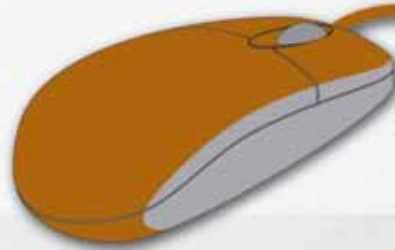


# De Mark

Computermodellering als methode, hoogwaterbeheer als doel



# De Mark

Computermodellering  
als methode,  
hoogwaterbeheer  
als doel

#### Samenstelling en eindredactie

Arcadis Gedas NV  
Kesseldallaan 18 bus 401  
B-3010 Leuven  
Tel: 016-63 95 00 • Fax: 016-63 95 01  
www.arcadisgedas.be

#### Redactieadvies

Patrik Peeters, Ivo Terrens (AMINAL - afdeling Water)

#### Fotografie

Lieve Van Staeyen (afdeling Water) en Arcadis Gedas

#### Vormgeving

www.tabeoka.be  
Cover naar een idee van Lieven Jacobs  
Stijl naar een idee van Luk Guillaume

#### Depotnummer

D/2003/3241/079

#### Verantwoordelijke uitgever

Paul Thomas, afdelingshoofd  
AMINAL - afdeling Water  
Alhambragebouw  
Emile Jacquemainlaan 20, bus 5  
1000 Brussel  
Tel: 02-553 21 11 • Fax: 02-553 21 05  
E-mail: water@lin.vlaanderen.be

Het volledig rapport alsook de overzichtskaarten zijn in te kijken bij de afdeling Water.

Bij de afdeling Water kunnen ook publicaties bekomen worden die handelen over modelleringstechnieken en hedendaags hoogwaterbeheer. Of bel ons voor een mondelinge toelichting over de problematiek van de Mark.

#### Lijst van alle stroomgebieden:

Deze brochure over het stroomgebied van de Mark behoort tot een reeks van 22 brochures die vanaf 2002 gemaakt werden of worden. Ze behandelen de modelleringsstudies van de stroomgebieden die deel uitmaken van het meerjarenprogramma van de afdeling Water, fase 3 (bestek 1999). Deze stroomgebieden zijn: het stroomgebied van de Poperingevaart, de Handzamevaart, de Kerkebeek, de Mandel, de Molenbeek te Wetteren, de Ledebek afwaterend naar Lokeren, de Maarkebeek, de Wallebeek, de Kalkenvaart, de Benedenvliet, de Benedenschijn, de Mark, de Bollaak, de Kleine Nete en Aa, de Wimp, de Zuunbeek, de Winge, de Begijnebeek, de Gete en Melsterbeek, de Herk, de Voer en de Grote Laakbeek.

# Inhoud

Colofon / Lijst van alle stroomgebieden	2
Voorwoord	4
De afdeling Water	7
1. Een kennismaking met het stroomgebied	8
2. Knelpunten in de waterafvoer	11
3. Ook de waterkwaliteit verdient aandacht	13
4. De kracht van computermodellen	15
5. Welke maatregelen hebben effect?	22
6. Wat brengt de toekomst?	27



# Voorwoord

De afdeling Water van de Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer (AMINAL) die deel uitmaakt van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap is samen met andere instanties verantwoordelijk voor het waterbeheer in Vlaanderen. Zij beheert zelf de grotere onbevaarbare waterlopen. Deze waterlopen zorgen geregeld voor overstromingen, waarvan augustus 1996, september 1998 en december 1999 het meest bekend zijn. Het jaar 2002 spande niettemin de kroon met drie kritieke perioden, namelijk januari-februari 2002, augustus 2002, en de jaarovergang 2002-2003.

Het bedwingen van waterlopen is een oud streven van de mens. Maatregelen die in het verleden genomen werden om wateroverlast te vermijden, hadden vaak heel wat negatieve effecten. Ze gaven aanleiding tot een versnelde afvoer van de neerslag naar stroomafwaarts gelegen gebieden. Het overstromingsgevaar werd alleen maar verplaatst, niet opgelost.

Vandaag de dag wordt echter gestreefd naar integraal waterbeheer: het duurzaam beheren van het aanwezige water rekening houdend met de huidige en toekomstige noden van mens en natuur. Een onderdeel van integraal waterbeheer is de waterhuishouding, die zich vooral op de kwantitatieve aspecten van het waterbeheer richt. Integraal waterbeheer impliceert ook een andere visie op hoogwater. Het uitgangspunt daarbij is dat overstromingen een natuurlijk verschijnsel zijn die altijd zullen blijven voorkomen. Door het bouwen in overstromingsgebieden ontstaat er schade. De betrachting van de waterbeheerder was en is nog altijd om deze schade te beperken. Het verleden heeft geleerd dat de natuur nooit helemaal door de mens kan bedwongen worden.

## Ongewenste overstromingen

We moeten dus respect opbrengen voor het gedrag van het natuurlijk systeem. Meer zelfs, het kan ons de middelen aanreiken om onze huidige problemen aan te pakken.

Overstromingen zijn maar al te vaak een gevolg van het in een eng keurslijf dwingen van de waterloop. Door de natuurlijke functie van de valleigebieden als overstromingsgebied in ere te herstellen of te vrijwaren op plaatsen waar dit nog kan, kunnen we overstromingen op ongewenste plaatsen aanpakken. Alleen daar waar dit niet volstaat, moeten aanvullende infrastructuurwerken voorzien worden.

