenlijken is er eerst een korte periode veldwerk gedaan en vervolgens is er een modelstudie met het niet-stationaire hydrologische model SIMGRO uitgevoerd.

Het studiegebied wordt gevormd door de stroomgebieden van de Poelsbeek en de Bolscherbeek in Twente. Het is een agrarisch gebied met vooral grasland, maïs, enkele stukjes bos en stedelijk gebied. Hydrogeologisch gezien bestaat het onderzoeksgebied uit één freatisch watervoerend pakket waarvan de basis gevormd wordt door tertiaire klei. Het watervoerend pakket bestaat voornamelijk uit Pleistocene zanden met een doorlatendheid die ligt tussen de 5 en 100 m d^{-1} . Ten westen van Haaksbergen ligt een glaciële geul in de tertiaire klei. De lokale invloed van deze geul op de grondwaterstroming en de waterscheiding is onbekend. De invloed op de regionale grondwaterstroming is waarschijnlijk verwaarloosbaar. De waarden van het doorlaatvermogen in het model ter plekke van de geul komen niet nauwkeurig overeen met de waarden berekend uit de gegevens van de RGD. De noord- en zuidrand van het studiegebied worden gevormd door de grondwaterscheidingen met respectievelijk de Buurserbeek en de Bentelerbeek. Bij de zuidoost rand stroomt grondwater het gebied in en bij de noordwest rand is er een uitgaande grondwaterflux. De regionale stromingsrichting van het grondwater en van de beken loopt van zuidoost naar noordwest. Dit is ook de algemene richting van de helling van het gebied. De beken hebben een sterk verschillend karakter doordat op de Bolscherbeek twee rioolwaterzuiveringsinstallaties lozen. Het afvoerverloop van de Bolscherbeek is dan ook veel grilliger.

Voor de analyse van het optreden van hydrologische droogte is deze gedefinieerd als een periode waarin de afvoer (Q_n) lager is dan de afvoer die een bepaald percentage van de tijd (n) overschreden wordt. In deze studie wordt over hydrologische droogte gesproken als de stroomsnelheid in de beken kleiner is dan 0.03 m s^{-1} . Deze stroomsnelheid leidt tot de keuze van een drempelwaarde $Q_{70} = 0.043 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ voor de Poelsbeek en $Q_{65} = 0.116 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ voor de Bolscherbeek. Deze drempelwaarden zijn bepaald op basis van de gemeten afvoeren. In de scenario's zijn deze drempelwaarden van de gemeten afvoeren steeds gebruikt.

Voor het modelonderzoek met SIMGRO is een bestaand model gebruikt dat voor de doelstellingen van dit onderzoek is aangepast. Dit model is gecalibreerd op gemeten afvoeren en grondwaterstanden. Na de calibratie bleek dat het model de afvoeren in het algemeen goed simuleerde maar de piekafvoeren iets onderschatte en dat de uitzakking van de afvoer na een piek iets te gering was. De lage afvoeren van de Poelsbeek worden iets overschat en van de Bolscherbeek iets onderschat. In beide beken werden iets te veel droge dagen gevonden. De grondwaterstanden werden redelijk goed gesimuleerd. De betrouwbaarheid van de resultaten wordt enigszins beïnvloed doordat SIMGRO soms meer water de waterlopen in de verzadigde zone laat infiltreren, dan er in de waterlopen aanwezig is. Ook de schematisatie van het oppervlaktewater en keuze van deelgebieden die niet zo gekozen zijn, dat ze oppervlaktewatereenheden vormen, leidt tot een geringere nauwkeurigheid.

De fysische gebiedskenmerken waarvan de invloed op hydrologische droogte met dit model bepaald is, zijn het doorlaatvermogen, de helling en de drainageweerstand. Tijdens het aanpassen van deze parameters zijn de overige parameters en ook de vaste randflux constant gehouden. Hierdoor wordt dus de invloed bepaald in een gesloten bassin. Verder onderzoek is nodig om de invloed van gebiedskenmerken in niet-gesloten bassins te bepalen. De gesimuleerde afvoeren ter plekke van de meetpunten worden gebruikt voor de analyse van de hydrologische droogte. Een verhoging van het doorlaatvermogen leidt tot een vlakker verloop van de grondwaterstand in het gebied, waardoor de lage afvoeren omhoog gaan. In gebieden met een hoger doorlaatvermogen kunnen dus minder droge dagen en een kleiner volume van het afvoertekort verwacht worden. Een kwantitatieve uitspraak hierover voor niet gemodelleerde gebieden, is niet mogelijk. Hiervoor zal eerst onderzocht moeten worden in hoeverre de invloed van het doorlaatvermogen afhangt van de overige gebiedskenmerken. Als gevolg van een grotere maaiveldshelling neemt de grondwaterstroming in de hellingsrichting toe. Hierdoor zakken de grondwaterstanden bovenstrooms in het gebied en worden ze benedenstrooms hoger. Het meetpunt van de afvoeren ligt niet helemaal benedenstrooms in het gebied. Hierdoor wordt een deel van het effect van het vergroten van de helling niet in de berekende afvoer waargenomen. De verhoging van de helling leidt tot een andere verdeling van de afvoeren over piekafvoeren en lage afvoeren, de gemiddelde afvoeren zakken. De hydrologische droogte in de Poelsbeek neemt door deze effecten toe en die in de Bolscherbeek af. Om de effecten van een grotere helling voor gebieden die geen gesloten bassin vormen te bepalen, zou een modelstudie gedaan kunnen worden met een veel groter modelgebied. Ook de invloed van de keuze van de hellingsrichting in het modelgebied zal dan bepaald moeten worden. Het is ook mogelijk een fictief gebied te gebruiken. Een verhoging van de drainageweerstand verhoogt de piekafvoeren en de laagste lage afvoeren. De overige afvoeren worden lager. Dit leidt tot een kleiner volume van het afvoertekort. In welke range de lage afvoeren omhoog gaan en hoever deze afvoeren omhoog gaan, hangt af van de overige gebiedskenmerken. De verandering van het aantal droge dagen is hier ook van afhankelijk.

Ook is de invloed van vernatting, bebossing, verstedelijking en het laten infiltreren van stedelijk regenwater op hydrologische droogte en de waterhuishouding in het algemeen bepaald. De verhoging van de ontwateringsbasis leidt tot een toename van de piekafvoeren en een afname van de lage afvoeren. Indien alleen de ontwateringsbasis van de greppels en de secundaire en tertiaire waterlopen verhoogd worden, stijgen de grondwaterstanden in de zomer niet. Een verhoging van de stuwpeilen van de primaire waterlopen veroorzaakt wel een verhoging van de minimale grondwaterstanden en dus vernatting. De hydrologische droogte neemt hierdoor enorm toe. Het effect is het grootst in niet-droge jaren.

Verstedelijking leidt tot een afname van de gemiddelde afvoeren en een toename van de lage afvoeren van een beek, waardoor de hydrologische droogte afneemt. Als het effluent van de RWZI waarop het nieuwe stedelijk gebied het regenwater loost, in de beek terecht komt, zal de hydrologische droogte ook afnemen. De piekafvoeren van de beek zullen dan toenemen. Het infiltreren van stedelijk regenwater leidt tot een afname van hydrologische droogte. Als op een beek een RWZI loost, neemt de droogte ook af, als gevolg van een herverdeling van afvoeren. Het effect op lage afvoeren van het laten infiltreren van stedelijk regenwater is groter dan het effect van het uitbreiden van het stedelijk oppervlak.

Door bebossing van grasland met loofbos neemt de hydrologische droogte af. Dit komt doordat bos een dikkere wortelzone heeft dan gras, waardoor er meer water in de wortelzone geborgen kan worden. Hierdoor nemen de lage afvoeren toe en de piekafvoeren af. Grasland en loofbos hebben een ongeveer even grote potentiële verdamping.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding	1
1.1 achtergrond	1
1.2 Doelstelling	1
1.3 Aanpak van het onderzoek	2
1.4 Indeling van het rapport	3
Hoofdstuk 2 Gebiedsbeschrijving	5
2.1 Algemene gebiedsbeschrijving	5
2.2 De geologie van Salland en Twente	5
2.2.1 Het pre-Kwartair	5
2.2.2 Het Kwartair	7
2.3 Hydrologische situatie in het onderzoeksgebied	8
2.3.1 Hydrogeologie	8
2.3.2 Oppervlaktewater	14
Hoofdstuk 3 Droogte	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Analyse van meteorologische droogte	17
3.3 Analyse van hydrologische droogte met EXDEV	18
3.3.1 Inleiding	18
3.3.2 Het programma EXDEV	18
3.3.3 Analyse van de gemeten afvoerreeksen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek	20
3.3.4 Toepassing van EXDEV bij calibratie	21
3.3.5 Keuze van de drempelwaarden voor de Poelsbeek en Bolscherbeek	22
Hoofdstuk 4 Modelleren van het stroomgebied met SIMGRO	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Beschrijving van het model SIMGRO	23
4.3 Schematisatie van het gebied en invoergegevens	27
4.4 Toetsing van het model aan de werkelijkheid	30
4.4.1 Inleiding	30
4.4.2 Betrouwbaarheid van de gemeten afvoeren	31
4.4.3 Werkwijze bij de calibratie	33
4.4.4 Resultaten van de gevoeligheidsanalyses	35
4.4.5 Resultaten van de calibratie	37
4.4.6 Aanpassingen van het uitgangsmodel tijdens calibratie	45
4.4.7 Validatie	46

Hoofdstuk 5 De invloed van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren	55
5.1 Inleiding	55
5.2 Werkwijze bij het bepalen van de invloed van fysische gebiedskenmerken	50
5.3 De invloed van het doorlaatvermogen op lage afvoeren	55
5.3.1 Resultaten	55
5.3.2 Discussie	59
5.3.3 Conclusie	60
5.4 De invloed van de helling van het gebied op de lage afvoeren	61
5.4.1 Resultaten	61
5.4.2 Discussie	63
5.4.3 Conclusie	66
5.5 De invloed van de drainageweerstand op de lage afvoeren.	67
5.5.1 Resultaten	67
5.5.2 Discussie	70
5.5.3 Conclusie	72
 Hoofdstuk 6 De invloed van menselijke ingrepen in de waterhuishouding	 73
6.1 Inleiding	73
6.2 Beleid Waterschap	73
6.3 De werkwijze bij het bepalen van de invloed ingreepen	74
6.4 De invloed van vernatting op lage afvoeren	75
6.4.1 Inleiding	75
6.4.2 Resultaten	75
6.4.3 Discussie	79
6.4.4 Conclusie	81
6.5 Verstedelijking en infiltratie van stedelijk regenwater	82
6.5.1 Inleiding en werkwijze	82
6.5.2 Resultaten	83
6.5.3 Discussie	87
6.5.4 Conclusies	89
6.6 De invloed van bebossing op lage afvoeren	90
6.6.1 Inleiding	90
6.6.2 Resultaten	90
6.6.3 Discussie	94
6.6.4 Conclusie	94
 Hoofdstuk 7 Conclusies en aanbevelingen	 97
7.1 Algemene conclusies	97
7.2 Aanbevelingen	99

Literatuurlijst

Bijlagen

- 1 Stratigrafische tabel voor Nederland
- 2 Boven Tertiaire en Kwartaire formaties
- 3 Boringen van de RGD
- 4 Eigen boringen
- 5 Waterlopenkaart van het waterschap Regge en Dinkel
- 6 Afvoermetingen
- 7 Enkele tijd-stijghoogtelijnen van de calibratie en de validatie
- 8 Waterbalansen van de jaren 1990, 1991 en 1992
- 9 Afvoerverlopen van 1983 voor de scenario's A1 en A4

Hoofdstuk 1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd in het kader van het Low Flow project dat deel uitmaakt van het onderzoekprogramma "Flow Regimes from International Experimental and Network Data" (FRIEND). Dit onderzoekprogramma wordt uitgevoerd in een internationaal samenwerkingsverband en levert een bijdrage aan het "International Hydrological Program" van UNESCO. De voornaamste doelstelling van het FRIEND project is het vergroten van de kennis over de hydrologische variabiliteit en overeenkomsten in tijd en ruimte ter vergroting van de hydrologische kennis, alsmede het ontwikkelen van praktische ontwerpmethoden, op de schaal van een stroomgebied. Het Low Flow project heeft als belangrijkste doelstelling het bestuderen en leren begrijpen van de temporele en ruimtelijke variabiliteit van droogten in Europa. Hiertoe wordt in een groot aantal Europese stroomgebieden het optreden van hydrologische droogte bestudeerd en in verband gebracht met klimatologische en geologische gebiedskenmerken. Dit afstudeeronderzoek levert hieraan een bijdrage. In dit afstudeeronderzoek wordt ten dele een typisch Nederlandse invulling gegeven aan de doelstellingen van het Low-Flow project door de invloed te bepalen van de Nederlandse trends vernatting, bebossing en verstedelijking.

Door middel van modellering kan inzicht verkregen worden in de hydrologische processen die binnen een stroomgebied optreden en de invloed die gebiedskenmerken en menselijke ingrepen hierop hebben. In deze studie is gebruik gemaakt van het fysisch georiënteerde hydrologisch model SIMGRO.

Het studiegebied waar dit afstudeeronderzoek zich op richt is gelegen in zuidoost Twente, tussen Goor en Haaksbergen. Het betreft het stroomgebied van de Poelsbeek en de Bolscherbeek dat ligt in het oostelijk dekzandgebied.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is tweeledig. Het eerste doel is *het bepalen van de invloed van fysische gebiedskenmerken op het optreden van hydrologische droogte*. De tweede doelstelling is *het onderzoeken van de invloed van enkele mogelijke menselijke ingrepen op de waterhuishouding in het algemeen en op hydrologische droogte in het bijzonder*.

Om deze doelstellingen te verwezenlijken zullen de volgende vragen in dit rapport beantwoord worden;

1. Hoe is het gebied ontstaan en hoe ziet de hydrogeologische opbouw en het oppervlaktewaterstelsel er uit?
2. Wat wordt onder droogte verstaan, wanneer treedt deze op en hoe wordt deze gekarakteriseerd?
3. Hoe kan het studiegebied gemodelleerd worden uitgaande van deze doelstellingen en hoe goed simuleert het model de werkelijkheid?
4. Wat is de invloed van de belangrijkste fysische gebiedskenmerken op het optreden van hydrologische droogte?
5. Wat is de invloed van enkele menselijke ingrepen op hydrologische droogte?

1.3 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek bestaat uit twee delen, veldwerk en modelonderzoek. Het modelonderzoek vormt het belangrijkste deel.

Het onderzoek is begonnen met een bestudering van literatuur over het studiegebied. Vervolgens is er veldwerk gedaan om het gebied beter te leren kennen, zodat kritisch naar de modelinvoer en de modelresultaten kan worden gekeken. Hierbij is gekeken naar de topografie, de hydrologie, de geologie en het landgebruik van het gebied. Tijdens het veldwerk zijn boringen gedaan, afvoeren gemeten, en alle peilbuizen in het gebied bezocht en opgenomen. Ook is er een bezoek gebracht aan de Rijks Geologische dienst (RGD) en het Waterschap Regge en Dinkel om meer informatie in te winnen over het studiegebied en de geologie van Twente. De resultaten van het veldwerk zijn gebruikt voor de gebiedsbeschrijving, voor het bepalen van de invoer en voor de calibratie van het model.

Het tweede en grootste deel van het onderzoek, het modelonderzoek, is opgebouwd uit de volgende stappen:

1. Het bestuderen van van de literatuur over het model SIMGRO om zo inzicht te krijgen in de werking van het model.
2. Het kritisch bekijken van de schematisatie van het studiegebied en de invoergegevens die al aanwezig waren in het model van Querner (1993). Het model van Querner (1993) is gemaakt in MOGROW voor een andere doelstelling (zie paragraaf 4.2). Later is dit model omgezet in SIMGRO (Querner e.a., 1994).
3. Het aanpassen van het model om het geschikt te maken voor de doelstellingen van dit onderzoek. De belangrijkste aanpassingen vonden plaats in het oppervlaktewatersysteem.
4. Het analyseren van de droogte van de gemeten afvoerreeksen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek om te bepalen hoe droogte gedefinieerd en gekarakteriseerd kan worden. Hierbij is het droogteanalyse programma EXDEV gebruikt.
5. Calibratie van het aangepaste model op basis van gemeten grondwaterstanden en afvoeren over de periode 1990-1992. Hierbij zijn de invoerwaarden zodanig aangepast dat het model de werkelijkheid zo goed mogelijk simuleert. Bovendien is de betrouwbaarheid van de gemeten afvoeren nagegaan.
6. Validatie op grondwaterstanden over de periode 1993-1995.
7. Het bepalen van de belangrijkste fysische gebiedskenmerken die met behulp van SIMGRO aangepast kunnen worden en het bepalen van de mate waarin de parameters aangepast kunnen worden zonder dat er inconsistentie van het model optreedt.
8. Het bepalen van de invloed van de fysische gebiedskenmerken door scenario's op te stellen en door te rekenen over de periode van 1969-1995.
9. Het kiezen van enkele relevante menselijke ingrepen, die met het gecalibreerde model goed gesimuleerd kunnen worden.
10. Het bepalen van de invloed van die kenmerken.
11. Het trekken van conclusies en doen van aanbevelingen voor verder onderzoek.

1.4 Indeling van het rapport

In hoofdstuk 2 wordt het studiegebied beschreven. In deze gebiedsbeschrijving wordt ook het ontstaan van het gebied behandeld. Hoofdstuk 3 beschrijft het begrip droogte en de analyse van droogte. Ook wordt in dit hoofdstuk een beschrijving van het programma EXDEV gegeven, omdat met dit programma verschillende kenmerken van hydrologische droogte bepaald kunnen worden.

In hoofdstuk 4 wordt de modellering van het studiegebied beschreven. Eerst worden hierin kort de werking van SIMGRO, de schematisatie van het studiegebied in SIMGRO en de invoergegevens besproken. Vervolgens wordt uitgebreid ingegaan op de calibratie van het model, omdat dit een belangrijk deel van het onderzoek vormt. Tenslotte worden de aanpassingen van invoergegevens tijdens de calibratie beschreven.

Hoofdstuk 5 beschrijft de invloed van enkele belangrijke fysische gebiedskenmerken op hydrologische droogte. Deze gebiedskenmerken zijn: het doorlaatvermogen, de helling en de drainageweerstand.

De invloed van enkele menselijke ingrepen op de waterhuishouding in het algemeen en op lage afvoeren in het bijzonder wordt beschreven in hoofdstuk 6. Deze ingrepen zijn: vernatting, verstedelijking, het laten infiltreren van 'stedelijk regenwater' en bebossing.

In hoofdstuk 7 worden tenslotte de conclusies vermeld en aanbevelingen voor verder onderzoek gedaan.

Hoofdstuk 2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Algemene gebiedsbeschrijving

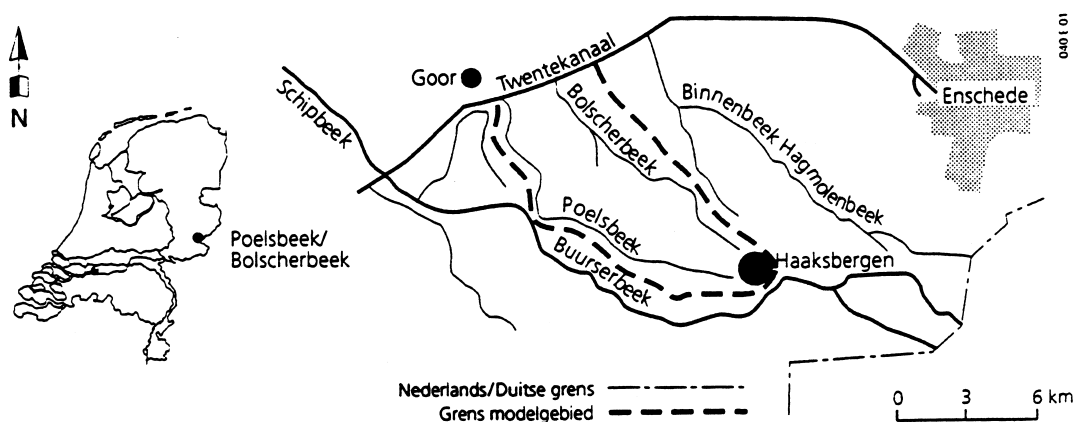


Fig 2.1 Locatie van het onderzoeksgebied (Querner, 1993)

Het studiegebied wordt gevormd door de stroomgebieden van de Poelsbeek en de Bolscherbeek. Deze beken ontspringen bij Haaksbergen in zuidoost Twente en wateren bij Goor af in het Twentekanaal. Het studiegebied omvat niet de gehele stroomgebieden van de beide beken. Al het oppervlaktewater van de beken valt wel binnen het studiegebied, maar bij de zuidoost- en de noordwestrand gaan kleine grondwaterfluxen over de rand heen. Het studiegebied heeft een oppervlakte van ongeveer 6400 ha.

De meest voorkomende bodemtypen in de stroomgebieden zijn veldpodzolgronden (leemarm en zwak lemig matig fijn zand), beekerdgronden (sterk lemig fijn zand) en enkeerdgronden (sterk lemig matig fijn zand). Het gebied is hoofdzakelijk een landbouwgebied. Het landgebruik bestaat uit grasland (47%), maïs (20%), bos (16% loofhout en 8% naaldbout), natuurterreinen (1%) en stedelijk gebied (8%). Het gebied helt van ongeveer 30 meter boven NAP in het zuidoosten, tot 12 meter boven NAP in het noordwesten (Querner, 1993).

In de volgende paragrafen worden de geologie en de hydrologie in meer detail beschreven.

2.2 De geologie van Salland en Twente

2.2.1 Het pre-Kwartair

De oudste afzettingen in Twente waarover kennis beschikbaar is, komen uit het Boven Carboon (zie bijlage 1). Deze gesteenten liggen op een diepte van ongeveer 900 meter (Anderson e.a., 1961). In deze periode lag Nederland in een dalingsgebied, dat een groot deel van het huidige noordwest Europa innam. Tijdens het Boven Carboon werd er een gebergtegordel gevormd ten zuiden van Nederland, als gevolg van de Varistische fase van gebergtevorming.

Het Perm werd voornamelijk gekenmerkt door de aanvoer van erosiemateriaal uit die gebergtegordel. Het bekken waarin Nederland lag bestond toen vooral uit woestijnduinen en wadi's met rood zand. De afzettingen uit die tijd worden Slochteren Zandsteen genoemd. In het Onder Perm ging de daling sneller dan de sedimentopvulling waardoor het bekken onder zeeniveau terecht kwam. In deze periode werd het bekken afwisselend geheel of gedeeltelijk van de oceaan afgesloten. Dit zorgde samen met het droge klimaat voor de afzetting van evaporieten. Deze afwisseling staat bekend als de Zechsteingroep (Rappol, 1993).

Het Trias wordt gekenmerkt door een zeer snelle bekkendaling en de afzetting van een cyclische afwisseling van fijn zand en klei. De afzetting van deze sedimenten vond eerst plaats in een uitgestrekt meer, later ontstond er weer een verbinding met de zee. Kort daarop trad afzetting van steenzout op wat erop wijst dat deze verbinding van korte duur moet zijn geweest. Het zout komt vooral voor in het Eemsdiep.

Tijdens het Midden Trias ontstond er opnieuw een verbinding met de zee en werden er de kleien en kalken van de Onder Muschelkalk afgezet in ondiep water. Deze lagen dagzomen ten oosten van Buursche en bij Winterswijk (Rappol, 1993).

In het Onder Jura vond er door een sterke stijging van de zeespiegel een lange tijd van mariene sedimentatie plaats. In die tijd lag er in noordwest Europa een groot bekken waarin mariene kleien werden afgezet. In Twente zijn deze lagen door erosie weer verdwenen. In het Midden Jura vond opheffing plaats door vulkanische activiteit in de huidige Noordzee en ook in noord Nederland. Dit gebied werd begrensd door de Gronau breukzone. Hiermee werd de opvulling van het mariene bekken beëindigd. De sedimentatie maakte plaats voor erosie.

In het Boven Jura maakte de regionale daling van het Perm en het Trias plaats voor een lokale daling van breukbegrensde gebieden, in samenhang met opheffing van de randen van deze gebieden. Deze rekrachten waren voornamelijk oostwest gericht, waardoor er langs de noordwest-zuidoost gerichte breuken ook horizontale bewegingen op traden. Twente en Salland bevonden zich net op de overgang tussen twee bekkens, namelijk het Centraal Nederlands bekken in het zuiden en het Bekken van Münster in het oosten (Van de Weerd e.a., z.j.).

Het Krijt wordt in noordwest Europa gekenmerkt door een stapsgewijze stijging van de zeespiegel en een afname van de tektonische activiteit. Er ontstond een uitgebreid zeegebied in geheel noordwest Europa. Tijdens het Onder Krijt werden twee belangrijke mariene zanden afgezet: de Bentheimer en Gildehauser Zandsteen. Deze zandstenen hebben een redelijke doorlatendheid en bevatten zoet water. In Losser wordt hieruit drinkwater gewonnen door de Waterleiding Maatschappij Overijssel. De zanden komen alleen in oostelijk Twente voor. Tijdens het Boven Krijt vond onder invloed van compressiekrachten een omslag plaats van het tektonische krachtenveld en werden de toenmalige slenken opgeheven en de voormalige horsten de nieuwe dalingsgebieden. De bodembeweging en de erosie waren zo sterk dat in de voormalige slenken de oude afzettingen uit het Krijt verdwenen. In deze periode kwamen de zoutstructuren van Weerselo en Deurnigen aan de oppervlakte te liggen. Ook vonden door samendrukkende krachten en horizontale bewegingen langs de Gronau Breukzone overschuivingen van oudere over jongere gesteenten plaats (Rappol, 1993).

De Tertiaire afzettingen liggen overal discordant op die van het Mesozoïcum. In het Paleoceen hebben beweging in de aardkorst en zeespiegelverlaging gezorgd voor erosie van de Mesozoïsche sedimenten, waarvan op de ene plaats meer en op de andere plaats minder verdween. Alle bewaard gebleven Tertiaire afzettingen zijn in ondiepe mariene milieus gevormd. Tijdens de vorming lag de kustlijn bijna altijd ten oosten of zuidoosten van de grens met Duitsland. Tussen de mariene afzettingen bevinden zich enkele grote hiaten die gekoppeld zijn aan hoekdiscordanties. Deze hiaten wijzen erop dat Twente waarschijnlijk diverse malen geheel of deels boven zeeniveau heeft gelegen. In tabel 2.1 zijn een aantal relevante formaties en afzettingen met hun lithologie uit het Tertiair opgenomen (Rappol, 1993).

Tabel 2.1 Formaties uit het Tertiair

Tijdsindeling	Formatie	Afzetting	Lithologie
Plioceen	Scheemda	Niet in het onderzoeksgebied	
Mioceen	Breda	Afzetting van Delden Afzetting van Zenderen Afzetting van Eibergen Afzetting van Aalten	FZ, K, FC FZ, K K K
Oligoceen	Rupel	Afzetting van Brinkheurne	K

Legenda:

FC = fosforiet concreties

K = klei

FZ = fijn zand

2.2.2 Het Kwartair

In de eerste periode van het Pleistoceen, het Pretiglien, werd in zuidoost Nederland de Kiezeloöliet Formatie afgezet door de Rijn en de Maas als pakketten klei of zanden en grinden (bijlage 2). Deze periode wordt omschreven als een glaciaal. Daarna kwamen er enkele glaciale en interglaciale, waarvan in Twente geen afzettingen bekend zijn. Aan het eind van het Vroeg Pleistoceen werden door de Rijn en de Maas plaatselijk de grinden en grove grindhoudende zanden van de Formatie van Sterksel en door de oostelijke rivieren de Formatie van Enschede afgezet (Felix e.a., 1994). Deze oostelijke rivieren ontsprongen in de omgeving van noord Duitsland. Van de formaties uit deze periode is in het onderzoeksgebied nauwelijks iets terug te vinden.

In het Midden Pleistoceen veranderde het afwateringspatroon van het Baltische en Noord-duitse oorsprongsgebied van de oostelijke rivieren waardoor er geen sediment meer uit het oosten aangevoerd werd. De stroomgebieden van Rijn en Maas schoven door tektonische invloeden uit elkaar waardoor de Rijn in Overijssel de grofzandige Formatie van Urk afzette. In het Elsterien in het Midden Pleistoceen kwam in Nederland permafrost voor. Nieuwe afzettingen ontstonden door de invloed van het landijs dat Nederland net bereikte in het Waddengebied. De Rijn en de Maas bleven in deze periode doorgaan met de opbouw van respectievelijk de Formaties van Urk en Veghel. De Noordzeekust lag ver

buiten Nederland.

Na het Elsterien volgde een warme periode, het Holsteinien interglaciaal. Het land was met bos bedekt en er vond bodemvorming plaats. De Formaties van Urk en Veghel werden verder opgebouwd. Na deze periode kwam er weer een koud tijdvak, het Saalien. In deze tijd bereikten de uitlopers van de Scandinavische ijskap midden Nederland en werden de stuwwallen en diepe glaciale tongbekkens gevormd. Onder en langs het ijs ontstond de Formatie van Drente die onder andere bestaat uit keileem. Ook ontstonden in die tijd diepe geulen door de druk van het ijs op het er onder stromende smeltwater en de uitschurende werking van het smeltwater. De stuwwallen ten oosten en noorden van het onderzoeksgebied en de glaciale geul die door het stroomgebied loopt zijn ook in die tijd gevormd. De rivieren de Rijn en de Maas werden door de gletsjers gedwongen om naar het westen te stromen. De zeespiegel lag vele tientallen meters lager dan tegenwoordig, zodat een groot deel van de Noordzee droog was. De bodem die in het Holsteinien gevormd was, werd grotendeels opgeruimd door verstuiwing of glaciale erosie (Rappol, 1993).

Het Laat Pleistoceen begon met een interglaciaal, het Eemien, waarin het klimaat sterk op het huidige leek. In het binnenland ontstonden toen uitgebreide hoogvenen, de Formatie van Asten, en er trad opnieuw bodemvorming op.

De laatste periode van het Pleistoceen is het Weichselien. In deze periode daalden de temperaturen sterk en Nederland werd een koud, relatief hoog gelegen zandgebied met zeer weinig vegetatie: een poolwoestijn. Krachtige winden verplaatsten veel zand en silt over de droge vlaktes. Dit werden de dekzanden en de löss van de Formatie van Twente, die behalve dekzand ook periglaciale en beekafzettingen omvat en wat veen. Veel bodems uit het Eemien zijn tijdens het Weichselien door erosie verdwenen. In het onderzoeksgebied zijn dan ook geen bodems terug te vinden uit die tijd.

De stroomgebieden van de Poelsbeek en de Bolscherbeek zijn in het Weichselien geheel bedekt met het dekzand van de formatie van Twente. Het oude dekzand, dat het eerst werd afgezet, is lemig en heeft weinig reliëf, het jonge dekzand is leemarm en is in west-oost lopende dekzandruggen afgezet. Hierdoor wisselen in het huidige landschap depressies en koppen of langgerekte ruggen elkaar op korte afstand af. Dit dekzandmicroreliëf is karakteristiek voor het oostelijk dekzandgebied. Deze dekzandruggen zorgen voor hydrologische verschillen op korte afstand, die bepalend zijn voor de bodemvorming, de bewoningsgeschiedenis en dus voor het huidige landschap (Felix e.a., 1994).

Het Holoceen wordt gekenmerkt door een klimaatsverbetering. De landijskappen smelten af en de zeespiegel steeg. In het Holoceen werd ook de mens erg belangrijk voor de vorming van het landschap.

2.3 Hydrologische situatie in het onderzoeksgebied

2.3.1 Hydrogeologie

In de stroomgebieden van de Bolscherbeek en de Poelsbeek komt slechts één freatisch watervoerend pakket voor. Dit pakket bestaat uit grove Pleistocene afzettingen die behoren tot de Formaties van Urk en Drente, afgedekt door de fijne dekzanden van de Formatie van Twente. De doorlatendheid van de dekzanden ligt rond de $5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$; de grovere lagen hebben een doorlatendheid die ligt tussen de 10 en $100 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$, afhankelijk van de textuur

en sortering. De slecht doorlatende mariene kleien uit het Tertiair vormen de basis van het watervoerend pakket (zie paragraaf 2.2.1). De verticale weerstand hiervan is onbekend, maar aangenomen wordt dat deze zeer groot is.

In het stroomgebied komt net ten westen van Haaksbergen een noord-zuid lopende smeltwatergeul voor in het Tertiaire pakket. Deze geul is waarschijnlijk ontstaan in het Saalien door smeltwater dat onder het ijs stroomde. Dit water moet onder grote druk onder het ijs gestroomd hebben, waardoor er een geul ontstaan is van plaatselijk 30 meter diepte in de Tertiaire kleien. De bodem van de geul ligt ongeveer 50 m - mv. Deze geul is later opgevuld met Pleistocene grove zanden, afgedekt door een 25 meter dik pakket van fijne slibhoudende zanden, klei- en veenlagen. Het veen en slib is afgezet door lokale beekjes en in toendrameertjes, waardoor de verbreiding beperkt is. Bovendien is de afzetting kryoturbaat verstoord en daardoor niet altijd aaneengesloten (bijlage 3). Doordat de slecht doorlatende lagen geen grote uitgestrektheid hebben en niet aaneengesloten zijn kan de waterstroming in de geul benaderd worden door horizontale stroming door één watervoerend pakket. De glaciële geul beïnvloedt wel het lokale doorlaatvermogen, maar niet de regionale grondwaterstroming. In isohypsenkaarten van het onderzoeksgebied is de ligging van de geul namelijk niet terug te vinden. De lokale effecten van de geul op de grondwaterstroming en op de waterscheidingen zijn niet bekend. Ze zijn voor dit regionale onderzoek ook niet van zeer groot belang.

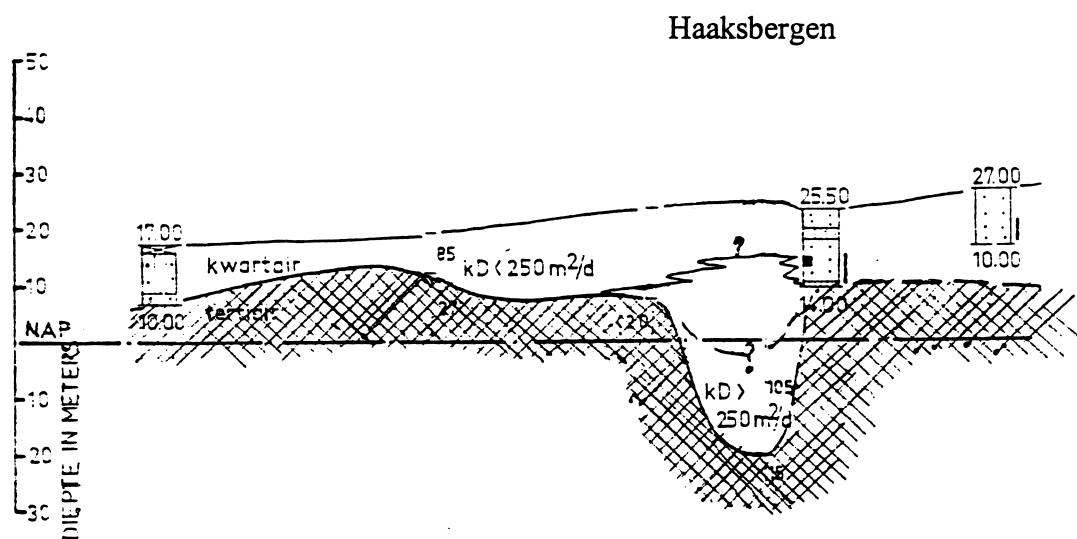


Fig. 2.2 Doorsnede van west naar oost door het onderzoeksgebied. (Bron: Aelmans, 1974)

Het watervoerend pakket is van het zuid-oosten naar het noord-westen gezien het dikste ter plaatse van de smeltwatergeul, wordt dan snel dunner tot een minimale dikte van ongeveer 5 meter en neemt dan weer in dikte toe (figuur 2.2). Het doorlaatvermogen is overal kleiner dan $250 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$, behalve in de geul. De geul heeft, door z'n grote diepte en grove lagen vooral in het centrum een groot doorlaatvermogen. Bij een pompproef in de geul ter plaatse van boring 114 (bijlage 3 en figuur 2.4) is een doorlatendheid gemeten van $500 - 700 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ (Aelmans, 1974).

Van zuid naar noord is maar op één plaats een doorsnede bekend, namelijk ter plaatse van Hengevelde. Die doorsnede is in het kader van dit onderzoek samengesteld uit de boorbeschrijvingen van de RGD en eigen boringen en afgebeeld in figuur 2.3. In figuur 2.4 zijn de ligging van de doorsnede, de eigen boringen (nr 1-13), en de boringen van de RGD aangegeven. In de bijlagen 3 en 4 staat beschreven hoe de doorsnede gemaakt is en hierin zijn ook de boorbeschrijvingen opgenomen. De doorsnede laat zien dat het watervoerend pakket naar het noorden toe snel dunner wordt, waardoor het doorlaatvermogen ook afneemt. In het zuiden is de dikte van de Kwartaire lagen (alle lagen, behalve de Formatie van Breda) ongeveer 20 meter en in het noorden 8 meter. Bovendien is ter plaatse van die doorsnede in het noorden meer keileem en minder grof materiaal aanwezig dan in het zuiden, waardoor het doorlaatvermogen ook beïnvloed wordt. Deze keileem is niet erg dik en bovendien is het zandig. Het is niet bekend of het bij deze keileem om een aaneengesloten laag gaat. Vermoedelijk gaat het om een doorbroken laag van schollen keileem. De keileem uit de boringen 167 en 168 (figuur 2.3) is namelijk verschillend van structuur en ook in de laag onder de keileemlaag worden nog stukjes keileem gevonden, wat wijst op verbrokkeling. De keileem is dus waarschijnlijk wel doorlatend en aangenomen wordt dat boven en onder de keileem de stijghoogte nauwelijks zal verschillen. Omdat de keileem in maar zo'n klein deel van het onderzoeksgebied aanwezig is, zal het waarschijnlijk niet veel invloed hebben op de regionale grondwaterstroming.

In het westen van het gebied komt ook keileem voor (zie boring 277 in bijlage 3). Deze keileem is wel dik en kleiig, maar zit veel dieper. Ook van deze keileem is het onzeker of het bestaat uit schollen of uit een ondoorbroken laag. Als er onder dit keileem nog grove afzettingen aanwezig zijn, heeft deze keileem wel invloed op de grondwaterstroming. Als de laag ondoorbroken zou zijn, zou er bovendien sprake zijn van meer dan één watervoerend pakket. Hierover zijn echter weinig gegevens bekend.

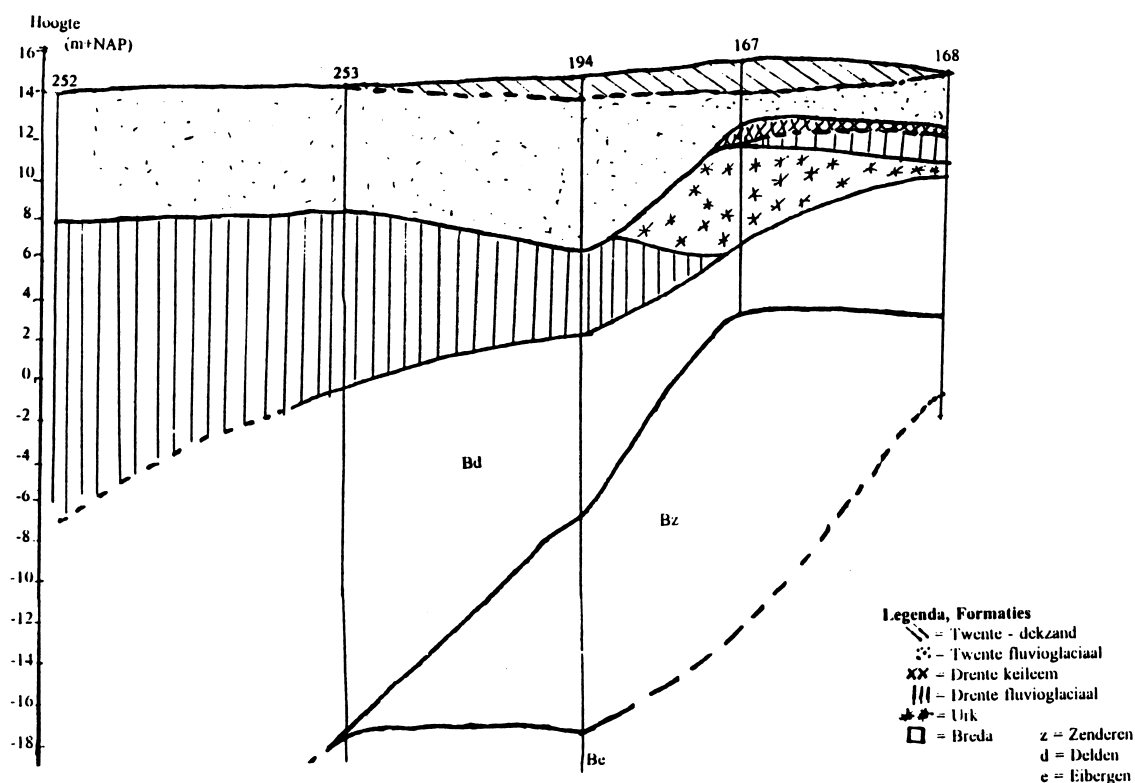


Fig 2.3 Doorsnede van noord naar zuid door het onderzoeksgebied

De isohypsenkaart (figuur 2.5) geeft een beeld van de regionale grondwaterstroming in het stroomgebied van de Poelsbeek en de Bolscherbeek. De isohypsenkaart is gemaakt aan de hand van tijdens het veldwerk gemeten grondwaterstanden en oppervlaktewaterpeilen. De grondwaterstanden zijn gemeten in peilbuizen, putten en boorgaten. Oppervlaktewaterpeilen werden ten opzichte van NAP afgelezen op de peilschalen bij kunstwerken. Grondwaterstanden gemeten in peilbuizen zijn in figuur 2.5 aangegeven met een **b**, deze zijn het meest nauwkeurig. De bovenkant van de peilbuizen is namelijk ingemeten ten opzichte van NAP, zodat daar ook de grondwaterstand ten opzichte van NAP bekend is. Oppervlaktewaterpeilen zijn aangeduid met een **p** en grondwaterstanden gemeten in boorgaten en putten zijn zonder symbool weergegeven. Deze laatst genoemde grondwaterstanden zijn gemeten ten opzichte van maaiveld. Achteraf is met behulp van een maaiveldhoogtekaart uit 1963 (schaal 1:10.000) de maaiveldshoogte op de betreffende plaatsen bepaald. De plaatsen waar de grondwaterstand gemeten is, zijn uitgezet op de kaart en vervolgens zijn de isohypsen hierin met de hand getekend. Sommige gemeten grondwaterstanden zijn niet in het isohypsenpatroon in te passen en zijn gemerkt met een vraagteken. Op plaatsen waar weinig meetpunten aanwezig zijn, zijn de isohypsen weergegeven door een stippellijn die aangeeft dat de loop ervan onzeker is. Tenslotte moet opgemerkt worden dat niet alle waarnemingen op dezelfde dag gedaan zijn. Uit deze isohypsenkaart is af te leiden dat de stroming van het grondwater net als de stroming van de twee beken gericht is van het zuidoosten naar het noordwesten. Ook is te zien dat de gradiënt nabij Haaksbergen groter is dan meer naar het noordwesten hetgeen overeenkomt met de grotere helling van het maaiveld bij Haaksbergen.

Doordat de grondwaterstroming van zuidoost naar noordwest is gericht, stroomt er aan de zuidoostgrens grondwater het gebied in en aan de noordwestgrens het gebied uit. De stroomgebieden, zoals ze in deze studie gebruikt worden, zijn dus geen echte stroomgebieden begrenst door waterscheidingen! De oppervlaktewaterscheiding valt wel binnen het studiegebied. De randflux is bepaald door middel van isohypsenkaarten en de doorlatendheid van het pakket. De inkomende flux bedraagt ongeveer 2200 m³/d en de uitgaande flux 900 m³/d. Een deel van de inkomende flux wordt dus afgevoerd door de beken. De overige grenzen van het studiegebied worden gevormd door de waterscheiding met de Buurserbeek en de waterscheiding met de Bentelerbeek. Over deze grenzen is de flux dus gelijk aan nul.

De grondwaterstroming wordt ook beïnvloed door de mens. Zo wordt aan de noordkant van Haaksbergen grondwater onttrokken door de Twentse Kabelfabriek. Tot oktober 1989 was dit maximaal 635 m³·d⁻¹, daarna maximaal 138 m³·d⁻¹. Dit maximum wordt meestal niet gehaald. Ook zijn er in de loop van de jaren een aantal tijdelijke onttrekkingen geweest voor bouwactiviteiten. De onttrekking voor beregening uit het grondwater is in het hele gebied verwaarloosbaar klein.

2.3.2 Oppervlaktewater

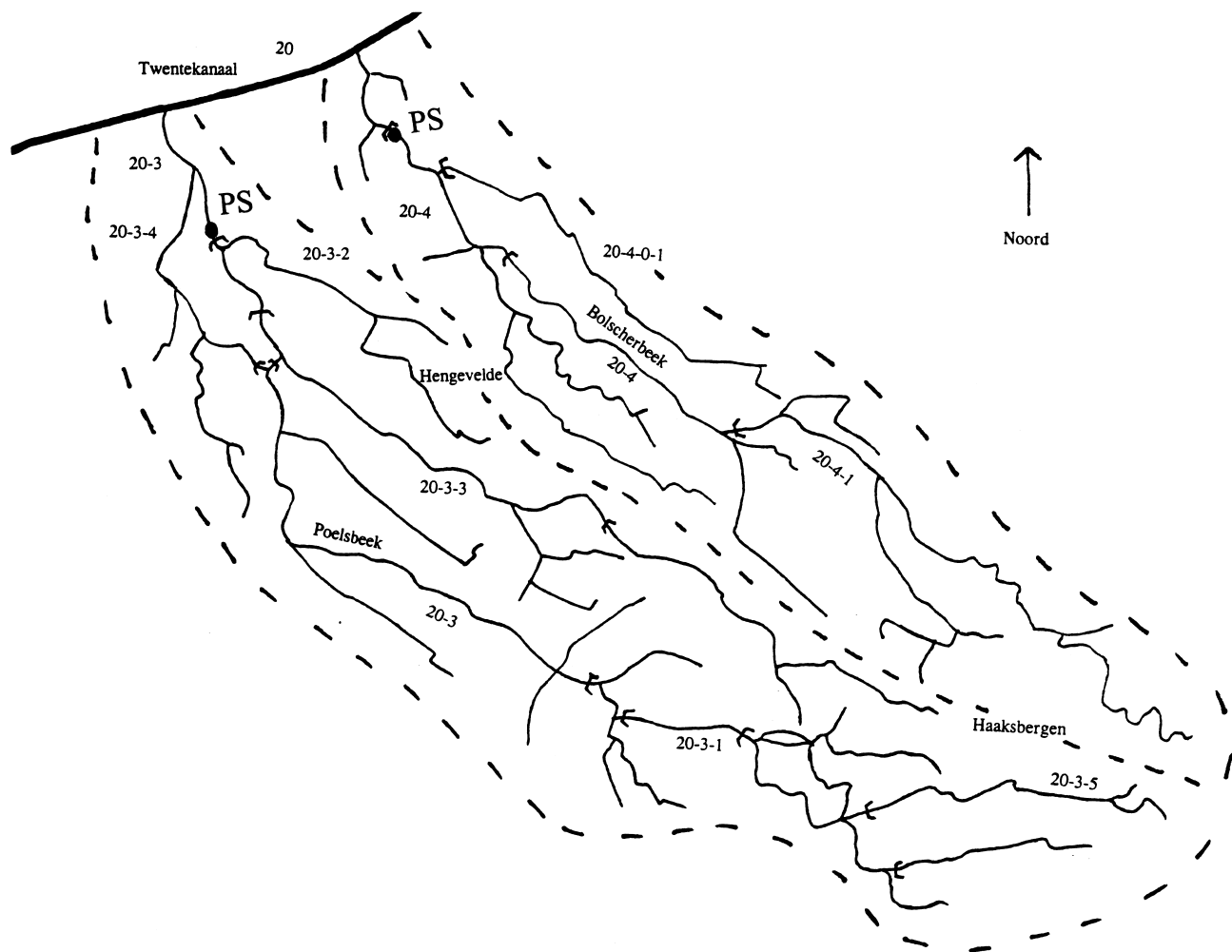
De stroomgebieden van de Poelsbeek en de Bolscherbeek (figuur 2.6) worden gekenmerkt door een intensief ontwateringssysteem. De belangrijkste waterlopen in het gebied zijn de Poelsbeek (20-3), de grote zijtak van de Poelsbeek (20-3-3), de oude loop van de Poelsbeek (20-3-4), de kleine zijtak van de Poelsbeek (20-3-2) en de Bolscherbeek (20-4). De nummers tussen haakjes verwijzen naar figuur 2.6 en de waterlopenkaart van het waterschap Regge & Dinkel (bijlage 5).

Met name het stroomgebied van de Poelsbeek kenmerkt zich door een wijd verbreid systeem van kleine waterlopen. De Bolscherbeek is minder fijn vertakt. De dimensies van het waterlopenstelsel zijn gebaseerd op een (specifieke) ontwerpafvoer van $1.2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$. Deze dimensies zijn zodanig dat het verwachte hoogwaterpeil gelijk is aan 0.60 m - mv. Dit komt 1 á 2 dagen per jaar voor (Querner, 1993). De Poelsbeek en de Bolscherbeek wateren in het noordwesten af op het Twentekanaal (20). Ter hoogte van het Twentekanaal bedraagt het oppervlak van het gebied dat via de Poelsbeek ontwaterd wordt ca. 4100 hectare. De Bolscherbeek ontwatert een gebied van ca. 2300 ha.

Doordat de rioolwaterzuiveringsinstallaties van Haaksbergen en Hengevelde op de Bolscherbeek lozen, voert deze altijd water en heeft deze in de zomer een minimumafvoer van ca. $0.1 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. De Poelsbeek valt in de zomer vaak voor een groot deel droog en heeft in de winter een gemiddelde afvoer van ca. $0.3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Tijdens de veldwerkperiode zijn afvoermetingen verricht (zie bijlage 6). Ook worden er door het waterschap Regge en Dinkel continu afvoeren gemeten bij de meetstuwen die aangeven staan in figuur 2.6 met PS.

Het oppervlaktewatersysteem kenmerkt zich door een groot aantal stuwen. Met name in de zomer is het nodig om met behulp van stuwen water vast te houden. Voor veel stuwen is dan ook een zomerpeil en een winterpeil vastgesteld door het waterschap. In het stroomgebied van de Poelsbeek worden slechts enkele stuwen in het primair systeem in de zomer opgezet. Het gaat daarbij dan om een verhoging van het peil met 0,15 tot 0,30 m. In het primair systeem van de Bolscherbeek worden de meeste stuwen in de zomer opgezet met 0,10 tot 0,30 m.

De berekening uit het oppervlaktewater is voor dit gebied verwaarloosbaar klein.



PS = Peilschrijver
 --- = Globale waterscheiding

Fig. 2.6 Waterlopenkaart met de plaats van de afvoermeeptpunten

Hoofdstuk 3 Droogte

3.1 Inleiding

Droogte is geen eenduidig begrip. Er zijn minimaal drie categorieën droogte te onderscheiden: meteorologische droogte, landbouwkundige droogte en hydrologische droogte. Meteorologische droogte is gedefinieerd in termen van neerslagtekorten en landbouwkundige droogte in termen van bodemvochttekorten en reductie van gewas- en vegetatiegroei. Hydrologische droogte is gedefinieerd in termen van lage rivierafvoer. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de rol van meteorologische droogte binnen dit onderzoek en de analyse van hydrologische droogte met behulp van het programma EXDEV (Novický & Řičica, 1994). Er wordt niet verder ingegaan op landbouwkundige droogte. In paragraaf 3.3 wordt dit programma en de wijze waarop het binnen dit onderzoek is toegepast besproken. Ook wordt in deze paragraaf beschreven wanneer er sprake is van hydrologische droogte in de Poels- en Bolscherbeek.

