



ALTERRA

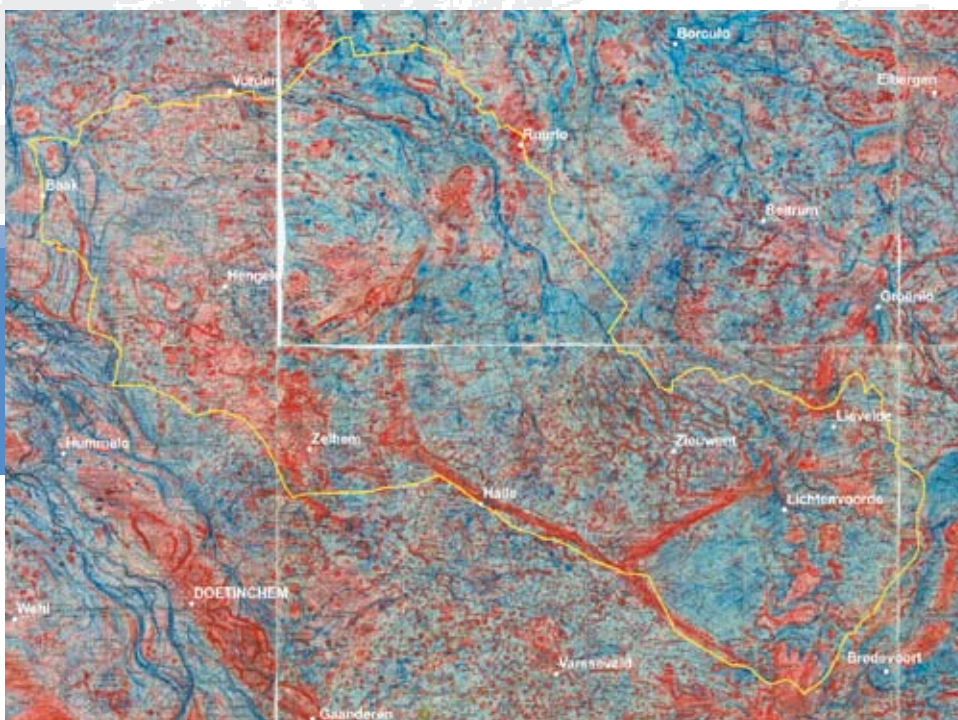
WAGENINGEN UR

Reconstructie van de historische hydrologie

Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland

J.W.J. van der Gaast
H.Th.L. Massop

Alterra-rapport 1466, ISSN 1566-7197



Reconstructie van de historische hydrologie

Reconstructie van de historische hydrologie

Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland

**J.W.J. van der Gaast,
H.Th.L. Massop**

Alterra-rapport 1466

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

Gaast J.W.J. van der en H.Th.L. Massop, 2007. *Reconstructie van de historische hydrologie. Pilotstudie voor een stroomgebied in hoog Nederland*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1466. 132 blz.; 38 fig.; 24 tab.; 57 ref.

De klimaatveranderingen, die zich momenteel voltrekken hebben ertoe geleid dat kritisch is gekeken of de watersystemen in de huidige situatie op orde zijn (Commissie Waterbeheer 21^e eeuw). Ook in het verleden hebben zich veranderingen voorgedaan, welke invloed hebben gehad op de werking van het watersysteem. In deze studie is op basis van historische informatie voor het stroomgebied van de Baaksche Beek de historische situatie met behulp van hydrologische modellen doorgerekend. Uit de vergelijking tussen de historische en de huidige situatie blijkt dat vooral in natte perioden vroeger de afvoer kleiner was dan in de huidige situatie. Voor extreme situaties blijkt dat een substantiële vermindering van de piekafvoer door maatregelen in het bovenstroomse deel van stroomgebieden slechts met grootschalige maatregelen mogelijk is. De piekafvoer kan immers alleen maar verminderd worden door reinundatie. Dit soort maatregelen kan hierdoor maatschappelijke gevolgen hebben die onwenselijk zijn, waardoor het de vraag is of er voldoende draagvlak voor zal kunnen worden verworven.

Trefwoorden: Baaksche beek, inundatie, maaiveldsberging, runoff, Q(h)-relatie, sponswerking, SWAP

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Achtergrond en probleemstelling	11
1.2 Doelstelling	11
1.3 Globale werkwijze	12
1.4 Leeswijzer	12
2 Inventarisatie historische parameters en gebiedskeuze	15
2.1 Beschikbare historische bronnen en keuze tijdvak	15
2.2 Gebiedskeuze	16
2.3 Historische parametrisatie	17
2.3.1 Landgebruik in de periode 1850-2000	18
2.3.2 Lengte aan waterlopen	22
2.3.3 Afmetingen waterlopen	24
2.3.4 Afvoerrelatie	26
3 Methode	33
3.1 Schematisatie	33
3.2 Parametrisatie huidige situatie	34
3.3 Kalibratie	39
3.4 Metamodellen	40
3.5 Interpolatie	41
4 Modelaanpassingen voor de historische situatie	43
5 Modeluitkomsten	49
5.1 Schematisatieeenheid	49
5.1.1 Waterbalans	53
5.2 Regionaal	55
5.2.1 Gt	55
5.2.2 Kwel	62
5.2.3 Afvoer	64
5.2.4 Berging in het oppervlaktewatersysteem	70
6 Discussie	73
7 Conclusies en aanbevelingen	79
Literatuur	83

Woord vooraf

Met deze studie hebben de onderzoekers willen nagaan of er historische bronnen beschikbaar zijn die de werking van het watersysteem in het verleden beschrijven en of er voldoende bruikbaar materiaal is om de historische situatie met modellen te reconstrueren. Bij dit onderzoek bleek dat er in het verleden redelijk veel informatie is vastgelegd in kaarten en rapporten. Dit materiaal is echter moeilijk toegankelijk vanwege de ouderdom en de zeldzaamheid van het materiaal. Er zijn initiatieven van sommige waterschappen om historisch materiaal dmv scans beschikbaar te stellen aan een breder publiek. Dit initiatief zou breder opgepakt moeten worden waarbij een database met scans opgezet zou kunnen worden die voor een breed geïnteresseerd publiek toegang geeft tot historisch bronnenmateriaal. Bij de reorganisatie van waterschappen moeten er bij de samenvoeging van archieven vaak keuzen gemaakt worden mbt het materiaal dat wordt behouden en wat wordt vernietigd. Dit proces zou in samenspraak tussen een archivaris en een historisch geïnteresseerde hydroloog moeten plaatsvinden.

De onderzoekers willen de heer Kaj van der Sandt van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit bedanken voor de begeleiding bij het onderzoek.

Samenvatting

De klimaatveranderingen, die zich momenteel voltrekken hebben ertoe geleid dat kritisch is gekeken of de watersystemen in de huidige situatie op orde zijn (Commissie Waterbeheer 21^e eeuw). Tevens is door de Commissie bekeken welke maatregelen, ruimtelijk of infrastructureel, kunnen worden genomen om de watersystemen af te stemmen op de toekomstige situatie. Ook in het verleden hebben zich veranderingen voorgedaan, welke invloed hebben gehad op de werking van het watersysteem. Voorbeelden zijn o.a. de grootschalige ontginningen van de (woeste gronden) heideterreinen, waarbij door de aanleg van ontwateringsstelsels de sponswerking van deze gebieden is afgenomen en de afvoerbelasting van het ont- en afwateringssysteem is toegenomen. De effecten van deze ingrepen op het watersysteem kunnen ons leren hoe om te gaan met de gevolgen van klimaatverandering. Daarom zijn voor een stroomgebied in hoog Nederland berekeningen uitgevoerd voor de huidige situatie en voor de historische situatie.

De keuze van het stroomgebied en het tijdvak waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd is afhankelijk van de beschikbaarheid van gegevens. Omdat voor Oost-Nederland relatief veel gegevens beschikbaar waren voor de periode 1850-1900 en omdat het stroomgebied van de Baaksche Beek geheel binnen Nederland is gelegen, is ervoor gekozen om voor dit stroomgebied de berekeningen uit te voeren.

Voor de historische situatie zijn gegevens over landgebruik, lengte aan waterlopen, afmetingen van waterlopen, berging in het oppervlaktewater en afvoerrelaties verzameld. Met deze gegevens kunnen vervolgens modellen voor de historische situatie worden doorgerekend.

Voor de modellering van de huidige situatie is aangesloten bij de modellering die is opgezet in het kader van het project 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' (Van der Gaast et al., 2006). Voor dit project is Nederland geschematiseerd in ca 450 schematisatieeenheden op basis van tijdsonafhankelijke variabelen, nl bodem, hydrotype en meteodistrict. De schematisatieeenheden die voorkomen binnen het stroomgebied van de Baaksche beek zijn in de verdere modellering gebruikt. Voor de huidige situatie liggen er voor deze schematisatieeenheden SWAP-modellen, die zijn gekalibreerd op verschillende Gt's. Door gebruik te maken van metamodellen, die per schematisatieeenheid de relatie weergegeven tussen modelresultaten, bijv. afvoer of kwel en een gebiedsdekkend beschikbare kaart bijv. de GHG, kunnen gebiedsdekkende kaarten van rekenresultaten worden vervaardigd.

De resultaten voor de huidige situatie en de berekeningen met dezelfde modellen geparametriseerd voor de historische situatie zijn vervolgens vergeleken op basis van modelresultaten voor de waterbalansen, ruimtelijke kaarten voor Gt, kwel en afvoer en afvoerduurlijnen. Toetsing van de rekenresultaten aan meetgegevens is slechts

beperkt mogelijk omdat betrouwbare historische hydrologische meetgegevens ontbreken cq moeilijk zijn te achterhalen.

Een belangrijke conclusie van het onderzoek is dat een substantiële bijdrage aan de vermindering van piekafvoeren om o.a. een bijdrage te leveren aan de gevolgen van klimaatverandering, hoofdzakelijk mogelijk is door water te bergen op het maaiveld. Voor situaties die extremer zijn dan 1 maal per jaar is een substantiële vermindering van de piekafvoer door maatregelen in het bovenstroomse deel van stroomgebieden moeilijk te realiseren, tenzij sprake is van een combinatie met natuur. Een aantal ingrepen die in het verleden zijn doorgevoerd zijn immers niet meer terug te draaien. Voorbeelden hiervan zijn de verwijdering (ijzeroer, veen) c.q. verbreken (bodemverbetering) van anisotropie in de bodem, de vervlakking van het maaiveld en de hydrologische ontsluiting van lokale laagten, welke wel terug te draaien is. Hiermee is ook de sponswerking van het systeem deels irreversibel afgenomen. Daarnaast hebben de waterhuishoudkundige verbeteringswerkzaamheden naast verdroging voornamelijk effect gehad op het verminderen van inundatieproblemen. Vermindering van de piekafvoer door water langer vast te houden, is dan ook alleen mogelijk door het herintroduceren van inundatie (reinundatie). De NBW-werknormen voor toetsing van regionale watersystemen op wateroverlast geven echter inundatienormen die de speelruimte voor waterberging beperken. Door de toename van de waterhuishoudkundige ontsluiting van Nederland in combinatie met de vervlakking van het land zullen grootschalige maatregelen genomen moeten worden om de maaiveldsafvoer tegen te gaan. Naast de grootschaligheid van de te nemen maatregelen is het de vraag of het gewenst en acceptabel is dat dergelijke maatregelen worden uitgevoerd. Bebouwing en wegen kunnen immers op locaties liggen die het meest geschikt zijn voor inundatie. Daarnaast heeft plasvorming/inundatie vanuit agrarisch oogpunt een verhoging van het bedrijfsrisico tot gevolg. Dit soort maatregelen kan hierdoor maatschappelijke gevolgen hebben die onwenselijk zijn, waardoor het de vraag is of er voldoende draagvlak voor zal kunnen worden verworven.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De klimaatveranderingen, die zich momenteel voltrekken hebben ertoe geleid dat kritisch is gekeken of de watersystemen in de huidige situatie op orde zijn (Commissie Waterbeheer 21^e eeuw). Tevens is door de Commissie gekeken welke maatregelen, ruimtelijk of infrastructureel, kunnen worden genomen om de watersystemen af te stemmen op de toekomstige situatie. Ook in het verleden hebben zich veranderingen voorgedaan, welke invloed hebben gehad op de werking van het watersysteem. Voorbeelden zijn o.a. de grootschalige ontginningen van de (woeste gronden) heideterreinen, waarbij door de aanleg van ontwateringsstelsels de sponswerking van de gebieden is afgenomen en de afvoer via het ont- en afwateringssysteem is toegenomen. De effecten van deze historische ingrepen op het watersysteem kunnen ons leren hoe om te gaan met de gevolgen van klimaatverandering. Daarbij moeten we inzicht hebben hoe het watersysteem in het verleden functioneerde. Een belangrijke vraag hierbij is: In hoeverre is het mogelijk om de werking van het historische watersysteem kwantitatief te beschrijven? Voor de beschrijving van de werking van een watersysteem wordt in de huidige situatie veelal gebruik gemaakt van hydrologische modellen, deze modellen zijn geparametriseerd en geijkt op de huidige situatie. In de tijd die is verstreken tussen het moment waarvoor een historische beschrijving wordt gemaakt en de huidige situatie, zijn een aantal waterhuishoudkundige ingrepen doorgevoerd. Voor historische modelberekeningen dient de parametrisatie dan ook te worden afgestemd op deze historische situatie, daarvoor dienen we de historische situatie te kennen. Naarmate we meer teruggaan in de tijd neemt echter het aantal bronnen en daarmee de informatie af. Een ander aandachtspunt is dat de waterhuishoudkundige inrichting geen constante is, maar dat er voortdurend aan het systeem is gesleuteld.

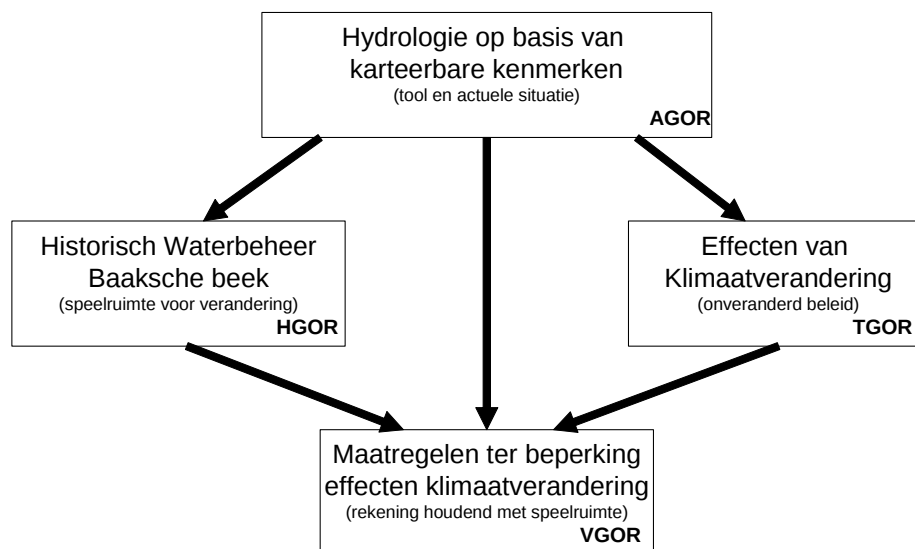
1.2 Doelstelling

Het doel van dit project is het op een kwantitatieve manier beschrijven van de werking van een watersysteem in het verleden voor hoog Nederland. Omdat het vanwege de omvang van de te verzamelen gegevens niet mogelijk is om deze beschrijving voor heel hoog Nederland uit te voeren, is ervoor gekozen om dit voor een pilotgebied nader uit te werken. Het succes van een goede kwantitatieve beschrijving van het watersysteem hangt mede af van de keuze van de periode, de voor die periode beschikbare (kwantitatieve) gegevens en de kennis van de veranderingen die zich sindsdien in het watersysteem hebben voorgedaan. Voor een gebiedsdekkende kwantitatieve beschrijving wordt gebruik gemaakt van Hydrologische modellen. Daarom is aangesloten op het project 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken' (Van der Gaast et al., 2006), hiervoor zijn modellen beschikbaar waarmee de huidige situatie is doorgerekend. Aangezien de waterhuishoudkundige inrichting van een gebied voortdurend aan veranderingen

onderhevig is, dient een geschikte keuze van het te modelleren tijdvak te worden gemaakt. De beschikbare gegevens kunnen echter betrekking hebben op verschillende tijdvakken.

1.3 Globale werkwijze

Er is een relatie tussen dit onderzoek met eerder en toekomstig onderzoek. In figuur 1.1 staan de relaties tussen de verschillende onderzoeken schematisch weergegeven.



Figuur 1.1 Relatie tussen dit onderzoek en reeds uitgevoerd onderzoek cq toekomstig onderzoek.

In 2006 is het onderzoek “Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken” afgerond. Binnen dit onderzoek heeft de schematisatie, parametrisatie en validatie van modellen plaatsgevonden die de huidige situatie (Actueel Grondwater- en Oppervlaktewater Regime (AGOR.)) beschrijven. Dit modellen instrumentarium wordt ook gebruikt bij de andere onderzoeken in figuur 1.1. Het historisch onderzoek, waarvan in dit rapport verslag wordt gedaan, heeft inzicht gegeven in de mogelijkheden voor reconstructie van de historische situatie (Historisch Grondwater- en Oppervlaktewater Regime (HGOR)). De beide andere onderzoeken vinden in de periode 2007-2008 plaats en hebben als doel te evalueren wat de effecten zijn van klimaatverandering op het watersysteem (Toekomstig Grondwater- en Oppervlaktewater Regime (TGOR)), evenals welke maatregelen kunnen worden genomen om de negatieve effecten geheel of gedeeltelijk teniet te doen (Veranderend Grondwater- en Oppervlaktewater Regime (VGOR.)).

1.4 Leeswijzer

Om de werking van een watersysteem in het verleden te kunnen beschrijven en te modelleren is informatie nodig over hoe het watersysteem er in het verleden uitzag

en hoe het functioneerde. De eerste stap is om na te gaan welke bronnen beschikbaar zijn waaraan gegevens kunnen worden ontleend. De beschikbare bronnen zijn mede bepalend voor de gebiedskeuze en het tijdvak. In hoofdstuk 2 is aangegeven voor welk pilotgebied en periode is gekozen, tevens wordt een beschrijving gegeven van de relevante hydrologische eigenschappen van het watersysteem in het verleden, zoals deze aan literatuur konden worden ontleend. Om de werking van het watersysteem te beschrijven wordt gebruik gemaakt van de methode zoals toegepast bij het project 'Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken'. In hoofdstuk 3 wordt de methode kort beschreven. Om de historische situatie met het modellen instrumentarium door te kunnen rekenen zijn bepaalde aanpassingen aan modelparameters, zoals deze uit de beschrijving in hoofdstuk 2 kunnen worden afgeleid, vereist. Deze aanpassingen worden in hoofdstuk 4 beschreven. Vervolgens kunnen de modellen worden doorgerekend voor de historische situatie en kunnen de resultaten worden gepresenteerd in de vorm van gebiedsdekkende kaarten, waterbalansen etc. In hoofdstuk 5 worden de resultaten weergegeven en vergeleken met de huidige situatie. Tevens worden in dit hoofdstuk de resultaten beoordeeld op plausibiliteit, omdat echte verificatie veelal onmogelijk is vanwege het ontbreken van meetgegevens. Tot slot worden in hoofdstuk 6 enkele discussiepunten aangeroerd en worden in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen beschreven.

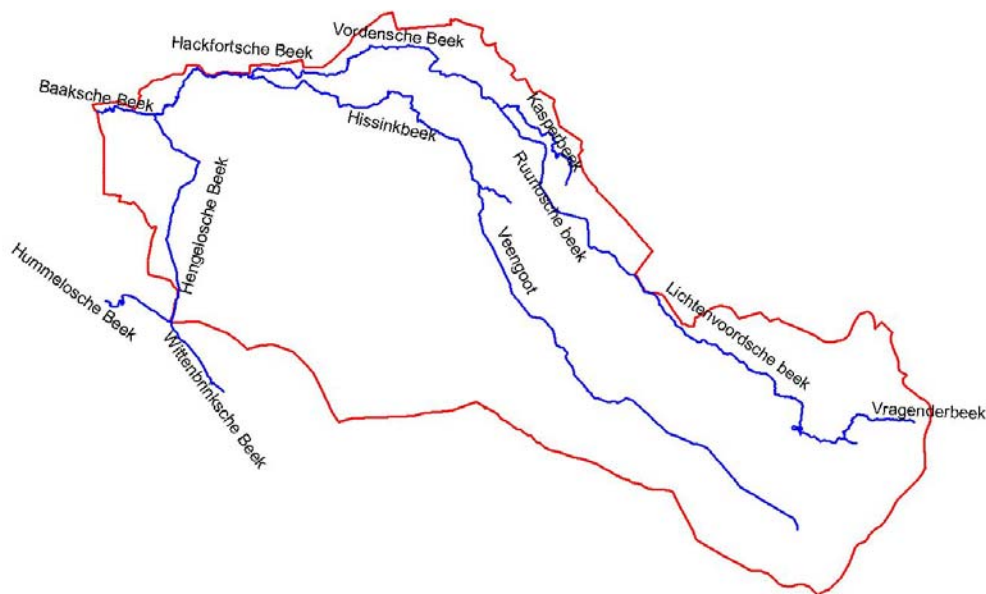
2 Inventarisatie historische parameters en gebiedskeuze

2.1 Beschikbare historische bronnen en keuze tijdvak

Naarmate we verder teruggaan in de tijd neemt het aantal schriftelijke bronnen sterk af, dit geldt ook voor bronnen mbt de werking en eigenschappen van watersystemen. Historisch is er een duidelijke cesuur waar te nemen, als gevolg van de vorming van de Nederlandse eenheidsstaat, in de periode voor ca 1830 en de periode erna. Vanaf deze tijd wordt landsdekkend voor Nederland op uniforme wijze informatie verzameld en vastgelegd, terwijl daarvoor veelal regionaal gegevens werden verzameld en vastgelegd waaruit veelal geen landsdekkend beeld kon worden afgeleid door hiaten mbt de dekking en ook door verschillen in de wijze van vastlegging. De instelling van het kadaster, voor de vaststelling van de grondbelasting, omstreeks 1832 heeft landsdekkende grondgebruikskaarten opgeleverd met een zeer hoog detailniveau (perceelsniveau) waaraan het grondgebruik omstreeks 1832 kan worden ontleend. Vanaf deze tijd verschijnen met een zekere regelmaat topografische kaarten van Nederland, waarmee de veranderingen in het landgebruik kunnen worden gevolgd. Door de aanwijzing van het Amsterdams Peil (A.P.) als referentieniveaувlak (bijlage 8) zijn de verschillende lokaal gehanteerde peilen vervangen door één landelijk vergelijkingsvlak. Om de waterstaatkundige inrichting van Nederland vast te leggen is de waterstaatskaart gemaakt, hiermee is begonnen omstreeks 1850. De Staatscommissie voor de Bevloeiingen (1897), ingesteld door de Regering, heeft veel hydrologische informatie verzameld voor het hoge deel van Nederland. Via metingen is omstreeks 1895 hydrologische informatie verzameld over neerslag, oppervlaktewaterpeilen en afvoeren (bijlage 5). In het begin van de 20^e eeuw (Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel, 1917) is de toestand van de ontwatering landsdekkend in beeld gebracht. Dit rapport (bijlage 3) was een belangrijke aanzet tot de verbetering van de ont- en afwatering die in de loop van de 20^e eeuw heeft plaatsgevonden en daarmee heeft bijgedragen aan het huidige aanzien van Nederland. Naast deze landsdekkende informatieverzameling zijn er ook regionale onderzoeken uitgevoerd. Door Willem Staring (1845) is de afwatering en de bijbehorende problemen in de Achterhoek en Overijssel in kaart gebracht en zijn adviezen gegeven voor verbetering van de afwatering (bijlage 2). Gezien de beschikbaarheid aan gegevens is als tijdvak voor de modellering van het historisch watersysteem gekozen voor het tijdvak 1850-1900. Bij aanvang van het project bestond de indruk dat er voor dit tijdvak voldoende gegevens beschikbaar zijn om hiermee modellen te kunnen parametriseren. Dit is het tijdvak voorafgaande aan de grote waterhuishoudkundige ingrepen die vooral in de 20^e eeuw hebben plaatsgevonden. Omdat gebruik wordt gemaakt van meerdere bronnen die niet op hetzelfde moment zijn verzameld is geen specifiek jaar aan te geven, maar heeft de modellering globaal betrekking op het tijdvak 1850-1900.

2.2 Gebiedskeuze

Bij de gebiedskeuze spelen naast de beschikbaarheid van bronnen om modellen te parametriseren ook de mogelijkheid om rekenresultaten te kunnen toetsen, een belangrijke rol. Voor zowel de Achterhoek als Overijssel zijn relatief veel gegevens beschikbaar die de situatie van de waterlopen omstreeks 1850 beschrijven (Staring, 1845). Voor Zuid-Nederland zijn dit type gegevens niet gevonden voor de periode rond 1850. Voor een aantal stroomgebieden van rivieren in Oost-Nederland geldt dat deze grensoverschrijdend zijn, voorbeelden zijn de Berkel, de Oude IJssel, de Overijsselse Vecht en de Schipbeek. Dit is een nadeel omdat over het Duitse deel van het stroomgebied gegevens ontbreken. Voor het gebied van de Baaksche Beek geldt dat dit stroomgebied geheel binnen Nederland is gelegen en omstreeks 1850 nog grote delen in min of meer “natuurlijke toestand” verkeerden. Vooral het feit dat het gebied geheel binnen Nederland ligt en er relatief veel bekend is mbt de waterlopen omstreeks 1850, is bepalend geweest voor de keuze van het stroomgebied van de Baaksche Beek als pilotgebied voor hoog Nederland. Daarnaast is voor dit gebied, in vergelijking met de aangrenzende gebieden, relatief laat een waterschap opgericht (Waterschap van de Baaksche beek opgericht in 1919). Ook zijn relatief laat verbeteringswerken uitgevoerd (Driessen et al., 2000 en bijlage 4). De waterstaatskaart (1879-1882) is gebruikt om de begrenzing van het gebied vast te stellen. De stroomgebieden waren omstreeks 1850 nog niet altijd duidelijk van elkaar gescheiden. Zo splitste de Wittenbrinkse Beek (figuur 2.1) zich in twee takken, nl de Hummelosche beek en de Hengelosche beek. De Hengelosche beek vormde een verbinding met de Baaksche beek. Om het stroomgebied van de Baaksche beek te begrenzen is op de spitsing van de Wittenbrinkse Beek, in de Hummelosche beek en de Hengelosche beek, de stroomgebiedsscheiding neergelegd.



Figuur 2.1 Stroomgebied van de Baaksche Beek

We duiden het gebied verder aan onder de naam Baaksche beek naar het in 1919 opgerichte voormalige waterschap. De hoofdbeek had echter meerdere benamingen en werd ook vaak als Vordensche beek aangeduid. Beekman (1948) schrijft dat de Vordensche beek ontstaat ten zuidoosten van Lichtenvoorde en dat deze beek vrij uitmondt in de Geldersche IJssel bij de Jager (zuidoosten van het tegenoverliggende Kortenoever) en dat de beek wordt genoemd naar de plaatsen waarlangs zij stroomt, achtereenvolgens geheten *Hofbeek* (naar het voormalige Hof te Lichtenvoorde), *Ruurlosche Beek*, *Vordensche Beek*, *Hackfortsche Beek* en *Baaksche Beek*, welke laatste naam ook wel aan de gehele beek gegeven wordt. De *Vordensche* of *Baaksche Beek* neemt verscheidene andere beken op, zoals reeds bij Lichtenvoorde de *Vragenderbeek* en bij het huis te Ruurlo de *Kasperbeek*; de meeste waterafvoer geschiedt door de *Veengoot*, die ten noorden van Aalten bij Barlo een aanvang neemt en verder grotendeels gegraven, noordwestwaarts loopt en in de *Hissinkbeek* overgaat, die boven het kasteel Hackfort in de *Vordensche Beek* uitkomt. Ook de *Hengelosche Beek*, die een voortzetting is van de *Wittebrinksche Beek* op de grens van de voormalige gemeente Hummelo en Keppel, voert veel water aan. De *Vordensche Beek* voert bij een ongeveer middelbare stand dicht bij haar mond (Baaksche brug in de weg Zutphen-Doetinchem) 13,8 m³/sec af (ca. 4,25 mm/d bij 280 km²). In deze beek zijn watermolens bij kasteel Vorden en bij het kasteel Hackfort.

2.3 Historische parametrisatie

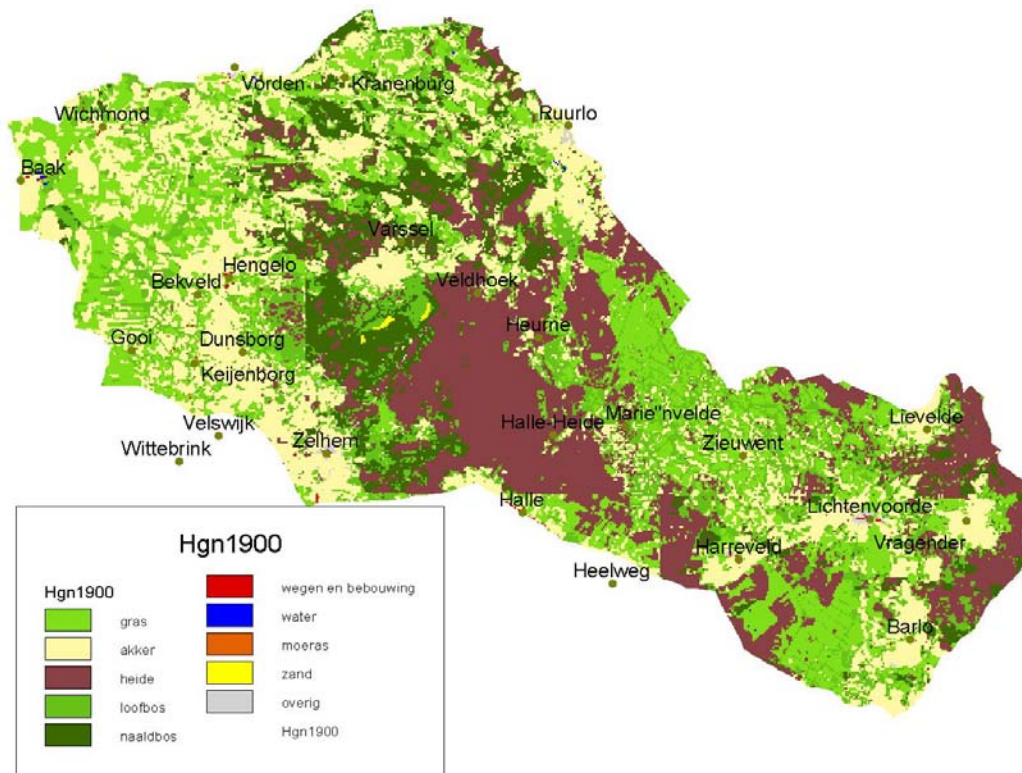
Om de werking van het watersysteem te beschrijven wordt gebruik gemaakt van modelberekeningen. In het kader van het project 'Hydrologie op basis karteerbare kenmerken' (Van der Gaast et al., 2006) is Nederland geschematiseerd in plots op basis van tijdsafhankelijke hydrologische gebiedseigenschappen. Voor een meer uitgebreide beschrijving van het modelonderzoek wordt verwezen naar hoofdstuk 3. De tijdsafhankelijke gebiedseigenschappen zijn bodem, opbouw diepere ondergrond (hydrotypen) en klimaatregio's. Hoewel de bodem, bijv als gevolg van bodemverbetering, en klimaat in de loop der tijd kan veranderen is deze indeling ook van toepassing op de historische situatie. Voor combinaties van deze eigenschappen zijn modellen opgezet die zijn geparametriseerd voor de huidige situatie. Om deze modellen ook toe te kunnen passen voor de historische situatie dienen de tijdsafhankelijke parameters te worden afgestemd op de historische situatie. De volgende verschillen tussen de historische en actuele situatie, die hydrologisch belangrijk zijn voor de werking van het watersysteem, kunnen worden genoemd:

- Landgebruik;
- Lengte aan waterlopen;
- Afmetingen van waterlopen;
- Afvoerrelatie.

Deze verschillen leiden tot aanpassing in de parametrisering van modellen. In de volgende subparagrafen worden de verschillen besproken. In bijlage 1 is een korte schets gegeven van de historische ontwikkeling van het oppervlaktewatersysteem in relatie tot de topografie.

2.3.1 Landgebruik in de periode 1850-2000

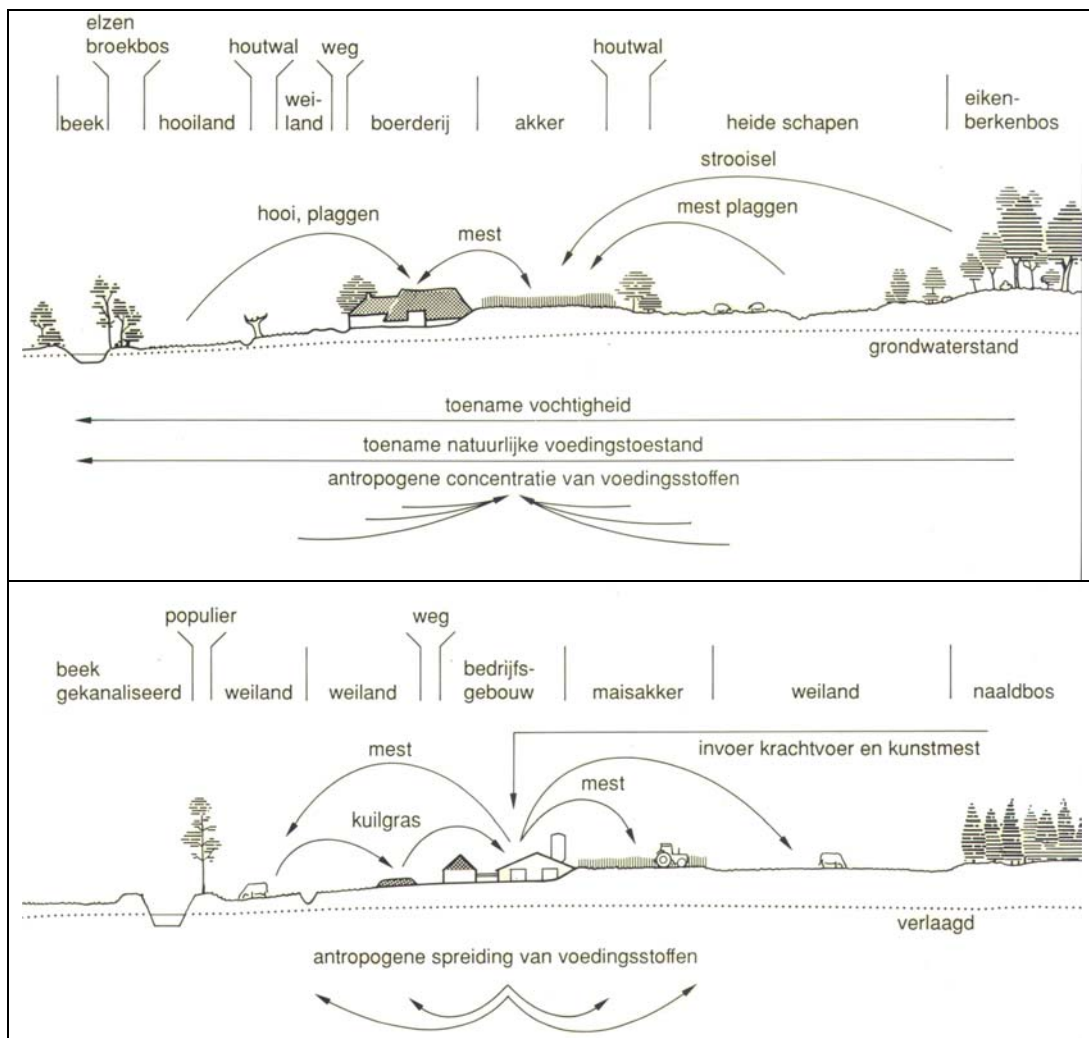
In de kadastrale atlas is op perceelsniveau het grondgebruik omstreeks 1832 vastgelegd. Deze atlassen zijn in de vorm van scans te raadplegen (<http://www.dewoonomgeving.nl/>), dit betreft naast kaarten met de perceelsligging tabellen met gegevens over eigenaar, grootte perceel, grondgebruik en belastingklasse. Dit materiaal is zeer gedetailleerd maar niet zodanig beschikbaar (gegeorefereerd) dat dit in een GIS-omgeving kan worden gebruikt. Voor het landgebruik is daarom gebruik gemaakt van andere digitaal beschikbare kaarten, nl. het Historisch Grondgebruik Nederland (HGN) (Knol et al., 2003a, 2003b, 2004). Voor het maken van de HGN kaart zijn de topografische kaarten 1: 25 000 die het grondgebruik omstreeks 1900 weergeven gescand. Vervolgens zijn de kleuren gebruikt om het landgebruik toe te kennen en is de kaart omgezet in een gridkaart. In figuur 2.2 is het grondgebruik volgens HGN weergegeven.



Figuur 2.2 Landgebruik volgens HGN in 1900.

Uit de kaart blijkt dat omstreeks 1900 nog grote arealen heidegrond en bos voorkomen. De markegronden gelegen in de gemeenten Vorden, Hengelo, Zelhem en Ruurlo zijn in de periode 1829-1832 verdeeld, terwijl de gronden in de gemeenten Wisch en Lichtenvoorde later, nl. in de periode 1859-1861, zijn verdeeld. Ondanks deze verdeling blijven nog grote arealen als heide en bos in gebruik. Dit kan worden verklaard uit de beperkte beschikbaarheid van mest voor de van nature arme zandgronden. Er was nog geen kunstmest, daarom konden niet alle gronden landbouwkundig in gebruik worden genomen (figuur 2.3). De heide en bossen

leverden naast voedsel en hout ook plaggen tbv de potstal. Zodat vervolgens de akkers met bemeste plaggen uit de potstal konden worden bemest. Omstreeks 1900 heeft de kunstmest haar intrede gedaan en kon het areaal landbouwgrond worden uitgebreid omdat de afhankelijkheid van de beschikbaarheid van heide en bos voor de plaggenbemesting afnam. Hierdoor treedt een verschuiving op in het landgebruik waarbij het areaal bouw- en grasland toeneemt ten koste van het areaal bos en heide. Om na verdeling de gronden landbouwkundig in gebruik te kunnen nemen werd er voor de ontginning een waterlopenplan gemaakt en uitgevoerd. Deze plannen leidden ertoe dat door het verdichte ontwateringstelsel het neerslagoverschot sneller tot afvoer kon komen. Hierdoor nam de geschiktheid van de ontgonnen gronden voor landbouw toe, maar dit gaf tevens aanleiding tot wateroverlast op het afwateringssysteem dat niet was berekend op deze extra afvoer (bijlage 2, Staring). De sponswerking van het gebied, nl. het water vasthouden in natte tijden en het vervolgens geleidelijk afstaan, nam hierdoor sterk af.



Figuur 2.3 Schematische weergave van het landbouwsysteem midden 19^e eeuw (boven) en in de 20^e eeuw (onder).

In figuur 2.3 is het oude landbouwsysteem en het huidige schematisch weergegeven. De belangrijkste verschillen tussen beide situaties zijn:

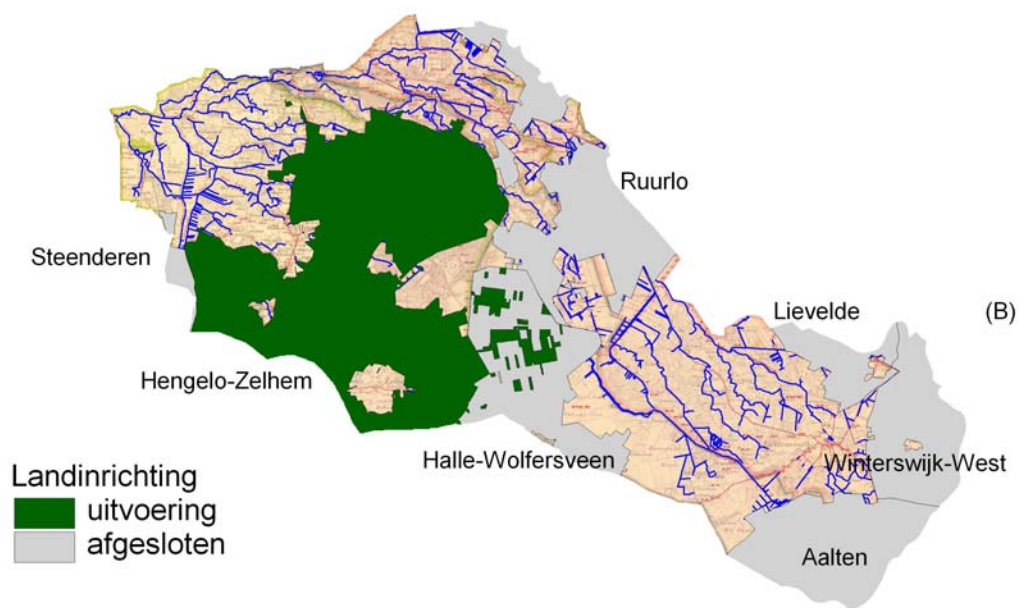
- In 1850 meer maaiveldvariatie dan in 2000;
- In 1850 ondiepere grondwaterstanden dan in 2000;
- In 1850 concentratie van voedingsstoffen op de akkers en verarming van heide en bos door plaggen en strooiselwinning, daardoor sterke gradiënten in beschikbare voedingsstoffen, tegen de meer uniforme belasting met nutriënten in de 21^e eeuw;
- Aanpassing profiel beek in 2000 tov 1850.

Uit het rapport van het Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel (1917, bijlage 3) blijkt dat de waterhuishouding in die tijd in grote delen van Nederland en ook voor het gebied van de Baaksche beek veel te wensen overliet. Dit heeft geresulteerd in de oprichting van het waterschap van de Baaksche Beek in 1919. Om de waterschapslasten eerlijk te verdelen na rato van het belang van de ingelanden bij een goede afwatering is een classificatie uitgevoerd van de inliggende gronden. Totaal zijn 5 klassen onderscheiden, de classificatie kwam gereed in 1922. Deze classificatie kaart (figuur 5.7) kunnen we beschouwen als een voorloper van de latere Gt-kaart, de kaart geeft de situatie voorafgaande aan de verbeteringswerken weer.

Voor na de 2^e wereldoorlog is er veel geld geïnvesteerd in ruilverkavelingen om de landbouwkundige produktie te verhogen door de ontwatering en de infrastructuur te verbeteren. In tabel 2.1 staan de ruilverkavelingen weergegeven die een deel van het stroomgebied van de Baaksche beek beslaan (figuur 2.4), als jaartal is opgenomen het jaar dat de akte van de totstandkoming van de detailontwatering is getekent, deze datum is voor de waterhuishouding belangrijk, omdat de uitvoering van de gehele ruilverkaveling vaak meerdere decennia omvat (Driessen et al., 2000).