Dit principe is in verstedelijkt Vlaanderen niet altijd evident, maar het kan. Het herwaarderen van natuurlijke overstromingsgebieden heeft consequenties op de ruimtelijke bestemming en het huidige landgebruik. Ook de bevolking moet hierin haar verantwoordelijkheid opnemen.

Het binnen dit kader nemen van maatregelen, vergt een zorgvuldig handelen. Er is een grondig inzicht nodig in de af te voeren waterhoeveelheden, de stromingen van water binnen een

stroomgebied en de buffermogelijkheden in de valleigebieden. Bovendien moeten de verschillende aanspraken op het aanwezige water in het stroomgebied mee in rekening gebracht worden. Belangen moeten dus worden afgewogen, meerdere alternatieven met elkaar vergeleken, eventueel negatieve effecten ondervangen.

## Wateroverlast aanpakken

Om deze principes in de praktijk om te zetten heeft de afdeling Water een aanpak ontwikkeld die bestaat uit studies, overlegstructuren en beleidsplanning. Deze aanpak wordt via een meerjarenprogramma toegepast voor alle waterlopen en hun stroomgebied die onder de bevoegdheid van de afdeling Water vallen.

Infrastructuurwerken aan waterlopen worden voorafgegaan door studies, uitgevoerd door externe studie bureaus. Men noemt dit modelleringsstudies, omdat er gebruik gemaakt wordt van computermodellen die de werkelijkheid nabootsen. Ze laten toe om de effecten van mogelijke ingrepen te voorspellen. Bovendien wordt steeds uitgegaan van het volledig stroomgebied. Elke studie is opgebouwd uit 3 luiken: (i) een inventarisatieluik waarin alle watergerelateerde gegevens worden bijeengebracht en geïnterpreteerd naar hun invloed op het watersysteem; (ii) een hydrologisch luik waarin de karakteristieken van de neerslag en de afvoer ervan over het land naar de waterloop worden geanalyseerd en (iii) een hydraulisch luik waarin de stroming in de waterloop wordt gesimuleerd en de effecten van verschillende alternatieve oplossingen voor de bestaande knelpunten worden voorspeld en vergeleken.



Hoogwater aan een stuw



Afschuiving ter hoogte van Zandbergen.

Oeverherstel ter hoogte van Zandbergen.





Grenspaal aan de Mark.

### Lokaal overleg belangrijk

De studies worden begeleid door een lokaal wateroverleg: een groep van specialisten die als waterbeheerder of als vertegenwoordiger van een bepaald maatschappelijk belang de plaatselijke problemen kennen en die aan de oplossing kunnen meewerken. Op deze manier ontstaat door het samenbrengen van verschillende disciplines en bevoegdheden een ruim draagvlak voor de te nemen maatregelen.

De resultaten van de studies en het overleg daarrond worden vervolgens neergeschreven in beleidsplannen, die het integraal waterbeheer in Vlaanderen moeten omzetten naar de praktijk. Het is de bedoeling dat alle waterbeheerders daarbij samenwerken, en eenieder zijn verantwoordelijkheid opneemt. Momenteel is men gestart met de opmaak van de bekkenbeheerplannen. Dit zijn geïntegreerde plannen op bekkeniveau die de aspecten waterkwantiteit, waterkwaliteit en natuurlijk milieu gezamenlijk behandelen. Op lokaal niveau (deelbekkens) zullen de DuLo-waterplannen vorm geven aan het kleinschalig waterbeheer. De waterhuishoudingsplannen van polders en wateringeng zullen de kwantiteitsaspecten meer in detail uitwerken met het oog op een geïntegreerd beheer van de kleinere waterlopen.

### Het stroomgebied van de Mark ter studie

Deze brochure stelt de resultaten voor van één van dergelijke studies, nl. voor het stroomgebied van de Mark. Het stroomgebied van de Mark, in het noorden van de provincie Antwerpen, vormt een onderdeel van het hydrografisch bekken van de Maas.

De studie werd uitgevoerd door het studiebureau ARCADIS Gedas. Verschillende afdelingen en wetenschappelijke instellingen van AMINAL, de provincie Antwerpen, de lokale gemeenten en wateringeng, de Vlaamse Milieumaatschappij, de Vlaamse Landmaatschappij, PIDPA, de NV Aquafin, de Administratie voor Land- en Tuinbouw, het Nederlandse Waterschap Mark en Weerijs, het Nederlandse Hoogheemraadschap West-Brabant, waren betrokken in het lokaal wateroverleg.

Met deze brochure wenst de afdeling Water de betrokkenen in te lichten over de gevolgde methode en de geplande maatregelen die de komende jaren in het stroomgebied van de Mark zullen worden uitgevoerd. Zij moeten in eerste instantie de wateroverlastproblemen aanpakken. Het ontwerp van deze werken steunt op de resultaten van deze studie. Daarnaast laten de afdeling Water en de provincie Antwerpen ook een ecologische inventarisatie en visievorming van de Mark uitvoeren. Doelstelling van deze studie is na te gaan in welke mate kan gezorgd worden voor een ecologisch en landschappelijk herstel van de waterloop en haar vallei. Later zal de verzamelde informatie verder opgenomen worden in het op te stellen bekkenbeheerplan voor het Maasbekken.