3.2 Analyse van meteorologische droogte

Om het effect van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren (hydrologische droogte) te kunnen bepalen is het van belang om te weten of er meteorologisch droge perioden optreden in de jaren waarover gerekend wordt, namelijk de jaren 1969-1995. Werkman (1995) heeft voor een onderzoek in het stroomgebied van de Hupsel de periode 1969-1992 op meteorologische droogte geanalyseerd aan de hand van de cumulatieve neerslagsom voor het zomerhalfjaar en het cumulatieve neerslagoverschot. Voor dit onderzoek worden de resultaten van Werkman aangehouden. Hij gebruikte bij zijn onderzoek de neerslag gemeten in Hupsel en de verdampingsgegevens van de Bilt. Met deze gegevens is voor elk jaar bepaald of het cumulatieve neerslagoverschot voor het zomerhalfjaar kleiner is dan de mediaan. Indien ook de maximale daling van het potentiële cumulatieve neerslagoverschot groter is dan 200 mm, dan wordt het jaar een droog jaar genoemd. Aan de hand van deze criteria is gebleken dat in de periode 1969-1992, 6 droge jaren te vinden zijn: 1973, 1975, 1976, 1982, 1983 en 1989 (Werkman, 1995).

Omdat in dit onderzoek ook de jaren 1993-1995 doorgerekend worden, is ook voor deze jaren nagegaan of ze meteorologisch droog zijn, waarbij dezelfde criteria zijn gehanteerd als door Werkman. Ook nu zijn de meetgegevens van Hupsel gebruikt. Uit de analyse blijkt dat alleen in 1995 de neerslagsom voor het zomerhalfjaar kleiner is dan de mediaan. Met een neerslagsom van 360 mm is het dus een 20-50 % droog zomerhalfjaar, waarmee aan de eerste voorwaarde is voldaan. De maximale daling van het potentiële cumulatieve neerslag overschot bedraagt echter 196 mm, zodat 1995 toch net geen droog jaar mag worden genoemd. In de periode 1993 tot en met 1995 valt dus volgens de gekozen criteria en gerekend met de neerslag van Hupsel geen enkel droog jaar.

Voor de jaren 1990-1995 zijn ook de neerslagtotalen van het zomerhalfjaar berekend met de gemeten neerslag bij Haaksbergen (tabel 3.1), omdat deze gebruikt is tijdens de calibratie en de validatie van het model. In deze periode vallen, gerekend met deze neerslagreeks, drie droge jaren: 1990, 1991 en 1992.

Tabel 3.1 Cumulatieve neerslagsommen (ΣP) voor het zomerhalfjaar en droogtefrequentie (n) in de jaren 1993-1995 op basis van neerslag die gemeten is in het stroomgebied van de Hupsel en in het stroomgebied van de Poelsbeek.

	Hupsel		Haaksbergen	
jaar	ΣP (mm)	n (%)	ΣP (mm)	n (%)
1990	390	20-50	307	10-20
1991	358	20-50	270	5-10
1992	356	20-50	348	20-50
1993	540	90-95	534	90-95
1994	403	50-80	495	80-90
1995	360	20-50	449	50-80

3.3 Analyse van hydrologische droogte met EXDEV

3.3.1 Inleiding

Voor de analyse van hydrologische droogte is het programma EXDEV (Novický & Řičica, 1994) gebruikt. Het programma is tijdens dit onderzoek voor drie doeleinden gebruikt. Ten eerste zijn de gemeten afvoerreeksen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek geanalyseerd over de periode 1990-1992. Ten tweede is EXDEV gebruikt bij het calibreren van het model. De derde toepassing ligt bij het analyseren van de resultaten van de scenario's (hoofdstukken 5 en 6).

In deze paragraaf worden eerst de theorie achter EXDEV en de mogelijkheden van het programma beschreven. Vervolgens worden de resultaten van de analyse van gemeten afvoeren en het gebruik van EXDEV bij de calibratie besproken. Tenslotte worden de drempelwaarden voor de afvoer bepaald die in deze studie worden gebruikt om hydrologische droogte definiëren.

3.3.2 Het programma EXDEV

Met behulp van het programma EXDEV (EXperiments with DEficit Volumes) worden afvoerreeksen geanalyseerd op het voorkomen van afvoeren onder een bepaalde drempelwaarde. Deze drempelwaarde voor de afvoer moet door de gebruiker gedefinieerd worden als de afvoer die overschreden wordt in een vooraf bepaald percentage van de tijd. EXDEV berekent dus eerst uit een afvoerreeks een afvoerduurlijn. Vervolgens wordt de drempelwaarde voor de afvoer (Q_n) bepaald als de afvoer die in n% van de dagen overschreden wordt. De Q_{70} bijvoorbeeld, geeft de afvoer die in 70% van de dagen van een

bepaalde periode overschreden wordt. Met behulp van deze drempelwaarde worden dan die perioden in de tijdreeks opgezocht waarvan de afvoer onder de drempelwaarde ligt. Een dergelijke periode wordt een droge periode genoemd. Van zo'n droge periode worden de karakteristieke eigenschappen: aanvangstijdstip, duur, volume en de intensiteit berekend. De aanvang van een droge periode en de duur ervan kunnen van belang zijn voor bijvoorbeeld de landbouw als er oppervlaktewater wordt gebruikt voor beregening. De duur geeft het aantal dagen waarvan de afvoer lager is dan de drempelwaarde en het volume geeft het afvoertekort over deze periode. De intensiteit wordt berekend door het afvoertekort te delen door de duur van de periode. Ook kan EXDEV frequentie- en kansverdelingen van afvoertekorten en tijdsduren berekenen (Werkman, 1995).

In de tijdserie kunnen binnen een droge periode kleine pieken voorkomen waarin de afvoer net boven de drempelwaarde komt. Deze pieken verkleinen de duur en het volume van een droogte. Indien de gebruiker van het programma EXDEV de kleine pieken niet interessant vindt en de periode voor en na de kleine piek als één droogte wil beschouwen, kunnen de perioden gekoppeld worden. Dit kan bijvoorbeeld door de berekening van de voortschrijdende meerdaagse gemiddelde afvoer of door het gebruik van onderscheidingscriteria. Een onderscheidingscriterium kan gebaseerd zijn op de duur van de perioden of op het volume ervan. Bij gebruik van een volumecriterium zullen in figuur 3.1 de perioden 1 en 3 samengevoegd worden als het volume van piek 2 (V2) kleiner is dan een bepaalde fractie van het volume van piek 1 (V1). Als er een duurcriterium gebruikt wordt worden de perioden 1 en 3 samengevoegd als de duur van periode 2 (D2) kleiner is dan een bepaalde fractie van de duur van periode 1 (D1).

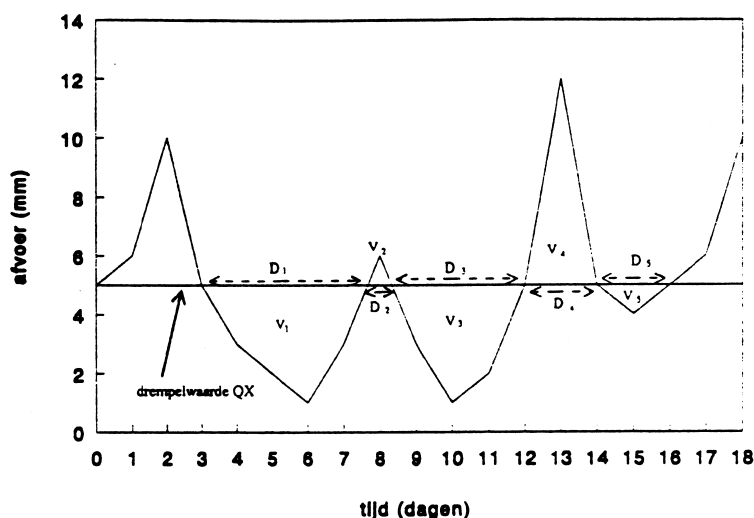


Fig. 3.1 Twee droge perioden die door het gebruik van onderscheidingscriteria samengevoegd kunnen worden. (Bron: Werkman, 1995)

Tijdens de FRIEND Low Flow Group Meeting in Praag in december 1994 en in Bratislava in 1995 zijn afspraken gemaakt over de keuze van drempelwaarden en het gebruik van onderscheidingscriteria bij toepassing van EXDEV. Het volgende is overeengekomen:

- * drempelwaarde tussen Q50 en Q90,
- * volume- en duurcriteria $< 0,10$

3.3.3 Analyse van de gemeten afvoerreeksen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek

Om inzicht te krijgen in het afvoerregime van de Poelsbeek en de Bolscherbeek zijn de gemeten afvoerreeksen van beide beken geanalyseerd. In tabel 3.2 is voor beide beken voor verschillende overschrijdingsfrequenties de bijbehorende afvoer gegeven zoals die berekend is met EXDEV over de periode 1990-1992. Deze relatief korte periode is gekozen omdat het model ook op deze periode is gecalibreerd. Doordat de beken een verschillend afvoerregime hebben (paragraaf 2.3.2) zijn de gekozen overschrijdingsfrequentie voor Poels- en Bolscherbeek niet gelijk. Voor de Poelsbeek bijvoorbeeld is de afvoer voor Q80 nog gelijk aan nul, wat inhoudt dat er minimaal 20 procent van de dagen geen afvoer is. De Q65 van deze beek bedraagt $0.043 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Ter vergelijking, de Bolscherbeek die altijd afvoer heeft, heeft een Q65 van $0.129 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. In Figuur 3.2 zijn de afvoerduurlijnen van de beide beken weergegeven. Hiermee wordt het verschil in afvoerregime tussen de beken duidelijk zichtbaar gemaakt.

Tabel 3.2 Afvoeren in m^3s^{-1} voor verschillende overschrijdingsfrequenties voor de Poelsbeek en de Bolscherbeek op basis van gemeten afvoer in de periode 1990-1992.

Poelsbeek		Bolscherbeek	
Q75	0.012	Q95	0.043
Q65	0.043	Q80	0.094
Q50	0.110	Q65	0.129

Tabel 3.3 Het aantal droge perioden en het totaal aantal droge dagen in de gemeten afvoerreeksen van de Bolscherbeek en Poelsbeek in de periode 1990-1992, voor verschillende overschrijdingsfrequenties.

	Bolscherbeek			Poelsbeek		
	Q95	Q80	Q65	Q75	Q65	Q50
Perioden	11	30	51	7	15	8
Dagen	55	214	372	269	379	544

Uit tabel 3.3 blijkt duidelijk het verschillende karakter van de beken. Er is geen gebruik gemaakt van volume- en duurcriteria. Bij de drempelwaarde Q65 onderscheidt EXDEV voor de Poelsbeek en de Bolscherbeek respectievelijk 15 en 51 droge perioden. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat het afvoerverloop van de Bolscherbeek veel dynamischer is dan dat van de Poelsbeek. Een droge periode kan door het vallen van één bui onderbroken worden door een verhoging van het effluent van de RWZI. De afvoer van de Poelsbeek reageert veel trager via meer natuurlijke afvoerprocessen, waardoor de drempelwaarde minder snel overschreden wordt. De gemiddelde duur van een droge periode is voor de Poelsbeek veel langer dan voor de Bolscherbeek. Voor de Q65 bedraagt de gemiddelde duur van een droge periode voor de Bolscherbeek 7,3 dagen en voor de Poelsbeek 25,3 dagen.

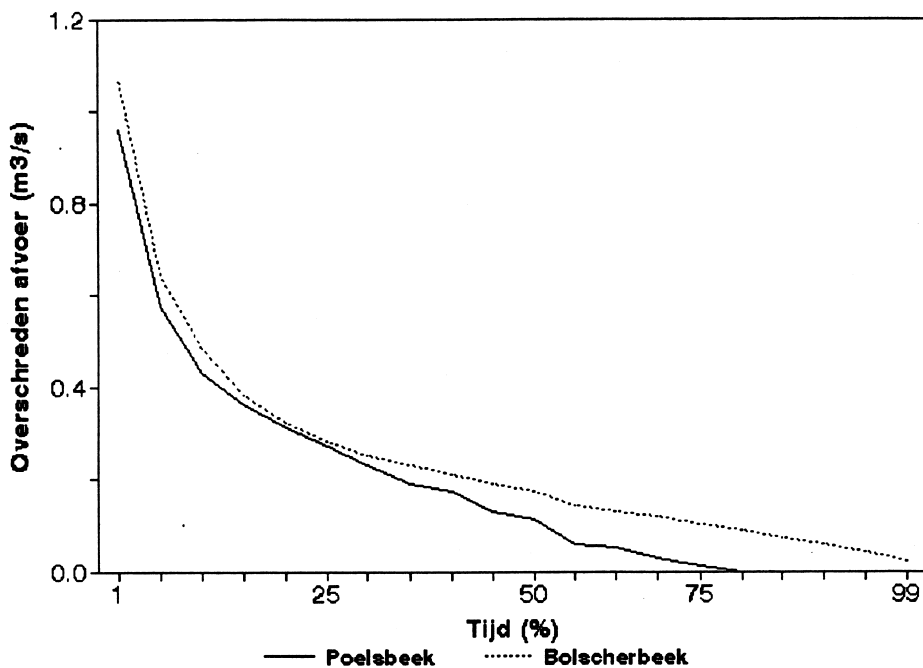


Fig. 3.2 De afvoerduurlijnen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek voor de periode 1990-1992 op basis van gemeten afvoeren

3.3.4 Toepassing van EXDEV bij calibratie

Het programma EXDEV wordt gebruikt bij de calibratie van het model voor de beoordeling van de modelresultaten. Na elke calibratiestap is met behulp van EXDEV voor beide beken de berekende afvoerreeks geanalyseerd op het optreden van droogte. Bij de analyse van droogte ten behoeve van de calibratie is behalve het aantal droge dagen ook het aantal droge perioden bepaald. Het kan namelijk zijn dat het aantal *droge dagen* dat optreedt in de berekende afvoerreeks goed overeenkomt met het aantal uit de gemeten reeks. Is echter het aantal onderscheiden *droge perioden* in de berekende afvoerreeks hoger dan het aantal dat optreedt in de gemeten reeks, dan komen er dus te veel pieken voor in de berekende afvoerreeks. Hierdoor worden droge perioden in te veel afzonderlijke perioden verdeeld.

Tijdens de calibratie is bij de analyse van de berekende afvoerreeksen geen gebruik gemaakt van onderscheidingcriteria, omdat het niet gewenst is dat droge perioden samen-gevoegd worden. De gebruikte drempelwaarden zijn gelijk aan de afvoeren ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) die horen bij de overschrijdingsfrequenties die gebruikt zijn voor de analyse van de gemeten afvoerreeksen (tabel 3.2).

Door het gebruik van meerdere overschrijdingsfrequenties wordt een duidelijker inzicht verkregen in de betrouwbaarheid waarmee de afvoer gesimuleerd wordt doordat een breder afvoertraject beschouwd wordt. De resultaten van het gebruik van EXDEV bij de calibratie worden besproken in paragraaf 4.4.5.

3.3.5 Keuze van de drempelwaarden voor de Poelsbeek en Bolscherbeek

Om aan te kunnen geven wanneer er sprake is van hydrologische droogte, is voor beide beken een drempelwaarde voor de afvoer bepaald. Dit is gedaan aan de hand van de gemeten afvoerreeks over de jaren 1990-1992. Doordat het karakter van de beken erg verschilt is het niet mogelijk één drempelwaarde te kiezen in de vorm van één Qn die geldt voor beide beken. Daarom is gekozen om voor beide beken een drempelwaarde voor de afvoer te kiezen uitgaande van een zelfde stroomsnelheid. De stroomsnelheid is relevant voor bijvoorbeeld het aquatisch ecosysteem of voor het afvoeren van maaisel tijdens beekonderhoud. Bij dezelfde stroomsnelheid verschillen de afvoeren van de beken ter plaatse van het meetpunt als gevolg van een verschil in natte doorsnede. Voor beide beken is daarom voor een reeks Qn's de bijbehorende stroomsnelheid uitgerekend (tabel 3.4). Op basis hiervan is *arbitrair* gekozen voor een stroomsnelheid van ongeveer 0.03 m·s⁻¹. In de Poelsbeek treedt deze stroomsnelheid op bij de Q65 waarvoor de afvoer 0.043 m³·s⁻¹ bedraagt. In de Bolscherbeek treedt deze stroomsnelheid op bij de Q70 waarvoor de afvoer 0.116 m³·s⁻¹ bedraagt. Het effect van een scenario (hoofdstukken 5 en 6) op het optreden van lage afvoeren zal bepaald worden aan de hand van deze drempelwaarden voor de afvoer. Om enig inzicht te geven in de grootte van een drempelwaarde kan de verhouding gegeven worden van de drempelwaarde tot de gemiddelde gemeten afvoer. De gemiddelde afvoer van de Poelsbeek bedraagt over de periode 1990-1992 0.17 m³·s⁻¹ en die van de Bolscherbeek 0.23 m³·s⁻¹. De verhouding van de drempelwaarde tot de gemiddelde afvoer bedraagt 0.23 voor de Poelsbeek en voor de Bolscherbeek 0.51.

Tabel 3.4 Afvoer (m³·s⁻¹) en stroomsnelheid (m·s⁻¹) voor verschillende Qn's, op basis van gemeten afvoeren over de periode 1990-1992.

Qn	Poelsbeek		Bolscherbeek	
	Afvoer	stroomsnelheid	afvoer	stroomsnelheid
Q50	0.11	0.072	0.17	0.049
Q60	0.06	0.039	0.14	0.041
Q65	0.04	0.033	0.13	0.038
Q70	0.03	0.020	0.12	0.035
Q75	0.01	0.007	0.10	0.029
Q80	0	0.000	0.09	0.026
Q85	0	0.000	0.07	0.020

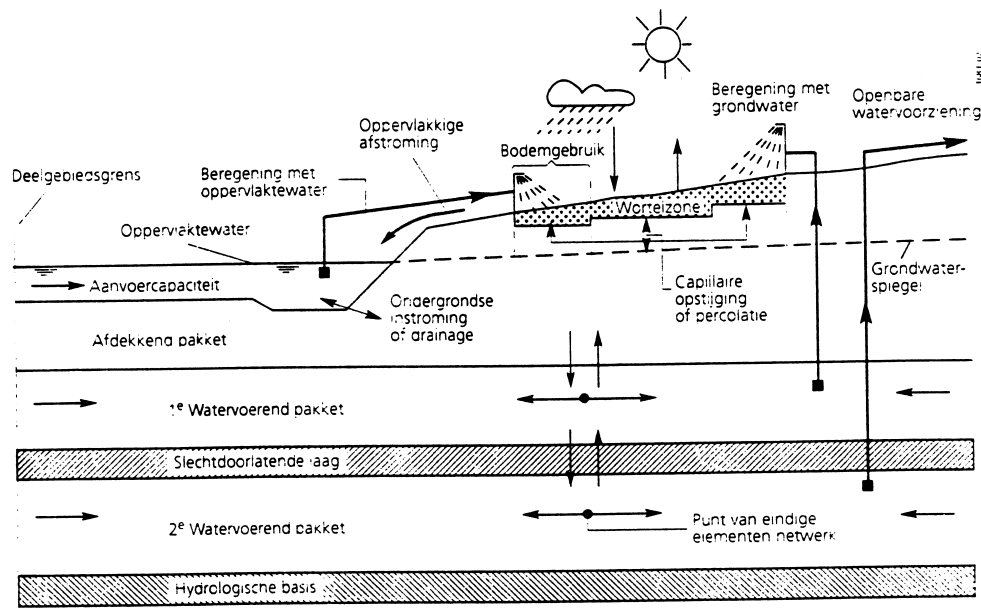
Hoofdstuk 4 Modellering van het stroomgebied met SIMGRO

4.1 Inleiding

Om de invloed van gebiedskenmerken en menselijk handelen op lage afvoeren te kunnen bepalen, is een hydrologisch model nodig. Voor deze studie is gebruik gemaakt van SIMGRO. Het onderzoeksgebied is voor een eerdere studie gemodelleerd met MOGROW (Querner, 1993). MOGROW is een combinatie van de modellen SIMGRO en SIMWAT (SIMulation of flow in surface WATER networks). De toepassing in MOGROW is echter gemaakt om te bepalen hoe en wanneer waterlopen het best onderhouden kunnen worden. Hierbij werd de nadruk gelegd op piekafvoeren (Querner, 1993). In dit onderzoek wordt het model gebruikt voor een onderzoek dat primair gericht is op lage afvoeren, daarom is de bestaande toepassing aangepast. Het model MOGROW is voor dit onderzoek te gedetailleerd. De modellering van het oppervlaktewater in SIMGRO (zie de volgende paragraaf) past beter bij de doelstellingen en de beschikbare gegevens voor dit onderzoek. De werking van SIMGRO, de schematisatie van het studiegebied in SIMGRO, en de toetsing van de toepassing aan de werkelijkheid worden in de volgende paragrafen beschreven. In deze paragrafen wordt met 'model' de toepassing in SIMGRO bedoeld.

4.2 Beschrijving van het model SIMGRO

Het model SIMGRO (SIMulation of GROundwater flow and surface water levels) is ontstaan uit het verzadigde grondwaterstromingsprogramma FEMSAT (Van Bakel, 1978). Behalve de verzadigde zone is in SIMGRO ook de onverzadigde zone en het oppervlaktewater ingebracht. Het model is niet-stationair. In deze paragraaf wordt besproken hoe respectievelijk de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater gemodelleerd zijn en hoe de samenhang tussen deze verschillende zones is. De werking van SIMGRO is in meer detail beschreven in Querner (1993).



Figuur 4.1 Schematisatie van het hydrologische systeem

Verzadigde en onverzadigde zone

De vergelijking voor de verzadigde grondwaterstroming wordt numeriek opgelost met de eindige elementenmethode. Daarvoor wordt een netwerk van elementen over het gebied gelegd. De hoekpunten van de elementen worden knooppunten genoemd. Op deze manier kunnen grondwaterstromingsfluxen op knooppuntniveau berekend worden. Het model berekent de grondwaterstroming op een pseudo-driedimensionale manier. Dit houdt in dat in watervoerende lagen de stroming horizontaal wordt verondersteld en in de slecht doorlatende lagen verticaal. De verzadigde zone wordt in het model gebracht op basis van de volgende karakteristieke kenmerken: doorlaatvermogen, dikte en de bergingscoëfficiënt van de watervoerende lagen en de verticale weerstand van de slecht doorlatende lagen. Bovendien moet voor de randknooppunten een randvoorwaarde opgegeven worden als een vaste flux (Neuman conditie) of als een vaste stijghoogte (Dirichlet conditie) en voor alle knooppunten een initiële grondwaterstand.

De fluxen die de verzadigde zone ingaan, zijn de percolatie vanuit de onverzadigde zone, infiltratie vanuit de waterlopen en laterale instroming (figuur 4.1). De uitgaande fluxen zijn drainage naar het oppervlaktewater, capillaire opstijging naar de onverzadigde zone, eventuele onttrekkingen en laterale uitstroming. Het verschil tussen de in- en uitgaande fluxen is de bergingsverandering.

Deze bergingsverandering is voor een freatisch pakket gelijk aan:

$$A_i \mu \frac{\Delta h}{\Delta t_g}$$

met: A_i = oppervlakte van een knooppunt (m^2)
 μ = bergingscoëfficiënt van de onverzadigde zone (-)
 Δh = de verandering van de stijghoogte in de tijdstap (m)
 Δt_g = grote van de tijdstap (d)

De bergingscoëfficiënt μ is gelijk aan het verschil tussen het volume water in de onverzadigde zone onder de wortelzone (ΔV) per eenheid van verandering in de grondwaterstand (Δh) (figuur 4.2). Voor de berekening van de bergingscoëfficiënt moet in SIMGRO een tabel ingevoerd worden, waarin per bodemtype en voor een aantal grondwaterstanden de bergingscoëfficiënt opgegeven wordt. Voor afgesloten aquifers wordt de μ in de formule vervangen door de elastische bergingscoëfficiënt.

De onverzadigde zone wordt per deelgebied ééndimensionaal gemodelleerd. Een deelgebied is een verzameling knooppunten die bodemtype en hydrologische omstandigheden gemeen hebben. Per deelgebied zijn er in SIMGRO twee reservoirs aanwezig die samen de onverzadigde zone vormen, één voor de wortelzone en één voor het deel van de onverzadigde zone dat tussen de onderkant van de wortelzone en de grondwaterspiegel ligt.

Het water dat via neerslag de wortelzone inkomt, wordt opgeslagen tot de evenwichtsvochtvoorraad bereikt is. Dit is de hoeveelheid water die in de wortelzone aanwezig is bij veldcapaciteit.

In SIMGRO moet per bodemtype, en voor verschillende diktes van wortelzones voor een aantal grondwaterstanden opgegeven worden, hoe groot de evenwichtsvochtvoorraad is. Wordt de evenwichtsvochtvoorraad overschreden, dan percoleert er water naar de verza-

Wordt de evenwichtsvochtvoorraad overschreden, dan percoleert er water naar de verzadigde zone. Als de vochtvoorraad kleiner is dan de evenwichtsvochtvoorraad dan vindt

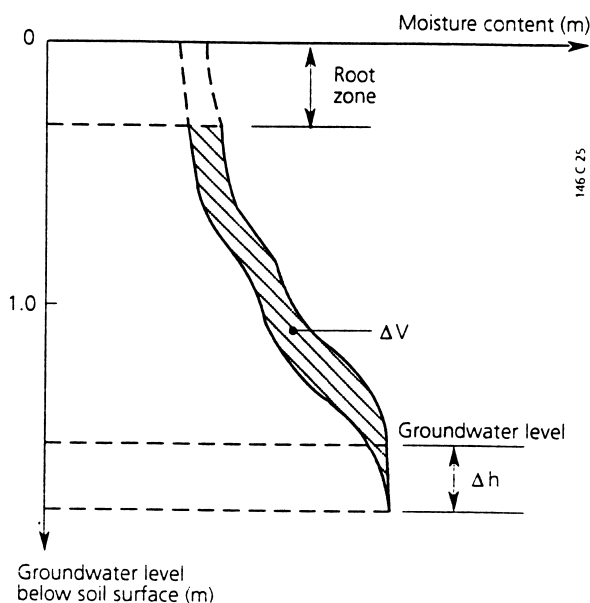


Fig 4.2 De bergingscoëfficiënt μ wordt berekend als de verandering in de vochtvoorraad in de onverzadigde zone onder de wortelzone (ΔV) per eenheid van verandering in de grondwaterspiegel (Δh)

capillaire opstijging plaats vanuit de verzadigde zone. De grote van de capillaire opstijging is afhankelijk van de grondwaterstand en het bodemtype. Voor de berekening van de capillaire opstijging en de percolatie wordt de gemiddelde grondwaterstand van een deelgebied gebruikt. Ook is het mogelijk om in het model aan te geven dat wanneer de vochtvoorraad onder een bepaalde drempel zakt, berekening plaats moet vinden en in welke periode deze berekening kan plaatsvinden. De actuele verdamping is eveneens afhankelijk van de bodemvochtvoorraad. In het model moet de referentieverdamping van gras en de potentiële verdamping min de interceptie van naaldbos en loofbos ingevoerd worden. SIMGRO berekent dan met behulp van gewasfactoren de potentiële verdamping van de overige gewassen uit de referentieverdamping van gras. De actuele verdamping wordt berekend aan de hand van de verhouding tussen de actuele vochttoestand en de vochttoestand bij verzadiging. De interceptie wordt per gewas bepaald als een vast percentage van de neerslag, alleen bij bos moet de interceptie bij de invoer al van de neerslag afgetrokken zijn. Binnen een deelgebied kunnen verschillende typen landgebruik voorkomen. De exacte locatie van deze landgebruiktypen wordt niet opgegeven, alleen het percentage van het totale oppervlak dat een bepaald landgebruik inneemt is voor de berekeningen van belang. De inkomende fluxen van de onverzadigde zone zijn dus neerslag, berekening en capillaire opstijging en de uitgaande fluxen de actuele verdamping en percolatie naar het grondwater.

Oppervlakte water

De waterlopen die samen het oppervlaktewaterstelsel vormen, worden onderscheiden in primaire, secundaire en tertiaire waterlopen en greppels. De secundaire en tertiaire

waterlopen, worden geacht homogeen over een deelgebied verspreid te zijn. Deze zijn dan ook gemodelleerd op deelgebiedniveau. De primaire waterlopen zijn gemodelleerd op knooppuntniveau voor die knooppunten waar een primaire waterloop aanwezig is. Het greppelsysteem is standaard in SIMGRO ingebracht, en is voor het gehele modelgebied gelijk qua diepte en drainageweerstand. Al het oppervlaktewater van één deelgebied is gemodelleerd als één reservoir met een stuw bij het lozingspunt. Door middel van drainage, oppervlakteafoer en eventueel instroming van de afvoer van een bovenstrooms gelegen deelgebied en het effluent van een RWZI kan er water in het oppervlaktewaterreservoir stromen. Uit het oppervlaktewaterreservoir gaan de afvoer naar een meer benedenstrooms gelegen deelgebied en de infiltratie naar de verzadigde zone. Met de in- en uitgaande fluxen wordt één waterspiegel berekend voor het oppervlaktewatersysteem van het hele deelgebied. Deze waterspiegel wordt berekend ten opzichte van N.A.P. of ten opzichte van maaiveld. In het laatste geval wordt vervolgens de absolute hoogte per knooppunt bepaald om de interactie met het grondwater en oppervlaktewater te kunnen berekenen. De drainage en de infiltratie worden berekend door het stijghoogteverschil van het oppervlaktewater en het grondwater te delen door de drainage- of infiltratiweerstand en te vermenigvuldigen met een geometrische factor. Er is bij de berekening van de infiltratie geen controle of de hoeveelheid water die geïnfilteerd kan worden op basis van het stijghoogteverschil tussen grond- en oppervlaktewater, ook in de waterloop aanwezig is. Hierdoor kan het voorkomen dat er meer water infiltreert in de verzadigde zone dan er in de waterloop aanwezig was, waardoor een balansfout ontstaat.

De stuw bij het lozingspunt kan een peil hebben, dat gedurende het jaar veranderd, bijvoorbeeld een zomer en een winterpeil. Het tijdstip van peilverandering moet per deelgebied opgeven worden. De afvoer over de stuw wordt berekend met een Q - h relatie die per deelgebied ingevoerd wordt. Op dezelfde manier moet ook een relatie tussen het oppervlaktewaterpeil en de berging in het oppervlaktewatersysteem opgegeven worden. De afvoer uit een deelgebied komt terecht in een bepaald stroomafwaarts gelegen deelgebied. Dit gebeurt altijd, ook als de waterspiegel in het stroomafwaarts gelegen deelgebied hoger is, dan die van het deelgebied waar de afvoer vandaan komt.

De RWZI

In het model kan een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) gesimuleerd worden. Het rioleringsysteem wordt gemodelleerd als een reservoir met een instroming, een pompcapaciteit, een bergingscapaciteit, een effluent en noodoverstortmogelijkheden. De neerslag die op het verharde deel van het stedelijk gebied valt, vormt samen met het huishoudelijk afvalwater de instroming van het reservoir. Het water dat in het reservoir (het riolerings-systeem) terecht komt, wordt met een debiet dat gelijk is aan de pompcapaciteit via de rioolwaterzuivering in het oppervlaktewater van een bepaald deelgebied geloost. Komt er meer water in het reservoir terecht dan er in opgeslagen en uitgepompt kan worden, dan wordt het water via een noodoverlaat geloost in het oppervlaktewater van een ander deelgebied. Dit is een deelgebied waar in werkelijkheid ook riooloverstorten plaats vinden. Voor de berekeningen van de fluxen en de berging van het rioleringsysteem wordt gerekend met een tijdstap van een dag.

Tijdstappen

Het oppervlaktewater reageert sneller op neerslag en verdamping dan het grondwater, doordat het oppervlaktewatersysteem veel kleiner is dan het grondwatersysteem. De fluctuaties in het oppervlakte water zijn groter en volgen elkaar sneller op dan die in het

grondwater. Om deze reden hebben beide systemen een eigen tijdstap. Deze tijdstap moet door de gebruiker zelf gekozen worden. De grondwaterstand blijft tijdens de (kleinere) tijdstappen van het oppervlaktewatersysteem constant. De fluxen tussen grond- en oppervlaktewatersysteem worden gesommeerd voor de berekening van de grondwaterstanden in de volgende tijdstap.

4.3 Schematisatie van het studiegebied en invoergegevens

In deze paragraaf wordt beschreven hoe de eigenschappen van het studiegebied in SIMGRO gemodelleerd zijn en wordt een overzicht gegeven van de invoergegevens. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewatersysteem. Het studiegebied is met SIMGRO geschematiseerd door een eindig elementennetwerk met 437 knooppunten die samen 787 elementen vormen. Elk knooppunt is representatief voor een oppervlakte van ca. 25 ha. Het stroomgebied is op basis van bodemtype en hydrologische omstandigheden opgedeeld in 82 deelgebieden die bestaan uit één of meerdere knooppunten. De randknooppunten vormen samen één deelgebied (99). Een kaartje met het knooppuntennetwerk en een overzicht van de deelgebieden is afgebeeld in figuur 4.3.

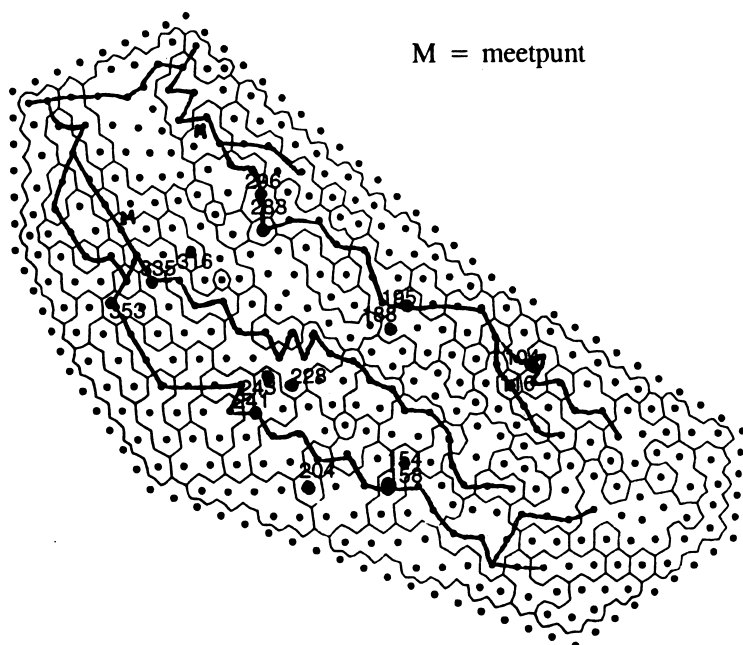


Fig 4.3 De schematisatie van het modelgebied in knooppunten en deelgebieden en de plaats van de peilbuizen en afvoerm Meetpunten.

De verzadigde zone bestaat uit het freatisch watervoerend pakket. Er treedt geen grondwaterstroming op door de ondoorlatende basis van het freatisch pakket vormt. Omdat het gebied alleen een freatisch watervoerend pakket heeft, wordt de berging bepaald door de berginscoëfficiënt van de onverzadigde zone. De randen van het modelgebied hebben een vaste flux. De noord- en zuidrand worden gevormd door de waterscheidingen met respectievelijk de Buurserbeek en de Bentelerbeek. Over deze randen vindt geen grondwaterstrooming plaats. Bij de zuidostrand stroomt er grondwater het modelgebied in (13 mm per jaar) en bij de noordwestrand stroomt er grondwater het modelgebied uit (5 mm per jaar). Er is aangenomen dat er geen grondwater onttrokken wordt voor berekening.

Overige invoergegevens voor de verzadigde zone:

- Maaiveldshoogte:
variërend van 10.70 m +NAP tot 31.00 m +NAP
bron: maaiveldshoogtekaart, schaal 1:10.000
- Doorlaatvermogen (kD):
variërend van 71 tot 741 m²·d⁻¹
Dikte van het watervoerend pakket:
variërend van 10 tot 60 m
bron: Grondwaterplan van de provincie Overijssel (Querner, 1993).
- Onttrekkingen:
Bij de calibratie is wél rekening gehouden met onttrekkingen, bij het doorrekenen van de scenario's niet.
Tijdens de calibratieperiode (1990-1992) bedroeg het totaal aan onttrekkingen in 1992 ± 2mm per jaar (bijlage 8). Voor de jaren 1990 en 1991 is de onttrekking van grondwater verwaarloosbaar.
bron: Waterleidingmaatschappij Overijssel
- * Tijdstap: 1 dag

Onverzadigde zone

In het studiegebied komen vier bodemtypen voor: veldpodzolgronden (Hn21), enkeerdgronden (EZ21 en EZ23) en beekkeerdgronden (pZg23). Deze zijn bepaald uit een geografisch informatiesysteem. De bodemfysische eigenschappen zijn afkomstig uit de 'staring reeks'. Voor meer informatie omtrent de bodemfysische eigenschappen wordt verwezen naar Querner (1993). Binnen het gebied worden zeven typen landgebruik onderscheiden. Dit zijn: grasland, maïs, loofbos, naaldbos, overige natuur, open water en stedelijk gebied. Er vindt geen berekening plaats. Oppervlakkige afstroming komt in het model niet voor omdat het gebied hiervoor te vlak is en er te veel vegetatie aanwezig is. Dit is in het model gebracht door een hoge infiltratiecapaciteit voor de wortelzone op te geven. De neerslag die valt op verhard stedelijk gebied wordt afgevoerd via de RWZI als het percentage stedelijk gebied van een deelgebied groter is dan 12,5 %. Neerslag die valt op onverhard stedelijk gebied infiltreert in de wortelzone of verdampt als gras.

Overige invoergegevens voor de onverzadigde zone:

* Herkomst van de meteorologische gegevens:

	Neerslag	Verdamping
calibratieperiode (1990-1992)	Haaksbergen	Haaksbergen
validatieperiode (1993-1995)	Haaksbergen	de Bilt
rekenperiode scenario's (1969-1995)	Hupsel	de Bilt
* Infiltratiecapaciteit van de wortelzone: 100 mm·d ⁻¹		
* Percentage <i>verhard</i> stedelijk gebied: 40 %		
* Tijdstap: 1 dag		

De met FEMSIN berekende potentiële verdamping voor naald- en loofbos is gecorrigeerd voor interceptie. SIMGRO berekent de actuele verdamping door de potentiële verdamping te reduceren op basis van de vochttoestand van de wortelzone (§ 4.2). Er bestaat echter geen verband tussen de vochttoestand van de wortelzone en interceptieverdamping. De interceptieverdamping wordt dus onterecht gereduceerd.

Oppervlaktewater

Binnen SIMGRO kunnen vier typen waterlopen onderscheiden worden: primaire, secundaire en tertiare waterlopen en greppels. Waterlopen in het studiegebied die dieper zijn dan 1.20 m, zijn tot het primaire systeem gerekend. Hieronder vallen de hoofdtak van de Poelsbeek (20-3), een grote en een kleine zijtak van de Poelsbeek (respectievelijk 20-3-3 en 20-3-2), de oude tak van de Poelsbeek (20-3-4), de Bolscherbeek (20-4), twee kleine zijtakken hiervan (20-4-0-1) en 20-4-3) en het Twentekanaal (figuur 2.6 en bijlage 5). Waterlopen die in het studiegebied een diepte hebben van 0.80 tot 1.20 m zijn tot het secundaire systeem gerekend. Tot het tertiare systeem worden de waterlopen gerekend die een diepte hebben van 0.60 tot 0.80 m (Querner, 1993). De greppels zijn 0.50 m diep.

De Q-h relatie en de S-h relatie (§ 4.2) zijn opgesteld met het datamanagementprogramma FEMSIN. De benodigde gegevens hiervoor zijn: winterstuwpeil (in m-maaiveld), de stuwbreedte (m) en het oppervlak van het deelgebied (ha). Verder moeten nog per klasse van waterlopen (primair, secundair en tertiair) de slootintensiteit, taludhelling, bodemhoogte en bodembreedte opgegeven worden. Als er in een deelgebied geen stuwen aanwezig zijn, is het stuwpeil van het oppervlaktewatersysteem gelijk gesteld aan de bodemhoogte van de diepste aanwezige waterloop. Voor de deelgebieden waar wel stuwen aanwezig zijn, is een stuwpeil en stuwbreedte bepaald aan de hand van de dimensies van bestaande stuwen. Deze zijn verkregen van het waterschap. Hierbij werd er rekening mee gehouden dat deze representatief moesten zijn voor het deelgebied.

Het oppervlaktewatersysteem van een deelgebied watert steeds af op een aangrenzend, meer stroomafwaarts gelegen deelgebied. De richting waarin het oppervlaktewatersysteem van een deelgebied afwatert is bepaald aan de hand van een stroomlijnenplot van het modelgebied uit de grondwatermodule van MOGROW en de waterlopenkaart van het waterschap. De afvoer van de meest stroomafwaarts gelegen deelgebieden verdwijnt uit het systeem. Ook de afvoer van de deelgebieden die buiten het stroomgebied van de Poels- en Bolscherbeek liggen (deelgebieden 91, 92, 93 en 94) verdwijnt uit het model. Er wordt geen oppervlaktewater aangevoerd van elders. De deelgebieden zijn gekozen op basis van

bodemtype en vormen in werkelijkheid dus niet per definitie een aparte oppervlaktewater-eenheid.

De twee RWZI's lozen hun effluent in de Bolscherbeek. Hiertoe zijn binnen SIMGRO twee deelgebieden aangewezen waarin het effluent geloosd wordt op het oppervlaktewater-systeem. Indien de pompcapaciteit van het rioleringstelsel te klein is om de aangeboden hoeveelheid rioolwater naar de RWZI's door te pompen, vindt overstort plaats naar het oppervlaktewatersysteem van vijf andere deelgebieden. Dit kan optreden na hevige regenval. Een gedeelte van het effluent komt van buiten het studiegebied.

Overige invoergegevens voor het oppervlaktewatersysteem:

- * Primair systeem: Per knooppunt waarvoor het primaire systeem aanwezig is moet ingevoerd worden: Bodemhoogte (m +NAP), bodembreedte (m), taludhelling, lengte van het traject (m), intreeweerstand (d) en radiale weerstand ($d \cdot m^{-1}$). De radiale- en intreeweerstand zijn in het veld bepaald (Querner, 1993).
 - * Secundair systeem : bodemdiepte 1.20 m, drainageweerstand 1000 d.
 - * Tertiair systeem : bodemdiepte 0.80 m, drainageweerstand 150 d.
 - * Geppelsysteem : bodemdiepte 0.50 m, drainageweerstand 80 d.
- De gegevens voor het secundaire, het tertiare en het greppelsysteem zijn geldig voor het gehele modelgebied.
- Bron: De dimensies van de waterlopen die door het waterschap beheerd worden zijn verkregen van het waterschap. De dimensies van de overige waterlopen zijn in het veld bepaald. De drainageweerstanden van het secundair en tertiair systeem zijn bepaald door Querner (1993).
- * Tijdstap: 1/20 dag

4.4 Toetsing van het model aan de werkelijkheid

4.4.1 Inleiding

Om te toetsen of het model de werkelijkheid goed benadert, zijn de gemeten en de berekende waarden van afvoeren en grondwaterstanden van de jaren 1990-1992 vergeleken. Vervolgens zijn, naar aanleiding van die vergelijking, parameters aangepast, waardoor het model de werkelijkheid beter ging simuleren. Een volledige calibratie is voor dit complexe model niet mogelijk. Calibratie houdt namelijk in dat waarnemingen van toestandsvariabelen zoals afvoeren en stijghoogten worden gebruikt voor de herberekening van modelparameters. Hierbij worden de modelparameters gevarieerd binnen de fysisch acceptabele grenzen totdat de werkelijkheid zo goed mogelijk door het model wordt gesimuleerd. Bij SIMGRO is het onmogelijk om te zeggen of het model optimaal de werkelijkheid simuleert of dat er nog verbeteringen mogelijk zijn. Dit komt doordat de resultaten van een complex model zoals SIMGRO van veel parameters afhankelijk zijn. Er zijn mogelijk meerdere sets van parameters die hetzelfde resultaat opleveren. Een eenduidige oplossing is dus niet mogelijk.

Een ander probleem van de calibratie is, dat aangenomen wordt dat de meetwaarden die gebruikt worden bij de calibratie als representatief worden beschouwd voor de werke-

lijkheid. Een model gecalibreerd op meetwaarden uit een droge periode hoeft de werkelijkheid niet goed weer te geven voor een natte periode. Om te toetsen of een model ook geldig is voor een ander bereik dan dat van de meetwaarden die voor de calibratie zijn gebruikt, kan een validatie uitgevoerd worden. Validatie houdt in dat het model wordt getoetst aan de hand van waarnemingen die niet zijn gebruikt bij de calibratie. Als bij validatie blijkt dat het model de werkelijkheid niet goed benadert, wordt het model opnieuw gecalibreerd aan de hand van een andere set waarnemingen. Indien voor de hierop volgende validatie dezelfde waarnemingen set gebruikt dan wordt de validatie onderdeel van de calibratie. Meestal is de lengte van de waarnemingenreeks beperkt en vervaagt het onderscheid tussen calibratie en validatie. Doordat SIMGRO geen black box is, maar de fysische processen beschrijft, is het meestal wel mogelijk om verantwoorde simulaties uit te voeren die niet binnen het calibratiebereik vallen. De resultaten zijn dan waarschijnlijk wel minder betrouwbaar. Ondanks mogelijke problemen bij de calibratie, zal een model altijd beter worden van calibratie, omdat er gebruik gemaakt wordt van extra informatie over het hydrologisch systeem (Van Walsum & Veldhuizen, 1996).

Omdat er slechts van drie jaar gemeten afvoeren in digitale vorm beschikbaar waren, namelijk van 1990-1992, is er voor gekozen om alle gemeten afvoeren voor de calibratie te gebruiken. Er is dus niet gevalideerd met behulp van afvoeren maar wel met grondwaterstanden over de periode 1993-1995. Omdat deze studie gericht is op afvoeren zijn de gesimuleerde afvoerverlopen over deze periode wel kritisch beschouwd. Na de validatie is er geen calibratiestap meer uitgevoerd.

Voor de calibratie van het model zijn dus zowel afvoer- als stijghoogtegegevens gebruikt. Deze gegevens zijn niet soortgelijk. De afvoer is een term van de waterbalans en geeft geïntegreerde informatie over een gebied. Stijghoogtegegevens geven slechts puntinformatie die door toevallige lokale omstandigheden sterk beïnvloed kan worden. Vooral het microreliëf kan grote invloed uitoefenen op de lokale grondwaterstand. Een knooppunt heeft een invloedsoppervlak met een soort gemiddelde grondwaterstand. Met de vergelijking van een waterstand van een knooppunt en een peilbuis moet dus voorzichtig worden omgegaan. Op zich zijn stijghoogten nauwkeuriger te meten dan afvoeren.

In de volgende paragrafen worden eerst de resultaten besproken van de analyse van de betrouwbaarheid van de gemeten afvoeren, vervolgens zal besproken worden hoe de calibratie aangepakt is en wat de resultaten ervan zijn. Met resultaat wordt hier bedoeld in hoeverre de gemeten en berekende waarden overeenkomen. Vervolgens wordt ingegaan op de belangrijkste aanpassingen van invoerwaarden tijdens de calibratie en tenslotte wordt de validatie besproken.

4.4.2 Betrouwbaarheid van de gemeten afvoeren

Om het model te toetsen aan de werkelijkheid worden ondermeer gemeten afvoeren gebruikt. Omdat afvoeren voor dit onderzoek belangrijk zijn, wordt een schatting gemaakt voor de fouten in de gemeten afvoeren. De afvoeren worden bepaald door bovenstrooms van een klepstuw de waterstand te meten in een stilling well met een analoge peilschrijver. Van de gemeten absolute hoogte van de waterspiegel wordt de absolute hoogte van de stuwkruin afgetrokken. Dit verschil is de overstorthoogte, waarmee de afvoer berekend kan worden met behulp van de Q-h relatie van de stuw.

De algemene formule om afvoeren te berekenen volgens Boiten (z.j.), is:

$$Q = C \sqrt{g B h^u}$$

met: Q = afvoer ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
 g = gravitatieconstante ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
 C = afvoercoëfficiënt (-)
 B = breedte (m)
 h = overstorthoogte (m)
 u = coëfficiënt (-)

Tijdens het meten en verwerken van de meetgegevens waarmee de afvoer bepaald wordt, kunnen vele fouten ontstaan. Ten eerste zitten er fouten in de geregistreerde overstorthoogten. Deze fouten zijn onder te verdelen in twee categorieën:

- fouten in de grootte van de waarnemingen
- fouten in de administratie van de waarnemingen

De fouten in de grootte van de waarneming kunnen ontstaan door bijvoorbeeld drijvend vuil, waardoor de Q-h relatie veranderd, door vorst en bovendien door systematische fouten. Deze fouten worden veroorzaakt door het ontwerp van de stilling well (Boiten, z.j.). Met fouten in de administratie van de waarnemingen, worden fouten bedoeld die ontstaan bij het aflezen van peilstroken, het invoeren van waarnemingen en het omrekenen naar andere eenheden. In deze studie wordt aangenomen dat de fout in de gemeten overstorthoogte gelijk is aan: $100 \cdot \delta h/h$. Hierin is δh de absolute fout in de overstorthoogte (h). Normaal ligt δh tussen de 0.002 en 0.005 m (Boiten, z.j.). In dit onderzoek wordt 0.004 gebruikt voor δh .

De fout in de afvoer is ook afhankelijk van de fouten in de overige termen van de afvoerformule, deze zijn:

- gevoeligheid van de afvoer voor een verandering in de overstorthoogte (ΔQ per eenheid van verandering in h). Deze gevoeligheid is afhankelijk van de vorm van de kruin. In de Q/h relatie is de gevoeligheid afhankelijk van u. Voor een klepstuw geldt $u = 1.5$
- fouten in de berekening die de betrouwbaarheid van de karakteristieke afvoercoëfficiënt C aantasten (bijlage 6). Deze fout bedraagt meestal tussen de 2 en 5%. In deze studie wordt een waarde van 4% aangenomen.
- fouten in de dimensionering van het kunstwerk. In het geval van klepstuwen wordt deze fout vooral gevormd door de ophangarmen van de klep. Deze fout wordt berekend als de breedte van de armen gedeeld door de totale breedte van de stuw en bedraagt voor de meetstuw in de Poelsbeek ongeveer 5% en voor die in de Bolscherbeek ongeveer 7 %.

Alle fouten samen bepalen de fout in de afvoer. De grootte hiervan wordt beschreven door:

$$X_Q=\sqrt{X_C^2 + X_B^2 +uX_h^2}$$

met: X_Q = relatieve fout in Q (%) (tabel 4.1)
 X_c = relatieve fout in C (4%)
 X_B = relatieve fout in B (Bolscherbeek 7%, Poelsbeek 5%)
 X_h = relatieve fout in de stijghoogte (100 * 0.004/h in %)

Tabel 4.1a Absolute en relatieve fouten bij bepaalde afvoeren Poelsbeek

$Q_n \text{ (m}^3\text{ s}^{-1}\text{)}$	$h \text{ (m)}$	$X_h \text{ (%)}$	$X_Q \text{ (%)}$	fout $\text{(m}^3\text{ s}^{-1}\text{)}$
Q75= 0.012	0.014	29	36	0.004
Q65= 0.043	0.032	13	17	0.007
Q50= 0.110	0.060	6.7	10	0.006

Tabel 4.1b Absolute en relatieve fouten bij bepaalde afvoeren in de Bolscherbeek

$Q_n \text{ (m}^3\text{ s}^{-1}\text{)}$	$h \text{ (m)}$	$X_h \text{ (%)}$	$X_Q \text{ (%)}$	fout $\text{(m}^3\text{ s}^{-1}\text{)}$
Q95= 0.043	0.023	17	22	0.009
Q80= 0.094	0.039	10	15	0.014
Q70= 0.116	0.045	8.9	14	0.016
Q65= 0.129	0.048	8.3	13	0.017

Bij de vergelijking tussen de gemeten en berekende waarden, moet dus rekening gehouden worden met het betrouwbaarheidsinterval. Uit tabel 4.1 blijkt dat de grootte van dit interval afhangt van de grootte van de afvoer. Bij de Poelsbeek is de fout in alle gevallen minder dan 0.010 m³·s⁻¹. Bij de Bolscherbeek is deze fout bij de Q65 bijna 0.02 m³·s⁻¹.

4.4.3. Werkwijze bij de calibratie

Voor de calibratie zijn de neerslag en de verdamping gebruikt die gemeten zijn bij Haaksbergen. Aangenomen is dat deze neerslagreeks meer representatief is voor het stroomgebied dan de neerslagreeks die gemeten is in Hupsel. Het model is gecalibreerd over de jaren 1990-1992. Doordat deze periode bestaat uit drie droge jaren (hoofdstuk 3), is deze geschikt om het model te calibreren op lage afvoeren. Het model rekent echter de periode 1989-1992 door. Het eerste jaar, 1989, wordt gebruikt als aanlooperperiode. De berekende afvoeren en grondwaterstanden van dit jaar worden niet gebruikt bij de calibratie. Dit jaar dient alleen te vermijden dat effecten als gevolg van de keuze van de beginvoorwaarden de resultaten beïnvloeden.