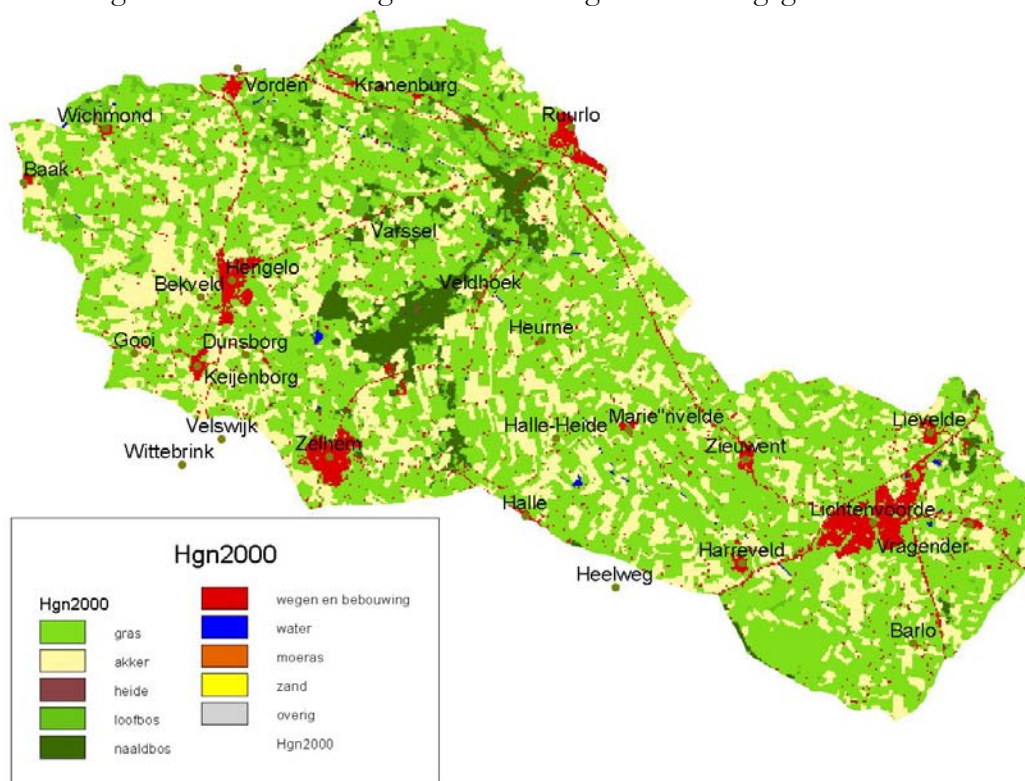
Tabel 2.1 Ruilverkavelingen met jaar passering akte van de totstandkoming van de detailontwatering

Ruilverkaveling	Jaar akte van de totstandkoming van de detailontwatering.
Lievelde	1950
Warnsveld	1973
Zieuwent/Harrevelt	1977
Winterswijk-West	1982
Hengelo-Zelhem	1983
Halle/Wolfersveen	1985
Aalten	1985
Ruurlo	1991



Figuur 2.4 Ruilverkavelingsgebieden binnen het stroomgebied van de Baaksche Beek

Het landgebruik voor de huidige situatie is in figuur 2.5 weergegeven.



Figuur 2.5 Landgebruik volgens HGN in 2000.

De verschillen in grondgebruik tussen 1900 en 2000 zijn weergegeven in tabel 2.2.

Tabel 2.2 Grondgebruik in 1900 en 2000 volgens HGN

Grondgebruik	HGN1900		HGN2000		Vershil
	ha	Perc	ha	perc	perc
Gras	5588	21.2%	14969	56.7%	35.6%
Akker	7319	27.7%	7315	27.7%	0.0%
Heide	5981	22.7%	6	0.0%	-22.6%
Loofbos	4617	17.5%	1373	5.2%	-12.3%
Naaldbos	2727	10.3%	1092	4.1%	-6.2%
Wegen en bebouwing	35	0.1%	1568	5.9%	5.8%
Water	7	0.0%	52	0.2%	0.2%
Zand	17	0.1%	5	0.0%	0.0%
Overig	90	0.3%			-0.3%
Totaal	26380	100.0%	26380	100.0%	

Opvallend is de grote toename van het areaal gras, dit is ten koste gegaan van het areaal heide, die nu geheel is verdwenen, en het areaal bos. Verder is het areaal wegen en bebouwing fors toegenomen. Het areaal akkerland is onveranderd gebleven. De geconstateerde veranderingen zullen doorwerken in de te berekenen verdamping en daarmee in de grondwateraanvulling. Ter indicatie zijn in tabel 2.3 enkele jaarlijkse verdampingscijfers voor natuurlijke situaties weergegeven (Massop et al., 2005).

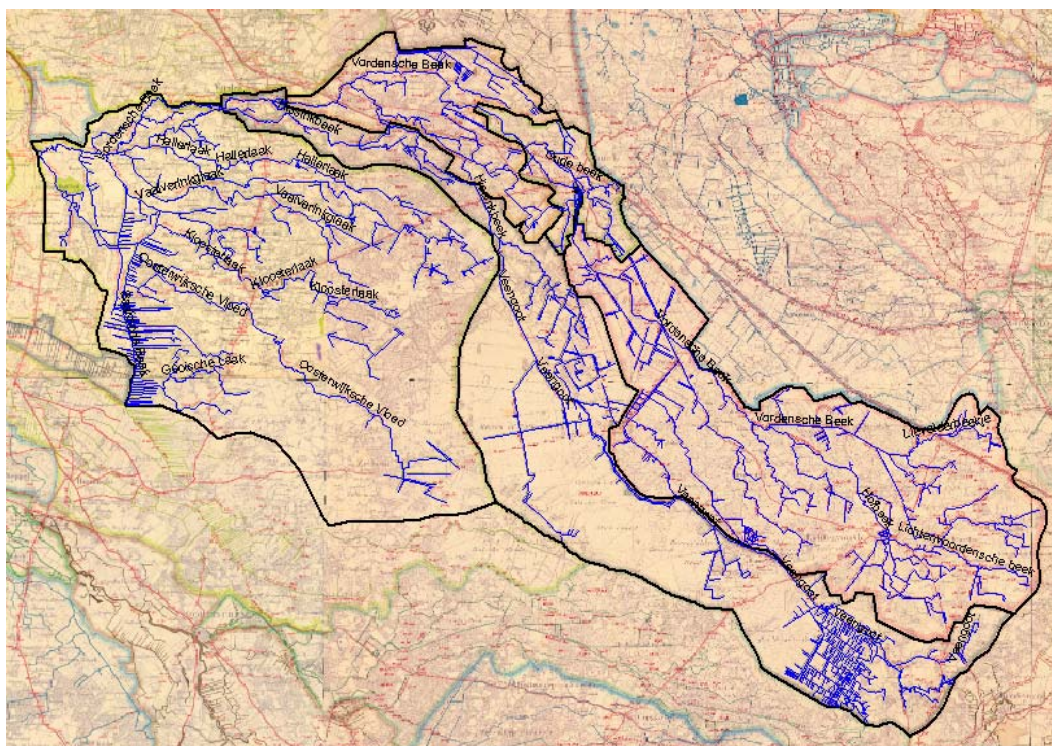
Tabel 2.3 Enkele verdampingscijfers van natuurlijke vegetaties

Vegetatietype	E (mm/jaar)
Natte heide	500 – 520
Vernat hoogveenrest	654
Grasland op hoogveenrestant	491
Hoogveen	506 – 654

De verdamping voor loofbos, naaldbos, gras en akker bedraagt in de huidige situatie resp. 520, 680, 535 en 515 mm.

2.3.2 Lengte aan waterlopen

De relatie grondwater-oppervlaktewater heeft een sterke relatie met de dichtheid aan waterlopen ofwel de slootafstand. Om de dichtheid aan waterlopen vast te stellen omstreeks 1850-1900 kan gebruik worden gemaakt van de waterstaatskaart. De eerste editie van de waterstaatskaart dateert uit de periode 1865 tot 1890 (Massop en Knol, 2005). Op de waterstaatskaart zijn de belangrijkste waterlopen weergegeven. Om vervolgens de dichtheid aan waterlopen te kunnen bepalen zijn de waterstaatskaarten voor het stroomgebied van de Baaksche beek gescand en gegeorefereerd. Allereerst is de begrenzing van het stroomgebied gedigitaliseerd. De waterlopen gelegen binnen het stroomgebied van de Baakse beek zijn vervolgens gedigitaliseerd. In figuur 2.6 zijn de betreffende beken weergegeven met de waterstaatskaart als ondergrond.



De belangrijkste beken zijn door Staring beschreven in zijn rapport uit 1845, tevens geeft hij aan waar aanpassingen en verbeteringen noodzakelijk zijn om de afwatering te verbeteren. Alle beken zijn in het rapport aangeduid met een naam, via oude kaarten is de ligging van deze beken nagetrokken. Om onderscheid te kunnen maken in een afwateringssysteem en een ontwateringssysteem zoals gebruikt bij de modellering zijn de beschreven beken volgens Staring gerekend tot het afwateringssysteem. De overige waterlopen, die staan weergegeven op de waterstaatskaart, zijn gerekend tot het ontwateringssysteem.

Eenheid	Oppervlakte in ha	Lengte waterlopen 1850 in m			Lengte waterlopen 2000 in m			Percentage 1850 van 2000	
		Ontwat	Afwat	Totaal	Ontwat	Afwat	Totaal	Afwat	Totaal
2900309	10725	150794	40190	190984	818763	253296	1072060	15.9%	17.8%
2900313	5323	115483	53625	169108	353661	135762	489415	39.5%	34.6%
2900312	3098	19559	11403	30962	154758	61480	216238	18.5%	14.3%
2900319	2875	81836	32290	114126	157111	84561	241673	38.2%	47.2%
2901009	810	9466	3106	12572	34750	18462	53212	16.8%	23.6%
2901012	617	2654	2396	5050	22466	10777	33243	22.2%	15.2%
2901013	556	17696	5357	23052	29313	14082	43394	38.0%	53.1%
Totaal	24004	397488	148367	545854	1570822	578420	2149235	25.7%	25.4%

zullen greppels aanwezig zijn in relatief natte gebieden. Deze ondiepe greppels kunnen we beschouwen als een vorm van maaiveldsdrainage. In paragraaf 3.1 is de indeling in schematisatie-eenheden beschreven. Deze eenheden zijn over de waterlopen, afgeleid uit de waterstaatskaart, gelegd. Per schematisatie-eenheid is vervolgens de lengte aan waterlopen bepaald. Hetzelfde is gedaan met de actuele lengte aan waterlopen, ontleend aan de studie van Van der Gaast et al., 2006. In tabel 2.4 zijn de resultaten weergegeven. Uit de vergelijking blijkt dat omstreeks 1850/1900 de lengte aan waterlopen ca 25 % van de actuele lengte bedraagt.

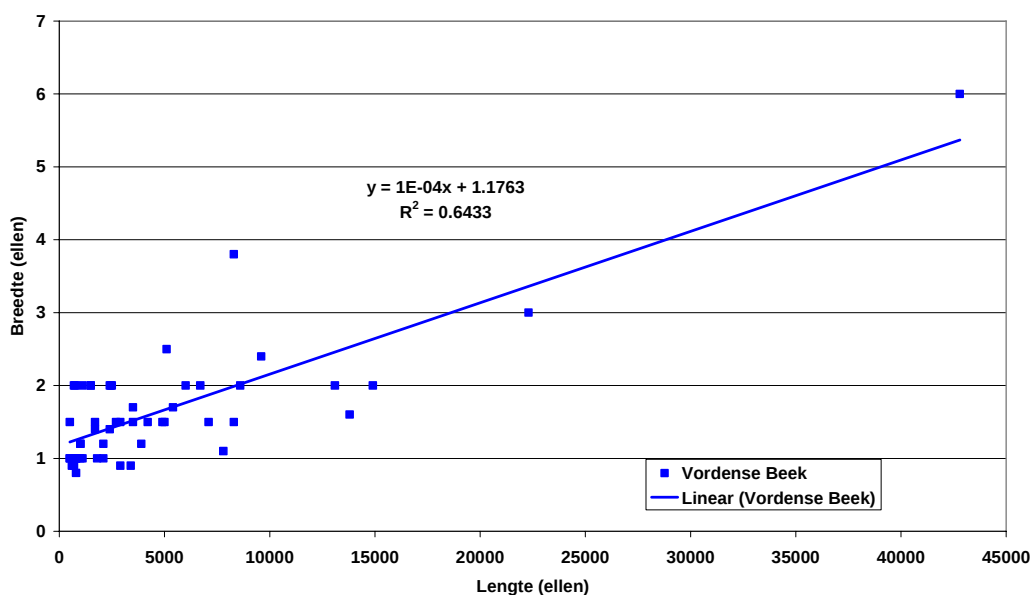
2.3.3 Afmetingen waterlopen

Voor een aantal waterlopen zijn door Staring (1845) gegevens over verhang, breedte en diepte vermeld, dit betreft overwegend de grotere waterlopen (tabel 2.5).

Tabel 2.5 Enkele gegevens over waterlopen ontleend aan Staring (1845)

Waterloop	Lengte (m)	Gradiënt (-)	Diepte (m)	Breedte (m)
114 Lievevelderbeekje	2300	0,000932	0,74	1,07
117 Lichtenvoordensche beek, Huninkbeek, Weijenburgbeek	8000	0,000951	1,16	1,84
120 Hofbeek	1600		1,21	1,48
124 Afwatering langs den Batsdijk			0,90	0,83
128 Oude beek, Kaspersgoot	5000		0,78	1,10
139 Hissinkbeek, Oude Hissinkbeek	14400	0,000537	1,55	1,88
140 Veengoot, Zilverbeek	22000	0,000669	1,12	2,59
146 Weulensteeg, Lindensche laak, Varsselsche laak	13800	0,000657	1,13	1,45
149 Hallerlaak	7000		0,92	1,16
150 Zomp, Deldensche laak, Deldensche broeklaak of Vaalverinklaak	7000		0,93	1,01
152 Baaksche beek, Wichmondsche-, Hengelosche-, Kleine- of Dwarsbeek	8300	0,000361	1,44	2,54
154 Gooische laak			0,58	0,58
156 Dunsborgerlaak, Oosterwijksche vloed	12700	0,000716	1,10	1,34
159 Kloosterlaak	7200	0,000771	1,14	1,35
Gemiddeld	9108	0,000699	1,05	1,44

In dit kader zijn door Staring 57 beken binnen het stroomgebied van de Baakse beek breedten opgegeven, alsmede de lengte van beken. Deze gegevens zijn uitgezet in figuur 2.7.



Figuur 2.7 Breedte beken in stroomgebied Baaksche beek in relatie tot de lengte naar Staring (1847)

De gemiddelde lengte van deze 57 beken is 4472 m, terwijl het gemiddelde voor de gehele Achterhoek 4157 m bedraagt. De breedteschattingen geven een redelijk verband (figuur 2.7). Uitgaande van de gemiddelde lengte komt dit uit op een gemiddelde breedte van 1,59. Voor de 14 beken in tabel 2.5 is het gemiddelde 1,44 m. Als gemiddelde breedte voor de beken kan een waarde worden aangehouden van 1,55 m.

De gemiddelde diepte van de waterlopen in tabel 2.5 is 1,05 m. Omdat de breedte beter kan worden vastgesteld dan de diepte tov maaiveld is tevens een andere benadering gevolgd. Voor de diepte van de waterlopen heeft Ernst (1978) een relatie afgeleid, nl.,

$$B_{gs} = 1,75b^2$$

hierin is

B_{gs} = bovenbreedte (m),

b = bodemdiepte (m).

Toepassing geeft een bodemdiepte van 0,95 m,

Als we aannemen dat de breedte overeenkomt met de bodembreedte (B_b) dan geldt volgens Ernst

$$B_b = 1,15b^2$$

de bijbehorende gemiddelde bodemdiepte bedraagt dan 1,17 m. Deze waarden komen goed overeen met het gemiddelde in tabel 2.5, nl 1.05 m. De gemiddelde bodemdiepte van de waterlopen varieert dus tussen 0,95-1,17 m-mv, hieruit kan een gemiddelde waarde van 1,05 m worden afgeleid en de gemiddelde breedte van de waterlopen varieert tussen de 1.44 tot 1,59 m, hiervoor is een gemiddelde waarde van 1.55 m aangehouden.

2.3.4 Afvoerrelatie

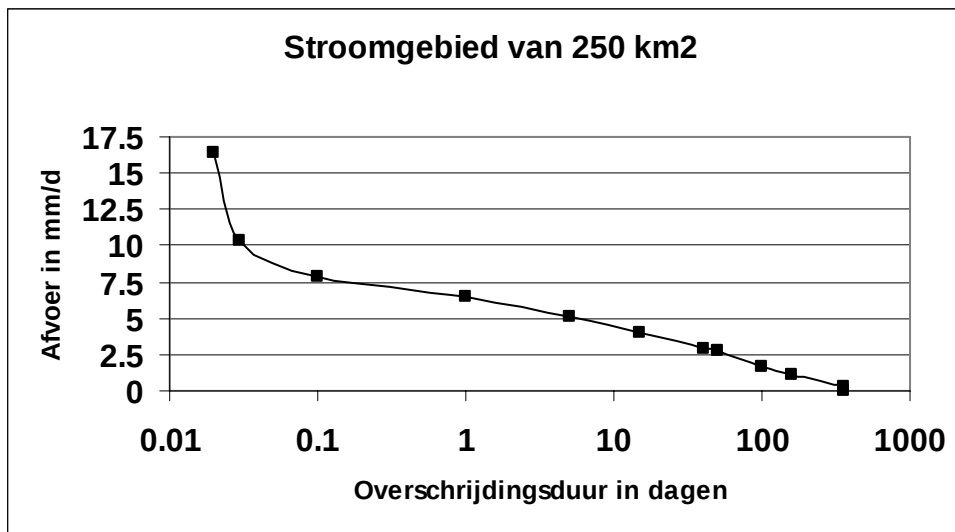
De verschillen in dichtheid en afmetingen zullen resulteren in verschillen tussen de afvoerrelaties (Q(h)-relatie) zoals die golden omstreeks 1850 en de huidige afvoerrelaties. Een van de oudste afvoeronderzoeken betreft het onderzoek van Michaëlis (Keur, 1917 en Staatscommissie, voor de bevoeiingen, 1897), die in Westfalen hydrologisch onderzoek heeft gedaan in een aantal stroomgebieden in het tijdvak 1866-1880 ("Uitkomsten der waarnemingen omtrent den gevallen regen en de afstroming van water in het Westphaalsche bekken gedurende het tijdvak 1866-1880"). Uit deze metingen zijn een aantal wetmatigheden afgeleid. Omdat de situatie in Westfalen grote overeenkomsten heeft met de situatie in Oost-Nederland zijn deze getallen bruikbaar om de relatie tussen afvoer en oppervlaktewaterstand vast te stellen (Staatscommissie voor de bevoeiingen, 1897; Keur, 1917). Voor verschillende grootten van stroomgebieden en waterstanden is de gebiedsafvoer in mm weergegeven in tabel 2.6. Tevens is de overschrijdingsduur geschat voor verschillende combinaties van waterstand en afvoer.

Tabel 2.6 Relatie tussen waterstand en afvoer voor verschillende grootten van stroomgebieden

Omschrijving	Overschrijding in d/jaar*	Oppervlak in km ² met afvoer in mm					
		50	100	150	200	250	300
Laagwaterstand	363	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
Middelbare waterstand zomer	355	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Middelbare waterstand winter	160	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
Hoogwaterstand zomer bij aanvang	100	2,14	2,00	1,87	1,74	1,61	1,49
Gewone hoogwaterstand zomer	50	3,44	3,26	3,08	2,93	2,79	2,67
Buitengewone hoogwaterstand zomer	15	5,39	4,96	4,57	4,29	4,06	3,87
Hoogwaterstand winter bij aanvang	40	3,37	3,23	3,09	2,96	2,83	2,70
Gewone hoogwaterstand winter	5	6,53	6,10	5,70	5,35	5,03	4,75
Buitengewone hoogwaterstand winter	0,03	13,05	12,27	11,58	10,89	10,28	9,68
Maximum	0,02	19,01	18,36	17,67	16,98	16,42	15,85

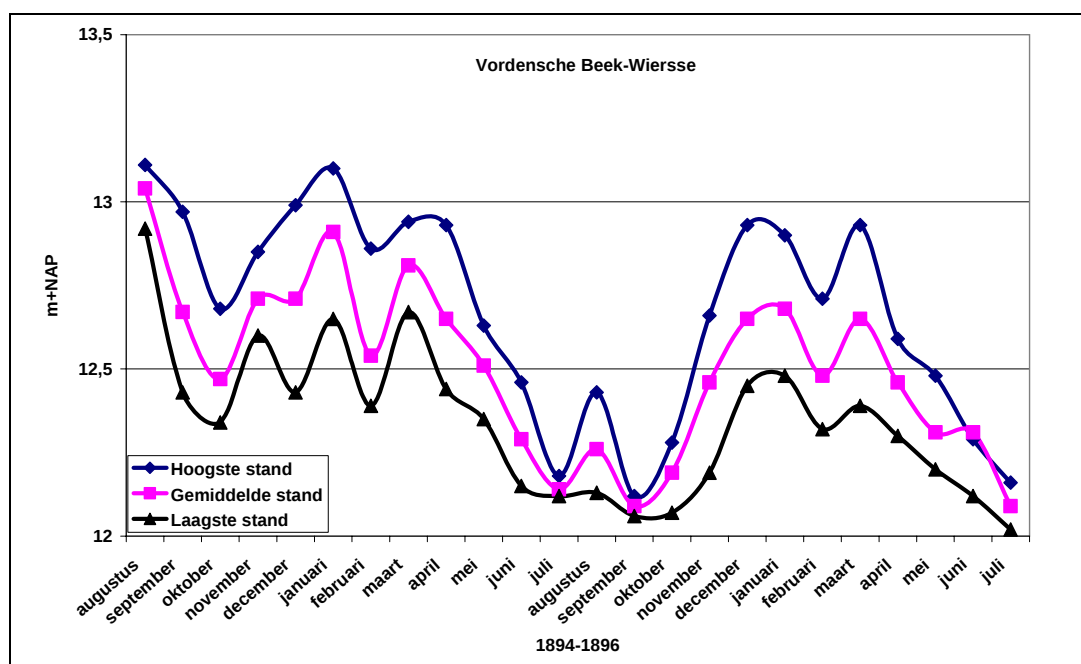
* De overschrijdingsduur is ingeschat

Uit tabel 2.6 blijkt duidelijk het gebiedsgrootte-effect op de afvoer. Het is niet eenvoudig hieruit een Q(h)-relatie af te leiden omdat de waterhoogten niet direct te koppelen zijn aan waterhoogten tov maaiveld. Het stroomgebied van de Baaksche Beek is ca 280 km³ groot. In figuur 2.8 is de relatie tussen de geschatte overschrijdingsduur en afvoer weergegeven.



Figuur 2.8 Relatie tussen afvoer en geschatte overschrijdingsduur volgen Michaëlis

Door de Staatscommissie voor de Bevloeiingen (1897) zijn in de periode 1894-1896 gegevens verzameld in het stroomgebied van de Baaksche Beek. Op 4 locaties zijn over de periode augustus 1894 t/m juli 1895 oppervlaktewaterstanden gemeten. In bijlage 5 zijn de hoogste, gemiddelde en laagste stand per maand weergegeven voor 4 locaties in het stroomgebied van de Baaksche beek. In figuur 2.9 is voor locatie Baakse beek meetpunt de Wiersse het verloop van de oppervlaktewaterstand weergegeven.



Figuur 2.9 Hoogste, gemiddelde en laagste stand per maand voor de periode augustus 1894-juli 1896 voor het meetpunt Wiersse in de Vordensche beek

Opvallend zijn de hoge standen in augustus 1894, deze hoge standen zijn zelfs in de daarop volgende twee winters niet waargenomen. In de maanden juli en augustus 1894 is in Utrecht een neerslag gemeten van respectievelijk 142,8 en 128,1 mm (bijlage 10), samen ruim 270 mm terwijl normaal in deze periode een neerslag van 70 en 58,5 mm valt. De sterke fluctuatie duidt ook op stremming van de afvoer, die in de zomer extra groot is door begroeiing van de waterloop.

De fluctuatie in de waterstand komt ongeveer overeen met de diepte van de waterloop ter plaatse. In de beschrijving van de Staatscommissie is sprake van wilde bevoeiingen (bijlage 5), dit duidt op het ongecontroleerd buiten de oevers treden van de beek. In tabel 2.7 is een vergelijking gemaakt met de aanpak volgens Michaelis en de metingen gedaan door de Commissie Bevoeiingen.

Tabel 2.7 Vergelijking in gebiedsafvoer bij bepaalde oppervlaktewaterstanden volgens Michaelis en volgens de Staatscommissie (grafisch)

Afvoer	Peilschaal	Afvoer in l/sec volgende uit					
		Grafisch Laagste waterstand	Michaelis	Grafisch Gemiddelde waterstand	Michaelis	Grafisch Hoogste waterstand	Michaelis
Vordensche beek	Vorden	0	30	1250	675	5000	19400
Hissinkbeek	Vorden	0	15	330	500	1900	14400
Hackfortsche beek	Vorden	0	80	1580	1175	6600	31800

Uit vergelijking tussen de relatie van Michaelis, afgeleid uit zijn onderzoek en de grafische Q(h)-relatie, op basis van metingen door de Staatscommissie, blijkt voor het gebied van de Baaksche beek dat vooral bij hoge afvoeren de gemeten afvoer achterblijft bij die volgens Michaelis. Dit kan worden verklaard doordat als gevolg

van inundatie de toename van de afvoer achterblijft bij de potentiële beschikbaarheid van water. Daarnaast is het mogelijk dat in Westphalen meer hellende gronden voorkomen met ondiepe slecht of ondoorlatende lagen. Deze gebieden reageren sneller met grotere afvoerpieken, zie ook Lely (1894). In tabel 2.8 zijn de afvoeren bij de hoogste waterstand in mm/d naast elkaar gezet.

Tabel 2.8 Afvoeren bij de hoogste waterstand in mm/d volgens Staatscommissie (grafisch) en Michaelis

Beek	Peilschaal	Stroom- gebied in ha	Afvoer in mm/d bij de hoogste waterstand volgens	
			grafisch	Michaelis
Vordensche beek	Vorden	7280	5,9	23,0
Hissinkbeek	Veldhoek	5660	2,9	22,0
Hackfortsche beek	Vorden	15750	3,6	17,4

Het grote verschil in afvoer kan niet worden verklaard uit fouten in metingen. Verder kan het verschil in afvoer Vordensche Beek van 5,9 mm/d en Hackfortsche beek 3,6 mm/d duiden op inundatie in het tussenliggende traject of het voorkomen van een relatief groter aandeel droge gronden. Ook de relatief lage afvoer voor de Hissinkbeek in vergelijking met de Vordensche Beek duidt op bovenstroomse bergingsmogelijkheden of inundatie.

Door Bon (1971) zijn meer recent in de jaren zestig afvoermetingen gedaan, deze gegevens zijn samengevat in tabel 2.9.

Tabel 2.9 Afvoermetingen volgens Bon in 1965 in het stroomgebied van de Baaksche beek

Beek	Meetpunt	Ha	Afvoer l/sec/ha			Afvoer in mm/d		
			Bere- kend	Juni '65	December '65	Bere- kend	Juni '65	December '65
Veengoot	V1	520	1,42	1,63	1,52	12,3	14,1	13,1
	V2	1670	1,03	0,24	0,78	8,9	2,1	6,7
	V3	3120	0,78	0,31	0,61	6,7	2,7	5,3
	V4	1730	0,8	0,74	0,81	6,9	6,4	7,0
Baaksche Beek	B1	1070	1,3	1,36	1,36	11,2	11,8	11,8
	B2	2735	1,03	0,57	0,66	8,9	4,9	5,7
	B3	1520	1,27	0,79	0,86	11,0	6,8	7,4
	B4	2110	1,03	0,62	0,69	8,9	5,4	6,0
Hengelosche beek	H1	1290	0,75	0,16	0,85	6,5	1,4	7,3
	H2	2270	0,5	0,31	0,69	4,3	2,7	6,0
	H3	2585	0,88	0,41	0,85	7,6	3,5	7,3
gem -totaal						8,5	5,6	7,6
gem -excl Tertiaire gebied						7,7	4,0	6,5

Uit tabel 2.9 kunnen we afleiden dat de gemiddelde afvoer voor het zandgebied in december ca 6,5 mm/d bedraagt. De deelstroomgebieden gelegen in het oostelijk deel met keileem in de ondergrond (V1 en B1) geven hogere afvoeren te zien, zodat deze gebieden het gemiddelde voor het totale stroomgebied enigszins verhogen. Uit de afvoerreeks van meetpunt De Wiersse is afgeleid dat deze afvoer een kans van voorkomen heeft van 1 maal per jaar tot 1 maal per drie jaar. De gemeten afvoer in

december 1965 is hiermee groter dan de maatgevende afvoer die 1 á 2 maal per jaar wordt overschreden. Uitgaande van ontwerpnormen wordt een maatgevende afvoer gevonden door Bon (1971) van 7,7 mm/d, deze is ca 20% hoger dan de meetwaarden aangeven. De afvoerwaarden volgens Bon liggen dicht in de buurt van de bevindingen van de Staatscommissie voor de Bevloeiingen en wijken daarmee aanzienlijk af van de curve van Michaelis. De maatgevende afvoer is volgens Bon groter dan de hoogste afvoer volgens de Staatscommissie voor de Bevloeiingen vastgesteld, dit kan worden verklaard uit de verbeteringswerken die in de periode 1895-1965, meer specifiek in de periode 1925-1940, zijn uitgevoerd (zie bijlage 4). Uit de meetreeks voor de Wiersse is eveneens door Bon een afvoer gegeven die eenmaal per 10 en eenmaal per 100 jaar voorkomt. Deze afvoeren zijn resp. 20% en 30% groter dan de maatgevende afvoer, die 1 á 2 dagen per jaar wordt overschreden.

Indien van het in de bestaande toestand gemeten afvoerverloop wordt uitgegaan dan hangen de resultaten van de berekening met de aanwezige ontwateringstoestand samen. Dit geldt zowel voor de neerslag-afvoerrelaties als voor de afvoerfrequenties en de afvoermodellen, die aan de hand van gemeten afvoeren worden opgesteld. Uitspraken over het afvoerverloop na eventuele wijzigingen van de bestaande hydrologische toestand kunnen dan ook niet zonder meer worden gedaan. Wordt van het gemeten afvoerverloop uitgegaan dan doet zich dikwijls de moeilijkheid voor dat de hoogste afvoeren niet kunnen worden gemeten, omdat de afvoercapaciteit van het bestaande leidingstelsel te gering is en inundaties optreden. Onder deze omstandigheden kan ook water buiten het meetpunt om tot afstroming komen. Wordt de afvoercapaciteit in een dergelijk gebied vergroot dan worden allereerst de tijdelijke bergingsmogelijkheden weggenomen, hetgeen een verhoging van de topafvoer tot gevolg heeft (Colenbrander, 1970).

Voor het gebied van de Baaksche beek gold in het verleden een andere $Q(h)$ -relatie dan de huidige. Bij een afvoer van ca 4,5 mm steeg de oppervlaktewaterstand tot in het maaiveld. Door het beperkte afvoervermogen kwamen daardoor regelmatig inundaties vanuit de beken voor, omstreeks 1965 is de maatgevende afvoer enigszins toegenomen als gevolg van de uitgevoerde verbeteringswerken, hierdoor zal ook de $Q(h)$ relatie zijn veranderd.

Toegepaste normen bij de verbeteringswerken.

Bij het verbeteringsplan voor de Baaksche Beek is uitgegaan van een afvoer van 1 l/sec/ha bij een drooglegging van 0,3 á 0,5 m - m.v. Volgens een globale berekening kan de verbeterde beek zonder drooglegging een afvoer van 1,7 l/sec/ha verwerken. Deze afvoer wordt volgens de vastgestelde frequentielijn ook ongeveer 1 maal per 100 jaar overschreden (Blok, 1970). In dezelfde studie wordt voor meetpunt De Wiersse de frequentie van de dagafvoeren in mm/etm gegeven per jaar en voor de zomer voor verschillende herhalingstijden (tabel 2.10).

Tabel 2.10 Frequentie van de dagafvoeren in mm/etm voor meetpunt De Wiersse in de Baaksche beek (Blok, 1970) en frequentie afvoertoppen met gemiddelde duur

Herhalingstijd	Frequentie dagafvoer		Frequentie afvoertop	
	Jaar mm/d	Zomer mm/d	Afvoer mm/d	aantal dagen
Q_1	7,3	4,4	6,2	2,4
$Q_{0.1}$	10,6	6,5	9,7	1,5
$Q_{0.01}$	13,7	8,6	13,7	1,0

De dagelijkse afvoeren zijn bepaald uit 8-uur standen. Deze afvoeren zullen in de regel niet overeenkomen met de gemiddelde dagafvoeren. Voor een aantal dagen zijn deze afvoeren te hoog en voor andere dagen te laag. De afvoeren in tabel 2.10 bij grotere herhalingstijd zijn bepaald door lineaire extrapolatie. Verder merkt Blok (1970) op dat de hoge en zeer hoge afvoeren in de beken pas kunnen optreden, nadat de beken zijn verbeterd en de inundaties zijn opgeheven.

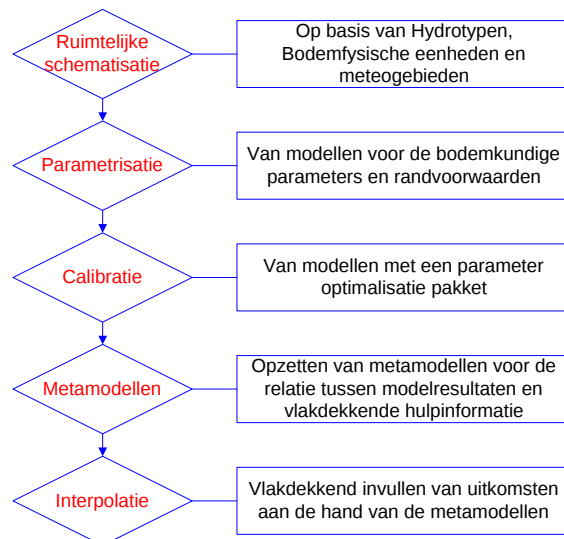
De situatie die kan optreden als een beekprofiel te krap is bij een zeer lage afvoerfrequentie wordt weergegeven in figuur 2.10 waar inundaties te zien zijn bij Ruurlo, Strootmansbrug en waarbij een deel van het water om de stuw heen stroomt.



Figuur 2.10 Hoogwater Ruurlo, waarbij het inundatiewater om de stuw stroomt, Bron waterschap Rijn en IJssel (<http://www.wrij.nl/organisatie/archieven/rechtsvoorgangers/waterschap/waterschap/foto's>)

3 Methode

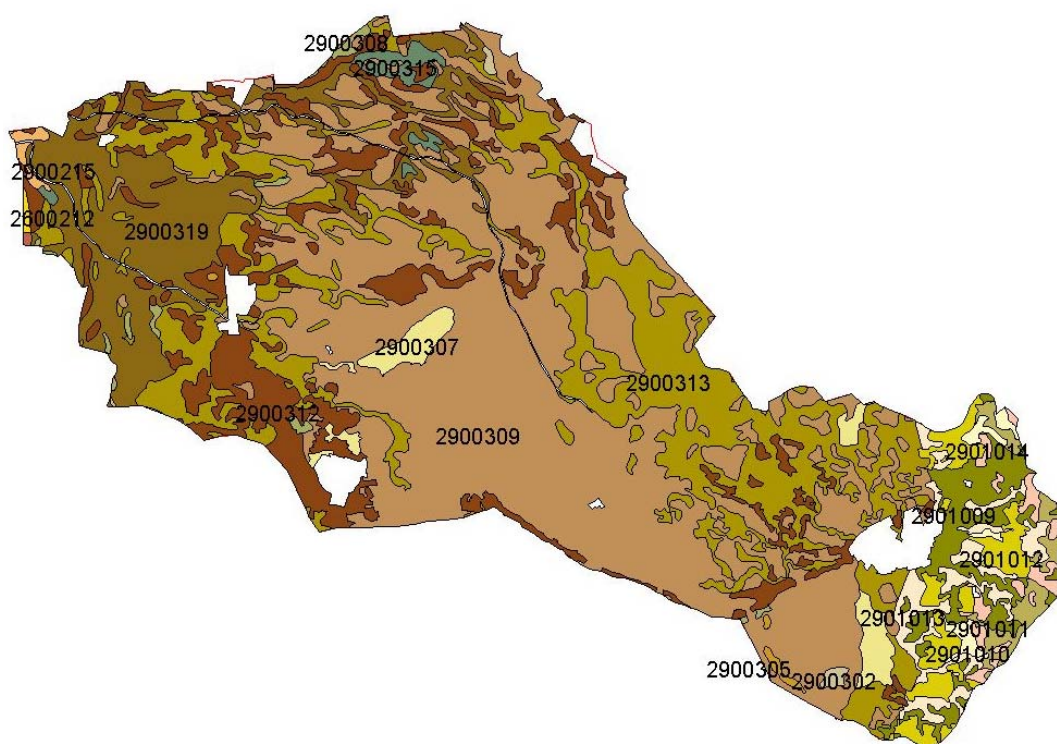
Voor de modellering van de historische situatie is gebruik gemaakt van de landsdekkende studie die is uitgevoerd voor het project “Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken” (Van der Gaast et al., 2006). In figuur 3.1 is de gehanteerde werkwijze schematisch weergegeven.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de gevolgde werkwijze (naar: Van der Gaast et al., 2006)

3.1 Schematisatie

In eerste instantie is Nederland ruimtelijk geschematiseerd in 437 eenheden. Bij de opzet van de ruimtelijke schematisatie is er voor gekozen om zoveel mogelijk gebruik te maken van tijdsonafhankelijke gegevens in de vorm van klimaatregio's, hydrotypen voor de geohydrologische situatie en bodemfysische eenheden voor de bodemkundige situatie. Door de keuze van een indeling op basis van tijdsonafhankelijke gegevens is het ook mogelijk om een historische situatie door te rekenen. De schematisatie voor het stroomgebied bestaat uit de combinatie hydrotipe en bodemtype. Aangezien het stroomgebied beperkt van omvang is, is er geen onderscheid gemaakt op basis van meteorologie. In figuur 3.2 zijn de schematisatieeenheden weergegeven, welke liggen binnen het stroomgebied van de Baaksche beek.



Figuur 3.2 Schematisatieeenheden in het stroomgebied van de Baaksche Beek

Totaal liggen er 19 schematisatieeenheden binnen het gebied. In verband met de parametrisatie is het van belang dat de schematisatieeenheden niet te klein zijn. Voor het minimale oppervlak van een schematisatieeenheid is daarom 2% van het totale oppervlak van het stroomgebied aangehouden. Hierdoor is het totale aantal schematisatieeenheden beperkt tot 7 eenheden. Deze 7 eenheden zijn gebruikt voor de verdere berekeningen, de eenheden die kleiner zijn dan 500 ha zijn ingedeeld bij een van de 7 resterende eenheden.

3.2 Parametrisatie huidige situatie

Vervolgens is het ééndimensionale model SWAP geparametriseerd op basis van karteerbare kenmerken en analytische oplossingen. SWAP is een één-dimensionaal onverzadigde zone model. Het model kan worden gezien als een perceelsmodel waarbij een verticale grondkolom voor een gemiddelde locatie in een perceel wordt gemodelleerd die een koppeling heeft met het oppervlaktewatersysteem. De parametrisatie van het model SWAP heeft betrekking op zowel randvoorwaarden als interne modelparameters. De randvoorwaarden bestaan uit een bovenrand in de vorm van meteorologische data en gewasparameters, een onderrand in de vorm van kwel/wegzijgingsparameters en een zijrand in de vorm van oppervlakte-waterparameters.

Meteo

Voor de meteorologische data is gebruik gemaakt van gegevens voor het weerstation Twente. Het gaat hierbij om neerslaggegevens en verdampingsgegevens in de vorm van de referentie gewasverdamping (ET_{ref}) volgens Makkink.

Bodem

Bij de generalisatie van de Bodemkaart van Nederland (1 : 250 000) ten behoeve van de PAWN-studie, zijn 21 bodemfysische eenheden onderscheiden (Wösten *et al.*, 1988). In deze studie zijn de bodemeenheden van de bodemkaart 1 : 250 000 (Steur *et al.*, 1985) gegeneraliseerd tot 21 eenheden op grond van verwantschap in bodemkundige en bodemfysische kenmerken. Aan de horizonten in de profielschetsen van de 21 eenheden zijn bodemfysische karakteristieken (waterretentie en doorlatendheid) uit de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1987) toegekend. Hierbij zijn horizonten die zich min of meer fysisch identiek gedragen, samengevoegd tot een bodemfysische horizont.

Bewortelbare diepte

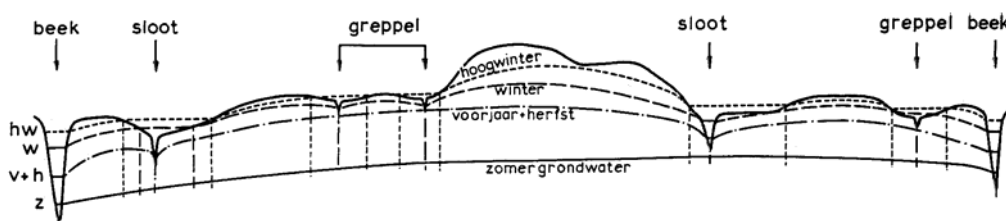
De bewortelbare diepte van de grond geeft aan tot welke diepte plantenwortels maximaal in de grond kunnen doordringen. De bewortelbare diepte is een profieleigenschap die een relatie heeft met het landgebruikstype, terwijl de bewortelingsdiepte informatie geeft over de dikte van de wortelzone van een bepaald gewas. De bewortelingsdiepte kan afhankelijk van het bodemtype worden beperkt. Hierbij spelen de volgende beperkende factoren voor wortelgroei een belangrijke rol: pH, aëratie en indringingsweerstand. Voor de gebruikte wortelbare diepte wordt verwezen naar Van der Gaast *et al.*, 2006.

Grondgebruik

Voor het grondgebruik is alleen het grondgebruikstype gras onderscheiden. Aan de hand van de grondgebruikstypen is de modelinvoer voor de bovenrand opgezet. De potentiële gewasverdamping wordt bepaald door de referentie-gewasverdamping (ET_{ref}) en de gewasfactoren (k_c), welke kunnen verschillen per gewas en het stadium waarin de gewasgroei zich bevindt. Vervolgens worden deze bijgesteld op basis van de berekende drukhoogte, waardoor reductie van de verdamping onder droge of natte omstandigheden plaats kan vinden (actuele verdamping).

Oppervlaktewatergegevens

Van ontwatering is sprake, indien overtollig water aan de grond wordt onttrokken. De ontwateringsmiddelen die hiertoe, al dan niet in combinatie, kunnen worden toegepast zijn greppels, buisdrainages, perceel- en kavelsloten. Onder natte omstandigheden zijn alle ontwateringsmiddelen watervoerend. De ontwateringsafstand en de drainageweerstand zijn hierdoor relatief gering. In drogere omstandigheden kan het detailontwateringsstelsel droogvallen, waardoor de ontwateringsafstand en de drainageweerstand toenemen. In onderstaande figuur is voor een hellend gebied, het effect van de grondwaterstand op de ontwateringsafstand schematisch weergegeven (figuur 3.3).