### AMINAL - afdeling Water Augustus 2003

*Het waterglas hiernaast symboliseert het nieuwe concept van integraal waterbeheer, zoals opgenomen in de missie en strategie van de afdeling Water.*

# De afdeling Water

*De afdeling Water maakt deel uit van de Vlaamse leefmilieu-administratie AMINAL. Zij is actief op verschillende fronten.*

*Eerst en vooral concentreert de afdeling Water zich op de oprichting van een duidelijk rivierbekkenbeleid. Een goede overlegstructuur en organisatie per stroomgebied is immers nodig om aan 'integraal' waterbeheer te doen. Daarbij worden oppervlaktewater, grondwater, waterloopstructuur en oevers met de bijhorende levensgemeenschappen, als één samenhangend watersysteem beschouwd en beheerd. Verschillende aspecten waaronder milieu, ruimtelijke ordening, landschap, recreatie en economische sectoren worden bij dit beheer betrokken.*

*De afdeling Water zet zich ook in voor het behoud van een kwantitatief evenwicht in de watersystemen. Hierbij moet een duurzame balans tussen de onttrekking van water en de hervoeding van de watersystemen worden nagestreefd. Grondwatertekorten worden vermeden door onder meer het verminderen van waterverspilling en door meer regenwater, oppervlaktewater en gezuiverd afvalwater te gebruiken. Gevallen van watertoevloed (bvb. overstromingen) worden aangepakt door de uitvoering van infrastructuurwerken en door richtlijnen op de ruimtelijke ordening en het landgebruik.*

*Verder besteedt de afdeling Water heel wat aandacht aan het herstellen van de biodiversiteit van watergebonden ecosystemen. Waterlopen en valleien moeten in deze visie de ruggengraat worden van natuurgebieden door de heraanleg van de bedding en de omgeving op een natuurlijke manier. Ook de verontreiniging van grond- en oppervlaktewater door puntlozingen en diffuse lozingen (pesticiden, meststoffen) krijgt de nodige aandacht door nieuwe wetgeving en voorlichting van bevolking, landbouw en industrie.*

*Concreet vertalen deze verschillende aandachtspunten in de werking van de afdeling Water zich in allerhande activiteiten:*

*het opstellen en uitbouwen van meetnetten, databanken en computermodellen van waterlopen en ondergrondse waterlagen, het opmaken en overleggen van beleidsplannen en kaartmateriaal voor waterhuishouding en rivierbekkenbeheer, het opstellen van wetgeving voor het beheer van oppervlaktewater, grond- en drinkwater, het sensibiliseren en stimuleren van burgers, bedrijfssectoren en overheden, het ontwerpen, uitvoeren, ondersteunen, adviseren, vergunnen en controleren van concrete projecten waaronder de bouw en aanleg van overstromingsgebieden en wachtbekkens, computergestuurde pompstations en kunstwerken, natuurlijke oevers en visdoorgangen, infiltratiegebieden en kleinschalige waterzuivering, het ruimen van slib en het bestrijden van muskusratten, het vergunnen van grondwaterwinningen en drinkwaterbeschermingszones, de erkenning van laboratoria voor wateranalyses, de subsidiëring van polders en wateringeng en de controle op de investeringen van Aquafin...*

*Voor de uitvoering van dit alles beschikt de afdeling Water over een jaarlijks begrotingsbudget van ca. 45.000.000 EUR (1,8 miljard BEF), de investeringen van Aquafin en de subsidies voor gemeentelijke rioleringeng niet meegerekend, en telt een 265-tal medewerkers, waaronder een ploeg van 100 muskusrattenbestrijders. Naast het hoofdbestuur te Brussel zijn er 5 buitendiensten, in de provinciale hoofdsteden Antwerpen, Leuven, Brugge, Gent en Hasselt.*



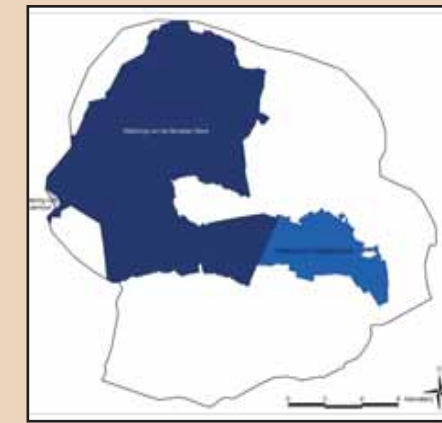
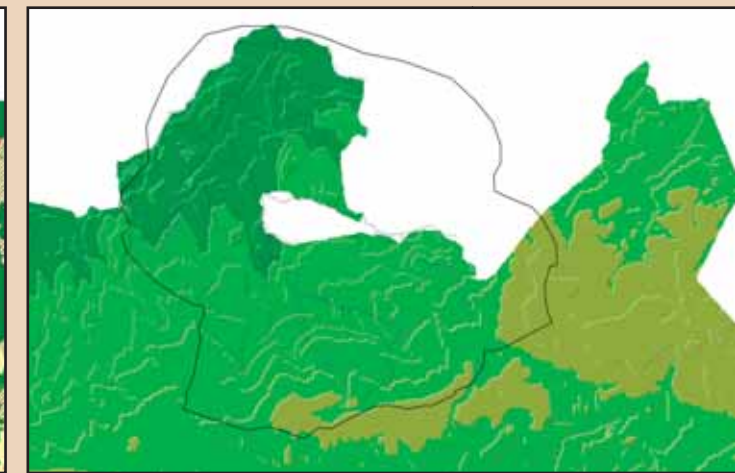
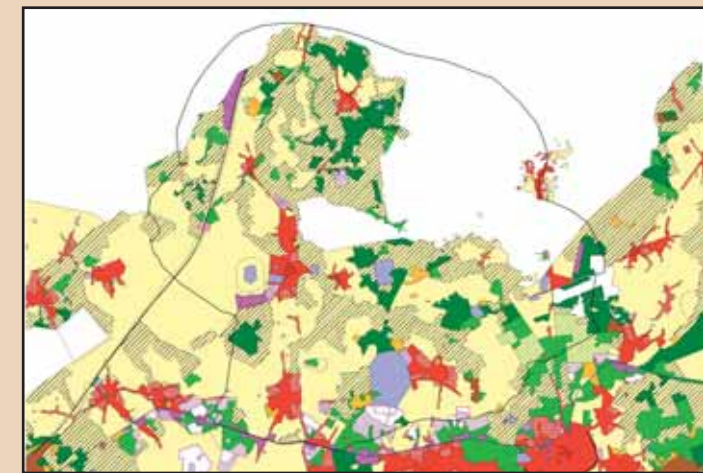
# 1 Een kennismaking met het stroomgebied