Bij de calibratie is eerst het uitgangsmodel, het model van vóór de calibratie, doorgerekend over de jaren 1989-1992. Vervolgens is er op basis van de literatuur en de resultaten van het uitgangsmodel een beperkte gevoeligheidsanalyse gedaan, waarna bij een goed resultaat een calibratiestap werd uitgevoerd. Zodoende ontstond een nieuw uitgangsmodel dat een betere beschrijving gaf van de werkelijkheid. Op basis van de resultaten van het nieuwe uitgangsmodel werd opnieuw een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met een andere modelparameter en volgde weer een calibratiestap. Calibratie en gevoeligheidsanalyse zijn tijdens dit onderzoek dus verweven. Dit proces is herhaald totdat uiteindelijk het gecali-breerde model ontstond waarvan de resultaten in paragraaf 4.4.5 staan beschreven. Tijdens de gevoeligheidsanalyses is steeds het effect van het veranderen van één parameter voor het gehele onderzoeksgebied bekeken, terwijl het gebied bij een calibratiestap soms werd gezoneerd naar de twee stroomgebieden van de Poelsbeek en de Bolscherbeek.

Bij het vergelijken van de berekende en gemeten grondwaterstanden en afvoeren is gebruik gemaakt van twee methoden: een visuele methode en een statistische methode. Bij de visuele methode werd aan de hand van grafieken gekeken naar de afwijking tussen gemeten en berekende waarden. Hierbij zijn tijd-stijghoogtelijnen van grondwaterstanden op 14 locaties en afvoerlopen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek gebruikt. Ook zijn de afvoerduurlijnen van de berekende en gemeten afvoerreeksen vergeleken. Bij de statistische methode werd het model beoordeeld op de standaardafwijking van de verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogten en het gemiddelde van de absolute afwijkingen van de dagafvoeren. Voor gemeten en berekende afvoerreeksen is ook steeds het aantal droge dagen en het aantal droge perioden geanalyseerd met EXDEV (§ 3.3.4).

De gebruikte formule om de standaardafwijking van de verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogten te bepalen is:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (H_c - H_m + h^*)^2}$$

met: σ = standaardafwijking (m)
 n = aantal waarnemingen (-)
 H_m = gemeten stijghoogte (m)
 H_c = berekende stijghoogte (m)
 h^* = correctie (m)

In deze formule geeft h^* de correctie van de afwijking weer die moet worden toegepast, omdat de grondwaterstanden op een bepaalde locatie gemeten worden, terwijl in het model de grondwaterstand van een knooppunt representatief is voor het gehele invloedsoppervlak hiervan. Deze afwijking is afhankelijk van:

- het verschil van de maaiveldshoogte ter plekke van de buis en de gemiddelde maaiveldshoogte van het invloedsoppervlak van knooppunt. Dit verschil is van belang omdat grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld berekend en vergeleken worden;
- de plaats van de buis ten opzichte van een waterloop. Dit is van belang vanwege de opbolling van de waterspiegel (figuur 4.4);
- tijd, de opbolling kan hiervan afhankelijk zijn.

Om de afwijking te kunnen compenseren, kan een correctie ingevoerd worden.

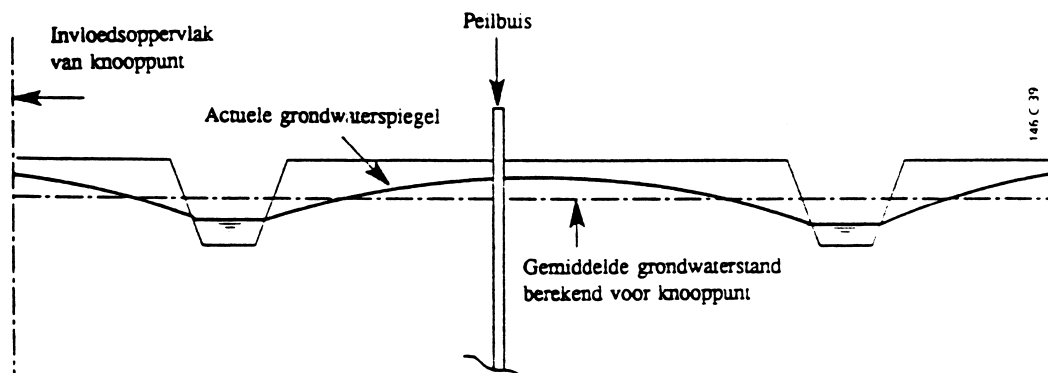


Fig. 4.4 Verschil tussen gemeten en berekende stijghoogten (Querner & Van Bakel, 1989).

In deze studie is gekozen om alleen het verschil van maaiveldshoogten te verwerken in de correctie. Over de opbolling tussen de waterlopen ter plekke van de buizen is namelijk geen gedetailleerde informatie beschikbaar. De maaiveldscorrectie is bij een aantal peilbuizen toegepast. De plaats van de peilbuizen is afgebeeld in figuur 4.3.

Per deelgebied wordt de gemiddelde absolute afwijking van de afvoeren berekend met:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum (Q_c - Q_m)$$

met: MAE = gemiddelde absolute fout ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
 Q_m = gemeten afvoer ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
 Q_c = berekende afvoer ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
 n = aantal waarnemingen (-)

4.4.4 Resultaten van de gevoeligheidsanalyses

Naar aanleiding van de analyse van de resultaten van het uitgangsmodel en de gevoeligheidsanalyse van Querner (1993), is gekozen om eerst de gevoeligheid voor het evenwichtsvochtgehalte, de bergingscoëfficiënt en de infiltratiecapaciteit van de bodem te onderzoeken. De motivatie voor deze keuze was, dat door deze variabelen aan te passen de processen preferente stroming en oppervlakteafvoer in het model gebracht kunnen worden. In de resultaten van het uitgangsmodel bleven de afvoeren van de beken namelijk te lang hoog na een piekafvoer. In de Poelsbeek waren de lage afvoeren te hoog. Het hydrologisch systeem reageerde dus te langzaam. Door de processen preferente stroming en oppervlakteafvoer modelleren, zou het gemodelleerde systeem sneller moeten gaan reageren. Preferente stroming wordt gemodelleerd door als het ware een deel van de neerslag niet in de wortelzone op te slaan, maar direct naar het grondwater te laten stromen. Dit wordt in het model gebracht door het equivalente vochtgehalte van de wortelzone en de bergingscoëfficiënt van de onverzadigde zone te verkleinen.

In tabel 4.2 zijn de afvoeren onderverdeeld in piekafvoeren, middenafvoeren en lage afvoeren. Met de middenafvoeren worden die afvoeren bedoeld, die tussen de 40 en 60

procent van de tijd overschreden worden. In de tabel staat aangegeven, of de afvoeren toenemen (+), afnemen (-) of gelijk blijven (=). Verder staat is aangegeven of de grondwaterstanden (h) dalen, stijgen of gelijk blijven. Voor de gevoeligheidsanalyses zijn verschillende modelversies gebruikt (paragraaf 4.4.3). De richting van het effect van een aanpassing van een parameter zal echter niet veranderen, als een ander uitgangsmodel als basis voor de gevoeligheidsanalyse wordt genomen, wel de grootte van het effect. Om deze reden is in tabel 4.2 alleen de richting van het effect opgenomen en niet de precieze grootte ervan.

Tabel 4.2 Effecten van veranderingen in parameters.

Parameter	aanpassing	piekafvoeren	midden afvoeren	lage afvoeren	h
Veq	kleiner	+	+	=	+
bergingscoëfficiënt	kleiner	+	-	-	-
infiltratiecapaciteit	kleiner	=	=	-	-
netto randflux	groter	=	-	=	=
kD	groter*	+	+	+	+
kD	kleiner	-	-	-	*
γ sec + γ tert	kleiner	+	+	-	-
γ primair	kleiner	+	+	-	-
stuwpeil	hoger	+	-	-	+
stuwpeil	lager	-	+	+	-
% verhard stedelijk oppervlak	groter	PB: +	+	+	=
		BB: -	=	=	=

- + / - / = = stijgen/ dalen / geen effect
- h = grondwaterstand
- Veq = equivalent vochtgehalte (zie paragraaf 4.2)
- kD = doorlaatvermogen
- γ = drainage weerstand
- sec, tert = secundair en tertiair systeem
- Veq = evenwichtsvochtgehalte
- kD = doorlaatvermogen
- PB = Poelsbeek
- BB = Bolscherbeek
- * = Bij dit scenario is nog geen evenwicht bereikt, en kunnen de effecten dus niet goed beoordeeld worden.

Door preferente stroming in het model op te nemen, gaan in het algemeen inderdaad de piekafvoeren omhoog en de lage afvoeren omlaag. Het effect is echter kleiner dan

verwacht werd. Oppervlakteafvoer wordt gemodelleerd door de infiltratiecapaciteit van de bodem te verkleinen. Ook dit leidt niet tot een verbetering van het model. Dit proces is dan ook niet meegenomen in het gecalibreerde model. In werkelijkheid zal oppervlakkige afstroming in dit gebied ook niet veel voorkomen.

De effecten van het aanpassen van het percentage verhard stedelijk oppervlak zijn apart beschreven voor de Poelsbeek en de Bolscherbeek, omdat deze er verschillend op reageren. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van de RWZI in de Bolscherbeek. Als het percentage verhard stedelijk oppervlak toeneemt, zal er meer regenwater in het riool terecht komen en via de zuivering naar de Bolscherbeek stromen. Het regenwater dat op het onverharde deel van de stad valt, infiltreert of verdampt als gras. Een deel van het verstedelijkte gebied ligt in de het stroomgebied van de Poelsbeek. Dit gebied geeft de grootste verandering bij het aanpassen van het percentage verhard stedelijk oppervlak. Het water dat hierop valt gaat via de RWZI naar de Bolscherbeek in plaats van via het grondwater naar de Poelsbeek.

In de tabel staat ook de term netto randflux. Hiermee wordt het verschil bedoeld tussen het gebied instromend en uitstromend grondwater. Verandering van de hoeveelheid grondwater die over de zuidostrand binnenstroomt of die over de noordwestrand het gebied verlaat heeft maar een beperkt effect.

Uit de tabel blijkt dat soms zowel de lage als de hoge afvoeren toe- of afnemen. In dit geval is nog geen evenwicht bereikt en worden de hoge afvoeren veroorzaakt door bergingsveranderingen in het grondwatersysteem. De vermenigvuldiging van de kD met een factor 2 bijvoorbeeld, zorgt nog voor een bergingsverandering van ongeveer 250 mm in het derde jaar. Bij deze extreme scenario's is eigenlijk een langere rekenperiode nodig, om het effect op de afvoeren en de grondwaterstanden te kunnen bepalen.

4.4.5 Resultaten van de calibratie

In deze paragraaf wordt het resultaat van het stapsgewijs gecalibreerde model vergeleken met de gemeten waarden. Eerst worden de afvoeren en het optreden van hydrologische droogte behandeld, daarna de grondwaterstanden. Ook worden de gesimuleerde waterbalansen over de jaren 1990-1992 van het gecalibreerde model gepresenteerd.

Afvoeren

In de figuren 4.5a en 4.5b zijn de beide afvoerduurlijnen afgebeeld. In de figuren 4.6a en 4.6b zijn de gemeten en berekende afvoerlopen van de Poelsbeek en de Bolscherbeek gegeven. De afvoerduurlijnen geven het overschrijdingspercentage van de afvoeren. De gesimuleerde afvoerreeks van de Poelsbeek geeft na calibratie een afvoerduurlijn die rond de gemeten lijn ligt. Deze gesimuleerde afvoerduurlijn, benadert de gemeten lijn goed. Alleen de lage afvoeren worden iets overschat en er is een kortere periode dat er geen afvoer gemeten is, maar wel berekend wordt. De gesimuleerde afvoerduurlijn van de Bolscherbeek komt ook redelijk overeen met de gemeten afvoerduurlijn. Bij deze beek worden de lage afvoeren en de hoogste piekafvoeren iets onderschat en de middenafvoeren overschat.

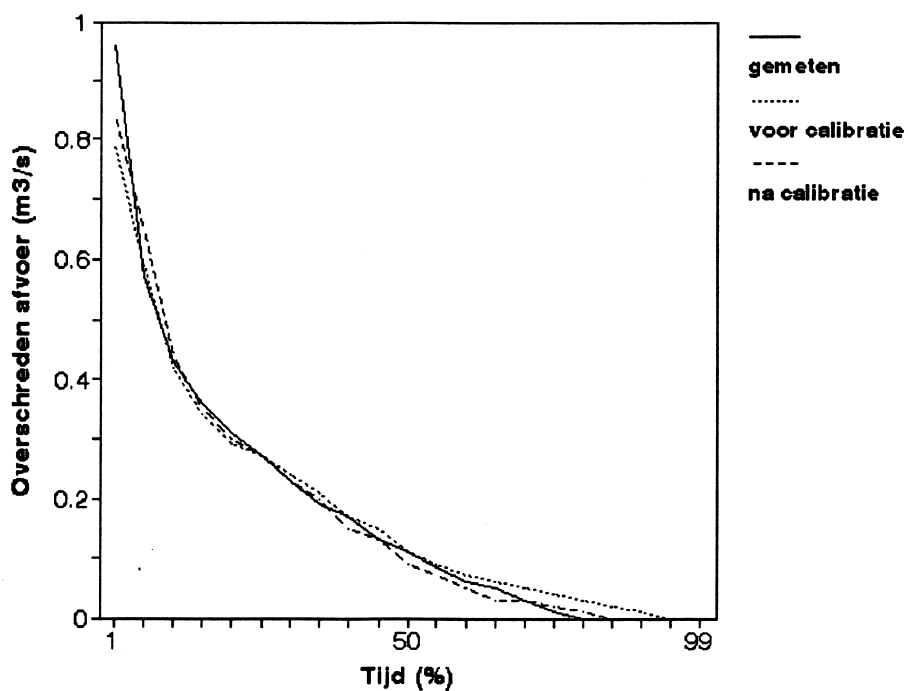


Fig. 4.5a Afvoerduurlijnen over 1990-1992 voor de Poelsbeek uitgaande van gemeten en berekende afvoeren.

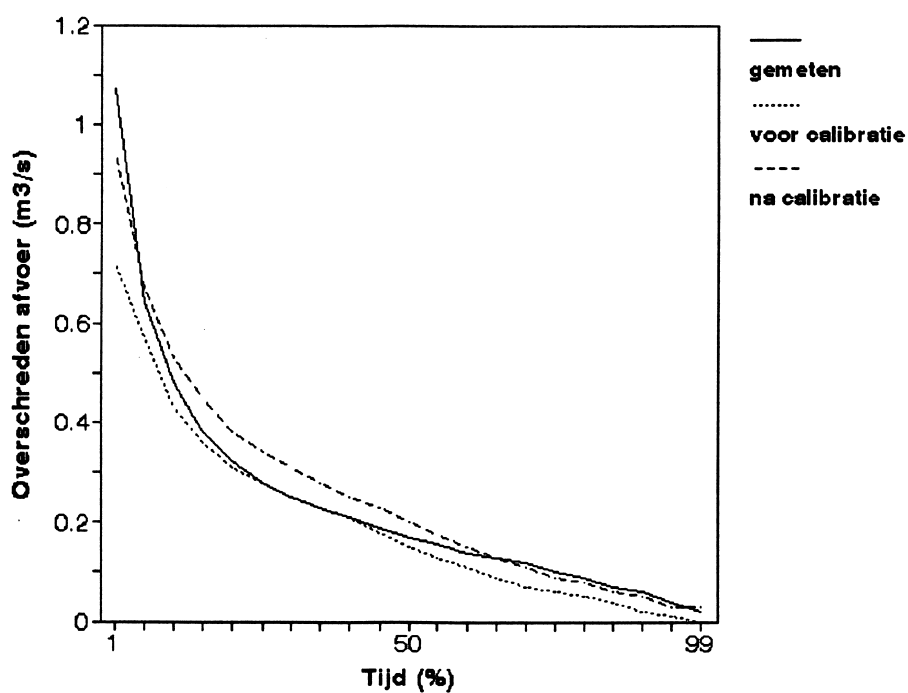


Fig. 4.5b Afvoerduurlijnen over 1990-1992 van de Bolscherbeek uitgaande van gemeten en berekende afvoeren.

Uit de afvoerverlopen blijkt het verschil tussen de beide beken. Ook is zichtbaar dat de piekafvoeren onderschat worden. Bovendien is de uitzakking na een piek iets te gering. Bij de Bolscherbeek is het meest opvallende dat kort durende hoge pieken gemist worden. Het begin van 1991 wordt erg slecht gesimuleerd voor beide beken. De oorzaak hiervan is dat er toen een lange periode met vorst en sneeuw was. Dit kan het model niet simuleren. Aan het einde van 1992 treedt hetzelfde probleem op.

De MAE (Mean Absolute Error) van de afvoer van de Poelsbeek is $0.07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en de gemiddelde waarde van zowel de berekende als de gemeten afvoeren is $0.17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De afvoer van de Bolscherbeek heeft een MAE van $0.09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De gemiddelde waarde van de gemeten afvoeren bedraagt $0.23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en van de berekende afvoer $0.22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. De MAE geeft alleen een grove indicatie. Als het systeem namelijk de hoge pieken mist, dan wordt de absolute fout erg groot. Deze hoge waarden beïnvloeden de MAE sterk, waardoor dit geen goede maat is om het modelgedrag beoordelen.

Het onderschatten van de piekafvoeren in beide beken kan voor een deel verklaard worden door het feit dat de neerslag per dag wordt ingevoerd, terwijl in werkelijkheid een regenbui meestal korter dan een dag duurt. De neerslagintensiteit wordt hierdoor kleiner en daardoor ook de bijbehorende piekafvoer. Deze beperking is vooral van belang voor de Bolscherbeek. In deze beek lozen 2 rioolwaterzuiveringen. In werkelijkheid lozen zij regenwater snel en varieert de hoeveelheid effluent over de dag. In het model wordt ook de hoeveelheid effluent per dag in de beek geloosd. De piekafvoeren worden door de modellering van de RWZI met een tijdstap van 1 dag kleiner. Andere oorzaken van de afwijkingen tussen gemeten en berekende afvoeren zijn bijvoorbeeld dat het model het oppervlaktewaterstelsel ziet als een reservoir met een in- en uitstroming naar een ander reservoir. Door deze grove modellering, en het homogeniseren van een heel deelgebied ontstaan ook verschillen met de werkelijkheid.

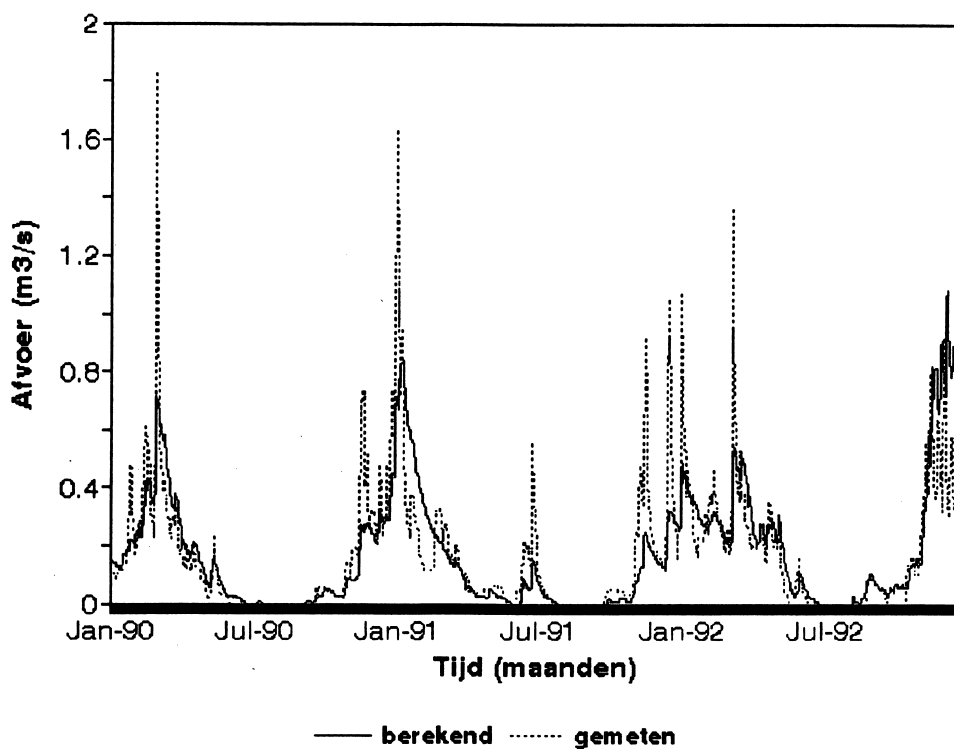


Fig. 4.6a Gemeten en berekende afvoerverlopen over 1990-1992 van de Poelsbeek.

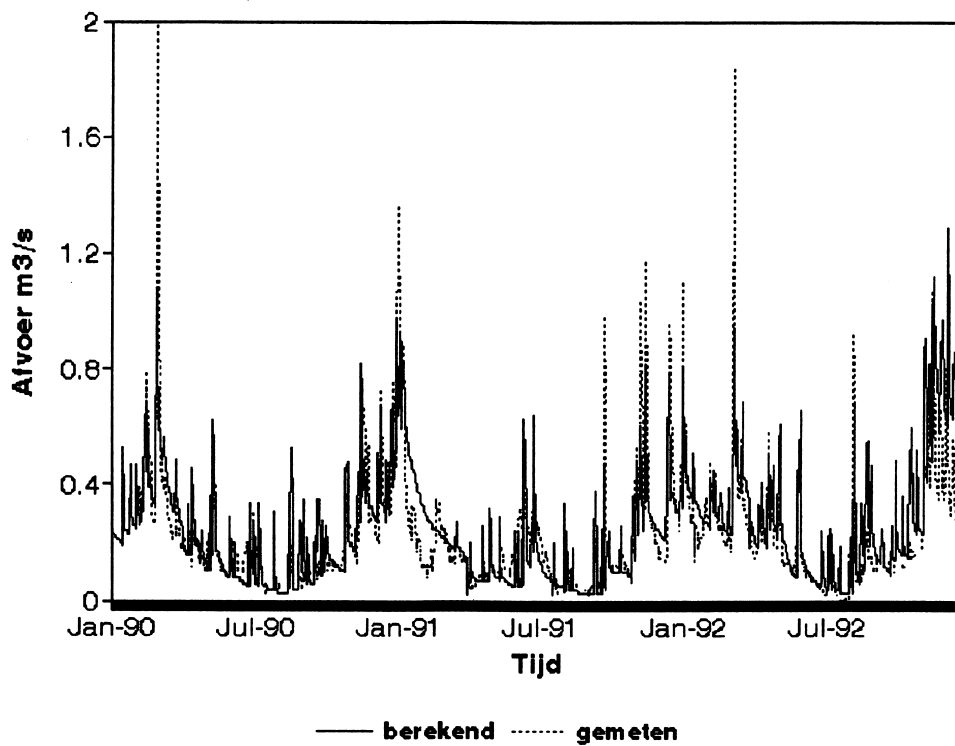


Fig. 4.6b Gemeten en berekende afvoerverlopen over 1990-1992 van de Bolscherbeek.

Droge dagen en droge perioden

Voor de beoordeling van de simulatie van droge perioden wordt onderscheid gemaakt in het aantal droge perioden en in het totaal aantal droge dagen. Voor de bepaling van het aantal droge dagen en perioden van de berekende afvoerreeksen is als drempelwaarde de afvoer genomen die hoort bij de Qn's van de gemeten afvoerreeksen (§ 3.3.3). Voor de Bolscherbeek (tabel 4.3a) blijkt dat voor de drie drempelwaarden het *aantal droge dagen* in de berekende afvoerreeks vóór de calibratie wordt overschat. Voor de Q65 wordt het aantal droge dagen het best gesimuleerd, hierbij wordt het aantal overschat met ongeveer 25 procent. Het *aantal droge perioden* wordt ook slecht gesimuleerd. In het algemeen kan gesteld worden dat vóór de calibratie de berekende afvoeren in de Bolscherbeek vaak te laag zijn.

Tabel 4.3a Droge perioden en totaal aantal droge dagen voor de periode 1990-1992 in de Bolscherbeek, uitgaande van gemeten en berekende afvoeren.

	Q95		Q80		Q65	
	perioden	dagen	perioden	dagen	perioden	dagen
gemeten	11	55	30	214	51	372
voor calibratie	31	208	36	407	28	449
na calibratie	16	99	39	277	48	366

Tabel 4.3b Droge perioden en het totaal aantal droge dagen in de Poelsbeek voor de periode 1990-1992 uitgaande van gemeten en berekende afvoeren.

	Q75		Q65		Q50	
	perioden	dagen	perioden	dagen	perioden	dagen
gemeten	7	269	15	379	7	544
voor calibratie	4	130	7	303	7	542
na calibratie	7	268	9	420	6	570

Na calibratie is het aantal droge dagen een stuk gedaald. Voor de Q95 is het aantal droge dagen echter nog ongeveer een factor 2 te hoog. Dit kan verklaard worden aan de hand van de afvoerduurlijn. Voor de laagste afvoeren loopt de afvoerduurlijn van het gecali-breerde model iets onder die van de gemeten afvoerreeks. De Q95 wordt dus te vaak onderschreden. Ook worden er nog teveel pieken gesimuleerd die de drempelwaarde die hoort bij de Q95 overschrijden, aangezien het aantal droge perioden te hoog is. Voor de Q80 en Q65 komt het aantal droge dagen nu redelijk overeen met het aantal uit de

gemeten afvoerreeks. Het aantal droge perioden wordt voor de Q65 nog steeds iets onderschat. Voor de Q95 en de Q80 worden deze nog steeds overschat. In de gesimuleerde reeks komen dus nog steeds te veel pieken voor die de Q95 en de Q80 overschrijden. Er zijn te weinig hoge pieken, die de Q65 overschrijden. Wat betreft de simulatie van hydrologische droogte heeft calibratie duidelijk tot een verbetering geleid.

Voor de Poelsbeek (tabel 4.3b) geldt dat vóór calibratie het gevonden totaal aantal droge perioden en droge dagen voor de Q75 en Q65 slecht overeenkomen met de aantallen uit de gemeten afvoerreeks. Na calibratie komen het totaal aantal droge dagen voor de Q75 en de Q65 een stuk beter overeen met het aantal uit de gemeten afvoerreeks. Het aantal droge perioden in de Poelsbeek wordt voor de Q65 nog steeds onderschat. Er zijn dus niet genoeg pieken die deze drempelwaarde overschrijden. De simulatie van droge perioden is als gevolg van de calibratie voor de Q50 iets slechter geworden. Toch geldt ook voor de Poelsbeek dat de simulatie van droogte door de calibratie beter is geworden.

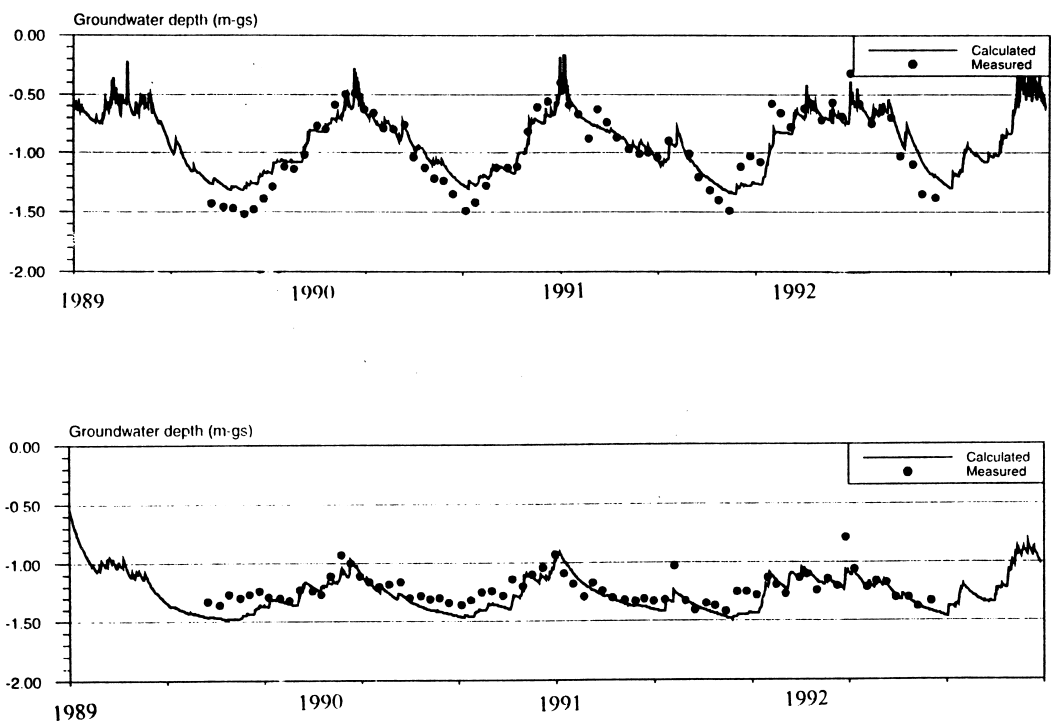
Grondwaterstanden

In tabel 4.4 zijn de standaardafwijkingen van de verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden voor de periode 1990-1992 gegeven voor 14 peilbuizen.

Tabel 4.4 Standaardafwijking van de verschillen tussen de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden zonder (σ) en met correctie (σ^*) ter plekke van de peilbuizen over de periode 1990-1992.

Knooppunt	σ	correctie h^*	σ^*	code peilbuis
335	0.55	-0.33	0.23	1
316	0.23	-	0.23	2
353	0.50	-	0.50	3
243	0.44	0.42	0.21	4
241	0.46	-0.49	0.10	5
204	0.13	0.02	0.13	6
154	0.24	-	0.24	7
158	0.18	-	0.18	8
116	0.10	0.05	0.08	9
188	0.25	-	0.25	10
296	0.15	-	0.15	12
104	0.90	-0.99*	0.21	13
228	0.30	-0.24	0.20	EL6
283	0.18	-	0.18	EL3

De standaardafwijkingen zijn gegeven zonder correctie en met correctie. De achtergrond van deze correctie is besproken in paragraaf 4.4.3. De correctie waarmee σ^* berekend is, is gelijk aan het verschil van maaiveldshoogte tussen het knooppunt en de peilbuis (zie paragraaf 4.4.3). Als er geen waarde is gegeven voor de correctie dan betekent dit dat het voor die buis geen zin heeft om de correctie toe te passen. Het verschil tussen gemeten en berekende waarden wordt bij die buizen niet verklaard door een maaiveldshoogteverschil. Bij deze verschillen in stijghoogten kunnen kleine lokale afwijkingen van de schematisatie van het gebied een rol spelen. De waarde bij knooppunt 104 is niet erg betrouwbaar, omdat het verschil tussen het maaiveld van het knooppunt en het maaiveld ter plekke van de peilbuis 1.09 meter bedraagt. Als correctie is hier 0.99 gegeven, omdat een waarde groter dan 1 niet opgegeven kan worden in het programma waarmee de standaardafwijking berekend is. Het is ook zeer de vraag of een maaiveldshoogteverschil van 1.09 meter wel leidt tot een horizontale grondwaterspiegel. Als de grondwaterspiegel namelijk niet horizontaal is maar met het maaiveld mee omhoog gaat, klopt de correctie niet. Door het toepassen van de correctie worden absolute grondwaterstanden vergeleken, terwijl zonder de correctie de afstand tussen de grondwaterspiegel en het maaiveld vergeleken wordt. Deze buis moet dus niet in de beschouwing worden betrokken. De verschillen tussen de tijd-stijghoogtelijnen van knooppunt 353 en peilbuis 3 zijn vrij groot. Deze worden besproken in bijlage 7.



Figuur 4.7 Tijdstijghoogtelijnen voor knooppunten 204 en peilbuis 6 (boven) en knooppunt 116 en peilbuis 9 (beneden) over 1990-1992.

De tijd-stijghoogtelijnen (figuur 4.7) laten zien dat bij deze buizen de gemeten en berekende waarden elkaar goed benaderen. Buis 116 ligt bovenstrooms van de waterzuivering in het stroomgebied van de Bolscherbeek. Het maaiveld ter plekke van de peilbuis is 0.05 m hoger dan het gemiddeld maaiveld van het knooppunt. Als de absoluut gemeten grondwaterstanden vergeleken zouden worden, moeten de gemeten waarden in de grafiek 0.05 m omlaag geschoven worden. Deze stijghoogtelijn heeft een vrij vlak verloop. De uitzakking in de zomer is hier gering. Voor knooppunt 204 is geen correctie toegepast. Deze buis ligt in het stroomgebied van de Poelsbeek en heeft een veel minder vlak verloop.

Waterbalansen

Voor het gecalibreerde model zijn in de tabellen 4.5a, -b en -c de waterbalansen gegeven - voor het gehele systeem voor de kalenderjaren 1990-1992. De balansen voor de drie subsystemen wortelzone, verzadigde zone en oppervlaktewater worden gegeven in bijlage 8.

Enkele balanstermen moeten nader worden toegelicht. In de term neerslag is de neerslag die valt op het verhard stedelijk oppervlak niet inbegrepen. Het betreft dus de neerslag die daadwerkelijk in de wortelzone terecht komt. De neerslag die valt op het verhard stedelijk oppervlak is opgenomen in de term RWZI, omdat deze via het riool wordt afgevoerd. De term 'afvoer oppervlaktewater' is opgebouwd uit de afvoer van het oppervlaktewatersysteem van de Poels- en Bolscherbeek en de afvoer van de randdeelgebieden (§ 4.3) die buiten de betreffende stroomgebieden afwateren. De netto randflux (laterale grondwaterstroming) wordt bepaald door de vaste randflux zodat deze voor ieder jaar gelijk is.

Tabel 4.5a Waterbalans van het modelgebied van het jaar 1990. OW = oppervlaktewater

IN (mm)		UIT (mm)	
neerslag	645	evapotranspiratie	453
netto randflux	8	afvoer oppervlaktewater	188
RWZI	44	onttrekkingen	0
Bergingsafname verzadigde zone	-44		
Bergingsafname wortelzone	-12		
Bergingsafname oppervlakte water	-1	balansfout	-1
totaal	640		640

Tabel 4.5b: Waterbalans van het modelgebied van jaar 1991

IN (mm)		UIT (mm)	
neerslag	518	evapotranspiratie	415
netto randflux	8	afvoer oppervlaktewater	171
RWZI	37	onttrekkingen	0
Bergingsafname wortelzone	5		
Bergingsafname verzadigde zone	16		
Bergingsafname oppervlaktewater	0	balansfout	-2
totaal	584		584

Tabel 4.5c: Waterbalans van het modelgebied van jaar 1992

IN (mm)		UIT (mm)	
neerslag	745	evapotranspiratie	459
netto randflux	8	afvoer oppervlaktewater	282
RWZI	47	onttrekkingen	2
Bergingsafname wortelzone	-16		
Bergingsafname verzadigde zone	-44		
Bergingsafname oppervlaktewater	-2	balansfout	-5
totaal	738		738

Kleine balansfouten (1 à 2 mm) kunnen het gevolg zijn van afrondingsverschillen doordat de bedragen zijn afgerond op hele millimeters. De balans van 1992 vertoont een grotere fout die veroorzaakt wordt door het oppervlaktewatersysteem (bijlage 8). Dat het model goed reageert op verschillende weersomstandigheden is ook uit de balansen af te leiden. Hiertoe kan het jaar 1991 met 1990 vergeleken worden. In 1991 is minder neerslag gevallen dan in 1990 wat zich uit in een lagere afvoer via het oppervlaktewater en een lagere verdamping. Deze is in 1991 echter niet véél lager wat inhoudt dat de berging van het systeem moet zijn afgenomen. In 1992 valt veel meer neerslag dan in 1991, waardoor de afvoer hoger is dan in 1991. Niet alle extra neerslag wordt echter verdampt of afgevoerd, een gedeelte wordt ook geborgen.

4.4.6 Aanpassingen van het uitgangsmodel tijdens calibratie

Tijdens de calibratie van het uitgangsmodel, waarvoor de invoergegevens beschreven zijn in paragraaf 4.3, zijn een aantal invoergegevens gewijzigd. Eén van de belangrijkste

gebreken van het uitgangsmodel was dat het hydrologisch systeem te traag reageerde zodat na een afvoerpiek de afvoer niet snel genoeg daalde. Bovendien waren de berekende afvoeren in de Bolscherbeek vaak te laag en in de Poelsbeek te hoog. De veranderingen zijn hieronder beschreven.

In § 4.4.4 is beschreven hoe preferente stroming gemodelleerd kan worden. Tijdens calibratie is de bergingscoëfficiënt van de onverzadigde zone verkleind met 10%.

De Bolscherbeek reageert vooral op veranderingen die het effluent van de waterzuiveringen beïnvloeden, zoals het variëren van het percentage stedelijk oppervlak § 4.4.4. Het percentage *verhard* stedelijk oppervlak is vergroot van 40 naar 60 procent. Hierdoor werden de piekafvoeren in de Bolscherbeek hoger. Deze waren voor het uitgangsmodel (veel) te laag.

Tijdens de calibratie is van een aantal deelgebieden (391, 392 en 393, figuur 4.3) de richting waarin het oppervlaktewatersysteem loosde, veranderd. Aanvankelijk waren deze deelgebieden tot het stroomgebied van de Poelsbeek gerekend. Door de deelgebieden aan het stroomgebied van de Bolscherbeek toe te kennen werd de lage afvoer van de Bolscherbeek hoger en die van de Poelsbeek lager. Dit is een realistische verandering op basis van de waterlopenkaart (bijlage 5).

Uit tabel 4.2 blijkt dat het model sterk reageert op aanpassingen van het doorlaatvermogen. Het doorlaatvermogen kon ook binnen bepaalde fysische acceptabele marges gevarieerd worden, omdat het niet erg nauwkeurig bekend is. Het is dan ook aangepast tijdens de stapsgewijze calibratie. De doorlaatvermogens zijn bij de calibratie gezoneerd naar stroomgebied (Poelsbeek en Bolscherbeek) en gevarieerd binnen de fysisch acceptabele grenzen zoals deze berekend zijn uit de boorbeschrijvingen van de RGD (bijlage 3). Bij het uitgangsmodel waren de afvoeren van de Poelsbeek te hoog. Daarom is voor het stroomgebied van de Poelsbeek de kD verlaagd. Hierdoor werden de afvoeren van de Poelsbeek lager (§ 4.4.4). Na calibratie varieerde de kD van het modelgebied van 46 tot $500 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$.

Aanvankelijk is voor elk deelgebied een stuwpeil en stuwbreedte gekozen aan de hand van bestaande stuwen. Hierbij werd er rekening mee gehouden dat deze representatief moesten zijn voor het deelgebied. Tijdens calibratie bleek echter dat de aanvankelijk gekozen stuwpeilen en kruinbreedtes niet leidden tot een representatief beeld van berekende afvoeren en grondwaterstanden. Het model reageert sterk op aanpassingen van stuwpeilen (tabel 4.2). Daarom zijn stuwpeilen en stuwbreedtes zodanig aangepast dat de afvoer benedenstrooms en de grondwaterstanden redelijk goed gesimuleerd werden. De stuwpeilen van het modelgebied komen dus niet exact overeen met de hoogte van de stuwpeilen in het studiegebied.

4.4.7 Validatie

De periode 1993-1995, die gebruikt is voor validatie op basis van gemeten grondwaterstanden, bevat op grond van de gemeten neerslag bij Haaksbergen geen droge jaren (hoofdstuk 3). De periode van 1992 t/m 1995 is doorgerekend met het gecalibreerde model om gemeten en berekende grondwaterstanden, die niet gebruikt zijn bij de calibratie te

kunnen vergelijken. Het jaar 1992 diende alleen als aanloopjaar in verband met de beginvoorwaarden. De resultaten van deze validatie bestaan uit standaardafwijkingen van de verschillen tussen gemeten en berekende waarden en de tijd-stijghoogtelijnen zelf. Om het effect van weersomstandigheden op de afvoeren in de periode van 1990 t/m 1995 te kunnen zien, zijn ook een waterbalans, afvoerduurlijnen en afvoerlopen gegeven.

In tabel 4.6 zijn de standaardafwijkingen van de verschillen tussen de gemeten en berekende waarden van de grondwaterstanden voor de peilbuizen gegeven. Deze tabel is op dezelfde manier opgebouwd als tabel 4.4. De standaardafwijkingen σ zijn de standaardafwijkingen van de verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden zonder correctie, σ^* zijn de standaardafwijkingen met correctie. De code van de peilbuizen behorende bij de knooppunten staat in tabel 4.4.

Tabel 4.6 Standaardafwijking van de verschillen tussen de gemeten en gesimuleerde grondwaterstanden zonder (σ) en met correctie (σ^*) ter plekke van de peilbuizen.

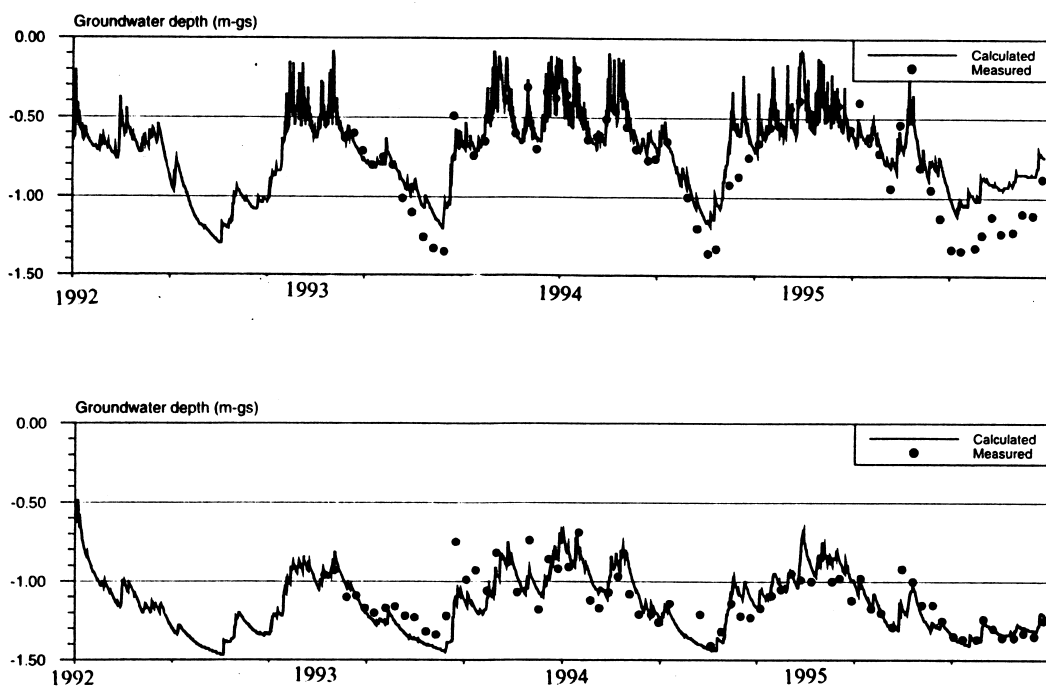
Knooppunt	σ	Correctie	σ^*
335	0.57	-0.33	0.28
316	0.46	-	0.46
353	0.63	-	0.63
243	0.28	0.42	0.28
241	0.62	-0.49	0.18
204	0.18	0.02	0.19
154	0.18	-	0.18
158	0.19	-	0.19
116	0.15	0.05	0.16
188	0.17	-	0.17
296	0.21	-	0.21
104	1.01	-0.99*	0.20
228	0.87	-0.24	0.66
283	0.22	-0.21	0.22

* Deze waarde is besproken in § 4.4.5.

Uit tabel 4.6 valt af te leiden dat 9 van de 14 buizen een standaardafwijking hebben die kleiner is dan 0.23. Dit is een redelijk resultaat. Net als in de calibratieperiode wordt de stijghoogte in het knooppunt 353 te hoog gesimuleerd, maar het verloop heeft wel de goede dynamiek (bijlage 7). Voor de validatieperiode geldt voor 316 het zelfde als voor de calibratieperiode. Verder valt de grote standaardafwijking van knooppunt 228 op. Deze

wordt besproken in bijlage 7.

In figuur 4.8 zijn de tijd-stijghoogtelijnen gegeven voor de knooppunten 204 en 116 en respectievelijk die van de peilbuizen 6 en 9. Bij deze knooppunten benaderen de berekende lijnen de gemeten waarden van de peilbuizen elkaar redelijk. Het knooppunt 116 heeft een correctie van 0.05 m zodat de waarden van de peilbuis nog 0.05 m omlaag verplaatst moeten worden. De stijghoogtelijnen van deze knooppunten fluctueren duidelijk meer dan de lijnen voor de periode 1989-1992. Dit wordt veroorzaakt door de weersomstandigheden. In de periode 1992-1995 was het neerslagpatroon veel grilliger. De totale neerslag was ook veel hoger. De standaardafwijkingen zijn over het algemeen redelijk dus simuleert het model ook in een natte periode de grondwaterstanden redelijk goed. Vijf buizen hebben zelfs een lagere standaardafwijkingen dan voor de calibratieperiode.



Figuur 4.8 Tijdstijghoogtelijnen voor knooppunten 204 en peilbuis 6 (boven) en knooppunt 116 en peilbuis 9 (beneden) over 1993-1995.

Afvoerverlopen van de periode 1993-1995

Van de periode 1993-1995 waren geen gemeten afvoeren in digitale vorm beschikbaar. Daarom zijn de gesimuleerde afvoeren niet op dezelfde manier beoordeeld worden als de gemeten grondwaterstanden. Omdat de afvoer voor dit onderzoek het belangrijkste modelresultaat is, is hieraan toch aandacht besteed. Om na te gaan of het model de afvoer ook buiten de calibratieperiode goed simuleert is aan de hand van de gesimuleerde afvoerverlopen, de bijbehorende afvoerduurlijnen en de waterbalansen het verschil bestudeerd tussen de calibratie- en de validatieperiode.

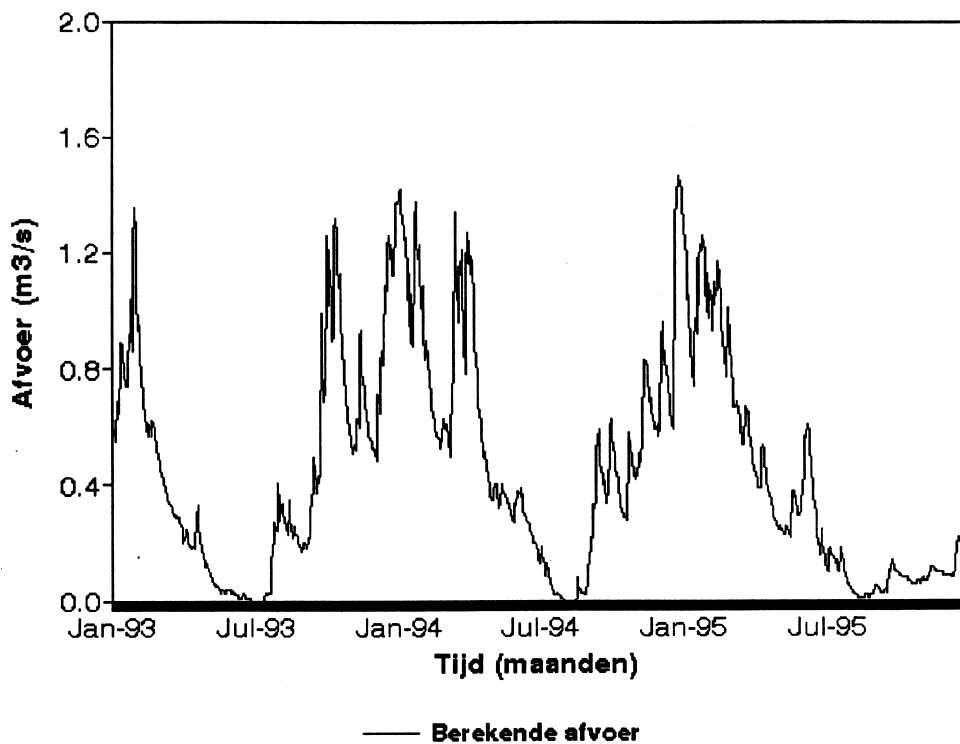


Fig. 4.9a Berekend afvoerverloop over de periode 1993-1995 voor de Poelsbeek.

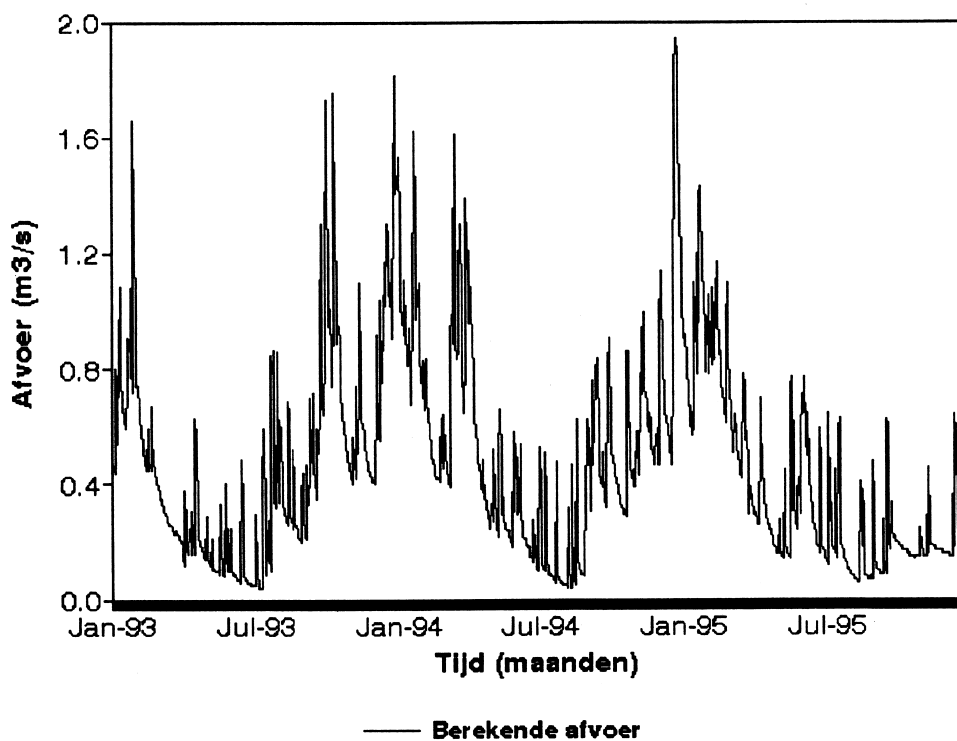


Fig 4.9b Berekend afvoerverloop over de periode 1993-1995 voor de Bolscherbeek.

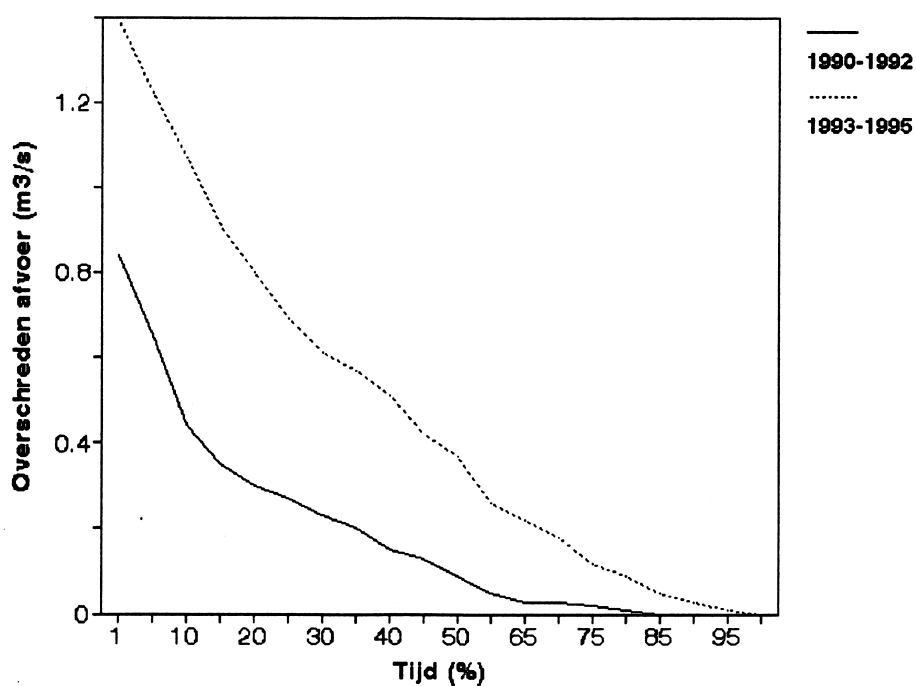


Fig. 4.10a Afvoerduurlijnen op grond van berekende waarden voor Poelsbeek over de calibratieperiode (1990-1992) en de validatieperiode (1993-1995).