Figuur 3.3 Verkleining van de ontwateringsafstand bij stijgend grondwaterpeil (Bon, 1969)

Aangezien de ontwateringsafstand de meest bepalende factor is voor de drainageweerstand is deze parameter van groot belang voor modelberekeningen. Voor een één dimensionaal model zoals SWAP is het niet eenvoudig om een gemiddelde slootafstand te bepalen. De ruimtelijke component zit niet in het model en het oppervlaktewater zit in het model in de vorm van een zijrandvoorwaarde. De te gebruiken gemiddelde slootafstand voor een puntmodel is afhankelijk van de mate waarin de interactie tussen grond- en oppervlaktewater plaatsvindt. Dichtbij gelegen waterlopen zullen een groter aandeel hebben aan deze interactie dan verder weg gelegen waterlopen. Voor deze afname van de invloed kan gebruik worden gemaakt van de formule van Mazure (Van der Gaast et al., 2006). Voor de uiteindelijke parametrisering van de drainageweerstand is gebruik gemaakt van een groot aantal peilbuislocaties (ca. 2000). Voor deze peilbuislocaties is de drainageweerstand in de vorm van een factor maal de slootafstand gekalibreerd. Voor een uitgebreide beschrijving van de bepaling van de drainageweerstand wordt verwezen naar Van der Gaast et al., 2006.

Maaiveldsdrainage

Het maaiveld van een perceel is niet vlak maar kent hogere en lagere delen. Bij de berekeningen met het model SWAP wordt uitgegaan van een representatief gemiddeld punt voor een perceel. Bij hoge grondwaterstanden kan het lager gelegen maaiveld als drainagemiddel gaan fungeren, waarbij water van de relatief hoog gelegen plekken wordt ontvangen. Om dit proces te kunnen simuleren is er een zeer ondiep drainageniveau toegevoegd. Aan dit ondiepe drainagesysteem is een relatief lage drainageweerstand van 30 dagen toegekend. Voor de diepte van dit drainagesysteem is 15 cm-mv aangehouden. Bij deze diepte zal een deel van het maaiveld deze vorm van drainage voor zijn rekening nemen. De veronderstelde weerstand is echter een arbitraire schatting welke niet gebaseerd is op metingen of veldonderzoek.

In het kader van eerder onderzoek is de modellering van het oppervlaktewater in het model SWAP aangepast (Van der Gaast et al., 2006). In het kort komt de modelaanpassing er op neer dat ieder oppervlaktewatersysteem in het model wordt gesimuleerd in de vorm van een eigen bakje met een drempel en een afvoer via een $Q(h)$ -relatie. Hierdoor is het mogelijk om berging in het oppervlaktewater en gestremde afvoer als gevolg van een drempel en een stromingsweerstand te simuleren, waardoor het model SWAP meer geschikt wordt voor toepassing in natuurgebieden of het doorrekenen van de historische situatie. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de aanpassingen in het model ook tot gevolg hebben dat er

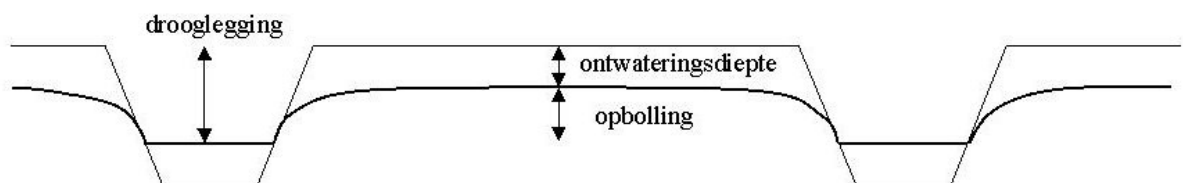
meer invoerparameters nodig zijn die zonder aanvullend onderzoek maar tot op zekere hoogte goed kunnen worden geschat.

Oppervlakteafvoer

Oppervlakteafvoer is de afvoer die optreedt over het grondoppervlak. Deze afvoer kan plaatsvinden doordat de grondwaterstand boven maaiveld uitkomt of door een overschrijding van de infiltratiecapaciteit van de bodem. Als dit gebeurt treedt er in werkelijkheid plasvorming aan het maaiveld op. In het model wordt dit benaderd door een zogenaamde ponding laag te introduceren (Van Dam *et al.*, 1997). Indien ponding optreedt door een geringe infiltratiecapaciteit of door snel stijgende grondwaterstanden dan wordt deze ponding laag opgevuld. De oppervlakteafvoer treedt pas op nadat de maximale dikte van de pondinglaag wordt overschreden. De snelheid waarmee de oppervlakteafvoer naar het oppervlaktewaterstelsel wordt afgevoerd is afhankelijk van de laagdikte van de pondinglaag. Bij grotere laagdikten zal het areaal dat onder water staat groter zijn. In dit geval kan de afstroming gemakkelijk plaatsvinden. De snelheid van de afstroming kan worden geregeld door de weerstand van de oppervlakteafvoer (γ_{sil}). Voor de maximale dikte van de ponding laag is een waarde van 0,5 cm aangehouden. Voor de weerstand bij deze ponding laag is een waarde van 1,0 dagen gehanteerd.

Ontwateringsbasis

Naast de slootafstand en de drainageweerstand zijn gegevens over de ontwateringsbasis en de drooglegging nodig voor de SWAP simulaties.



Figuur 3.4 Drooglegging, opbolling en ontwateringsdiepte (Commissie voor Hydrologisch Onderzoek, 1986)

In figuur 3.4 is weergegeven wat wordt verstaan onder drooglegging en ontwateringsdiepte. De ontwaterings(drainage)basis is gedefinieerd als de grondwaterstand die bereikt wordt na een droge periode en dan bij benadering overeenkomt met:

- de waterstand in de ontwateringsmiddelen,
- de hoogteligging van de drainbuizen,
- de bodem van de waterlopen op het moment van droogvallen.

De diepte van de waterlopen zal afhankelijk zijn van het bodemtype en de Gt. Op basis van meetgegevens is een kennistabel voor de ontwateringsbasis gegenereerd (tabel 3.1). Deze tabel is gebruikt voor de invoer van SWAP. De ontwateringsbasis voor het primaire ontwateringssysteem is een zeer grove schatting. Bij de modelberekeningen is het streefpeil voor de verschillende systemen veel belangrijker. De diepte van de ontwateringsbasis is zodanig gekozen dat het streefpeil voor alle

Gt's hoger ligt dan de ontwateringsbasis voor het primaire ontwateringssysteem (Van der Gaast et al., 2006).

Tabel 3.1 Ontwateringsbasis per bodemfysische eenheid (Van der Gaast et al., 2006).

Bodemtype	Metingen (cm - mv)		Ontwateringsbasis (cm - mv)	
	Greppel	Enkele sloot	Afwatering	Ontwatering
1 Veengronden met veraarde bovengrond	92	109	210	90
2 Veengronden met veraarde bovengrond op zand	91	114	210	90
3 Veengronden met kleidek	118	107	210	100
4 Veengronden met kleidek op zand	99	108	210	100
5 Veengronden met zanddek op zand	105	123	210	100
6 Veengronden met moerige gronden op ongerijpte klei	95	79	210	95
7 Stuifzand-gronden	87	103	210	85
8 Podzolgrond in leemarm, fijn zand	86	108	210	85
9 Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand	87	115	210	85
10 Podzolgrond in zwak lemig, fijn zand op grof zand	83	109	210	85
11 Podzolgrond in sterk lemig, fijn zand op keileem of leem	91	118	210	90
12 Enkeerdgrond in zwak lemig, fijn zand	87	117	210	85
13 Beekeerd-grond in sterk lemig, fijn zand	84	110	210	85
14 Podzolgrond in grof zand	82	104	210	85
15 Homogene zavelgronden	91	140	210	90
16 Homogene, lichte kleigronden	102	128	210	105
17 Kleigrond, met zware tussenlaag of ondergrond	109	141	210	110
18 Kleigronden op veen	100	122	210	100
19 Klei op zandgronden	91	114	210	90
20 Klei op grof zand	78	112	210	80
21 Leemgronden	78	107	210	80

Peilbeheer

De Gt wordt grofweg bepaald door het neerslagoverschot, de drainageweerstand, de kwel/wegzijging en de oppervlaktewaterpeilen. Het niveau van het oppervlaktewaterpeil wordt gemodelleerd in de vorm van een streefpeil. Het gehanteerde streefpeil in een gebied is dus in hoge mate bepalend voor de Gt. De drainageweerstand, het neerslagoverschot en de kwel/wegzijging bepalen de fluctuaties van de grondwaterstand rond het niveau van het streefpeil. Voor het bepalen van de te hanteren streefpeilen voor een landbouwkundige ontwateringssituatie is een kennistabel opgesteld (tabel 3.2) (Van der Gaast et al., 2006). Voor het streefpeil is er van uitgegaan dat deze een sterke relatie heeft met de Gt. Bij een gering verschil tussen de GHG en de GLG is het zomer- en winterpeil gelijk. Over het algemeen is het winterpeil 20 tot 30 centimeter lager dan het zomerpeil.

Tabel 3.2 Gebanteerde streefpeilen voor de gekalibreerde Gt's (cm – mv) (Van der Gaast et al., 2006).

Gt	Ontwateringssysteem	Afwateringssysteem	
	Ontwateringspeil	Winterpeil	Zomerpeil
IIa GHG <25GLG 50-80	50	80	80
IIIb GHG 25-40 GLG 80-120	65	130	100
IV GHG > 40 GLG 80-120	75	140	115
VI GHG 40-80 GLG > 120	80	145	140
VII GHG 80-140 GLG > 120	90	180	170

Q(h)-relatie

De Q(h)-relatie voor het oppervlaktewater geeft de relatie aan tussen de oppervlaktewaterstand en de afvoer. Voor de Q(h)-relatie is uitgegaan van een relatie die ongeveer overeenkomt met de ontwerpnormen conform het Cultuurtechnisch Vademecum. Indien uitgegaan wordt van een gebied met een maatgevende afvoer van 1 l/s/ha, hetgeen overeenkomt met 8.64 mm/d is de opstuwing ongeveer 0.4 meter, dit is een situatie die éénmaal per jaar voorkomt. In een extreme situatie van twee maal de maatgevende afvoer, hetgeen overeenkomt met een herhalingstijd van 1 maal per 100 jaar is de opstuwing ongeveer 0.65 meter.

In Van der Gaast et al. (2006) is een aanpassing in het model beschreven, waarbij ieder oppervlaktewatersysteem wordt gemodelleerd in de vorm van een bakje met een aparte Q(h)-relatie. Voor het ontwateringssysteem is uitgegaan van een Q(h)-relatie met meer opstuwing. Deze Q(h)-relatie komt ongeveer overeen met een norm waarbij het oppervlaktewater tot in maaiveld stijgt met een herhalingstijd van 1 maal in de 10 jaar, hetgeen overeenkomt met 1,5 maal de maatgevende afvoer. Het maaiveldsysteem heeft een zeer vlak verlopende Q(h)-relatie waardoor bijna geen opstuwing plaatsvindt. In de praktijk kunnen plassen op het maaiveld immers over relatief grote lengten afvoeren en loopt het peil in de plassen maar enkele centimeters op.

3.3 Kalibratie

Bij het toepassen van SWAP wordt voor de onderrand veelal gebruik gemaakt van kwel/wegzijging. Hierbij is het mogelijk de kwel/wegzijging in het model in de vorm van een periodieke functie met een amplitude te simuleren. De kwel/wegzijging ligt hiermee vast terwijl maaiveldverschillen op lokale schaal lokale verschillen in kwel/wegzijging veroorzaken. Een andere mogelijkheid is het gebruik van een onderrand in de vorm van een diepe sinus-vormige potentiaal en een c-waarde. Hierdoor kan de kwel/wegzijging afhankelijk gemaakt worden van de freatische grondwaterstand, waardoor de effecten van maaiveldverschillen in beeld kunnen worden gebracht. Om het gebruik van de onderrand in deze vorm te kunnen parametriseren is er een kalibratieprocedure opgesteld (Van der Gaast et al., 2006).

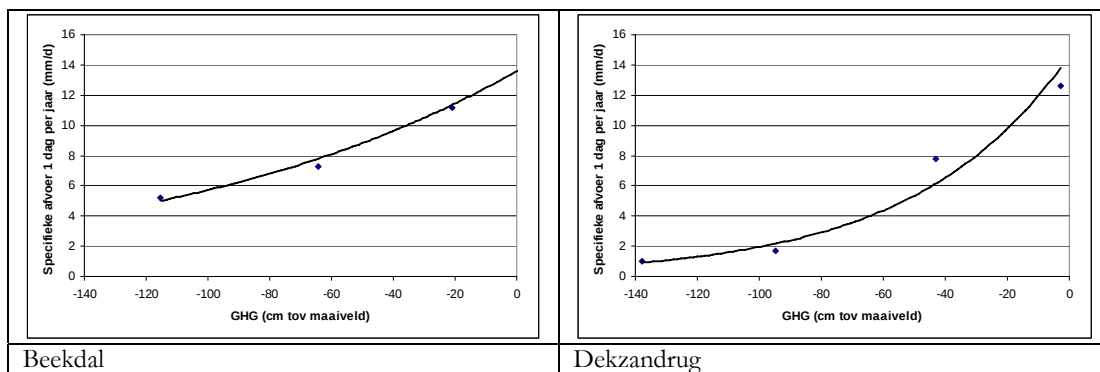
De kalibratie van de onderrand heeft plaatsgevonden met het programma PEST. Voordat de kalibratie kan plaatsvinden wordt het model SWAP voor de

onderscheiden schematisatie eenheden opgezet. Bij de kalibratieprocedure vindt er een modelberekening plaats voor een schematisatieeenheid, geparametriseerd voor de huidige situatie, waarna de berekende grondwaterstand wordt vergeleken met de geactualiseerde Gt, dmv de GHG, GVG en GLG. Indien de berekende grondwaterstanden te veel afwijken van de gemeten waarden wordt de onderrandvoorwaarde van het model aangepast en vindt er opnieuw een berekening plaats. Het herhalen en aanpassen van de onderrandvoorwaarde gaat door totdat de berekende waarden voldoen aan het gestelde criterium.

Uiteindelijk is het model SWAP per schematisatieeenheid voor 4 Gt's gekalibreerd. In het onderzoek werd het grondwaterstandsverloop gezien als resultante van de op die locatie geldende hydrologische, bodemfysische en meteorologische omstandigheden. De meeste factoren die hierbij een rol spelen, zoals bijvoorbeeld neerslag, verdamping, drainageweerstanden en bodembergings zijn direct of indirect te beschouwen als karteerbare kenmerken, in tegenstelling tot de kwel. De kalibratieresultaten geven aan dat de Gt-parameters een goede samenvatting zijn van het grondwaterstandsverloop.

3.4 Metamodellen

Voor het omzetten van parameters afgeleid uit rekenresultaten met SWAP naar een vlakdekkende kaart is gebruik gemaakt van metamodellen. Een meta-model is een model van een model, waarbij in de meeste gevallen modeluitkomsten van een ingewikkeld model worden gereproduceerd door een veel eenvoudiger model. Aangezien er gebruik wordt gemaakt van metamodellen is het van belang de gehele parameter ruimte door te rekenen, teneinde extrapolatie bij het gebruik van metamodellen te minimaliseren. Hierdoor zijn er ook combinaties van schematisatie eenheid en Gt doorgerkend die in werkelijkheid niet of nauwelijks voorkomen. Enkele duidelijke voorbeelden hiervan zijn een Gt IIa op een stuifzandgrond of een Gt VII in een beekdal. Samenvattend kan gesteld worden dat er feitelijk niet voor werkelijke locaties wordt gerekend, maar de berekeningen plaatsvinden voor combinaties die de parameter ruimte zo volledig mogelijk beschrijven. Hierdoor is het mogelijk om metamodellen af te leiden die in combinatie met vlakdekkend beschikbare hulp informatie kunnen worden gebruikt voor het vlakdekkend invullen van hydrologische variabelen. Er is voor gekozen om gebruik te maken van één meta-model per schematisatieeenheid. Hierdoor is het mogelijk gebruik te maken van metamodellen die eenvoudig zijn van opzet, waardoor de meta-model relaties herleidbaar en herkenbaar zijn. Door de eenvoud van de metamodellen blijft het voor een hydroloog mogelijk de uitkomsten te beredeneren en kunnen deze in sommige gevallen het hydrologisch inzicht vergroten. In figuur 3.5 zijn de metamodellen voor twee schematisatieeenheden weergegeven. De metamodellen beschrijven de relatie tussen de GHG, welke vlakdekkend beschikbaar is en de specifieke afvoer met een herhalingstijd van 1 dag per jaar. Uit de figuren komt naar voren dat zoals verwacht mag worden de afvoer in een beekdalgrond groter is bij dezelfde GHG dan de afvoer in een dekzandrug.



Figuur 3.5 Twee voorbeelden van metamodellen die de relatie weergeven tussen de specifieke afvoer ($Q1$) en de GHG

3.5 Interpolatie

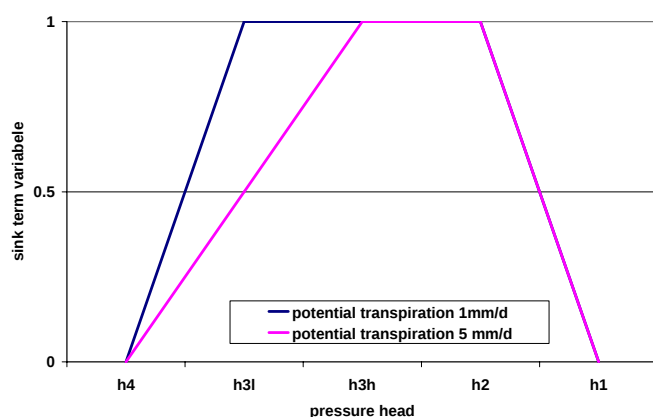
Nadat er een metamodel voor iedere schematisatieeenheid is bepaald, kunnen deze in combinatie met de in hoge resolutie (25 x 25 meter) beschikbare verklarende variabele worden gebruikt voor het genereren van kaartmateriaal. In figuur 3.5 zijn de specifieke afvoer met een herhalingsstijd van 1 maal per jaar weergegeven voor een schematisatieeenheid gelegen in een beekdal en op een dekzandrug. De afvoergegevens zijn voor verschillende herhalingsstijden voor een aantal kleine stroomgebieden vergeleken met meetgegevens. Uit deze vergelijking is naar voren gekomen dat de afvoeren goed overeenkomen voor zowel gebieden met een hoge specifieke afvoer als gebieden met een lage specifieke afvoer (Van der Gaast et al., 2006). Voor de kwelkaart is gekeken naar de plausibiliteit. Hieruit is naar voren gekomen dat de gegevens voor het zandgebied zeer plausibel zijn. In hoofdstuk 5 worden de resultaten voor het stroomgebied van de Baaksche beek zoals berekend voor de huidige situatie vergeleken met de resultaten berekend voor de historische situatie.

4 Modelaanpassingen voor de historische situatie

Om de historische situatie door te kunnen rekenen zijn een aantal modelparameters aangepast. Het merendeel van deze parameters heeft betrekking op het ontwateringssysteem. Daarnaast zijn de onderrand van het model, een aantal beheerparameters en gewasparameters voor verdamping aangepast. Bij de reconstructie van de historische hydrologie is geen systematische modelcalibratie uitgevoerd. Via enkele handmatig uitgevoerde gevoeligheidsanalyses is op basis van expert judgement de parametrisatie zodanig aangepast dat de modelresultaten wat betreft de afvoeren, kwel/wegzijging en Gt plausibel waren.

Gewasparameters

Om de verdamping goed te kunnen modelleren zijn de modelparameters die de wateropname limiteren aangepast. In de historische situatie komen immers nattere situaties voor. Dit heeft tot gevolg dat bij de huidige parametrisering de verdamping sterk wordt gereduceerd. In natte gebieden zal in werkelijkheid het areaal open water echter toenemen waardoor de verdamping eveneens toe kan nemen. Om dit aspect te kunnen modelleren zijn de parameters die de wateropname limiteren aangepast naar de waarden voor natuurlijk gras (tabel 4.1). De aanpassingen hebben tot gevolg dat de limitering pas, afhankelijk van de bewortelingsdiepte, rond een grondwaterstand in maaiveld gaat optreden. In de berekeningen komt het er op neer dat er nagenoeg geen groeivertraging is en de actuele verdamping ongeveer overeenkomt met de potentiële verdamping. Dergelijke hoge verdampingen zijn terecht aangezien er in natte natuurgebieden vrij veel open water voorkomt dat een hoge verdamping heeft. Daarnaast geven natuurlijke gewassen hoge verdampingswaarden, omdat deze zijn aangepast aan natte situaties, zie tabel 2.3. Open waterverdamping voor een gedeelte van het oppervlak kan echter niet in SWAP worden meegenomen. Om het toch mee te kunnen nemen is in eerste instantie van de parameters in tabel 4.1 gebruik gemaakt. Op basis van literatuuronderzoek kunnen deze waarden en de gewasfactoren eventueel worden aangepast. De onderstaande functie is voor alle Gt's gebruikt wat tot gevolg heeft dat de natte Gt's ook onder natte omstandigheden kunnen verdampen waardoor de grondwaterstand uit kan zakken. Voor de droge Gt's is er weinig veranderd, aangezien de grondwaterstand zich in het droge traject van de verdampingscurve bevindt. Eventueel kan voor de drogere Gt's gebruik gemaakt worden van bosparameters. Voor de gemiddelde Gt's moet wellicht gebruik worden gemaakt van een functie met verdampingsreductie onder natte omstandigheden. Wellicht is het het beste om gebruik te maken van een dominante grondgebruiksvorm per Gt in de historische situatie met een bijbehorende hierop toegespitste functie. In figuur 4.1 en tabel 4.1 zijn de in deze studie gebruikte verdampingsparameters weergegeven.



Figuur 4.1 Dimensieloze sink term variabele als functie van de absolute waarde van de bodemwater matrixpotentialiaal (Feddes et al. 1994). Water opname boven $|h1|$ (zuurstoftekort) en onder $|h4|$ (vervelkingspunt) is op 0 gezet. Tussen $|h2|$ en $|h3|$ (reductiepunt) is de wateropnamen maximaal. De waarde van $|h3|$ varieert met de grootte van potentiële verdamping

Tabel 4.1 Parametrisering van de verdampingscurve

Water limitation params	grasland beregend en onberegend	natuurlijk gras en natte heide
h1	0	30
h2	-1	25
h3h	-200	-200
h3l	-800	-800
h4	-8000	-8000

Wateraanvoer

Wateraanvoer is indien aanwezig uitgeschakeld voor de modellering van de historische situatie.

Buisdrainage

Buisdrainage is indien aanwezig uitgeschakeld.

Berekening

Berekening is indien aanwezig uitgeschakeld.

Streefpeilen

Het peilbeheer in de vorm van streefpeilen met een verschil in zomer en winterpeil is voor de historische situatie niet realistisch. Hierom is bij de berekeningen voor de historische situatie gebruik gemaakt van één streefpeil. In tabel 4.2 zijn de gehanteerde streefpeilen weergegeven. Voor de historische situatie kunnen de streefpeilen gezien worden als een soort drainagebasis. Deze waarde ligt in de orde van 10 cm boven de slootbodem, aangezien er benedenstrooms vaak wel een natuurlijke drempel is die in de praktijk zorgt voor het voorkomen van stilstaand water. Hierom is de drainagebasis veelal iets hoger dan de slootbodem. Daarnaast kunnen locale onregelmatigheden in de helling van de slootbodem (richels) er de oorzaak van zijn dat de drainagebasis iets hoger ligt dan de slootbodem.

Tabel 4.2 Gebanteerde streefpeilen voor de historische situatie

Gt	Afwateringssysteem	Ontwateringssysteem	Maaiveld
IIa	-50	-40	-5
IIIb	-75	-50	-5
VIo	-110	-60	-5
VIId	-150	-60	-5

Maaiveldsberging

De berging op het maaiveld wordt in het model via twee manieren gemodelleerd. Bij een grondwaterstand boven een niveau van 15 cm onder maaiveld komt een deel van het water in een maaiveldgreppelsysteem terecht. Indien de waterstand in dit greppelsysteem stijgt tot 5 cm onder maaiveld vindt er via de opgegeven Q(h) relatie afvoer plaats. Indien de grondwaterstand verder stijgt tot het gemiddelde maaiveldniveau vindt er in het model ponding plaats. Zowel de Q(h) relatie van het maaiveldsdrainagesysteem als de maximale pondinglaag zijn in het model aangepast om de maaiveldsberging voor de historische situatie te kunnen modelleren. Voor de ponding laag is een waarde van 3 cm aangehouden.

Kwel/wegzijging

In de historische situatie is de grondwaterstand veelal hoger dan de grondwaterstand in de huidige situatie. Aangezien er bij de modellering gebruik is gemaakt van een onderrand van het model in de vorm van een diepe stijghoogte en een systeemweerstand heeft een nattere situatie in een kwelgebied verlaging van de kwel tot gevolg. De nattere freatische grondwaterstand geeft immers meer tegendruk tegen de kwel. In werkelijkheid zijn de kwelwaarden voor de historische situatie echter groter. Daarom is de onderrand van het model aangepast. Van de systeemweerstand mag verwacht worden dat deze niet veranderd. De diepe stijghoogte kan echter zijn veranderd doordat ook de grondwaterstand in het wegzijgingsgebied is gestegen. Recent onderzoek heeft aangetoond dat er gemiddeld over Nederland ten opzichte van 1850 een daling van de GHG van 30 cm en voor de GLG van 45 cm heeft plaatsgevonden (Van der Gaast et al., 2007).

Voor de berekeningen is de diepe stijghoogte aangepast met een verhoging van maximaal 40 cm. Deze verhoging van de diepe stijghoogte is echter afhankelijk van de Gt. In een natte situatie (Gt IIa) is de verhoging van de diepe stijghoogte het grootst verondersteld. Door de aanpassingen in de diepe stijghoogte wordt de kwel in het natte gebied verhoogd en de verhoging van de wegzijging in het droge gebied enigszins verminderd. Nader onderzoek naar de parametrisering van verandering van de diepe stijghoogte is wenselijk. Bij de aanpassing van de diepe stijghoogte zijn de volgende waarden per Gt gehanteerd:

- o IIa +40
- o IIIb +30
- o VIo +20
- o VIId +10

Drainageweerstand

Voor het toekennen van de drainageweerstand in de historische situatie is de gemiddelde slootafstand voor de historische situatie geïnventariseerd (paragraaf 2.3.2). De geïnventariseerde slootafstand is vermenigvuldigd met een factor die in

een eerdere studie is gekalibreerd (Van der Gaast et al., 2006). In tabel 4.3 zijn de geïnventariseerde slootafstanden en de hiervan afgeleide drainageweerstanden per schematisatieeenheid weergegeven. De dichtheden zijn ongeveer een factor 4 lager dan de gemiddelde slootafstand in de huidige situatie.

Tabel 4.3 Geïnventariseerde historische gemiddelde slootafstanden met bijbehorende berekende drainageweerstanden per schematisatieeenheid

Schematisatie -eenheid	Factor	Slootafstand (m)		Drainageweerstand (d)	
		Ontwat	Afwat	Ontwat	Afwat
2901013	1.7	196	1038	333	1765
2901012	1.5	828	2573	1242	3860
2901009	1.7	517	2609	879	4435
2900319	1.5	196	890	294	1335
2900312	1.5	731	2717	1097	4076
2900313	1.7	239	993	406	1688
2900309	1.7	464	2669	789	4537

Q(h)-relaties

Om modellering van situaties met opstuwing in de afzonderlijke watersystemen mogelijk te maken is het SWAP-model zodanig aangepast dat elk oppervlaktewatersysteem wordt gemodelleerd in de vorm van een bakje met een eigen afvoerdrempel en $Q(h)$ -relatie (Van der Gaast et al., 2006). Deze aanpassing heeft tot gevolg dat berging in het oppervlaktewatersysteem niet alleen gestuurd wordt door het oppervlaktewaterpeil in het hoofdsysteem, maar voor ieder systeem apart kan worden gemodelleerd. Hierdoor is in het model langdurige berging op het maaiveld mogelijk, in het maaiveldgreppelsysteem, zonder dat het peil in het oppervlaktewatersysteem tot in maaiveld komt, hetgeen beter aansluit bij de praktijk. De mogelijkheid om het streefpeil per oppervlaktewatersysteem te reguleren heeft eveneens tot gevolg dat de afvoerverdeling naar de verschillende oppervlaktewatersystemen beter kan worden gemodelleerd. Aangezien het oppervlaktewaterpeil in de historische situatie veel meer fluctueerde en deze naast maaiveldsberging een belangrijke rol speelt bij het afvoerproces is het zonder deze aanpassing niet mogelijk om met SWAP de historische situatie door te rekenen. Voor de modellering van het historische systeem zijn de $Q(h)$ -relaties aangepast. Het SWAP-model kent weliswaar een koppeling met het oppervlaktewater, maar bij de berekeningen wordt er van uitgegaan dat het gehele gemodelleerde gebied betrekking heeft op de gemodelleerde SWAP-kolom. In werkelijkheid ontvangt het oppervlaktewatersysteem echter water van een groter gebied met een verscheidenheid aan grondwater situaties. Indien bijvoorbeeld een Gt IIa wordt gemodelleerd en er bij de modellering gebruik wordt gemaakt van een realistische $Q(h)$ -relatie zal het oppervlaktewatersysteem te veel opstuwing veroorzaken. Er wordt bij de modellering immers impliciet vanuit gegaan dat het gehele gemodelleerde gebied uit een Gt IIa bestaat, waardoor de gemodelleerde afvoer op het oppervlaktewatersysteem zeer hoog is. In werkelijkheid bestaat een beekstelsel uit een stroomgebied met een grote verscheidenheid aan Gt's, waarbij een gedeelte van het achterland bestaat uit droge dekzandruggen. Dit heeft tot gevolg dat bij de modellering van een Gt IIa het oppervlaktewater in werkelijkheid minder water te verwerken heeft, waardoor het oppervlaktewaterpeil minder sterk oploopt. Bij de

modellering van bijvoorbeeld een Gt VIId geldt het omgekeerde en heeft de impliciete modelmatige veronderstelling dat het gehele gebied uit Gt VIId bestaat een te lage fluctuatie van het oppervlaktewaterpeil tot gevolg. Om deze problemen te ondervangen zijn de gebruikte $Q(h)$ -relaties zodanig aangepast dat er rekening is gehouden met een Gt verdeling binnen het gemodelleerde stroomgebied. De aanpassingen van de $Q(h)$ -relaties hebben op basis van expert judgement plaatsgevonden, waarbij de maatgevende situatie (1 á 2 dagen per jaar) een belangrijke rol heeft gespeeld. In de historische situatie komt de maatgevende situatie ongeveer overeen met de situatie waarbij het oppervlaktewatersysteem tot aan de rand toe gevuld is met water.

De $Q(h)$ -relatie heeft de volgende vorm:

$$Q = ah^b$$

Hierin is: Q = afvoer in mm/d
 h = open waterstand in m-mv
 a, b = coëfficiënten.

In tabel 4.4 zijn de gebruikte coëfficiënten van de $Q(h)$ -relatie weergegeven.

Tabel 4.4 Coëfficiënten $Q(h)$ -relaties voor het oppervlaktewatersysteem zijn aangepast

Gt	Afwateringssysteem		Ontwateringssysteem		Maaiveld
	a	b	a	b	
IIa	3.0	1.5	3.0	1.5	onveranderd
IIIb	1.5	1.5	1.5	1.5	onveranderd
VIo	0.5	1.5	0.5	1.5	onveranderd
VIId	0.25	1.5	0.25	1.5	onveranderd

5 Modeluitkomsten

Met het model SWAP zijn zowel berekeningen uitgevoerd voor de actuele als voor de historische situatie. In dit hoofdstuk worden beide resultaten vergeleken en indien mogelijk getoetst op plausibiliteit. Allereerst wordt op het niveau van een schematisatieeenheid de resultaten vergeleken in de vorm van waterbalansen, vervolgens wordt de gebiedsbalans vergeleken en tot slot worden enkele regionale kaarten gegeven en vergeleken.

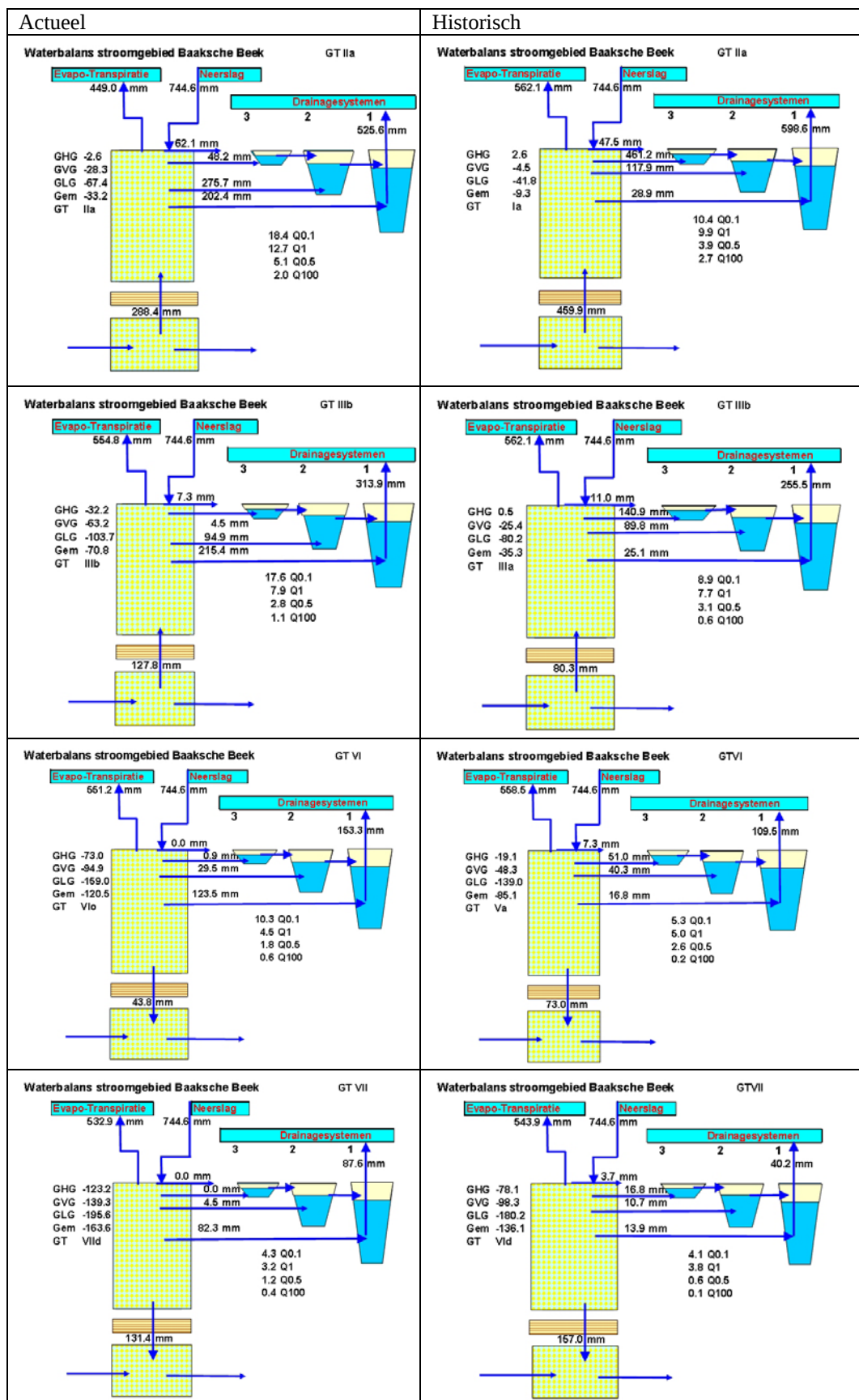
5.1 Schematisatieeenheid

Met het model SWAP zijn per schematisatieeenheid voor 4 Gt's (IIa, IIIb, VI en VII) modellen gekalibreerd voor de actuele situatie. Vervolgens zijn de modellen op basis van de historische gegevens geparametriseerd en doorgerekend voor de historische situatie. In Figuur 5.1 staan de gemiddelde jaarbalansen berekend met de meteo-gegevens uit de periode 1971-2000 weergegeven, het betreft schematisatieeenheid 2900309. Dit is de eenheid die een relatief groot deel (44,7 %) van het stroomgebied van de Baaksche beek representeert.

In tabel 5.1 zijn de verschillen van het grondwaterstandsverloop in de vorm van GxG verschillen samengevat.

Tabel 5.1 Veranderingen in de grondwaterstand tussen de historische en de actuele situatie voor schematisatieeenheid 2900309

Actueel	Historisch	GHG	GVG	GLG	Gem
IIa	I	5	24	26	24
IIIb	IIIa	33	38	23	35
VI	V	44	46	20	35
VII	VI	45	41	15	27



Figuur 5.1 Waterbalansen voor 4 verschillende Gt's voor schematisatieeenheid 2900309

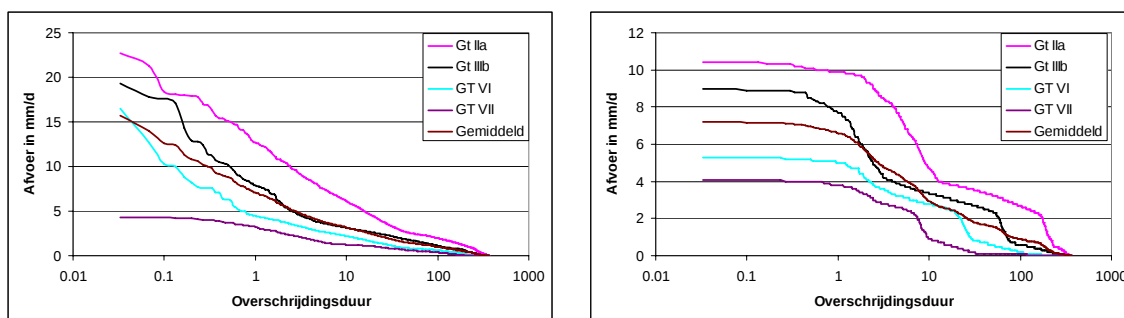
Uit tabel 5.1 blijkt dat de berekende historische Gt's natter zijn dan de berekende actuele Gt's. Veelal is het verschil één grondwatertrap. De verdroging als gevolg van de verbetering van de ont- en afwatering is het grootst geweest voor de huidige Gt IIIb en VI, dit zijn tevens de gebieden waar als gevolg van ruilverkavelingswerken en beekverbetering de ingrepen het grootst zijn geweest. De verlaging van de GLG is het grootst op de natte Gt's en het kleinst op de droge Gt's. Voor de droge Gt's is de GLG verlaging wellicht onderschat aangezien drinkwaterwinningen niet expliciet in het model zijn opgenomen en veranderingen in verdamping als gevolg van de toename van de landbouwproductie niet zijn meegenomen. Ook het grondgebruik is in de huidige berekeningen niet ruimtelijk gedifferentieerd. Er is alleen gerekend voor gras. Dit heeft tot gevolg dat de gebruikte bewortelingsdiepte relatief gering is. Vooral voor de droge gebieden heeft dit tot gevolg dat de grondwaterstand in werkelijkheid dieper uitzakt doordat hier veelal bos voorkomt dat veel dieper wortelt dan gras en langer en meer blijft verdampen. Voor de GHG zijn juist de veranderingen voor de drogere Gt's het grootst. Het geringe effect op de GHG bij Gt IIa wordt veroorzaakt doordat de grondwaterstand in beide situatie tot nabij maaiveld stijgt, en door de grotere berging boven maaiveld nauwelijks verder stijgt. De berekende verdroging voor de GHG is groter en voor de GLG kleiner dan in een eerdere studie is bepaald (Van der Gaast et al., 2007). De waarden per Gt geven echter niet het gebiedsgemiddelde weer, maar hebben betrekking op één schematisatieeenheid.

Voor de afvoer die eenmaal per jaar (maatgevend) en eenmaal per 10 jaar optreedt zijn de gegevens in tabel 5.2 samengevat.

Tabel 5.2 Afvoer die eenmaal per jaar (Q1) en eenmaal per 10 jaar (Q0,1) optreedt in de historische en de actuele situatie voor schematisatieeenheid 2900309

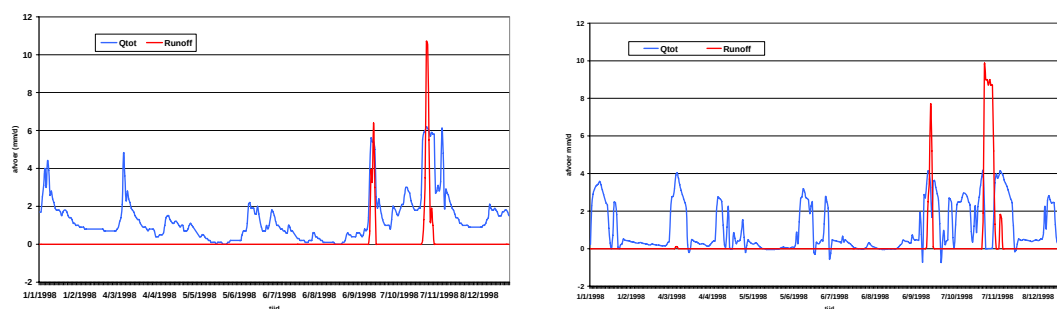
	Q0,1		Q1		Q0,1/Q1	
	Actueel	Historisch	Actueel	Historisch	Actueel	Historisch
IIa	18,4	10,4	12,7	9,9	1,45	1,05
IIIb	17,6	8,9	7,9	7,7	2,23	1,16
VI	10,3	5,3	4,5	5,0	2,29	1,06
VII	4,3	4,1	3,2	3,8	1,34	1,08

Wat opvalt in tabel 5.2 is het geringe verschil tussen Q1 en Q0,1 voor de historische situatie. Bon (1971) geeft voor de onverbeterde situatie omstreeks 1965 een verhouding van $Q0,1/Q1=1,2$, tegen $Q0,1/Q1=1,5$ volgens het Cultuurtechnisch Vademecum (1988). In figuur 5.2 is de berekende afvoer per Gt uitgezet tegen de overschrijdingsduur voor zowel de historische als de actuele situatie. Naast hogere afvoeren bij kortere overschrijdingsduren in de actuele situatie, wordt in de historische situatie een duidelijke knik gevonden in de overschrijdingsduurlijn bij een duur van ca 1 dag. Voor Gt IIa ligt de knik bij een grotere overschrijdingsduur dan 1 dag per jaar en voor Gt VII voor een kortere dan 1 dag per jaar.



Figuur 5.2 Overschrijdingsduur van de afvoer voor verschillende Gt's voor schematisatieeenheid 2900903 voor de actuele situatie (links) en de historische situatie (rechts)

Het vlakkere verloop van de overschrijdingsduurlijn kan worden verklaard doordat de grondwaterstand stijgt tot in maaiveld en maaiveldsberging aanspreekt. Doordat dit water niet gemakkelijk over maaiveld naar de ont/-afwateringsmiddelen kan stromen (beperkte overgrondse afvoer door beperkte hydrologische ontsluiting) blijft het water op het maaiveld staan. Ook de doordegrondse afvoer naar het oppervlaktewater neemt nauwelijks toe omdat het drukverschil tussen het grondwaterpeil en het oppervlaktewater nauwelijks stijgt als gevolg van de grote maaiveldsberging, en door stijgende oppervlaktewaterpeilen (stremming). Deze situatie deed zich in het verleden jaarlijks voor, terwijl in de actuele situatie het ont/-afwateringsstelsel is gedimensioneerd op een afvoer die eenmaal per 100 jaar voorkomt, dit betekent dat de oppervlaktewaterstand praktisch nooit tot aan het maaiveld stijgt. Om het afvoergedrag in de historische situatie te kunnen vergelijken met de huidige is in figuur 5.3 voor beide situaties de afvoer en runoff weergegeven voor een Gt IIIb.