De Mark ontspringt uit talloze bronnetjes in het kwelgebied ten oosten van Merksplas en ten noorden van Turnhout. Dit brongebied is gelegen in de Noorderkempen in de provincie Antwerpen. Bijna het volledige grondgebied van de Belgische gemeenten Hoogstraten, Rijkevorsel, Merksplas en Baarle-Hertog bevindt zich in het stroomgebied van de Mark.

Ook de Nederlandse gemeente Baarle-Nassau ligt nagenoeg volledig in het stroomgebied. In Minderhout, een deelgemeente van Hoogstraten, ontmoet de Mark zijn eerste grote zijloop, het Merkske. In Meersel-Dreef kruist de Mark de Belgisch-Nederlandse grens. Na een tiental kilometer door Nederlandse weiden, stroomt de Mark langs Breda. Nog eens 30 kilometer verder, in Dinteloord, mondt hij uit in de Maas.

De Mark is dus een grensoverschrijdende waterloop die deel uitmaakt van het stroomgebied van de Maas. De modelleringstudie beperkte zich tot het Belgische gedeelte van het stroomgebied van de Mark. De stroomafwaartse grens voor de modellering was de Belgisch-Nederlandse staatsgrens. Conclusies werden wel getrokken rekening houdend met de grensoverschrijdende problematiek, na overleg met de betrokken waterschappen in Nederland.

Situering van het stroomgebied dat afwatert naar de 'Belgische' Mark.



Gewestplan, reliëfkaart en de wateringen (de grootste is de Watering van de Beneden Mark, de tweede is de Watering De Oostelijke Mark) van het stroomgebied van de Mark. foto: de Kleine Mark.

## Reliëf en landschap

Zowel het Belgische als het Nederlandse gedeelte van het stroomgebied van de Mark is zeer vlak. Aan de oostelijke zijde van het stroomgebied komende de hoogste 'toppen' binnen het stroomgebied voor. Het hoogste punt is de zuid-oostelijke rand, waar een hoogte van 34 m TAW bereikt wordt. Ter hoogte van de Belgisch-Nederlandse grens bevindt de topografie zich op 8 m TAW. De Mark zelf kent een gemiddeld verval van 67 cm/km, wat een zeer kleine waarde is. De zuidgrens van het stroomgebied vormt de waterscheidingslijn tussen de stroomgebieden van de Maas en van de Schelde.

Het stroomgebied van de Mark is heel landelijk. Vooral akkers en weilanden bepalen het landschap, namelijk voor 77% van de totale oppervlakte. Op de tweede plaats komt bosgebied (11%) en slechts op de derde plaats prijkt verstedelijkt en bewoond gebied (10%).

Door het vlakke reliëf kennen het Merkske en de bovenloop van de Mark beide een sterk

meanderend verloop. Door de lage graad van verstedelijking hebben ze deze natuurlijke meandering ook kunnen behouden. In het gedeelte stroomafwaarts van de kruising met de weg van Hoogstraten naar Merksplas is de Mark over ongeveer 100 m rechtgetrokken, langs de oprijlaan van de strafkolonie van Wortel.

Wijzigingen die doorgevoerd werden aan het verloop van de waterlopen zijn dus eerder beperkt en gebeurden meestal in het kader van ruilverkavelingen of voor de drainering van akkers. Om de drainering van lager gelegen gebieden te bevorderen werden bovenlopen hier en daar uitgediept en rechtgetrokken. De kleinste waterlopen die het water naar de Mark voeren, hebben meestal wel een gestrekt verloop. Dit is enerzijds te verklaren door wijzigingen om de drainering te bevorderen, maar anderzijds ook omdat deze waterlopen zich meestal in de hoogst gelegen delen van het reliëf bevinden, waar de hellingen toch net iets groter zijn dan in de vallei.