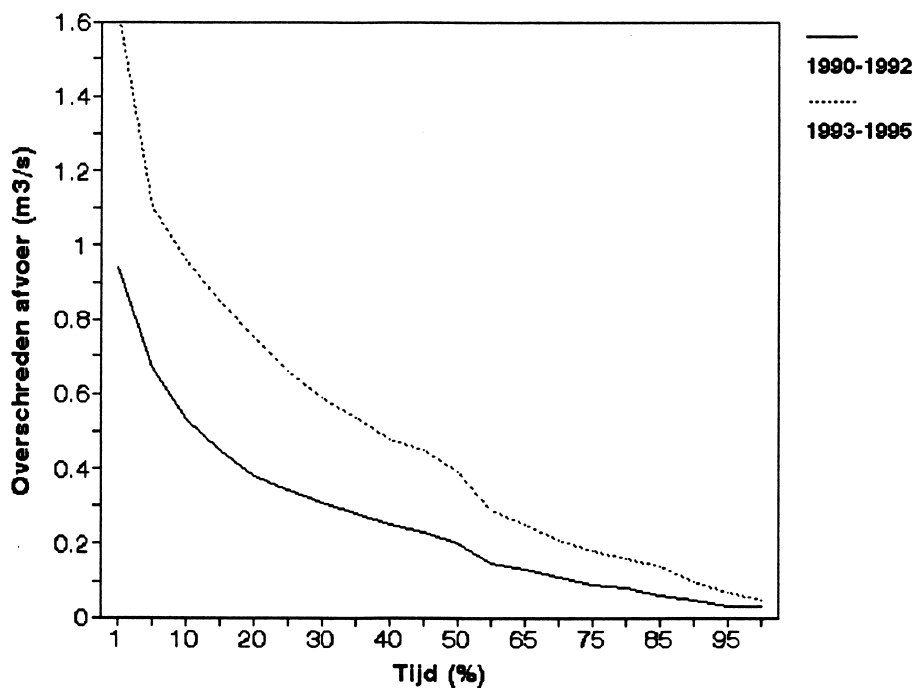


Fig. 4.10b Afvoerduurlijnen op grond van berekende waarden voor Bolscherbeek over de calibratieperiode (1990-1992) en de validatieperiode (1993-1995).

Als de afvoerverlopen en de afvoerduurlijnen van de calibratieperiode (1990-1992) en de validatieperiode (1993-1995) (figuren 4.6, 4.9 en 4.10) met elkaar vergeleken worden valt onmiddellijk op dat het afvoerverloop van de laatste periode in het geheel niet lijkt op dat van de eerste. Voor beide beken zijn de afvoeren in de periode 1993-1995 veel hoger dan in de periode 1990-1992. Uit de waterbalansen blijkt dan ook dat de neerslag over de jaren 1993 en 1994 hoger is dan tijdens de voorgaande jaren. De verdamping is echter nauwelijks hoger, dus is de hogere neerslag via het oppervlaktewater afgevoerd. In 1995 is de actuele verdamping relatief hoog. Dit valt mogelijk te verklaren uit een hoge potentiële verdamping waaraan voldaan kan worden door naast neerslag vocht uit het grondwater te gebruiken. In de voorafgaande natte jaren is er voldoende water geborgen. In 1995 neemt de berging van de wortelzone en verzadigde zone flink af.

Tabel 4.7 Waterbalansen van de jaren 1990-1995 (mm/jaar)

Waterbalanstermen	Calibratieperiode			Validatieperiode		
	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Neerslag	645	518	745	936	993	750
Verdamping	-453	-415	-459	-449	-476	-517
Afvoer oppervlaktewater	-188	-171	-282	-489	-583	-421
Effluent RWZI	44	37	47	55	59	46
Randflux	8	8	8	8	8	8
Bergingsafname wortelzone	-12	5	-16	-17	- 7	41
Bergingsafname grondwater	-44	16	-44	-46	7	84
Bergingsafname oppervlaktewater	-1	0	-2	1	0	10
Balansfout	-1	-2	-3	-1	1	1

* Uitgaande fluxen zijn negatief en ingaande fluxen positief.

Hoofdstuk 5 De invloed van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren

5.1 Inleiding

Een van de doelstellingen van het onderzoek is het bepalen van de invloed van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren. Met een model kunnen fysische gebiedskenmerken gevarieerd worden, zodat het effect van deze kenmerken op de lage afvoeren bepaald kan worden. De gebiedskenmerken van het studiegebied zijn beschreven in hoofdstuk 2 en het model van het gebied is beschreven in hoofdstuk 4.

De invloed van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren wordt binnen het Low-flow project (hoofdstuk 1) bepaald om meer kennis te krijgen over wanneer lage afvoeren optreden. Met die kennis kan een voorspelling gedaan worden over het optreden van lage afvoeren in niet-gemodelleerde gebieden. Behalve in het onderzoeksgebied van deze studie wordt ook in andere gebieden in Europa onderzoek gedaan voor het Low-flow project.

De fysische gebiedskenmerken zijn gerelateerd aan de geologische opbouw en het landgebruik van het gebied. De geologische opbouw van het gebied komt vooral tot uitdrukking in de doorlatendheid, de dikte van het watervoerend pakket, de helling van het gebied, de bergingscoëfficiënt, en het bodemtype. De ontwateringsdiepte en de drainageweerstand worden door het landgebruik bepaald.

In de volgende paragrafen wordt beschreven voor welke fysische gebiedskenmerken de invloed op hydrologische droogte is bepaald, en op de wijze waarop dit is gedaan.

5.2 Werkwijze bij het bepalen van de invloed van fysische gebiedskenmerken

Om de invloed van de gebiedskenmerken te bepalen, is uitgegaan van het gecalibreerde model. Om te voorkomen dat effecten meespelen die door andere dan de aangepaste parameter worden veroorzaakt, is gekozen om de parameter waarvan de invloed bepaald wordt een constante waarde voor het hele gebied te geven. De overige parameters blijven onveranderd. Ook de randflux is gelijk gehouden aan die in het gecalibreerde model. De netto instromende randflux in het gecalibreerde model is slechts 8 mm per jaar. Dit betekent dat voor alle scenario's uitgegaan is van een bijna-gesloten bassin met een vaste randflux.

De volgende variabelen zijn aangepast: doorlaatvermogen, helling van het maaiveld en drainageweerstand. Eerst zijn twee reeksen van scenario's gedraaid, reeks A en reeks B, waarin respectievelijk het doorlaatvermogen en de helling gevarieerd zijn. Vervolgens is uit beide scenarioreeksen één scenario gekozen, waarin de drainageweerstand aangepast is.

De berekende afvoerreeksen van de scenario's zijn geanalyseerd over de periode 1969-1995. Er is gerekend over de periode van 1960-1995. Dit is gedaan om te voorkomen dat de beginvoorwaarden de resultaten beïnvloeden. Als meteorologische invoer wordt de neerslag gemeten bij Hupsel en de referentieverdamping van de Bilt gebruikt. Met EXDEV zijn het aantal droge dagen, het aantal droge perioden en het totale volume van het afvoertekort bepaald. Hierbij zijn als drempelwaarden $Q = 0.043 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ voor de afvoer van

de Poelsbeek en $Q = 0.116 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ voor de afvoer van de Bolscherbeek gebruikt. Dit zijn respectievelijk de Q65 en de Q70 van de gemeten afvoeren over de jaren 1990-1992. Deze keuze van deze waarden is besproken in hoofdstuk 3. Het gebruik van deze drempelwaarden is een arbitraire keuze. De plaats in de beken waarvoor de berekende afvoer geanalyseerd wordt is gelijk aan de plaats waar de peilschrijvers staan (figuur 2.6). Op deze plaatsen is de afvoer ook gecalibreerd. Opgemerkt moet worden dat deze meetpunten niet geheel stroomafwaarts in het modelgebied liggen.

Ook zijn afvoerduurlijnen en waterbalansen van de verschillende situaties bekeken om het effect van een gebiedskenmerk op het totale bereik van afvoeren te kunnen beoordelen en de oorzaken van de effecten te kunnen verklaren. De waterbalansen zijn opgesteld voor de periode 1975-1979. In deze periode vallen twee droge jaren en enkele natte jaren. Deze periode begint 15 jaar na het begin van de rekenperiode, waardoor effecten die veroorzaakt worden door de beginvoorwaarden niet meer van belang zijn. Er zijn echter ook andere balansperioden mogelijk. De oppervlakkige afstroming is in de balansen niet opgenomen, omdat deze in alle scenario's gelijk is aan 0 mm/jaar.

In tabel 5.1 staat aangeven welke scenario's doorgerekend zijn om de invloed van het doorlaatvermogen, de helling en de drainageweerstand op lage afvoeren te bepalen.

Tabel 5.1 De scenario's die doorgerekend zijn, om de invloed van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren te bepalen.

		Scenario nummer				
Scenariogroep	variabele	1	2	3	4	5
A	kD (m^2d^{-1})	100	250	1000	2000	-
B	helling (%)	0	0.25	0.5	1.0	2.5
C	drainageweerstand	C1 (scenario A3 en γ^*2) vergeleken met A3				
		C2 (scenario B4 en γ^*2) vergeleken met B4				

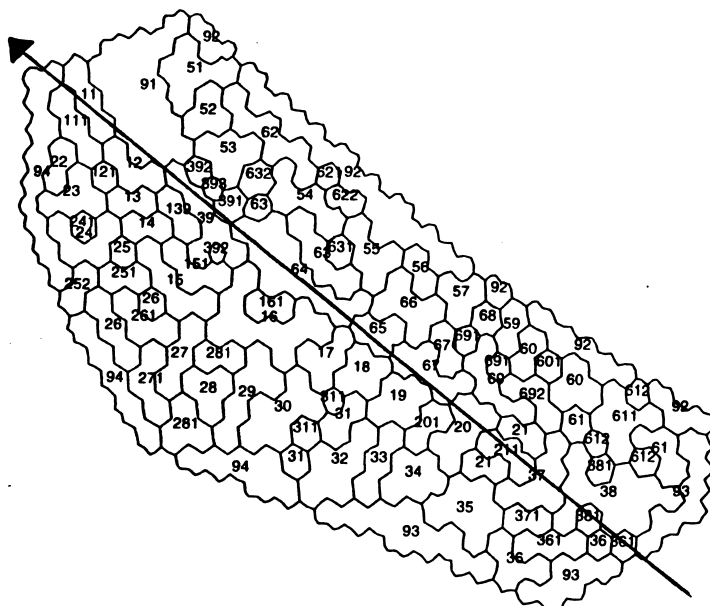


Fig. 5.1 De hellingsrichting van de scenario's uit groep B

Bij de scenario's uit groep B wordt de maaiveldshoogte zo aangepast, dat het hele gebied een constante helling krijgt. De hellingsrichting is zo gekozen dat deze zo goed mogelijk overeenkomt met de stromingsrichting van de beken. De hellingsrichting van het maaiveld van de scenario's B1 tot en met B5 is aangegeven in figuur 5.1.

De scenario's C1 en C2 worden gevormd door in respectievelijk scenario A3 en B4 de drainageweerstand met een factor 2 te vermenigvuldigen.

Bij het opstellen van scenario's om de invloed van gebiedskenmerken te bepalen, is rekening gehouden met de realiteit en de beperkingen van SIMGRO. De variabelen mogen niet op een zodanige wijze veranderd worden, dat het concept van SIMGRO of de schematisatie van het studiegebied niet meer kloppen. Dit houdt in dat de Dupuit aanname voor grondwaterstroming geldig zal moeten blijven en dat het oppervlaktewater gemodelleerd moet kunnen worden zoals in hoofdstuk 4 beschreven is. Bovendien moet het model consistent blijven. De gebiedskenmerken waarvan de invloed bepaald wordt, mogen daarom niet zo extreem aangepast worden dat de overige gebiedskenmerken, zoals bijvoorbeeld het huidige waterlopenstelsel, er totaal niet meer bij passen.

5.3. De invloed van het doorlaatvermogen op lage afvoeren

5.3.1 Resultaten

In tabel 5.2 en figuur 5.2 wordt het aantal droge perioden, het totaal aantal droge dagen en de volumes van de afvoertekorten gegeven voor de verschillende scenario's waarin het doorlaatvermogen is aangepast. Voor de Poelsbeek is behalve een droogteanalyse over de hele periode van 1969-1995 ook een droogteanalyse voor de 6 droge jaren afzonderlijk uitgevoerd. Dit is alleen voor de Poelsbeek gedaan, omdat dit de meest natuurlijke beek is en deze beek niet onder invloed staat van een RWZI. Deze 6 droge jaren vormen samen 16% van de totale periode.

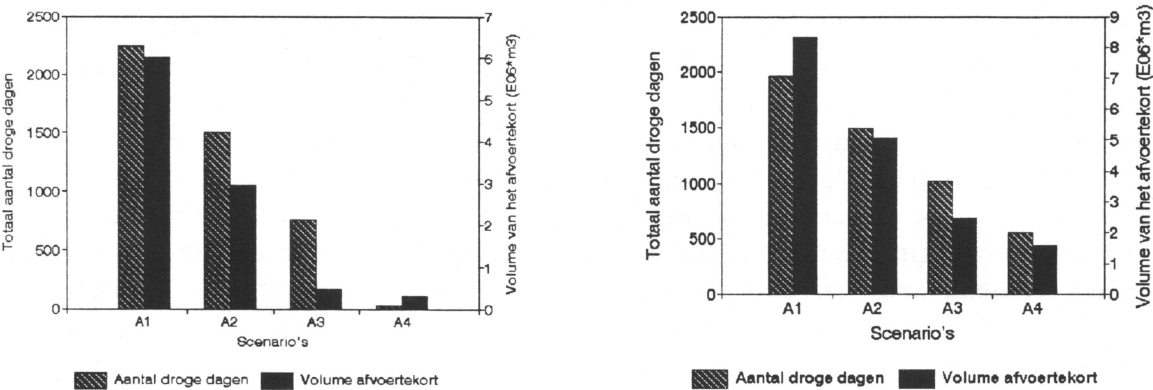


Fig. 5.2 Het verband tussen het doorlaatvermogen en hydrologische droogte voor de Poelsbeek en de Bolscherbeek

Tabel 5.2a Droogteanalyse van de periode 1969-1995 en de zes droge jaren afzonderlijk voor de scenario's A van de Poelsbeek

Droogtekaracteristieken	A1	A2	A3	A4
aantal perioden	68	57	26	11
aantal dagen	2417	1436	383	230
totaal volume (m ³)	6.01 * 10 ⁶	2.97 * 10 ⁶	0.48 * 10 ⁶	0.31 * 10 ⁶
aantal dagen 1973	118	104	46	40
aantal dagen 1975	157	90	31	9
aantal dagen 1976	219	187	104	98
aantal dagen 1982	178	133	78	69
aantal dagen 1983	127	56	15	0
aantal dagen 1989	149	112	30	5
som dagen droge jaren	948	682	304	221
% dagen in droge jaren	39	47	79	96

Tabel 5.2b Droogteanalyse van de periode 1969-1995 voor de scenario's A van de Bolscherbeek

Droogtekaracteristieken	A1	A2	A3	A4
aantal perioden	306	225	132	95
aantal dagen	2031	1466	872	665
totaal volume (m ³)	8.33 * 10 ⁶	5.06 * 10 ⁶	2.45 * 10 ⁶	1.59 * 10 ⁶

Uit tabel 5.2a blijkt dat in de Poelsbeek naarmate de kD toeneemt en de droogte afneemt een groter deel van de droge dagen in meteorologisch droge jaren valt. Het aantal droge jaren is bedraagt 16% van het totaal aantal jaren. Het percentage van het totaal aantal droge dagen dat in de droge jaren valt, is veel hoger. Hydrologische droogte hangt dus zeer nauw samen met meteorologische droogte. De tabellen 5.2a en 5.2b en de bijbehorende grafieken in figuur 5.2 laten zien dat het aantal droge dagen en het volume van het afvoertekort lager is bij een hogere kD. Dit komt overeen met de afvoerduurlijnen in figuur 5.3 en de afvoerverlopen van het droge jaar 1983 in bijlage 9, waarin te zien is dat de lage afvoeren toenemen. De afvoerverlopen van 1983 geven een voorbeeld van het effect van de vergroting van de kD op de afvoeren in droge jaren. In andere droge jaren is het effect vergelijkbaar. Bij de Poelsbeek is te zien dat de lage afvoeren hoger en de piekafvoeren lager worden bij een hogere kD (figuur 5.3a), de totale hoeveelheid afvoer neemt bij deze beek toe. Behalve de lage afvoeren zijn de piekafvoeren bij de Bolscherbeek ook hoger bij een hogere kD (figuur 5.3b), alleen is de toename bij de piekafvoeren kleiner dan bij de lage afvoeren.

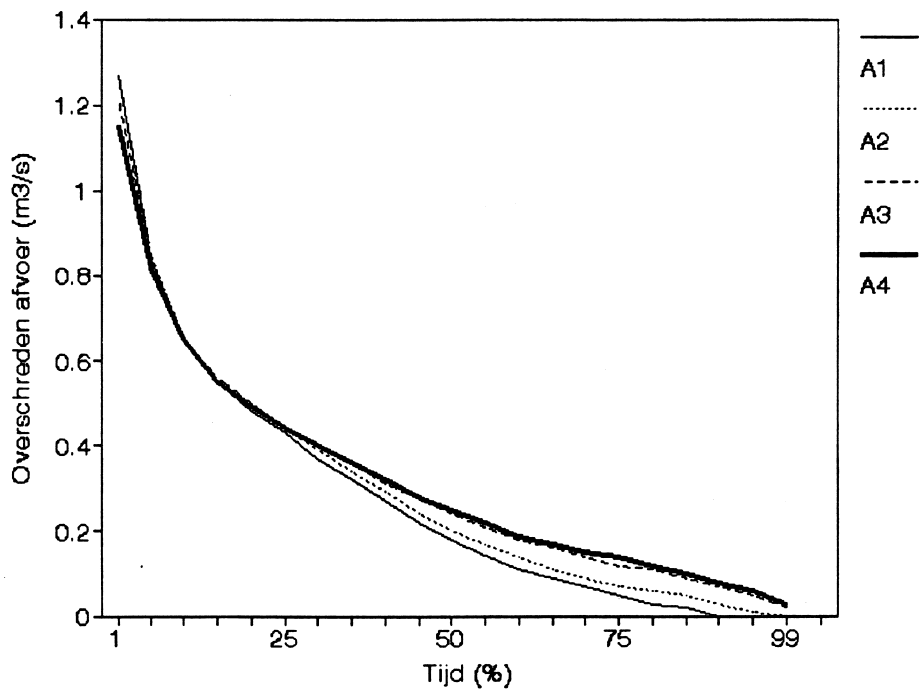


Fig.5.3a Afvoerduurlijnen van de Poelsbeek voor verschillende doorlaatvermogens van de periode 1969-1995.

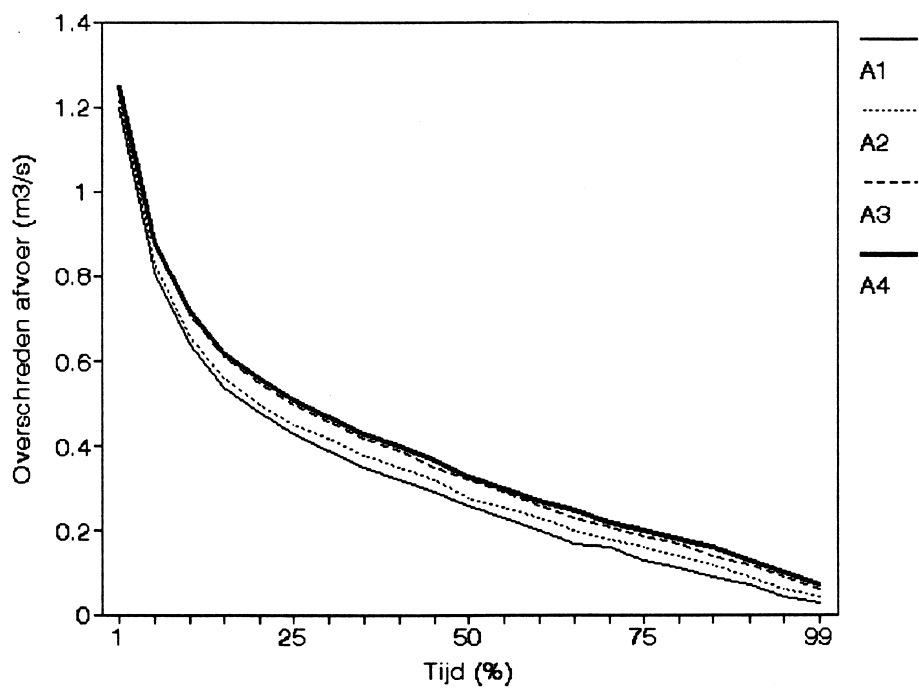


Fig.5.3b Afvoerduurlijnen van de Bolscherbeek voor verschillende doorlaatvermogens van de periode 1969-1995

Tabel 5.3 Waterbalans van de periode 1975-1979 voor de scenario's A in mm per jaar

Balansterm	A1	A2	A3	A4
Percolatie*	194.1	201.7	219.9	230.7
Drainage 1° systeem*	64.2	75.8	95.7	104.2
Drainage 2°, 3° systeem, greppel*	143.4	140.7	141.5	145.7
Neerslag	647.8	647.8	647.8	647.8
Verdamping	-456.6	-449.7	-431.3	-420.0
Effluent RWZI	43.3	43.3	43.3	43.3
Q _{beken} (oppervlaktewater)	-213.6	-232.7	-266.6	-284.8
Q _{rand} (oppervlaktewater)	-38.6	-29.3	-18.8	-18.4
Randflux	7.9	7.9	7.9	7.9
Bergingsafname (grondwater)	5.5	7.0	9.9	11.3
Bergingsafname (wortelzone)	2.9	3.6	3.4	2.9
Bergingsafname (oppervlaktewater)	0.6	0.6	0.5	0.4
Balansfout	- 0.8	-1.5	- 3.9	- 9.6

* Deze fluxen maken geen deel uit van de waterbalans.

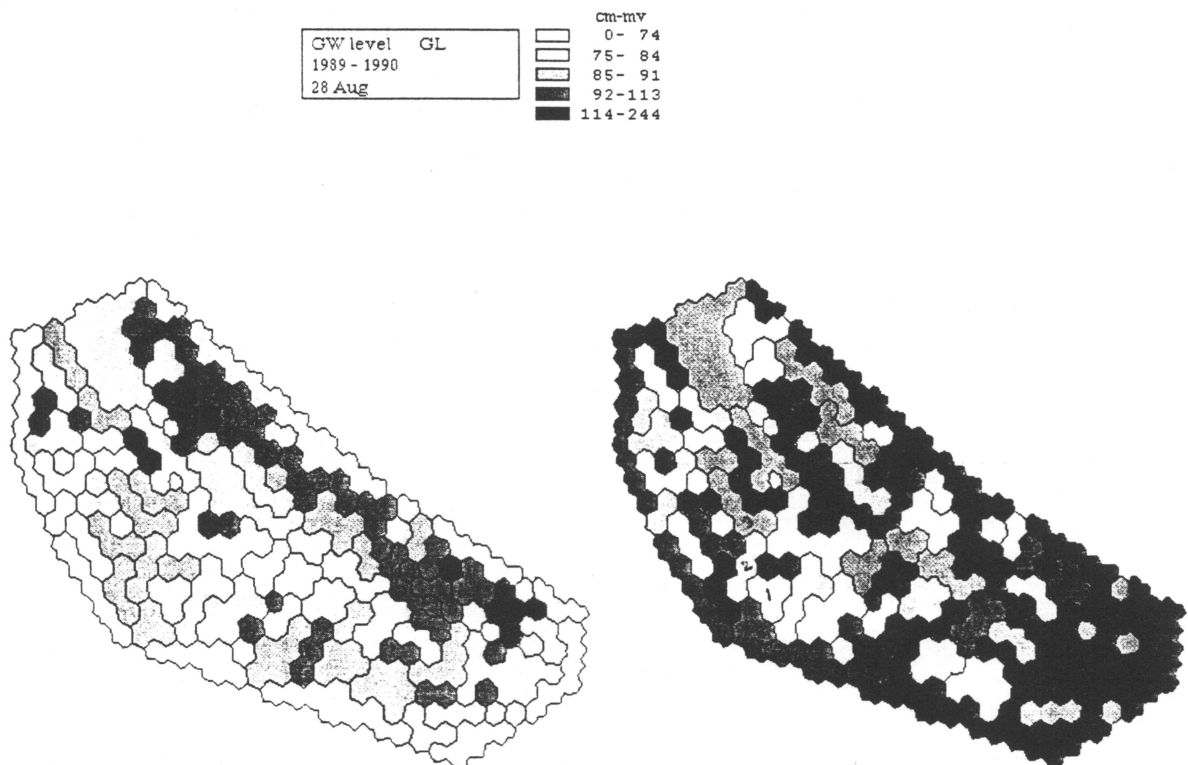


Fig. 5.4 Gesimuleerde grondwaterstandskarten op 28 augustus 1990 van scenario A1 (links) en A4 (rechts)

In tabel 5.3 zijn fluxen het gebied uit met een '-' aangegeven. Uit tabel 5.3 blijkt dat de verdamping kleiner en de percolatie groter wordt, naarmate de kD toeneemt. De oppervlaktewaterafvoer van de beken (Q_{beken}) neemt eveneens toe, terwijl de oppervlaktewaterafvoer van de randgebieden (Q_{rand}) afneemt. Bovendien loopt de balansfout op naarmate de kD toeneemt.

De grondwaterstandskaarten in figuur 5.4 laten zien dat de grondwaterstanden in scenario A4 ten opzichte van scenario A1 bij de waterscheidingen en bovenstrooms in het modelgebied gedaald zijn en bij de beken gestegen of gelijk gebleven.

5.3.2 Discussie

Uit de resultaten blijkt dat zowel de totale afvoeren als de lage afvoeren van de beide beken toenemen als de kD groter wordt. Dit kan verklaard worden door uit te gaan van de algemene formule voor grondwaterstroming:

$$q = kD I$$

met: q = grondwaterflux ($\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)
 kD = doorlaatvermogen ($\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)
 I = gradiënt van de stijghoogte (-)

Uit de formule blijkt dat bij aanname van een gelijke grondwaterflux en een hogere kD de gradiënt van de grondwaterspiegel omgekeerd evenredig met de kD moet veranderen en dus kleiner zal worden. Dit betekent dat de grondwaterspiegel vlakker zal worden. Wanneer de scenario's onderling vergeleken worden blijkt dat de grondwaterstanden bij de waterscheiding en bovenstrooms in het gebied lager en de grondwaterstanden bij de beken hoger worden, naar mate de het doorlaatvermogen toeneemt (figuur 5.4). De grondwaterspiegel is dus inderdaad vlakker geworden. De aanname dat de grondwaterflux niet veel zal veranderen is gebaseerd op het feit dat de randfluxen gelijk blijven en de hoeveelheid neerslag ook.

Doordat de grondwaterstanden in de scenario's A2, A3 en A4 in het grootste deel van het gebied lager zijn dan in scenario A1 (figuur 5.4), is de percolatie in deze scenario's groter dan in scenario A1 (tabel 5.3). Het gevolg van een afname van de capillaire opstijging naar de wortelzone is dat er minder vocht in de wortelzone aanwezig is. Hierdoor neemt de verdamping af. Het verschil in verdamping tussen de scenario's A1 en A4 bedraagt 36 mm per jaar (tabel 5.3). Doordat er minder water verdampt, wordt er meer water via het grondwater naar het oppervlaktewater afgevoerd. De grondwaterflux in de formule blijft dus niet helemaal gelijk, maar neemt iets toe. Ook blijkt dat door de diepere grondwaterstanden het deel van het grondwater dat naar het primaire systeem draineert, toeneemt in verhouding tot het deel van het water dat naar de overige waterlopen draineert. Het deel van het oppervlaktewater dat via de beken afgevoerd wordt, neemt toe in verhouding met het deel van het oppervlaktewater dat via de randgebieden het modelgebied verlaat. De

oorzaak hiervan is dat de grondwaterspiegel in de randgebieden zakt, waardoor er minder grondwater in het oppervlaktewater terecht komt. Bij een grotere kD stroomt er dus meer grondwater uit de randgebieden naar de grotere en diepere waterlopen van de beken en neemt de drainage naar de kleinere waterlopen in de randgebieden af. Hierdoor neemt de oppervlaktewaterafvoer van de beken toe en van de randgebieden af.

De lage afvoeren worden niet evenredig groter met de toename van het doorlaatvermogen (figuur 5.2). De afname van de droogte is voor beide beken verschillend. Het is dus moeilijk om de resultaten van deze scenario's te extrapoleren naar andere gebieden. De resultaten zijn afhankelijk van de overige gebiedskenmerken van een gebied. Het extrapoleren naar gebieden die geen gesloten bassin vormen, is helemaal niet mogelijk.

Dit onderzoek is vooral gericht op de lage afvoeren, daarom is het verschil in het effect op de piekafvoeren tussen de beide beken niet nader onderzocht. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is dat er benedenstrooms in het gebied bij de scenario's met de hoge kD -waarden een accumulatie van grondwater optreedt, doordat de noordwestrand een vaste grondwaterflux heeft. Door de accumulatie is het mogelijk dat bij de ene beek de grondwaterstanden net iets meer stijgen dan bij de andere, waardoor het greppelsysteem aan de afvoer bij gaat dragen en de piekafvoeren stijgen. Deze hypothese is niet gecontroleerd, omdat dit onderzoek zich niet richt op de piekafvoeren.

De balansfout in tabel 5.3 wordt veroorzaakt doordat het model bij lage grondwaterstanden soms meer water uit de waterlopen in de bodem laat infiltreren dan er in de waterlopen aanwezig is. De fout is echter te klein om de resultaten sterk te beïnvloeden. Het referentiemodel dat als uitgangsmodel gebruikt is voor het maken van deze scenario's, is niet geschikt voor het simuleren van situaties met zeer hoge doorlaatvermogens. De balansfout bij een kD van $2000 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ is nog redelijk, maar een grotere balansfout zou de resultaten kunnen gaan beïnvloeden.

5.3.3 Conclusie

Door het verhogen van het doorlaatvermogen wordt het grondwaterstandsverloop in het gebied vlakker, waardoor de grondwaterstanden in het grootste deel van het gebied zakken. Hierdoor neemt de verdamping af en de afvoer van oppervlaktewater toe. Ook de lage afvoeren nemen toe, maar niet evenredig met de toename van het doorlaatvermogen. In gebieden met een hogere kD kunnen dus minder droge dagen en een kleiner volume van het afvoertekort verwacht worden. Een kwantitatieve uitspraak over het aantal droge dagen en het totaal volume van het afvoertekort in niet gemodelleerde gebieden is niet mogelijk. Hiervoor zal eerst onderzocht moeten worden in hoeverre het effect van een hogere of lagere kD waarde afhangt van de overige gebiedskenmerken. De met dit model verkregen resultaten gelden alleen voor een gesloten bassin.

5.4 De invloed van de helling van het gebied op de lage afvoeren

5.4.1 Resultaten

In de tabellen 5.4a en 5.4b zijn voor de vijf scenario's met een verschillende maaiveldshelling (tabel 5.1) de resultaten gegeven van de droogteanalyse.

Als gekeken wordt naar het totaal aantal droge dagen en het totaal afvoertekort valt op dat de Poelsbeek en de Bolscherbeek verschillend reageren op een toename van de helling van het gebied. Het aantal droge dagen en het totale volume van het afvoertekort nemen voor de Poelsbeek toe naarmate de helling van het gebied toeneemt.

Tabel 5.4a Droogteanalyse over de periode 1969-1995 van de Poelsbeek voor de scenario's B.

scenario	B1	B2	B3	B4	B5
aantal perioden	63	69	67	68	71
aantal dagen	2839	2971	3103	3131	3466
totaal volume (10 ⁶ m ³)	8.20	8.55	8.89	9.07	10.65

Tabel 5.4b Droogteanalyse over de periode 1969-1995 van de Bolscherbeek voor de scenario's B

Scenario	B1	B2	B3	B4	B5
aantal perioden	334	322	310	275	190
aantal dagen	2172	2107	2030	1776	1249
totaal volume (10 ⁶ m ³)	9.23	8.97	8.39	6.86	3.91

Het totale volume van het afvoertekort en het aantal droge dagen neemt voor de Bolscherbeek neemt af met toenemende helling. Dit is ook af te leiden uit de afvoerduurlijnen in figuren 5.5a en 5.5b. Bij de Poelsbeek dalen de afvoeren over het hele bereik bij toenemende helling. De invloed van scenario B2 is hierin nauwelijks zichtbaar. Deze lijn valt samen met die van B1. In de Bolscherbeek nemen de afvoeren die meer dan 15% van de tijd overschreden worden toe. De (hoge) afvoeren die minder dan 15% van de tijd overschreden worden nemen juist iets af bij toenemende helling. Voor de scenario's B2 en B3 is dit in figuur 5.5b niet zichtbaar.

Tabel 5.5 geeft de waterbalansen. Uit de tabel blijkt dat de verdamping over het gehele gebied licht afneemt bij toenemende helling. De oppervlaktewaterafvoer van de beken (Q_{beken}) neemt af en die van de randgebieden (Q_{rand}) neemt toe. De totale drainage neemt toe. De drainage naar alleen het primair systeem neemt af. De percolatie vanuit de wortelzone naar het grondwater neemt toe met toenemende helling.

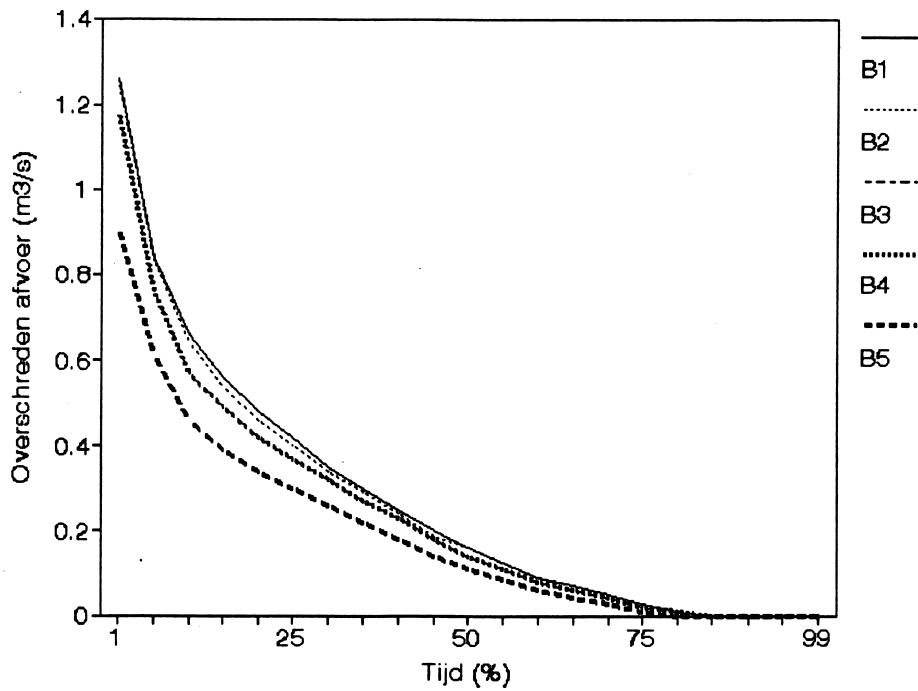


Fig 5.5a Afvoerduurlijnen van de Poelsbeek voor verschillende gebiedshellingen voor de periode 1969-1995

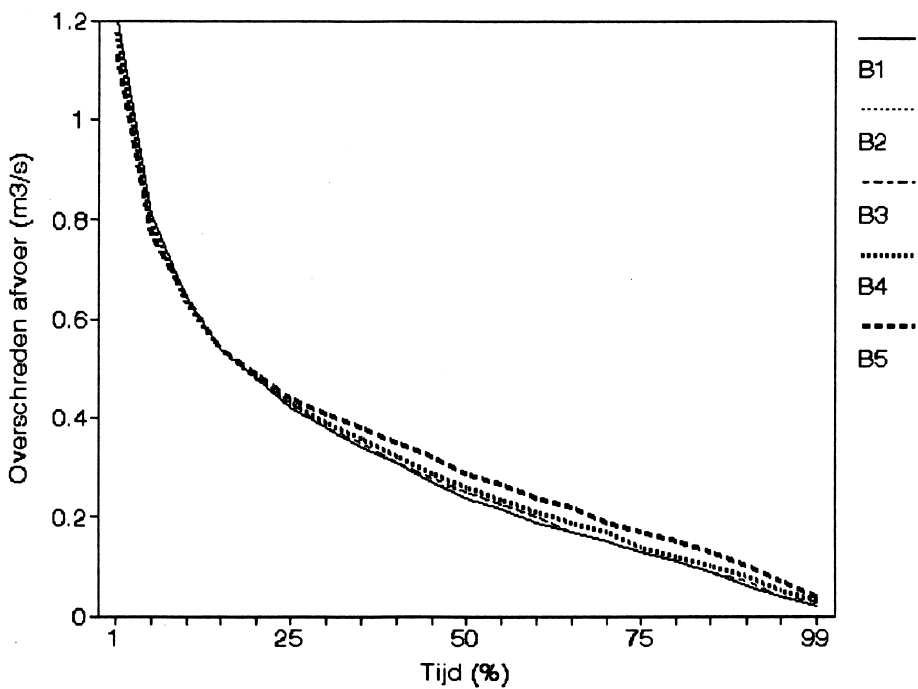


Fig 5.5b Afvoerduurlijnen Bolscherbeek voor verschillende gebiedshellingen voor de periode 1969-1995

Tabel 5.5 Waterbalanstermen in mm per jaar (1975-1979)

Balansterm	B1	B2	B3	B4	B5
Percolatie*	190.9	191.9	195.8	209.0	237.2
Drainage 1 ^e systeem*	66.6	69.0	64.8	54.0	13.4
totale drainage*	203.7	204.6	209.8	227.1	292.3
Neerslag	647.8	647.8	647.8	647.8	647.8
Verdamping	-459.5	-458.5	-455.1	-441.8	-412.4
effluent RWZI	43.3	43.3	43.3	43.3	43.3
Q _{beken} (oppervlaktewater)	-204.8	-201.2	-196.4	-192.3	-191.3
Q _{rand} (oppervlaktewater)	-42.5	-47.6	-58.5	-81.7	-141.7
Randflux	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
Bergingsafname Grondwater	4.8	4.8	6.1	10.2	20.3
Bergingsafname Wortelzone	2.6	2.6	3.1	3.1	2.0
Bergingsafname Oppervlaktewater	0.6	0.6	0.6	0.4	1.7
Balansfout	0.2	-0.3	-1.2	-3.1	-22.4

* Deze fluxen maken geen deel uit van de waterbalans.

5.4.2 Discussie

Bij een toename van de maaiveldshelling neemt de plaatshoogtegradiënt tussen de basis van het watervoerend pakket aan de zuidoost- en de noordwestrand van het gebied toe. Dit wordt veroorzaakt doordat de dikte van het watervoerendpakket in SIMGRO is opgehan- gen aan maaiveld. Bij een grotere maaiveldshelling van het modelgebied wordt dus ook de helling van het watervoerend pakket groter. Door de grotere plaatshoogtegradiënt neemt stijghoogtegradiënt toe. Hierdoor gaat het grondwater in de hellingsrichting van de beken sneller stromen. In het grootste deel van het gebied (behalve benedenstrooms) zal dan meer water afgevoerd worden via het grondwater waardoor de grondwaterstand in het grootste deel van het modelgebied daalt. Dit heeft tot gevolg dat de verdamping afneemt en de totale oppervlaktewaterafvoer ($Q_{beken} + Q_{rand}$, tabel 5.5) toe.

Alleen in de benedenstrooms gelegen deelgebieden stijgt de grondwaterstand als gevolg van de toegenomen grondwateraanvoer. Dit wordt mede veroorzaakt door de vaste randflux over de noordwestrand. De afvoer van oppervlaktewater neemt in deze deelgebie- den door de hogere grondwaterstanden toe. Ter verduidelijking van de verandering van de verdeling van de totale oppervlaktewaterafvoer is tabel 5.6 opgenomen. Hierin is voor enkele scenario's voor de randgebieden en de beken het aandeel in de totale afvoer van oppervlaktewater aangegeven. Het aandeel van de beken samen neemt bij toenemende helling af. Het blijkt dat bij toenemende helling de afvoer van de Poelsbeek duidelijk afneemt maar de afvoer van de Bolscherbeek niet noemenswaardig verandert. De afvoer

van de stroomafwaarts gelegen randgebieden 91 en 94 (figuur 4.2) neemt relatief en absoluut toe bij toenemende helling, de deelgebieden 92 en 93 krijgen een kleiner aandeel in de totale afvoer van oppervlaktewater.

Tabel 5.6 Oppervlaktewaterafvoer van de twee beken en de randgebieden 91, 92, 93 en 94 voor de scenario's B1, B2 en B4 over de periode 1975-1979 (in mm per jaar en het percentage).

scenario	Afvoer	Poelsbeek	Bolscherbeek	91	92	93	94	totaal
B1	mm/jaar	98	107	4	12	18	9	247
	% van totaal	40	43	2	5	7	4	100
B2	mm/jaar	95	107	10	11	11	16	249
	% van totaal	38	43	4	4	4	6	100
B3	mm/jaar	86	106	35	10	1	36	274
	% van totaal	31	39	13	5	0	13	100

De afname van de drainage naar het primaire systeem kan nu ook verklaard worden. Het aandeel van oppervlaktewaterafvoer van de vier randgebieden samen neemt flink toe. Deze extra afvoer vindt voornamelijk plaats via greppels, secundaire en tertiare waterlopen omdat de randgebieden bijna geen primair systeem hebben. Het aandeel van de drainage naar het primaire systeem *van het gehele modelgebied* neemt hierdoor af. Voor de duidelijkheid: De drainagetermen in tabel 5.5 gelden voor het gehele modelgebied. De oppervlaktewaterafvoer van de beken en de vier randgebieden wordt berekend aan de hand van de drainagefluxen binnen de deelgebieden afzonderlijk!

Dat de toename van de oppervlaktewaterafvoer van de randgebieden 91 en 94 wordt veroorzaakt door de toename van de deelgebieden instromend grondwater wordt duidelijk uit tabel 5.7. Hierin is voor de scenario's B1 en B4 de waterbalans van de verzadigde zone van de vier randgebieden gegeven. Een (-) geeft aan dat het om een flux gaat die de verzadigde zone verlaat.

Verder is het opvallend dat het totaal volume van het afvoertekort met toenemende helling voor de Bolscherbeek afneemt, maar voor de Poelsbeek toeneemt. Het verschil in reactie op een toenemende helling valt te verklaren aan de hand van een aantal waterbalanstermen van de stroomgebieden van de Poelsbeek en Bolscherbeek afzonderlijk. Deze zijn weergegeven voor de scenario's B2 en B4 in tabel 5.8. Een stroomgebied bestaat in dit geval uit die deelgebieden waarvan het oppervlaktewater loost op de betreffende beek. De afvoer van oppervlaktewater van de randgebieden verdwijnt uit het model en horen dus qua oppervlaktewatersysteem niet tot de stroomgebieden van de beken.

De afvoer (Q_{beek}) en de totale drainage zijn voor het stroomgebied van de Bolscherbeek bij scenario B4 een fractie lager dan bij scenario B2. Toch neemt het totaal afvoertekort van deze beek af. Dit houdt in dat de lage afvoeren hoger worden wat overeen komt met de afvoerduurlijnen die bovendien laten zien dat de piekafvoeren lager worden. Het hydro-

deze beek af. Dit houdt in dat de lage afvoeren hoger worden wat overeen komt met de afvoerduurlijnen die bovendien laten zien dat de piekafvoeren lager worden. Het hydrologisch systeem van de Bolscherbeek gaat dus trager reageren op neerslag. Dit komt doordat de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone toeneemt als gevolg van een diepere grondwaterstand. De afname van de drainage als gevolg van de lagere hoeveelheid grondwater die het stroomgebied binnenkomt zou juist moeten leiden tot een toename van droogte. Blijkbaar is het effect hiervan ondergeschikt aan het effect van de tragere reactie van het stroomgebied omdat de droogte toch af neemt ondanks de verminderde aanvoer van grondwater.

Tabel 5.7 Waterbalansen van de verzadigde zone van de vier randgebieden voor de scenario's B1 en B4 over de periode 1975-1979 in mm per jaar.

Balans term	91		92		93		94	
	B2	B4	B2	B4	B2	B4	B2	B4
drainage	-227.4	-788.6	-156.4	-141.3	-186.6	-12.2	-261.9	-606.3
randflux	67.6	611.5	-47.5	-113.2	0.3	-310.1	78.5	436.3
percolatie	161.2	170.0	200.4	241.4	179.4	299.8	178.2	155.1
Bergingsafname	1.0	-7.1	-3.5	-13	-6.4	-22.5	-5.2	-14.2
balansfout	0.4	0.0	0.0	0.1	3.5	0.0	0.0	0.7

Tabel 5.8 Waterbalanstermen voor de stroomgebieden van de Poelsbeek en Bolscherbeek afzonderlijk voor de scenario's B1 en B4 in mm per jaar (1975-1979).

Waterbalansterm	Poelsbeek		Bolscherbeek	
	B2	B4	B2	B4
Neerslag	649.2	649.2	628.4	628.4
Verdamping	457.2	446.4	435.5	425.5
Percolatie	194.6	205.7	195.5	205.4
Drainage 1 ^e systeem	68.1	43.0	111.5	100.3
Totale drainage	196.1	172.6	219.1	218.2
Q _{beek} (oppervlaktewater)	94.5	85.9	106.8	106.4
Randflux (grondwater)	-3.6	-42.2	18.7	4.6
Bergingsafname grondwater	-5.2	-9.2	-5.0	-8.3

Het totaal afvoertekort van de Poelsbeek neemt toe. De afvoer van de beek is bij grotere helling ook lager (tabel 5.8). Uit de afvoerduurlijnen blijkt dat de afvoeren over het hele traject afnemen (figuur 5.5a). Het stroomgebied van de Poelsbeek gaat uiteraard ook trager reageren als gevolg van de toename van de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone. Dit is ook uit de afvoerduurlijnen af te leiden. Deze laten zien dat de hogere afvoeren

meer afnemen dan de lagere afvoeren. De verdere afname van de grondwater-aanvoer (toename van de grondwaterafvoer) bij scenario B4 ten opzichte van scenario B2 is voor dit stroomgebied veel extremer dan voor de Bolscherbeek, respectievelijk 38.6 en 14.1 mm per jaar. Als gevolg van dit verschil wordt het stroomgebied van de Poelsbeek droger ondanks dat het trager gaat reageren door de grotere bergingscapaciteit van de onverzadigde zone. Hiermee is verklaard waarom de hydrologische droogte in de Bolscherbeek afneemt bij toenemende helling en in de Poelsbeek juist toeneemt.

Het grote verschil in verandering van de grondwaterstroming over de randen van de stroomgebieden van de twee beken kan mogelijk het gevolg zijn van de methode waarop de gebiedshelling gemodelleerd is. In de scenario's is geprobeerd de hellingsrichting zo goed mogelijk overeen te laten komen met de stromingsrichting van de beken. Er moet echter rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de hellingsrichting iets te noordelijk of te zuidelijk is gekozen, zodat de richting van de grondwaterstroming niet geheel parallel ligt aan de loop van de beken. Het gevolg hiervan is dan dat een van de twee stroomgebieden relatief te veel of te weinig grondwater ontvangt. Zou de hellingsrichting iets zuidelijker gekozen zijn dan zou relatief meer grondwater het stroomgebied van de Poelsbeek binnenkomen. Deze beek zou dan een hogere afvoer krijgen waardoor minder vaak de drempelafvoer voor hydrologische droogte zou worden onderschreden. Volgens deze redenering zou de hydrologische droogte in de Bolscherbeek dan toenemen en in de Poelsbeek afnemen.

De vaste randvoorwaarden van het modelgebied hebben tot gevolg dat het verkregen resultaat alleen representatief is voor gesloten bassins. In deze scenario's stijgen de grondwaterstanden in de meest benedenstrooms gelegen deelgebieden bij een grotere maaiveldshelling, dit verschijnsel zal bij niet-gesloten bassins minder (sterk) optreden. Een stroomgebied dat er hetzelfde eruitziet als het studiegebied, met alleen een grotere maaiveldshelling, zal in werkelijkheid vermoedelijk een hogere grondwateruitstroming (randflux) hebben. Een stroomgebied wordt hierbij gedefiniëerd als dat gebied, bovenstrooms van een afvoermeetpunt, waarvan het oppervlaktewater via dat meetpunt afgevoerd wordt. Het verschil tussen de in- en uitgaande randflux bepaalt in dat geval het grondwaterstandsverloop in de hellingsrichting van het stroomgebied. De afvoer van de beken en het optreden van droogte is direkt afhankelijk van grondwaterstanden zodat ook het optreden van hydrologische droogte hierdoor bepaald wordt.

5.4.3 Conclusie

Als gevolg van een grotere maaiveldshelling neemt de grondwaterstroming in de hellingsrichting van het gebied toe. Hierdoor wordt meer water uit de stroomgebieden van de Poelsbeek en de Bolscherbeek afgevoerd via het grondwater naar de randgebieden 91 en 94 (figuur 4.2) en minder door de beken. De grote toename van de oppervlaktewaterafvoer van de deelgebieden 91 en 94 wordt veroorzaakt door de vaste randflux. Deze veroorzaakt benedenstrooms hogere grondwaterstanden. Door de afname van de afvoer van de beken zal de droogte ter plekke van het meetpunt in principe toenemen.

De toegenomen grondwaterstroming naar de randgebieden 91 en 94 leidt voor het grootste deel van beide stroomgebieden tot lagere grondwaterstanden. Hierdoor neemt de bergingscapaciteit van onverzadigde zone toe waardoor het stroomgebied trager gaat reageren op

neerslag. Dit leidt tot een andere verdeling van de afvoeren. Lage afvoeren worden hoger en hoge afvoeren lager, waardoor de hydrologische droogte in principe afneemt.

Het gecombineerd effect van afgenomen drainage (tabel 5.8) en de herverdeling van afvoeren over lage en hoge afvoeren leidt in de Bolscherbeek tot een afname van hydrologische droogte. Hier overheerst dus het effect van de tragere reactie op neerslag. In de Poelsbeek is het effect van de afgenomen drainage (tabel 5.8) groter dan dat van de tragere reactie op neerslag, waardoor de hydrologische droogte toeneemt.

Als gevolg van het probleem van de keuze van de hellingsrichting van het maaiveld (figuur 5.1) en doordat er sprake is van een gesloten bassin mogen de effecten van de scenario's op het optreden van hydrologische droogte zoals deze voor de beken zijn beschreven, niet gegeneraliseerd worden. Doordat de meetpunten voor de afvoer van de beide beken niet geheel stroomafwaarts liggen zijn de berekende afvoeren op deze punten niet geheel representatief voor het gehele stroomgebied. Het effect dat een toegenomen helling heeft op de afvoer benedenstrooms van de meetpunten wordt niet meegenomen.

5.5 De invloed van de drainageweerstand op de lage afvoeren.

5.5.1 Resultaten

Om de invloed van de drainageweerstand op de lage afvoeren te bepalen, zijn vier scenario's gebruikt. Ten eerst is scenario A3 met een constant doorlaatvermogen van $1000\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ vergeleken met scenario C1. Scenario C1 verschilt alleen van scenario A3 qua drainageweerstand. De drainageweerstand is in scenario C1 voor alle waterlopen twee keer zo hoog als in scenario A3. Ten tweede is scenario B4 vergeleken met C2. Scenario B4 en scenario C2 hebben beide een helling van het maaiveld van 1%. Scenario C2 heeft een drainageweerstand die twee maal zo groot is als de drainageweerstand in scenario B4 (tabel 5.1). In de scenario's C1 en C2 zijn de drainagewestanden van alle waterlopen, dus greppels, tertiaire, secundaire en primaire waterlopen, met een factor twee vermenigvuldigd.

Tabel 5.9a Droogteanalyse van de periode 1969-1995 voor de scenario's A3 en C1.

Droogtekaracteristieken	Poelsbeek		Bolscherbeek	
	A3	C1	A3	C1
aantal perioden	26	22	132	148
aantal dagen	383	461	872	981
totaal volume in 10^6 m^3	0.48	0.47	2.45	2.42

Voor beide beken geldt dat bij een hogere drainageweerstand het totale volume van het afvoertekort kleiner is. De verschillen zijn echter vrij klein. Het totaal aantal droge dagen neemt in scenario C1 ten opzichte van scenario A3 bij beide beken toe, terwijl in scenario C2 het totaal aantal droge dagen ten opzichte van scenario B4 bij de Bolscherbeek toe- en bij de Poelsbeek afneemt.

Tabel 5.9b Droogteanalyse van de periode 1969-1995 van de scenario's B4 en C2.