Figuur 5.3 Berekende afvoer in 1998 bij actuele inrichting (links) en bij historische inrichting (rechts)

In vergelijking met de huidige situatie duren de afvoerpieken langer maar waren deze minder extreem. Ook treedt er vaker en langduriger runoff op.

De resultaten mbt de kwel zijn voor schematisatieeenheid 2900309 samengevat in tabel 5.3.

Tabel 5.3 Kwel in mm/jaar in de historische en de actuele situatie voor schematisatieeenheid 2900309

Gt	Kwel	
	Actueel	Historisch
actueel		
IIa	288,4	459,9
IIIb	127,8	80,3
VI	-43,8	-73,0
VII	-131,4	-157,0

Uit de berekeningen blijkt dat de wegzijging voor Gt VI en Gt VII in de historische situatie groter is dan in de huidige situatie. Deze hogere wegzijging is het gevolg van een hogere grondwaterstand in de droge gebieden als gevolg van een hogere drainageweerstand met de bijbehorende toename van de opbolling. De kwel is in de historische situatie voor Gt IIa veel groter en voor Gt IIIb enigszins hoger dan in de huidige situatie (tabel 5.3). Deze hogere kwel is het gevolg van een toename van de stijghoogte in de nabijgelegen dekzandruggen.

Verder is te zien dat de verdamping in de historische situatie voor Gt IIa nauwelijks wordt geremd in tegenstelling tot de actuele situatie, dit komt doordat wordt verondersteld dat de natte gebieden zijn begroeid met natte natuur die qua groeiomstandigheden zijn afgestemd op deze natte omstandigheden, daarnaast kan, ingeval van inundatie, de verdamping groot zijn als gevolg van open waterverdamping. Open waterverdamping als gevolg van inundatie is momenteel niet met SWAP te modelleren.

In tabel 5.4 zijn de afzonderlijke drainagetermen weergegeven.

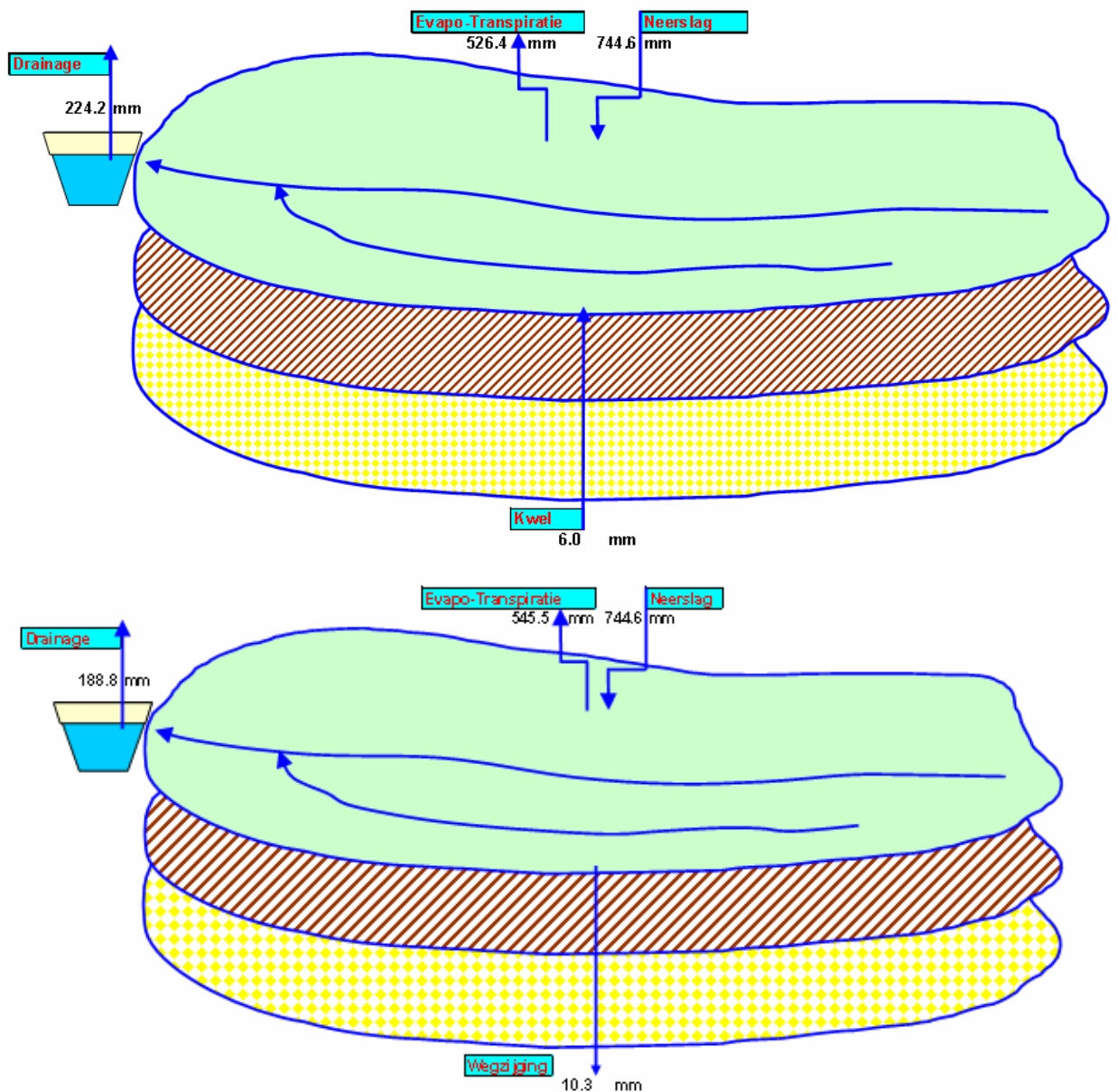
Tabel 5.4 Afvoer van de afzonderlijke ontwateringsmiddelen voor schematisatieeenheid 2900309

Gt	Runoff		Maaiveldsdrainage		Ontwatering		Afwatering	
	Actueel	Historisch	Actueel	Historisch	Actueel	Historisch	Actueel	Historisch
act.								
IIa	62,1	47,5	48,2	461,2	275,7	117,9	202,4	28,9
IIIb	7,3	11,0	4,5	140,9	94,9	89,8	215,4	25,1
VI	0,0	7,3	0,9	51,0	29,5	40,3	123,5	16,8
VII	0,0	3,7	0,0	16,8	4,5	10,7	82,3	13,9

Het grote verschil tussen de historische situatie en de actuele situatie is dat de afvoer in het verleden voornamelijk via de ondiepe systemen (overdegrondse afvoer) werd gedraineerd, terwijl in de huidige situatie vooral het afwaterings- en ontwateringssysteem (doordegrondse afvoer) voor de drainage zorg dragen. Buisdrainage kwam in het verleden niet voor en komt ook nu, met uitzondering van het tertiaire plateau, nauwelijks voor.

5.1.1 Waterbalans

Naast gegevens per schematisatieeenheid kan de beschikbare informatie gebiedsdekkend worden weergegeven. In figuur 5.4 is de gebiedsbalans weergegeven voor de actuele en de historische situatie.



Figuur 5.4 Gebiedsbalans voor het stroomgebied van de Baaksche beek actueel (boven) en historisch (onder)

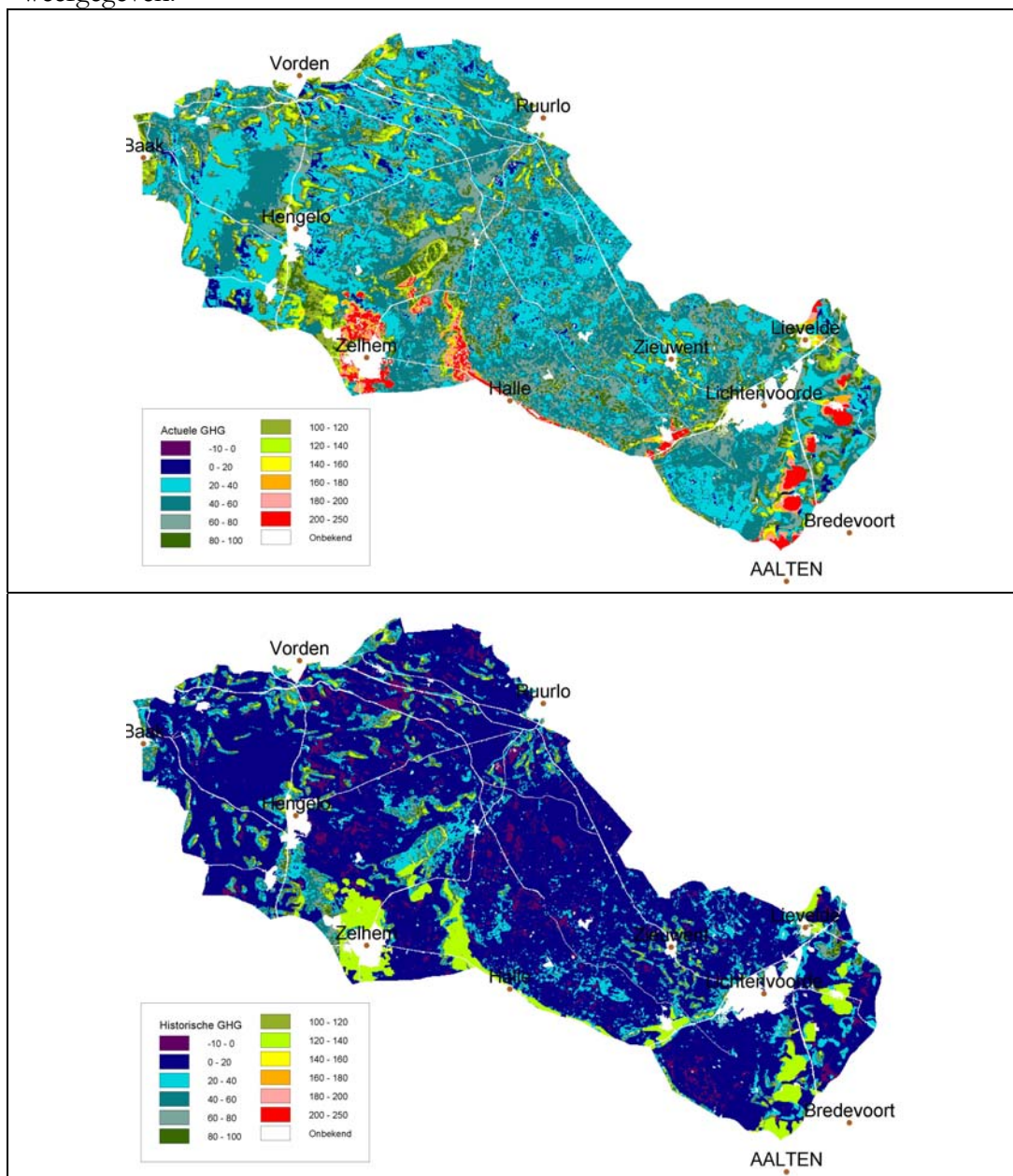
Uit figuur 5.4 blijkt dat het verschil in de gemiddelde termen gering is. De kwel en wegzijging heffen elkaar ongeveer op binnen het stroomgebied, hetgeen mag worden verwacht in Oost-Gelderland. De drainage is in de actuele situatie iets groter dan in de historische situatie, dit wordt verklaard door de verdamping die in de historische situatie minder werd gereduceerd, dan in de actuele situatie.

5.2 Regionaal

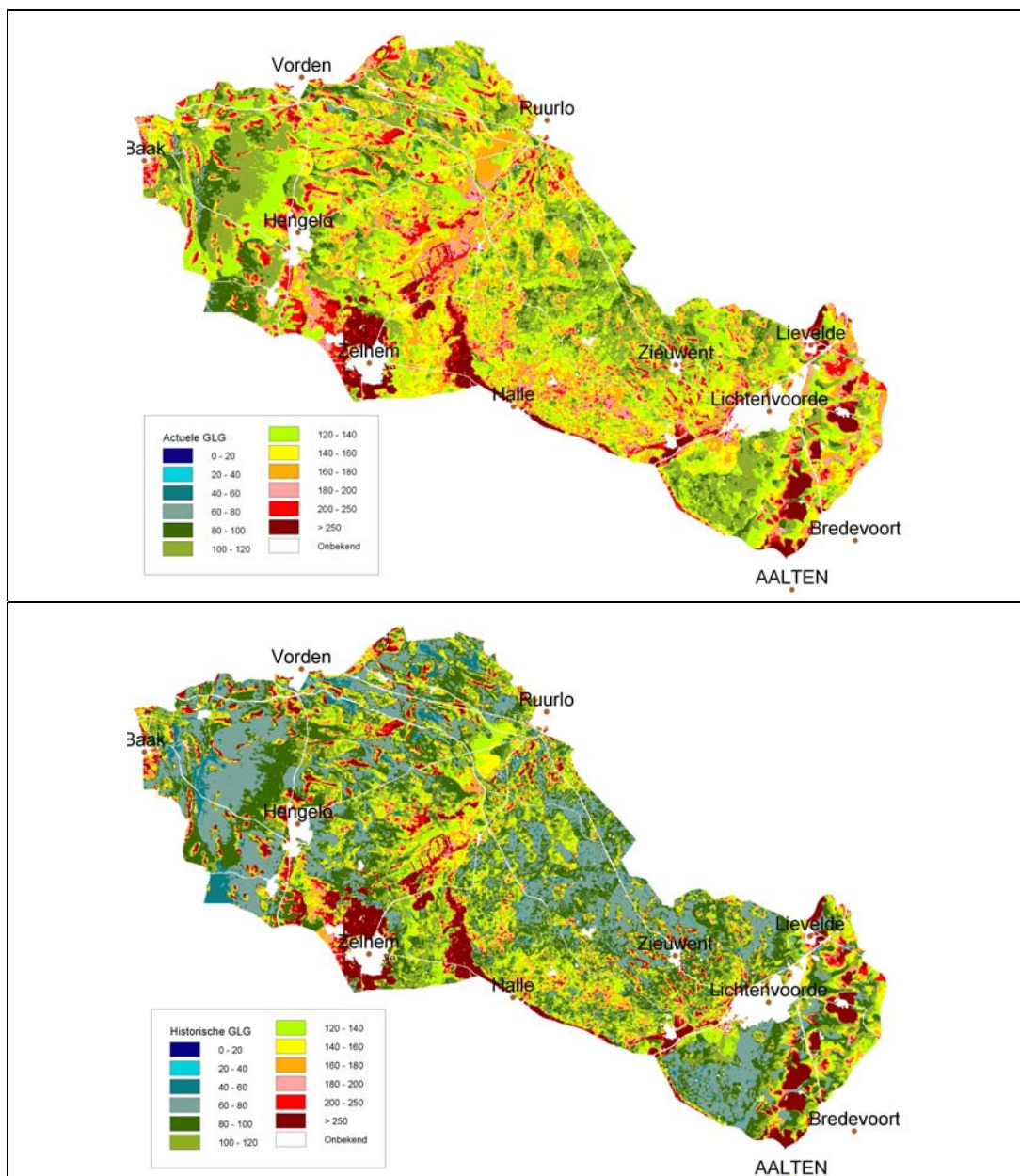
Met de methode beschreven in paragraaf 3.4 zijn de rekenresultaten omgezet in gebiedsdekkende kaarten. In de volgende paragrafen worden achtereenvolgens de Gt, de kwel en de afvoer vergeleken voor de actuele en de historische situatie.

5.2.1 Gt

In figuur 5.5 en 5.6 zijn de resultaten voor de GHG en de GLG ruimtelijk weergegeven.



Figuur 5.5 GHG actueel (boven) en historisch (onder)



Figuur 5.6 GLG actueel (boven) en historisch (onder)

In tabel 5.5 zijn de gebiedsgemiddelde waarden voor de GHG, GVG en de GLG weergegeven voor de actuele en de historische situatie.

Tabel 5.5 Gemiddelde GHG, GVG en GLG in cm-mv voor het stroomgebied van de Baaksche beek

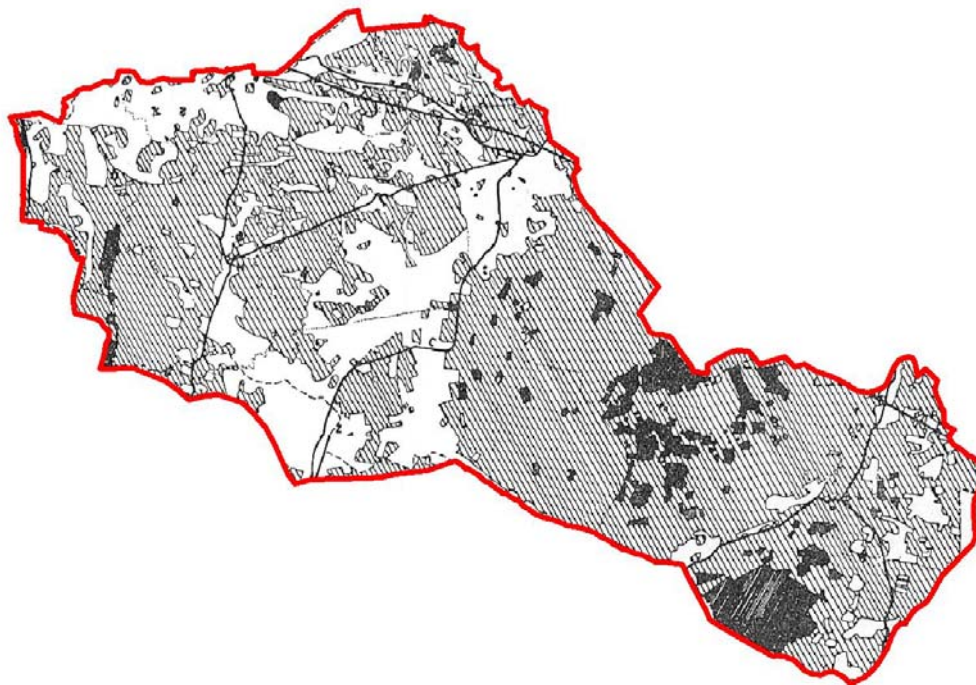
	GHG	GVG	GLG
Actueel	62	95	152
Historisch	44	77	133
Verdroging	18	18	19

De historische GHG is aanzienlijk natter berekend dan de actuele, dit is duidelijk aan het kleurenpatroon te zien. Gemiddeld is de berekende verdroging van de GHG 18 cm. Ook voor de GLG is het kleurenpatroon duidelijk anders, het gemiddelde verschil is 19 cm.

Als toets voor de plausibiliteit van de grondwaterstanden in de natte situatie in het verleden kan gebruik worden gemaakt van de volgende bronnen:

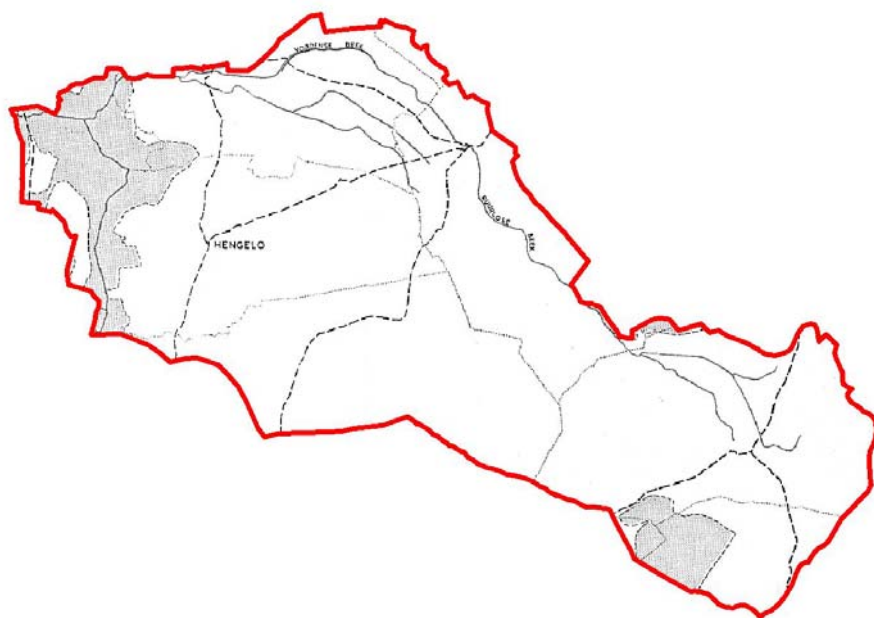
- Classificatie van gronden binnen het waterschap ter vaststelling van de waterschapslasten en overstromingskaarten,
- Overstromingskaarten (1925/1926, 1960/1965),
- Historische grondwaterkaart,
- COLN-kaarten,
- Freytag-Drabbe kaarten.

Bij de oprichting van het waterschap van de Baaksche beek zijn de gronden geclassificeerd in 5 klassen met het doel daarop de belastingomslag voor het nieuwe waterschap te baseren. Deze kaarten kunnen worden gezien als een grondwaterkaart uit de periode van de oprichting van het waterschap omstreeks 1922. Deze kaarten zijn opgevraagd bij het waterschap, maar het blijkt dat deze kaarten niet meer te vinden waren, waardoor deze kaarten niet gebruikt konden worden als toets. In de literatuur is wel een kaart, figuur 5.7, gevonden die een classificatie geeft in 3 klassen, naar alle waarschijnlijkheid zijn hiervoor eerdergenoemde kaarten gebruikt. De echte natte gebieden worden gevonden in het Aaltensche Goor, langs de Hengelosche beek en rondom Zieuwent-Mariënvelde.



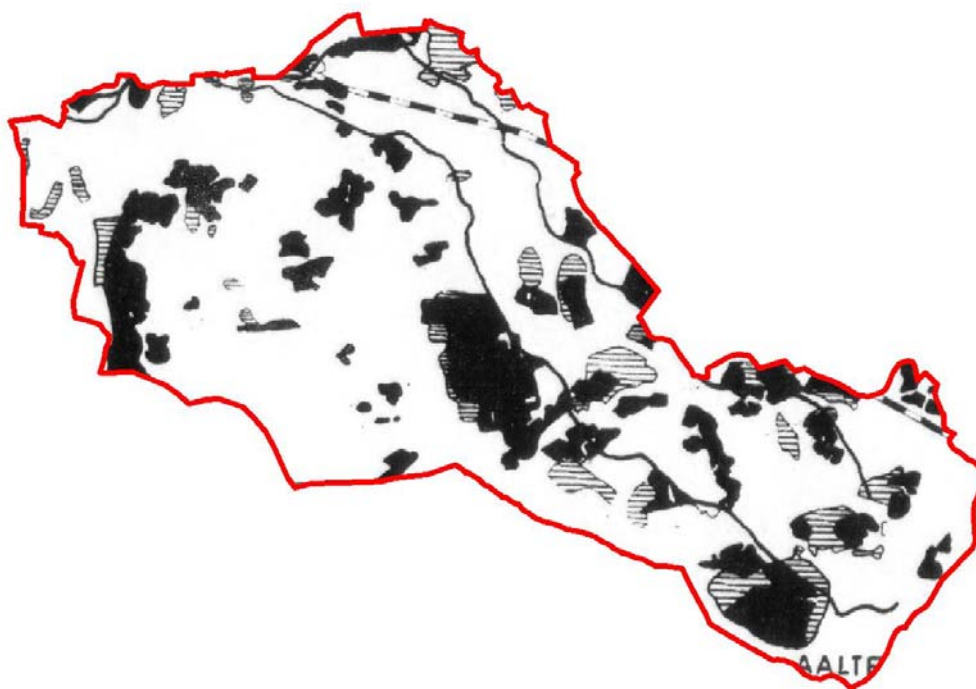
Figuur 5.7 Classificatie gronden volgens een driedeling (zwart hoogste klasse, gearveerd middelklasse en wit niet aangeslagen).

Een overstromingskaart uit 1925-1926 (figuur 5.8) geeft voor het stroomgebied van de Baaksche beek vooral het effect weer van hoog water op de IJssel en als gevolg daarvan het terugstuwen van water op de beken. Ook volgens deze kaart is de Aaltensche Goor geïnundeerd doordat de grondwaterstand tot in maaveld reikt en/of water inundeert vanuit de Veengoot door opstuwing.



Figuur 5.8 Overstroomde gebieden in 1925-1926

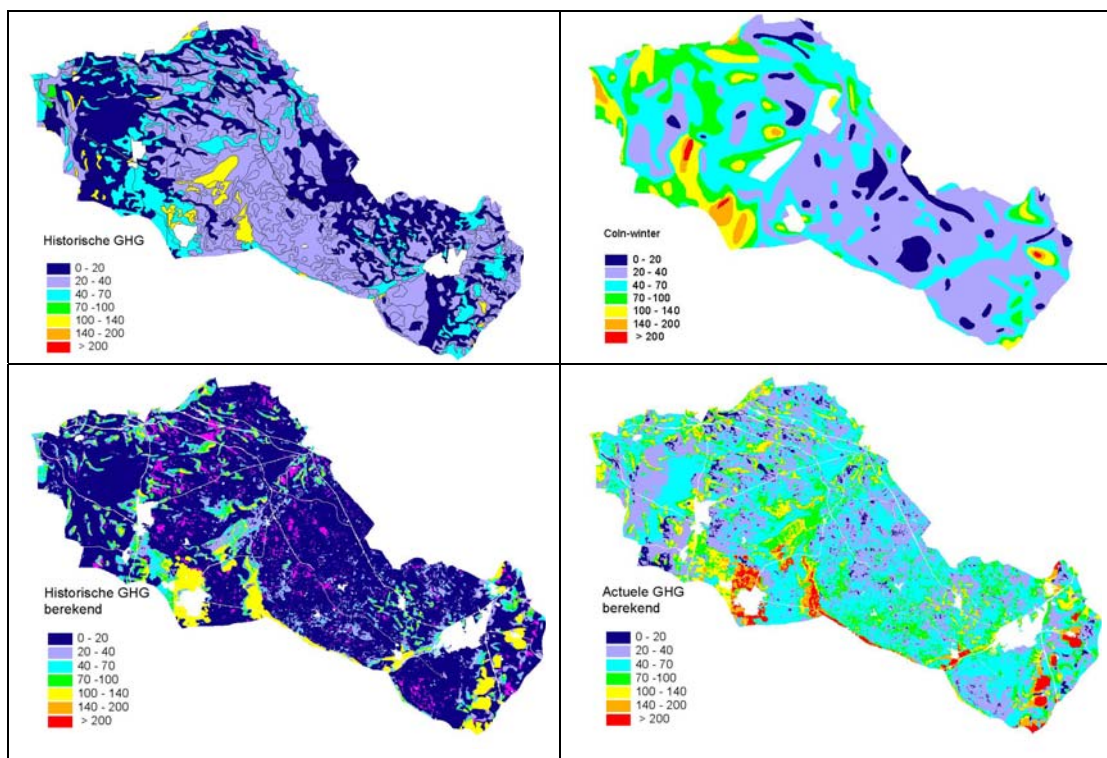
Door de Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden is een kaart gemaakt met overstromingen in december 1960 en december 1965 (figuur 5.9). Ook op deze kaart komen meerdere grotere en kleinere gebieden voor die in beide of in een van de genoemde tijdvakken onder water stonden.



Figuur 5.9 Overstroomde gebieden in december 1960 (enkele arcering) of december 1965 (dubbele arcering) of in beide gevallen (zwart)

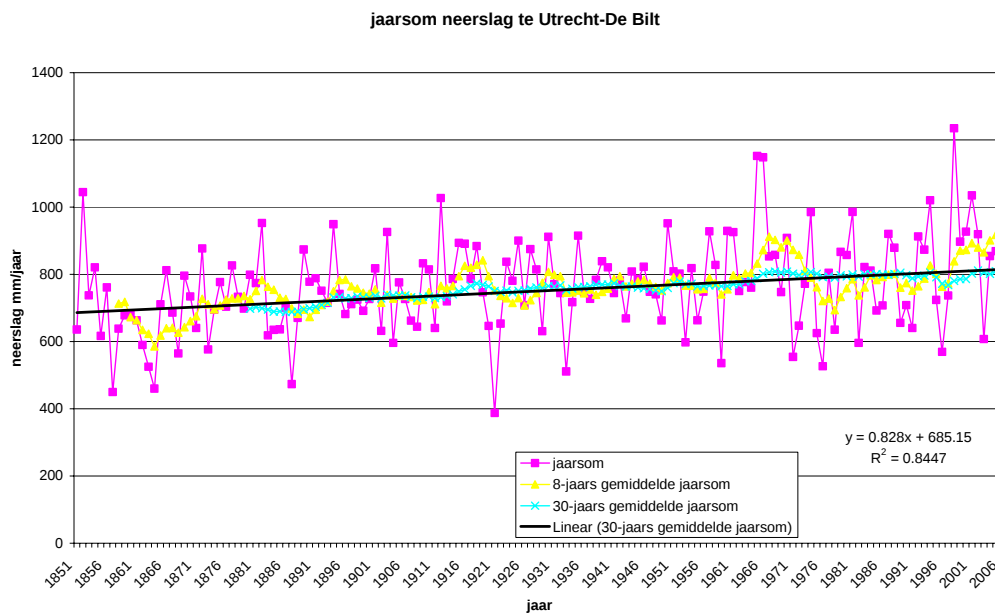
Zowel figuur 5.7, 5.8 als 5.9 geven een overzicht van geïnundeerde gebieden op een relatief grof schaalniveau. De kaarten geven geen informatie over de duur van de wateroverlast en daarmee van de GHG. De eerste gebiedsdekkende grondwaterdieptekaart betreft de COLN-kaart (figuur 5.10). Daarnaast is door Jansen et al. (1999) een grondwaterkaart gemaakt voor de historische situatie gekoppeld aan de bodemkaart.

De berekende historische grondwaterkaart is natter dan de kaart volgens Jansen et al. (1999) en de COLN-kaart. Uit literatuur (bijlage 7) blijkt dat er in dit type stroomgebieden in tijden voorafgaande aan de oprichting van waterschappen 's winters aanzienlijke delen gedurende een zekere tijd geïnundeerd waren. De modeluitkomsten geven enkele locale plekken met een GHG boven maaiveld. Ondanks dat de berekende GHG natter is dan de historische GHG en de COLN-GHG betekent dit niet dat de berekende standen geheel onjuist zijn, er zijn aanwijzingen dat er in vroeger tijd regelmatig gebiedsdelen gedurende enige tijd onder water stonden, echter gegevens over de tijdsduur waarover deze natte omstandigheden voorkwamen ontbreken. Ook bij het afleiden van de historische GHG op basis van het bodemtype kunnen veel onzekerheden voorkomen. De COLN-GHG heeft betrekking op een veel latere situatie (omstreeks 1950), de situatie na beekverbetering (bijlage 4).

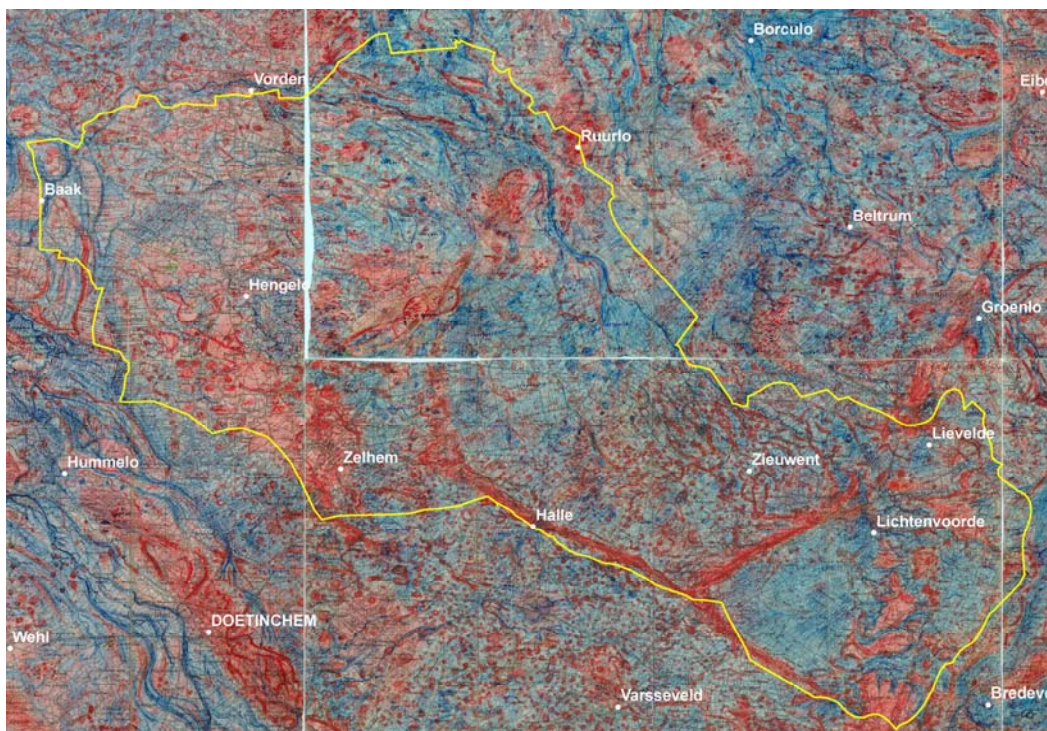


Figuur 5.10 Grondwaterkaarten voor de GHG historisch (linksboven), COLN (rechtsboven), historisch berekend (linksonder) en actueel berekend (rechtsonder).

Voor het reconstrueren van de historische hydrologische situatie is gerekend met de huidige klimaatsgegevens. Nadere analyse van neerslaggegevens geven aan dat de neerslag in de laatste 150 jaar geleidelijk is toegenomen met een gemiddelde van 0.8 mm/jaar (figuur 5.11). In de loop der tijd is echter de meetmethode wel een aantal malen aangepast. Dit heeft tot gevolg dat er voor de doorgerekende historische situatie (rond 1850) met een 100 mm hogere neerslag per jaar is gerekend dan in werkelijkheid voorkwam. Ook hierdoor kunnen de berekeningen iets natter uitvallen. Ook de verdamping zal in de loop der jaren zijn veranderd. Vooral op dit punt zijn zoals eerder aangegeven een aantal verbeteringen in de modellering en parameterisering wenselijk.



Figuur 5.11 Jaarsommen, 8-jaars en 30-jaars voortschrijdend gemiddelde jaarsom van de neerslag voor het station Utrecht – De Bilt niet gecorrigeerd voor type regenmeter



Figuur 5.12 Natte plekkenkaart volgens Von Freytag-Drabbe

Door Von Freytag-Drabbe is op basis van luchtfoto's gemaakt door de Royal Air Force (RAF) in de 2^e wereldoorlog een landsdekkende kaart gemaakt, waarop onderscheid is gemaakt in natte (blauw) en droge (rood) plekken (figuur 5.12). Duidelijk zijn de droge dekzandruggen aan de zuidzijde van het stroomgebied en de

rug tussen Varsseveld en Lichtenvoorde zichtbaar. Het gebied van het Aaltensche Goor staat als een nat gebied op de kaart. Ook het middengedeelte van het stroomgebied komt als een relatief nat gebied naar voren. In grote lijnen zijn er duidelijke overeenkomsten met de historische GHG en GLG kaart.

5.2.2 Kwel

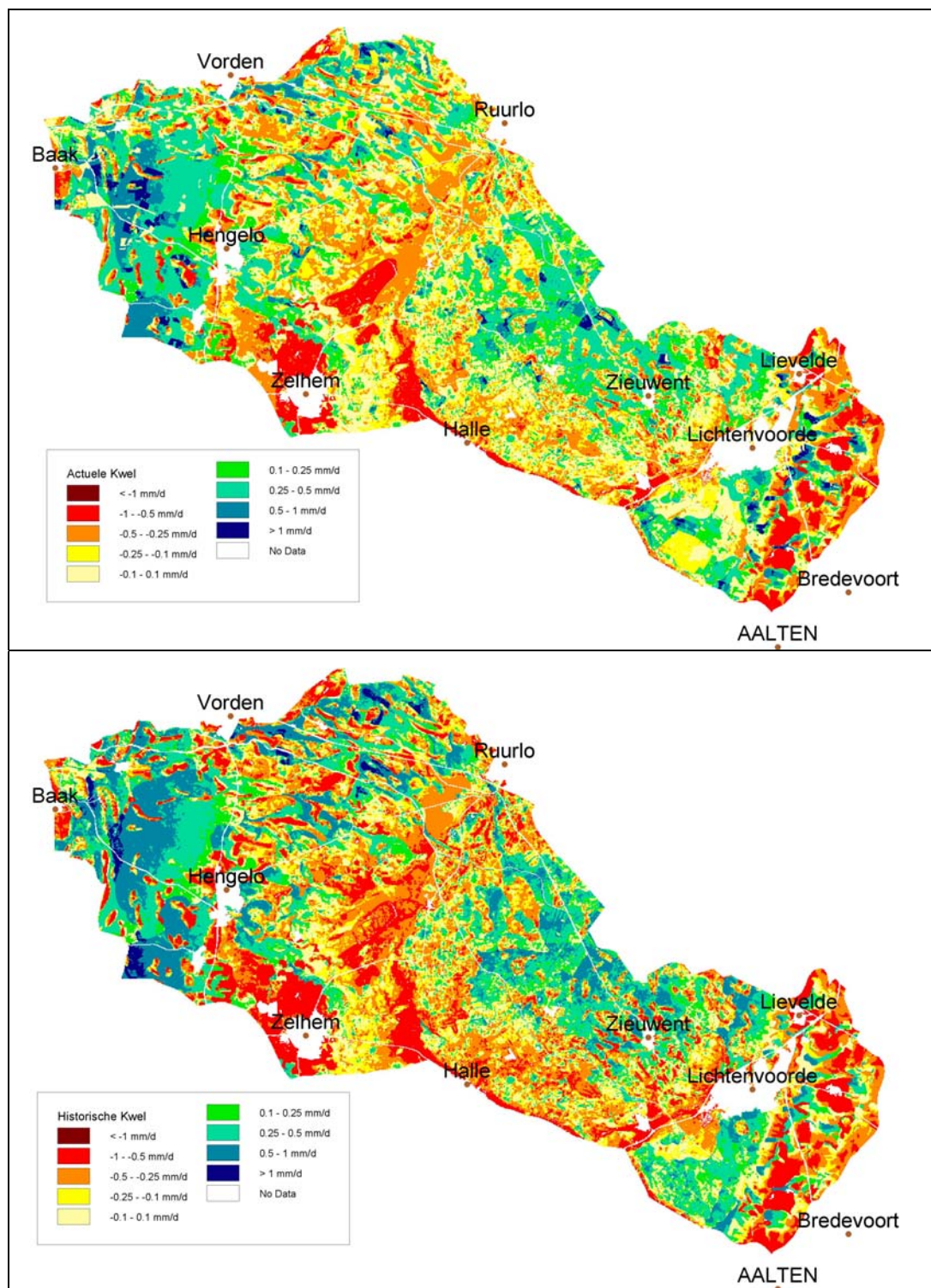
In figuur 5.13 zijn de actuele en de historische kwel weergegeven. In tabel 5.6 is de totale kwel/wegzijging voor het stroomgebied weergegeven.

Tabel 5.6 Gemiddelde kwel in mm/d voor het stroomgebied van de Baaksche beek

	Kwel (mm/d)	Kwel (mm/jaar)
Actueel	0.016	6.0
Historisch	-0.028	-10.3
Verschil	0.034	16.3

Gebiedsgemiddeld is er geen sprake van een noemenswaardige kwel of wegzijging, de wegzijging in de historische situatie bedroeg 10 mm/jaar en in de huidige situatie wordt een kwel van 6 mm/jaar berekend. Voor een stroomgebied in Oost Gelderland mag men ook verwachten dat er weinig netto kwel of wegzijging is, er kan enige wegzijging naar de IJssel optreden. Daarnaast is het zo dat de methode gebruikt maakt van de Gt-kaart om gebiedsdekkende kaarten te maken. De Gt-kaart is echter niet gebiedsdekkend ingevuld, stedelijke gebieden ontbreken, zodat het niet mogelijk is een gebiedsdekkende balans op te stellen.

Op de kaarten is te zien dat lokaal zowel de kwel als de wegzijging in de historische situatie groter zijn, hetgeen tot uiting komt op de kaart in de vorm van grotere verschillen tussen kwel en wegzijging.



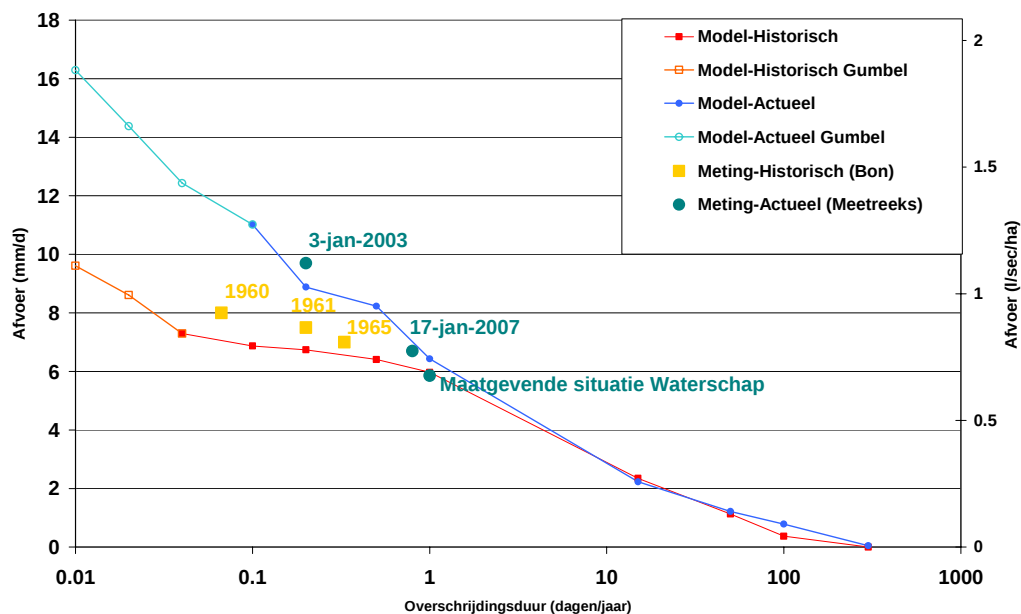
Figuur 5.13 Kwel actueel (boven) en historisch (onder)

5.2.3 Afvoer

In figuur 5.15 is de actuele en de historische specifieke afvoer weergegeven. In tabel 5.7 is de totale afvoer voor het stroomgebied weergegeven.