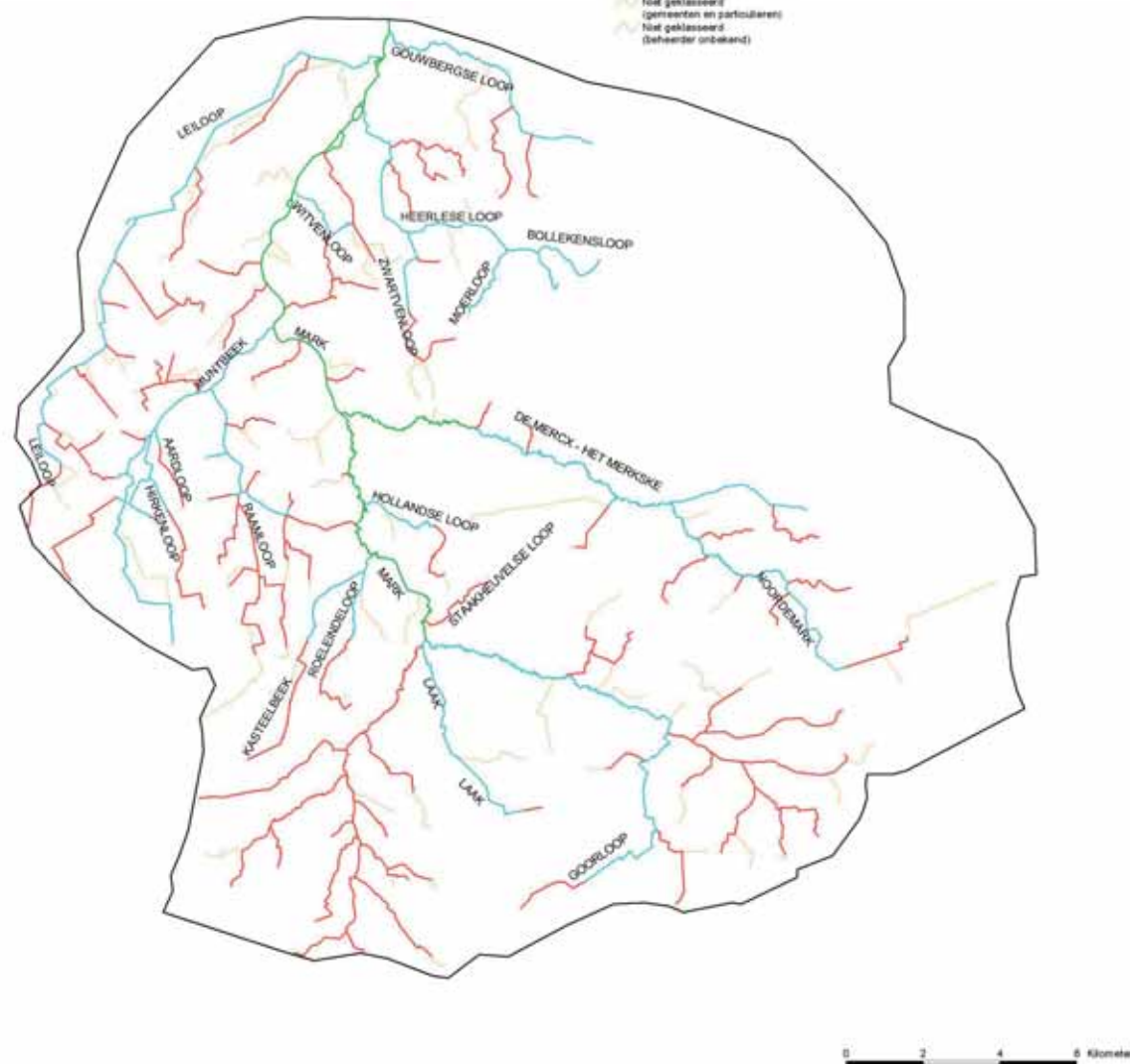
## Ecologische aspecten

De meandering op het Merkske en de bovenloop van de Mark gaat gepaard met uitgesproken stroomkuilpatronen en holle oevers, die belangrijke structuurkenmerken voor waterlopen zijn. Deze stroomkuilpatronen en natuurlijke oevers zijn namelijk van levensbelang voor fauna en flora in en om de waterloop. Naarmate de waterloop groter wordt, vergroten en verzwakken de bochten van de meandering. Na het samenvloeien van het Merkske met de Mark is deze vergroting duidelijk te zien. In dit gedeelte is de Mark bovendien gedeeltelijk rechtgetrokken. Relicten van deze wijzigingen zijn de drie afgesneden meanders en een molenarm die nog wel water bevatten, maar met schuiven gescheiden zijn van de hoofdwaterloop.

Er komen verschillende habitat- en vogelrichtlijngedebieden voor in het stroomgebied van de Mark. De twee grootste zijn respectievelijk 38