Droogtekaracteristieken	Poelsbeek		Bolscherbeek	
	B4	C2	B4	C2
aantal perioden	68	64	275	276
aantal dagen	3131	3087	1776	1820
totaal volume in 10 ⁶ m ³	9.07	8.07	6.86	5.62

De scenario's C1 en C2 geven hetzelfde type veranderingen in de waterbalanstermen ten opzichte van respectievelijk A3 en B2. De grootte van de verschillen tussen de scenario's is wel verschillend. Bij een verhoging van de drainageweerstand met een faktor twee neemt de verdamping toe en de percolatie naar de verzadigde zone af. De drainage naar het primaire systeem neemt af. De drainage van de overige waterlopen samen (drainage 2^e + 3^e systeem+ greppels) neemt toe. De afvoer van de beken neemt af, maar de oppervlaktewaterafvoer van de randgebieden neemt toe.

De afvoerduurlijnen (figuren 5.6a en 5.6b) van scenario C1 liggen lager dan de afvoerduurlijnen van scenario A3. Alleen de hoge piekafvoeren en de afvoeren die meer dan 95% van de tijd overschreden worden, zijn even hoog of iets hoger dan in scenario A3. De verschillen tussen de afvoerduurlijnen van de twee scenario's C1 en A3 zijn erg klein. De afvoerduurlijnen van scenario C2 ten opzichte van scenario B4 (figuren 5.6a en 5.6b) geven ongeveer hetzelfde beeld. Ook hier ligt het grootste deel van de afvoeren in scenario C2 lager dan in scenario B4, alleen de piekafvoeren en de lage afvoeren zijn iets hoger.

Tabel 5.10 Waterbalans van de periode 1975-1979 voor de scenario's A3, C1, B4 en C2 in mm per jaar

	A3	C1	B4	C2
Percolatie*	219.9	210.9	209.0	205.0
Drainage 1° systeem*	95.7	73.8	54.0	47.0
Drainage 2°, 3° systeem, greppel *	141.5	154.3	173.1	178.1
Neerslag	647.8	647.8	647.8	647.8
Verdamping	-431.3	-440.7	-441.8	-446.2
Effluent RWZI	43.3	43.3	43.3	43.3
Q _{beken} (oppervlaktewater)	-266.6	-251.4	-192.3	-186.3
Q _{rand} (oppervlaktewater)	-18.8	-22.7	-81.7	- 85.0
Randflux	7.9	7.9	7.9	7.9
Bergingsafname (grondwater)	9.9	9.7	-10.2	-12.2
Bergingsafname (wortelzone)	3.4	3.3	-3.1	-3.4
Bergingsafname (oppervlaktewater)	0.5	0.5	-0.4	-0.4
Balansfout	3.9	2.3	-3.1	-2.5

* Deze fluxen maken geen deel uit van de waterbalans.

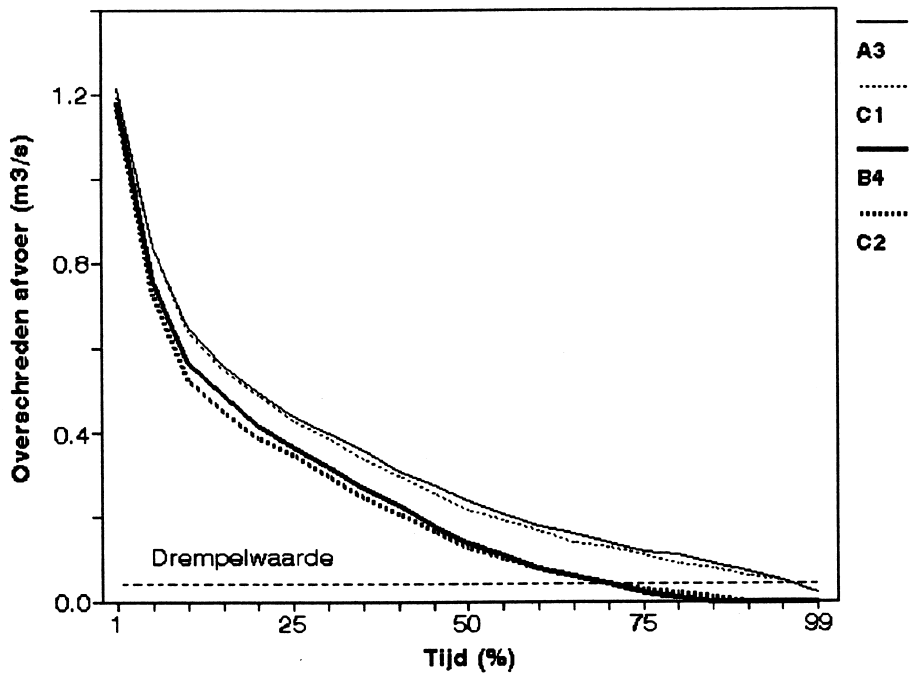


Fig. 5.6a Afvoerduurlijnen van de periode 1969-1995 van de Poelsbeek voor de scenario's A3, C1, B4 en C2

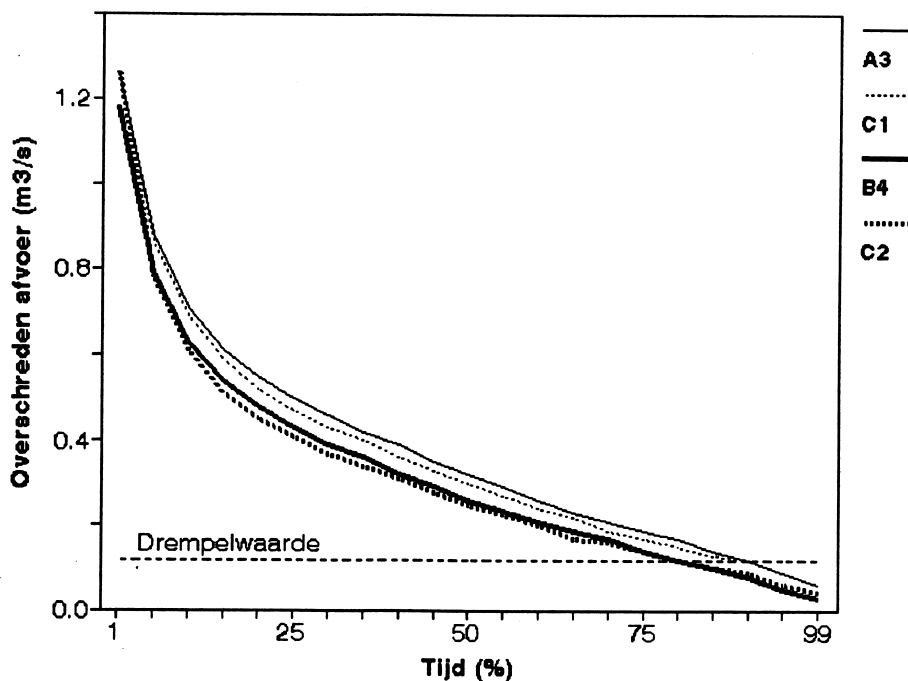


Fig. 5.6b Afvoerduurlijnen van de periode 1969-1995 van de Bolscherbeek voor de scenario's A3, C1, B4 en C2

5.5.2 Discussie

Als de drainageweerstand toeneemt, is er een hogere grondwaterstand nodig om dezelfde afvoer te bereiken. Dit is te zien aan de volgende formule:

$$q_{dr} = \frac{h_{gr} - h_o}{\beta \gamma}$$

met: q_d = drainageflux naar het oppervlaktewater ($m \cdot d^{-1}$)
 h_o = stijghoogte oppervlaktewater (m)
 h_{gr} = stijghoogte grondwater (m)
 γ = drainageweerstand (d)
 β = geometrische factor (-)

De grondwaterstanden zullen in scenario C1 en C2 dus hoger zijn dan in respectievelijk scenario A3 en B4. Hierdoor zal de verdamping omhoog gaan en zal de percolatie van water uit de wortelzone naar het grondwater afnemen. De hogere verdamping zorgt voor een lagere afvoer. De drainage in de formule en in de scenario's blijft dus niet exact gelijk. Bovendien zal door de hogere grondwaterstanden relatief meer water door drainage in de kleinere waterlopen terecht komen dan in de grotere waterlopen. Hierdoor zal minder grondwater vanuit de randgebieden naar de beken stromen en meer via de kleinere waterlopen van de randgebieden zelf afgevoerd worden uit het modelgebied. Voor scenario C2 is dit duidelijk gemaakt in tabel 5.7 aan de hand van waterbalansen van de verzadigde zone van de randgebieden afzonderlijk.

Tabel 5.7 Waterbalansen van de verzadigde zone van de vier randgebieden voor de scenario's B4 en C2 in mm per jaar (1975-1979)

Balansstermen	91		92		93		94	
	B4	C2	B4	C2	B4	C2	B4	C2
Drainage	-789	-791	-141	-151	-12	-27	-606	-634
Randflux	612	611	-113	-101	-310	-299	436	436
Percolatie	170	171	241	238	300	304	155	154
Bergingsafname	7	9	13	14	23	23	14	44
Balansfout	0	0	0	0	1	1	-1	0

* Fluxen die de verzadigde zone verlaten zijn negatief.

De drainage neemt in scenario C2 in alle vier de randgebieden toe ten opzichte van scenario B4. De grondwaterstroming van de deelgebieden 91 en 94 verandert nauwelijks, in tegenstelling tot de grondwaterstroming van de deelgebieden 92 en 93. In deze laatste twee randgebieden wordt dus minder water via het grondwater afgevoerd en meer via het oppervlaktewatersysteem. De toename van de totale oppervlaktewaterafvoer van de randgebieden leidt tot een afname van de afvoer van de beken.

Om eenzelfde toename in drainageflux te krijgen bij een hogere drainageweerstand is een grotere grondwaterstand nodig, dan bij een lagere drainageweerstand. Hierdoor ontstaat een gelijkmatiger afvoerverloop. De afvoer reageert hierdoor dus minder heftig op grondwaterstandsveranderingen. De lage afvoeren gaan hierdoor omhoog.

Door de hoge grondwaterstanden krijgen de kleinere waterlopen een groter deel in de totale drainage. Deze kleinere waterlopen hebben een lagere drainageweerstand dan de grotere waterlopen, waardoor het grondwater sneller in het oppervlaktewater terecht komt en de piekafvoeren omhoog gaan. Bovendien is er door de hogere grondwaterstanden minder berging over om een piekneerslag op te vangen, wat ook bijdraagt aan de verhoging van de piekafvoeren.

Door de hogere grondwaterstanden in de scenario's C1 en C2 in vergelijking tot respectievelijk A3 en B4, zullen de lage afvoeren licht stijgen. Dit stijgen van de lage afvoeren is maar heel gering en treedt in scenario C2 duidelijker op dan in scenario C1. Door deze stijging neemt het volume van het afvoertekort af. Het aantal dagen dat de afvoer onder de drempelwaarde ligt neemt alleen af in scenario C2 bij de Poelsbeek. Dit betekent dat in deze beek bij dit scenario de lage afvoeren zoveel gestegen zijn, dat de afvoer net iets langer boven de drempelwaarde ligt. Bij scenario C1 en scenario C2 nemen de allerlaagste lage afvoeren van de Bolscherbeek wel toe, maar niet zoveel dat de afvoer boven de drempelwaarde terecht komt. Het aantal droge dagen neemt in deze gevallen juist toe, wat veroorzaakt wordt doordat de gemiddelde afvoer afneemt. Om dit goed te illustreren zijn in de grafieken van de afvoerduurlijnen van de Poels- en de Bolscherbeek de drempelwaarden aangegeven. In deze scenario's is de keuze van de drempelwaarde erg belangrijk.

De grootte van de effecten hangt samen met de uitgangssituatie. De lage afvoeren gaan in scenario C2 duidelijk meer omhoog dan in scenario C1. Hieruit blijkt dat de uitgangssituatie bepaald hoe groot het effect is dat een verhoging van de drainageweerstand op de lage afvoeren heeft. Aan de hand van deze scenario's kan dus wel een verwachting uit gesproken worden over andere gebieden, waar de drainageweerstand hoger is, maar de orde van grootte van lage afvoeren blijft moeilijk te voorspellen.

5.5.3 Conclusie

Door de drainageweerstand te verhogen, gaan de grondwaterstanden omhoog, waardoor de verdamping toeneemt en de gemiddelde afvoer van de beken afneemt. De verdeling van afvoer over hoge en lage afvoeren wordt echter ook anders. Door de kleinere bergingscapaciteit bij hoge grondwaterstanden en de lagere drainageweerstand van de kleinere waterlopen, worden de hoogste piekafvoeren groter. De allerlaagste lage afvoeren nemen ook iets toe, doordat het systeem trager is geworden en minder heftig op grondwaterstandsveranderingen reageert. Dit verschil is echter kleiner dan bij de piekafvoeren. De hogere lage afvoeren zorgen voor een kleiner afvoertekort. Of het aantal droge dagen toe- of afneemt hangt af van de grootte van het effect van de verhoging van de drainageweerstand. Dit effect is afhankelijk van de overige gebiedskenmerken. De algemene invloed van de drainageweerstand, verhoging van de laagste lage afvoeren, gaat altijd op. De grootte van deze verhoging en het deel van de afvoeren dat omhoog gaat is afhankelijk van de overige gebiedskenmerken en het effect op het aantal droge dagen dus ook. De keuze van de drempelwaarde is hier ook zeer belangrijk.

Hoofdstuk 6 De invloed van menselijke ingrepen op de waterhuishouding

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de scenario's beschreven die het effect van enkele mogelijke menselijke ingrepen op de waterhuishouding laten zien. Eerst is bepaald welke ingrepen interessant zijn om te simuleren en bovendien met het gecalibreerde model gemodelleerd kunnen worden. Hierbij is uitgegaan van het beleid van het waterschap Regge en Dinkel en de algemene ontwikkelingen in Nederland. Vervolgens zijn scenario's opgesteld en geanalyseerd. In de volgende paragrafen worden het beleid van het waterschap en de ingrepen vernatting, bebossing en verstedelijking beschreven. Ook wordt het effect bepaald van het laten infiltreren van het regenwater in stedelijk gebied.

6.2 Beleid Waterschap

Het waterschap Regge en Dinkel omschrijft haar taken als volgt:

"Overall zorgen voor de juiste hoeveelheid water van een goede kwaliteit" (Waterschap Regge en Dinkel, 1996). Deze omschrijving omvat verschillende taken, waarvan het waterkwantiteitsbeheer er een is. Het waterkwantiteitsbeheer richt zich op de twee hoofdpunten:

- Tegengaan van verdroging, ondermeer door de afvoer van het neerslagoverschot te vertragen.
- Herinrichting van beken voor de ecologische functie.

De grondwaterstanden zijn de laatste tientallen jaren gedaald. De landbouw en de natuur ondervinden hier schade van. Het streven van het waterschap is dan ook om de grondwaterstand overal te verhogen. Dit wordt gedaan door de optimalisatie van grondwaterstanden, door nieuwe ontwerpnormen en een beter beheer. Bovendien zijn er concrete vernattingsprojecten, gericht op natuurherstel, voorgesteld.

De nieuwe ontwerpnormen voor waterlopen worden nog steeds in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid water die een waterloop moet kunnen afvoeren, maar tegenwoordig spelen ook ecologische doelstellingen, de beleevingswaarde van de watersystemen en de mogelijkheden voor recreatief gebruik een rol. Het nieuwe ontwerp van de waterlopen is gebaseerd op het gewenste verloop van de grondwaterstand. De risico's worden daarbij geminimaliseerd door als randvoorwaarde te nemen dat er in de situatie met een maximum waterpeil geen overstromingen mogen voorkomen. Met een maximum waterpeil wordt het peil bedoeld dat hoort bij een afvoer die tweemaal zo groot is als de afvoer behorende bij het hoogwaterpeil. Dit maximum waterpeil wordt gemiddeld één dag in de 50 jaar overschreden. Het waterschap heeft op basis van het landgebruik van het gebied criteria opgesteld voor de ontwateringsbasis van waterlopen. Deze criteria zijn vermeld in tabel 6.1. In deze tabel is het maaiveld (mv.) gelijk aan de maatgevende maaiveldshoogte. Dit is de laagste 5%-maaiveldshoogte binnen het invloedsgebied van een stuw. Het invloedsgebied definieert het waterschap als het stroomgebied van de betreffende watergang, voor zover het maaiveld hiervan minder dan 1,80 m boven het bodempeil of het stuwpeil ligt. De ontwateringsbasis is de afstand van het maatgevend maaiveld tot aan de stuwkruin of de bodem van de waterloop (Waterschap Regge en Dinkel, 1996).

Tabel 6.1 Ontwerpcriteria voor de ontwateringsbasis per landgebruik.

Landgebruik	Ontwateringsbasis (m - mv)
landbouw	0,80
landbouw ('s zomers)	0,30 - 0,50
(natte) natuur	0,30
stedelijk gebied	1,30

Verder gelden de volgende criteria:

- geen overstrooming bij een afvoer van $2Q$, waarbij Q de afvoer is die één dag per jaar wordt bereikt of overschreden (de hoogwaterafvoer).
- Bij ongestuwde waterlopen moet meer rekening gehouden worden met peilfluctuaties als gevolg van veranderingen in de afvoer. Bij deze waterlopen wil men in het voorjaar een drooglegging bereiken van gemiddeld 0.80 m, omdat deze periode kritiek is voor de landbouw in verband met berijdbaarheid van het land en bodemtemperatuur. Om dit te bereiken is de norm dat het waterpeil bij een afvoer van $0.25 Q$, 0.80 m beneden maatgevend maaiveld moet liggen opgelegd aan het nieuwe ontwerp. Een uitgangspunt hierbij is dat de afvoer in het voorjaar overwegend kleiner dan of gelijk aan $0.25 Q$ is.
- Bij ongestuwde waterlopen mag de bodem maximaal 1 meter onder maatgevend maaiveld liggen.

Het Waterschap Regge en Dinkel wil door middel van automatisch beweegbare stuwen in de toekomst ook het peilbeheer verbeteren. Door grondwatergestuurd peilbeheer kan de verdrogingsbestrijding verbeteren en bovendien kan met automatische stuwen sneller gereageerd worden op afvoergolven.

6.3 De werkwijze bij het bepalen van de invloed van ingrepen

Alle scenario's die gemaakt zijn om de invloed van een bepaalde menselijke ingreep op de lage afvoeren te bepalen, zijn gebaseerd op het referentiescenario. Dit referentiescenario is doorgerekend met het gecalibreerde model (hoofdstuk 4) over de periode 1960 tot 1995. Dit referentiescenario bevat de invoergegevens zoals ze beschreven zijn in paragraaf 4.4.7. De verdamping is afkomstig van de gegevens van de Bilt. De neerslaggegevens van de eerste 9 jaar (1960-1968) zijn afkomstig van de Bilt, de overige neerslaggegevens zijn afkomstig van het meetpunt bij de Hupsel. De eerste negen jaar worden gebruikt als aanlooperperiode. De resultaten van deze periode worden niet geanalyseerd.

De resultaten van het referentiescenario worden niet apart besproken. In de paragrafen waarin de ingrepen vernatting, verstedelijking, het infiltreren van stedelijk regenwater en bebossing worden behandeld, komen ook de resultaten van het referentiescenario uitgebreid aan de orde. Ze worden daarbij vergeleken met de resultaten van de verschillende scenario's. Het referentiescenario heeft steeds het nummer 00.

Van alle scenario's worden de waterbalansen over de periode 1975-1979 en de afvoerduurlijnen en de droogteanalyses van de periode 1969-1995 gegeven. Wanneer het voor het begrijpen van de effecten van een scenario nodig is, worden ook andere resultaten beschreven. Voor de ingreep vernatting is ook de invloed op de grondwaterstanden belangrijk, daarom wordt bij de vernattingsscenario's, dit effect ook bekeken. Het effect op lage afvoeren heeft echter prioriteit.

6.4 De invloed van vernatting op lage afvoeren

6.4.1 Inleiding

Het beleid van het waterschap is gericht op vernatting. Daarom zal de eerste groep van scenario's gericht zijn op het bepalen van het effect van enkele vernattingmaatregelen op het afvoerregime. Hierbij wordt de ontwateringsbasis van de secundaire en tertiaire waterlopen met 40 cm verhoogd en de ontwateringsbasis van de greppels met 0.30 m. Hierdoor krijgen de secundaire waterlopen een diepte van 0.80 m - mv, de tertiaire waterlopen een diepte van 0.50 m en de greppels een diepte van 0.20 m. De primaire waterlopen hebben in werkelijkheid stuwen. Hier wordt de ontwateringsbasis verhoogd door alle stuwen met 0.20 en 0.40 m te verhogen. Dit opzetten van de stuwpeilen wordt in combinatie met de verhoging van de ontwateringsbasis van de tertiaire en secundaire waterlopen en greppels doorgerekend. Samengevat ontstaan de volgende scenario's:

- E1: bodemhoogtes van het secundaire en tertiaire systeem 0.40 m omhoog en die van de greppels 0.30 m
- E2: E1 + stuwen allemaal 0.20 m omhoog
- E3: E1 + stuwen allemaal 0.40 m omhoog

De stuwpeilen van het oppervlaktewatersysteem van de deelgebieden in het model komen niet exact overeen met de werkelijke stuwpeilen (§ 4.3). Het is daarom wel mogelijk om het effect van een verhoging of verlaging van de stuwpeilen te bepalen, maar niet om de situatie te berekenen bij een absoluut stuwpeil (in m - mv, of ten opzichte van NAP).

6.4.2 Resultaten

Om de invloed van vernatting te kunnen bepalen zijn het totaal aantal droge dagen en het totale volume van het afvoertekort in de periode 1969-1995 gegeven. Ook zijn waterbalansen opgesteld over de periode 1975-1979 en afvoerduurlijnen berekend voor de periode 1969-1995. Voor het waterschap Regge en Dinkel is het van belang om te weten hoeveel de grondwaterstanden en de piekafvoeren zullen stijgen als gevolg van een bepaalde maatregel en wat de bijbehorende waterpeilen zullen zijn. Om deze reden zijn van een aantal van de knooppunten waarop gecalibreerd is en waar dus peilbuizen aanwezig zijn, de tijd-stijghoogtelijnen van het grond- en oppervlaktewater bekeken. Enkele voorbeelden hiervan zijn opgenomen in deze paragraaf. Deze lijnen zijn bekeken voor de hele periode van 1969-1995 en voor de droge jaren afzonderlijk.

Uit de tabellen 6.2a en 6.2b blijkt duidelijk dat een hogere ontwateringsbasis leidt tot een groter volume van het afvoertekort en meer droge dagen. Ook het aantal droge perioden

neemt toe. De lage afvoeren nemen dus af. Het verschil tussen het referentiescenario en scenario E1 is veel kleiner dan het verschil tussen het referentiescenario en de scenario's E2 en E3. Het opzetten van de stuwen in de primaire waterlopen heeft dus blijkbaar meer effect dan het verhogen van de ontwateringsbasis van de kleinere waterlopen.

Tabel 6.2a Droogteanalyse van de periode 1969-1995 en de droge jaren afzonderlijk voor de scenario's E van de Poelsbeek

Droogtekenmerken	00	E1	E2	E3
aantal perioden	72	78	69	101
aantal dagen	2265	2441	2987	3600
% toename tov referentie	-	8	32	59
totaal volume (V) (m ³)	5.45 * 10 ⁶	5.93 * 10 ⁶	8.41 * 10 ⁶	11.08*10 ⁶
% toename V tov referentie	-	9	42	103
aantal dagen 1973	116	118	130	152
aantal dagen 1975	156	159	165	185
aantal dagen 1976	218	219	235	263
aantal dagen 1982	174	175	188	218
aantal dagen 1983	117	127	140	148
aantal dagen 1989	135	138	178	211
som dagen droge jaren	916	936	1036	1177
% dagen droge jaren	40	38	35	33
toename dagen tov referentie	-	2.2	13	28
tot. V droge jaren	2.59*10 ⁶	2.85*10 ⁶	3.67*10 ⁶	4.37*10 ⁶
% toename V tov referentie	-	10	42	69

Tabel 6.2b Droogteanalyse van de periode 1969-1995 voor de scenario's E van de Bolscherbeek

Droogtekenmerken	00	E1	E2	E3
aantal perioden	278	285	324	359
aantal dagen	1837	1924	2239	2588
% tov sc 00	-	5	22	41
totaal volume (V) (m ³)	7.21* 10 ⁶	7.44*10 ⁶	10.54*10 ⁶	13.76*10 ⁶
% toename V tov sc 00	-	3	46	91

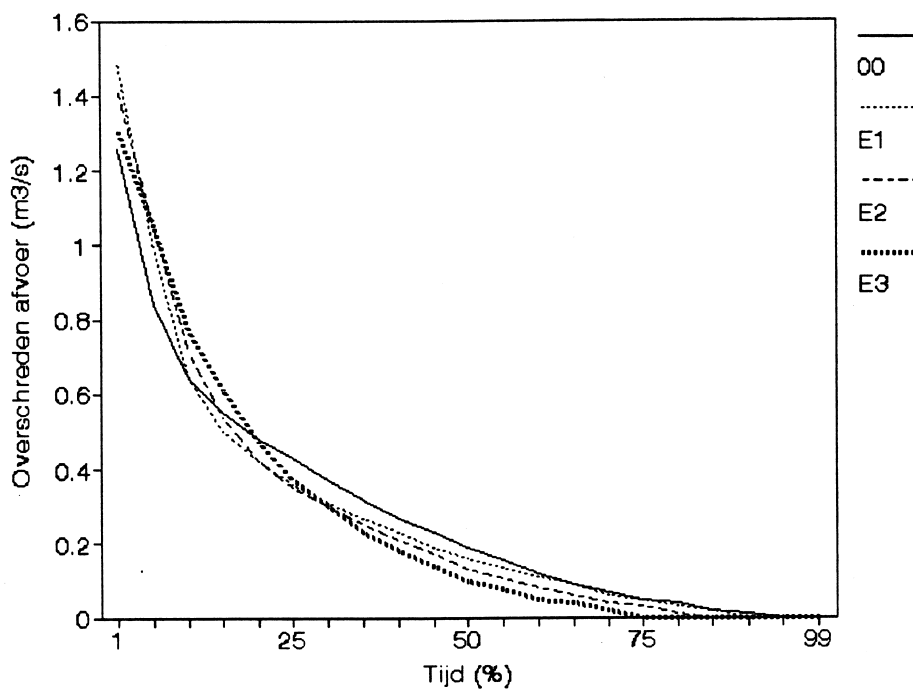


Fig 6.1a De afvoerduurlijnen van de periode 1969-1995 voor de scenario's E van de Poelsbeek

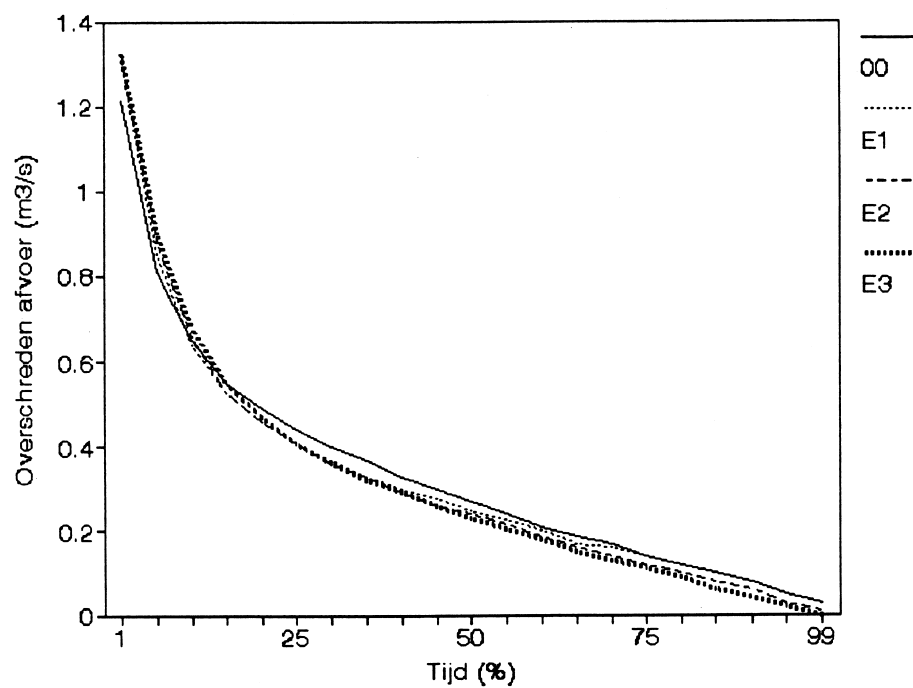


Fig 6.1b De afvoerduurlijnen van de periode 1969-1995 voor de scenario's E van de Bolscherbeek

Het percentage waarmee het volume van het tekort toeneemt is veel groter, dan waarmee het aantal dagen toeneemt. Ook blijkt dat het effect in de droge jaren van alle drie de scenario's ten opzichte van het referentiescenario voor de Poelsbeek kleiner is dan in de niet-droge jaren. Het percentage dagen in de droge jaren neemt namelijk minder toe. Dit is alleen voor de Poelsbeek bepaald, omdat dit de meest natuurlijke beek is.

De Bolscherbeek wordt sterk beïnvloed door de RWZI. De afvoerduurlijnen (figuren 6.1a en 6.1 b) laten zien dat de lage afvoeren omlaag gaan, als de ontwateringsbasis omhoog gaat. De verschillen in de afvoerduurlijnen van de Poelsbeek zijn groter dan de verschillen in de afvoerduurlijnen van de Bolscherbeek.

In scenario E1 zijn ten opzichte van het referentiescenario de verdamping en de drainage naar het primaire systeem toegenomen en de percolatie en de drainage naar de kleinere waterlopen afgenomen (tabel 6.3). Ook de afvoeren van de beide beken zijn in dit scenario lager.

De scenario's E2 en E3 hebben dezelfde effecten als scenario E1 ten opzichte van het referentiescenario. Het enige verschil is dat in deze scenario's de drainage naar de greppels toeneemt ten opzichte van scenario 00 terwijl deze in scenario E1 af neemt. Door de scenario's E2 en E3 met E1 te vergelijken kan het effect van het opzetten van stuwpeilen bepaald worden. Het opzetten van stuwpeilen veroorzaakt een hogere verdamping, een afname van de drainage naar de primaire waterlopen en een toename van de drainage naar de overige waterlopen. De afvoer van de beken neemt af.

Tabel 6.3 De waterbalans van de periode 1975-1980 voor de scenario's E in mm per jaar

Balansterm	00	E1	E2	E3
Percolatie*	197.2	183.0	176.8	171.2
drainage greppels*	7.9	7.4	10.4	17.1
drainage 3 ^e systeem*	80.3	39.6	48.6	62.5
drainage 2 ^e systeem*	56.1	52.2	54.4	49.5
drainage 1 ^e systeem*	66.9	96.2	75.4	54.4
Neerslag	647.8	647.8	647.8	647.8
Verdamping	453.8	467.7	473.2	478.1
effluent RWZI	43.3	43.3	43.3	43.3
Q _{beken}	222.6	211.0	203.5	198.1
Q _{rand}	33.9	29.4	30.1	30.1
Randflux	7.9	7.9	7.9	7.9
Bergingsverandering grondwater	-6.1	-4.9	-4.2	-4.4
Bergingsverandering wortelzone	-3.2	-2.8	-2.2	-1.4
Bergingsverandering opp. water	-0.6	-0.3	-0.4	-0.4
Balansfout	-1.4	-1.1	-1.0	-1.1

* Deze termen moeten niet meegenomen worden in de waterbalans.

Als voorbeeld van het effect van de vernattingsscenario's op de grondwaterstanden en de oppervlaktewaterpeilen zijn de verlopen van knooppunt 204 voor het droge jaar 1983 en de van de gehele periode van knooppunt 335 afgebeeld in figuur 6.2.

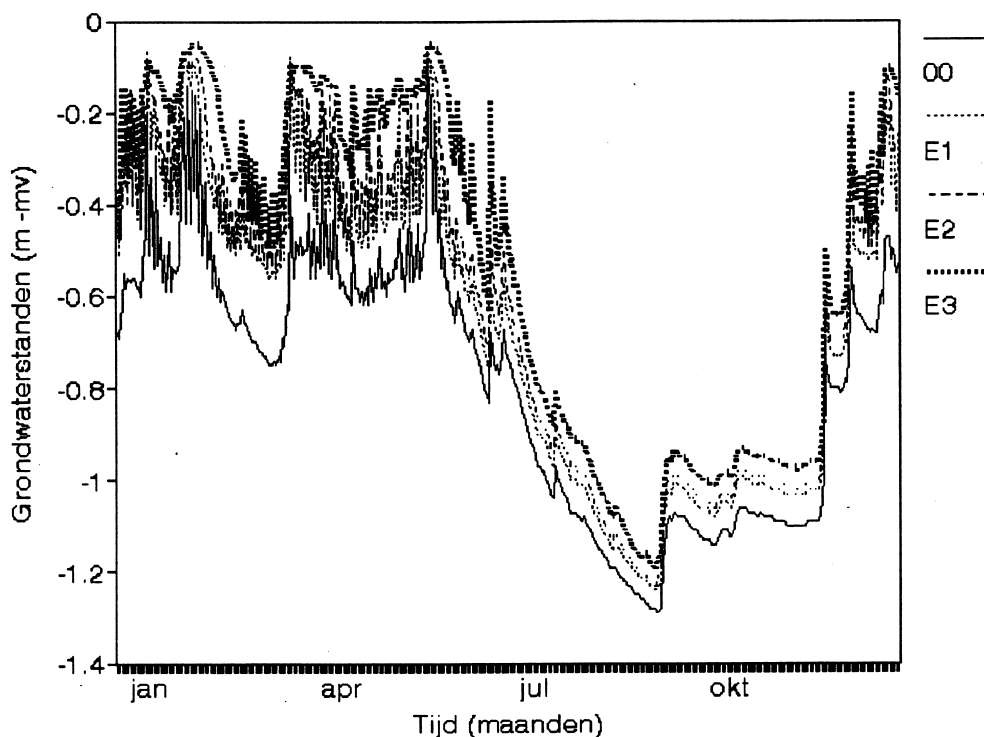


Fig. 6.2 Het verloop van de grondwaterstand bij knooppunt 204 voor het jaar 1983 voor de scenario's 00, E1, E2 en E3.

In de grafieken van figuur 6.2 is te zien, dat voor scenario E1 de hoge grondwaterstanden stijgen en dat bij de overige vernattingsscenario's ook de grondwaterstanden in de zomer minder diep uitzakken en bovendien een kortere periode een lage waarde hebben. De oppervlaktewaterpeilen gaan ook duidelijk omhoog.

6.4.3 Discussie

In de vernattingsscenario's is de ontwateringsbasis van de waterlopen verhoogd. Door de waterbodems van de greppels, het secundaire en het tertiaire systeem te verhogen, zullen de waterlopen pas bij een hoger grondwaterstand gaan bijdragen aan de drainage. Het aandeel van de primaire waterlopen in de totale drainage, neemt daardoor toe (tabel 6.3). De weerstand van de primaire waterlopen is veel hoger dan de weerstand van de kleinere waterlopen. Door het verhogen van de bodems van deze kleinere waterlopen kan het grondwater moeilijker naar het oppervlaktewater stromen, waardoor de grondwaterstanden zullen stijgen. Hierdoor kan er ook meer water verdampen en nemen de percolatie en de afvoer van de beken af, waardoor ook de lage afvoeren afnemen. Dus hoewel de grondwaterstanden hoger worden, neemt de lage afvoer toch af. Dit wordt veroorzaakt doordat behalve de grondwaterstanden de oppervlaktewaterpeilen ook hoger worden en dus de gradiënt naar de beken kleiner. Het aantal droge dagen en het totale volume van het

afvoertekort wordt hierdoor groter.

De hogere grondwaterstanden veroorzaken eveneens hogere piekafvoeren, doordat er als gevolg van deze hogere grondwaterstanden minder water geborgen kan worden in de onverzadigde zone. Deze piekafvoeren zijn niet zo hoog dat zij overstromingen veroorzaken. De oppervlaktewaterpeilen en de grondwaterpeilen komen in de hele periode bijna nergens boven maaiveld. De verhoging van de grondwaterstanden, zonder dat er overstromingen plaatsvinden is gewenst door het waterschap. De verhoging van de grondwaterstanden leidt bij scenario E1 echter vooral tot een verhoging van de hoogste grondwaterstanden (winter), de laagste grondwaterstanden (zomer) blijven even laag. Dit wordt verklaard door het feit dat het primaire systeem nog steeds water afvoert tot het grondwater onder de stuwstand van deze waterlopen is gezakt. De stuwstand van de primaire waterlopen is in dit scenario (E1) niet veranderd. De grondwaterstand bereikt de minimale waarde wel op een later tijdstip en stijgt na de zomer ook eerder. Indien het waterschap echter de maximale uitzakking wil verkleinen en wil vermijden dat de grondwaterstanden in het voorjaar te hoog zijn, is dit scenario niet geschikt. Een verhoging van de ontwateringsbasis met 0.40 m voor het secundaire en tertiaire systeem en 0.30 m voor de greppels is voor het waterschap dus geen goede maatregel. In Nederland wordt in het algemeen meer belang gehecht aan hoge grondwaterstanden dan aan het vermijden van lage afvoeren. In gebieden met waardevolle aquatische ecosystemen en in die gebieden waar oppervlaktewater onttrokken wordt, zijn lage afvoeren wel van belang. Scenario E1 leidt tot een toename van het totaal aantal droge dagen met 5 % (tabel 6.2a) en een toename van het afvoertekort van 3% in de Bolscherbeek en een toename van het aantal droge dagen en het totale afvoertekort met respectievelijk 8 en 9% in de Poelsbeek. Bij gebieden waarbij een minimum lage afvoer vereist is, zal voordat een verhoging van de ontwateringsbasis kan plaatsvinden dus goed nagegaan moeten worden, hoeveel de lage afvoeren kunnen verminderen zonder dat er problemen ontstaan.

In de scenario's E2 en E3 zijn ook de stuwpeilen opgezet. Door deze scenario's te vergelijken met het referentiescenario kan het effect van het verhogen van de ontwateringsbasis van alle waterlopen inclusief de primaire waterlopen bekeken worden. Ook bij deze scenario's zal door het verhogen van de ontwateringsbasis de grondwaterstand stijgen, de verdamping toenemen en de percolatie en de afvoer van de beken afnemen. De drainage naar het primaire systeem neemt bij een verhoging van de ontwateringsbasis van de kleine waterlopen en een verhoging van de stuwpeilen met 0.20 m toe (met $9 \text{ mm} \cdot \text{jr}^{-1}$), maar bij een verhoging van de stuwpeilen met 0.40 m af (met $13 \text{ mm} \cdot \text{jr}^{-1}$) (tabel 6.3). Blijkbaar worden bij dit laatste scenario (E3) de grondwaterstanden zo hoog dat er meer water via de kleinere waterlopen in het oppervlaktewatersysteem terecht komt. De piekafvoeren van deze scenario's zijn duidelijk hoger dan die van het referentiescenario (figuren 6.1a, 6.1b), doordat ook in deze scenario's de hoeveelheid water die geborgen kan worden in de onverzadigde zone afneemt en de kleinere waterlopen een groter aandeel in de totale drainage hebben. De drainageweerstand van deze kleinere waterlopen is lager, waardoor het grondwater sneller in het oppervlaktewater terecht komt en de piekafvoeren toenemen. Door de afname van de afvoeren nemen ook de lage afvoeren af en neemt de hydrologische droogte toe. Het aantal dagen met een afvoer onder de drempelwaarde neemt in de scenario's E2 en E3 toe met respectievelijk 32 en 59% voor de Poelsbeek en 22 en 41% (tabellen 6.2 a en b) voor de Bolscherbeek. Dit percentage is veel hoger dan het percentage voor scenario E1. Het verhogen van de ontwateringsbasis van alle beken heeft dus een veel groter effect op de lage afvoeren dan alleen het verhogen van de ontwateringsbasis

van de kleinere waterlopen. Dit wordt veroorzaakt doordat er grondwater afgevoerd kan worden, tot het oppervlaktewaterpeil en het grondwaterpeil onder het stuwpeil zakken. Bij het scenario E1 ligt dit stuwpeil lager en kan er dus langer water afgevoerd worden.

In scenario E2 en E3 zijn de oppervlaktewaterpeilen en de grondwaterstanden aanzienlijk hoger dan in scenario 00. Het oppervlaktewater en het grondwater komen echter ter plekke van de peilbuizen niet boven het maaiveld. De minimale waarde van zowel de oppervlaktewaterpeilen als de grondwaterpeilen neemt aanzienlijk toe (figuur 6.2). Het verhogen van de stuwen heeft dus een gunstig effect op de grondwaterstanden. Het oppervlaktewaterpeil staat in beide scenario's meestal meer dan 80 cm onder maaiveld in het voorjaar. Wil een waterbeheerder dit altijd kunnen garanderen dan zouden regelbare stuwen een goed alternatief zijn. In geval van een zeer nat voorjaar kunnen dan de stuwen omlaag gebracht worden.

De invloed van het opzetten van de stuwpeilen in een situatie met al verhoogde ontwateringsbases voor de kleinere waterlopen, kan bekeken worden door de scenario's E2 en E3 te vergelijken met scenario E1. In de scenario's E2 en E3 blijkt ten opzichte van scenario E1 de drainage van de greppels, secundaire en tertiaire waterlopen toe te nemen, terwijl de drainage naar de primaire waterlopen afneemt (tabel 6.3). Dit is een logisch gevolg van de hogere grondwaterstanden en de hogere waterpeilen in de primaire waterlopen. Het effect van deze maatregel is groter dan het effect van het verhogen van de waterbodems van de kleinere waterlopen. Het is echter niet met zekerheid te zeggen of dit ook zo zal zijn als in het referentiescenario de stuwpeilen opgezet worden, zonder dat hierbij dus de waterlopen van de kleinere waterlopen verhoogd worden.

Alle scenario's hebben meer effect op de niet-droge jaren dan op de droge jaren. Dit betekent dat de afvoer in de droge jaren minder ver afneemt dan die in de nattere jaren. De afvoeren in de droge jaren kunnen ook minder ver afnemen, omdat ze al laag zijn. Bovendien speelt het probleem van de lage afvoeren vooral in de zomer. Dit is een beperkte periode, waardoor het aantal droge dagen aan een maximum is gebonden. In de winter en het voorjaar van de droge jaren treedt slechts heel zelden een afvoer onder de drempelwaarde op.

6.4.4 Conclusie

Er zijn drie scenario's gedefinieerd om de invloed van vernatting te bepalen. Het verhogen van de ontwateringsbasis van het secundaire en tertiaire systeem met 40 cm en van de greppels met 30 cm leidt tot een toename van het aantal droge dagen en het totaal volume van het afvoertekort van respectievelijk 8 en 9% in de Poelsbeek en 5 en 3% in de Bolscherbeek. Deze toename van droogte wordt vooral veroorzaakt door een toename van de verdamping. Dit scenario leidt tot een verhoging van de hoogste grondwaterstanden, maar de laagste grondwaterstanden worden niet hoger. Dit scenario is dus niet geschikt voor vernatting.

Ook de piekafvoeren nemen in dit scenario ten opzichte van het referentiescenario toe.

Het verhogen van de ontwateringsbasis van de gestuwde primaire waterlopen (stuwpeilen) heeft meer effect dan het verhogen van de ontwateringsbasis van de kleine waterlopen. Het

volume van het afvoertekort en het aantal droge dagen nemen voor de Poelsbeek met respectievelijk 103 en 59% toe voor scenario E3 ten opzichte van scenario 00 en voor de Bolscherbeek met respectievelijk 41 en 91%. Het verhogen van de ontwateringsbasis van alle waterlopen leidt tot een verhoging van de minimale grondwaterstand en dus tot vernatting. De lage afvoeren nemen hierbij erg af, door de kleinere gradiënt tussen grond- en oppervlaktewater en de toegenomen verdamping. Het effect van alle drie de scenario's is het grootst in de niet-droge jaren.

6.5 Verstedelijking en infiltratie van stedelijk regenwater.

6.5.1 Inleiding en werkwijze

De bevolking van Nederland groeit. Dit is zichtbaar in het landgebruik. Het percentage stedelijk gebied in Nederland neemt toe. Ook in de omgeving van Haaksbergen groeit het verstedelijkte gebied. Omdat de uitbreiding van steden een belangrijke rol speelt in heel Nederland zijn de effecten op de waterhuishouding hiervan door middel van een scenario gesimuleerd. Ook is gekeken wat het effect is van het laten infiltreren van stedelijk regenwater in plaats van het af te voeren via het riool. Om deze ontwikkelingen te simuleren zijn drie scenario's opgesteld.

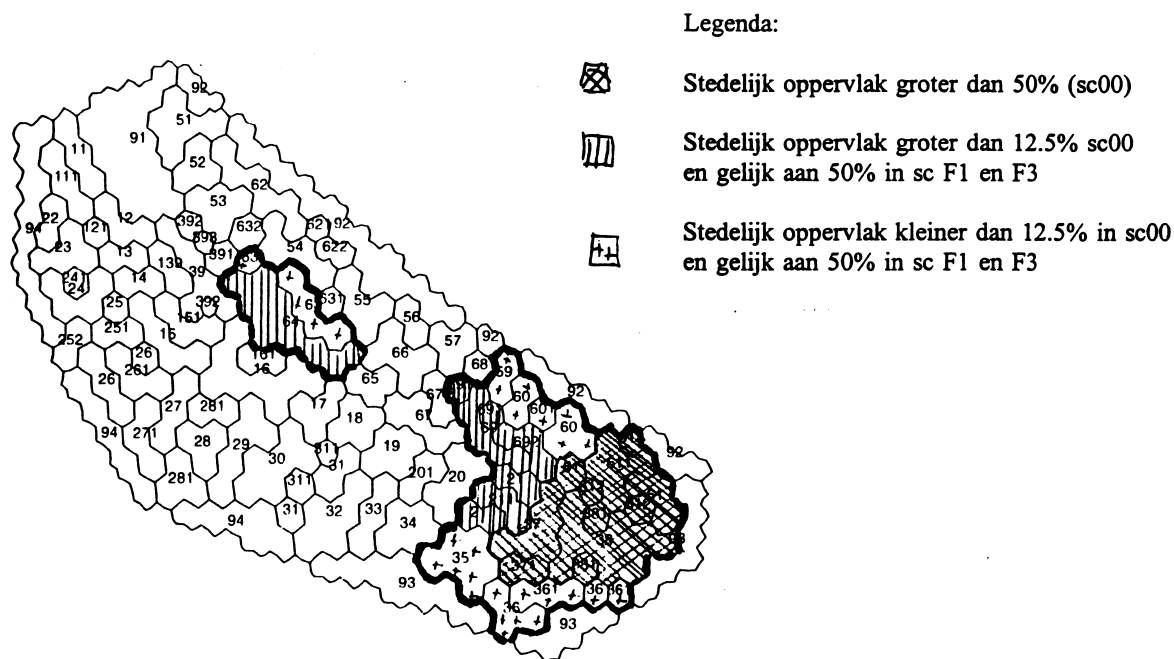


Fig. 6.3 Ligging van het stedelijk gebied

In het eerste scenario, scenario F1, wordt het stedelijk oppervlak vergroot. Dit wordt gedaan door de subgebieden die liggen naast subgebieden die in het referentiescenario een verstedelijkt oppervlak van meer dan 50% hebben, een verstedelijkt oppervlak van 50% te geven. Dit komt neer op een uitbreiding van Haaksbergen. De subgebieden waarin Hengevelde ligt, krijgen ook een verstedelijkt oppervlak van 50%. Het percentage stedelijk gebied is hierdoor toegenomen van 8,8 naar 14,4 procent. Op de kaart (figuur 6.3) is voor de betreffende deelgebieden aangegeven hoe groot het percentage stedelijk gebied is in het

referentiescenario. Bovendien is aangegeven hoe stedelijk oppervlak is uitgebreid in de scenario's F1 en F3. De oppervlaktetoe name, gaat ten koste van de oppervlakte aan grasland. Bij scenario F1 moet wel opgemerkt worden dat uitgegaan is van een uitbreiding van het industrieel gebied, waarbij de hoeveelheid huishoudelijk afvalwater niet toeneemt. In werkelijkheid zal bij een groei van het aantal inwoners in het stroomgebied de afvoer van de Bolscherbeek nog hoger worden, als gevolg van de toename van het huishoudelijk afvalwater. In dit scenario is alleen gekeken naar de toename van het verhard stedelijk oppervlak en niet naar de invloed van de toename van het aantal inwoners. In werkelijkheid zou waarschijnlijk ook de RWZI uitgebreid worden bij een uitbreiding van de stad en zal het waterlopenstelsel veranderd worden.

Het tweede scenario (F2) wordt gevormd door het referentiescenario dat zo aangepast is dat er geen regenwater uit de verstedelijkte gebieden naar het rioleringsstelsel gaat, maar alles infiltreert in de wortelzone. Deze situatie is in SIMGRO gemodelleerd door het oorspronkelijke verharde deel van de stad toe te kennen aan een type landgebruik dat niet of nauwelijks verdampt. Dit is een fictief type landgebruik. Het overgebleven onverharde deel van het stedelijk oppervlak blijft stedelijk oppervlak. In deze situatie infiltreert zelfs het regenwater uit het centrum in de wortelzone. Dit is geen reële situatie maar op deze wijze kan het effect van de maatregel duidelijk waargenomen worden.

In werkelijkheid zouden groenstroken aangelegd moeten worden om dit te bereiken. Bij een toename van het aantal inwoners zou deze maatregel toegepast kunnen worden om de RWZI's te ontlasten. Bovendien zal dit leiden tot hogere grondwaterstanden wat voor de natuur gunstig kan zijn. Al het regenwater zal nu dus via het grondwater naar een van de beken moeten stromen in plaats van via de RWZI's.

Het derde scenario (F3), is een combinatie van scenario F1 en F2. In dit scenario is dus sprake van een groter aandeel van het stedelijk oppervlak in combinatie met het laten infiltreren van het regenwater dat er op valt.

6.5.2 Resultaten

Om het effect van toename van het stedelijk gebied te bepalen zijn de resultaten van scenario F1 vergeleken met die van het referentiescenario. Het effect van het laten infiltreren van "stedelijk regenwater" wordt bepaald door scenario F2 te vergelijken met het referentiescenario. Het gecombineerd effect van verstedelijking en infiltratie van stedelijk regenwater wordt bepaald door de resultaten van scenario F3 met die van de scenario's 00 en F2 te vergelijken.

Als gevolg van het uitbreiden van het verstedelijkt oppervlak in scenario F1 wordt het totaal aantal droge dagen en het totaal volume van het afvoertekort kleiner. Dit geldt voor beide beken (tabellen 6.4a en 6.4b).

Het laten infiltreren van stedelijk regenwater (scenario F2) in plaats van het af te voeren via de riolering en de RWZI (scenario 00) veroorzaakt in de Bolscherbeek een grote afname van het aantal droge perioden (tabellen 6.4a en b). Het totaal aantal droge dagen neemt fors toe net als het totaal volume van het afvoertekort. De Bolscherbeek krijgt hierdoor een meer natuurlijk karakter. Voor de Poelsbeek nemen het aantal droge perioden

en het totaal aantal droge dagen af. Ook het volume van het afvoertekort neemt af ten opzichte van het referentiescenario.

Het gecombineerd effect van de scenario's F1 en F2 (scenario F3) levert ten opzichte van het referentiescenario voor de Bolscherbeek ook een toename van hydrologische droogte op (de tabellen 6.4a en b). Deze toename is minder groot dan die bij scenario F2. Voor de Poelsbeek neemt de hydrologische droogte bij scenario F3 af ten opzichte van het referentiescenario en scenario F2.

Tabel 6.4a Droogteanalyse voor de periode 1969-1995 en de zes droge jaren afzonderlijk van de scenario's F voor de Poelsbeek

Droogtekaracteristieken	00	F1	F2	F3
Aantal droge perioden	72	96	67	73
Aantal droge dagen	2265	2097	2112	1906
% Toename t.o.v referentiescenario	-	-7	-7	-16
Totaal volume van het afvoertekort in 10 ⁶ m ³	5.45	4.86	5.19	4.52
% Volume t.o.v. referentiescenario	-	-11	-5	-17

Tabel 6.4b Droogteanalyse van de periode 1969-1995 van de scenario's F voor de Bolscherbeek

Droogtekaracteristieken	00	F1	F2	F3
aantal perioden	278	243	91	85
aantal dagen	1837	1575	2423	2216
% t.o.v. scenario 00	-	-14	32	21
totaal volume in 10 ⁶ m ³	7.21	5.80	9.86	8.69

Uit de afvoerduurlijnen (figuren 6.4a en 6.4b) blijkt dat de afvoer van de Bolscherbeek door de verstedelijking (scenario F1) over het hele bereik omhoog gaat. Het effect op de lage afvoeren is wel veel kleiner dan het effect op de piekafvoeren. De afvoerduurlijn van de Poelsbeek van dit scenario verschilt nauwelijks van die van het referentie scenario. De lage afvoeren zijn iets hoger en de hoogste piekafvoeren iets lager. De afvoerduurlijnen voor scenario F2 geven voor de beken een verschillend beeld ten opzichte van het referentiescenario. In de Bolscherbeek dalen de afvoeren over het hele bereik. In de Poelsbeek nemen de afvoeren over het gehele bereik toe. De afvoerduurlijnen van scenario F3 laten zien dat de afvoeren van de Bolscherbeek lager worden dan bij het referentiescenario, maar hoger dan bij F2. In de Poelsbeek nemen de hogere afvoeren die minder dan 75 procent van de tijd overschreden worden toe ten opzichte van het referentiescenario. Ten opzichte van F2 is er geen duidelijk effect op de hoge en lage afvoeren. De afvoeren die hiertussen liggen nemen ten opzichte van scenario F2 licht toe.