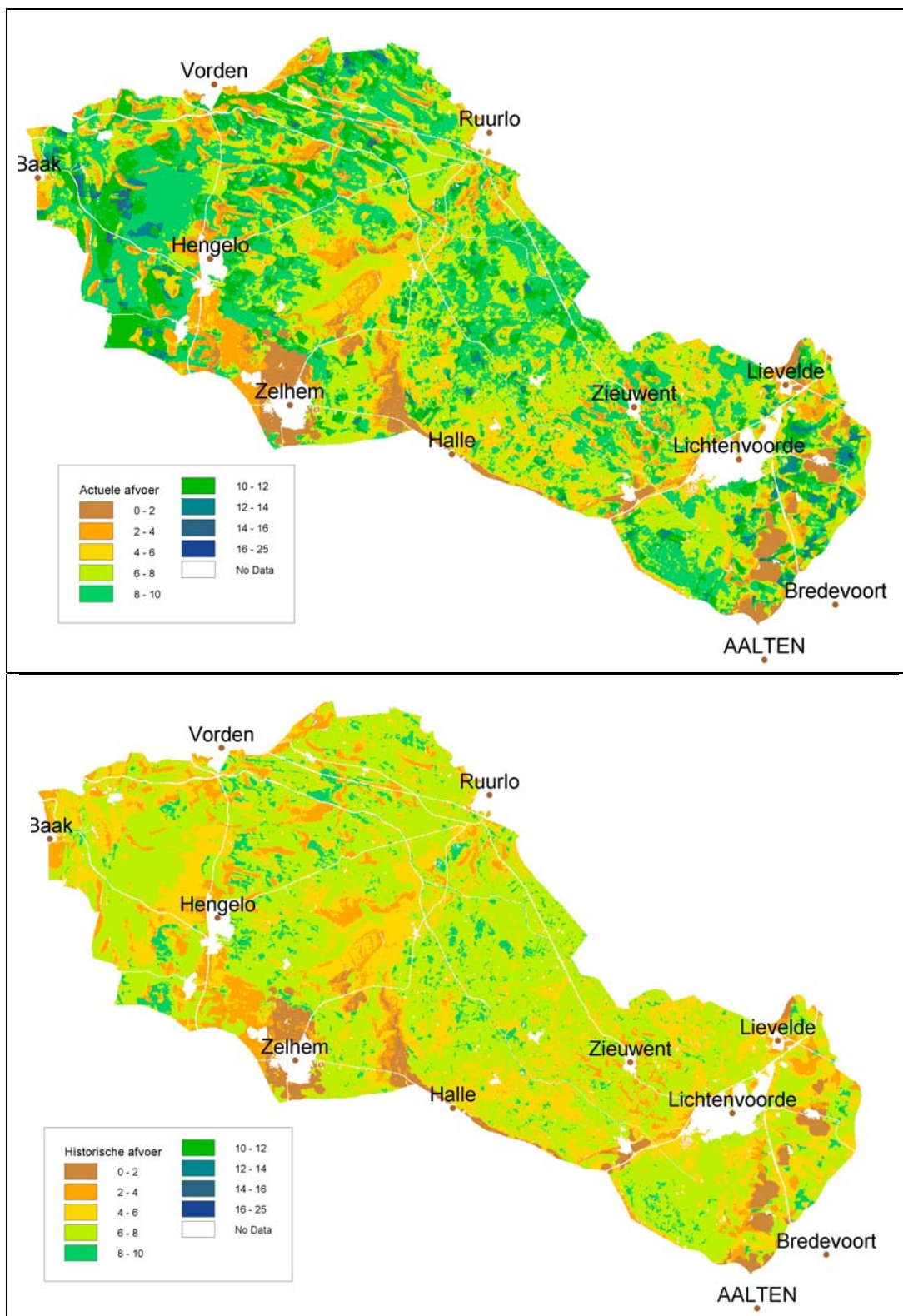
Tabel 5.7 Gemiddelde afvoer in mm/d voor het stroomgebied van de Baaksche beek

	Q1	Q0.1	Q0.1/Q1
Actueel	6.43	11.02	1.71
Historisch	5.97	6.87	1.15
Vershil	0.46	4.15	

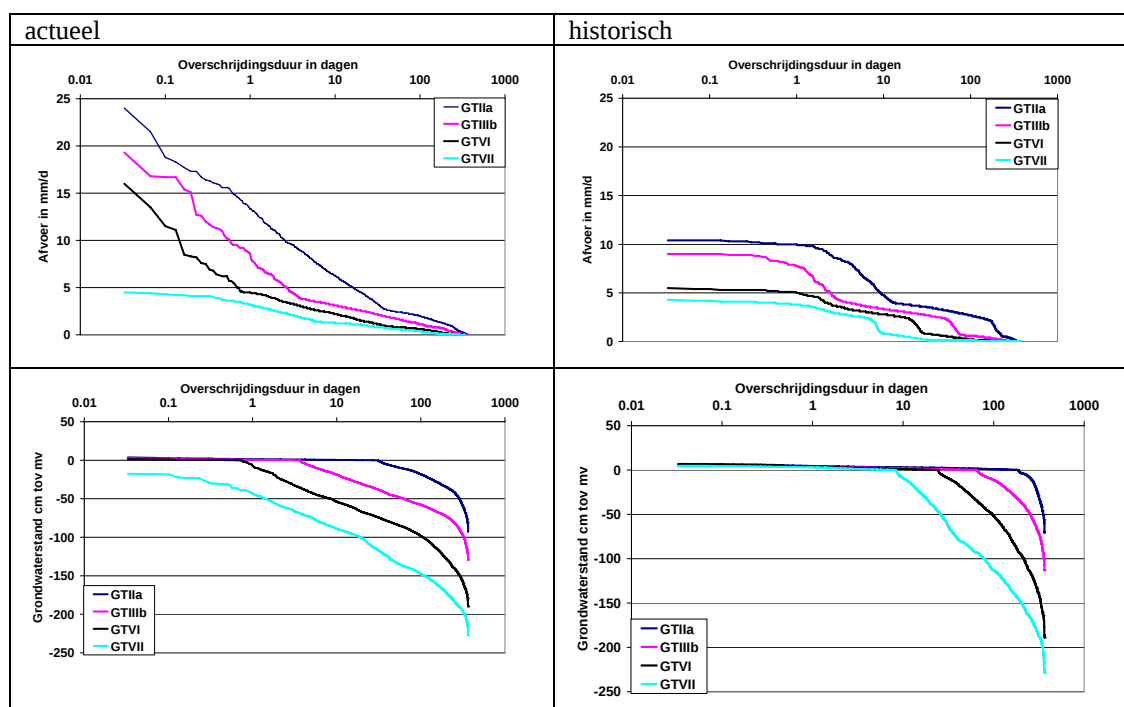


Figuur 5.14 Overschrijdingsduur van de afvoer in de historische en de actuele situatie op basis van modeluitkomsten en op basis van metingen (niet gecorrigeerd voor looptijdverschillen)

Uit figuur 5.14 blijkt dat de berekende relatie tussen afvoer en overschrijdingsduur voor herhalingstijden tot 10 jaar voldoet aan het bekende lineaire verband met de bekende vuistregel dat de afvoer die eenmaal per 10 jaar voorkomt 1,5 * de maatgevende afvoer bedraagt. Bij een herhalingstijd van eenmaal per 100 jaar wijkt de berekende afvoer af van de bekende vuistregel dat de afvoer gelijk is aan tweemaal de maatgevende afvoer, deze bedraagt ca 14 mm/d (zie ook tabel 2.10). Deze afwijking kan worden verklaard doordat voor extreme afvoeren gebruik wordt gemaakt van de methode van Gumbel om extrapolatie mogelijk te maken. Het is vraag hoe de Gumbel methode omgaat met de veranderende verhouding tussen doordegrondse en de relatief snel reagerende overdegrondse afvoer.



Figuur 5.15 Specifieke afvoer die eenmaal per jaar voorkomt actueel (boven) en historisch (onder)



Figuur 5.16 Overschrijdingsduur van de afvoer en de grondwaterstand in de historische als de actuele situatie voor Gt IIa, IIIb, VI en VII

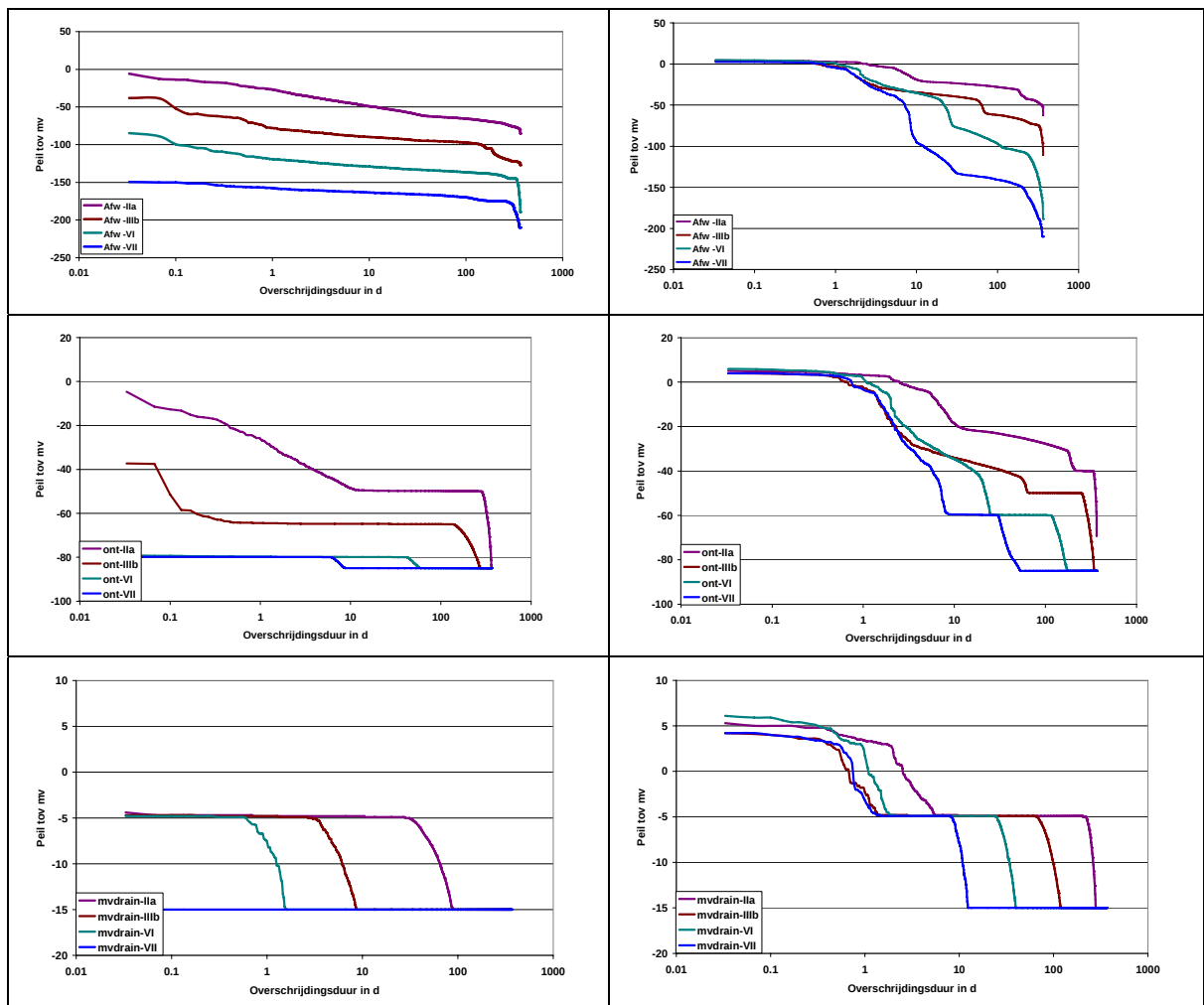
Om de gebiedsafvoer zo goed mogelijk te toetsen zijn gebiedsgemiddelde waarden bepaald bij verschillende overschrijdingsduren voor zowel de historische als de actuele situatie (figuur 5.14, bijlage 9). Daarnaast is gezocht naar gegevens over recente en historische afvoeren om de berekende duurlijnen te kunnen toetsen. In bijlage 9 is de bron cq de afleiding van een aantal metingen verantwoord. De beschikbare gegevens zijn in figuur 5.14 weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat in het traject met een overschrijdingsduur van 1 tot 0,1 dag de meetgegevens goed overeenkomen met de modelresultaten. De lijn voor de actuele situatie komt ook goed overeen met het Cultuurtechnisch Vademecum, volgens deze bron is de afvoer bij $Q=0.1$ en $Q=0.01$ resp. 1,4 en 2.0 keer de maatgevende afvoer. In de historische situatie zal de afvoer achterblijven bij de actuele als gevolg van berging op het maaiveld (inundatie). Dat de berekende afvoeren volgens metingen van Bon enigszins hoger waren, dan het model aangeeft kan worden verklaard doordat de situatie ten tijde van de metingen niet meer geheel overeenstemmen met de historische situatie en de eerder genoemde hogere huidige neerslag. In bijlage 4 is een overzicht gegeven van de waterhuishoudkundige ingrepen die sinds 1900 hebben plaatsgevonden.

Een belangrijke constatering aan de hand van deze figuur is dat de afvoer bij extremere situaties (kortere overschrijdingsduren) af gaat wijken van de huidige situatie. Dit kan worden verklaard door de geringere afvoercapaciteit van de waterlopen, waardoor bij een overschrijdingsduur nabij de 1 dag per jaar, de waterloop buiten de oevers treedt en de maaiveldsberging aanspreekt, waardoor de piek wordt afgevlakt en vervolgens wordt uitgesmeerd over een langere periode. Lely

(1884) heeft voor de Schipbeek onderzocht hoe de hoogte en de duur van de afvoerpiek zich verhoudt tot de grootte van de inundatievlakte (bijlage 6). Hij constateerde dat tijdens een afvoerpiek de afvoer op een punt benedenstrooms lager was dan meer bovenstrooms en kon dit verklaren door inundatie vanuit de waterloop.

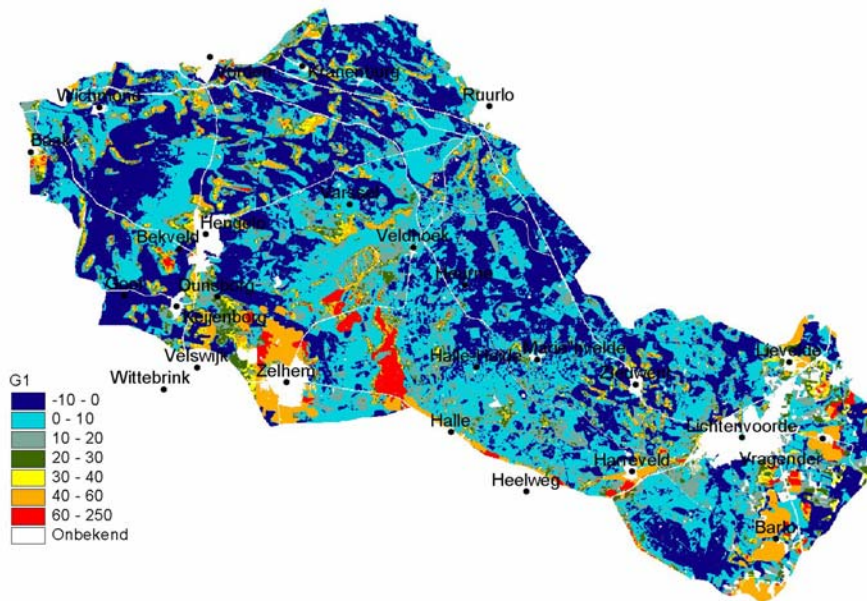
In figuur 5.16 is de afzonderlijke bijdrage van de verschillende Gt's aan de afvoer weergegeven. Voor de huidige situatie geven de afzonderlijke afvoerlijnen aanvankelijk bij grote overschrijdingsduren een geleidelijke toename van de afvoer. Vervolgens is er een knik in de afvoerduurlijn die een grote toename van de afvoer tot gevolg heeft. De knik in de afvoerduurlijn blijkt overeen te komen met het moment waarop de grondwaterstand tot in maaiveld komt. Op dit moment zal de totaal verzadigde bodem gaan reageren als verhard oppervlak, hetgeen de sterke toename van de afvoer verklaard.

In de historische situatie zijn meerdere knikken in de afvoerduurlijn voor de afzonderlijke Gt's waar te nemen. Indien de curves beginnend bij de hoge overschrijdingsduren worden geanalyseerd, is er in eerste instantie een knik waarneembaar die evenals in de huidige situatie overeenkomt met het moment dat de grondwaterstand tot in maaiveld komt (figuur 5.16). Deze knik in de figuur wordt opgevolgd door een sterke toename van de afvoer (reageren als verhard oppervlak) over een kort traject. Vervolgens is er wederom een knik waarneembaar, waarna de afvoer afvlakt. Deze afvlakking van de afvoer wordt veroorzaakt door stremming in het ont- en afwateringssysteem en berging op maaiveld als gevolg van ponding. Vervolgens is er wederom enige toename in de afvoer waar te nemen welke veroorzaakt wordt door oppervlakkige afvoer. Bij een overschrijdingsduur van ongeveer 1 dag per jaar wordt de toename van de afvoer sterk afgevlakt door berging op het maaiveld en inundatie vanuit de waterlopen. Om de invloed van de verschillende ontwateringssystemen op de knikken in de afvoerduurlijn inzichtelijk te maken zijn in figuur 5.17 voor verschillende afvoersystemen en Gt's voor de actuele en historische situatie de duurlijnen weergegeven. Met behulp van figuur 5.17 kunnen de knikken in de duurlijn van figuur 5.16 worden verklaard.



Figuur 5.17 Overschrijdingsduur van de peilen in het afwateringsysteem (boven), ontwateringsysteem (midden) en maaiveldsdrainage (onder) in de actuele (links) en de historische (rechts) situatie voor Gt IIa, IIIb, VI en VII

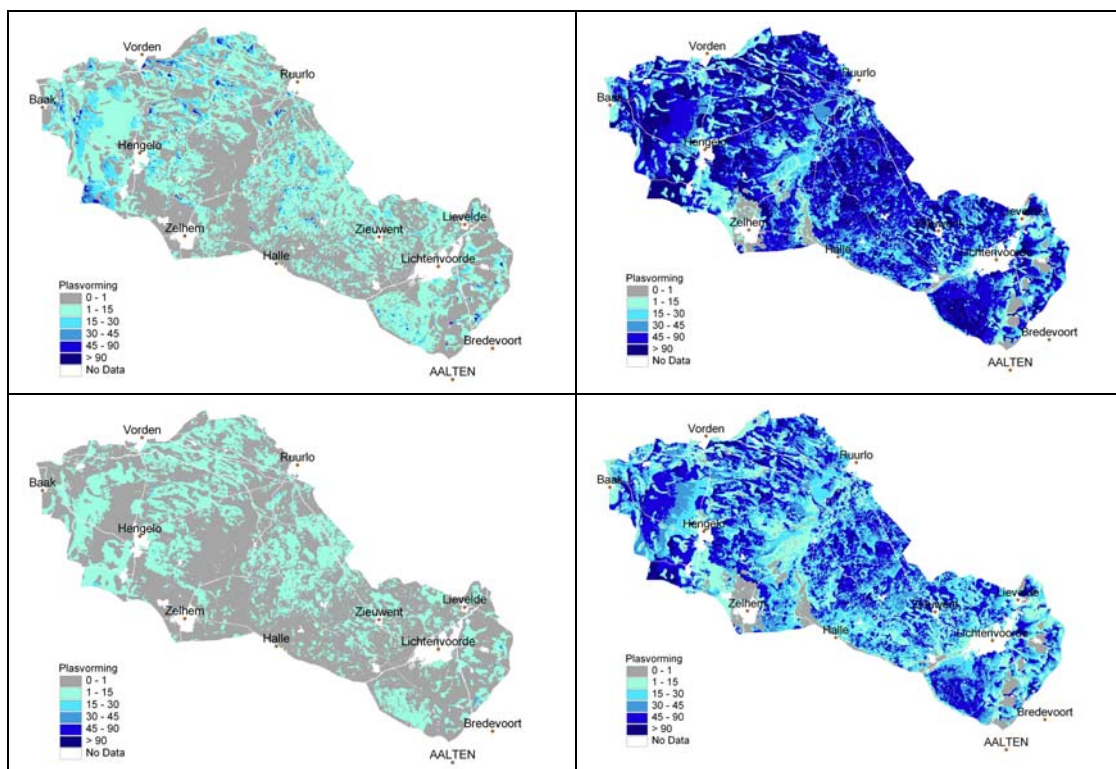
In zowel de historische situatie als de huidige situatie zal de grondwaterstand tijdens de maatgevende situatie (1 maal per jaar) dus over grote gebieden tot in maaiveld stijgen (figuur 5.16). Ook in de actuele situatie komt de grondwaterstand in nattere gebieden tot of t/m Gt VI in maaiveld. In figuur 5.18 is de grondwaterstand die 1 dag per jaar wordt bereikt of overschreden (G1) weergegeven voor de actuele situatie. Deze hoge grondwaterstand heeft tot gevolg dat verlaging van de afvoerpieken die extremer zijn dan de maatgevende situatie hoofdzakelijk plaats kunnen vinden door berging op het maaiveld.



Figuur 5.18 Grondwaterstand in cm tov maaiveld die 1 maal per jaar wordt bereikt of overschreden (G1).

Bij het stijgen van het grondwater als gevolg van vele na elkaar vallende regens zoals in december 1965, zullen steeds meer sloten en greppels als ontwateringsbasis gaan werken. Schematisch is dit in figuur 3.3 weergegeven. Inundaties remmen de afvoer af. Een regenbui op een met water verzadigde grond zal dan door uitbreiding van de inundaties, slechts een geringe afvoervermeerdering laten zien. Het gevolg is dat dan vrij vlakke langdurige afvoertoppen worden geregistreerd. In het tertiaire heuvelland wordt iedere bui in korte tijd afgevoerd. De hoogte van de topafvoer is hier meer afhankelijk van de grootte van de regenbui en niet zozeer van de lengte van de regenperiode zoals in het vlakkere volgeregende zandgronden. Het leeglopen van dergelijke zandgronden gaat ook vrij langzaam (Bon, 1969).

Uit de rekenresultaten kunnen naast gegevens over de GxG ook gegevens over overschrijdingsduren van bepaalde grondwaterstandsniveaus worden berekend. Voor twee niveau's nl. 15 cm -mv, overeenkomend met enige plasvorming, en gemiddeld maaiveld, waarbij 50 % van het maaiveld onder water staat, zijn de overschrijdingsduren ruimtelijk weergegeven in figuur 5.19. Duidelijk is te zien dat er in de historische situatie grotere oppervlakten langduriger dras stonden. Verder blijkt uit historische beschrijvingen (bijlage 7) dat 's winters tot wel 25% van het areaal dras of onder water stond in vergelijkbare gebieden.



Figuur 5.19 Overschrijdingsduur van het grondwaterstandsniveau 15 cm-mv (boven) en het gemiddelde maaveld (onder) voor de actuele (links) en de historische (rechts) situatie

5.2.4 Berging in het oppervlaktewatersysteem

De lengte aan waterlopen in de verschillende stroomgebieden in Oostelijk Gelderland is op basis van gegevens van Staring (1845) weergegeven in tabel 5.8.

Tabel 5.8 Lengte aan waterlopen in verschillende Oost-Gelderse stroomgebieden volgens Staring (1845)

Stroomgebied	Oppervlak in ha	Lengte in m	Slootafstand in m
Rijn	2154		
Linker IJsseloever	569		
IJssel	7849		
Oude IJssel	38101	377235	1010
Hummelosche beek	8603	80920	1063
Vordensche beek	28435	254900	1116
Runneboomslaak	213	3500	609
Onderlaatsche laak	4358	42050	1036
Berkel	33552	348150	964
Harfsensche beek	5321	51550	1032
Flierderbeek	760	6700	1134
Dommerbeek	2040	10100	2020
Dortherbeek	5430	40040	1356
Schipbeek	6564	69540	944
Gemiddeld	145221	1297035	1120

Uit tabel 5.8 blijkt dat de slootafstand (oppervlak stroomgebied/lengte aan waterlopen) voor het stroomgebied van de Baaksche beek (door Staring Vordensche beek genoemd) goed overeenkomt met het gemiddelde voor Oost-Gelderland. Als we uitgaan van de gemiddelde slootdiepte en slootbreedte, van resp. 1,05 en 1,55 m van alle waterlopen, dan kunnen we de maximale oppervlaktewaterberging berekenen. Deze bedraagt voor het gebied van de Vordensche beek slechts 1,35 mm. Hierbij is aangenomen dat de waterloop een rechthoekig profiel heeft en geen water bevat. Dit is aanmerkelijk lager dan de huidige beschikbare oppervlaktewaterberging die volgens (Massop et al., 2006) op gemiddeld 13 mm wordt geschat en derhalve bijna 10 maal groter is. Het grote verschil wordt veroorzaakt door het geringere aantal waterlopen en de geringere afmetingen van de waterlopen. De dichtheid bedraagt slechts een kwart van het huidige aantal. Daarnaast is bij de berekening van het historische profiel geen rekening gehouden met een eventueel talud. Deze geringe oppervlaktewaterberging zal in natte perioden snel leiden tot inundatie. In de huidige situatie wordt vaak uitgegaan van een maatgevende periode van 9 dagen met een neerslaghoeveelheid van 75 mm (STOWA, 2006). Als we aannemen dat het oppervlakte watersysteem gedurende deze periode 5 mm/d afvoert, dan dient 30 mm te worden geborgen, aangezien het oppervlaktewatersysteem slechts een beperkte berging toelaat, en als we aannemen dat ook de bodemberging in de winter veelal zeer beperkt is dan betekent dit dat er tijdelijk veel water op het maaiveld wordt geborgen, dit kan dus oplopen tot ca. 30 mm.

6 Discussie

De schematisatie op basis van tijdsonafhankelijke variabelen is mogelijk niet geheel tijdsonafhankelijk.

De schematisatie heeft plaatsgevonden op basis van tijdsonafhankelijke variabelen, echter door ingrepen in de bodem (bodemverbetering, egalisatie) en mineralisatie (veen) kunnen bodemtypen zijn veranderd waardoor deze niet meer overeenkomen met de gebruikte schematisatieeenheid. De geologische schematisatie heeft vooral betrekking op de diepere ondergrond, de ingrepen zullen vooral betrekking hebben op de ondiepe ondergrond, de bodem, en minder op de diepere ondergrond. Ook ten aanzien van de regionale indeling in meteodistricten zijn geen verschillen met de historische situatie te verwachten.

De historische maaiveldshoogte is door de vele ingrepen sterk veranderd.

De vorm van het maaiveld is bepaald door de afzettingswijze onder invloed van wind, water en ijs. In de natuurlijke situatie was het landschap daardoor allerminst vlak. Bij de ontginning tbv de landbouw is er op perceelsniveau veelal geëgaliseerd om een goed landbouwkundige exploitatie mogelijk te maken. Hierdoor zijn allerlei locale laagten verdwenen. De verlaging van de beekpeilen heeft bijvoorbeeld in de Drenthse beekdalen, waar veenafzettingen voorkomen, geleid tot een maaiveldsverlaging op de madeveengronden van 15 - 20 cm in 20 jaar (Coert, 1984). Gebieden met veenafzettingen zijn na ontwatering onderhevig aan maaiveldsdaling. Dit geeft tevens aan dat het maaiveld in de min of meer natuurlijke staat duidelijk kan verschillen van het huidige maaiveld. Ten behoeve van de modellering is het oorspronkelijk maaiveld niet bekend, hierdoor is de oorspronkelijke situatie slechts te reconstrueren op basis van het huidige maaiveld. Dit betekent ook dat er in het verleden nog veel meer locale laagten (maaivelddepressies) in het gebied aanwezig waren, die niet werden aangesneden door waterlopen en daardoor mogelijkheden boden om water te bergen.

De ondiepe anisotropie van de bodem is na ontginning verminderd.

Door bodemverbetering als gevolg van diepwoelen en omzetting van bodemlagen is de ondiepe anisotropie in de bodem afgenomen. Voor de landbouw betekent dit dat de gewassen dieper kunnen wortelen en daardoor minder droogtegevoelig zijn en voor de waterafvoer dat schijnspiegels, oppervlakkige afvoer via runoff en berging minder voor zullen komen dan in het verleden. In het verleden zal daardoor de oppervlakkige afvoer/berging een nog grotere rol kunnen hebben gespeeld dan we nu berekenen. In beekdalen kwamen vaak “ondoorlatende” ijzeroerafzettingen voor die door exploitatie voor de ijzerindustrie grotendeels zijn verdwenen.

Volgens Veenstra en Kuipers (1956) hebben veel zandgronden storende lagen in hun profiel, die belemmerend werken op de waterafvoer. Dit kunnen zijn loodzand-, ijzeroer- en leemlagen, broeksteen, gliede, veenlagen, enz. Vele oudere heide-ontginningsgronden, die ontgonnen zijn door alleen de heidezode te ploegen en het terrein met een molbord te egaliseren, hebben storende ijzeroerbanken en loodzand

ondiep in het profiel. Bij moderne ontginningen van dit soort gebieden heeft men het profiel tot ca. 60 cm diep doorgespit en is de stagnerende oerbank naar boven en het loodzand naar onderen gebracht.

De ontginningswijze heeft dus twee effecten:

- Vervlakking van het maaiveld agv egalisatie;
- Vermindering van de anisotropie door diepploegen en omzetten van de bodem, hierdoor zal de oppervlakkige afvoer (runoff) afnemen en de grondwaterafvoer toenemen.

Het grondwaterstandsverloop wordt in deze studie gezien als de resultante van de op die locatie geldende hydrologische, bodemfysische en meteorologische omstandigheden.

Door deze aanname is het mogelijk om, na het doorrekenen van een groot aantal mogelijke combinaties van hydrologische, bodemfysische en meteorologische omstandigheden, op basis van modelresultaten te interpoleren, waardoor deze geldig zijn voor andere locaties. Door deze benadering en het gebruik van een ééndimensionaal model is het van belang om bij de werkwijze in te spelen op deze benadering.

Bij de opzet van de ruimtelijke schematisatie is er voor gekozen om zoveel mogelijk gebruik te maken van tijdsonafhankelijke gegevens.

Hierdoor is het, naast het bepalen van de huidige situatie, ook mogelijk om andere situaties door te rekenen, bijv maatregelen maar ook de historische inrichting van het gebied. Hierbij kunnen hydrologisch gezien nieuwe situaties ontstaan. Echter niet alle onderscheiden eigenschappen zijn even tijdsonafhankelijk, bijv doordat de bodem en daarmee de bodemfysische eigenschappen in de loop der tijd zijn veranderd. Hierdoor kunnen de berekeningen gedeeltelijk minder representatief zijn voor de situatie in het verleden.

De verwachte toename van de jaarlijkse neerslag als gevolg van klimaatverandering kan de verdroging doen afnemen.

Ook het klimaat is veranderd sinds 1850, dit rapport laat zien dat er nu jaarlijks gemiddeld ongeveer 100 millimeter meer neerslag valt dan omstreeks 1850. Dit is echter niet meegenomen bij de modellering, aangezien er voor beide situaties gerekend is met de klimaatperiode 1971-2000. Zoals uit deze studie blijkt is sinds de ontginning een stuk verdroging opgetreden, wat zich uit in lagere grondwaterstanden. Door de klimaatverandering neemt de neerslag toe, qua hoeveelheid en intensiteit, dit impliceert dat daarmee een deel van de verdroging die sinds de ontginning is opgetreden teniet wordt gedaan. Op dit moment is echter onduidelijk wat de verdeling van de neerslag over het jaar wordt. Er wordt ook verwacht dat de kans op extreme droogte en hittegolven toe zal nemen. Een gevolg hiervan kan juist zijn dat veel van de extra neerslag oppervlakkig wordt afgevoerd. Uiteraard speelt hierbij de verdamping ook een rol. De veranderingen in de neerslag en verdamping hebben wellicht tot gevolg dat de fluctuatie van de grondwaterstand toeneemt, waarbij de GHG hoger en de GLG lager uit kan komen.

De berekende verdamping is onzeker.

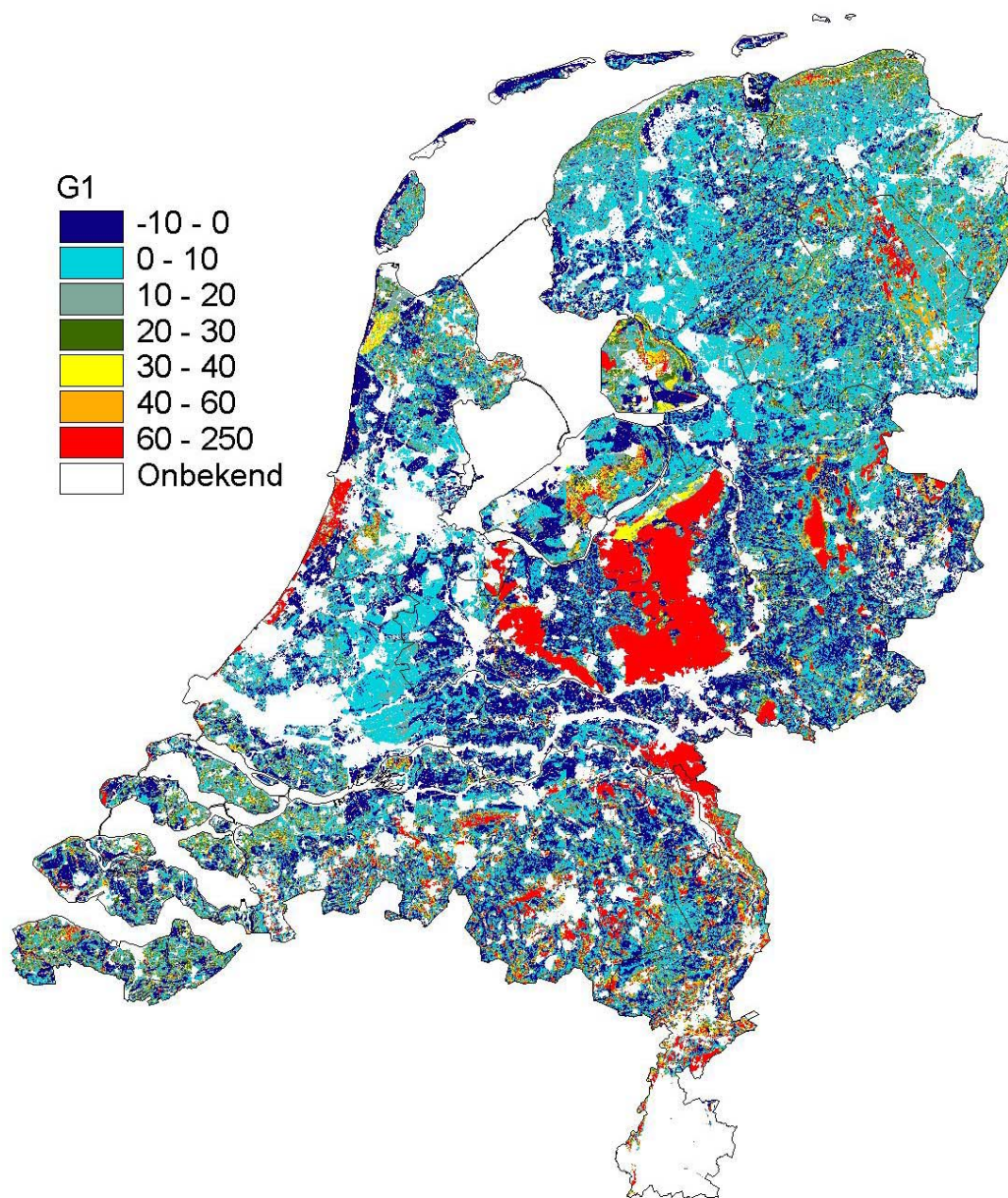
De met SWAP berekende verdamping is onzeker aangezien er in de historische situatie veel nattere omstandigheden voorkwamen. Dit heeft tot gevolg dat het areaal open water o.a. als gevolg van plasvorming groter was. De berekening van openwater verdamping kan echter niet apart worden meegenomen. Hierom is de verdampingsreductie onder natte omstandigheden in het model aangepast. Naast de verdamping als gevolg van open water is ook verdampingsreductie van het grondgebruik een onzekere factor. In de historische situatie kwamen waarschijnlijk meer plantensoorten voor die geschikter waren voor natte omstandigheden en derhalve minder verdampingsreductie hebben onder natte omstandigheden. Voorbeelden hiervan zijn broekbossen, hoogveen en natte heide. Meer onderzoek naar de verdamping en parametrisatie van dergelijke grondgebruiksvormen is wenselijk en zou kunnen leiden tot aanpassingen in modellen.

De Q(h)-relaties in SWAP dienen ivm het aandeel van verschillende Gt's beter te worden onderzocht.

Om rekening te kunnen houden met maaiveldsberging en oppervlaktewaterberging in het model SWAP is het model in het kader van het project hydrologie op basis van karteerbare kenmerken aangepast. Hierdoor is het model geschikter gemaakt voor het doorrekenen van meer natuurlijke situaties, situaties met stagnatie en het doorrekenen van maatregelen. Door de modelaanpassing kan rekening worden gehouden met bijvoorbeeld maaiveldsberging door stagnatie als gevolg van anisotropie hoog in het bodemprofiel. De modelaanpassing, waarbij ieder oppervlaktewatersysteem wordt gemodelleerd in de vorm van een bakje met een drempel en afvoerrelatie, heeft echter ook tot gevolg dat er meer modelparameters gewenst zijn. Meer onderzoek naar de parametrisatie van met name de Q(h)-relaties in SWAP is wenselijk. Hierbij dient rekening te worden gehouden met het modeltype. Aangezien SWAP een ééndimensionaal model is wordt er bij de koppeling met het oppervlaktewater van uitgegaan dat het gehele gebied bestaat uit de doorgerekende situatie. In werkelijkheid heeft het oppervlaktewater in de meeste gevallen te maken met een gevarieerd achterland dat bestaat uit verschillende Gt's. Om de berekeningen van de historische situatie, waarbij de variatie in de oppervlaktewaterstand een belangrijke rol speelt, mogelijk te maken is hiermee bij de parametrisering van de Q(h)-relaties in SWAP rekening gehouden. Meer onderzoek naar de Gt verdeling binnen verschillende gebiedstypen is wenselijk om enerzijds het inzicht in gebieden en anderzijds de parametrisering van modellen te verbeteren.

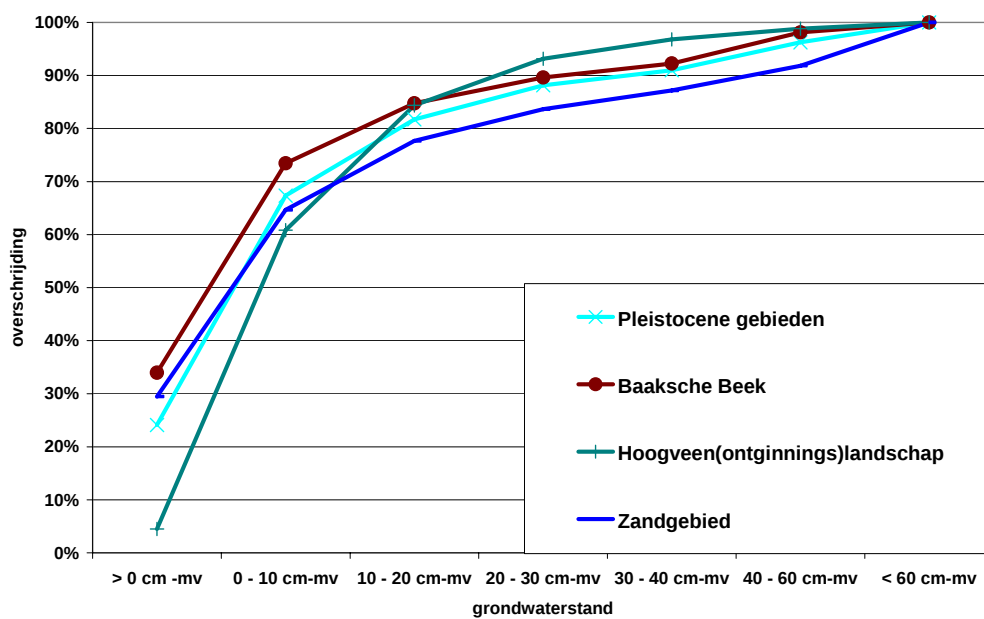
In natte situaties, die gemiddeld eenmaal per jaar of minder vaak voorkomen is de bodemberging beperkt en geeft vooral maaiveldsberging mogelijkheden tot het tijdelijk vasthouden van water.

Uit de pilotstudie blijkt dat zowel in de historische als de actuele situatie over grote arealen de grondwaterstand gedurende 1 dag per jaar tot in maaiveld steeg. In figuur 6.1 is de situatie voor heel Nederland weergegeven. Het blijkt dat de situatie zoals aangetroffen in de Baaksche beek, voor grote delen van Nederland van toepassing is.



Figuur 6.1 Grondwaterstand in cm tov maaiveld die 1 maal per jaar wordt bereikt of overschreden (G1)

Hoewel naar de methode om de G1 ruimtelijk te vertalen nog verder onderzoek zal moeten worden gedaan, geeft deze kaart aan dat de conclusie voor de Baaksche beek, dat de bodemberging in extreme situaties (G1 of extremer) beperkt is, representatief is voor grote delen van het zandgebied. In figuur 6.2 is per landschapsregio (Van der Gaast en van Bakel, 1997) het cumulatieve percentage van het totale areaal weergegeven voor de G1, waaruit blijkt dat het gebied van de Baaksche beek nauwelijks afwijkt van de overige zandgebieden.



Figuur 6.2 Percentage van het areaal ondieper dan de gegeven grondwaterstandklasse bij een grondwaterstand die 1 maal per jaar wordt bereikt of overschreden (G1) per landschapsregio

7 Conclusies en aanbevelingen

Een substantiële bijdrage aan de vermindering van piekafvoeren om o.a. een bijdrage te leveren aan de gevolgen van klimaatverandering is slechts mogelijk door waterberging op het maaiveld.

Voor zowel de huidige als de historische situatie blijkt dat de grondwaterstand bij de maatgevende situatie over grote gebieden (gebieden tot en met Gt VI) tot aan het maaiveld komen. Hierdoor kan bodemberging voor situaties die extremer zijn dan 1 maal per jaar geen substantiële bijdrage leveren aan de vermindering van afvoerpieken. De enige substantiële oplossing is berging op het maaiveld.

Door de toename van de waterhuishoudkundige ontsluiting (toename drainagedicht) is de hydrologische sponswerking van het hydrologische systeem afgenomen.

De ontginning van de heide en bosgebieden en vervolgens de omzetting daarvan in vooral grasland, is gepaard gegaan met een toename van de lengte aan waterlopen binnen deze gebieden. De vergelijking van de waterstaatkaart uit de periode 1880-1885 met de huidige Top10-vector geeft aan dat de toename wel een factor vier kan bedragen. De toename van de drainagedichtheid betekent een afname van de drainageweerstand, waardoor het water sneller tot afvoer komt. Door de kleinere slootafstand en de hiermee gepaardgaande toename van de waterhuishoudkundige ontsluiting zijn er minder mogelijkheden om water op het maaiveld te bergen in locale laagten. Veel locale laagten zijn immers ontsloten waardoor de sponswerking van het gebied af is genomen. Dit leidt tot hogere afvoerpieken bij extreme situaties.

Door de toename van de waterhuishoudkundige ontsluiting in combinatie met verlaging van de ontwateringsbasis is over het algemeen in de huidige situatie de grondwatertrap één klasse droger geworden dan in de historische situatie.

Door de verlaging van de grondwaterstand zijn ook de kwel- en wegzijgingfluxen in het gebied afgenomen.

Door het verdwijnen van veenlagen is de sponswerking afgenomen.

In het stroomgebied van de Baaksche beek kwamen zoals in veel andere stroomgebieden, in het verleden veenafzettingen voor, bijv. Wolfersveen, Zwarte Veen. Deze veengebieden waren in staat veel water vast te houden, waarna het geleidelijk werd afgestaan. Door het verdwijnen van deze veenlagen is de sponswerking van het gebied verder afgenomen. Dit leidt eveneens tot hogere afvoerpieken bij extreme situaties.

Het grondgebruik is tussen 1850-2000 sterk verandert. De half-natuurlijke gebieden zijn voornamelijk omgezet in grasland. De vegetatie was in deze half-natuurlijke gebieden meer in overeenstemming met de vochtsituatie ter plaatse.