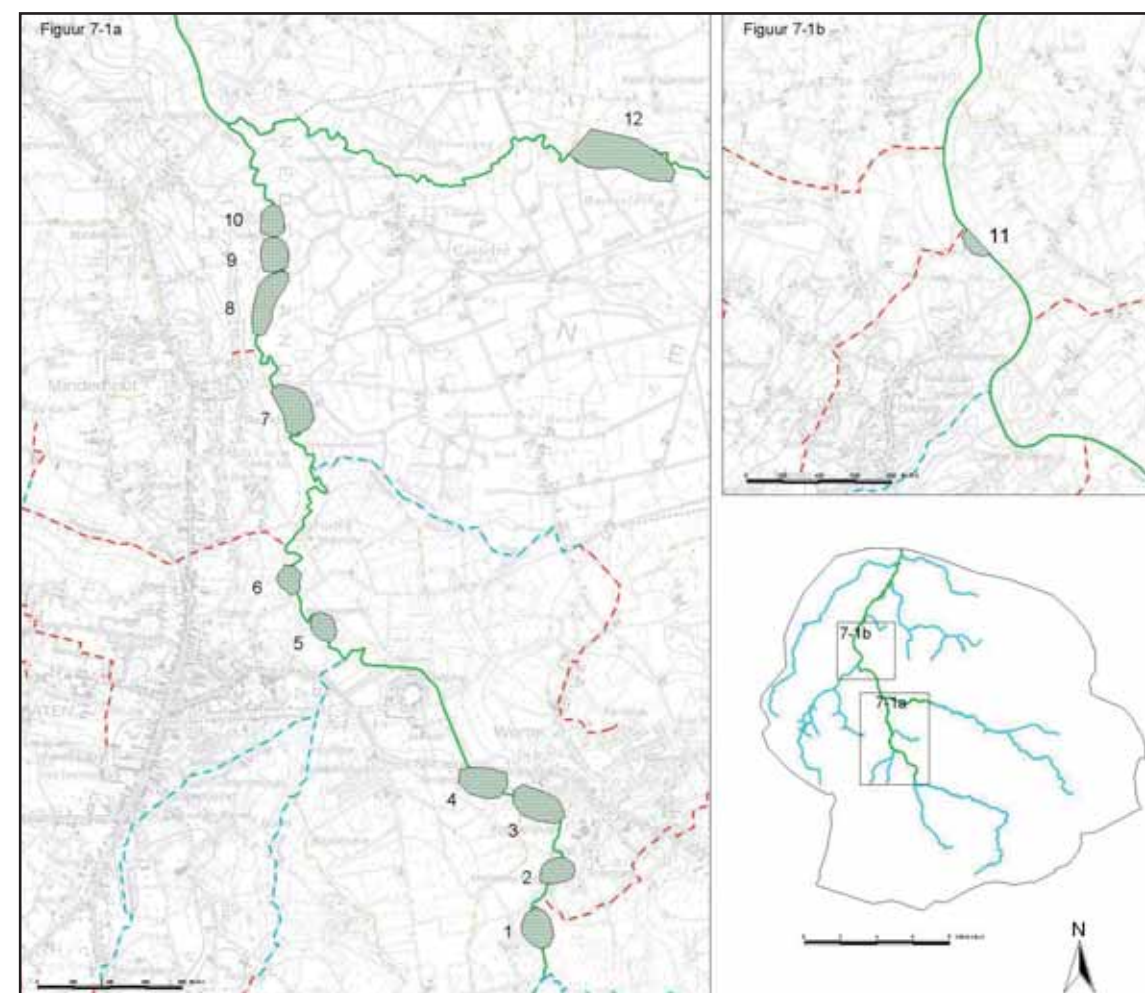
en 25 km<sup>2</sup> groot en bevinden zich in het oosten van het stroomgebied. Zij vormen een deel van een groter ecologisch impulsgebied. Het ecologisch impulsgebied strekt zich uit over de gemeenten Merksplas, Ravels, Oud-Turnhout, Turnhout en Mol. De andere zijn kleiner en bevinden zich in de gemeente Beerse, helemaal in het zuiden van het stroomgebied, in de gemeente Rijkevorsel in het zuidwesten en in Hoogstraten in het natuurreervaat aan de Heerleseloop in Groot Eyszel.

De waterlopen in het stroomgebied van de Mark.



## 2 Knelpunten in de waterafvoer

Bij hevige regenval treden de Mark en zijn zijlopen regelmatig buiten hun oevers. Dit gebeurt meestal in de winter en slechts een zeldzame keer in de zomer. Doordat het gebied zo vlak is, spreidt het overstromende water zich snel uit over de vallei.



Legende

- Overstromingszones
- Waterlopen
  - Bevaarbaar
  - Cat. 1
  - Cat. 2
  - Cat. 3
  - Niet geklasseerd

Overstromingszones in het stroomgebied van de Mark.

RIVIERSECTIE LANGS DE OVERSTROMINGSZONE	OVERSTROMINGSZONE
1 mark403- mark 401	Tussen manege en Zandstraat
2 mark391- mark 386	Stroomafwaarts Zandstraat
3 mark379- mark 373	Tussen Zandstraat en Klinketstraat
4 mark 371- mark 367	Stroomopwaarts Klinketstraat
5 mark 335- mark 329	Stroomafwaarts Hoogstratensebaan, stroomopwaarts van Molenstraat
6 mark324- mark321	Stroomopwaarts van de Laermolen
7 mark 305- mark284	Stroomopwaarts limnigraaf Minderhout (Castelreseweg)
8 mark268- mark260	Stroomafwaarts Castelreseweg, ten oosten van Lage Weg
9 mark259- mark252	Stroomafwaarts Castelreseweg, ten oosten van Lage Weg
10 mark251- mark245	Stroomafwaarts Castelreseweg, ten oosten van Lage Weg
11 mark147- mark144	Elsterdijk (Looi)
12 Merkske89-72 (Merk71-Merk18)	Klein Papenmoer, Castelle



### 3 Ook de waterkwaliteit verdient aandacht

In het stroomgebied van de Mark is de waterhygiënische infrastructuur goed uitgebouwd. Merksplas en Zondereigen (een deelgemeente van Baarle-Hertog) hebben hun eigen installatie voor rioolwaterzuivering (RWZI). Het afvalwater van Baarle-Hertog wordt behandeld in de RWZI van Baarle-Nassau.

Het afvalwater van Rijkevorsel, Meersel-Dreef, Wortel, Minderhout, Meer en Meerle wordt behandeld in de RWZI van Hoogstraten. De industriezone in Meer heeft een eigen RWZI. Alle woonkernen en de industriezones zijn dus aangesloten op de riolering, die op zijn beurt aansluit op een van de RWZI's.