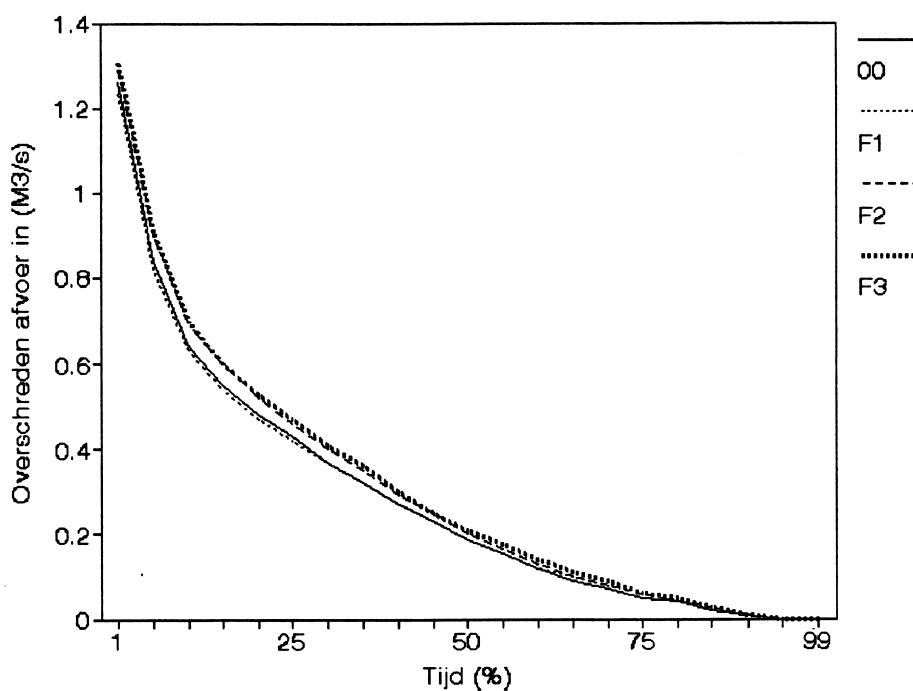


Fig. 6.4a Afvoerduurlijnen over de periode 1969-1995 van de Poelsbeek voor de scenario's 00, F1, F2 en F3.

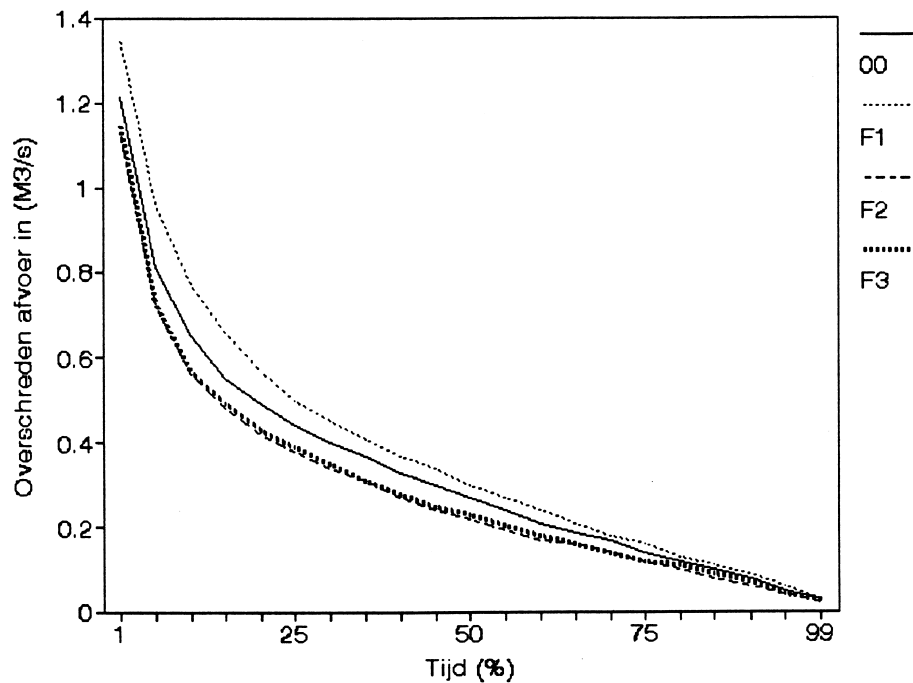


Fig. 6.4b Afvoerduurlijnen over de periode 1969-1995 van de Bolscherbeek voor de scenario's 00, F1, F2 en F3.

Tabel 6.5 Waterbalansen van de periode 1975-1979 voor de scenario's F in mm per jaar.

Balansterm	00	F1	F2	F3
Percolatie*	197.2	189.5	214.1	219.7
Drainage 1*	66.9	65.2	69.6	71.0
Drainage 2*	56.1	54.8	58.7	60.3
Drainage 3*	80.3	76.7	89.7	91.8
Drainage greppels*	7.9	6.7	10.2	10.5
Drainage 2,3,greppels*	144.3	138.2	158.6	162.6
Neerslag	647.8	624.5	683.8	683.7
Verdamping	-453.8	-438.2	-473.0	-467.2
Effluent RWZI	43.3	58.6	20.1	20.3
Qbeken (oppervlaktewater)	-222.6	-238.5	-213.8	-219.0
Qrand (oppervlaktewater)	- 33.9	-33.8	- 35.5	- 36.4
Randflux	7.9	7.9	7.9	7.9
Bergingsafname grondwater	6.1	6.3	6.3	6.2
Bergingsafname wortelzone	3.2	3.2	3.3	3.2
Bergingsafname oppervlaktewater	0.6	0.6	0.7	0.7
Balansfout	-1.4	-9.4	-0.2	-0.6

* Deze termen maken geen deel uit van de waterbalans

Voor de duidelijkheid moet vermeld worden dat met de term 'neerslag'(tabel 6.5), die neerslag bedoeld wordt, die niet valt op verhard stedelijk oppervlak en dus in de bodem infiltreert. De neerslag die op het verhard stedelijk oppervlak valt, vormt samen met het huishoudelijk afvalwater de term 'RWZI'.

In scenario F1 nemen ten opzichte van scenario 00 alle balanstermen, behalve 'effluent RWZI' en 'Qbeken' af (tabel 6.5). De toename van de afvoer van de beken wordt veroorzaakt door een grote toename van de afvoer van de Bolscherbeek en een kleine toename van de afvoer van de Poelsbeek. Bij vergelijken van de balanstermen van de scenario's F2 en F3 met die van het referentiescenario zijn de termen neerslag, verdamping, percolatie, drainage en Q_{rand} toegenomen. De termen RWZI en Q_{beken} zijn afgenomen. De tijd-stijghoogtelijnen voor deelgebied 38 (figuur 6.5), dat voor meer dan 50 procent uit stedelijk gebied bestaat, laten zien dat de grondwaterstanden bij scenario F2 tijdens de periode 1975-1979 regelmatig hoger worden dan 0.50 m onder maaiveld. Een enkele keer komt de grondwaterstand zelfs tot 0.15 m onder maaiveld (begin '75). De diepere grondwaterstanden blijven ongeveer op het zelfde niveau, het zijn met name de ondiepere grondwaterstanden die beduidend hoger worden.

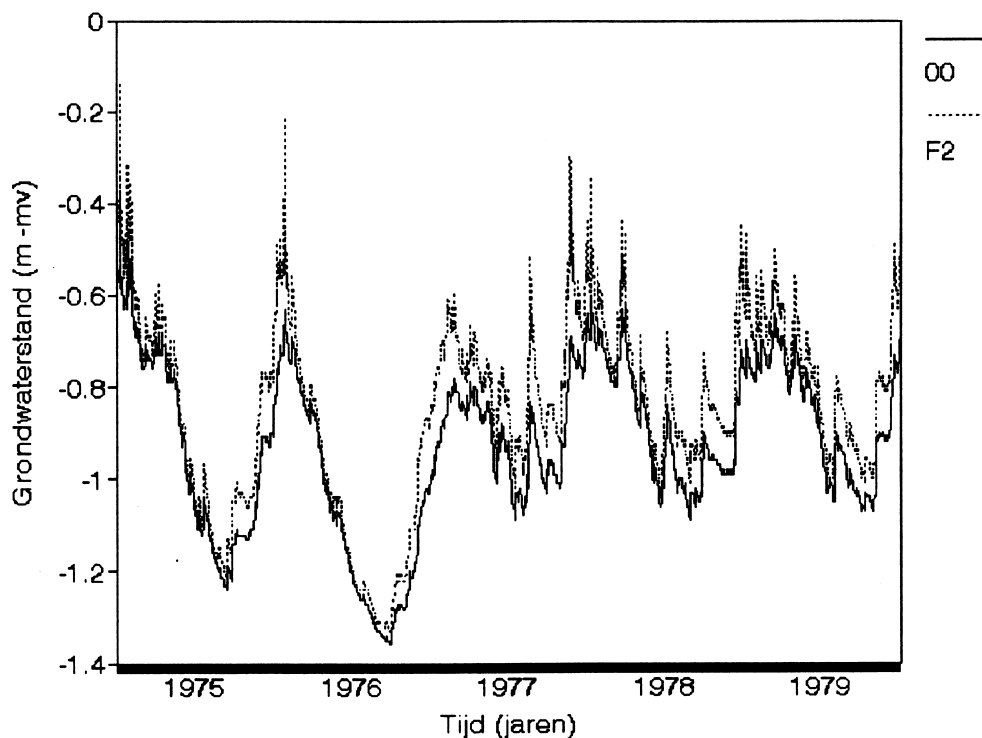


Fig. 6.5 Tijd-stijghoogtelijnen over de periode 1975-1979 voor deelgebied 38 van de scenario's 00 en F2.

6.5.3 Discussie

Scenario F1 Uitbreiding van het stedelijk oppervlak.

Door het stedelijk gebied uit te breiden ten koste van grasland, stroomt het regenwater wat op het nieuwe verharde stedelijk gebied valt, naar de RWZI (hoofdstuk 4). Via het rioleringsstelsel stroomt het water naar de Bolscherbeek of komt via een noodoverstort in het oppervlaktewater terecht. Het water dat op het onverharde deel van het stedelijk gebied valt, infiltreert in de wortelzone. Een deel hiervan verdampt. Hetzelfde geldt voor de neerslag die op grasland valt. Door het stedelijk gebied uit te breiden, zal er meer water via de RWZI direct in het oppervlaktewater van de Bolscherbeek terecht komen en minder infiltreren in de wortelzone. Hierdoor gaan de piekafvoeren van deze beek omhoog. De gemiddelde afvoer zal ook iets hoger worden, omdat er minder water verdampt (tabel 6.5).

De neerslag die valt op het verharde deel van het nieuwe stedelijk gebied dat in het stroomgebied van de Poelsbeek ligt, stroomt nu via de RWZI naar de Bolscherbeek. Hierdoor nemen de afvoeren van de Poelsbeek iets af, echter het totale aantal droge dagen en het volume van het afvoertekort nemen ook iets af. De afname van de droogte wordt veroorzaakt door een afname van de piekafvoeren en de toename van de lage afvoeren (figuur 6.4a). De oorzaak hiervan is de afname van de hoeveelheid water die bovenstrooms in de wortelzone infiltreert. Doordat die hoeveelheid kleiner is, zullen de grondwaterstanden over het algemeen iets lager worden, en zal de bergingscapaciteit van de onverzadigde

zone iets groter worden. De lage afvoeren worden hierdoor iets hoger, en de hoge afvoeren iets lager.

Het oppervlak van het nieuwe, verharde stedelijk gebied in het stroomgebied van de Poelsbeek is gering, waardoor de effecten voor deze beek klein zijn.

Doordat in scenario F1 het oppervlak stedelijk gebied groter is dan in het referentiescenario, blijft er een kleiner oppervlak over waarvan de neerslag kan verdampen of infiltreren en naar het grondwater percoleren. Hierdoor worden alle balanstermen kleiner, behalve het effluent van de RWZI en daardoor neemt ook de afvoer van de beken af.

Scenario F2 Infiltratie van stedelijk regenwater

De grote afname van het aantal droge perioden van de Bolscherbeek (tabel 6.4b) wordt veroorzaakt doordat het aantal hoge piekafvoeren sterk afneemt. Dit is het gevolg van het laten infiltreren van stedelijk regenwater in plaats van het via de riolering en de RWZI snel op het oppervlaktewater te lozen. Dat het aantal droge dagen toeneemt moet toegeschreven worden aan het feit dat een deel van het stedelijk gebied in het stroomgebied van de Poelsbeek ligt. Regenwater dat valt op dit deel van het stedelijk gebied zal nu afgevoerd worden door de Poelsbeek in plaats van door de Bolscherbeek. Dit is ook direct de verklaring voor de afname van hydrologische droogte van de Poelsbeek.

Als gevolg van de grotere hoeveelheid regenwater die infiltreert zullen de grondwaterstanden in en rond het stedelijk gebied stijgen. Hierdoor nemen percolatie, verdamping en drainage naar alle waterlopen toe. Dat zowel de verdamping als de percolatie toeneemt is het gevolg van de extra hoeveelheid neerslag die de wortelzone ontvangt. Dat de totale afvoer van de beken afneemt ondanks de toename van de drainage is een direct gevolg van de afname van het effluent van de RWZI (tabel 6.5).

Door de toename van de grondwaterstanden in en rond het stedelijk gebied ontstaat er een kleinere stijghoogtegradiënt tussen het stedelijk gebied en de randgebieden. Hierdoor ontvangen de randgebieden samen netto meer grondwater waardoor de oppervlaktewaterafvoer van de randgebieden (Q_{rand}) via drainage naar de greppels en het secundaire en tertiaire systeem toeneemt.

Het laten infiltreren van al het stedelijk regenwater is een rigoureuze maatregel die in de praktijk moeilijk is te verwezenlijken. Zo zal er voldoende ruimte moeten zijn voor de aanleg van extra groenstroken om het regenwater te laten infiltreren. In het centrum van een stad zal deze ruimte vaak niet beschikbaar zijn. Hier zou dan het regenwater van de bestrating en de daken onder het wegdek door een verzamelleiding opgevangen kunnen worden waaruit het kan infiltreren in de bodem.

Voordat er maatregelen getroffen worden om stedelijk regenwater te laten infiltreren zal onderzocht moeten worden of de grondwaterstanden van het stedelijk gebied niet te hoog zullen worden. Het model berekend in deze extreme situatie regelmatig grondwaterstanden die zeer dicht onder maaiveld komen. Dit kan wateroverlast veroorzaken en problemen opleveren bij het drooghouden van kelders en bouwputten.

Scenario F3 Combinatie van uitbreiding van stedelijk oppervlak en infiltratie van stedelijk regenwater.

Dat de hydrologische droogte in de Bolscherbeek bij scenario F3 minder toeneemt ten opzichte van het referentiescenario dan bij scenario F2 (tabel 6.4b) wordt veroorzaakt door

de combinatie van het laten infiltreren van stedelijk regenwater en verstedelijking. In scenario F3 is het stedelijk oppervlak groter dan bij scenario F2. De uitbreiding van het stedelijk oppervlak is ten koste gegaan van grasland. Van het nieuwe stedelijk gebied verdampt alleen het onverharde deel als gras, het verharde deel verdampt niet of nauwelijks en de neerslag die hierop valt infiltreert in de bodem. Ten opzichte van scenario F2 neemt in scenario F3 de grondwateraanvulling dus toe en daarmee de afvoer van de Bolscherbeek zodat de hydrologische droogte voor F3 dus kleiner is dan voor F2. Dit gebeurt ook in het stroomgebied van de Poelsbeek (tabel 6.4a). In scenario F2 was de hydrologische droogte al lager dan in het referentiescenario. Bij scenario F3 is de droogte dus nog lager dan bij scenario F2.

6.5.4 Conclusies

Het effect van uitbreiding van stedelijk oppervlak op hydrologische droogte is afhankelijk van de plaats waar het stedelijk regenwater via de RWZI geloosd wordt. Als er binnen een stroomgebied uitbreiding van het stedelijk oppervlak plaatsvindt en het stedelijk regenwater wordt binnen het stroomgebied geloosd dan zal hydrologische droogte afnemen. Dit wordt veroorzaakt doordat er minder water infiltreert. Als gevolg hiervan worden de grondwaterstanden lager en neemt de verdamping af en de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone toe. Dit heeft als gevolg dat de piekafvoeren lager worden en de lage afvoeren hoger, waardoor hydrologische droogte afneemt.

Als stedelijk regenwater via een RWZI in een ander stroomgebied geloosd wordt is het effect van een uitbreiding van stedelijk oppervlak afhankelijk van de mate van uitbreiding. Bij een geringe uitbreiding zullen de grondwaterstanden licht dalen waardoor de bergingscapaciteit van de verzadigde zone toeneemt. Dit kan leiden tot een stijging van de lage afvoeren doordat er minder water tijdens piekafvoeren afgevoerd wordt. Hydrologische droogte kan dan afnemen. Bij een grote uitbreiding van het stedelijk oppervlak zal de hydrologische droogte wel toenemen, doordat bij een grotere uitbreiding (veel) meer water naar een ander stroomgebied verdwijnt.

De stadsuitbreiding in dit scenario is vrij realistisch, het handhaven van het waterlopenstelsel en de hoeveelheid stedelijk afvalwater echter niet. Daarom moet voorzichtig omgegaan worden met de conclusies van dit scenario. Het is wel interessant om in verder onderzoek ook te bepalen wat de invloed op droogte is, als de hoeveelheid huishoudelijk afvalwater wel toeneemt.

Het laten infiltreren van stedelijk regenwater leidt tot een afname van het effluent van de RWZI. Als een deel van het stedelijk oppervlak in een ander stroomgebied ligt dan dat waarop deze loost, zal de waterloop droger worden. Het stroomgebied waar extra water heengaat zal dan natter worden waardoor de lage afvoeren hoger worden.

Als het gehele stedelijk oppervlak binnen het stroomgebied van de beek ligt waarop de RWZI loost zal de verdeling van de afvoer over hoge en lage afvoeren veranderen. De hoge afvoeren zullen toenemen door ondiepere grondwaterstanden. Door de afname van de bergingscapaciteit van de verzadigde zone en door een toename van de verdamping zullen de lage afvoeren dalen. In dit geval zal het afvoertekort toenemen.

Met de hogere grondwaterstanden in en rond het stedelijk gebied moet terdege rekening gehouden worden omdat dit bouwkundige problemen kan veroorzaken.

6.6 De invloed van bebossing op lage afvoeren

6.6.1 Inleiding

In deze paragraaf wordt het effect beschreven van bebossing ten koste van de oppervlakte van grasland. In het kader van het behoud en de verdere ontwikkeling van de ecologische infrastructuur is het aanleggen van bos vaak een reële optie. Bovendien wordt de Nederlands houtproductie hierdoor groter. Het aanleggen van bos kost echter veel ruimte, waardoor ander landgebruik moet wijken. De ecologische functie van waterrijke gebieden zoals het studiegebied, kan aanzienlijk vergroot worden door het aanleggen van lintbebossing langs de waterlopen. Het effect van bebossing op het optreden van lage afvoeren zal echter duidelijker zichtbaar zijn als een groter gebied bebost wordt. Daarom is in scenario G1 al het grasland van het referentiescenario vervangen door loofbos. De percentages grasland en loofbos zijn voor de scenario's 00, G1 en G2 weergegeven in tabel 6.6 In scenario G2 is lintbebossing gesimuleerd. Het idee was om extra bos te creëren langs de grotere waterlopen die gemodelleerd zijn als het primaire systeem. Dit zijn de Poels- en Bolscherbeek inclusief enkele zijtakken (hoofdstuk 4).

Tabel 6.6 Percentages grasland en loofbos in het modelgebied voor de scenario's 00, G1 en G2

Landgebruik	00	G1	G2
Grasland (%)	56	12	39
Loofbos (%)	13	57	30

In SIMGRO wordt het oppervlak van de verschillende typen landgebruik per deelgebied opgegeven als percentage van het oppervlak van het deelgebied. Omdat het primair systeem gemodelleerd is op knooppuntsniveau is voor elk deelgebied bepaald welk percentage van de knooppunten van een deelgebied een primair systeem heeft. Dit percentage is het nieuwe percentage loofbos dat aan de deelgebieden met een primair systeem is toegekend. De toename van het loofbos gaat ten koste van grasland en kan per deelgebied verschillen. Voor enkele deelgebieden was in het referentiescenario niet voldoende grasland aanwezig om de gewenste toename van het loofbos te verwezenlijken. Hier is volstaan met het omzetten van al het grasland in loofbos. Bij deze scenario's is gekozen voor loofbos omdat dit het grootste deel uitmaakt van de huidige bebossing. Ook geeft het meerjarenplan Bosbouw aan dat er meer loofbos moet komen in plaats van naaldbos.

6.6.2 Resultaten

Het effect van bebossing ten koste van grasland op de hydrologische droogte is weergegeven in tabel 6.7. De waterbalanstermen voor het modelgebied zijn weergegeven in tabel 6.8. Er is volstaan met de waterbalanstermen van scenario G1 omdat de waterbalanstermen van G2 nagenoeg gelijk zijn aan die van G1. Om dezelfde reden zijn alleen van scenario G1 de afvoerduurlijnen (figuur 6.6) en de afvoerverlopen over het droge jaar 1983 (figuur 6.7) gegeven.

Tabel 6.7 Resultaten van de droogteanalyse voor scenario G1 en G2.

	Poelsbeek			Bolscherbeek		
	00	G1	G2	00	G1	G2
aantal perioden	72	60	64	278	237	254
aantal dagen	2265	1638	2069	1837	1493	1664
totaal volume (10 ⁶ m ³)	5.45	3.64	4.70	7.21	5.55	6.35

De droogteanalyse laat zien dat als gevolg van bebossing het aantal droge perioden, het totaal aantal droge dagen en het totaal volume van het afvoertekort afnemen. Dit geldt voor beide beken en beide scenario's. Het effect voor scenario G2 is minder groot dan dat van G1.

Tabel 6.8 Waterbalansen voor de periode 1975-1979 in mm per jaar voor de scenario's 00 en G1.

Balansterm	00	G1
Percolatie*	197.2	197.1
Drainage kanalen*	66.9	68.2
totale drainage*	211.2	212.3
Neerslag	647.8	647.8
Verdamping	-453.8	-455.6
effluent RWZI	43.3	43.3
Q _{beken} (oppervlaktewater)	-222.6	-223.6
Q _{rand} (oppervlaktewater)	- 33.9	- 34.0
Randflux	7.9	7.9
Bergingsafname grondwater	6.1	7.4
Bergingsafname wortelzone	3.2	4.9
Bergingsafname oppervlaktewater	0.6	0.6
Balansfout	-1.4	-1.3

* Deze termen maken geen deel uit van de waterbalans

De verschillen tussen de waterbalansen termen voor het referentiescenario 00 en scenario G1 zijn erg klein. De verdamping neemt licht toe, evenals de afvoer van de beken en de randgebieden. De berging van de wortelzone en het grondwater nemen tijdens de balansperiode in scenario G1 meer af dan in het referentiescenario.

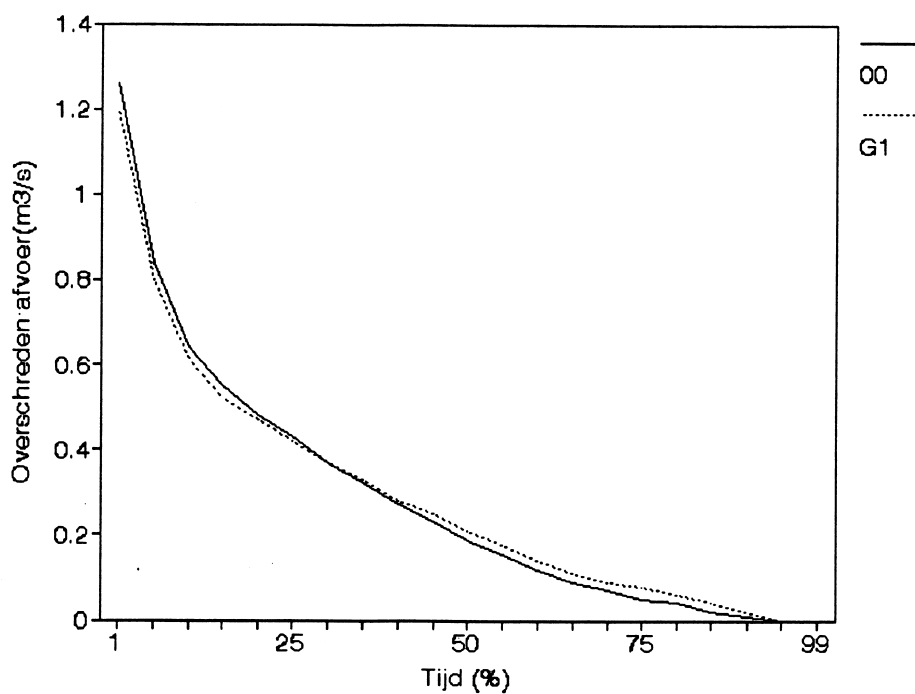


Fig. 6.6a Afvoerduurlijnen over de periode 1969-1995 van de Poelsbeek voor de scenario's 00 en G1

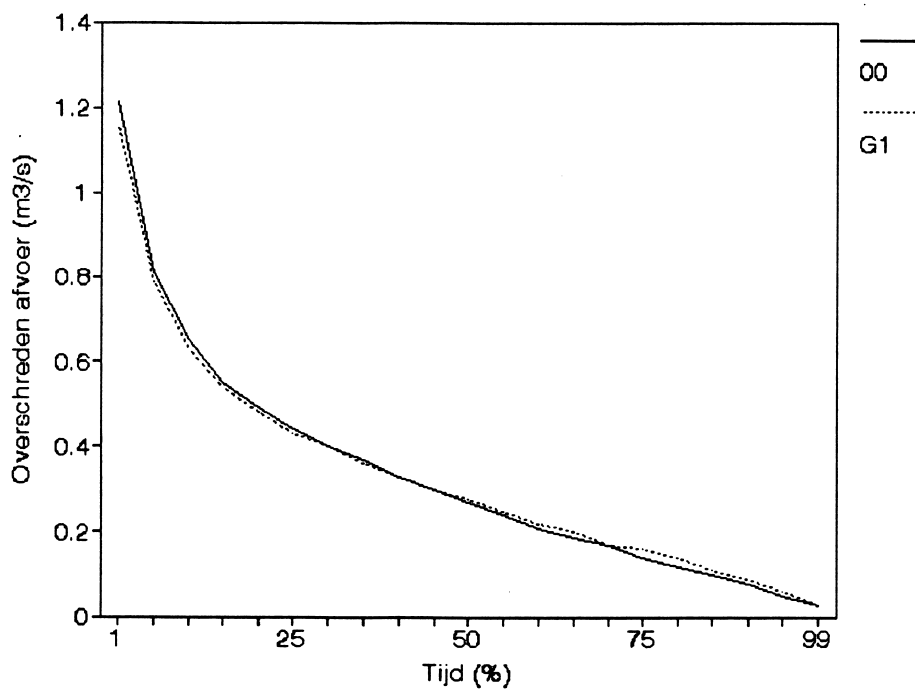


Fig. 6.6b Afvoerduurlijnen over de periode 1969-1995 van de Bolscherbeek voor de scenario's 00 en G1

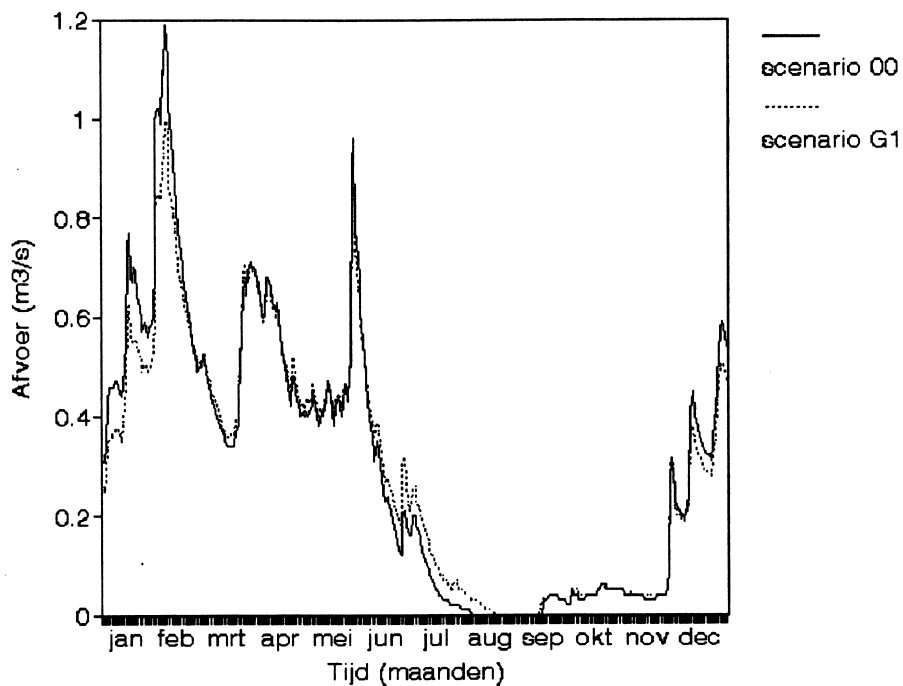


Fig. 6.7a Afvoerverlopen over het jaar 1983 van de scenario's 00 en G1 voor de Poelsbeek

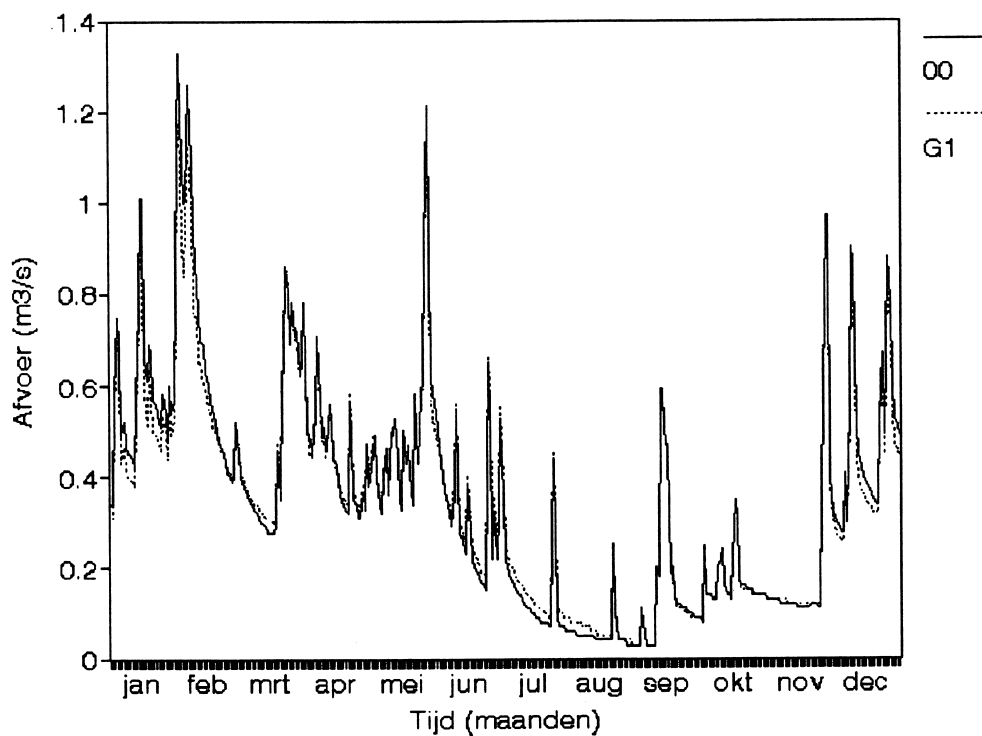


Fig. 6.7a Afvoerverlopen over het jaar 1983 van de scenario's 00 en G1 voor de Bolscherbeek

De afvoerduurlijnen (figuur 6.6) laten zien dat in beide beken de lage afvoeren omhoog gaan en de hoge afvoeren omlaag. Dit effect is het sterkst in de Poelsbeek. Uit de afvoerverlopen (figuren 6.7a en 6.7b) over het jaar 1983 blijkt ook dat de laagste afvoeren hoger worden bij bebossing. De piekafvoeren van de Poelsbeek worden in de winter duidelijk lager, in de zomer is dit niet het geval. Voor de Bolscherbeek geldt dat alleen in de winter de hoogste piekafvoeren lager worden.

6.6.3 Discussie

De droogteanalyse laat zien dat het totaal aantal droge dagen en het volume van het afvoertekort afneemt als grasland vervangen wordt door loofbos. De afvoer van de beken is in scenario G1 slechts een fractie hoger dan in het referentiescenario. Worden ook de afvoerduurlijnen bestudeerd dan leidt dit tot de conclusie dat de hydrologische droogte voornamelijk afneemt als gevolg van een andere verdeling van de afvoeren. De lage afvoeren stijgen en de hogere afvoeren worden lager. De totale afvoer blijft ongeveer gelijk. Dit vlakke afvoerverloop wordt veroorzaakt doordat bos een veel dikkere wortelzone heeft dan gras. Hierdoor is de evenwichtsvochtvoorraad van de wortelzone van bos beduidend groter dan die van gras. Er kan dus meer water geborgen worden in de wortelzone van loofbos dan in de wortelzone van gras. Na een relatief droge periode kan de actuele vochtvoorraad van de wortelzone van loofbos flink gedaald zijn. Als het vervolgens gaat regenen duurt het bij scenario G1 iets langer dan in het referentiescenario voordat het evenwichtvochtgehalte bereikt wordt en capillaire opstijging plaats maakt voor percolatie. Als gevolg hiervan stijgen de grondwaterstanden minder snel, waardoor het langer duurt voordat de kleinere waterlopen en greppels gaan draineren. Hierdoor neemt de drainage via de grotere waterlopen, die een hogere drainageweerstand hebben, licht toe en daarmee de lage afvoeren. Dit leidt tot een afname van hydrologische droogte.

Als er minder grasland door loofbos vervangen wordt zoals bij lintbebossing langs de grootste waterlopen (scenario G2) het geval is, treden dezelfde effecten op maar in mindere mate. Het scenario met lintbebossing laat wel effect zien op de hydrologische droogte.

De lichte toename van de verdamping wordt veroorzaakt door de dikkere wortelzone van bos. Door de dikkere wortelzone neemt bij lagere vochtgehalten de actuele verdamping van gras eerder af dan die van loofbos. In een situatie zonder vochttekort zal gras meer verdampen omdat de potentiële verdamping van gras hoger is dan die van loofbos. Doordat het grootste deel van het modelgebied een grondwatertrap VI, VII of VIII heeft (Querner et al., 1994) neemt de verdamping toch licht toe als grasland vervangen wordt door loofbos.

6.6.4 Conclusie

Als grasland wordt vervangen door loofbos neemt de hydrologische droogte af. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in dikte van de wortelzone van bos en gras. In de dikkere wortelzone van bos kan meer regenwater geborgen worden waardoor tijdens regen de grondwaterstanden minder snel zullen stijgen. Hierdoor zal relatief iets minder water via de kleinere waterlopen afgevoerd worden en iets meer door het primaire systeem, dat een

hogere drainageweerstand heeft. Dit heeft tot gevolg dat de lage afvoeren hoger worden. Hierdoor treedt hydrologische droogte minder vaak op en neemt het volume van het afvoertekort af. Doordat het primaire systeem een hogere drainageweerstand heeft dan de kleinere waterlopen en er meer water via dit systeem afgevoerd wordt, zullen de grondwaterstanden bij bebossing licht stijgen. De stijging is slechts een marginaal effect.

Hoofdstuk 7 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusies gegeven met betrekking tot de invloed van de fysische gebiedskenmerken en een aantal mogelijke menselijke ingrepen op hydrologische droogte. Ook wordt kort ingegaan op de beperkingen van SIMGRO en de geschiktheid van het in dit onderzoek gebruikte model van het studiegebied voor het nastreven van de doelstellingen. Tenslotte worden enkele aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

7.1 Algemene conclusies

Fysische gebiedskenmerken

Tijdens dit onderzoek is de invloed van het doorlaatvermogen, de helling van het gebied en de drainageweerstand op hydrologische droogte bepaald. Het is moeilijk de waarde van één fysisch gebiedskenmerk in het modelgebied zo te variëren dat de overige gebiedskenmerken representatief blijven voor de nieuwe situatie. Onder andere het waterlopenstelsel, de drainageweerstanden en de grondwaterstroming over de rand van het gebied (omdat deze laatste met name door de fysische gebiedskenmerken bepaald worden) zullen vaak niet passen bij de nieuwe situatie. De oorspronkelijke vaste randfluxen zijn bij het draaien van de scenario's gehandhaafd. Deze zijn echter zo klein dat het modelgebied een nagenoeg gesloten bassin vormt. Deze (zeer kleine) vaste randfluxen zijn niet representatief voor gebieden die geen gesloten bassin vormen. Hierdoor wordt wel het effect van de aanpassing van een bepaalde parameter duidelijk voor dit modelgebied maar kunnen de resultaten niet geëxtrapoleerd worden naar studiegebieden die geen gesloten bassin vormen.

Doordat de meetpunten van de beide beken niet geheel stroomafwaarts liggen, wordt het effect van de variatie van een parameter op de afvoeren, op het meest stroomafwaarts gelegen deel van de stroomgebieden, gemist.

Drainageweerstanden hebben een veel kleinere invloed op de regionale grondwaterstroming dan het doorlaatvermogen en de maaiveldshelling. Daarom zal de invloed van de vaste randfluxen op het resultaat van een verandering van de drainageweerstanden een minder belangrijke rol spelen dan bij variatie van het doorlaatvermogen of de helling. Een verhoging van de drainageweerstand leidt tot hogere grondwaterstanden waardoor de lage afvoeren toenemen en de droogte afneemt.

Menselijke ingrepen

Het effect op de waterhuishouding in het algemeen en op hydrologische droogte in het bijzonder is bepaald voor de ingrepen vernatting, verstedelijking, het laten infiltreren van stedelijk regenwater en bebossing. Bij het interpreteren van resultaten moet rekening gehouden worden met de beperkingen van SIMGRO. In dit onderzoek moet met name rekening gehouden worden met de grove schematisatie van het oppervlaktewatersysteem. Ook moet rekening gehouden worden met het feit dat de deelgebieden gekozen zijn op basis van bodemtype en dat deze in werkelijkheid dus niet altijd een oppervlaktewater-eenheid vormen.

Het verhogen van de ontwateringsbasis is in het kader van vernatten alleen zinvol als de

ontwateringsbasis van alle waterlopen verhoogd wordt. Wordt alleen van de kleinere waterlopen de ontwateringsbasis verhoogd dan zullen de minimale (zomer)grondwaterstanden niet hoger worden. Als gevolg van het verhogen van de ontwateringsbasis nemen de lage afvoeren af en daarmee de droogte toe.

Het effect van een vergroting van het stedelijk oppervlak is afhankelijk van de plaats waar het stedelijk regenwater via de RWZI geloosd wordt. Is dit binnen het stroomgebied bovenstrooms van het meetpunt, dan zullen de piekafvoeren toenemen en de lage afvoeren afnemen waardoor de hydrologische droogte in principe toe zal nemen. Door de diepere grondwaterstanden kan het echter zijn dat het gebied zoveel trager op neerslag gaat reageren door toename van de bergingscapaciteit van de verzadigde zone dat de droogte toch afneemt. Dit is het geval bij dit modelgebied. Het effect van het laten infiltreren van stedelijk regenwater is ook afhankelijk van de plaats van de RWZI. Ligt deze ook binnen het stroomgebied en bovenstrooms van het afvoermeetpunt dan worden de grondwaterstanden hoger en neemt de bergingscapaciteit van de onverzadigde zone af. Hierdoor worden de piekafvoeren hoger en de lage afvoeren lager. De Hydrologische droogte neemt dan toe. Het effect van uitbreiding van stedelijk oppervlak op het optreden van droogte is kleiner dan het effect van het laten infiltreren van stedelijk regenwater.

Bebossing van grasland met loofbos leidt nauwelijks tot lagere afvoeren maar wel tot een herverdeling van de hoge en lage afvoeren. Als gevolg van de dikkere wortelzone van bos gaat het hydrologische systeem trager reageren op neerslag waardoor de lage afvoeren hoger worden en de hydrologische droogte afneemt. De hoge afvoeren worden hierbij lager.

Discussie en conclusies met betrekking tot de betrouwbaarheid van de modelresultaten

SIMGRO heeft net als andere modellen een aantal beperkingen. Dit is het geval bij infiltratie vanuit de waterlopen bij dalende grondwaterstanden. Als de grondwaterstanden lager worden dan de bodemhoogte van een waterloop, kan het voorkomen dat er in het model meer water infiltreert in de verzadigde zone dan er in de waterlopen aanwezig is. In dat geval kunnen fouten optreden in de waterbalans van het oppervlaktewatersysteem.

Door de grove schematisatie van het oppervlaktewatersysteem van een deelgebied verlaat het oppervlaktewater van alle waterlopen het deelgebied via één punt. In werkelijkheid kunnen er binnen een deelgebied ook waterlopen op andere plaatsen afwateren. Als de deelgebieden onzorgvuldig gekozen zijn, kan het zijn dat oppervlaktewaterscheidingen in het model niet geheel overeenkomen met de werkelijkheid. Dit houdt in dat de deelgebieden in werkelijkheid niet per sé oppervlaktewater-eenheden hoeven te zijn. Een ander zwak punt vormen de stuwen van het oppervlaktewatersysteem van de deelgebieden. Ook deze zijn niet geheel representatief voor het studiegebied. De stuwpeilen komen niet overeen met de werkelijkheid. Deze zijn tijdens de calibratie van het model zodanig aangepast dat de afvoer benedenstrooms en de grondwaterstanden ter plaatse van de peilbuizen, de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderen.

Verder zullen de resultaten worden beïnvloedt door de onnauwkeurigheid van invoergegevens. Er zit een zekere onnauwkeurigheid in de grootte van de vaste grondwaterfluxen van het modelgebied. Deze wordt veroorzaakt doordat de grootte ervan bepaald is aan de hand van isohypsenkaarten. Om de invloed van vaste randfluxen te verkleinen is het in het algemeen beter om een gebied te modelleren dat veel groter is dan het studiegebied. Dit is

voor het stroomgebied van de Poelsbeek en de Bolscherbeek niet eenvoudig. Het modelleren van een groter gebied brengt bovendien met zich mee dat er veel meer (geohydrologische) gegevens nodig zijn. Het verzamelen van deze gegevens en het uitbreiden van het modelgebied viel buiten het kader van dit onderzoek. De betrouwbaarheid van de geohydrologische gegevens is moeilijk te bepalen. Deze hebben echter wel een sterke invloed op de modelresultaten zodat ze zich goed lenen voor aanpassing tijdens de calibratie van het model. Wel moet er dan voor gewaakt worden dat de orde van grootte van de parameters vergelijkbaar blijft met de gegevens uit de literatuur. In het gebruikte modelgebied treden in ieder geval onbetrouwbaarheden op bij de doorlaatvermogens aan de westrand en ter plaatse van de glaciale geul, net ten westen van Haaksbergen (zie hoofdstuk 2).

7.2 Aanbevelingen

Tijdens dit onderzoek is bij het bepalen van de invloed van fysische gebiedskenmerken op lage afvoeren, uitgegaan van een (nagenoeg) gesloten gebied. Het is ook interessant om de effecten van fysische gebiedskenmerken te bepalen in niet-gesloten gebieden. *Hiervoor is het nodig om de randen een vaste stijghoogte te geven.* Ook valt het aan te bevelen om het huidige modelgebied dan te vergroten om de beïnvloeding van de resultaten door de randfluxen te verkleinen.

Bovendien is het mogelijk om voor het onderzoek naar de invloed van fysische gebiedskenmerken een geheel fictief gebied te modelleren, zodat de randvoorwaarden geen, of een kleinere invloed zullen hebben op de resultaten. Hierin kunnen de beperkingen van het modelgebied van de Poels- en Bolscherbeek voor een groot deel ondervangen worden.

Bij het bepalen van de invloed van de helling op de lage afvoeren bleek dat de keuze van de hellingsrichting grote invloed heeft op de verdeling van het grondwater over de twee stroomgebieden. Daarom valt het aan te bevelen het effect hiervan op de afvoer van de beken te bepalen.

Het zou kunnen zijn dat de effecten van variatie van gebiedskenmerken en ingrepen in de waterhuishouding beter tot uiting komen als de deelgebieden zo gekozen worden dat ze oppervlaktewater-eenheden vormen en overeenkomst vertonen in bodemtype en hydrologische omstandigheden. Een dergelijke schematisatie zal echter niet eenvoudig zijn.

Omdat tijdens dit onderzoek aangenomen is dat bij een vergroting van het verhard stedelijk oppervlak het aantal inwoners constant blijft, is het ook aan te raden om hiervan het effect op droogte te bepalen in combinatie met een toename van het aantal inwoners. Dit kan gedaan worden door de hoeveelheid huishoudelijk afvalwater te vergroten. Hierbij moet rekening gehouden worden met een realistische capaciteit van de RWZI.

Doordat de slootintensiteit van het greppelsysteem en het secundaire en tertiaire systeem voor grote delen van het modelgebied constant is, kan aangenomen worden dat deze voor het stedelijk gebied niet representatief is. Aanbevolen wordt dan ook om de invloed van slootintensiteit binnen het stedelijk gebied te onderzoeken.

Literatuurlijst

Aelmans, F.G. Grondwaterkaart van Nederland - schaal 1: 50000. Geohydrologische toelichting bij kaartbladen 28 Oost Almelo en 29 Denekamp, 34 Oost Enschede en Glanerbrug. Delft, Dienst Grondwaterverkenning TNO, 1974.

Anderson, W.F., Krul, H., Römer, J.H. (eds.), Geologie van Twente. Zutphen, Nederlandse Geologische Vereniging, 1961.

Bakel, P.J.T. van, A numerical model for non-stationary saturated groundwaterflow in a multi-layered system. Wageningen, Institute for Land and Water Management Research (ICW), Nota 1077, 1978.

Boiten, W., Hydrometry. Wageningen, LUW, z.j..

Boiten, W., Het opstellen van de afvoerkrommen van klepstuwen. Wageningen, LUW, Vakgroep Waterhuishouding, Rapport 52, 1995.

Felix, R., Jongmans, A.G., Miedema, R., Geologie, bodem en landschap Nederland. Wageningen, LUW, Vakgroep Bodemkunde en geologie, 1994.

Ieperen, H.J. van, Hydraulica I. Wageningen, LUW, z.j..

Novický, O. & J. Říčka, Experiments with deficit volumes, program description. Praag, Czech Hydrometeorological Institute, 1994.

Querner, E.P., Aquatic weed control within an integrated water management framework. Wageningen, DLO Winand Staring Centre, Rapport 67, 1993.

Querner, E.P., Aarnink, W.H.B. van Mourik, C.C.P. Scenariostudie naar de verandering van grondwateraanvulling en grondwaterstanden tussen de jaren vijftig en tachtig. Wageningen, DLO Staring Centrum, Rapport 308, 1994.

Rappol, M. (ed.), In de bodem van Salland en Twente: geologie, archeologie, excursies. Amsterdam, Lingua Terrae, 1993.

Walsum, P.E.V. van, Veldhuizen A.A., Modelstudie waterhuishouding Fochteloërveen en omgeving. Simulatie van scenario's voor het waterbeheer met SIMGRO. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 399, 1996.

Waterschap Regge en Dinkel, Waterbeheersplan 1997 - 2000, concept, z.p., 1996.

Weerd, B. van de, Lanen, H.A.J. van, Dijksma, R., Hydrogeological excursion in the eastern part of the Netherlands. Excursion guide. Wageningen, LUW, Department of Water Resources, z.j..

Werkman, W.J. Lage afvoer in het stroomgebied van de Hupselse Beek. Een analyse met het geïntegreerde grond- en oppervlaktewaterstromingsmodel MOGROW. Wageningen, DLO-Staringcentrum, Interne mededeling 378, 1995.

Bijlage 1 Stratigrafische tabel voor Nederland (Felix e.a., 1994)

ERA	PERIODE /SYSTEEM	Laat TIJDVAK/SERIE Vroeg	Boven Onder	KLIMAAT /TEKTONIEK	DELfstOFFEN
KENOZOÏCUM	KWARTAIR	HOLOCEEN	0.01	gematigd Alpen subtropisch	water, veen, klei, zand, grind, keileem
		PLEISTOCÉEN			
	TERTIAIR	PLIOCÉEN	5		water, klei, voruzand, (zilver)zand, grind, bruinkool, fosfaatknollen, aardgas
		MIOCÉEN	22,5		
		OLIGOCEEN	37,5		
		EOCEEN	55		
MESOZOÏCUM	KRIJGT	PALEOCÉEN	66	subtropisch Landijskappen	water, kalksteen, vuursteen, aardolie, aardgas,
			136		
	JURA	MALM			aardwarmte
		DOGGER			
	TRIAS	LIAS	193		aardgas, zout, gips, dolomitische kalk
		KEUPER			
PALEOZOÏCUM	PERM	MUSCHELKALK		subtropisch hercynisch subtropisch	
		RÖT			
	CARBOON	BONTZANDSTEEN	230		zout, gips, aardgas
		ZECHSTEIN			
	DEVON		280		steenkool, aardgas
			345		
	SILUUR		395		tektonische fase
			435		
	ORDOVICIUM		500	subtropisch Ca ledonisch	
	CAMBRIUM		560		2 miljoen jaar (2 Ma)

Bijlage 2 Boven Tertiaire en Kwartaire formaties

Chronostratigrafie			Nederlandse lithostratigrafie						
			Afzettingen in verband met landijs	Afzettingen van lokale herkomst	Afzettingen van grote rivieren	Afzettingen in zee en bij de kust			
			N	Z	N	Z	N	Z	
K W A R T A I R	HOLOCEEN				Formatie van Kootwijk E Formatie van Singraven B Form. van Orlendtsveen V	Betuwe Formatie R+M		Westland Formatie	
	PLEISTOCEEN	Boven-	Weichselien*		Formatie van Twente E+V+P+B	Formatie van Kreftenheye R+M			
			Eemien		Formatie van Asten V			Eem Formatie	
		Midden-	Saalien*	Form. v. Drente					
			Holsteinien			Formatie van Eindhoven			
			Elsterien*	F. v. Peelo		E+P B+V	Formatie van Urk R	Formatie van Veghel M	****
			Cromerien complex**						****
		Onder-	Bavelien***			Formatie van Enschede O	Formatie van Sterksel R+M		
			Menapien*			Formatie van Kedi-chem (ten dele) B+P+V	Formatie van Kedi-chem R+M		
			Waalien			Formatie van Harderwijk O			
			Eburonien*				Formatie van Tegelen R+M		
			Tiglien						Formatie van Maassluis
			Praetiglien*						
T E R T I A I R	PLIOCEEN								
		Boven- (Rauverien)				Formatie van Scheemda O	Kiezelslobbet Formatie R+M	Formatie van Oosterhout	
		Onder- (Brunsumien)							
	MIOCEEN	Boven-							
		Midden-			Heksenberg Formatie			Formatie van Breda	
		Onder-							

E = eolische afzettingen
P = periglaciale afzettingen
B = beekafzettingen
V = veen

R = Rijn
M = Maas
O = oostelijk
noordduitse rivieren
en voorlopers

* koude tijd
** complexe eenheid bestaande
uit tenminste 4 warme en
3 koude tijden
*** twee koude en warme tijden
binnen één etage (Bavelien)
**** nog onbenoemd, voorlopig bij
Formatie van Urk

bron: RGD, Haarlem

Bijlage 3 Boringen van de RGD

Doel

De redenen waarom voor dit onderzoek de boorbeschrijvingen van een aantal boringen van de RGD zijn bestudeerd, zijn:

- het bestuderen van de opbouw van het gebied in het kader van de gebiedsverkenning, met name de diepere ondergrond;
- het vergelijken van de schematisatie van de ondergrond in het model met de boorbeschrijvingen, waarbij gekeken wordt naar de dikte van de lagen en de doorlatendheden.