De afmeting van de waterlopen waren in het verleden geringer waardoor meer opstuwing in de waterlopen optrad dan in de huidige situatie.

De afmetingen van de waterlopen, ontleend aan Staring, geven aan dat de afmetingen indertijd veel geringer waren dan in de huidige situatie. In de huidige situatie zijn de waterlopen veelal zodanig gedimensioneerd dat bij een afvoer die eenmaal per 100 jaar optreedt, de oppervlaktewaterstand gelijk is aan maaiveld. In het verleden traden met een zekere regelmaat de beken buiten hun oevers, veelal gebeurde dit al bij een afvoer die ongeveer eenmaal per jaar optrad.

De berging in het oppervlaktewater is ten opzichte van de historische situatie flink toegenomen.

Door de toename van het aantal waterlopen met een factor vier in combinatie met een grotere afmeting van de waterlopen is de potentiële berging in het oppervlaktewater toegenomen met bijna een factor 10.

Het bergen van water bij de bron (WB-21 maatregel) is alleen mogelijk indien de afvoer over maaiveld wordt gestremd.

Maatregelen om afvoerpieken te verkleinen door afvoer te vertragen hebben tot gevolg dat de grondwaterstand over grote arealen frequenter tot in maaiveld komt. Indien inundatie optreedt zal in de huidige situatie dit water snel tot afvoer komen, het geïnundeerde perceel reageert als verhard oppervlak. Daarom zijn deze maatregelen alleen effectief indien ze gepaard gaan met maatregelen die de berging op het maaiveld bevorderen.

Trajectmaatregelen zijn effectiever dan puntmaatregelen.

De toepassing van maatregelen gesitueerd op een puntlocatie, bijvoorbeeld knijpconstructies, vergen een optimale afstemming van de afmeting van het kunstwerk op de afvoer, terwijl aanvullende voorzieningen in de vorm van kades noodzakelijk zijn om stroming langs het kunstwerk over maaiveld te voorkomen. Waterlopen gedimensioneerd op een geringe afvoer, bijv die eenmaal per jaar optreedt conform de historische situatie, zullen bij overschrijding van de maatgevende afvoer gaan inunderen, hiervoor is het gehele traject van de waterloop beschikbaar en zullen locale laagtes op een meer natuurlijke manier worden gebruikt voor de tijdelijke opslag van water.

De vorm van de $Q(h)$ -relatie verschilt tussen stroomgebieden waarbij inundatie optreedt en stroomgebieden waar dit niet het geval is.

Bij het ontwerp van ontwateringsplannen zijn de waterlopen dusdanig gedimensioneerd dat er een rechtlijnig verband is tussen de grootte van de afvoer en de logaritme van de overschrijdingsduur. Dit verband gaat op tot een overschrijdingsduur van 1 keer per 100 jaar. Voor meer natuurlijke waterlopen, die op zeker moment inunderen, geldt dit rechtlijnige verband niet meer vanaf het moment dat de waterlopen gaan inunderen.

Niet alle ingrepen die sinds 1850 zijn gedaan zijn terug te draaien.

Voor reconstructie van de historische situatie kunnen sommige ingrepen ongedaan worden gemaakt. Er zijn daarnaast een aantal ingrepen die niet ongedaan gemaakt

kunnen worden, voorbeelden zijn de vervlakking van het maaiveld en het ongedaan maken van de bodemanisotropie door bodemverbetering. Door de vervlakking van het maaiveld en de “hydrologische ontsluiting” van veel maaiveldlaagten is de maaiveldsberging afgenomen. Ook zijn sommige ingrepen niet terug te draaien omdat deze strijdig zijn met de huidige functies van het gebied, denk aan woonfunctie in gebieden die vroeger regelmatig overstromden.

Voor verificatie van rekenresultaten zijn historische kwantitatieve meetgegevens noodzakelijk.

Historische meetreeksen zijn nauwelijks beschikbaar. Het verdient aanbeveling om naast historische klimatologische meetreeksen ook historische hydrologische meetreeksen op te zetten, omdat we het risico lopen dat door concentratie van waterschappen (archieven) interessante meetreeksen verdwijnen.

Voor de parametrisatie van modellen om de historische situatie door te rekenen zijn gegevens over het oppervlaktewatersysteem noodzakelijk.

Om het watersysteem te beïnvloeden is door de mens vooral ingegrepen in de ont- en afwatering. Daarom is goede historische informatie over de afmetingen en dichtheid noodzakelijk voor een succesvolle modellering van de historische situatie. De waterschappen beschikken over informatie over de toestand bij de oprichting van het waterschap zowel wat betreft het waterlopenstelsel als de grondwaterstand (classificatie gronden). Deze informatie mag niet verloren gaan en dient bewaard te blijven. De waterstaatskaart is hierbij een hulpmiddel maar geeft geen volledig overzicht mbt de eigenschappen van het ontwateringssysteem.

De resultaten van dit onderzoek zijn in grote lijnen te extrapoleren naar andere stroomgebieden gelegen in het zandgebied van Oost- en Zuid Nederland.

De ingrepen in het watersysteem, die zich binnen het stroomgebied van de Baaksche beek hebben voltrokken zijn praktisch uniform over het gehele zandgebied van Nederland doorgevoerd. Dit betekent dat praktisch overal de hydrologische sponswerking is verminderd. Hoewel de geohydrologische opbouw van de ondergrond kan verschillen is de verwachting dat de afvoerpieken algemeen zijn toegenomen. Alleen sterk hellende gebieden met een gering watervoerend vermogen in de ondergrond hadden in het verleden al een beperkte hydrologische sponswerking, zodat voor deze gebieden de verandering beperkter is. Een deel van de sponswerking werd in het verleden bepaald door de aanwezigheid van veenlagen, welk materiaal deze eigenschap bij uitstek bezat. Door de afgraving van veen, vooral in Drenthe maar ook elders, is een irreversibele afname van dit deel van de sponswerking opgetreden. Omdat blijkt dat in de huidige situatie in grote delen van het zandgebied, gemiddeld een dag per jaar de grondwaterstand in of boven maaiveld komt, is vooral maaiveldsberging, naast eventuele oppervlaktewaterberging in de haarvaten van het systeem, de enige en belangrijkste maatregel om water tijdelijk vast te houden.

Literatuur

- Beekman, A.A., 1948. *De wateren van Nederland*. Martinus Nijhoff, Den Haag.
- Blauw, M., 2003. *Waterstaat in kaart. Geschiedenis van de Waterstaatskaart 1865-1992*. Matrijs, Utrecht.
- Blok, T., 1970. *De waterstaatkundige toestand in de Achterhoek*. Deelrapport 1. In Hydrologisch Onderzoek in het Leerinkbeekgebied. Tweede Interimrapport Werkgroep I van de Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden.
- Bon, J., 1967. Hoge beekafvoeren in de Achterhoek. *Waterschapsbelangen*, nr 11.
- Bon, J., 1968. Gebruik van afvoerverhoudingen bij het bepalen van de maatgevende afvoer in grotere stroomgebieden. *Waterschapsbelangen*, nr 3.
- Bon, J., 1968. De minimum afvoer van de Baaksche beek. *Waterschapsbelangen*, nr 8.
- Bon, J., 1968. *De afvoer en berging in verband met beekverbetering, toegelicht aan het stroomgebied van de Lunterse Beek*. ICW-mededeling 107, Wageningen.
- Bon, J., 1969. Topografie en vorm van het grondwatervlak als achtergrond van de te verwachten afvoeren in de Gelderse Achterhoek. *Cultuurtechnisch Tijdschrift* jaargang 8, nr. 3 (1968).
- Bon, J., 1971. *Afvoernormen*. ICW-nota 631. ICW, Wageningen.
- Bon, J., 1973. Het hanteren van afvoernormen in stroomgebieden op de zandgronden in Nederland. *Waterschapsbelangen*, nr 4
- Coert, G.A., 1984. *Zorg om het water*. In Abrahamse J., S. Bottema, H.J. de Vroome en H.T. Waterbolk. *Het Drentse landschap*. Stichting Het Drentse Landschap. De Walburg Pers, Zutphen.
- Colenbrander, H.J., 1970. *Analyse van afvoergegevens*. Deelrapport 7. In Hydrologisch Onderzoek in het Leerinkbeekgebied. Tweede Interimrapport Werkgroep I van de Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden.
- Dam, J.C. van, J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk, C.A. van Diepen, 1997. *SWAP version 2.0, Theory. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment*. Technical Document 45, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, 1997. Report 71, Department Water Resources, Wageningen Agricultural University, 1997.

Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel, 1917. *De invloed van den waterafvoer op het Nederlandsche landbouwbedrijf*. Verslagen en Mededelingen van de directie van den landbouw, no. 1., 's-Gravenhage.

Driessen, A.M.A.J., G.P. van der Ven en H.J. Wasser, 2000. *Gij beken eeuwigvloeiend. Water in de streek van Rijn en IJssel*. Stichting Matrijs. Utrecht.

Ernst, L.F., 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. *Journal of Hydrology* 39 (1978) 1-30. Elsevier, Amsterdam.

Fonck, H., 1968. Slootdichtheid en wintergrondwaterstand in de Gelderse Achterhoek. *Waterschapsbelangen*, nr 4.

Fonck, H., 1968. Afwateringsproblemen in zandgebieden. *Waterschapsbelangen*, nr 23.

Feddes R.A. en R.W.R Koopmans, 1994. *Agrohydrology*. Collegediktaat Wageningen.

Gaast, J.W.J. van der en P.J.T van Bakel, 1997. *Differentiatie van waterlopen ten behoeve van het bestrijdingsmiddelenbeleid in Nederland*. SC-DLO rapport 526.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, H..R.J. Vroon en I.G. Staritsky., 2006. *Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken*. Wageningen, Alterra-rapport 1339.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H. Vroon, 2007. Kwantificering verdroging. *H2O*, nr 3., blz 25-28.

Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, 1986. *Verklarende hydrologische woordenlijst*. Rapporten en nota's No. 16. Den Haag, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO.

Groeneveld, J., 1985. *Veranderend Nederland, Een halve eeuw ontwikkeling op het platteland*. Maastricht/Brussel.

Hagens, H., 1978. *Molens, Mulders, Meesters. Negen eeuwen watermolens in Twente, Salland en de Gelderse Achterhoek*. Smit, Hengelo.

Hermans, H., ca 1950. *Hoe Nederland groeide. Anderhalve eeuw bodemwinning en bodemverbetering*. Bussum.

Jansen, P.C., F. de Vries en J. Runhaar, 1999. *Grondwaterkarakteristieken van bodemeenheden; het oorspronkelijk grondwaterregime ontleend aan bodemkenmerken*. SC-rapport 694, ISSN 0927-4499. DLO Staring Centrum, Wageningen.

Jonge, P.J. de, 1982. *De Berkel beschouwd*. De Walburgpers, Zutphen.

Ketting Olivier, B.F., 1982. *Inventaris van de Archieven. Rijkscommissie voor de Ontwatering (1918-1934) en Rijksbureau voor Ontwatering (1920-1935)*. Ministerie van Landbouw.

Keur, H., 1917. *Waterloopkundige beschouwingen en berekeningen. Handleiding ten dienste van waterbouwkundigen, polderopzichters, gemeente-architecten, landbouwtechnici en studeerenden*. Kluwer, Deventer.

Knol, W.C. en M.W.M. Noordman, 2003a. *De kadastrale kaart van 1832: digitale ontsluiting en landschapsecologische toepassingen*. Alterra-rapport 820. Wageningen.

Knol, W.C., H. Kramer en G.J. van Dorland, 2003b. *Ontwikkelingen in het grondgebruik in Oost-Nederland en de West-Duitse grensstreek: grondgebruik van 1850-1990*. Alterra rapport 822.

Knol, W.C., H. Kramer en H. Gijsbertse, 2004. *Historisch Grondgebruik Nederland: een landelijke reconstructie van het grondgebruik rond 1900*. Alterra-rapport 573. Wageningen.

Lely, C., 1884. *Ontwerp tot verbetering van de Schipbeek en het belang der afwatering van het waterschap De Schipbeek*. Zwolle.

Mansholt, D.R., 1939. *De waterschapslasten in de provincie Gelderland*. Departement van Economische Zaken, Directie van den Landbouw. Den Haag.

Massop, H. Th. L., L. C. P. M. Stuyt, P. J. T. van Bakel, J. M. M. Bouwmans en H. Prak, 1997. *Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand*. Wageningen, SC-DLO rapport 420.1.

Massop, H.Th.L., T. Kroon, J.P.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor Stone; Schematisatie en parametrisatie*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne. Alterra-rapport 038. Reeks Milieuplanbureau 9.

Massop, H.Th.L. en W.C. Knol, 2005. *Historisch Waterbeheer. Een kwantitatieve benadering van historische watersystemen: definities en voorbeelden*. Wageningen, Alterra-rapport 1145.

Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A.Tiktak en W. Werkman, 2005. *Onderzoek naar de "ware" neerslag en verdamping. Toetsing van de berekende verdamping met het STONE 2.1 instrumentarium aan regionale waterbalansen en de gevoeligheid van de verdampingsafwijkingen op de uitspoeling van nutriënten*. Wageningen, Alterra-rapport 1158.

Massop, H.Th.L., J.W.J. van der Gaast en E. Hermans, 2006. *Kenmerken van het ontwateringstelsel in Nederland*. Wageningen, Alterra-rapport 1397.

NHV-werkgroep, 2002. *Hydrologische woordenlijst*. Nederlandse Hydrologische Vereniging, Utrecht.

Querner, E.P., M. Rakhorst, A.G.M. Hermans en S. Hoegen, 2006. *Verkenning van mogelijkheden om water vast te houden op het Drents Plateau; Pilot Noord West Drentse Beken*. Wageningen, Alterra-rapport 1240.

Reuter, K.N. en J.J. Kouwe, 1958. *De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland*. Rapport no. 6. Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O.

Reuvers, L.A., 1867. *De verbetering van de gezamenlijke afwateringen in het Zutphensche*. Nijhoff en Zoon, Arnhem.

Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, 1991. *Beschrijving van de provincie Gelderland behorende bij de 5^e editie van de waterstaatskaart*. Rijkswaterstaat, Meetkundige Dienst, Delft.

Schutten, G.J. 1981. *Varen waar geen water is. Geschiedenis van de scheepvaart ten oosten van de IJssel van 1300 tot 1930*. Uitgeverij Broekhuis, Hengelo

Staatscommissie voor de bevoeiingen, 1897. *Verslag van Staatscommissie benoemd bij Koninklijk Besluit van 5 mei 1893, no. 16 tot het instellen van een onderzoek omtrent bevoeiingen*. Den Haag.

Staring, en Ferrand, 1845. *Verslag over den toestand der Berkel en ontwerp tot verbetering van die rivier*. Thieme, Zutphen.

Staring, en Ferrand, 1847. *Verslag over den toestand der rivieren en afwateringen in het Zutphensche, en ontwerpen tot verbetering van dien toestand*. Thieme, Zutphen.

Veenstra G en S.F. Kuiper, 1956. *Bodemkunde*. Leidraad voor het land- en tuinbouwonderwijs Serie N nr. 2. Tjeenk Willink, Zwolle.

Ven, G.P. van der, 1993/2004. *Leefbaar laagland. Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland*. Matrijs, Utrecht.

Versfelt, H.J., 2003. *De Hottinger atlas van Noord- en Oost Nederland*. Heveskes Uitgevers, Groningen.

Verloren van Themaat, R., 1966. *De Oude IJssel. De veelzijdige rol van het water*. Uitgeversmaatschappij C. Misset. Doetinchem.

Visser, W.C., 1958. *De landbouwwaterhuishouding van Nederland*. Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988. *Cultuurtechnische Vademecum*. Brouwer Offset B.V., Utrecht.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055, Stiboka. Wageningen.

Woud, A. van der, 1987. *Het lege land. De ruimtelijke orde van Nederland 1798-1848*. Amsterdam.

IJzerman, M.J., 1934. *Waterschap De Regge*. Zwolle

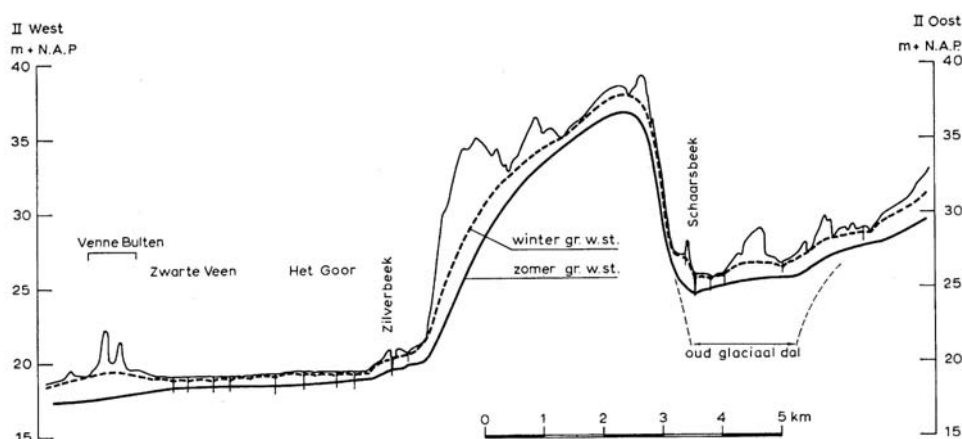
Bijlage 1 Historische schets van de ontwikkeling van het oppervlaktewatersysteem in relatie tot de topografie voor Oost Nederland

Onderstaande informatie is ontleend aan Driessen en Van der Ven (2000) en Bon (1969).

Het maaiveldverloop in het dal van de Baaksche beek is verre van regelmatig. Grofweg kunnen van oost naar west drie trajecten worden onderscheiden, nl.:

- Oost-Gelders Plateau,
- Vlakke Midden,
- Het dal van de IJssel.

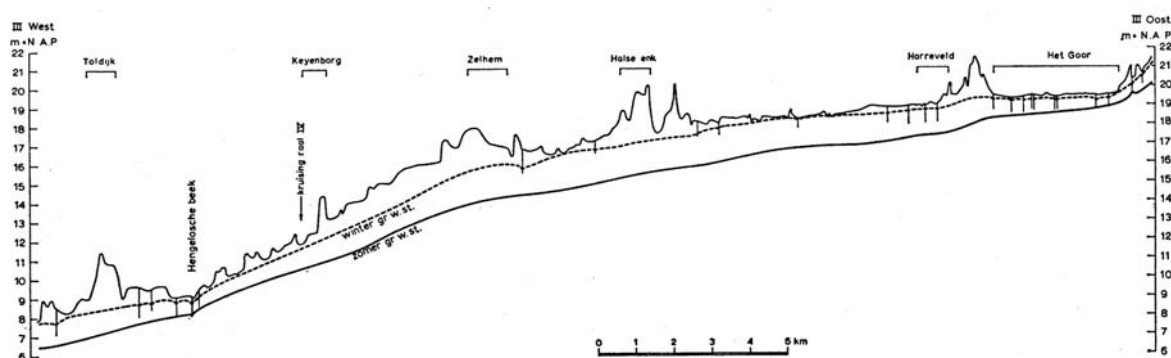
Door Bon (1969) is de topografie van het maaiveld en het grondwatervlak in de Achterhoek beschreven. In figuur B1.1 is de topografie weergegeven voor het oostelijk deel van het stroomgebied van de Baaksche Beek en een deel dat oostelijk daarvan is gelegen.



Figuur B1.1 Raai over het Oost-Gelders Plateau en het aangrenzende Aaltensche Goor naar Bon (1969).

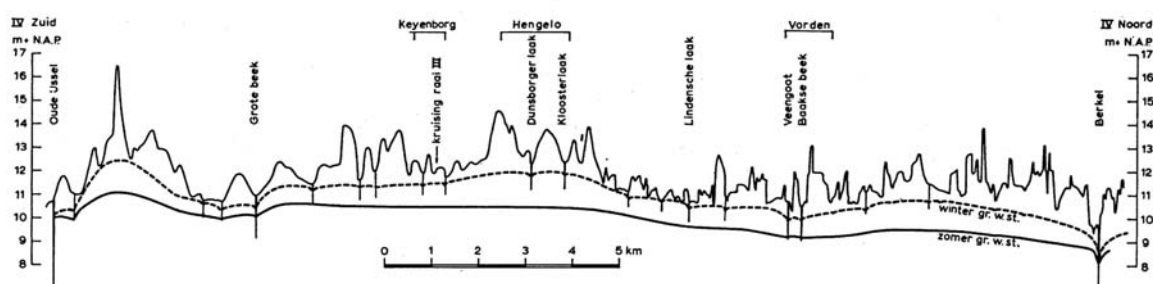
De waterscheiding van het stroomgebied van de Baaksche Beek en de stroomgebieden van de Berkel en de Oude IJssel ontmoeten elkaar op het Oost-Gelders plateau. Dit plateau is een relatief hoog gelegen gebied met op geringe diepte ondoorlatende lagen bestaande uit keileem en tertiaire klei. Het gebied heeft een steile maaiveldshelling in de richting van het Aaltensche Goor en Zwarte Veen. Dit laatste gebied is relatief vlak. Het afstromende water stagneerde hier, doordat de afstroming aan de oppervlakte zowel aan de zuidkant werd belemmerd door de dekzandrug van de Romienendiek tussen Zelhem en de Radstake bij Varsseveld en aan de west- en noordzijde door de dwarsrug van De Radstake naar Harreveld en Lichtenvoorde. In figuur B1.2 is het maaiveldsverloop weergegeven tussen het Aaltensche Goor en Toldijk, nabij de IJssel. Duidelijk is het vlakke oostelijk deel herkenbaar tussen het Goor en Zelhem. Ook de genoemde dekzandrug bij Harreveld is herkenbaar en de hoge gronden bij Halle. Door stagnatie van water heeft zich in

deze gebieden in het verleden een dunne laag veen kunnen vormen (Wolfersveen, Zwart Veen). Meer naar het westen neemt de maaiveldshelling toe richting de IJssel.



Figuur B1.2 Raai tussen het Aaltensche Goor en de IJssel bij Toldijk naar Bon (1969).

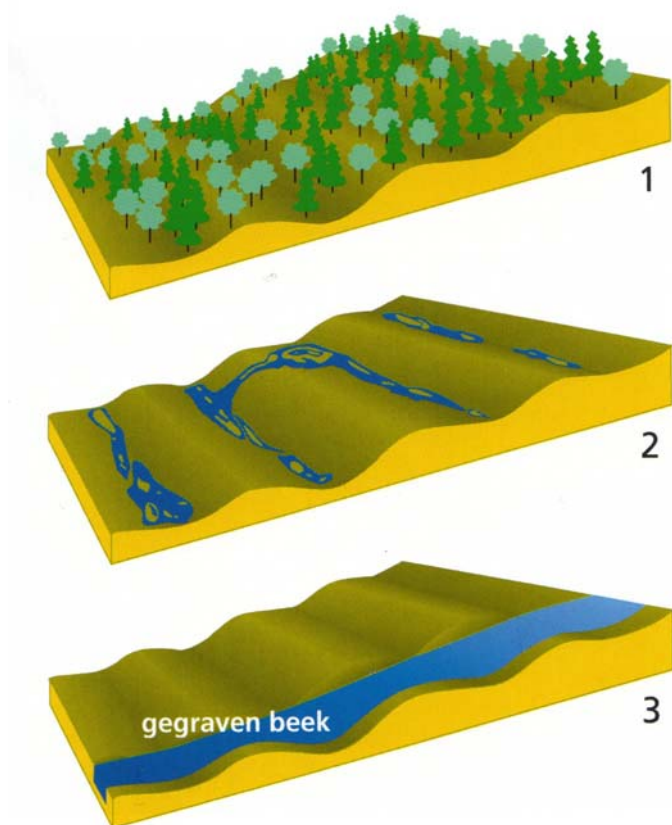
In figuur B1.3 is een zuid-noordraai weergegeven tussen het dal van de Oude IJssel en de Berkel. De stroomgebieden van de Oude IJssel wordt door de hogere gronden onder Keyenborg en Hengelo gescheiden van het stroomgebied van de Baaksche Beek, de scheiding tussen Baaksche Beek en Berkel is veel minder duidelijk zichtbaar uit deze dwarsdoorsnede.



Figuur 11. Dwarsraai IV met de sterke vermijding van de hellende zandstrook.

Figuur B1.3 Zuid-noord raai tussen de Oude IJssel en de Berkel naar Bon (1969).

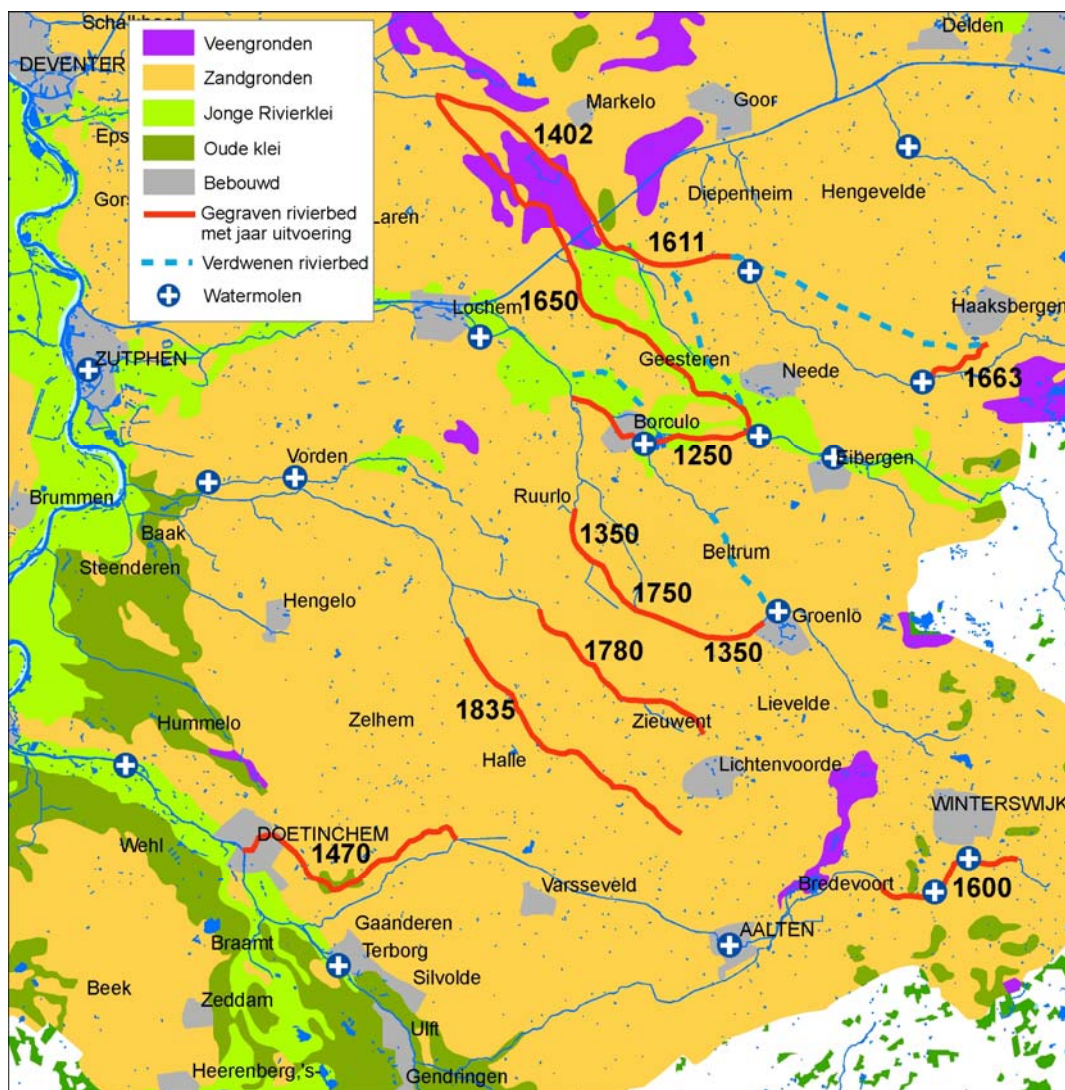
De topografie zoals hiervoor beschreven heeft grote invloed gehad op de ontstaanswijze van de verschillende beken en riviertjes in Oost-Gelderland. Voor de beekjes in de omgeving van Winterswijk is aangetoond dat deze ten dele kunstmatig zijn gegraven (Driessen en Van der Ven, 2000). Het ontstaat wordt voor het gebied van Winterswijk als volgt omschreven. Bij het begin van de ontginningen in de 11^e en 12^e eeuw werden de bossen gekapt. Daardoor ontstond wateroverlast (figuur B1.4). Het water verzamelde zich na regenval in de laagten tussen de dekzandruggen. Door verbindingseuilen te graven tussen deze laagten, kon het water worden afgevoerd. Deze gegraven verbindingseuilen gingen meanderen en door de grote stroomsnelheid sneden zij zich diep in. Uit deze verbindingseuilen zijn de diep ingesneden, meanderende Winterswijkse beken ontstaan.



Figuur B1.4 Ontstaan van beken in de omgeving van Winterswijk (Driessen et al, 2000)

Door de sterke helling en de ondiep voorkomende ondoorlatende keileem en tertiaire klei reageerden de beken op het Oost-Gelders Plateau snel op neerslag, en stroomde het overtollige water via de beekjes naar het Vlakke Midden, waar het water vervolgens stagneerde. In het Vlakke Midden ontbraken de natuurlijke beken, het water verloor zich in een gebied met broekgronden, natte heide en veen. Het weinig intensieve gebruik van dit gebied bestond uit plaggen, kleinschalige vervening, weidegang met vee, hooien en houtkap voor zover de waterstand het toeliet. Het gebied van het latere waterschap de Baaksche Beek bestond uit een aaneenschakeling van dergelijke natte gebieden, zoals Dalensche Veld en Zwarte Veen. Het water stagneerde hier, doordat de afstroming aan de oppervlakte aan de zuidkant werd belemmend door de eerdergenoemde dekzandrug van de Romienendiek en aan de west- en noordzijde door de dwarsrug van De Radstake naar Harreveld en Lichtenvoorde. Ten westen van deze rug lagen het Wildersveen en het Wolfersveen. Ten noorden van Zieuwent strekte zich nog het enorme en verlaten Ruurlosche Broek uit. In al deze gebieden ontbraken natuurlijke beken.

Aan de westelijke kant van de moerassen ontsprongen nieuwe beken die afstroomden naar de IJssel. Onder Ruurlo begon de Baaksche Beek die van daaruit westwaarts stroomde. Vanaf hier begon een strook landgoederen met watermolens (Bijlage 2) aan de beek (Huize Ruurlo, De Wiersse, Huize Vorden en Huis Hackfort).



Figuur B1.5 Gegraven gedeelten van beken in het Vlakke Midden van Oost-Gelderland naar Driessen en Van der Ven (2000)

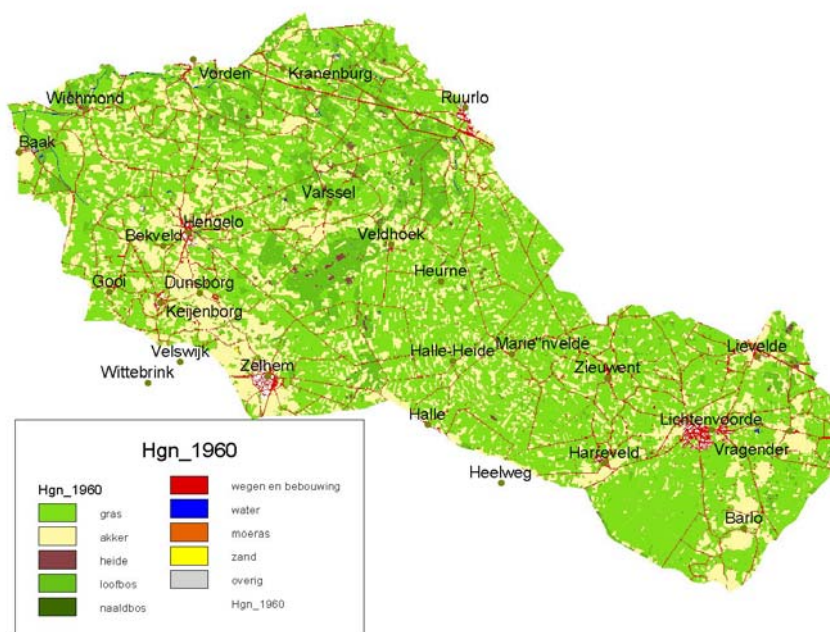
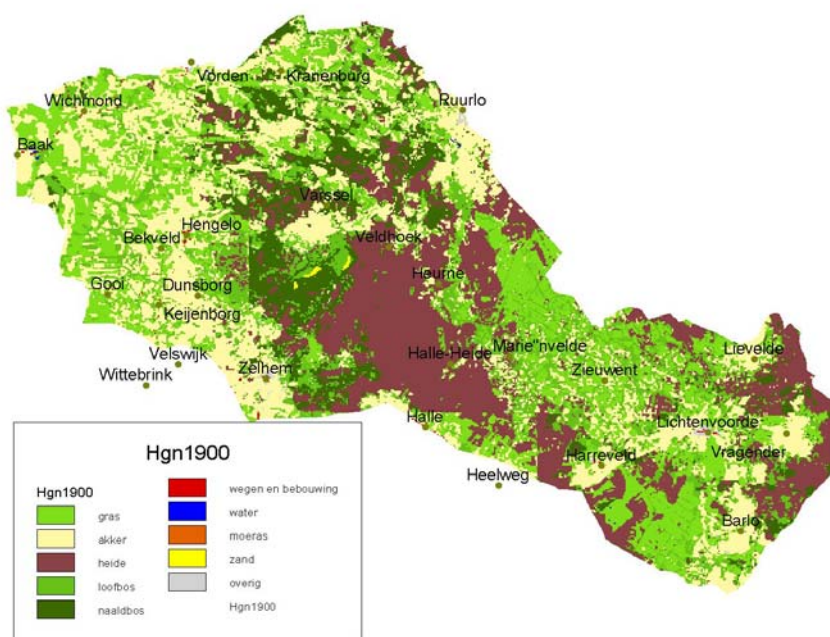
In de loop der tijd zijn deze moerassige laagten ontwaterd door verbindensgeulen te graven tussen de van het Oost-Nederlands Plateau komende beken en de naar de IJssel afstromende rivieren. De Baaksche Beek was in 1780 naar het oosten verlengd om meer watertoevoer te krijgen naar de Ruurlosche watermolen. Op oude waterstaatskaarten van omstreeks 1890 wordt dit gegraven gedeelte nog Molenbeek genoemd. In de periode 1829-1861 veranderde de waterhuishoudkundige toestand in het Vlakke Midden ingrijpend. In deze periode werden de voorheen onverdeelde, gemeenschappelijk gebruikte heide-, broek- en veengronden verdeeld onder de lokale grondgebruikers. Voor de verdeling berustte het eigendom bij de marke-organisaties. Een verkaveling ontbrak geheel of grotendeels. De ontsluiting vond plaats via kronkelige paden en karresporen. De ontwatering was minimaal; grote delen van het jaar stonden deze gebieden blank. Er bestonden wel enige waterlopen, onder andere om de molens benedenstrooms van een grotere wateraanvoer te voorzien, maar van grootschalige geregelde ontwatering over behoorlijke oppervlakten was geen sprake.

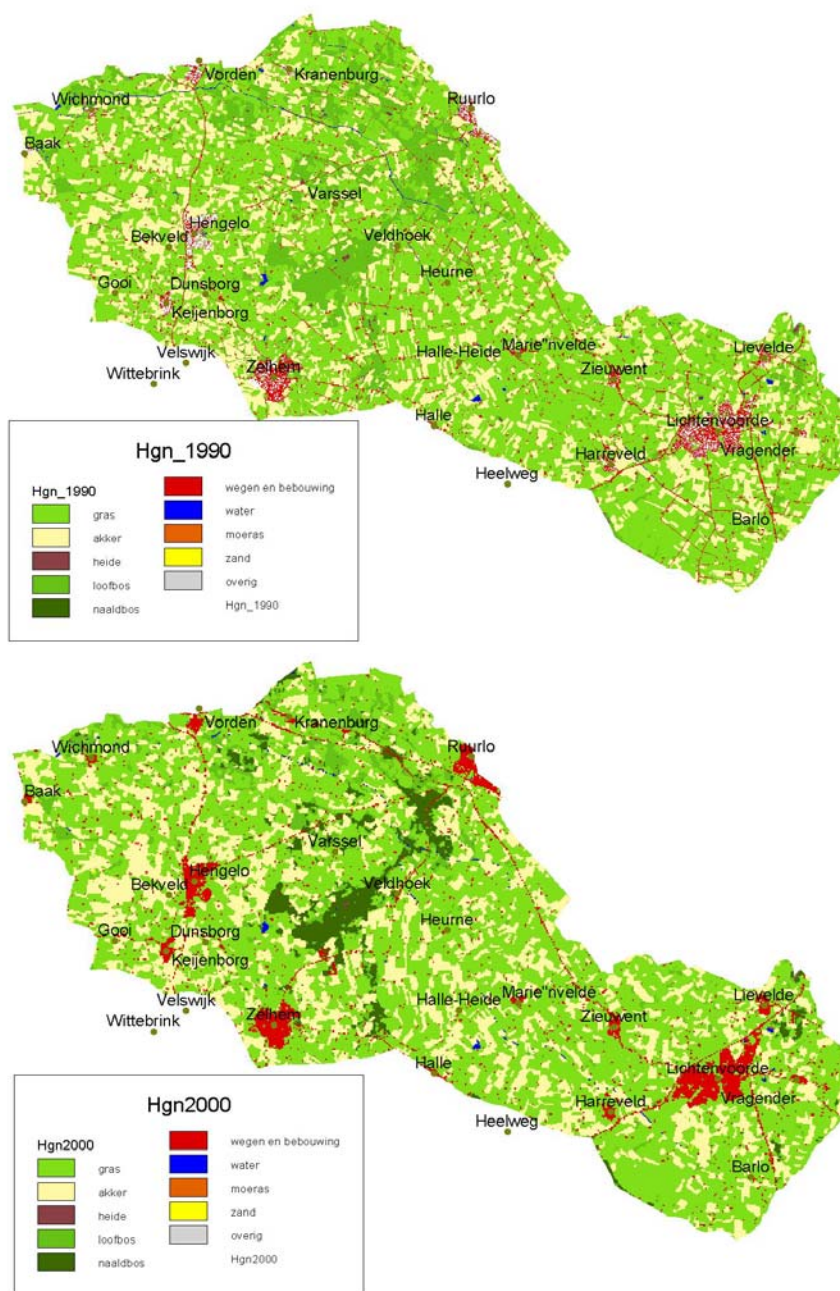
Voorafgaande aan de verdeling had de landmeter een plan van wegen en waterlopen gemaakt. Zo'n plan was verplicht om goedkeuring te krijgen van de Gedeputeerde Staten van Gelderland voor de verdeling van de marke. Door de uitvoering daarvan ontstond een rechthoekige structuur van onverharde ontsluitingswegen die vaak enigszins verhoogd werden aangelegd tegen wateroverlast en daarom "dijk" werden genoemd. Veel wegen in de Achterhoek eindigen nog op dijk. Tevens legde men een rechthoekige structuur van waterlossingen aan. Bij het ontwerpen en aanleggen van de nieuwe structuur kwam het ook voor dat de richting van de ontwatering gewijzigd werd, zodat deze verlegd werd naar een ander stroomgebied. Zo lag het landgoed "De Wildenborch" oorspronkelijk in het stroomgebied van de Baaksche Beek, maar ging met het graven van de Wildenborchse Veengoot over naar het stroomgebied van de Berkel. De ontwatering bleef oppervlakkig. Op de verafgelegen percelen nam de ontginning tot landbouwgrond geen hoge vlucht. Men was tevreden met hooiland. Bovendien was er gebrek aan meststoffen. Waarschijnlijk steeg door de oppervlakkige ontwatering de zomerproductie waardoor de boeren in staat waren om meer en regelmatig hooi te winnen. Toch had deze oppervlakkige ontwatering grote gevolgen voor het benedenstroomse gebied. De bufferwerking van het Vlakke Midden nam door de verdeling en de daaropvolgende ontginning sterk af, hierdoor nam de wateroverlast benedenstrooms toe, zie bijlage 2. Al in 1893 werden daarom plannen gemaakt voor de verbetering van de Baaksche Beek en de Veengoot. De uitvoering vond pas plaats na de oprichting van het waterschap van de Baaksche Beek, en wel in de jaren 1920-1930. Een gevolg van de verminderde bufferwerking was ook dat de Baaksche Beek een onregelmatige waterafvoer kreeg. Dit had vergaande gevolgen voor de molens, deze moesten het hebben van een gestage aanvoer van water. De molens van Huize Ruurlo en van De Wiersse werden in de periode van de verdeling van het Ruurlosche Broek al vroeg onttakeld. De molen van Huize Vorden volgde later, kort na 1850. De meest benedenstrooms gelegen molen van Huizen Hackfort, bleef draaien tot in de 2^e Wereldoorlog.

De Veengoot is aan het eind van de jaren 1830 en mogelijk deels ook nog in de jaren daarna gegraven. Een plan daarvoor dateert uit 1839. Bij de aanleg was de Hissinkbeek, die begon bij Veldhoek onder Ruurlo, stroomopwaarts verlengd tot aan het Aaltensche Goor.

Een opvallende kwestie was de periodieke overstroming van de Veengoot, zodat delen van het Ruurlosche broek blank kwamen te staan ook in het groeiseizoen. In de winter accepteerden boeren water op het land maar niet in het groeiseizoen.

Door de ontginning veranderde het grondgebruik in de periode 1850-2000. In figuur B1.6 is voor de jaren 1900, 1960, 1990 en 2000 het grondgebruik in het stroomgebied van de Baaksche Beek weergegeven. In 1850 is nog veel bos en heide aanwezig. Dit is in 1960 bijna geheel verdwenen. Verder zien we tussen 1960 en 1990/2000 een sterke toename van de verstedelijking.





B1.6 Landgebruik in stroomgebied Baaksche beek in 1900, 1960 en 2000

Bijlage 2 Beschrijving van de toestand van het gebied van de Vordensche beek door Willem Staring

113 Vordensche Beek

Beschrijving

De Vordensche beek ontspringt op de hoge gronden der buurtschap Vragender, en draagt den naam van Vragender beek, tot aan het Breede slat, boven Lichtenvoorde. Voorheen liep de beek dan verder naar de kom van het dorp, doch men heeft die door het graven der Nieuwe beek, reeds voor het jaar 1818, meer noordwaarts geleid, en beneden het dorp, door de waterleiding die men nu de Oude beek noemt, weder op de Lichtenvoordensche beek gebragt. Bij de verdeeling der Lichtenvoordensche markengronden is de rigting der beek nog meer noordelijk gebragt, en, tusschen den weg van Lichtenvoorde naar Groenlo, en de Ruurlosche grens, geheel nieuw door de te verdeelen gronden gegraven. Het gedeelte nu, van het Breede slat tot aan den mond der Lichtenvoordensche beek, is bekend onder den naam van Nieuwe beek. Bij den Koningsstoel komt de beek uit de gemeente Lichtenvoorde binnen die van Ruurlo, wordt daar Ruurlosche beek en Molenbeek genoemd, en doorsnijdt het Ruurlosche tot bij Spijzerij, waar zij onder Vorden komt.