Omdat er in het stroomgebied echter nog weinig gescheiden rioleringen aangelegd zijn, komt bij neerslag te veel hemelwater in de riolering terecht waardoor deze oververzadigd geraakt en aan de overstorten veel gemengd water in de waterlopen geloosd wordt. Ook ter hoogte van de RWZI's zelf stelt er zich een probleem bij hevige regenval. De massale toevoer van water

overstijgt de capaciteit van de RWZI's en bovendien werkt de zuivering niet efficiënt door de sterke verdunning van het afvalwater met regenwater. Wanneer in de toekomst de gemengde rioleringsstelsels meer en meer vervangen zullen worden door gescheiden rioleringen, of op zijn minst de oppervlakkige waterafvoer van de riolering zal afgekoppeld zijn, zal de zuivering efficiënter kunnen gebeuren. De Mark zal dan ook minder belast worden met afvalwater via de overstorten en via het effluent van de RWZI's, waardoor de waterkwaliteit en dus het ecologisch potentieel zullen verbeteren.

Op de Mark worden op verschillende plaatsen metingen gedaan naar de kwaliteit van het



Vervuiling op de Mark.



Wateroverlast in de Klinketstraat, in Merkske, de Manège, de Laer en Dreef.

De overstromingen doen zich alleen voor stroomopwaarts van de samenvloeiing van de Mark met het Merkske. Stroomafwaarts van deze samenvloeiing regelen 5 stuwen het peil in de Mark. De waterloop is er 'gesaneerd' naar oude traditie. Stroomopwaarts van de samenvloeiing bevinden zich nergens belangrijke stuwen. Het belangrijkste knelpunt is de kruising van de Mark met de Klinketstraat. Vooral stroomopwaarts van deze kruising treedt de Mark regelmatig uit zijn oevers. Bij de grotere overstromingen komt de Klinketstraat ook tijdelijk onder water te staan, wat de doorgang op deze weg belemmert. Ook de Zandstraat, iets meer stroomopwaarts, komt af en toe onder water te staan.

De andere plaatsen waar overstromingen optreden, zijn in weiden en akkers gelegen. Omdat de overstromingen meestal in de winter voorkomen en het vee dan op stal staat, brengen overstromingen in weiden meestal niet al te veel problemen met zich mee. Bij akkers is de schade afhankelijk van de gewassen; sommige gewassen staan tijdens de winter ook nog op de akker.

Zowel voor weiden als voor akkers, maar eigenlijk voor alle gronden, is het belangrijk dat de waterkwaliteit goed is en geen verontreiniging optreedt.

De stuwen op het stroomafwaartse gedeelte van de Belgische Mark vormen een probleem voor het visbestand op de Mark. De vissen kunnen immers niet voorbij deze stuwen. Daarom worden er vistrappen langs de stuwen gepland om de vismigratie te herstellen. Een overeenkomst tussen de Benelux-ministers stelt immers dat de visbarrières op alle waterlopen tegen 2010 moeten weggewerkt zijn.

Een ander probleem in het stroomgebied van de Mark is verdroging. Verdroging betekent een vermindering van de specifieke waterinhoud van de watervoerende lagen en van de bodem door menselijke invloed. Vele akkers worden gedraineerd door grachten, greppels en uitgediepte beken. Dit heeft een grondwaterverlaging tot gevolg. Op plaatsen waar dit niet beoogd werd, bijvoorbeeld in natuurgebieden, spreekt men dan van verdroging. Deze verdroging treft planten en diersoorten, en leidt tot verschraving van de soortenrijkdom.



Links: Het stroomgebied van de Mark is een overwegend agrarisch gebied  
 Rechts: Molenarm op de Mark in Dreef. Ondanks het vlakke karakter van het stroomgebied waren er op de Mark verschillende watermolens. De grootste en bekendste, thans prachtig gerestaureerd, is de Laarmolen in Wortel, die twee maalrichtingen heeft.



Oude meander op de Mark ter hoogte van Groot Eysse.

water. Deze metingen worden uitgevoerd door de Vlaamse Milieumaatschappij. De kwaliteit wordt berekend aan de hand van een biologische index, de Belgische Biotische Index (BBI), en aan de hand van een chemische index, de Prati-index.

De methode van de BBI is gebaseerd op de aanwezigheid of afwezigheid van aquatische macro-invertebraten. Als macro-invertebraten beschouwt men ongewervelden als insecten, weekdieren, kreeftachtigen, wormen, e.d. De Biotische Index staat in functie van de relatieve gevoeligheid van bepaalde indicatorsoorten ten opzichte van verontreiniging enerzijds en diversiteit anderzijds. De waarden voor de index variëren voor 2002 tussen zeer slechte kwaliteit en zeer goede. Van de 16 meetpunten zijn er 7 die het label 'goede

kwaliteit' krijgen en één het label 'zeer goede kwaliteit'. Vier krijgen er 'matige kwaliteit', twee 'slechte kwaliteit' en één 'zeer slechte kwaliteit'. De beste kwaliteit werd op het Merkske vastgesteld, niet ver van de samenvloeiing met de Mark. De slechtste kwaliteit werd vastgesteld op de Laak, net voor de samenvloeiing met de Kleine Mark en de Mark.

Voor de analyse van de fysisch-chemische kwaliteit wordt de Prati-index gebruikt. Aan de hand van deze index kan een kwaliteitsklasse bepaald worden die functie is van het zuurstofverbruik in het water. Zuiveringsprocessen verbruiken immers zuurstof, waardoor dit zuurstofverbruik een maat is voor de verontreiniging. In 2002 was de fysisch-chemische kwaliteit op de meeste plaatsen 'matig' volgens deze parameter.