Methode:

Uitgaande van de boorbeschrijvingen van de RGD is een doorsnede getekend van het noorden naar het zuiden door het gebied en zijn de profielen van de boringen bij de glaciale geul getekend. Hiervoor zijn de boorbeschrijvingen van een punt helemaal in het westen, 5 punten ongeveer loodrecht op het gebied in de buurt van onze raai en 3 punten loodrecht op de smeltwatergeul gebruikt (figuur 2.2). De resultaten van de gebiedsverkenning zijn meegenomen in de gebiedsbeschrijving en worden hier niet verder behandeld.

Verder is het doorlaatvermogen berekend ter plaatse van de boringen waarlangs de doorsnede is getekend. Hiervoor zijn de waarden gebruikt uit tabel B3.1 (Aelmans, 1974).

Tabel B3.1: doorlatendheden van formaties

Formatie	Doorlatendheid
Formatie van Twente	5 m/d
Formatie van Drente, keileem	2 m/d
Formatie van Drente, fluvioglaciaal	10 - 40 m/d*
Formatie van Urk	10 - 40 m/d*

* Deze formaties kunnen een doorlatendheid hebben van maximaal 100 m/d, maar in de boringen bestaan zij meestal uit matig tot slecht gesorteerde grove grindige zanden waarvan de doorlatendheid waarschijnlijk niet groter is dan 40 m/d.

Om de boringen van de RGD met de invoergegevens in het model te kunnen vergelijken, is gekeken welke knooppunten uit het model het dichtst bij de boorpunten liggen. Van deze knooppunten is het doorlaatvermogen en de dikte van het watervoerend pakket opgezocht. Hetzelfde is gedaan voor de drie boringen ter hoogte van de smeltwater geul. Bij de berekening van de doorlatenheid zijn de waarden uit tabel B3.2 gebruikt. Deze waarden zijn afgeleid uit de doorlatendheden en textuursamenstelling van de formaties.

Tabel B3.2: doorlatendheden van verschillende textuurklassen:

Textuur	Doorlatendheid (m·d ⁻¹)
klei, leem	0.01 - 0.1
veen	0 - 1
slibhoudend fijn zand	1 - 5
fijn zand	5
grof zand	10 - 40
grind	40 - 100

Resultaten

De boorbeschrijvingen van de RGD zijn opgenomen in bijlage 3a. De profielen die gemaakt zijn aan de hand van de boringen zijn weergegeven in figuur B3.1. De doorsnede is afgebeeld in figuur 2.3. De resultaten van de berekeningen van het doorlaatvermogen staan vermeld in tabel B3.3.

Tabel B3.3 Doorlaatvermogen en dikte in model en boorbeschrijving

Boringen RGD			Model		
b_nr.	kD (m2/d)	D (m)	pnt.	kD (m2/d)	D (m)
252	180 - 630	20	253	100	11
			356	288	35
			368	364	44
253	120 - 390	15	317	124	20
			300	111	17
			301	124	20
194	65 - 125	11	265	160	16
			249	140	15
167	67 - 230	8	264	120	12
			263	140	15
168	36 - 95	6	224	80	8
41	55	8*	126	85	13
114	260 - 680	26*	59	195	31
			56	163	25
158	44 - 180	31*	44	143	23
277	115 - 300	11	408	432	52
			421	423	55
			409	459	51

* Deze boringen zijn niet diep genoeg om met zekerheid te zeggen dat het hele watervoe- rend pakket is doorboord. Het doorlaatvermogen is berekend tot de diepte tot waar geboord is. Het kan dus zijn dat het doorlaatvermogen in werkelijkheid groter is.

In de eerste vijf rijen (boring nummer 252 tot en met 168 staan de boringen die samen één raai vormen loodrecht op het gebied. De volgende drie rijen geven de boringen bij de geul

weer. De onderste rij (277) beschrijft de boring in het westen van het gebied.

Discussie

Het vergelijken van de waarden voor het doorlaatvermogen en de dikte van het watervoe-rend pakket in het grondwaterstromingsmodel met de waarden die resulteren uit de boorbeschrijvingen, kan gedaan worden met behulp van tabel B3.3. Uit deze tabel blijkt dat de meeste waarden van het doorlaatvermogen in de buurt liggen van het grove interval dat met behulp van de boorbeschrijvingen bepaald is. Alleen de knooppunten 408, 421 en 409 lijken een erg hoge kD te hebben. De dikte is ook een stuk groter dan die in de boring van de RGD. Deze knooppunten liggen benedenstrooms in het gebied, dichtbij het Twentekanaal en zijn daardoor niet erg van belang voor de bepaling van de afvoer. Knooppunt 253 heeft ook een opmerkelijk lage waarden, zeker in verhouding tot de knooppunten die ernaast liggen.

In het model is de doorlatendheid in de glaciale dal nauwelijks groter dan die van de punten erom heen. De waarden van de doorlatendheid lijken aan de lage kant te zijn. De dikten en de berekende doorlaatvermogens uit de boringen ter plekke van de glaciale geul zijn onbetrouwbaar, omdat niet zeker is of tot op het Tertiair is geboord. Het is mogelijk dat de doorlaatvermogens groter zijn dan berekend, omdat er nog grove lagen onder de boringen kunnen zitten. Uit de tabel is wel de algemene conclusie te halen, dat in de geul de doorlatendheden een stuk hoger kunnen zijn dan op de randen ervan en erbuiten. Dit komt niet in de invoerwaarden van het model tot uiting. De precieze ligging en dikte van de glaciale geul, het doorlaatvermogen ter plekke van de glaciale geul en de invloed van deze geul op de grondwaterstroming zal nog verder onderzocht moeten worden.

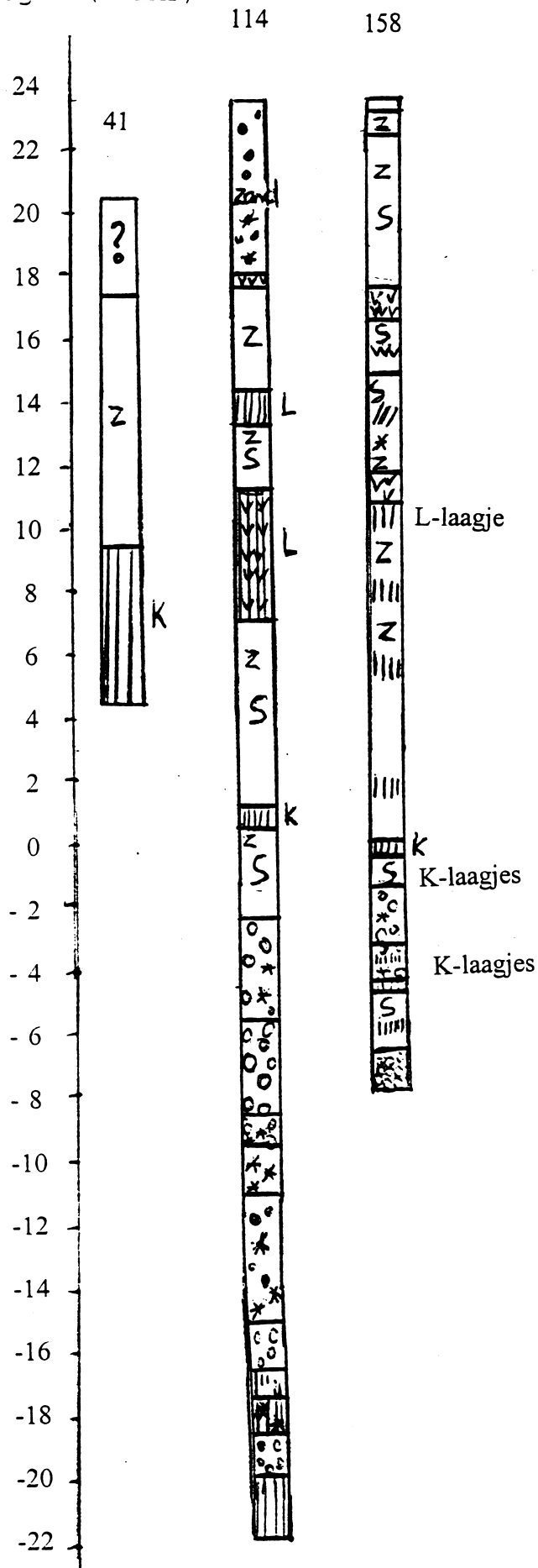
Uit de vergelijking blijkt dus dat de doorlaatvermogens in het model niet geheel overeenstemmen met de waarden berekend uit de boringen, maar deze wel redelijk benaderen. Verder is duidelijk dat de glaciale geul en de westrand van het gebied onnauwkeurig in het model zitten.

Conclusie

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- De waarden voor het doorlaatvermogen uit het model komen niet altijd overeen met de berekende waarden uit de boorbeschrijving. De waarde van knooppunt 253 is waarschijnlijk verkeerd.
- Het doorlaatvermogen ter plekke van de glaciale geul en de westrand van het modelgebied komt niet overeen met het doorlaatvermogen berekend uit de boorbeschrijvingen van de RGD.

Hoogte (+ NAP)



Legenda:

-  = fijn zand
-  = klei (K) of leem (L)
-  = grof zand
-  = grind
-  = veen
-  = matig grof/matig fijn zand
- s = slibhoudend

Fig. B3.1 Profielen bij de smeltwatergeul

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34B252
X-COORD. : 237.660
Y-COORD. : 467.440
PROVINCIE : OVERYSSEL.
BORING DATUM : 9-3-1981.
GEMEENTE : DIEPENHEIM.
UITVOERDER : FIRMA VAN TONGEREN.
METHODE : ROTARY ZUIGBORING.
BORING TEKST : TNO 62 (T5D).
NAP (CM) : +1441
BESCHRIJVER : C.J. VAN HOUTEN.RGD.
STRAT.BESCH. : C.J. VAN HOUTEN.RGD.
RAPPORT NO. : GRINDTELLINGEN-LOCHEM. DR 1422

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63	CA
1		200	MONSTER	AFWEZIG.					
2		240	ZAND	MATIG GROF, LICHTBRUIN, KWARTSZAND MET WEINIG BYMENGING VAN ANDERE MINERALEN, MATIGE SPREIDING, VEEL GROVE AFGERONDE ZANDKORRELS, SPOOR ZEER FYNE PLANTENRESTEN, IN HET ZAND SPOOR NIET GEROLDE VUURSTEEN EN RODE RESTKWARTSKORRELS, GRINDIG, GRYG, LYKT GEBLEEKT, AFGEROND GRIND BEVAT IN DE FRACTIE 3-5 MM, O.A. ONGEVEER 47 PERC. GANG-, 1 PERC. RODE EN 16 PERC. RESTKWARTS, 1 PERC. NIET GEROLDE VUURSTEEN, 2 PERC. PORFIER, 4 PERC. VELDSPAAAT, 4 PERC. OVERIGE KRISTALLYN EN 17 PERC. TOTAAL RESTDIVERSEN, CA 0.				250	
3		630	ZAND	MATIG FYN, LICHTBRUIN-GRYG, KWARTSZAND MET ZEER VEEL BYMENGING VAN ANDERE MINERALEN (TEGEN IETS BONT AAN), KLEINE/MATIGE SPREIDING, SPOOR ZEER FYNE PLANTENRESTEN, STERK KALKHOUDEND (KALKSTEENKORRELS), CA 4.					160
4		1000	ZAND	ZEER GROF, DONKERBRUIN, BONT, MATIGE SPREIDING, SPOOR GLIMMERS (MUSKOVET + BIOTIET) SPOOR GLAUCONIETKORRELS, EN SPOOR GRANAATJES IN HET ZAND, STERK KALKHOUDEND, (KALKSTEENKORRELS), CA 4.					350
5		1210	ZAND	UITERST GROF, BRUIN, BONT, MATIGE/GROTE SPREIDING, ZEER FYNE AUGIETSTUKJES, MET ZEER FYNE KALKSTEENKORRELS, GRINDIG NA 11.60 GRINDARM, BRUIN-GRYG, LYKT IETS GEBLEEKT HOEKIG AFGEROND, GRIND BEVAT IN DE FRACTIE 3-5 MM VAN 10.00-11.60 O.A. ONGEVEER 44 PERC. GANG- EN 17 PERC. RESTKWARTS, 3 PERC. PORFIER, 5 PERC. VELDSPAAAT, 3 PERC. OVERIGE RESTKWARTS, 4 PERC. LYDIET EN 22 PERC. TOTAAL RESTDIVERSEN, W.O. EEN PARTIKEL KALKSTEEN, VAN 10.00-11. 60, CA 4, 11.60-12.10, CA 2. (M63 : 450/700)					
6		1300	ZAND	MATIG GROF, GRYG, BONT, MATIGE SPREIDING, GLIMMERS, (MUSKOVET + BIOTIET), WEINIG ZEER FYNE KALKSTEENKORRELS, CA 4.					250

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

7	1340	ZAND	ZEER GROF, BRUIN-GRYS, BONT, MATIGE/GROTE SPREIDING, ZEER FYNE AUGIETKORRELS, GLIMMERS (MUSKOVJET + BIOTJET), WEINIG KALKSTEENKORRELS, GRINDARM, GRYS, HOEKIG AFGEROND, GRIND BEVAT IN DE FRACTIE 3-5 MM, O.A. ONGEVEER 23 PERC. GANG-, 2 PERC. RODE- EN 30 PERC. RESTKWARTS, 1 PERC. PORFIER, 17 PERC. VELDSPAAT, 4 PERC. OVERIGE RESTKRISTALLYN, 3 PERC. LYDIET, W.O. EEN PARTIKEL KIEZELOOLIET EN 18 PERC. TOTAAL REST DIVERSEN, CA 4.	350
8	1650	ZAND	UITERST GROF, BRUIN, BONT, GROTE SPREIDING, STOFFIG, GRINDIG, DONKERGRYS-BRUIN, AFGEROND GRIND BEVAT IN DE FRACTIE 3-5 MM ONGEVEER 29 PERC. GANG- EN 25 PERC. RESTKWARTS, 4 PERC. PORFIER 10 PERC. VELDSPAAT, 3 PERC. OVERIGE KRISTALLYN, 2.5 PERC. LYDIET EN 24 PERC. TOTAAL REST DIVERSEN, CA 0.	600
9	1860	ZAND	ZEER GROF, BRUIN, BONT, MATIGE/GROTE SPREIDING, SPOOR GLAUCONIETKORRELS, GLIMMERS (MUSKOVJET), WEINIG KALKSTEENKORRELS, GRINDIG, DONKERBRUIN-GRYS, HOEKIG AFGEROND, GRIND BEVAT VAN 16.80-18.60 IN DE FRACTIE 3-5 MM O.A. ONGEVEER 38 PERC. GANG-, 1 PERC. RODE- EN 20 PERC. RESTKWARTS, 2 PERC. PORFIER, 12 PERC. VELDSPAAT, 6 PERC. OVERIGE KRISTALLYN, 2 PERC. LYDIET EN 16 PERC. TOTAAL REST DIVERSEN, CA 3.	350
10	2000	ZAND	UITERST GROF, BRUIN, BONT, GROTE SPREIDING, GLIMMERS (MUSKOVJET), ZEER FYNE AUGIETSTUKJES, KALKSTEENKORRELS, GRINDIG, DONKERBRUIN-GRYS, HOEKIG AFGEROND, GRIND BEVAT VAN 19.00-20.00 IN DE FRACTIE 3-5 MM O.A. ONGEVEER 30 PERC. GANG- EN 15 PERC. RESTKWARTS, 2 PERC. PORFIER, 11 PERC. VELDSPAAT, 8 PERC. OVERIGE KRISTALLYN, 4 PERC. LYDIET EN 26 PERC. TOTAAL REST DIVERSEN, VAN 18.60-19.00, CA 3, 19.00-20.00, CA 4. (M63 : 450/600)	

STRATIGRAFIE INFORMATIE ONTBREEKT
EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34B253
X-COORD. : 239.500
Y-COORD. : 468.050
NAP (CM) : 1480
PROVINCIE : Overijssel
BORING DATUM : 21-12-1983
GEMEENTE : Ambt Delden
UITVOERDER : Rijks Geologische Dienst District Midden-Oost. Lochem
METHODE : Puls
BORING TEKST : W 789 naam: Flutter
BESCHRIJVER : C.J. van Houten. RGD Lochem
STRAT.BESCH. : C.J. van Houten. RGD Lochem
RAPPORT NO. : Micropal 1476
TYPIST(E) : pdk

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63	CA
1		80	zand	matig grof. donkerbruin. kwartszand met spoor bijmenging van andere mineralen. matige spreiding. spoor baksteen partikels. humeus. teelaarde				250	0
2		140	zand	matig grof. donkerroestbruin. kwartszand met spoor (weinig) bijmenging van andere mineralen. matige spreiding. Fe houdend. iets slibhoudend	2			280	0
3		190	zand	matig grof. bruin. kwartszand met weinig (spoor) bijmenging van andere mineralen. zwak Fe houdend				250	0
4		250	zand	zeer grof. lichtbruin. kwartszand met weinig bijmenging van andere mineralen. grote spreiding. in het zand onder andere een kiezeloolietje. spoor grind onder andere veel gang- en weinig restkwarts. een niet gerolde vuursteen. een microsfer. porfier. radiolariet en een bontzandsteen				380	0
5		400	zand	matig grof. lichtbruingrijs. kwartszand met weinig bijmenging van andere mineralen. matige tot grote spreiding. spoor grind. lichtbruin. hoekig afgerond. grind bevat in de fractie 3-5 mm over 100 partikels onder andere ca. 47% gang- en 10% restkwarts. 2% niet gerolde vuursteen. 1% porfier. 3% veldspaat. 1% kwarts met veldspaat. 5% overige kristallijn. 5% lydiet. 1% kiezelooliet en 25% totaal rest				250	0
6		600	zand	matig fijn. lichtbruingrijs. iets bont. matige spreiding. sterk kalkhoudend. in het zand onder andere augietpartikels. spoor fijn hout- en plantenresten				190	4
7		610	klei	/laagje. lichte klei. grijs. iets stug. sterk kalkhoudend. met zeer fijne plantenresten en enkele zeer fijn slakje	30		55		4
8		900	zand	matig grof. lichtbruingrijs. bont. matige spreiding. sterk kalkhoudend. met kalksteenkorrels ten gevolge van M 100 korrels. spoor glauconiet. glimmers (Muskoviet +				280	4

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

				Biotiet). spoor grind na 7.00 grindarm. lichtbruingrijs. iets gebleekt. grind bevat in de fractie 3-5 mm van 7.00-8.00 over 300 partikels onder andere ca. 46% gang- en 15% restkwarts. 1.5% niet gerolde vuursteen. 1% kwarts met veldspaat. 1% overige kristallijn. 4.5% lydiet en 28% totaal rest					
9	1000	zand		uiterst grof. lichtbruingrijs. bont. grote spreiding. spoor augietstukjes. spoor glimmers (Muskoviet + Biotiet). grindig. lichtbruingrijs. hoekig afgerond. iets gebleekt. grind bevat in de fractie 3-5 mm over 300 partikels onder andere ca. 48.5% gang-. 1% rode- en 17% restkwarts. 3% porfier. 1.5% veldspaat. 2% kwarts met veldspaat. 1% overige kristallijn. 3% lydiet en 21% totaal rest					50
10	1200	zand		matig grof. lichtbruingrijs. bont. matige spreiding. spoor glimmers (Muskoviet + Biotiet). spoor augietstukjes. spoor kalksteenkorrels ten gevolge van M 100 korrels. grindarm. iets gebleekt en hoekig afgerond. grind bevat in de fractie 3-5 mm over 300 partikels onder andere ca. 48.5% gang-. 1% rode- en 17% restkwarts. 3% porfier. 1.5% veldspaat. 2% kwarts met veldspaat. 1% overige kristallijn. 3% lydiet en 21% totaal rest					28
11	1400	zand		uiterst grof. bruingrijs. bont. grote spreiding. spoor glimmers (Muskoviet + Biotiet). in het zand onder andere augietstukjes en ringenziezel. spoor glauconiethoudend. grinddriek. bruingrijs. hoekig afgerond. grind bevat in de fractie 3-5 mm van 12.00-13.00 over 300 partikels onder andere ca. 43% gang- en 11.5% restkwarts. 1% porfier. 4.5% veldspaat. 3% kwarts met veldspaat. 4% overige kristallijn. 3% lydiet en 28.5% totaal rest					50
12	1520	zand		zeer grof. bruingrijs. bont. matige tot grote spreiding. spoor glimmers (Muskoviet + Biotiet). spoor augietstukjes. spoor pyriet. grindarm. bruingrijs. hoekig afgerond. grind bevat in de fractie 3-5 mm over 300 partikels onder andere ca. 36% gang-. 1% rode- en 17% restkwarts. 1% porfier. 5.5% veldspaat. 1% kwarts met veldspaat. 1.5% lydiet en 35% totaal rest. aan de basis enkele verweerde septarien					38
13	2000	leem		zwarte siltige leem. donkergroen. iets stug. zeer glauconiethoudend (code D). veel goethiet. met lichte kleilensjes en matig fijne zandlensjes en laagjes. enkele zandsteenverkittingen. spoor Lingula Dimortiri en visresten. twee haaiantandjes. van 16.00-17.00 komt het mineraal vivianiet voor van 15.20-15.40 Lu 10. Si 60. Ca 0. van 15.40-16.00 Lu 15. Si 75. Ca 0. van 16.00-17.00 Lu 20. Si 70. Ca 0. van 17.00-20.00 Lu 12. Si 75. Ca 0					
14	2700	zand		matig fijn. donkergroen. kwartszand. kleine spreiding. zeer glauconiethoudend (code D). zeer slibhoudend. veel leemlensjes. spoor Lingula Dimortiri. veel goethiet na	7			40	16

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

				22.00 weinig. weinig zandsteenverkittingen. zeer sterk					
				lemig zand. tegen glauconietzand aan					
15		3100	zand	(glauconietzand). donkergroen tegen zwart aan. zeer sterk	7		40		1
				lemig zand. spoor goethiet. weinig fijn schelpgruis					
				onder andere spoor Lingula Dimortiri. verder visresten en					
				een muizentandje					
16		3120	leem	zwarte siltige leem. donkergroen. iets slap. zeer	15		75		0
				glauconiethoudend (code D). spoor glimmers (Muskoviet)					
17		3180	zand	monster afwezig					
18		3700	klei	matig zware klei. donkerbruingroen. zeer stug. hard. veel	45		40		0
				glimmers (Muskoviet). lijkt zeer humeus. met					
				donkergroene siltnestjes					
19		3800	leem	zeer zware siltige leem. donkerbruingroen. iets stug.	15		75		1
				weinig glimmers (Muskoviet). plaatselijk iets humeus					

OPMERKING : Stratigrafie van 18-02-1975

STRATIGRAFIE

	BOVEN	ONDER		OMSCHRIJVING
	0	80		Teelaarde
	80	610		Formatie van Twente
	610	1400		Formatie van Drente (Lokaal Fluvioglaciaal)
	1400	1520		Formatie van Peelo (Afzetting van Enter)
	1520	3180		Formatie van Breda (Afzetting van Delden)
	3180	3800		Formatie van Breda (Afzetting van Eibergen)

EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34E194
 X-COORD. : 240.920
 Y-COORD. : 468.270
 PROVINCIE : OVERYSSEL.
 BORING DATUM : MAART 1981.
 GEMEENTE : AMT DELDEN.
 UITVOERDER : R.G.D., DISTRIKT OOST, LOCHEM.
 METHODE : PULS.
 BORING TEKST : W 699.
 NAP (CM) : +1530
 BESCHRIJVER : T. BRUINS.RGD.
 STRAT.BESCH. : T. BRUINS.RGD.
 TYPIST(E) : VST.

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63	CA
1		030	ZAND	DONKERBRUIN, MATIG FYN, ZEER STERK LEMIG, HUMEUS, CA 0.				170	
2		060	ZAND	DONKERBRUIN, MATIG FYN, STERK LEMIG, ROESTIG MET FE VERKITTINGEN, CA 0.				170	
3		100	ZAND	GEEL-BRUIN, MATIG FYN, LEEMARM, KLEINE SPREIDING, CA 0.				170	
4		200	ZAND	GEEL-BRUIN, ZEER FYN, LEEMARM, KLEINE SPREIDING, CA 0.				120	
5		300	ZAND	GRYS-BRUIN, ZEER FYN, LEEMARM, KLEINE SPREIDING, CA 0.				120	
6		400	ZAND	GRYS, MATIG FYN, LEEMARM, MATIGE SPREIDING, ENKEL ZEER FYN GRINDJE, MOSRESTEN, CA 0.				170	
7		500	ZAND	GRYS, MATIG GROF, LEEMARM, MATIGE SPREIDING, MOSRESTEN, CA 3.				250	
8		600	ZAND	IDEM, ZWAK LEMIG, CA 3.				250	
9		700	ZAND	IDEM, CA 3.				250	
10		800	ZAND	IDEM, MET DUN SLIBLAAGJE, CA 3.				250	
11		860	ZAND	GRYS, MATIG GROF, ZWAK LEMIG, MATIGE SPREIDING, CA 3.				250	
12		900	ZAND	GRYS-BRUIN, UITERST GROF, GROTE SPREIDING, LEEMARM, DUN LEEMBANDJE, GRINDHOUDEND (VUURSTEEN, ENKEL GRANIJETJE, VEEL GRYZE ZANDSTEEN), CA 3.				500	
13		1000	ZAND	IDEM, CA 3.				600	
14		1100	ZAND	VEEL FYN GRIND, (GEROLDE VUURSTEEN), CA 2.				1000	
16		1300	ZAND	IDEM, VEEL FYN GRIND, CA 2.				800	
17		1400	ZAND	DONKERGY-S-GROEN, KWARTSZAND MET ZEER WEINIG GLAUCONIET, ZEER FYN, SCHERP, ZWAKLEMIG, VISRESTEN, CA 0.				120	
18		1500	ZAND	GROEN-GRYS, ZEER FYN, ZWAK LEMIG, SCHERP, CA 0.				110	
19		1600	KLEI	GROEN-GRYS, LICHT FYNZANDIG, MATIG GLAUCONIET, SPORADISCH GOETHIET, ENKEL HOUTRESTJE, OMGEWERKT MET BOVENLIGGEND MATERIAAL, CA 0.					
20		1700	KLEI	IDEM, MINDER GLAUCONIET, CA 0.					
21		1800	ZAVEL	GROEN-GRYS, LICHT, MATIG VEEL GLAUCONIET, ZANDVERKITTINGEN, ZWART MINERAAL !!!, ZEER VEEL GOETHIET, EEN HAAIETAND, VIVIANIET?, CA 0.					
22		1900	ZAVEL	IDEM, MET KWARTSZAND, MATIG VEEL GLAUCONIET EN GOETHIET, CA 0.					
23		2000	ZAVEL	IDEM, MET ZWARTE MINERALEN EN ZANDVERKITTINGEN, CA 0.					
24		2100	ZAVEL	IDEM, VEEL GOETHIET, CA 0.					
25		2200	ZAVEL	IDEM, CA 0.					
26		2300	ZAND	ZEER FYN, ZWAK LEMIG, SCHERP, GROEN-GRYS, ZEER VEEL GLAUCONIET, ZEER WEINIG GOETHIET, ENKELE ZANDVERKITTINGEN, CA 0.				110	
27		2400	ZAND	IDEM, SPORADISCH GOETHIET, CA 0.				110	
28		2500	ZAND	GLAUCONIETZAND MET GLIMMERS, CA 00				110	

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

29	2600	ZAND	GLAUCONIETZAND, CA 0.	110
30	2700	ZAND	IDEM, CA 0.	110
31	2800	ZAND	IDEM, CA 0.	110
32	2900	ZAND	IDEM, MET ONGEVEER 50 PERC. KWARTSZAND, SCHELPGRUIS EN VISRESTEN.	
33	3000	ZAND	70 PERC. GLAUCONIET ZAND, REST KWARTSZAND, SCHELPGRUIS EN VISRESTEN.	
34	3100	ZAND	GEHEEL IDEM, M 100, CA 3.	
35	3200	ZAND	IDEM, ZEER WEINIG SCHELPGRUIS, ENKELE HOUTRESTEN, CA 0.	
36	3260	ZAND	IDEM, CA 0.	
37	3280	LEEM	BRUIN, FYNZANDIG, VEEL FYN GLIMMERS, CA 0.	
38	3400	LEEM	IDEM, ZEER VEEL FYN GLIMMERS, WEINIG GLAUCONIET, ENKELE VISRESTEN EN PYRIET, CA 0.	
39	3500	LEEM	GEHEEL IDEM, CA 0.	
40	3600	ZAVEL	GROEN, ZWAAR, VEEL FYN GLIMMERS, INGESPOLD MONSTER 40 PERC. GLAUCONIET, 60 PERC. KWARTSZAND, WEINIG VISRESTEN, WEINIG PYRIET, STAAFVORM EN BROKJES, CA 0.	
41	3670	ZAVEL	IDEM, INGESPOLD MONSTER, 30 PERC. GLAUCONIET, 70 PERC. KWARTSZAND, CA 1.	
42	3750	ZAVEL	IDEM, BRUIN, VEEL FYN GLIMMERS, WEINIG VISRESTEN, PYRIET IN BROKJES, CA 1.	
43	3800	ZAVEL	IDEM, CA 1.	
44	3850	ZAVEL	GROEN EN BRUIN GEVLEKT, CA 1.	
45	3900	ZAVEL	IDEM, BRUIN, VEEL GLIMMERS, WEINIG SCHELPGRUIS, CA 1.	
46	3920	ZAVEL	IDEM, CA 1.	
47	4000	ZAVEL	IDEM, WEINIG PYRIET IN BROKJES EN STAAFJES, CA 1.	
48	4100	ZAVEL	IDEM, CA 1.	
49	4200	ZAVEL	IDEM, CA 1.	
50	4300	ZAVEL	IDEM, GEEN SCHELPGRUIS, CA 0.	
51	4370	ZAVEL	IDEM, CA 0.	
52	4450	ZAVEL	IDEM, CA 2.	
53	4550	ZAVEL	IDEM, LICHTBRUIN, CA 3.	
54	4650	ZAVEL	IDEM, DONKERBRUIN, WEINIG PYRIET IN BROKJES EN STAAFJES, VEEL FORAMINIFEREN, CA 3.	
55	4750	ZAVEL	GROEN-BRUIN, GEVLEKT, CA 3.	
56	4850	ZAVEL	IDEM, DONKERBRUIN, WEINIG SCHELPGRUIS, CA 2.	
57	4900	ZAVEL	IDEM, MATIG VEEL SCHELPGRUIS, CA 3.	
58	4970	KLEI	ZWAAR LICHTGROEN, SCHELPGRUIS, PYRIET IN BROKJES EN STAAFJES, CA 3.	
59	5000	KLEI	IDEM, DONKERGROEN, ZEER STUG, CA 3.	
60	5050	KLEI	IDEM, LICHT, DONKERGROEN, ZEER STUG, WEINIG ZEER FYN GLIMMERS VEEL ZEER FYN PYRIET IN STAAFJES, CA 3.	
61	5150	KLEI	ZWAAR, BRUIN-GROEN, SCHELPGRUIS, ZEER STUG, MATIG VEEL ZEER FYN GLIMMERS, VEEL ZEER FYN PYRIET IN STAAFJES, GEOPYRITISEERDE FORAMINIFEREN, CA 3.	
62	5180	KLEI	IDEM, CA 3.	
63	5300	KLEI	DONKERGROEN, LICHT, WEINIG SCHELPGRUIS, WEINIG ZEER FYN GLIMMERS, ZEER STUG, VEEL ZEER FYN PYRIET IN STAAFJES, VEEL FORAMINIFEREN, CA 3.	
64	5400	KLEI	DONKERGROEN, ZWAAR, WEINIG SCHELPGRUIS, ZEER STUG, VEEL PYRIET IN STAAFJES EN BROKJES, FORAMINIFEREN, WEINIG GLAUCONIET, CA 2.	
65	5500	KLEI	IDEM, CA 1.	
66	5600	KLEI	IDEM, VEEL GEOPYRITISEERDE FOSSIELEN, CA 1.	
67	5700	KLEI	GEHEEL IDEM, VEEL ZEER FYN GLIMMERS, CA 1.	
68	5800	KLEI	IDEM, VEEL PYRIETSTAAFJES, GEOPYRITISEERDE FOSSIELEN, VEEL FORAMINIFEREN, CA 2.	
69	5810	KLEI	BRUIN-GROEN, LICHT, ZEER STUG, IDEM, CA 2.	

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34E167
X-COORD. : 241.600
Y-COORD. : 468.910
PROVINCIE : OVERYSSEL.
BORING DATUM : 27-8-'80.
GEMEENTE : AMBT DELDEN.
UITVOERDER : R.G.D., LOCHEM.
METHODE : SPOELBORING.
BORING TEKST : W 640, KW BORING.
NAP (CM) : +1610
BESCHRIJVER : T. BRUINS.RGD.
STRAT.BESCH. : T. BRUINS.RGD.
TYPIST(E) : VST.

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63
1		150	DEKZAND	MATIG FYN, GEEL-BRUIN, CA 0.				150
2		300	ZAND	IDEM, FLUVIOPERIGLACIAAL, SCHERP, GROVE KORRELS, GRYS-BRUIN, CA 0.				
3		400	ZAND	ZWARE ZAVEL, VEEL FYN GRIND, GROFZANDIG, CA 0.				
4		500	ZAND	GRYS, UITERST GROF, CA 0, VEEL FYN GRIND.				500
5		600	ZAND	IDEM, MET LEEMBROKJES.				
6		700	ZAND	GRYS, UITERS GROF, VEEL GRIND, VEEL LYDIET EN MELKKWARTS, CA 0.				570
7		800	ZAND	GRYS-BRUIN, BONT, UITERST GROF, WEINIG FYN GRIND, CA 0				700
8		900	ZAND	IDEM, VEEL FYN GRIND, W.O. BROKJES GROEN VERKIT LEMIG ZAND.				
9		1100	LEEM	ZWARE FYNZANDIGE, DONKERGRYS-GROEN, VEEL FYN GLIMMERS, CA = 0.				
10		1200	LEEM	IDEM, MONSTER 1.				
11		1250	LEEM	IDEM, MET NIEUWFORMERS, MONSTER 2.				

STRATIGRAFIE

	BOVEN	ONDER	OMSCHRIJVING
	000	150	FORMATIE VAN TWENTE.(DEKZAND).
	150	300	FORMATIE VAN TWENTE.(FLUVIOPERIGLACIAAL).
	300	400	FORMATIE VAN DRENTE.(KEILEEM).
	400	900	FORMATIE VAN URK?.
	900	1250	FORMATIE VAN BRED.A.(AFZ. VAN DELDEN).

EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34E168
X-COORD. : 242.850
Y-COORD. : 468.950
PROVINCIE : OVERYSSEL.
BORING DATUM : 28-8-1980.
GEMEENTE : AMBT DELDEN.
UITVOERDER : R.G.D., LOCHEM.
METHODE : SPOELBORING.
BORING TEKST : W 641.
NAP (CM) : +1560
BESCHRIJVER : T. BRUINS.RGD.
STRAT.BESCH. : T. BRUINS.RGD.
TYPIST(E) : VST.

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63	CA
1		100	GEROERD	CA 0.					
2		200	ZAND	MATIG GROF, SCHERP, BRUIN, CA 0.				250	
3		280	ZAND	MATIG FYN, GROENGRYS, CA 0.				170	
4		320	KLEI	FYNZANDIGE EN AF EN TOE GROFZANDIGE LICHTE STUGGE KLEI LICHTGROEN, AAN DE TOP VEEL GRIND, (VUURSTEEN, KRISTALLYN).					
5		450	ZAND	UITERST GROF, VEEL FYN GRIND, ENKELE KEILEEM, CA 0.				800	
6		500	ZAND	MATIG FYN, DONKERGROEN, ZWAK LEMIG, MONSTER 1, CA 0.				170	
7		520	ZAND	MATIG GROF TOT ZEER GROF, MET VEEL FYN GRIND EN HOUTRESTEN, MONSTER 2, CA 0.					
8		600	LEEM	ZWARE FYNZANDIGE, BRUIN-GROEN, WEINIG GLIMMERS, CA 0, MONSTER 3.					
9		650	LEEM	IDEM, MET ZWARTE VLEKKEN (PLANTENRESTEN?) MONSTER 4.					
10		700	LEEM	ZWARE ZANDIGE LEEM, DONKERGROEN NIEUWFORMERS, MONSTER 5.					
11		800	LEEM	ZWARE SILTIGE, DONKERGROEN, VEEL NIEUWFORMERS, MONSTER 6.					
12		900	LEEM	LICHTE SILTIGE, DONKERGROEN, STEENKERN (SCHELP), MONSTER 7, CA 0.					
13		1000	LEEM	STUGGE, ZWARE ZANDIGE LEEM, CA 0, WITTE CONCRETIES, MONSTER 8.					
14		1100	LEEM	STUGGE, ZWARE, ZANDIGE LEEM, DONKERGROEN, HOUTRESTEN, MONSTER 9, NIEUWFORMERS, CA 0.					
15		1200	ZAVEL	MATIG LICHTE, DONKERGROEN, MET VERKIT ZAND, EN WAARSCHYNLYK ZANDLAGEN, MONSTER 10.					
16		1300	ZAND	GLAUCONIET, EN FYN ZAND, MONSTER 4, WAARBY ZAKJE LICHT ZAVEL UIT ZELFDE METER.					
17		1400	ZAND	GLAUCONIET, MONSTER 12.					
18		1500	LEEM	ZWARE ZANDIGE, GROEN, MONSTER 13.					
19		1600	LEEM	ZWARE SILTIGE, DONKERGROEN, MET GLAUCONIET ZANDLAAGJES, (MONSTER 14).					
20		1700	KLEI	ZWARE GROENE, MONSTER 15, CA 0.					

STRATIGRAFIE

	BOVEN	ONDER	OMSCHRIJVING
	000	100	GEROERD.
	100	280	FORMATIE VAN TWENTE.(FLUIDOPERIGLACIAAL).
	280	320	FORMATIE VAN DRENTE.(KEILEEM).

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

320	450			FORMATIE VAN DRENTE.(FLUVIOGLACIAAL).
450	520			FORMATIE VAN URK.
520	1200			FORMATIE VAN BRED.A.(AFZ. VAN DELDEN).
1200	1600			FORMATIE VAN BRED.A.(AFZ. VAN ZENDEREN).
1600	1700			FORMATIE VAN BRED.A.(AFZ. VAN EIBERGEN).

EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34E41
X-COORD. : 244.250
Y-COORD. : 464.450
PROVINCIE : OVERYSSEL.
BORING DATUM : 1907-1910.
GEMEENTE : HAAKSBERGEN.
UITVOERDER : R.V.D.
BORING TEKST : 254, KATTENDAMS, HOLTHUIZEN, VOOR DE RYKSOPSPORING VAN DELFSTOFFEN.
NAP (CM) : +2030
MONSTER : G.D.
BESCHRIJVER : R.V.D.

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63	CA
1		300	GEEN	MONSTER.					
2		1100	ZAND	VUILGRYS, FYN.					
3		1600	KLEI	DONKERBRUINE, ZWAKZANDIGE.					

STRATIGRAFIE

	BOVEN	ONDER		OMSCHRIJVING
		1100		KWARTAIR.
		1600		MIocene <i>a/ Pleistocene</i>

EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34E114
X-COORD. : 246.400
Y-COORD. : 464.330
PROVINCIE : OVERYSSEL.
BORING DATUM : SEPT. 1969.
GEMEENTE : HAAKSBERGEN.
UITVOERDER : N.V. VER. GRONDBOORBEDRYVEN VAN ES-ROSSMARK.
BORING TEKST : TWENTSCHE KABELFABR. N.V. HAAKSBERGEN, OPDRACHT 8318/P.534 PROEFBORING, LANGS DE HOLTHUIZERSTRAAT.
NAP (CM) : +2340
BESCHRIJVER : J.W. WILD.
RAPPORT NO. : S.P.R. 208, S.P.V. 1842, G.R.D. 1333.
TYPIST(E) : MS.

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M
1		100	TEELAARDE					
2		300	ZAND	GROF, BRUIN.				
3		540	ZAND	MATIG GROF + FYN GRIND, GRY.S.				
4		580	VEEN					
5		900	ZAND	FYN, GRY.S.				
6		1000	LEEM	HARD.				
7		1240	ZAND	FYN, SLIBHOUDEND, GRY.S.				
8		1550	LEEM	MET VEEN.				
9		1650	LEEM	MET VEEN, DONKER.				
10		1800	ZAND	ZEER FYN, STERK SLIBHOUDEND, GRY.S.				
11		2230	ZAND	ZEER FYN, STERK SLIBHOUDEND, GRY.S.				
12		2280	KLEI	HARD, DROOG.				
13		2580	ZAND	ZEER FYN, STERK SLIBHOUDEND, GRY.S.				
14		2710	ZAND	MATIG GROF + GRIND, GRY.S.				
15		2900	ZAND	MATIG GROF + GRIND, GRY.S.				
16		3200	ZAND	MATIG GROF, GRY.S.				
17		3300	ZAND	MATIG GROF, MET GRIND, GRY.S.				
18		3450	GRIND	MET WEINIG GROF ZAND, GRY.S.				
19		3850	ZAND	GROF, MET GRIND, GRY.S.				
20		3980	ZAND	MATIG GROF, GRY.S.				
21		4060	ZAND	FYN, MET KLEISTUKJES, GRY.S.				
22		4170	KLEI	MET GRIND.				
23		4300	ZAND	GROF, GRY.S.				
24		4500	KLEI	HARD, DONKER.				

STRATIGRAFIE INFORMATIE ONTBREEKT
EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34E158
X-COORD. : 246.485
Y-COORD. : 464.275
PROVINCIE : OVERYSSEL.
BORING DATUM : 2-1970.
GEMEENTE : HAAKSBERGEN.
UITVOERDER : VAN ES-ROSSMARK.
BORING TEKST : PEILPUT PROEFBORING NO. 2 T.B.V. N.V. TWENTSCHE KABELFABRIEK, HAAKSBERGEN.
NAP (CM) : +2340
BESCHRIJVER : BOORFIRMA.
TYPIS(T) : LK.

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M63	CAI
		040	TEELAARDE						
		110	ZAND	FYN, GEMENGDE KLEUREN.					
		215	ZAND	FYN, LEEMHOUDEND, GRYSGEEL.					
		580	ZAND	FYN, SLIBHOUDEND, GRYG.					
		590	VEEN						
		860	ZAND	FYN, SLIBHOUDEND, + VEENLAAGJES, GRYG.					
		1165	ZAND	FYN, SLIBHOUDEND + GRIND EN HOUTRESTEN, GRYG.					
		1270	VEEN	HARD EN DROOG.					
		1380	LEEM	GRYG.					
		1440	KLEI	TAAI EN DROOG, DONKERGRYG.					
		1515	VEEN	HARD EN DROOG.					
		2340	ZAND	ZEER FYN + LEEMLAAGJES, ZEER STERK SLIBHOUDEND, GRYGROEN.					
		2385	KLEI	TAAI, GRYSGROEN.					
		2485	ZAND	FYN + KLEILAAGJES, SLIBHOUDEND, GRYG.					
		2660	ZAND	MATIG GROF TOT GROF + GRIND, LICHTGRYG.					
		2760	ZAND	MATIG GROF + GRIND, STENEN EN KLEILAGEN, GRYG.					
		2790	KLEI	SLAP, GROENGRYG.					
		3000	ZAND	FYN, STERK SLIBHOUDEND + KLEILAGEN, GRYG.					
		3125	ZAND	MATIG FYN TOT MATIG GROF, GRYG.					

STRATIGRAFIE INFORMATIE ONTBREEKT

EINDE BORING

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

BORING NO. : 34B277
 X-COORD. : 237.190
 Y-COORD. : 470.760
 NAP (CM) : +1180
 PROVINCIE : OVERIJSSSEL
 BORING DATUM : 17-9-1984
 GEMEENTE : DIEPENHEIM
 UITVOERDER : RIJKS GEOLOGISCHE DIENST.LOCHEN.
 METHODE : SPOELBORING
 BORING TEKST : KW 818
 BESCHRIJVER : C.J. VAN HOUTEN.RGD.
 STRAT.BESCH. : C.J. VAN HOUTEN.RGD.
 TYPIST(E) : VH

LGNR	BOVEN	ONDER	GRONDSOORT	OMSCHRIJVING	LUT	SLB	LM	M
1		100	ZAND	MATIG GROF. BRUIN. KWARTSZAND MET WEINIG BIJMENGING VAN ANDERE MINERALEN. GROVE ZANDKORRELS EN GROVE HOUT RESTEN. ENKELE LEEMLAAGJES.				25
2		200	ZAND	MATIG GROF. BRUIN. KWARTSZAND MET WEINIG BIJMENGING VAN ANDERE MINERALEN. GROTE SPREIDING. VEEL GROVE HOUT RESTEN. ENKELE LEEMLAAGJE EN ZWART BRUINE STERK VENIGE LENSJES.				25
3		300	ZAND	MATIG FIJN. DONKER GRIJS. KWARTSZAND MET WEINIG BIJMENGING. VAN ANDERE MINERALEN. MATIGE SPREIDING. FIJNE PLANTENRESTEN. STERK KALKHOUDEND. OP 250 PUINRESTEN.	2			10
4		400	ZAND	ZEER GROF. DONKER GRIJS. KWARTSZAND MET WEINIG BIJMENGING VAN ANDERE MINERALEN. GROTE SPREIDING. STERK KALKHOUDEND. ENKELE LEEMLENSJES.				35
5		500	ZAND	ZEER GROF. DONKER BRUINGRIJS. BONT. MATIGE SPREIDING. STERK KALKHOUDEND.				35
6		1020	ZAND	UITERST GROF. DONKER BRUIN GRIJS. BONT GROTE SPREIDING. STERK KALKHOUDEND. FIJNE HOUTRESTEN. GRINDARM NA 900 GRINDIG MET O.A. GANG EN RESTKWARTS. NIET GEROLDE VUURSTEEN. LYDIET EN ZANDSTEEN.				90
7		1180	LEEM	ZWART SILTIGE LEEM. DONKER GRIJS. ZWARTE VLEKKEN. DROOG. STERK KALKHOUDEND. MET LENSJES PLANTENRESTEN.	17		75	
8		1250	KLEI	LICHT KLEI. DONKER GRIJS. ZEER SLAP. STERK KALKHOUDEND. VEEL ZWARTE VLEKKEN.	30		60	
9		1350	KLEI	LICHT KLEI. GRIJS. ZEER SLAP. WEINIG ZWARTE VLEKKEN. STERK KALKHOUDEND.	26		70	
10		1440	KLEI	LICHT KLEI. ZWART. ZEER SLAP. STERK KALKHOUDEND. VETTIG.	30		60	
11		1500	KLEI	LICHT KLEI. GRIJS. SLAP. VETTIG. STERK KALKHOUDEND. WEINIG ZWARTE VLEKKEN.	26		70	
12		1580	KLEI	LICHT KLEI. ZWART. ZEER SLAP. STERK KALKHOUDEND. VETTIG.	30		60	
13		1700	KLEI	LICHT KLEI. GRIJS. ZEER SLAP. FIJNE ZWARTE VLEKKEN. STERK KALKHOUDEND.	26		70	
14		1730	KLEI	LICHT KLEI. ZWART. ZEER SLAP. STERK KALKHOUDEND.	35		60	
15		1900	KLEI	LICHT KLEI. GRIJS. ZEER SLAP. NA 1790 IETS STUGGER. STERK KALKHOUDEND EN ZWARTE VLEKKEN.	26		70	
16		2000	KLEI	MATIG ZWART KLEI. LICHT GRIJS. STUG. SPOOR FIJNE PLANTENRESTEN. STERK KALKHOUDEND. VEEL MATIG FIJNE ZANDLENSJES.	40		50	
17		2160	KLEI	MATIG ZWART KLEI. GRIJS. IETS STUG. STERK KALKHOUDEND. ZEER VEEL ZANDLENSJES TEGEN AFWISSELENDE GELAAGDE AFZETTING AAN.	45		60	

RIJKS GEOLOGISCHE DIENST

18		2240	KLEI	ZEER ZWARE KLEI. GRIJS. STUG. KALKHOUDEND. WEINIG ZWARTE VLEKKEN. VEEL ZANDLENSJES.	60		50
19		2580	KLEI	MATIG ZWARE KLEI. GRIJS. IETS STUG. VEEL ZANDLENSJES. VETTIG. STERK KALKHOUDEND.	50		60
20		2600	KLEI	ZEER ZWARE KLEI. DONKER ROODBRUIN. ZEER STUG. STERK KALKHOUDEND. GRINDARM. MET DUNNE ZANDLAAGJES. KEILEEM.	60		40
21		2800	ZAVEL	ZWARE ZAVEL. DONKER GRIJS. STUG. GRINDARM. STERK KALKHOUDEND. ENKELE ZANDLAGEN EN LAAGJES. KEILEEM.	20		15

STRATIGRAFIE

BOVEN	ONDER	OMSCHRIJVING
0	300	HOLOCEEN OF OPGEBRACHT.
300	400	FORMATIE VAN TWENTE.
400	1020	FORMATIE VAN DRENTE (LOKAAL FLUVIOGLACIAAL)
1020	2580	FORMATIE VAN DRENTE (BEKKEN AFZETTINGEN)
2580	2800	FORMATIE VAN DRENTE (KEILEEM)

EINDE BORING

Bijlage 4 Eigen boringen

Doel

Het doel van de eigen boringen is de opbouw van de bovenste 4 meter van het gebied te bestuderen in het kader van de gebiedsverkenning.

Methode

Om iets meer over de bodem en de opbouw van de daaronder liggende lagen te kunnen zeggen, is er een raai over het gebied gelegd. Langs deze raai is op 13 punten geboord. Voor de keuze van de raai is de bodemkaart gebruikt. Op de bodemkaart leken de hoofdstructuren evenwijdig aan de beken te lopen en daarom is gekozen voor een raai loodrecht op de beken ongeveer halverwege het stroomgebied (figuur 2.2). Uit praktisch oogpunt is gekozen voor een raai langs een weg die ongeveer loodrecht op de beken loopt. Er is op deze punten zoveel mogelijk in een sloot geboord, omdat zo een grotere diepte bereikt kon worden. Ook is steeds naast de sloot geboord tot op de grondwaterstand, om het ontbrekende stuk van maaiveld tot aan de slootbodembodem te kunnen beschrijven.

Eerst werd met een Edelman boor tot op de grondwaterstand geboord en vervolgens werd geboord met een 3 meter lange zuigboor. De monsters uit deze boorgaten zijn beschreven op kleur, vorm, korrelgrootte, sortering, en organische stof gehalte. Achterin deze bijlage zijn de boorbeschrijvingen opgenomen. Aan de hand van de boorbeschrijvingen zijn profielen getekend, waarin geen onderscheid gemaakt is naar kleur, omdat deze geen invloed heeft op de waterstroming. In de profielen zijn de korrelgrootteklassen tot 210 μ tussen 210 μ en 300 μ en groter dan 300 μ onderscheiden voor zand, omdat zand tot 210 μ waarschijnlijk dekzand is en zand groter dan 300 μ waarschijnlijk fluvioglaciaal of fluviaal afgezet is. Ook is bij het bekijken van de oorsprong van de laag gelet op de vorm van de korrels. Klei is apart aangegeven. Binnen deze klassen is ook aangegeven of er grind of organische stof aanwezig is. De organische stof in de bovenste laag is niet aangegeven, omdat die daarin altijd aanwezig is. In de diepere lagen betekent een aanwezigheid van organische stof dat er een warm interstadiaal of een interglaciale periode was op het tijdstip dat de laag werd afgezet. Er trad namelijk bodemvorming op, wat duidt op begroeiing. Uit de profielen is een doorsnede afgeleid.