Na, onder den naam van Vordensche beek, langs de huizen Wierse, Medler, Vorden en Hackfort te zijn gestroomd, vormt de beek, voor een klein gedeelte, de grens tusschen de gemeenten Vorden en Warnsveld, loopt voorts geheel over het Warnsveldsche tot hij den mond der Hengelosche of Baaksche beek, wordt hier Hackfortsche beek genoemd, en scheidt, onder den naam van Zwarte water, de gemeente Steenderen en Warnsveld, tot aan de Groene jager, waar zich de beek in den regter oever van den IJssel uitstort.

Lengte, verval, enz.

In de IX^e Bijlage zijn de lengte- en dwarsdoorsneden opgegeven, en daaruit, alsmede uit de opgaven in de I^e Bijlage, is te zien dat de geheele lengte, langs den stroomdraad gemeten, ongeveer 42800 ellen¹, of bijna 8 uren gaans bedraagt; terwijl het verval over die lengte, zonder opstuwingen in aanmerking te nemen, 29,6 el, dat is 0,0006916 op de el beloopt.

De breedte is afwisselend van 5 tot 6 ellen, neemt op sommige plaatsen toe tot 7 en 8 ellen, vermindert, onder Lichtenvoorde, tot 1,1 el¹, en daar beneden. Bij Baak en Hackfort is de diepte van het bed beneden den beganen grond 2 tot 3 ellen, doch deze diepte neemt boven Vorden sterk al, en wel tot 1,1 el, terwijl het Lichtenvoordensche gedeelte deze diepte over het algemeen behoudt, of althans, tot het Breede slat, niet minder dan 0,7 of 0,6 el diep wordt.

Zijtakken

De groote menigte zijtakken der Vordensche beek zijn beter in de I^e Bijlage, met behulp der algemeene kaart, na te gaan dan uit eene hier te geven beschrijving.

In de genoemde bijlage is het getal der zijtakken op zes en vijftig gebragt, doch een aantal van die afwateringen zijn van een zeer gering belang. Van de

¹ Voor betekenis el en AP zie bijlage 8

voornaamste, zoo als de Lichtenvoordensche beek, Hissinkbeek en de Hengelosche beek, zal nadere melding worden gemaakt.

Stroomdal

Het stroomdal der Vordensche beek strekt zich uit over 28433 bunders, behoorende tot de volgende gemeenten:

Naam der gemeente	Onderdeelen	Bundertal van het afwaterend gedeelte	Tot welk stroomgebied het overige der gemeente behoort
Aalten	Barlo, Schaarsheide, Zwarte veen	1950	Oude IJssel
Eibergen	Beltrumsche veld	728	Berkel, Schipbeek
Groenlo	Zuidwestelijk gedeelte	84	Berkel
Hengelo	Geheel	4940	
Laren	Een gedeelte van Barchem	251	Onderlaatsche laak, Berkel, Harfsensche beek, Dortherbeek
Lichtenvoorde	Zieuwent en het grootste gedeelte van Lievelede, Vragender en Lichtenvoorde	6028	Oude IJssel, Berkel
Ruurlo	Wassinkhoek, de Bruil, Winkelerhoek, Zieuwent, de Haar, Veldhoek, Formerhoek en een gedeelte van het dorp en van Everwenninkhoek	3826	Berkel
Steenderen	Baak, Kovik en een gedeelte van Bakerweerd, Bronckhorst en Toldijk	1620	IJssel, Hummelosche beek
Vorden	Delden, Mossel, Linde en een gedeelte van het dorp	3949	Onderlaatsche laak, Berkel
Warnsveld	Wichmond	510	IJssel, Runneboomslaak, Onderlaatsche laak, Berkel
Wisch	Een gedeelte van den Heelweg	30	Oude IJssel, Hummelosche beek
Zelhem	Zelhem, Oosterwijk en een gedeelte van Halle	4519	Oude IJssel, Hummelosche beek
Te zamen		28435	

Bij de beschrijving der Hummelosche beek is opgemerkt, dat het water, door de Hengelosche beek uit de Hummelosche afgevoerd, op de Vordensche beek wordt gebragt, en men alzoo een zesde gedeelte van de gronden, onder Stad en Ambt

Doetinchem, Wisch en Zelhem gelegen, en op de Hummelosche beek afwaterende, tot het gebied der Vordensche beek moet tellen. Dit zesde gedeelte bedraagt 648 bunders, zoo dat het stroomgebied der Vordensche beek op 29035 bunders kan worden gerekend.

Stuwen en watermolens

De opstuwingen van de Vordensche beek zijn vier in getal, en hebben oorspronkelijk alle tot het drijven van graanmolens gediend, doch thans is dit alleen met de beide benedenste stuwen het geval, terwijl de andere slechts strekken, tot het op peil houden der grachten bij de huizen Ruurlo en Wierse.

1. De Ruurlosche stuw is nagenoeg in denzelfden toestand gebleven, als voor het wegruimen van het loopend werk, en is wijd tusschen de regtstandsmuren 5,34 el. Deze ruimte is door houten stijlen in vijf schutten verdeeld, met de volgende afmetingen:

No van het schut, van den linker oever geteld	Wijd in den dag	Hoog boven den dorpel
1	0,89	0,87
2	0,83	0,86
3	0,85	0,83
4	0,85	0,83
5	0,89	0,85
Te zamen	4,31	

De gemiddelde hoogte der schutten boven den dorpel is alzoo 0,85 el, en daar hiervoor, tijdens het bestaan van den molen, in 1820, door den Kapt. Ingenieur Westenberg 1,15 is opgegeven, moet de stuwhoogte sinds dien tijd 0,3 el verlaagd zijn geworden.

De Ruurlosche stuw is nimmer aan een bepaald peil onderworpen geweest, doch men beweert dat het water thans ongeveer zes palmen minder hoog wordt opgestuwd, dan voor het wegruimen van den molen plaats had.

De slagdorpel ligt op 13,65 +AP (*dit is waarschijnlijk 15,65 +AP*)

De hoofdbalk ligt op 17,538 +AP

De gemiddelde stuwhoogte is 16,50 +AP.

Boven de stuw wordt het water, door een steenen schuif, in de gracht van het huis Ruurlo gebragt, en het overtollige, door eene opening in den steenen beer onder de brug voor het huis, weder op het bovenpand geloosd. Beneden het eerste schut van de stuw is een aalkorf² geplaatst. De werken behooren, even als het regt van stuwen, tot het huis Ruurlo, en worden in goeden staat gehouden.

2. De stuw bij de Wierse is voor ruim twintig jaren gebouwd, en vervangt de daar bestaan hebbende watermolen. De tegenwoordige dam is echter beneden de voormalige molenkolk geplaatst. Nadat de kolk tot eene waterpartij vergraven, en de stuw geplaatst was, wierp zich eene groote hoeveelheid zand uit de beek in den pas

²) Aalkorf is wegneembaar staketsel in stromend water, met een opening in het midden voor netten, fuiken of korven om aal of vis te vangen, ook wel aalstal genoemd

gegraven en uitgediepten vijver, en daarop werd onder de brug boven den aanleg een tweede afsluiting aangebragt, waardoor men er dan ook in is geslaagd, om de verzanding te stuiten.

De benedenste stuw is van hout gebouwd, en 5 ellen wijd tusschen de landhoofden. Midden op den dorpel is een stijl geplaatst, waardoor de opening in twee vakken, van 2,41 en 2,45 wijdte wordt verdeeld. Beneden den dorpel loopt de vloer 0,66 el af, en brengt dan het water op een tweeden vloer, die weder 0,25 el lager, en aan het benedeneind 0,77 el beneden de slagdorpel ligt.

De slagdorpel ligt op	13,68 +A.P.
De landhoofden liggen op	14,384 +A.P.
De stuwhoogte, door het opzetten van stuwplanken te verkrijgen	14,32 +A.P.

De brug boven de Wiersse is, in twee openingen, 4,9 el wijd, en van een houten vloer en stortbed voorzien.

Boven de vloer is de beek door eene rei damplanken afgesloten, ter hoogte van 0,75 el boven den vloer, welke afsluiting, door er nog eene plank op te zetten, tot 0,90 el boven den vloer kan verhoogd worden.

De vloer ligt op	13,24 +A.P.
Bovenkant der vaste opstuwing	13,99 +A.P.
Stuwhoogte, door het opzetten van stuwplanken te verkrijgen	14,22 +A.P.

Op den 28^e Junij 1844 was bij de benedenstuw een verval van 0,85, en bij de bovenstuw van 0,3 el. Volgens de Memorie van den Kapt. Ingenieur Westenberg, was de watermolen bij de Wierse in vier schutten verdeeld, en tusschen de uiterste stijlen 4,8 el wijd. De slagdorpel lag op 14,13 +A.P. en derhalve 0,45 hooger dan die van de tegenwoordige stuw, of 0,14 hooger dan de vaste opstuwing boven de vijvers.

Het regt van stuwen, en de werken, behooren tot het huis de Wierse.

3. De watermolen bij het huis te Vorden is 5,8 el wijd tusschen de gemetselde landhoofden, en verdeeld in 5 schutten.

De vier linker schutten zijn wijd.

No 1	0,77 el
No 2	1,00 el
No 3	1,00 el
No 4	1,00 el

Te zamen 3,77 el

Het regter schut, waardoor het maalwater afstroomt, is 0,86 el wijd.

De vloer en slagdorpel liggen op	11,10 +A.P.
De stuwhoogte	12,90 +A.P.
De bovenkant van den regter steenen sponningstijl, waar de waterpasbaak gestaan heeft	13,1075+A.P.
De bovenkant van den hoofdbalk	13,28 +A.P.

De molen heeft een onderslagrad, waardoor een graanwerk wordt gedreven. Het verval is gewoonlijk 1,4 el, doch neemt bij hoog water af tot 0,7 en 0,6 el.

Op den 1^e Mei van ieder jaar worden de vloedschutten uitgenomen, en op het erve Bluemink bewaard, tot op den 17 September, of St. Lambert, als wanneer die

weder worden ingezet, en de molen verder aan geen peil onderworpen is. De weilanden boven de molen liggen op 11,4 boven A.P., dat is drie palmen boven de slagdorpel, en worden dus door het stuwen onder water gezet, doch deze gronden zijn, even als de molen, het eigendom van den heer van Vorden.

Het belastbaar inkomen van den molen is kadastraal aangeslagen op f 100,=

4. De Hackfortsche molen is in vijf schutten verdeeld, en heeft een enkel onderslagrad, van 4,85 el middellijn, waardoor een graanmolen in beweging wordt gebracht, en dan beneden het schut aan den regter oever geplaatst is. De geheele opening tusschen de regtstandsmuren bedraagt 5,54 el, terwijl de afmetingen der schutten verder zijn:

No van het schut, van den linker oever geteld	Bestemming	Wijdte in den dag van de		Hoog boven den dorpel
		Vloedschutten	Maalschutten	
1	Vloedschutten	0,75		1,60
2		0,90		1,60
3		0,90		1,49
4		0,91		1,45
5	Graanmolen		0,91	1,51
	Te zamen	3,45	0,91	
4,36				

De slagdorpel ligt op 9,22 + A.P.

De stuwhoogte is gemiddeld 1,33 el
boven den slagdorpel, of

10,75 + A.P.

De hoofdbalk, tusschen het 4^e en 5^e schut

11,255 + A.P.

Hebbende de baak op dit punt gestaan.

Het verval was bij zomerwater 1,9 el.

De heer van Hackfort is eigenaar van den molen, en aan geenerlei peil of tijdsbeperking gehouden. De kadastrale aanslag van het inkomen bedraagt f 160,=

Afwatering

De Vordensche beek verkeert in een zeer gebrekkige toestand, en is, sedert de verdeling der woeste gronden onder Ruurlo, Vorden en Zelhem plaatsvond, en ook onder Lichtenvoorde die verdeling is begonnen, al langs hoe minder voldoende geworden tot het verzwelgen van het aangevoerde water.

De helling van het bed is ver van regelmatig, zoo als dit uit het lengteprofiel, in de IX^e Bijlage opgegeven, genoegzaam kan blijken.

Onder de brug bij den Boterboer, 635 ellen boven den mond gelegen, verheft zich het bed 3,07 el boven A.P., terwijl de beek bij Lichtenvoorde, waar die de nieuwe weg naar Groenlo snijdt, op 20,2 el + A.P. ligt. De afstand tusschen deze punten is 37775 ellen, gemeten langs de beek, en de regelmatige afhelling zoude dus 17,13 el op den geheelen afstand, of per el 0,0004535 bedragen.

Verbeeld men zich een vlak dat door de genoemde punten gaat, en derhalve deze regelmatige afhelling voorstelt, en brengt men dit vlak in verband met het

lengteprofiel dat de waterpassing en peiling heeft doen kennen, zoo kan men daaruit zien, in hoeverre de bedding van die regelmatige helling afwijkt. De uitslag dezer vergelijking is als volgt:

N° uit Bijlage IX	Afstand der punten tot den mond	Hoogte boven A.P.		Hoogte boven of beneden het vlak	Aanduiding der punten
		Van de punten op de beek	Van het vergelijkingsvlak		
1	635	3,07	3,07	0	Bed onder de brug bij den Boterboer
3	2460	4,70	3,90	+0,80	Bed onder Wullinkbrug
6	3975	6,02	4,58	+1,44	Bed bij den mond der Hengelosche beek
11	5540	6,10	5,30	+0,80	Bed onder de Eijlersbrug
14	7650	8,29	6,25	+2,04	Bed boven den Hackfortschen molen
		9,22	6,25	+2,97	Slagdorpel van dien molen
		10,75	6,25	+4,50	Stuwhoogte van dien molen
+21	11545	10,09	8,02	+2,07	Bed boven den Vordenschem molen
		11,10	8,02	+3,08	Slagdorpel van dien molen
		12,90	8,02	+4,88	Stuwhoogte van dien molen
27	13670	10,70	8,99	+1,71	Wientjesbrug
36	17105	12,08	10,54	+1,54	Bed onder de brug bij Ongerijf
42	19195	13,24	11,48	+1,76	Vloer beneden de bovenste stuw bij de Wiersse
		13,99	11,48	+2,51	Vaste opstuwing aldaar
52	23110	14,45	13,26	+1,19	Bed beneden de Ruurlosche stuw
		15,65	13,26	+2,39	Slagdorpel van die stuw
		16,50	13,26	+3,24	Stuwhoogte van die stuw
55	25820	15,51	14,49	+1,02	Bed onder Vellersbrug
58	28535	16,58	15,73	+0,85	Bed onder de brug in den Batsdijk
63	32030	17,70	17,33	+0,37	Bed onder de brug bij de Bekke
69	34880	18,36	18,60	+0,24	Bed onder de brug in den Bedelaarsdijk
76	38410	20,20	20,20	0	Bed onder de brug in den nieuwen weg van Lichtenvoorde naar Groenlo

Deze belangrijke verschillen in hoogte, vooral door de kunstmatige opstuwingen te weeg gebracht, moeten noodzakelijk een zeer gebrekkige afvoer van water ten gevolge hebben, en men heeft dan ook niet ten onrechte reeds voor vijftig jaren pogingen aangewend, om door het afkopen van het stuwregt der twee benedenste molens, een groot gedeelte der bezwaren weg te ruimen.

De eigenaar van den Vordenschen molen ontving f 150 pacht, en eischte f 5000 als schadevergoeding voor het wegruimen van dat werk, en wel onder uitdrukkelijk beding, dat ook de Hackfortsche molen zoude worden afgebroken, ten einde deze geen nadeel zoude doen aan den windmolen te Vorden. De eigenaars van den Wildenborch en van het Medler trachtten de belanghebbenden te bewegen, tot het bijeenbrengen eener som van f 12000 voor deze onteigening, en stelden onder andere voor, daartoe eenige der toen nog onverdeeld gronden van Vorden aan de gewaarden tot lagen prijs af te staan, doch hunne goede bedoelingen werden meer tegengewerkt dan ondersteund, en de zaak bleef rusten.

Bij de verdeeling van het Ruurlosche broek, en het ontwerpen der daarvoor noodige afwateringen, in 1832 en 1833, was men bedacht op de middelen tot verbeterden afvoer langs de Vordenschen beek.

Waar de beek door het broek liep, en over het algemeen zeer gebrekkig was, is die gerigt, en op eene bodembreedte van 2 ellen ontworpen, bij eene diepte van 1,5 el beneden de oevers, of, op lage plaatsen, beneden de kruin der kaden, die 3 ellen breed zouden worden. De boorden bekwamen een helling van anderhalf maal de hoogte.

De ingenieurs van den waterstaat Dibbets en Fijnje, bragten een verslag uit over de ontworpen waterleidingen onder Ruurlo, en in dit stuk, dat de dagteekening draagt van 8 Mei 1833, werd ten opzichte van de Vordensche beek aangedrongen op het regelen der molenpeilen, het verlagen der vloedwerken, of, als een meer afdoend middel, op de geheele wegruiming der watermolens.

Ook wordt daarin gewaagd van het ontwerp tot ontlasting der Lebbinkbeek naar de Onderlaatsche laak, door middel van een geheel nieuw kanaal, als zullende daarvoor een groot gedeelte van het Ruurlosche broek kunnen afwateren, en de verbetering der Vordensche beek minder noodzakelijk worden. Over dit kanaal, omstreeks 1818 door den heer Staring van dan Wildenborch ontworpen, is op blad. 28 van het Verslag over de Berkel breder gehandeld.

De ontwerpen tot de waterleidingen in het Ruurlosche broek, zijn aan het oordeel van de hoofden der daarbij belanghebbende Gemeenten onderworpen, in eener vergadering te dien einde op den 10 Junij 1833 te Vorden gehouden, en daarbij, behalve de leeden van de hoofdcommissie tot de verdeeling van het Broek, een Lid van Gedeputeerde Staten en de Provinciale Ingenieur van den Waterstaat, de vertegenwoordigers voor de besturen der gemeenten Borculo, Ruurlo, Laren, Vorden, Gorssel, Lochem en Warnsveld waren vereenigd. De gevoelens waren vrij sterk uiteenlopend, doch men was het er over eens, dat de uitvoering der werken niet mogt plaats hebben, zoo daardoor aan de onderliggende gemeenten meer water dan vroeger werd toegevoerd, en wel meer dan men door gewoon schouwen en ruimen zoude kunnen doen afdragen. Vorden drong zeer aan op het verruimen der Vordensche beek en Hissinkbeek, terwijl Borculo, Laren, Lochem en Gorssel groote verbeteringen verlangden in den afvoer van het Berkelwater, alvorens men tot de ontworpen vergravingen in het Broek mogt overgaan. De heer van Hackfort bood

aan, zijn watermolen geheel weg te ruimen, en wel met de stuwen, vleugels, vloed- en stortbed, en al wat er verde toe behoort, tegen eene schadeloosstelling van f 1500.

Ten gevolge van het op deze vergadering overeengekomene namen Gedeputeerde Staten hun Besluit van 14 Junij 1833, N^o 27, waarbij het ontwerp der waterleidingen in het Ruurlosche broek goedgekeurd, doch der Commissie met de uitvoering belast opgedragen wordt te zorgen, “dat door de daarstelling der geprojecteerde waterontlastingen, geene verkregene regten der onderliggende eigenaren worden gekrenkt, noch ook nadeelen veroorzaakt, welke die onderliggende zelve, door gewone middelen van ruiming niet kunnen opheffen; in hoedanige gevallen HEd. Gr. Achtb. zich wel uitdrukkelijk de bevoegdheid voorbehouden, onmiddellijk de staking der werken te gelasten.”

De werken in het Broek zijn, even als de verlenging der Hissinkbeek tot tegen het Aaltensche (*dit is de Veengoot*), na dit besluit uitgevoerd, doch aan het opruimen der stuwen of het geven van meerdere ruimte aan de benedenste vakken der Vordensche beek is nog geen hand geslagen, hoewel het niet te ontkennen valt, dat de gewone middelen van ruiming in lang na niet kunnen volstaan, tot het afdragen van den sterk vermeerderden toevoer.

Tot in den zomer van het jaar 1844 bestond er eene brug in den weg, die achter het huis Medler den regter oever der beek begrenst. Bij hooge vloed liep het water door deze brug naar de Wiersche broek, en door de Wiersche laak weder naar de beek terug. Thans is die brug door een dam vervangen, en wordt alzoo die overstroming gekeerd.

Verbeteringen.

Uit het voorgaande blijkt dan, dat de aan te brengen verbeteringen zullen moeten bestaan:

- A. In het verlagen van de slagdorpels der molens en stuwen, of het geheel opruimen van die werken.
- B. In het afsnijden van bogten, waar dit met voordeel kan geschieden.
- C. In het ruimer maken en uitdiepen der beek, gepaard met
- D. Het verruimen der bruggen die op eenige plaatsen het dwarsprofiel aanmerkelijk vernauwen.

Hissinkbeek, Oude Hissinkbeek

Bij de verdeeling van Zelhem en Lichtenvoorde is een belangrijke toevoer van water op deze beek gebragt, en wel langs den weg van Vorden naar de Tolhutte, door eene waterleiding die men, om hare meerdere ruimte, als de eigenlijke hoofdafwatering moet beschouwen.

Het gedeelte der beek, boven het punt waar de nieuwe leiding of Veengoot in den linker oever valt, kan men gevoeglijk de Oude Hissinkbeek noemen.

Bijlage 3 Beschrijving van de toestand van het gebied van de Vordensche beek

**Bron: Departement van Landbouw, Nijverheid en Handel, 1917, no.1.
De invloed van den waterafvoer op het Nederlandsche landbouwbedrijf.
Verslagen en Mededelingen van de directie van den landbouw, no. 1. ,s-Gravenhage.**

Dit rapport meldt algemeen over de lage zandgronden in Gelderland

De lage zandgronden daarentegen ondervinden veel last en schade van te veel water in den winter, terwijl dit bij veel regen ook in den zomer niet zelden het geval is. De watergangen zijn hier over het algemeen genomen slecht in orde en van te geringe capaciteit. Vooral sedert de ontginning van veel woeste gronden, die nu in veel grooter hoeveelheden en veel sneller dan vroeger het water afvoeren, doen zich de bezwaren sterker gevoelen.

Onder de maatregelen ter verbetering van den toestand zou in de eerste plaats genoemd moeten worden het verbeteren van de verschillende watergangen. Men zal er daarbij echter voor moeten zorgen, dat het grondwater in droge tijden niet een te lagen stand aanneemt, zoodat de bezwaren, welke men na de normalisering van de Berkel en enkele andere rivieren heeft ondervonden, worden vermeden. Er zullen derhalve regelingen getroffen moeten worden, waardoor het water zoo noodig ook kan worden opgehouden, zoo mogelijk zelfs voor regelmatige bevoeiing gebruikt.

In de tweede plaats is het hoogst wenschelijk, dat het recht om voor een watermolen het water op te stuwen wordt afgekocht of onteigend. Het kleine particuliere belang zal hier voor het grootere algemeene belang moeten wijken.

Om in dezen iets te bereiken, zal men, waar dit nog niet is geschied, waterschappen moeten oprichten. De gemeenten namelijk zijn, wat de regeling van den waterafvoer aangaat, niet alle even actief, terwijl er bovendien dikwijls strijd van belangen heerscht tusschen de gemeenten onderling.

Dit rapport meldt specifiek over het gebied van de Baaksche Beek

In het gebied omvattende grootendeels de gemeenten Lichtenvoorde, Ruurlo, Vorden, Aalten, Wisch, Zelhem, Hengelo, Warnsveld en Steenderen, laat de afvoer van het overtollige water nog veel te wenschen over. Het water moet in dit uitgebreide gebied namelijk geloosd worden door enkele beekjes, waarvan de Vordensche of Hackfortsche beek de belangrijkste is.

Reeds jaren klaagt men over de gebrekkige regeling van de waterlossing. In de Zutphensche Courant kwamen in Augustus 1915 over dit onderwerp enkele belangrijke artikelen voor, waaraan het volgende is ontleend:

Reeds in 1870 hebben de gemeenten Lichtenvoorde, Zelhem en Ruurlo pogingen aangewend om verbetering in den gebrekkigen staat van zaken te verkrijgen.

Ten gemeentehuize van Vorden vergaderden op 12 september 1892 de betrokken gemeentebesturen daartoe op verzoek van belanghebbenden door Gedeputeerde Staten bijeengeroepen, om van gedachten te wisselen over “de

mogelijkheid tot het aanbrengen van verbetering in den waterafvoer der beken, gelegen in het stroomdal tusschen het gebied der waterschappen van den Berkel en den Ouden IJssel.

Daar waren vertegenwoordigd de gemeentebesturen van: Aalten, Hengelo, Lichtenvoorde, Ruurlo, Steenderen, Vorden, Warnsveld en Wisch en het bestuur van het Ruurlosche Broek. Vrij algemeen werd erkend, dat zoowel het toezicht over de wijze, waarop het onderhoud plaats heeft, als de toestand der waterleidingen verbetering eischt. Een rapport over den toestand zelf werd wenschelijk geoordeeld. In het onderzoek zou, ter beperking der kosten, slechts worden opgenomen: de Lichtenvoordsche, Ruurlosche, Vordensche en Hackfortsche beek tot op het punt, waarop deze in den Gelderschen IJssel loopt; de Veengoot onder Aalten, Lichtenvoorde, Zelhem, Hengelo, Ruurlo en Vorden, als zijnde deze beken de hoofdadars, welke de streek doorsnijden, met een gezamenlijke lengte van 77 K.M.

Men was overtuigd, dat de negen betrokken gemeenten samenwerking hadden bereikt voor eene zaak, die gedurende eene reeks van jaren aanleiding gaf tot regelmatige klachten. Trouwens de op het punt van de waterleidingen bestaande provinciale verordening dateert reeds van 1833, doch deze werd tot heden nog nimmer uitgevoerd, zoodat het onderwerp slechts onvoldoende regeling vindt in van inhoud zeer verschillende en zonder overeenstemming met naburige gemeenten – welke belangen daarbij zeer dikwijls nauw betrokken zijn – tot stand gekomen plaatselijke verordeningen, terwijl aan nakoming ervan niet overal met de noodige zorg de hand wordt gehouden, wel eens als gevolg van vaak tegenstrijdige belangen tusschen hooger en lager gemeenten. Voorts is er verschil van inzicht omtrent de wijze van onderhoud hier, niet genoegzaam doortastende maatregelen ginds, geringschatting van het belang bij den een, opvatting van machtsbevoegdheid bij den ander, oorzaak van den huidigen, onhoudbaren toestand.

In de vergadering ten gemeentehuizen te Vorden had zich eene voorloopige commissie gevormd, welke zich wendde tot de Staten van Gelderland met het verzoek om subsidie uit de provinciale fondsen in de kosten van het maken van een ontwerp tot verbetering dier waterleidingen.

Het resultaat is geweest, dat de Staten besloten een gedeelte van deze kosten te dragen en dat de heeren van Hasselt en de Koning te Nijmegen in Mei 1895 een rapport indienden.

Zij schreven o.a.: “De afwatering van vele der op de beken lossende terreinen is gebrekkig tengevolge van tijdelijk hooge standen der beken. Deze standen worden deels veroorzaakt door het onvoldoende profiel der hoofdbeken, deels door de stuwen, deels doordat de zijbeken in onvoldoende staat verkeerden. In dit opzicht valt in de eerste plaats het oog op de terreinen langs de Nieuwe beek, bij de beek langs Rooks, de beek door Zieuwent, een groot gedeelte van het Ruurlosche broek, boven de stuw aan de Wierse, nabij het Medler, boven de stuw te Vorden, alle lossende op de Hoofdbeek; het Aaltensche Goor, het Zwarteveen onder Wisch, terreinen onder Harreveld en aan den benedenmond der Hissinkbeek, alle lossende op deze beek en de Veengoot. Het benedenste gedeelte der Hoofdbeek, minstens tot aan de stuw bij Hackfort, wordt bij hooge rivierstanden van den Gelderschen IJssel beheerscht door deze rivier. De gebrekkige afwaterende gronden zijn deels heide, deels verzuurde weilanden; van verbetering der afwatering mag eene aanzienlijke verhooging van de opbrengst, dus ook van de waarde van deze terreinen verwacht worden. Te meer

omdat, wanneer de afwatering behoorlijk is geregeld, op verschillende langs de beken gelegen gronden eene rationeele bevoeiing kan worden toegepast.”

Volgens het ontwerp van genoemde ingenieurs zou de verbetering vooral gezocht moeten worden in verruiming van het dwarsprofiel en het afsnijden van eenige bochten. De verruiming zou meer moeten plaats hebben door verbreeding dan door verdieping, opdat de grondwaterspiegel in droge tijden niet te zeer verlaagd zou worden.

De waterspiegel zou bij hoog zomerwater op enkele plaatsen hooger zijn dan de aanliggende gronden; deze zouden aldaar tegen het water beschermd moeten worden door kaden, terwijl, voor zoover noodig, hunne waterlossing verzekerd zou worden door een watergang, langs de beken ontworpen en op een lager punt uitmondende. Deze kaden zouden bij eene regelmatige bevoeiing van groote waarde zijn. Verschillende stuwen en bruggen zouden moeten worden geruimd.

Tastbaar resultaat heeft het rapport niet gehad. De belangen der betrokken gemeenten zijn te ongelijk en soms ook tegenstrijdig. Oprichting van een waterschap zou zonder twijfel aan vele bezwaren tegemoet kunnen komen.

Hoe hoog de schade, teweeggebracht door de slechte afwatering van dit gebied, omvattende +/- 28 000 H.A., beloopt, is moeilijk te schatten. Vele lage gronden, en dat zijn in den regel niet de slechtste, zouden door eene goede waterlossing enorm gebaat zijn, terwijl de ontginning van vele terreinen eerst dan mogelijk wordt.

Bijlage 4 Kort overzicht van de verbeteringsplannen en uitgevoerde werken in de periode 1893-1980 in het gebied van het voormalige waterschap Baaksche Beek.

Het waterschap van de Baaksche Beek is opgericht in 1919.

In 1922 kwam de classificatie van gronden in 5 klassen gereed, die als grondslag diende voor de waterschapslasten.

Totaal kunnen in Oost Nederland drie waterhuishoudkundige verbeteringsronden worden onderscheiden vanaf 1893. Voor het gebied van de Baaksche Beek zijn deze hieronder samengevat, naar Driessen

Driessen A.M.A.J., G.P. van der Ven en H.J. Wasser, 2000. *Gij beken eenmignvloeiend. Water in de streek van Rijn en IJssel*. Stichting Matrijs. Utrecht.

1^e Verbeteringsronde 1893-1910

Baaksche Beek/Veengoot 1893-1895

- Doel: Wateroverlast in de bovenloop tegengaan, vooral in de zomer. De plannen zijn echter nooit uitgevoerd.
- Omlegging en afsnijding: Planning voor een verkorting van 1435 meter aan de bovenloop
- Vergroten afvoercapaciteit: Het plan was een vergroting van de afvoer door vooral de verbreding van de bedding, niet de verdieping
- Stuwen: Het plan was verruiming stuwen bij Ruurlo, De Wiersse, Vorden en Hackfort
- Kades en oevers: Het plan was om kaden langs de beken op te werpen om hoog water te keren.
- Kosten: Begroot f 172 000,00 in 1897 (Plan niet uitgevoerd).

2^e Verbeteringsronde 1920-1940

Baaksche Beek/Veengoot 1925-1940

- Doel: Zomer- en wintervloeden tegengaan.
- Activiteiten: Plannen 1925
Veengoot 1926 aangepakt
Secundaire waterlopen (1928-1940)
- Werken in werkverschaffing: Verbetering Baaksche Beek (1926-1927)
Veengoot (1927-1930)
Secundaire waterlopen tot 1940
- Verzanding: Doordat de waterlopen te veel werden uitgediept ontstond er verdroging (1932).

3^e Verbeteringsronde 1955-1980

Baaksche Beek/Veengoot 1960-1975

- Doel: Verbetering afvoer.
Verlaging van de grondwaterstanden
- Activiteiten: Verbetering bovenloop Baaksche Beek
Verbetering Veengoot

Graven van een Koppelleiding (Van Heeckerenbeek) tussen de Baaksche Beek en de Veengoot (1967).

- Vergroting afvoercapaciteit: Rechttrekken van de loop van de Baaksche Beek (1962)
Verdieping Veengoot (1964)
Verbreiding secundaire waterlopen vanaf 1972
- Ruilverkaveling: Eerste ruilverkaveling in het gebied bij Zieuwent-Harreveld (1964)

Infrastructurele werken (1955-1980)

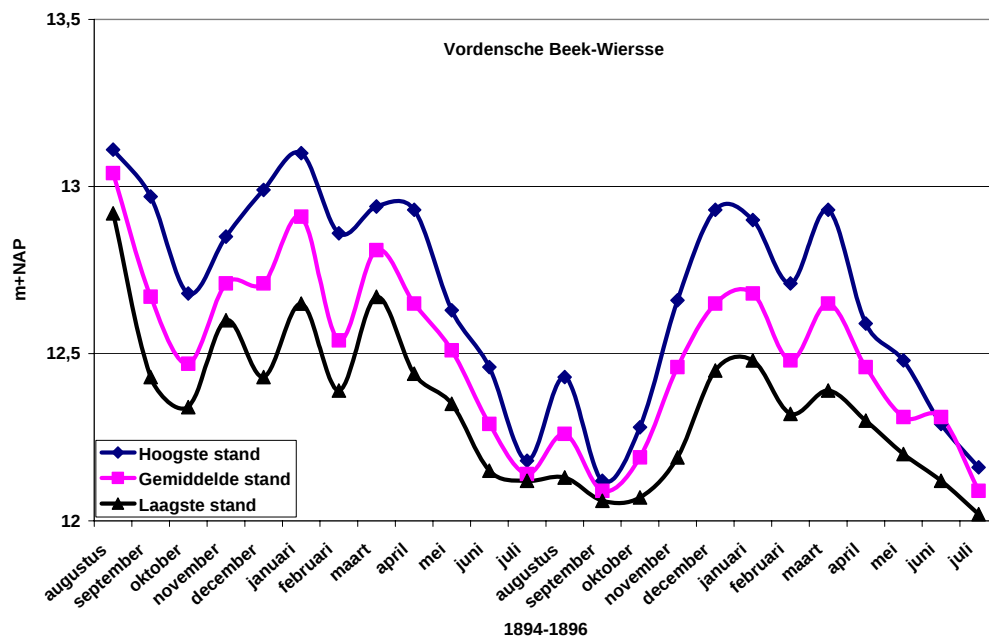
- Kades en oevers: 650 km watergangen in het waterschap
- Stuwen: Bouw van 80 stuwen in de Veengoot (?) tegen de verdroging
In totaal 58 vaste- en 79 regelbare stuwen in het gebied
- Uitlaatgemalen: Baaksche beek bij Baak
Grote Beek bij Bronkhorst
- Verzanding/zandvangen: Aanleg zandvang in de Zilverbeek bij Barlo aan de rand van het Oost-Nederlands Plateau
- Reductiereservoirs en inundatiegebieden: Inundatiegebied bij de monding van de Baaksche Beek.

Bijlage 5 Hydrologische gegevens verzameld door de Staatscommissie voor Bevloeiingen (1897)

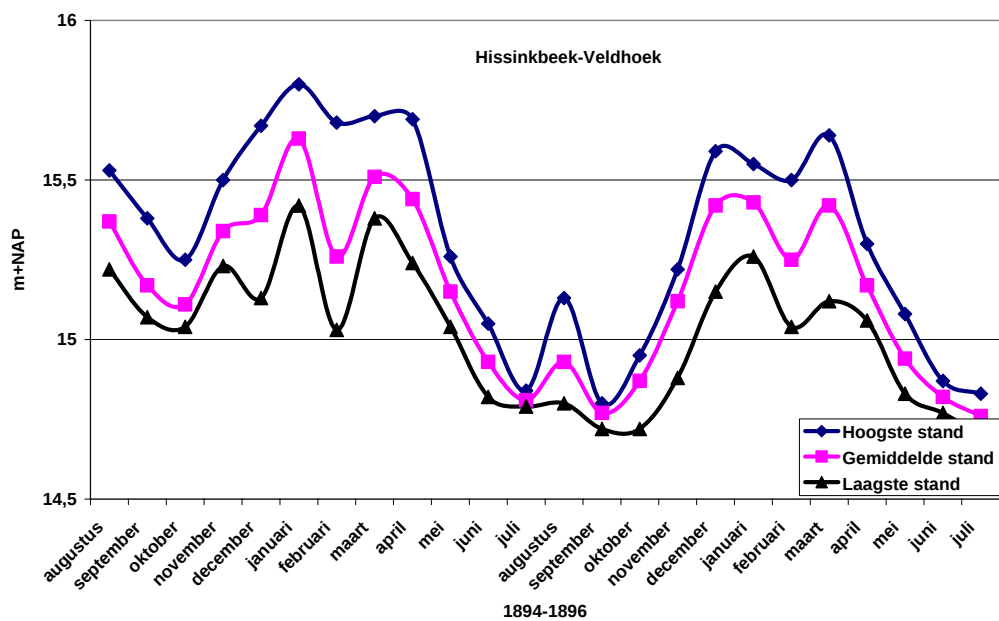
Tabel B5.1 Opperlaktewaterpeilen in het gebied van de Baaksche Beek

Locatie		Vordensche beek Wiersse			Hissinkbeek- Veldhoek			Hackfortsche Vorden			Hackfortsche Vorden			beek- Vorden		
Jaar	Maand	H ¹	G ¹	L ¹	H	G	L	H	G	L	H	G	L	H	G	L
m+NAP																
1894	augustus	13,11	13,04	12,92	15,53	15,37	15,22	10,26	10,12	10,03	7,11	6,88	6,71			
	september	12,97	12,67	12,43	15,38	15,17	15,07	10,20	10,07	9,92	6,86	6,51	6,26			
	oktober	12,68	12,47	12,34	15,25	15,11	15,04	10,14	10,06	9,94	7,16	6,40	6,21			
	november	12,85	12,71	12,60	15,50	15,34	15,23	10,19	10,08	10,00	7,51	6,83	6,42			
	december	12,99	12,71	12,43	15,67	15,39	15,13	10,25	10,11	9,94	6,94	6,55	6,16			
1895	januari	13,10	12,91	12,65	15,80	15,63	15,42	10,44	10,21	9,97	7,65	6,94	6,49			
	februari	12,86	12,54	12,39	15,68	15,26	15,03	10,28	9,84	9,60	6,74	6,25	6,08			
	maart	12,94	12,81	12,67	15,70	15,51	15,38	10,27	10,10	9,94	8,08	6,88	6,26			
	april	12,93	12,65	12,44	15,69	15,44	15,24	10,16	10,04	9,81	8,24	7,04	6,21			
	mei	12,63	12,51	12,35	15,26	15,15	15,04	10,14	10,03	9,86	6,53	6,33	6,10			
	Juni*	12,46	12,29	12,15	15,05	14,93	14,82	10,01	9,51	9,29	6,39	6,22	6,05			
	juli	12,18	12,14	12,12	14,84	14,81	14,79	9,32	9,26	9,21	6,06	6,04	6,01			
	augustus	12,43	12,26	12,13	15,13	14,93	14,80	9,57	9,42	9,27	6,31	6,23	6,05			
	september	12,12	12,09	12,06	14,80	14,77	14,72	9,25	9,16	9,10	6,03	5,9	5,8			
	oktober	12,28	12,19	12,07	14,95	14,87	14,72	9,55	9,31	9,09	6,00	5,96	5,88			
1896	november	12,66	12,46	12,19	15,22	15,12	14,88	10,12	9,90	9,53	6,60	6,26	5,95			
	december	12,93	12,65	12,45	15,59	15,42	15,15	10,19	10,07	9,85	7,43	6,8	6,27			
	januari	12,90	12,68	12,48	15,55	15,43	15,26	10,29	10,09	9,92	6,86	6,65	6,43			
	februari	12,71	12,48	12,32	15,50	15,25	15,04	10,15	10,03	9,90	6,60	6,27	6,04			
	maart	12,93	12,65	12,39	15,64	15,42	15,12	10,23	10,06	9,94	8,37	7,15	6,16			
	april	12,59	12,46	12,30	15,30	15,17	15,06	10,07	10,05	9,94	6,65	6,33	6,12			
	mei	12,48	12,31	12,20	15,08	14,94	14,83	10,05	9,57	9,29	6,16	6,07	6,00			
	juni	12,29	12,31	12,12	14,87	14,82	14,77	9,30	9,24	9,19	6,18	6,09	6,00			
	juli	12,16	12,09	12,02	14,83	14,76	14,7	9,22	9,13	9,05	6,19	6,03	5,89			

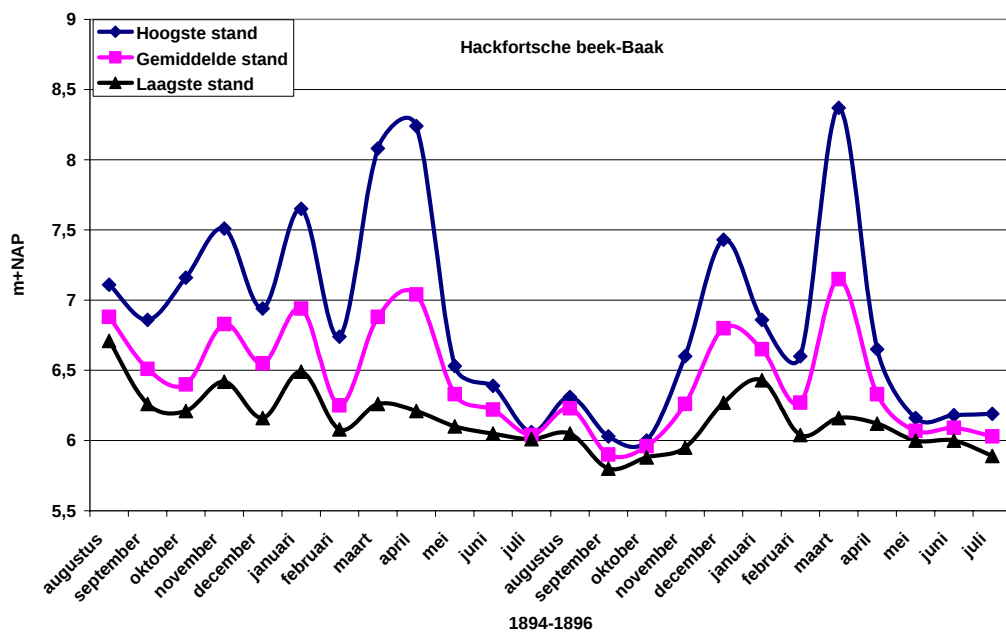
¹)H=Hoogste, G=gemiddelde en L=laagste



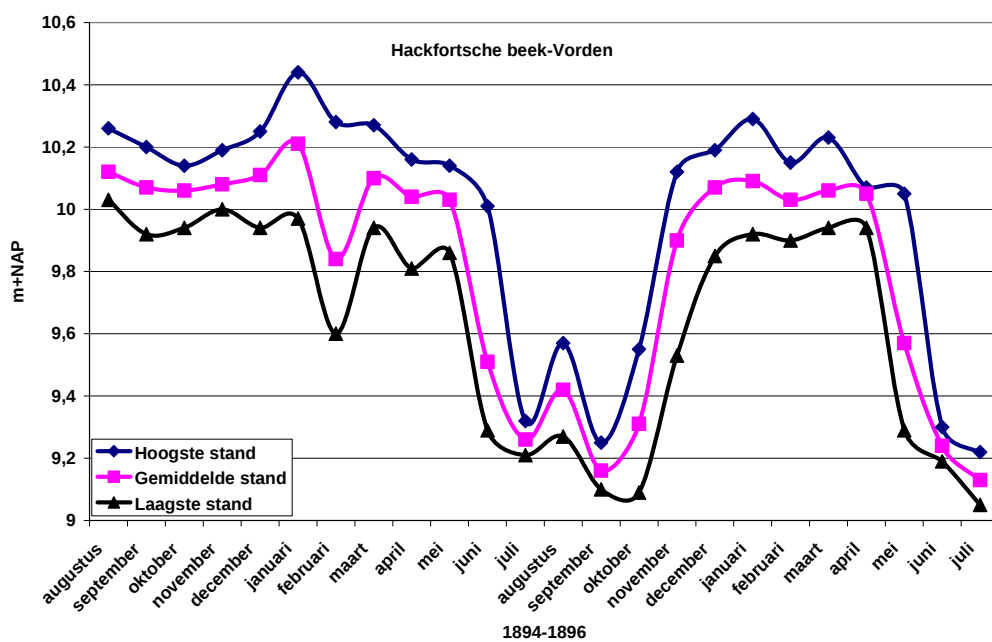
Figuur B5.1 Oppervlaktewaterpeilen in de Baaksche beek, locatie Wiersse in de periode 1894-1896



Figuur B5.2 Oppervlaktewaterpeilen in de Hissinkbeek, locatie Veldhoek in de periode 1894-1896



Figuur B5.3 Oppervlaktewaterpeilen in de Baaksche beek, locatie Baak in de periode 1894-1896



Figuur B5.4 Oppervlaktewaterpeilen in de Baaksche beek, locatie Vorden in de periode 1894-1896

Tabel B5.2 Afvoermetingen in de Baaksche beek in de periode 1894-1896 in het gebied van de Baaksche Beek

Datum	Rivier	Plaats van waarneming	Oppervlak	Peilschaal	Water-hoogte in NAP	Water-afvoer in l/s
17 augustus 1894	Baaksche Beek	Bij den mond	5870	In de Hackfortse Beek bij Baak	6,86	802
17 september 1895					5,92	81
20 september 1895					5,88	52
17 augustus 1894	Hackfortsche Beek	Beneden den mond der Baaksche Beek		In de Hackfortsche Beek bij Baak	6,86	3342
17 september 1895					5,91	248
20 september 1895					5,90	241
16 augustus 1894	Hackfortsche Beek	Bij den bovenmond		In de Hackfortsche Beek bij Vorden	10,13	2834
29 april 1895					10,19	3721
16 september 1895					9,10	17
17 augustus 1894	Hackfortsche Beek	Boven den mond der Baaksche Beek		In de Hackfortsche Beek bij Baak	6,86	3090
17 september 1895					5,91	144
20 september 1895					5,89	145
16 augustus 1894	Hissinkbeek	Bij den mond	6630	In de Hackfortsche Beek bij Vorden	10,13	679
29 maart 1895					10,19	901
16 september 1895					9,10	0
14 augustus 1894	Hissinkbeek	Bij den bovenmond		In de Hissinkbeek bij Veldhoek	15,39	433
28 maart 1895					15,69	815
14 september 1895					14,72	0
28 maart 1895	Oude Hissinkbeek	Bij den mond		In de Hissinkbeek bij Veldhoek	15,69	814
14 september 1895					14,72	0
28 maart 1895	Veengoot	Bij den mond		In de Hissinkbeek bij Veldhoek	15,69	296
14 september 1895					14,71	0
15 augustus 1894	Vordensche Beek	Beneden de Wiersserstuw		In de Vordensche Beek bij Wiersse	13,07	408
28 maart 1895					12,92	2121
14 september 1895					12,17	15
16 september 1895	Vordensche Beek	Bij den mond	7280	In de Hackfortsche Beek bij Vorden	9,10	0
16 augustus 1894					10,13	2090
29 Maart 1895					10,19	2934

Enkele opmerkingen overgenomen uit het rapport van de Staatscommissie voor Bevloeiingen

Bezuiden het Berkelgebied vindt men dat van de beek, die achtereenvolgens Lichtenvoordsche, Ruurlosche, Vordensche en Hackfortsche geheeten wordt en wier stroomgebied geheel in Nederland gelegen is. Voor deze beek zijn verbeteringsplannen opgemaakt. Op vele plaatsen komt hierlangs wilde bevloeiing voor, en men vindt vooral in haar middengedeelte alle gegevens om goede stuwbevloeiingen tot stand te brengen, bijeen.

Door eenige leden van onze commissie werden enige gronden bezocht, gelegen langs de Hummelosche beek, meer bovenwaarts Heidenbroeksche Vloed en meer benedenwaarts Groote Beek geheeten. Onze aandacht was op dit terrein gevestigd. Die leden zagen met name het gedeelte beneden de Wittenbrinksche Brug. In het algemeen is de afwatering van deze gronden langs deze beek onvoldoende. Eensdeels

is waarschijnlijk het profiel niet ruim genoeg, anderzijds wordt het water van de beek opgestuwd door dat van den Gelderschen IJssel bij hooge standen van deze. Voor bevoeiing trekt in de eerste plaats de aandacht een strook grond nabij de Wittenbrinksche Brug, ten zuiden van den weg, genaamd de Broekstraat, ligt een veenachtige strook met slechte afwatering, de Middelbeek, die beneden Enghuizen weder op de Beek komt. Indien er voldoende verhang is, zoude vermoedelijk deze strook door middel van de wetering met water uit de beek kunnen bevoeid worden. Hier gelijk elders langs de beek moet echter in de eerste plaats voorzien worden in de behoefte aan afwatering.

Bijlage 6 Nota over de afname van den maximum afvoer eener beek bij een tijdelijke was tengevolge van het overstroomen van landen naar Lely (1884)

Als een beek geheel of gedeeltelijk onbedijkt is en door lage lange landen stroomt, zoodat zij bij hooge waterstanden buiten hare oevers zal treden en de aanliggende landen onder water zetten. In dit geval zal de maximum afvoer beneden de overstroomde landen aanmerkelijk kleiner kunnen zijn dan daarboven, om de eenvoudige reden dan van de hoeveelheid water, die door de bovenbeek wordt aangevoerd een gedeelte op de landen stroomt, om eerst door de benedenbeek afgevoerd te worden wanneer de waterstand weder valt. Die landen oefenen dus in dat geval een gelijksoortigen invloed uit als een reservoir; zij nemen namelijk een gedeelte van het water tijdelijk op, om het wederom langzaam aan de beek terug te geven. De grootte van dien invloed hangt van verschillende omstandigheden af en kan niet voor elk willekeurig geval in formule gebracht worden. Om enig denkbeeld van die grootte te geven, zullen wij een bepaald geval beschouwen. Onder de volgende aannamen zijn enkele formules afgeleid:

- De overstroomde landen vormen een plas, waarin het verhang zo klein zal zijn, dat men den waterspiegel van den plas als horizontaal kan beschouwen,
- Aan het begin van de tijdelijke was is de waterbeweging langs de beek permanent en de afvoer is vrij groot
- De was der bovenbeek heeft een regelmatig verloop volgens

$$A = A_0 + \alpha \sin(\beta t)$$

A = Afvoer op tijdstip t in m^3/sec ,

A_0 = Afvoer op tijdstip $t=0$ in m^3/sec ,

α, β, γ = coëfficiënten.

- De waterstand der beek onmiddellijk beneden den plas gelijke rijzing en daling zal ondergaan als de waterstand in de plas.
- De hoeveelheid water, welke de beek beneden de plas op een willekeurig oogenblik meer afvoert dan bij de permanente waterbeweging voor de was, evenredig gesteld kan worden aan het verschil der waterhoogten voor beide gevallen

In werkelijkheid zal de beweging van het water der benedenbeek tijdens den was niet permanent zijn, doch indien de rijzing en daling van den waterstand vrij langzaam geschiedt, dan kan men bij benadering den afvoer in een functie van den waterstand volgens de gewone formule der permanente eenparige afstroming uitdrukken.

$$X = A_0 + p \sin(\beta t) - q \cos(\beta t) + qe^{-\lambda t}$$

A_0 = de afvoer der boven- en benedenbeek bij het begin der was,

A = de afvoer der bovenbeek op een willekeurig oogenblik t ,

X = de afvoer der benedenbeek op hetzelfde oogenblik t ,

x = grootte der plas in ha,

α, β, γ = coëfficiënten.

$$p = \frac{\alpha \lambda^2}{\lambda^2 + \beta^2}$$

$$q = \frac{\alpha \beta \lambda}{\lambda^2 + \beta^2}$$

$$\lambda = \frac{\gamma}{x * 10000}$$

In een voorbeeld berekening is :

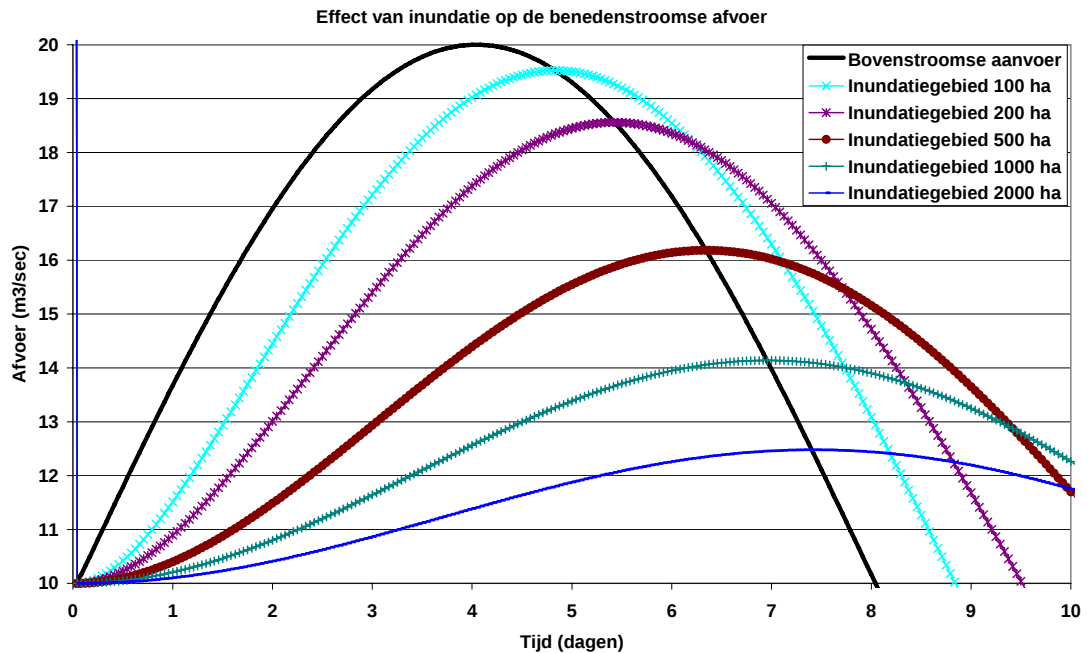
$$A_0 = 10,$$

$$\alpha = 10,$$

$$\beta = \pi / (8 * 86400),$$

$$\gamma = 14.$$

Op basis van bovenstaande aannames zijn berekeningen uitgevoerd om de grootte van het inundatiegebied in relatie tot de afvoer vast te stellen.



Figuur B6.1 Effect van de grootte van het inundatiegebied op de grootte van de benedenstroomse afvoer

Uit de figuur B6.1 is duidelijk te zien dat er twee effecten zijn op de afvoergolf, nl een vertraging en een afname van de golfhoogte bij toenemende grootte van de inundatievlakte.

Bijlage 7 Info over inundaties

Uit verscheidene bronnen is een idee te krijgen over mate waarin, voor de komst van de waterschappen wateroverlast bij hoogwater optrad.

1. In een schrijven van 2 juli 1868 (IJzerman,1934) aan de koning wordt door enkele Twentse gemeenten opgaven gedaan omtrent de oppervlakte die nadeel ondervindt van de gebrekkige waterlossing. De totale oppervlakte van de gemeenten is ontleend aan verslag der staatscommissie voor bevoeligen.

Tabel B7.1 Arealen geïnundeerd in 1868

Gemeente	Overlast ha	Totaal ha	Percentage
Ambt-Almelo	1300	3585	36%
Borne	310	3896	8%
Ambt-Delden	4000	8503	47%
Goor	80	319	25%
Markelo	3180	9331	34%
Tubbergen	400	14023	3%
Vriezenveen	2005	7212	28%
Wierden	2200	9804	22%
Weerselo	500	10330	5%
Totaal	13975	67003	21%

Uit dit staatje blijkt dat de mate van overlast per gemeente verschilt, en gemiddeld ca 21 % beslaat.

2. Lely (1884) schat de grootte van het overstromingsgebied van de Schipbeek in de winter van 1883 op 3000 á 5000 ha, bij een oppervlak van het Nederlands stroomgebied van 17600 ha. Hiervan uitgaande betekent dit dat de grootte van het overstromingsgebied tussen de 17 en 28% van de oppervlakte van het stroomgebied bedraagt.
3. Verloren van Themaat (1966) geeft schattingen voor het deel van het stroomgebied van de Oude IJssel in Nederland en in Duitsland die in natte tijden dras of onder water hebben gestaan, hij schat dat in het jaar 1000 zeker 50 % en in 1850 waarschijnlijk nog wel 20 % á 30 % dras of onder water stonden.
4. Ook voor waterschap De Berkel zal de situatie vergelijkbaar zijn geweest, de kaart met overstroomde gebieden in 1946 (De Jonge, 1982) geeft aan hoe uitgestrekt in dat jaar het overstroomde gebied was, dit zal in de periode 1850-1900 minstens vergelijkbaar zijn geweest.

Uit bovenstaande bronnen blijkt dat in het midden van de 19^e eeuw ca 25 % van het areaal in Oost-Gelderland en het gebied van de Regge gedurende de winter enige tijd dras of onder water stond. Voor het gebied van de Baaksche beek kan een vergelijkbaar areaal worden verwacht. Daarnaast wordt het oostelijke deel van het gebied beïnvloed door regelmatige overstromingen vanuit de Gelderse IJssel via de Baaksche overlaat en opstuwing van beken bij hoog IJsselwater.

Bijlage 8 Maten en NAP

Voor de komst van het metrieke stelsel werden maatvoering en waterpeilen beschreven in lokale of regionale stelsels. Ook na de invoering van het metrieke stelsel werd soms nog lang vastgehouden aan de oude maatvoering. Een tweede belangrijk aspect in het historisch waterbeheer is de introductie van een referentievlak (NAP).

Referentievlak (NAP)

De geschiedenis van het referentieniveaувlak (NAP) is het vermelden waard. In 1683 werd, in opdracht van burgemeester Hudde van Amsterdam, de hoogte van de verhoogde zeedijk langs het IJ vastgelegd t.o.v. het stadspeil met behulp van acht grote, witmarmeren stenen. Deze 'stenen van Hudde' werden ingemetseld in acht sluizen in de verhoogde dijk langs het IJ. Op de stenen van Hudde was een horizontale groef aangebracht op zeedijkshoogte, zijnde 9 voet en 5 duim (2.676 m) boven het stadspeil (Amsterdams Peil of AP). Uit dagelijkse metingen van de eb- en vloedhoogte in het IJ bij de Haarlemmersluis, uitgevoerd in 1683-1684, bleek het stadspeil van Amsterdam vrijwel samen te vallen (waarschijnlijk was het zo bedoeld) met de gemiddelde zomervloedstand (dus niet het gemiddeld zeeniveau) van het IJ te Amsterdam. De definitie van het AP (later NAP) luidt sinds 1683: 9 voet en 5 duim beneden het merk op de stenen van Hudde (van Veen, 1954). De acht primaire merken van het AP lagen in één waterpas vlak. Op die manier was het AP gefixeerd. In de loop van de 18e eeuw is het AP door waterpassing vanuit Amsterdam overgebracht naar andere plaatsen in Nederland en daar vastgelegd door middel van peilmerken (peilschalen, merkstenen e.d.). Toen men in de jaren 1875-1885 voor het eerst een landelijke controle uitvoerde van de hoogten van de peilmerken in het land (eerste nauwkeurigheidswaterpassing onder leiding van L. Cohen Stuart) en van daarop gebaseerde terreinhoogten, ontdekte men dat de hoogte van veel peilmerken (en daaraan gekoppelde terreinhoogten) niet klopte met de juiste hoogte. Deze verschillen waren het gevolg van meetonnauwkeurigheden en fouten bij oudere waterpassingen en verticale beweging van de peilmerken. Men heeft toen nieuwe of verbeterde peilmerken aangebracht en terreinhoogten opnieuw bepaald t.o.v. deze nieuwe peilmerken. Voor de nieuwe peilmerken en de nieuw bepaalde hoogten werd in 1891 de naam 'Normaal Amsterdams Peil' (NAP) ingevoerd. Het referentieniveau van het NAP is gelijk gebleven aan dat van het AP. Als voorbeeld enkele verschillen in de Provincie Drenthe:

Assen AP = 0,19 m –NAP

Beilen AP = 0,22 m-NAP

Coevorden AP = 0,19 m –NAP

Meppel AP = 0,25 m –NAP

Gemiddeld voor Nederland is het verschil 0,16 m, het verschil varieert tussen 0,01 en 0,40 m. De 2^e nauwkeurigheidswaterpassing vond plaats tussen 1926 en 1940. Sinds 1976 worden in een 10 jaren cyclus de hoogtes van de peilmerken opnieuw gemeten en vastgesteld. De vijfde nauwkeurigheidsmeting is uitgevoerd in 1996-1998. Als gevolg van veranderingen in de hoogte van de peilmerken tussen de 2^e en 5^e nauwkeurigheidswaterpassing worden op 1 januari 2005 de hoogte van de peilmerken

aangepast. Bij gebruik van meetdata uit het verleden dient men rekening te houden met verschillen als gevolg van de veranderingen mbt het referentievlak.

Lokale stelsels

Naast de stenen geplaatst in de sluizen van het IJ, die uiteindelijk aan de basis hebben gestaan van het NAP, waren er in het verleden op veel plaatsen lokale peilen vastgesteld die dienst hebben gedaan als referentie voor een beperkt gebied (tabel 1).

Tabel B8.1 Lokale peilschalen.

Rivieren	Plaatsen der peilschalen	Nulpunt + of - A.P. Ellen	Noodpunt boven het nulpunt Ellen	Noodpeil ¹ boven A.P.	Middelbare standen boven het nulpunt. Ellen
De Waal	Nijmegen	6,22	9	15,22	2,88
	Tiel	2,49	8	10,49	3,1
De Nederrijn	Arnhem	6,91	6,9	13,81	2,04
	De Grebbe	4,1	6,9	11	2,34
	Rhenen	3,97			
De IJssel	Westervoort	7,37	6,5	13,87	2,17

Zo betekent 3 m+Arnhems Peil, in werkelijkheid 9,91 m+A.P, de dijkhoogte ter plaatse is 13.81 m+A.P.

Naast de afwezigheid van een landelijk referentievlak bestond eveneens een grote variatie aan maten en gewichten, welke streekgebonden waren. Het metrieke stelsel is in 1820 ingevoerd, echter de oude benamingen bleven gehandhaafd tot 1870. Deze oude benamingen dienden vooraf gegaan te worden door Nederlandse, in de praktijk werd dit voorvoegsel veelal weggelaten.

Tabel B8.2 Naamgeving lengtemaat

Maat	Officiële benaming	Periode
<i>meter</i>	<i>1 meter = 1 m</i>	<i>> 1870</i>
<i>el</i>	<i>1 Nederlandse el = 1 m</i>	<i>1820-1870</i>
	<i>1 Amsterdamse el = 0,6878 m</i>	<i>< 1820</i>
	<i>1 Engelse el = 0,914 m</i>	

Dus bij het gebruik van oude maten is de tijd van opname van groot belang.

Bijlage 9 Overschrijding afvoer

Om de berekende afvoer te toetsen aan gemeten afvoeren zijn gegevens geïnventariseerd. Voor zowel de historische als de actuele situatie kunnen voor verschillende overschrijdingsfrequenties de gemiddelde gebiedsafvoer in mm/d voor het modelgebied worden bepaald. Er is echter geen meetpunt beschikbaar met een lange meetreeks die betrekking heeft op het gehele stroomgebied, waaraan zowel voor de historisch als de actuele situatie afvoeren kunnen worden ontleend horende bij verschillende overschrijdingsfrequenties. Er zijn echter wel meetreeksen die betrekking hebben op delen van het stroomgebied. Zo geeft Bon (1971) voor het meetpunt De Wiersse (7400 ha) een frequentieverdeling op basis van dagafvoeren. Uit deze grafiek zijn voor de wat extremere situaties de volgende punten afgelezen (Tabel B9.1):

Tabel B9.1 Afvoeren voor meetpunt De Wiersse naar Bon

Herhalingsstijd in jaren	Overschrijdingsduur dagen/jaar	jaar	mm/d	l/sec/ha
15	0.07	1960	8	0.93
5	0.2	1961	7.5	0.86
3	0.33	1965	7	0.81

De afvoermetingen kunnen worden beschouwd als benadering voor de historische situatie. Voor de actuele situatie is het meetpunt Loods Vorden in de Veengoot beschikbaar.



Figuur B9.1 Locatie meetpunt Loods Vorden in de Baaksche beek (bron: www.wrij.nl)

Voor dit meetpunt is een langere meetreeks met enkele hiaten beschikbaar via waterschap Rijn en IJssel. In tabel B9.2 zijn de jaren, het aantal dagwaarden, het gemiddelde en de maximale dagafvoer weergegeven.

Tabel B9.2 Enkele karakteristieken van de afvoer van meetpunt Loods Vorden in de Veengoot.

jaar	Aantal dagwaarden	Afvoer		
		gemiddeld m ³ /sec	maximale dag	
		m ³ /sec	m ³ /sec	mm
1983	115	0.597	4.566	
1984	366	1.651	13.834	8.46
1985	363	1.161	7.696	4.70
1986	357	1.179	12.401	7.58
1987	265	2.219	10.58	6.47
1988	366	1.735	9.501	5.81
1989	359	0.763	6.893	4.21
1990	360	0.723	7.033	4.30
1991	363	0.959	9.417	5.76
1992	232	0.863	7.781	
1999	191	0.211	3.539	
2000	84	2.049	6.17	
2001				
2002	230	1.9419	10.83	6.62
2003	233	1.191	15.907	9.72
2004	277	1.294	8.845	5.41
2005	365	0.882	6.788	4.15
2006	365	0.619	4.974	3.04
2007	23	3.219	10.957	
Totaal/gem.	4914	1.292	8.76	5.86

Uit deze afvoergegevens is een maatgevende afvoer afgeleid van 5.86 mm/d. De hoogste afvoer is gemeten op 3 januari 2003.

Om de afvoer op deze dag te karakteriseren is gebruik gemaakt van k-daagse neerslagsommen op basis van een meteoreeks voor de Bilt over 157 jaar. Voor deze reeks zijn k-daagse (k=2 t/m 9) neerslagsommen bepaald. Vervolgens is per jaar de hoogste k-daagse neerslagsom genomen en is de kans van voorkomen afgeleid. Kijken we naar de neerslag voor de Bilt en Twenthe dan lijkt 3-1-2003 minder extreem dan de recente storm van 17/18 januari 2007. Bij nadere beschouwing blijkt dat de neerslag in de Acherhoek zoals Lievelede, Lichtenvoorde en Hengelo (Gld) op 3 januari 2003 resp 28.4, 26.1, 21.1 mm te bedragen terwijl ook 30 december 2002 31.1, 26.1 en 23.5 mm is gevallen. In tabel B9.3 zijn de k-daagse neerslagsommen voor de periode voorafgaande aan 3-1-2003 weergegeven evenals de bijbehorende overschrijdingsduur en voorkomen in jaren op basis van de meteoreeks van De Bilt.

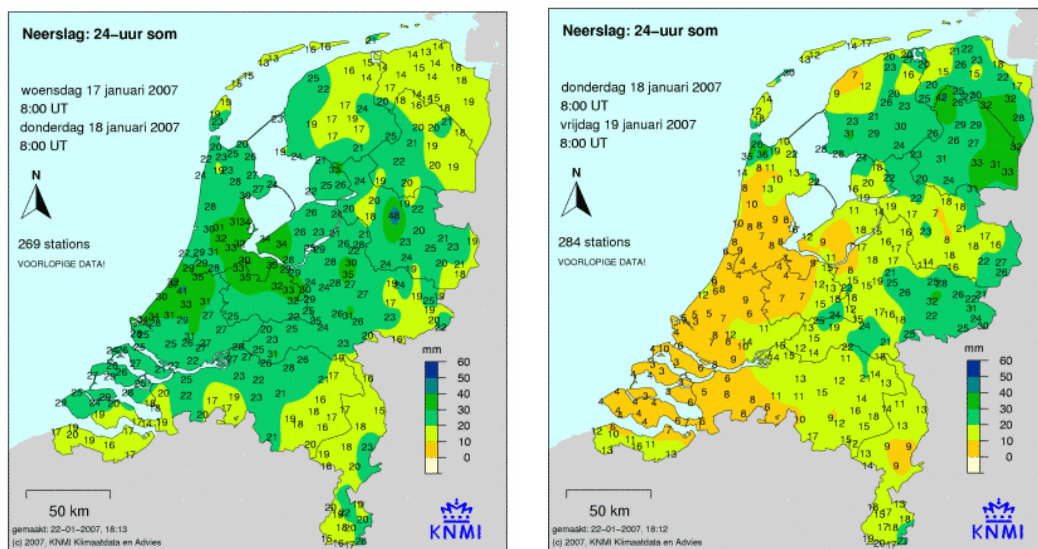
Tabel B9.3 Overschrijdingsduur neerslag 3-1-2003

k	Neerslag (mm)		Overschrijdingsduur in %		Voorkomen in jaren	
	Lievelde	Hengelo	Lievelde	Hengelo	Lievelde	Hengelo
2	40.3	35.4	54.4	74.0	1.8	1.4
3	40.3	35.4	72.8	90.5	1.4	1.1
4	47.2	41.4	72.1	87.3	1.4	1.1
5	78.3	64.9	12.03	34.8	8.3	2.9
6	79.9	65.5	15.8	42.6	6.3	2.3
7	85.5	74.4	17.1	36.7	5.8	2.7
8	92.9	93.6	13.9	17.9	7.2	5.6
9	93.3	95.1	18.3	15.8	5.5	6.3

Over een langere periode beschouwd is geschat dat deze neerslag een kans van voorkomen heeft van 1* per 5 jaar, en dat dit ook geldt voor de gemeten afvoer op dat moment.

Onlangs op 17/18 januari 2003 viel er in een stormachtige periode in korte tijd eveneens veel neerslag, waarbij zich op veel plaatsen plassen op het maaiveld vormden. In figuur B9.2 zijn de neerslagsommen weergegeven die op 17 en 18 januari zijn gemeten.

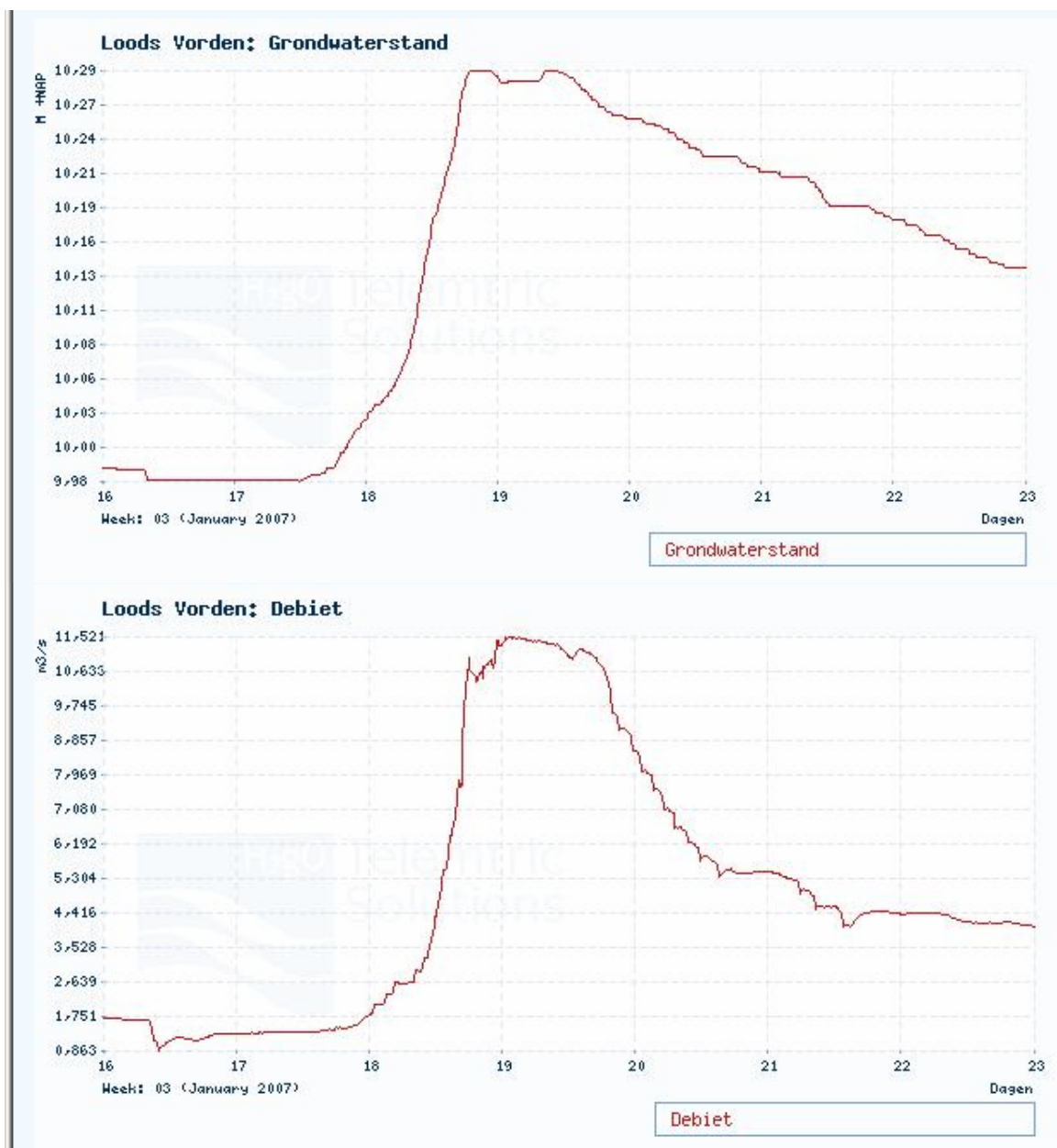
Geografische overzichten van het weer in Nederland



Figuur B9.2 Neerslag op 17 en 18 januari 2007 (bron: www.knmi.nl)

Op 18 januari 2006 viel gedurende 36 uur ruim 45-55 mm neerslag in het gebied van de Baaksche beek. Deze neerslag ging gepaard met een storm.

De afvoer was 11,0 m³/sec op 18-1-2007 voor meetpunt Loods Vorden bij 14136 ha overeenkomend met 6.7 mm/d. In figuur B9.3 is het verloop van de grondwaterstand en de afvoer weergegeven.



Figuur B9.3 Grondwaterstand en afvoer bij meetpunt Loods Vorden van waterschap Rijn en IJssel (bron: www.wrij.nl)

Figuur B9.3 geeft een sterke stijging van zowel de grondwaterstand als de afvoer te zien. Op dezelfde wijze als voor 3-januari-2003 is de kans van voorkomen geschat, waarbij als neerslagstation is gebruikt De Bilt en Twenthe vanwege het nog niet beschikbaar zijn van gegevens van lokale stations. Ter vergelijking is dit ook gedaan voor 3-4 november 1998, dat was een dag met zeer grote afvoeren, helaas ontbreekt de afvoer voor meetpunt Loods Vorden op dat moment.

Tabel B9.3 Neerslag en overschrijdingsduur neerslag 3/4-11-1998 en 17/18-1-2007

Tabel B2.5 Neerslag en overschrijdingsduur neerslag 3/4-11-1998 en 17/18-1-2007										
	Neerslag				Overschrijdingsduur			Voorkomen in jaren		
k	De Bilt		Twenthe		De Bilt		Twenthe	De Bilt		Twenthe
	Gemid- deld	3/4- 11 1998	17/18- 1-2007	17/18-1- 2007	3/4- 11 1998	17/18- 1-2007	17/18-1- 2007	3-4- nov 1998	17/18- 1-2007	17/18- 1-2007
2	42.7	47	38.7	43.4	29.5	63.7	38.6	3.4	1.6	2.6
3	49.6	62.8	39.5	44.3	15	74.7	63.3	6.7	1.3	1.6
4	55.3	76.2	43.3	44.3	6.3	82.8	78,5	15.9	1.2	1.3
5	60.6	89.5	50.4	46.4	3.5	75.3	85,4	28.6	1.3	1.2
6	65	102	52.8	46.3	2	78.5	90,5	50.0	1.3	1.1
7	70	107.4	53.4	46.5	2	84.8	96,2	50.0	1.2	1.0
8	74.3	123.2	53.4	58.8	2	91.7	82.8	50.0	1.1	1.1
9	79.1	135.7	54.2	65.0	3.5	94.3	767.6	28.6	1.1	1.3



Figuur B9.4 Maaiveldsberg ing vanuit oppervlaktewater bij een sloot in de omgeving van de Aaltensche Slinge op 19-1-2007

Uit het voorgaande is een overschrijdingsduur afgeleid van 1 * per 1,25 jaar voor de afvoer op 18 januari 2007. Bij deze overschrijdingskans komen al veel plassen voor op maaiveld en zien we ook stroming over maaiveld, dit is tijdens veldbezoek op 19-1-2007 op verschillende plekken in Oost-Gelderland geconstateerd. Ook kunnen al situaties optreden waarbij maaiveldsberg ing wordt aangesproken vanuit de waterloop, zie figuur B9.4. De afvoer voor 3-4 november 1998 was nog extremer en heeft een voorkomen van 1* per 50 jaar.

Door het waterschap is een conceptkaart voor de maatgevende situatie beschikbaar gesteld. Op basis van deze kaart is de maatgevende afvoer te schatten voor het stroomgebied van de Baaksche beek;

80 % areaal 0,7 l/sec/ha

15% areaal 0,8 l/sec/ha

5% areaal 1,0 l/sec/ha

Gemiddeld komt dit overeen met 0,73 l/sec/ha oftewel 6,3 mm/d, deze waarde is iets lager dan de met SWAP berekende maatgevende afvoer van 6,4 mm/d voor de actuele situatie in tabel 5.7.

Verder is de afvoer op 3 januari 2003 1,65 * de maatgevende afvoer, 9.72 mm/d tov 5,9 mm/d uit de meetreeks (tabel B9.2) van het waterschap. Dit komt overeen met een overschrijdingskans van ca 0,02; oftewel 1 * per 50 jaar (Cultuurtechnisch Vademecum), echter op basis van de neerslagsommen komt de waarde overeen met 1* per 5 jaar. T.ov de door het waterschap gehanteerde kaart bedraagt de verhouding 1,5 (9,7 mm/d resp 6,4 mm/d).

Uitgaande van de berekeningen met SWAP (figuur 5.15) bedraagt de maatgevende afvoer voor de drie deelstroomgebieden van de Baaksche Beek:

- Stroomgebied Oosterwijksche Vloed 6036 ha is 6,6 mm/d is 0,761 l/sec/ha
- Stroomgebied Veengoot 9070 ha is 6,2 mm/d is 0,72 l/sec/ha
- Stroomgebied Baaksche Beek 8132 ha 6,7 mm/d is 0,78 l/sec/ha

Deze waarden wijken slechts 3-5 % af van de gemiddelde waarde volgens het kaartje van het waterschap.

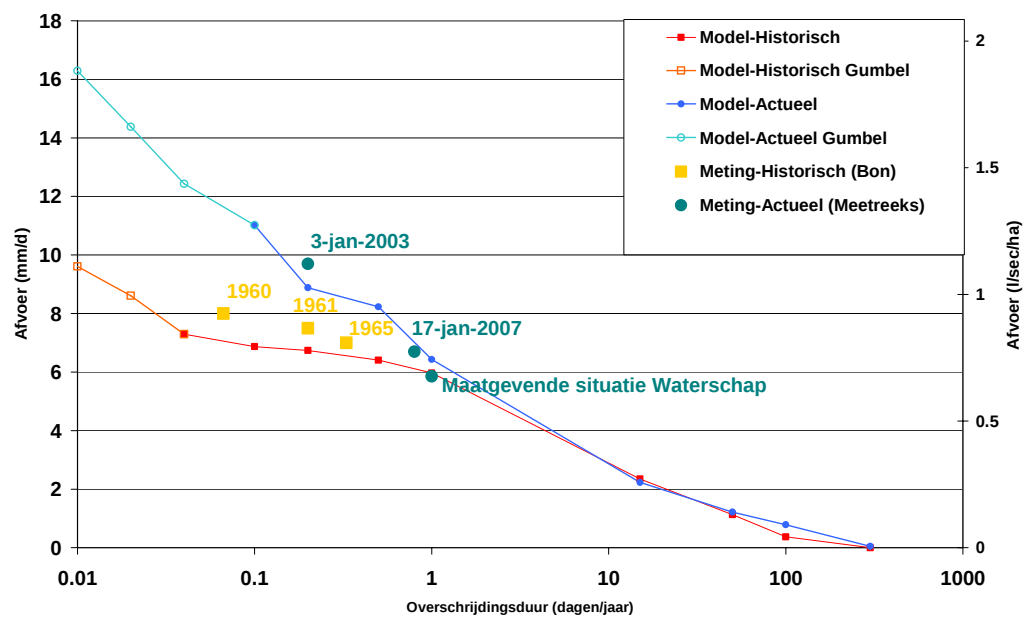
Vuistregels voor de overschrijdingsfrequentie van de afvoer is 1,5 maal de maatgevende afvoer komt 1 maal per 10 jaar en 2,0 maal de maatgevende afvoer komt 1 maal per 100 jaar voor. Waterschap Rijn en IJssel hanteert ook een factor 1,5 tussen de afvoer van 1* per 10 jaar en de maatgevende afvoer (mondelinge mededeling G. van Houten WRIJ).

Voor de actuele situatie zijn op basis van bovenstaande analyse de volgende waarden afgeleid:

Tabel B9.4 Afvoeren voor meetpunt Loods Vorden naar gegevens waterschap

Herhalingstijd in jaren	Overschrijdingsduur dagen/jaar	jaar	mm/d	l/sec/ha
5	0.2	3-1-2003	9.7	1.12
1.25	0.8	18-1-2007	6.7	0.78
1	1	Maatgevend	5.9	0.68

Zowel de punten ontleend aan Bon (tabel B9.1), als op basis van metingen (tabel B9.4) zijn vergeleken met overschrijdingsfrequenties voor de berekende afvoeren met de modellen voor de huidige en historische situatie (figuur B9.5).



Figuur B9.5 Vergelijking tussen de overschrijdingsduur van de berekende en gemeten afvoer voor de historische en de huidige situatie.

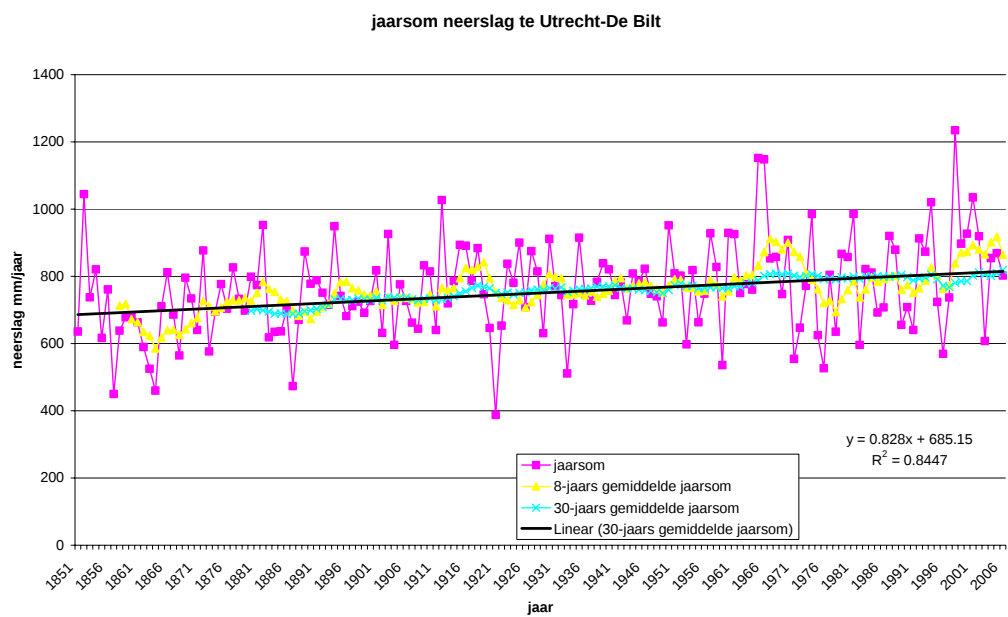
Bijlage 10 Maandneerslag te Utrecht over de periode 1881-1896 en jaarsommen voor de neerslag te De Bilt

Tabel B10.1 Maandelijkse neerslag in mm te Utrecht voor de periode 1881-1889

jaar	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889
maand									
1	30.7	41.5	38.3	85.9	51.9	118.0	16.5	24.9	19.4
2	78.1	31.9	29.0	23.0	54.9	11.9	8.6	27.7	56.3
3	73.0	81.5	41.9	29.5	27.6	51.6	32.7	89.2	52.5
4	23.4	52.2	2.9	18.6	21.1	18.4	38.0	35.0	39.2
5	86.0	52.3	36.8	34.5	73.6	78.0	53.9	25.5	78.1
6	72.9	146.1	30.4	15.8	34.0	76.8	10.8	101.5	71.6
7	35.1	98.1	114.5	104.5	5.2	81.5	19.5	126.7	126.7
8	127.8	108.6	46.3	56.1	45.8	43.7	30.0	69.4	133.7
9	67.4	85.1	61.3	54.5	80.6	19.0	48.9	25.5	106.1
10	47.9	75.5	74.9	68.1	158.5	59.4	95.0	68.9	64.1
11	28.4	92.1	84.6	46.9	52.5	49.6	51.7	40.3	47.0
12	103.1	87.7	57.1	97.0	30.3	93.4	67.7	35.6	79.1
Totaal	773.8	952.6	618.0	634.4	636.0	701.3	473.3	670.2	873.8

Tabel B10.2 Maandelijkse neerslag in mm te Utrecht voor de periode 1890-1896

jaar	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	Gemiddeld 1881-1896
maand								
1	87.1	80.9	73.1	50.6	54.9	58.2	49.3	55.1
2	3.9	5.0	33.4	116.0	112.8	14.0	5.4	38.2
3	50.0	56.5	31.7	25.4	45.1	83.1	58.0	51.8
4	67.9	29.9	16.4	0.5	57.3	39.3	32.1	30.8
5	29.5	75.6	24.2	21.0	34.4	35.8	6.7	46.6
6	49.7	122.0	82.7	13.4	70.7	54.1	36.0	61.8
7	120.6	96.3	38.7	94.2	142.8	79.4	55.3	83.7
8	100.0	62.3	55.4	66.3	128.1	86.0	82.9	77.7
9	26.6	43.7	122.9	92.3	72.8	22.3	142.7	67.0
10	119.3	44.4	150.5	80.3	69.1	80.1	89.3	84.1
11	118.1	54.0	47.9	78.4	68.7	85.2	56.9	62.6
12	5.0	117.7	73.9	76.5	92.1	103.9	66.8	74.2
Totaal	777.7	788.3	750.8	714.9	948.8	741.4	681.4	733.5



Figuur B10.1 Jaarsommen, 8-jaars en 30-jaars voortschrijdend gemiddelde jaarsom van de neerslag voor het station Utrecht-De Bilt