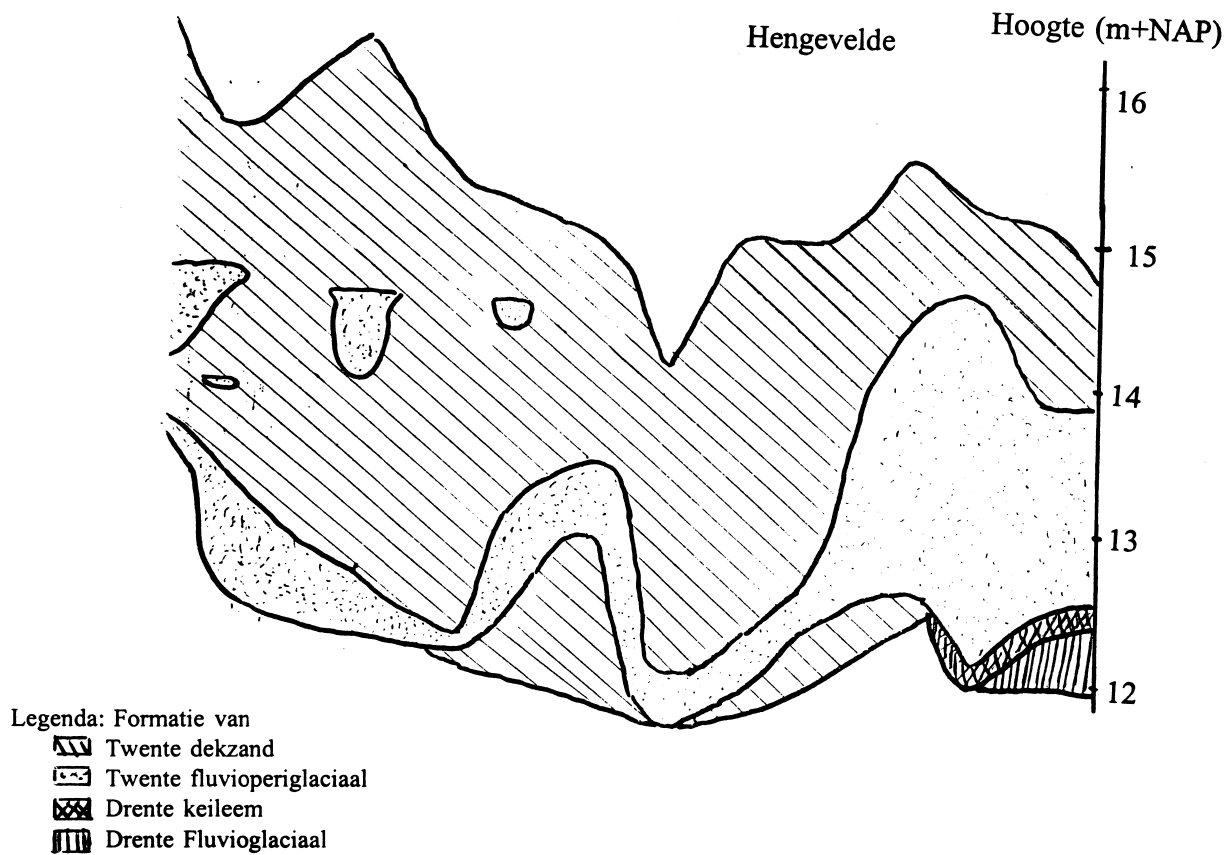
Resultaten

In figuur B4.1 is de doorsnede afgebeeld. Daarna volgen de boorbeschrijvingen in bijlage 4a. Een overzichtskaart van alle boorpunten en doorsneden is afgebeeld in figuur 2.2. In de doorsnede is onderscheid gemaakt tussen het dekzand van de Formatie van Twente, het fluvioperiglaciale deel van de Formatie van Twente, de keileem van de Formatie van Drente en de fluvioglaciale afzetting van de Formatie van Drente. Dit onderscheid is gemaakt op basis van korrelgrootte en aanwezigheid van organische stof en klei.

Discussie en conclusies

Uit de boringen bleek dat bijna het hele gebied ter plaatse van de raai bestaat uit zand. Er is wel een verschil in korrelgrootte binnen de raai. In het algemeen wordt bovenin dekzand gevonden met een korrelgrootte kleiner dan 300 μ m. Dit zand behoort tot de Formatie van Twente. Daaronder worden vaak enkele bandjes met grover zand en met organische stof en heel af en toe kleiig zand gevonden. Deze behoren ook tot de Formatie van Twente, maar ze zijn fluvioperiglaciaal. In boring 11 komt keileem voor in boring 13 glauconietrijke zanden. Deze horen waarschijnlijk respectievelijk bij de Formatie van Drente en de

Formatie van Breda. De keileem is onder het ijs ontstaan en de glauconietrijke zanden zijn fluvioglaciaal afgezet.



B4.1 Doorsnede van noord naar zuid ter plekke van Hengevelde (eigen boringen)

Bijlage 4a: De boorbeschrijvingen van de eigen boringen.

Boringnummer: 1

Hoogte maaiveld : 16,5 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte grondwaterstand : 130 cm - mv

Hoogte slootbodern : 130 cm - mv

OR = organische resten

OM = organisch materiaal

diepte (cm - mv)	grootte (μm)	kleur	overig
0 - 30		zwart	fijn zand
30 - 90	105-150	beige	met oranje bruine vlekken
90 - 110	105-150	beige grijs	soort overgangslaag
110 - 130	210-300	licht beige	slecht gesorteerd met enkele delen tot 2 mm
130 - 140	105-150	grijs	slootbodern, met zwarte vlekken
140 - 180	105-150	grijs	
180 - 185	420-600	licht grijs	slecht gesorteerd grof zand, enkele grindjes groter dan 1 cm, veel delen van 600-1000 μm
185 - 200	150-210	licht grijs	goed gesorteerd
200 - 245	300-420	licht grijs	slecht gesorteerd met grindjes tot 3 mm en een enkel grindje groter dan 1 cm
245 - 275	105-150	licht grijs	goed gesorteerd
275 - 280	150-210	licht grijs	
280 - 295	zandige klei	grijs	met bruin zwarte vlekken

Boringnummer: 2

Hoogte maaiveld : 15,7 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte slootbodern : 75 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overige
0 - 10		bruingrijs	gestoorde bodern
10 - 15	75-105	donkerbruin	goed gesorteerd
15 - 25	105-150	beige bruin	goed gesorteerd
25 - 75	105-150	beige	goed gesorteerd
75 - 100	75-105	beige	slootbodern
100 - 110	105-600	beige	zeer slecht gesorteerd grindig zand, delen 1400 µ en >2mm
110 - 120	105-150	beige	egaal
120 - 180	150-210	beige	
180 - 182	300-600		slecht gesorteerd met enkele grindjes, grindig zand
182 - 210	150-210	beige	
210 - 240	75-105	iets grijzer	zeer fijn
240 - 260	210-300	grijs	
260 - 305	150-210	grijs	
305 - 325	210-300	grijs	grover zand met bruine bandjes, grove deeltjes tot 1400 µ

Boringnummer: 3

Hoogte maaiveld: 16,2 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte grondwaterstand: 90 cm - mv

Hoogte slootbodem : 35 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (μm)	kleur	overig
0 - 35			
35 - 50		donker	greppelbodem
50 - 60	105-150	iets minder donker	overgangslaag
60 - 85	105-150	licht grijs	met oranjebruine en zwarte vlekken
85 - 105	105-150	licht grijs	met weinig oranje en zwarte vlekken
105 - 120	150-210	licht grijs	
120 - 125	420-600	licht grijs	grindig zand sommige tot 1400 en >2 mm
125 - 145	105-150	grijs	met enkele grindjes tot 6 mm
145 - 150	210-300	grijs	met grove organische resten
150 - 185	105-150	grijs	goed gesorteerd
185 - 186	420-600	grijs	grofzandig bandje
186 - 187	210-300		
187 - 188	420-600		grof bandje
188 - 200	300-420	grijs	
200 - 215	300-600	grijs	grindig zand, slecht gesorteerd, met 1 bruin bandje
215 - 240	300-420		slecht gesorteerd met 1 cm dik bruin bandje
240 - 305	105-210		

Boringnummer: 4

Hoogte maaiveld: 15,4 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte slootbodern: geschat op 70 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overig
0-10	75-105	donker bruin	met oranje vlekken
10-30	kleiig zand	donker bruin	
30-70	105-150	grauw licht beige	
70-145	150-210	licht bruin	slootbodern
145-165	150-210	licht bruin	met OR
165-215	150-210	licht bruin	
215-225	150-210	licht bruin	met OR
225-280	150-210	licht bruin	
280-315	105-150	bruin	
315-317	150-420		grindbandje met enkele grindjes tot 3 mm
317-360	150-210	bruin grijs	
360-380	105-150	bruin grijs	

Boringnummer: 5

Hoogte maaiveld: 15,3 m + NAP

Datum boring : 4-10-1996

Hoogte grondwaterstand: 80 cm - mv

Hoogte slootbodern : 70 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overig
0 - 80	--	--	Alleen vanaf slootbodern geboord
70 - 80	150 -210		slootbodern met OM
80 - 90	420-600	lichtbruin	
90 - 130	210-300	lichtbruin	
130 - 180	105-150	licht bruin	met enkele delen OM
180 - 225	105-150	bruin grijs	enkele fijne planteresten
225 - 270	210-300	bruin grijs	met enkele grindjes tot 3 mm
270 - 280	300-420	grijs	
280 - 285	300-420	licht grijs	bandje
285 - 291	150-210	grijs	
291 - 293	300-420	licht grijs	bandje
293 - 308	210-300	grijs	
308 - 338	210-300	donker grijs	met bruinzwarte bandjes OR, geen duidelijke planteresten
338 - 355	210-300	grijs	

Boringnummer: 6

Hoogte maaiveld: 15,0 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte grondwaterstand: 55 cm - mv

Hoogte slootbodern : 60 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overige
0 - 20	210-300	donker bruin	
20 - 30	150-210	beige	met oranje bruine vlekken
30 - 60	150-210	iets grijzer beige	met enkel oranje vlekje
60 - 65			gestoorde slootbodern
65 - 70	105-150	beige bruin	met ijzerbandje
70 - 90	150-210	beige bruin	met OM
90 - 120	150-210	beige grijs	met bandjes OM
120 - 122	300-420	beige grijs	slecht gesorteerd grindig zand, grindjes >2mm
122 - 124	210-300	beige grijs	goed gesorteerd
124 - 126	150-210	beige grijs	met een enkel grindje
126 - 129	105-150	beige grijs	goed gesorteerd, met OM
129 - 139	150-210	beige grijs	met OM
139 - 159	150-210	beige grijs	
159 - 174	600-1000		grindig slecht gesorteerd zand, grindjes > 2mm, onderste helft iets grover
174 - 204	210-300	grijs	goed gesorteerd
204 - 206	420-600		grindig zand, slecht gesorteerd
206 - 207	105-150	bruin	kleilig zand
207 - 220	210-300	grijs	
220 - 225	150-210		met veel sterk verweerd OM
225 - 325	105-150	grijs	goed gesorteerd

Boringnummer: 7
Hoogte maaiveld: 14,1 m + NAP
Datum boring : 4-10-1996
Hoogte grondwaterstand: hoger dan slootbodem
Hoogte slootbodem: 70 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	Kleur	overige
0 - 20	matig fijn	donker bruin	humushoudend, lemig, met oranje bruine stukjes
20 - 30	iets minder fijn	fel oranje	licht smeerbaar
30 - 50	fijn	licht oranje	met fijne brokjes ijzeroer
50 - 70	fijn	lichtbruin	
70 - 80	105- 150	bruin oranje	gestoorde slootbodem
80 - 100	105-150	grijs	gereduceerd zand
100 - 110	105-150	grijs	met zwarte OR, herkenbare plantedenen
110 - 130	150-210	grijs	
130 - 145	210-300	grijs	met grotere scherpe wit doorzichtige korreltjes 420-600 µm
145 - 170	150-210	grijs	
170 - 210	150-210	blauwgrijs	(vorige was iets meer beige) voelt natter aan
210 - 240	210-300		grover dan laag erboven
240 - 245	300-420	grijs	grove laag met grote stukjes van 100-1400 µ
245 - 370	105-150	grijs	

Boringnummer: 8
Hoogte maaiveld: 15,1 m + NAP
Datum boring : 30-09-1996
Hoogte grondwaterstand: 96 cm - mv
Hoogte slootbodem : 72 cm - mv

diepte (cm - mv)	‘grootte (µm)	kleur	overig
0 - 45		zwart	A-horizon
45 - 60			B ₂ H verharde B, inspoelingslaag
60 - 75	matig fijn	geel bruin	goed gesorteerd
75 - 87			geroerde grond
87 - 132	matig fijn	licht bruin	
132 - 242	matig fijn	geel bruin	goed gesorteerd, op circa 0,9 -1 m beneden slootbodem iets fijner
242 - 302	fijn	grijs	goed gesorteerd
302 - 312	kleihoudend zand		kleihoudend zand met OR
312 - 372	matig fijn tot fijn		goed gesorteerd

Boringnummer: 9

Hoogte maaiveld: 15,0 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte grondwaterstand: 30 cm - slootbodern

Hoogte slootbodern is geschat op 60 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (μm)	kleur	overige
0 - 30		donker bruin	
30 - 50	210-300	beige	met oranje bruine vlekken
50 - 110	210-300	beige	met een enkele bruine vlek en een vaag bandje
110-130	210-420		matig gesorteerd, veel grind en duidelijke OR in 2 bandjes van resp. 2 en 0,5 cm. Grind: enkele >5 mm
130-170	105-150	beige	
170-355	150-210	beige grijs	op ongeveer 350 zit een 1 cm breed licht oranje bandje

Boringnummer: 10

Hoogte maaiveld: 15,6 m + NAP

Datum boring : 7-10-1996

Hoogte slootbodern: 35 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (μm)	kleur	overige
0 - 10		donker bruin	gestoord
10 - 20	105-150	grijs beige	met oranje vlekken
20 - 40	105-150	beige oranje	
40 - 95	150-210	beige grijs	
95 - 125	210-300	beige bruin	met enkele grindjes
125 - 130	210-300	beige bruin	
130 - 135	150-210	beige bruin	matig gesorteerd met deeltjes tot 1400 μ
135 - 140	105-150	bruin	
140 - 145	150-300	bruin grijs	met enkele grindjes
145 - 155	300-420	bruin grijs	laag met groot grind (monster)
155 - 185	210-300	beige grijs	goed gesorteerd
185 - 205	75-105	beige grijs tot grijs	kleurovergang in deze laag
205 - 225	150-210	grijs	
225 - 245	150-210	donker grijs	met zwarte vlekken (OM?) Voelt smeerbaar
245 - 250	150-210	donker grijs	
250 - 260	150-210	donker grijs	met zwarte vlekken (OM?)
260 - 300	300-420	donker grijs	slecht gesorteerd met enkele grove delen tot 1400 μ en een enkel spoortje OM

Boringnummer: 11
 Hoogte maaiveld: 15,2 m + NAP
 Datum boring : 7-10-1996
 Hoogte grondwaterstand: 105 cm - mv
 Hoogte slootbodem : 65 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overige
0 - 40	75-105	donker bruin	
40 - 60	105-150	donker bruin + geel	overgang
60 - 80	50-420	geel	met oranje vlekken, zeer slecht gesorteerd, met grind tot 5mm en licht lemig (in sloot stinkend blauw grijs zand op deze diepte)
80 - 105	150-210	beige geel	
105 - 155	150-210	grijs	met grindjes tot 3 mm
155 - 165	210-300	grijs	
165 - 185	600-1400	beige bruin	met zeer veel grind tot 4mm
185 - 235	105-150	beige grijs	op 225 cm twee vage bruine bandjes van 1 cm breed
235 - 240	105-420	grijs beige	slecht gesorteerd met grove delen en een zwarte vand van 1cm
240 - 242	75-105	grijs beige	goed gesorteerd
242 - 250	75-105	zwart	OM
250 - 305	150-210	grijs	goed gesorteerd
305 - 315	kleiig	muisgrijs	kleiig zand met enkele grindstukken >1cm, boor ging niet dieper

Boringnummer: 12
 Hoogte maaiveld: 15,2 m + NAP
 Datum boring : 10-10-1996
 Hoogte slootbodern: 85 cm - mv

Deze boring bestaat uit drie pogingen, waarbij de eerste en laatste poging beschreven zijn, omdat deze totaal verschillend waren. De afstand tussen poging 1 en 2 is 2 meter, tussen 1 en 3 is de afstand 4 meter. Poging 1 ligt in het midden, en poging 3 ligt aan de kant van boring 14.

Poging 1:

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overige
0 - 80	105-150	donker bruin	humushoudend
80 - 125	150-210	beige bruin	
125 - 140	300-600	beige bruin	met enkele delen >2mm
140 - 145	105-150	bruin zwart	kleiig zand
145 - 185	105-150	beige bruin	
185 - 190	150-210	bruin	
190 - 195	105-150	bruinbeige	met bruin/zwart bandje humusrijk materiaal en in zand zelf OR
195 - 220	150-210		op 205 cm diepte een 2 cm dik bandje met grind en OM , bandje = 210-300
220 - 230	210-300	bruin	met enkele takjes
230 - 240	75-105	bruin zwart gevekt	humusrijk
240 - 250	210-300	bruin grijs	met zwarte vlekken, veel OM
250 - 260	210-300	grijs beige	dieper ging de boor niet

Poging 3:

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overige
0 - 185			Zie poging 1 (edelman boor)
185 - 205	150-210	beige grijs	en enkel donker vlekje
205 - 215	210-420	beige grijs	slecht gesorteerd met delen tot 1400
215 - 235	210-300	beige grijs	
235 - 245	300-420		grof bandje
245 - 246	300-420	oranje bruin	
246 - 249	300-600	blauw grijs	soms tot 1000
249 - 255	420-1000	oranje bruin	enkel grindje, onderaan grof beigegrijs zand met veel grind
255 - 265	300-420	beige grijs	

Bij poging 2 zat er onderaan de boor zeer grof zand met grind en OM.

Boringnummer: 13

Hoogte maaiveld: 14,8 m + NAP

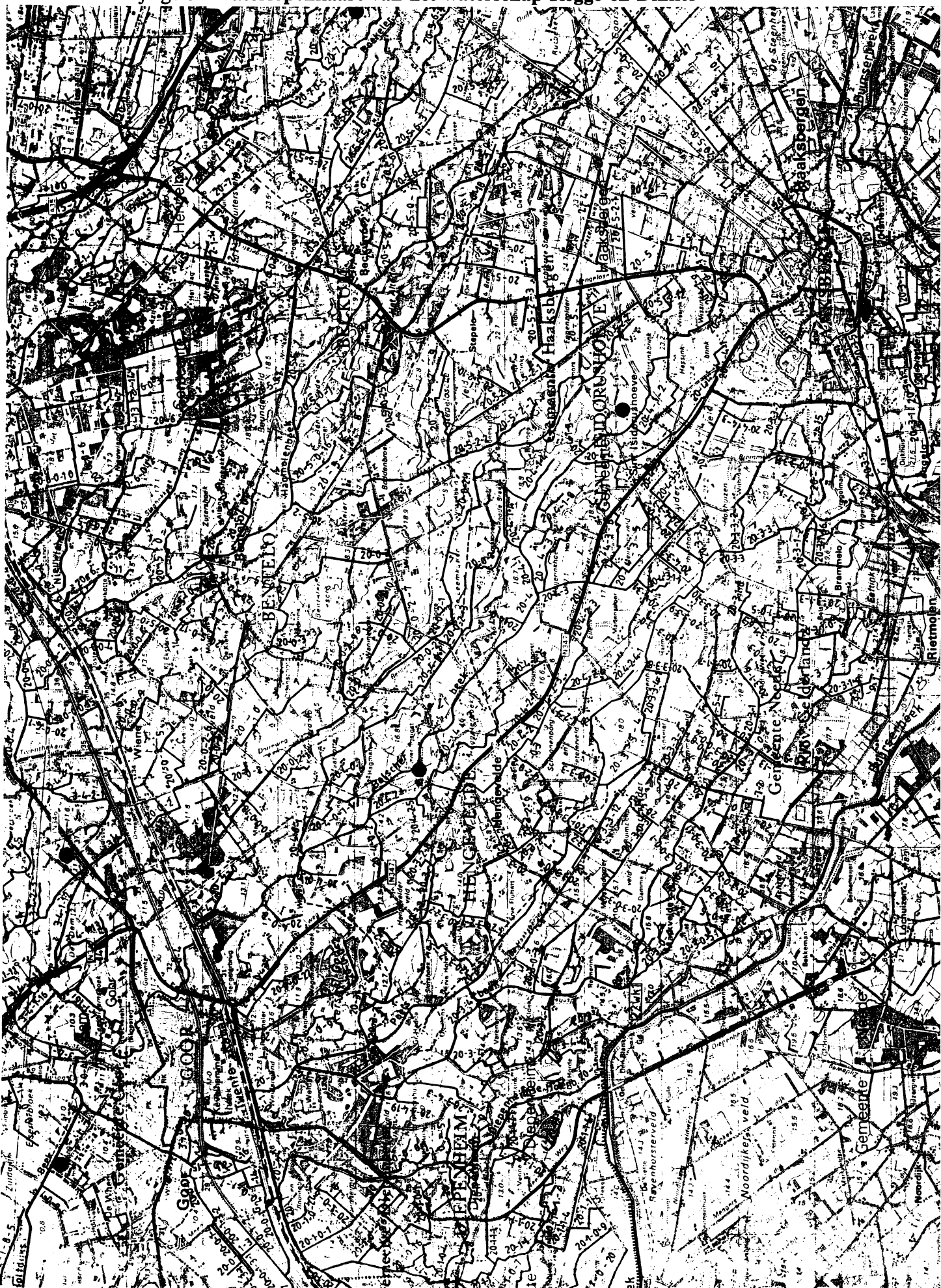
Datum boring : 10-10-1996

Hoogte grondwaterstand: 87 cm - mv

Hoogte slootbodern : 75 cm - mv

diepte (cm - mv)	grootte (µm)	kleur	overige
0 - 20	105-150	bruin	gestoorde grond
20 - 50	150-210	beige bruin	met donkere vlekken
50 - 70	150-210	beige bruin	met deeltjes tot 1000 µ
70 - 90	150-210	beige	
90 - 100	150-210	beige	met grind (monster)
100 - 115	zeer kleiig zand 150-210	zwart grijs	veel OM, erg smeerbaar, misschien zandige klei, boor bij 1e poging vast
115 - 120	150-210	donker grijs	slecht gesorteerd
120 - 150	210-300	grijs	met iets grovere deeltjes (witte puntjes)
150 - 155	105-150	grijs	
155 - 175	150-210	grijs	
175 - 185	300-420		grof zand met delen tvan 600-1000 µ
185 - 195	150-210	grijs	met 1 grindje 5 mm, scherpe overgang onderaan
195 - 205	75-105 en 50-75		zeer kleiig zand
205 - 225	105-150	grijs	op 225 cm 2 grote grindjes van 2 cm waaronder een vuursteen
225 - 235	210-300	grijs	veel OM als bruine stukken zichtbaar
235 - 245	210-300	grijs	
245 - 260	150-210	grijs/groen- grijs	overgangslaag
260 - 290	300-420	groengrijs	
290 - 295	210-300	groengrijs	
295 - 315	300-600	groengrijs	slecht gesorteerd
315 - 325	210-600	groen grijs	slecht gesorteerd, met grindjes > 4mm
325 - 375	210-600	grijs	slecht gesorteerd, met grote stenen

Bijlage 5 Waterlopenkaart van het waterschap Regge en Dinkel



Bijlage 6 Afvoermetingen

Inleiding

Tijdens het veldwerk zijn afvoermetingen verricht om inzicht te krijgen in de orde van grootte en opbouw van de afvoer van de beide beken. Hiertoe zijn afvoermetingen verricht op verschillende plaatsen, verdeeld over de loop van de beken. Hierdoor wordt tevens inzicht verkregen in de ruimtelijke verdeling van de toevoer van grondwater naar het oppervlaktewatersysteem. Ook is ter plaatse van de afvoermetingen steeds de EC (electric conductivity) gemeten.

Methode

De afvoeren zijn bepaald door het meten van de overstorthoogte op de stuwkruin. Vaak is dit gedaan met behulp van een overstorthoogtemeter en met behulp van een waterpas. In het eerste geval werd de overstorthoogte gemeten op meerdere plaatsen op de kruin. Hieruit werd een gemiddelde overstorthoogte bepaald. Met de waterpasmethode werd de hoogte van de kruin gemeten op verschillende plaatsen. Hieruit is een gemiddeld niveau voor de "kruinhoogte" bepaald. Vervolgens werd bovenstrooms het niveau van de waterspiegel gemeten. Uit het verschil van de gemiddelde kruinhoogte en de hoogte van de waterspiegel is de overstorthoogte bepaald. De afvoeren over de kunstwerken zijn berekend aan de hand van afvoerformules afkomstig uit de literatuur.

Voor schotbalkstuwen is gebruikt de volgende formule (Boiten, z.j.);

$$Q = C_D \cdot 1.71 \cdot B \cdot h_1^{3/2}$$

Voor overlaten is de formule voor lange rechthoekige overlaten gebruikt (Van Ieperen, z.j.);

$$Q=(2/3)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C \cdot h_1^{3/2}$$

waarin	Q	= debiet (m ³ ·s ⁻¹)
	g	= gravitatieconstante (m·s ⁻²)
	B	= Breedte tussen de muren (m)
	C	= Afvoercoëfficiënt (-)
	h ₁	= overstorthoogte (m)

Voor klepstuwen kan uitgegaan worden van dezelfde formule (Boiten, 1995), waarbij

$$C = C_D \cdot C_C \cdot C_V \cdot C_{dr}$$

met	C _D	= karakteristieke afvoercoëfficiënt (-)
	C _C	= contractiecoëfficiënt (-)
	C _V	= snelheidscoëfficiënt (-)
	C _{dr}	= coëfficiënt voor gestuwde afvoer (-)

C_D is afhankelijk van de vorm van de kruin, de hellingshoek van de klep met de verticaal en de overstorthoogte. C_c wordt bepaald door de vorm en afmetingen van ophangarmen en stoorelementen op de rand van de kruin, de klephoek en de overstorthoogte. C_V is afhankelijk van de aanstroomsnelheid ter plaatse van het meetpunt van de overstorthoogte.

C_{dr} tenslotte is bepaald door de verdrinkingsgraad en de klephoek. In dit onderzoek is C_v steeds op één gesteld omdat de stroomsnelheid, en dus de snelheidshoogte verwaarloosbaar is. C_{dr} is ook steeds gelijk aan één omdat gestuwde afvoer niet voor kwam. C_D is per kunstwerk bepaald evenals C_C . Hiervoor zijn tabellen en figuren gebruikt uit Boiten (1995).

De contractie coëfficiënt wordt als volgt bepaald:

$$C_c = b / B \qquad b = B - b' \quad \text{met} \quad b' = b_a + b_b$$

- b = effectieve breedte
- b' = totaal breedteverlies t.g.v. obstakels op de klep
- b_a = breedteverlies ten gevolge van de ophangarmen
- b_b = breedteverlies ten gevolge van stooreslementen

voor b_a en b_b geldt:

$$b_a = A \cdot n_a \cdot a \quad \text{en} \quad b_b = K \cdot n_s \cdot s$$

- A = contractiefactor ophangarm
- n_a = aantal ophangarmen
- a = breedte van de ophangarmen
- K = contractiefactor stooreslement
- n_s = aantal stooreslementen
- s = basisbreedte van het stooreslement

De factoren A en K kunnen uit figuren (Boiten, 1995) bepaald worden.

Resultaten en discussie

In figuur B6.1 zijn de afvoeren en de plaats van de kunstwerken aangegeven. De kunstwerken 1 tot en met 8 zijn gelegen in de Poelsbeek, de kunstwerken 10 tot en met 13 in de Bolscherbeek. De nummering loopt op in stroomafwaartse richting. De berekende afvoeren en gemeten EC's zijn weergegeven in tabel *. Bij kunstwerk 7 zijn geen afvoeren gemeten omdat hier een peilschrijver staat. Daarom komt kunstwerk 7 niet voor in de tabel maar is het wel aangegeven in de figuur.

Beginnend bij de bovenloop van de *Poelsbeek* vinden we op 2 oktober 1996 afvoeren van ongeveer 17 en 27 l/s bij resp. KW (kunstwerk) 2 en 1. Gaan we verder stroomafwaarts dan vinden we bij KW 5 een afvoer van 220 l/s. Bij KW 6 vinden we vervolgens een afvoer van 200 l/s. Tellen we hierbij de afvoer op van KW 6a dan komen we op ongeveer 240 l/s. Dit is de totale afvoer van de Poelsbeek ter plaatse van KW 6.

Deze afvoer is nauwelijks hoger dan die bij KW 5. Dit is eigenaardig gezien het afwaterend oppervlak voor KW 6 veel groter is dan voor KW 5.

Bij KW 8 tenslotte is de afvoer weer flink toegenomen, tot 410 l/s. Dit valt grotendeels te verklaren uit de afvoer van de grote zijtak van de Poelsbeek waarin KW 5a gelegen is. Vlak voor KW 8 komt er nog een tak bij (20-3-2) waarvan geen afvoer gemeten is. Hiermee is het verschil in afvoer tussen KW 6 en KW 8 grotendeels verklaard.

Op 9 oktober is de afvoer bij de KW's 4, 5a, 6 en 6a meer dan gehalveerd, het heeft

tussen 2 en 10 oktober ook weinig geregend.

In de *Bolscherbeek* zijn drie metingen verricht, op 9 oktober. Bij KW 10 vinden we een afvoer van ongeveer 100 l/s. Bij KW 11 is de afvoer toegenomen tot ongeveer 130 l/s. Deze toename is vrij gering gezien de toename van het afwaterend oppervlak. In de voorafgaande week heeft het niet geregend. Het komt wel overeen met het verschijnsel in de Poelsbeek, waar tussen KW 5 en 6 de afvoer ook niet of nauwelijks toeneemt. Bij KW 13 vinden we een afvoer van ongeveer 180 l/s. De toename wordt voornamelijk veroorzaakt door de tak waarin KW 12 gelegen is, waarvan helaas geen afvoer berekend kan worden.

De EC neemt op 2 oktober 1996 in de Poelsbeek in stroomafwaartse richting toe van ca. 550 naar 650 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Bij KW 4 en 5a worden op 9 oktober hogere waarden gemeten dan op 2 oktober. Dit is mogelijk veroorzaakt doordat het in de tussenliggende periode niet geregend heeft. Hierdoor kan het aandeel van de snelle afvoercomponent (die een lagere EC heeft dan de langzame afvoercomponent) van het oppervlaktewater afgenomen zijn. De EC's die op deze dag gemeten zijn bij KW 6 en 6a mogen niet als betrouwbaar worden beschouwd. Deze waarden zijn vermoedelijk het gevolg van een vuile elektrode. De EC's die op 9 oktober in de Bolscherbeek gemeten zijn, zijn veel hoger dan de in de Poelsbeek gemeten waarden van 2 oktober. De reden hiervan is dat op de Bolscherbeek het effluent van de waterzuivering van Haaksbergen geloosd wordt dat een zeer hoge EC heeft. Op 10 oktober ligt deze rond de 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Op dezelfde dag is net bovenstrooms van het lozingspunt een EC gemeten van 615 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Dit is een waarde die vergelijkbaar is met de waarden in de Poelsbeek, waarmee de invloed van de lozing op de EC van de Bolscherbeek aangetoond is.

De afvoermetingen geven slechts een momentopname van het afvoergedrag van de beken. De resultaten van de afvoermetingen mogen dan ook niet gegeneraliseerd worden voor langere perioden.

Nauwkeurigheidbeschouwing

Bij de interpretatie van de berekende afvoeren moet de nodige voorzichtigheid in acht genomen worden. Om te beginnen zijn de afvoeren gemeten door de overstorthoogten te bepalen. Dit is gedaan met behulp van een overstorthoogtemeter en met behulp van een waterpas. De verwachting was dat de metingen met de overstorthoogtemeter te hoge waarden zouden geven omdat instroomopening van de buis loodrecht op de stroomrichting staat zodat ook de snelheidshoogte gemeten wordt. In de praktijk echter bleken deze waarden vaak lager uit te vallen dan de waarden gemeten met de waterpas. Beide zijn steeds weergegeven. Voor de berekening van de afvoer over overlaten is steeds een C_D -waarde geschat, meestal 1.1, evenals voor de schotbalkstuwen.

De C_D -waarden voor klepstuwen zijn bepaald uit tabellen en figuren (Boiten, 1995) waarin h , B , α en C_D zijn samengevoegd. Onnauwkeurig gemeten h en α kunnen dus de bepaling van C_D beïnvloeden. Soms moet er geïnterpoleerd worden tussen meerdere waarden. Steeds is ervoor gekozen de afvoer te berekenen met een geschatte mininale en maximale waarde van de afvoercoëfficiënt die meestal niet meer dan 0,1 (-) verschillen. Van de berekende mininale en maximale afvoer is steeds het gemiddelde genomen.

Ook de contractiefaktor als gevolg van de ophangconstructie van kleppen is niet geheel nauwkeurig. Deze is ook uit figuren bepaald waarbij aangenomen is dat de ophangarmen

een breedte hebben van 0.10 m., die afgeleid is van foto's. Verondersteld wordt dat de debieten die bepaald zijn met de waterpas de grootste nauwkeurigheid hebben. Omdat de overstorthoogten in de afvoerformules voorkomen tot de macht 1,5 is de invloed van deze parameter op de uitkomst groter dan die van afvoer- en contractiecoëfficiënt.

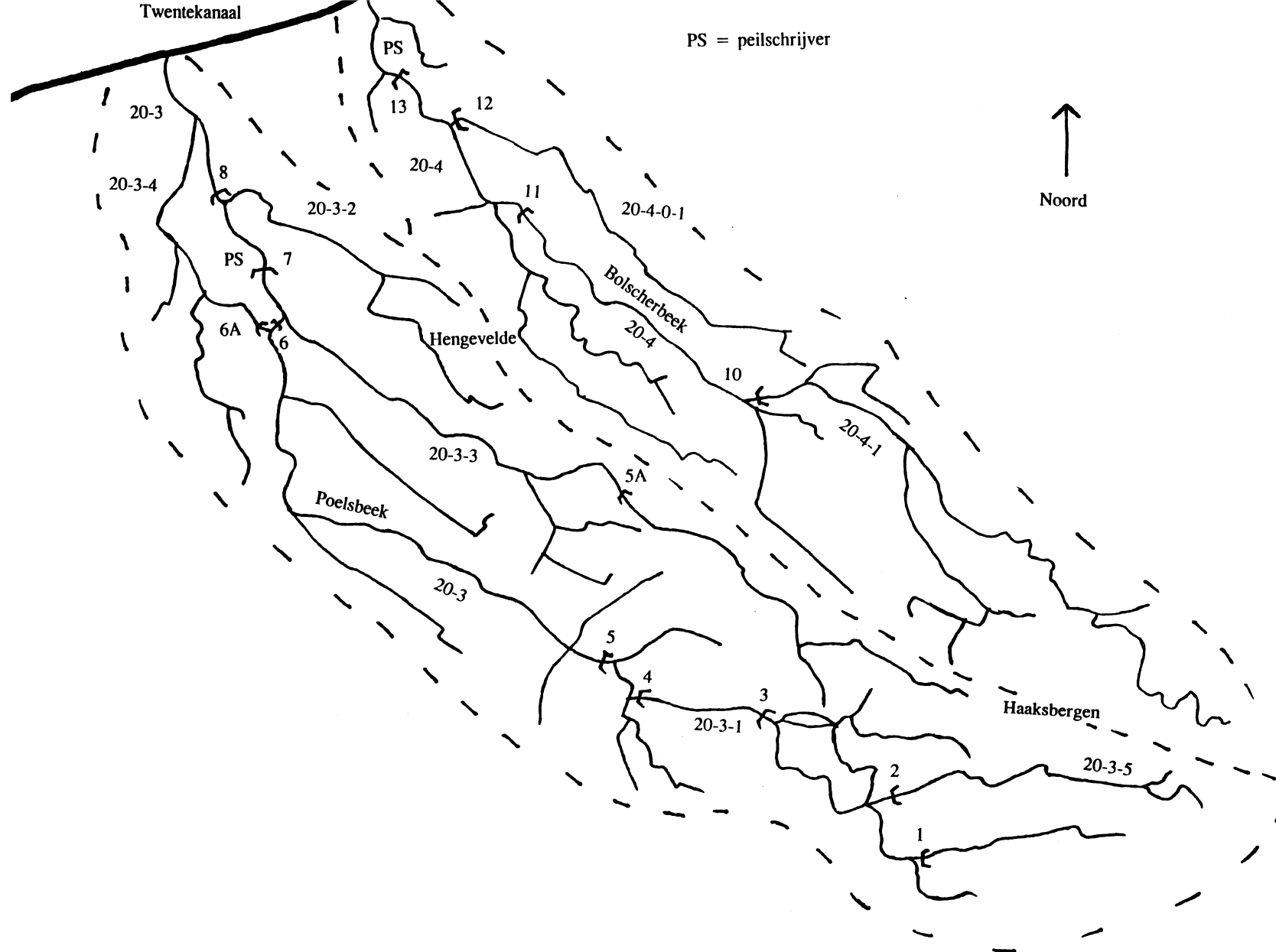
Gezien de verschillende onnauwkeurigheden die bij de afvoerbepalingen zijn opgetreden, moeten de resultaten dus worden gezien als orde van grootte.

Conclusie

Op 2 oktober bedraagt de afvoer bij KW 8 $0.41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Deze is voor bijna 50% afkomstig uit het stroomgebied van de Poelsbeek zelf. Het grootste deel hiervan is afvoer van de bovenloop (bovenstrooms van KW 5). De andere 50% is afkomstig uit de "zijtak Poelsbeek" ($\pm 30\%$) en de "kleine tak" ($\pm 20\%$). De afvoer van de bovenloop van de Poelsbeek heeft op 2 oktober een groot aandeel in de afvoer van deze beek.

De afvoer van de Bolscherbeek is een week later gemeten dan in de Poelsbeek en bedraagt dan nog $0.18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Aangezien het stroomgebied van de Bolscherbeek slechts half zo groot is als van de Poelsbeek en het die week droog was, is dit een aanzienlijke afvoer. Het effluent van de waterzuivering Haaksbergen maakt dus een flink deel uit van de afvoer.

In het algemeen is het zo dat de EC hoger is naarmate het aandeel van de basisafvoer in de totale afvoer groter is dan de snelle component van de afvoer. Voor de kunstwerken 4 en 5a bleek inderdaad dat de EC op 9 oktober hoger was dan op 2 oktober. In de week van 2 tot 9 oktober heeft het in het studiegebied ook niet geregend zodat aangenomen kan worden dat het aandeel van de snelle component in de afvoer, op 9 oktober kleiner was dan op 2 oktober.



Tabel B6.1 Afvoeren gemeten op drie data

De kunstwerken (KW) 1 tot en met 8 liggen in de Poelsbeek, de nummers 10 tot en met 13 liggen in de Bolscherbeek.

Qh_o = Afvoer berekend met overstorthoogte, gemeten met overstorthoogtemeter ($m^3 \cdot s^{-1}$),

Qh_w = Afvoer berekend met overstorthoogte, gemeten met waterpas ($m^3 \cdot s^{-1}$),

EC = Electric Conductivity ($\mu S \cdot cm^{-1}$)

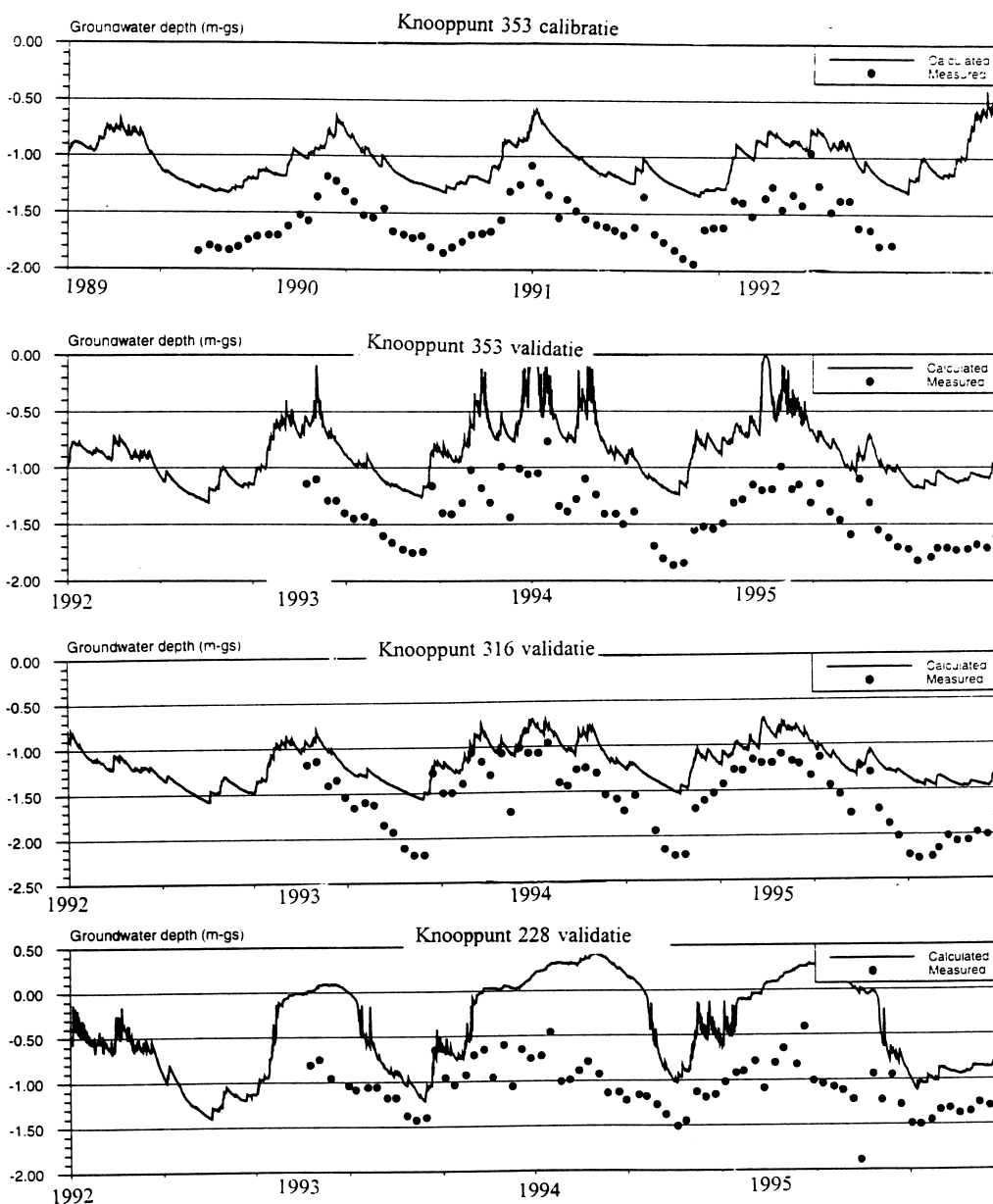
T = Temperatuur ($^{\circ}C$)

Datum	KW	1	2	3	4	5	5a	6	6a	8	10	11	12	13
2-10	$Q h_o$	0.024	0.027	0.11	0.14	0.24	0.068	0.20	0.041	0.41				
"	$Q h_w$	0.027	0.017	0.13	0.15	0.22	-	-	-	0.41				
"	EC	558	537	603	607	635	604	618	616	646				
"	T	10.2	12.0	12.8	12.8	13.4	14.3	13.5	13.6	13.5				
9-10	$Q h_o$				0.047		0.030	0.084	0.019		0.070	0.12		0.18
"	$Q h_w$				0.056		0.038	0.086	-		0.10	0.13		-
"	EC				702		675	1200?	1380?		822	841	789	823
"	T				10.9		11.3	11.1	11.1		14.1	12.2	13.2	11.8
14-10	$Q h_o$							0.079	0.020					0.013
"	EC							749	-					863
"	T							12.9	-					11.7

Bijlage 7 Enkele tijd-stijghoogtelijnen van de calibratie en de validatie

In deze bijlage worden de tijd-stijghoogtelijnen beschreven die in de calibratie of de validatie een hoge standaardafwijking hadden. In de lijnen van de knooppunten 353 en 316 en de gemeten waarden van de bijbehorende peilbuizen (de eerste drie figuren) is te zien dat het model structureel te hoge grondwaarden simuleert. De reacties van het model zijn echter wel goed. De dynamiek van het model is dus wel goed.

De grondwaterstanden bij knooppunt 228 worden voor de validatieperiode veel slechter gesimuleerd (laatste figuur). De gesimuleerde reeks is structureel te hoog. Wanneer het grondwater boven maaiveld komt, reageert het model ook niet meer goed. De dynamiek in de gemeten en berekende waarden is dan duidelijk verschillend. Het model simuleert de grondwaterstanden dus niet goed, wanneer deze boven maaiveld komen. Gelukkig komt dit niet vaak voor en zeker niet bij het optreden van lage afvoeren, waar dit onderzoek op gericht is.



Bijlage 8 Waterbalansen van de jaren 1990, 1991 en 1992

Deze bijlage bevat de waterbalansen van het hele modelgebied en de afzonderlijke systemen van de verzadigde zone, de wortelzone en het oppervlaktewater in mm per jaar voor de calibratieperiode.

VZ = Verzadigde Zone

WZ = WortelZone

OW = OppervlakteWater

WATERBALANSEN 1990

HELE MODELGEBIED

IN		UIT	
Neerslag	644.80	Verdamping	452.70
Randflux	8.00	Afvoer beken	169.26
effluent RWZI	43.53	Afvoer randgebieden	18.37
Bergingsafname VZ	-44.30	Balansfout	-0.93
Bergingsafname WZ	-11.60		
Bergingsafname OW	-1.03		
	639.40		639.40

BALANSEN PER SUBSYSTEEM

WORTELZONE (WZ)

IN		UIT	
Neerslag	644.80	Verdamping	452.70
Bergingsafname WZ	-11.60	Percolatie	180.40
		Balansfout	0.1
	633.20		633.20

VERZADIGDE ZONE (VZ)

IN		UIT	
Randflux	8.00	Drainage 2+3+tr	91.20
Percolatie	180.40	Drainage kanalen	52.60
Bergingsafname VZ	-44.30	Balansfout	0.30
	144.10		144.10

OPPERVLAKTEWATER (OW)

IN		UIT	
Drainage tr+2+3	91.20	Afvoer beken	169.26
Drainage kanalen	52.60	Afvoer randgebieden	18.37
effluent RWZI	43.53	Balansfout	-1.33
Bergingsafname OW	-1.03		
	186.30		186.30

HELE MODELGEBIED

IN		UIT	
Neerslag	518.30	Verdamping	415.10
Randflux	8.00	Afvoer beken	152.19
effluent RWZI	36.87	Afvoer randgebieden	18.86
Bergingsafname VZ	15.50	Balansfout	-1.98
Bergingsafname WZ	5.10		
Bergingsafname OW	0.40		
	584.17		584.17

BALANSEN PER SUBSISTEEM

WORTELZONE (WZ)

IN		UIT	
Neerslag	518.30	Verdamping	415.10
Bergingsafname WZ	5.10	Percolatie	108.30
		Balansfout	0
	<u>523.40</u>		<u>523.40</u>

VERZADIGDE ZONE (VZ)

IN		UIT	
Randflux	8.00	Drainage 2+3+tr	86.30
Percolatie	108.30	Drainage kanalen	44.90
Bergingsafname VZ	15.50	Balansfout	0.60
	<u>131.80</u>		<u>131.80</u>

OPPERVLAKTEWATER (OW)

IN		UIT	
Drainage tr+2+3	86.30	Afvoer beken	152.19
Drainage kanalen	44.90	Afvoer randgebieden	18.86
effluent RWZI	36.87	Balansfout	-2.58
Bergingsafname OW	0.40		
	<u>168.47</u>		<u>168.47</u>

WATERBALANSEN 1992

HELE MODELGEBIED

IN		UIT	
Neerslag	745.00	Verdamping	459.10
Randflux	8.00	Afvoer beken	246.12
effluent RWZI	47.49	Afvoer randgebieden	35.68
Bergingsafname VZ	-44.30	Balansfout	-1.99
Bergingsafname WZ	-15.60		
Bergingsafname OW	-1.68		
	738.91		738.91

BALANSEN PER SUBSYSTEEM

WORTELZONE (WZ)

IN		UIT	
Neerslag	745.00	Verdamping	459.10
Bergingsafname WZ	-15.60	Percolatie	270.30
		Balansfout	0.00
	729.40		729.40

VERZADIGDE ZONE (VZ)

IN		UIT	
Randflux	8.00	Drainage 2+3+tr	160.20
Percolatie	270.30	Drainage kanalen	72.10
Bergingsafname VZ	-44.3	Onttrekkingen	2
		Balansfout	-0.30
	234.00		234.00

OPPERVLAKTEWATER (OW)

IN		UIT	
Drainage tr+2+3	160.20	Afvoer beken	246.12
Drainage kanalen	72.10	Afvoer randgebieden	35.68
effluent RWZI	47.49	Balansfout	-3.69
Bergingsafname OW	-1.68		
	278.11		278.11

Bijlage 9 Afvoerverlopen voor de scenario's A1 en A4

Als voorbeeld voor de reactie van de afvoeren in droge jaren op een verhoging van het doorlaatvermogen, worden hier de afvoerverlopen van de scenario's A1 en A4 gegeven voor het droge jaar 1983. In deze afvoerverlopen is duidelijk te zien dat de lage afvoeren omhoog gaan en de hoogste piekafvoeren zakken. De lagere piekjes gaan ook omlaag.

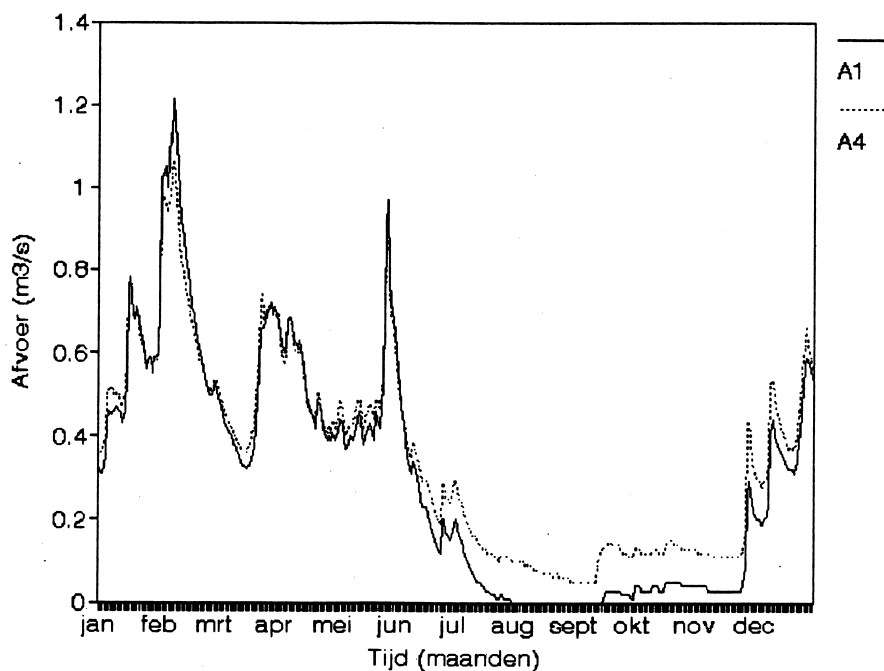


Fig. B9.1 Afvoerverloop van de Poelsbeek over 1983 voor de scenario's A1 en A4

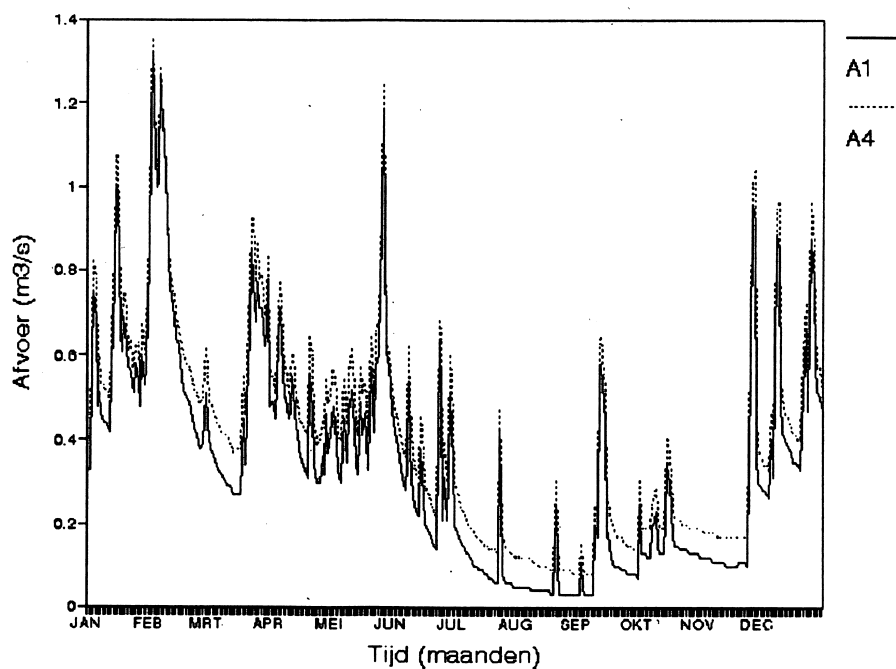


Fig B9.1 Afvoerverloop van de Bolscherbeek over 1983 voor de scenario's A1 en A4