## 4 De kracht van computermodellen

Bij het aandragen van oplossingen voor het hoogwaterbeheer worden in toenemende mate computermodellen gebruikt. Deze stellen ons in staat om de doeltreffendheid van oplossingen ter voorkoming van bijvoorbeeld overstromingen op voorhand beter in te schatten.

Vroeger kon de impact van aanpassingen aan een waterloop (zoals het vergroten van een duiker, het plaatsen van een stuw, het ruimen van een beek) ter voorkoming van wateroverlast meestal pas beoordeeld worden eens de werken voltooid waren. De huidige kennis van hydrologie en hydraulica in combinatie met de rekenkracht van moderne computers laten toe een rivier of bekenstelsel op een andere manier te beheren. Met behulp van specifieke computerprogramma's gebaseerd op wiskundige modellen kan het huidige gedrag van een waterlopenstelsel vrij nauwkeurig nagebootst worden. Dergelijke modellen laten ook toe om de impact van wijzigingen in het waterlopenstelsel op voorhand te berekenen. Op die manier kunnen verschillende opties ter voorkoming van bijvoorbeeld wateroverlast in de toekomst gemakkelijker vergeleken worden.

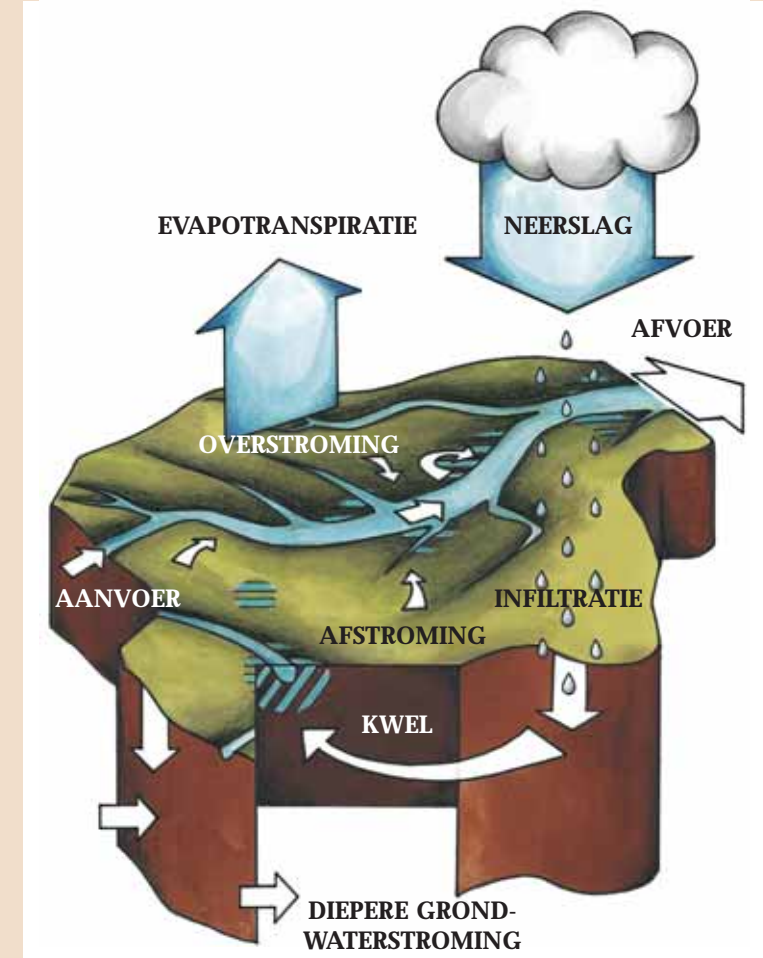
In de studie van de Mark is er gebruik gemaakt van twee computermodellen, namelijk van een hydrologisch model en een hydraulisch model.

### 1. Hydrologisch modellering

Het doel van een hydrologische studie is te achterhalen welke hoeveelheden water bij verschillende buien en op verschillende momenten (winter-zomer) door de waterlopen van een stroomgebied afgevoerd dienen te worden. Zo een studie analyseert het afstromingsgedrag van het stroomgebied en legt een relatie tussen het voorkomen van maximale debieten en de te verwachten terugkeerperiode ervan. De terugkeerperiode is een maat voor de uitzonderlijkheid van grote afvoeren, en is dus een belangrijk gegeven in de risicoanalyse van overstromingen. Er moet immers een redelijke verhouding gehanteerd worden tussen de grootte van de schade die mag verwacht worden en de kostprijs van de beschermingswerken tegen deze overstromingen.

#### DE KRINGLOOP VAN HET WATER

De hydrologie beschrijft de kringloop van het water boven, op en onder het aardoppervlak. In de oppervlaktewaterhydrologie wordt de relatie tussen neerslag en afvoer bestudeerd, m.a.w. de relatie tussen de neerslag die valt op een bepaalde oppervlakte en de hoeveelheid water die naar de waterlopen die deze oppervlakte draineren, afgevoerd wordt.



De hydrologie van een bepaald stroomgebied wordt bepaald door tal van factoren. In eerste instantie zijn dit de meteorologische parameters zoals neerslag en temperatuur. De neerslag bepaalt enerzijds welk volume water op de oppervlakte valt, maar ook met welke spreiding in de tijd dit gebeurt. De temperatuur heeft een invloed op de evapotranspiratie, het verdampen van water via planten of rechtstreeks van op het aardoppervlak. Naast de meteorologische parameters zijn het de gebiedseigenschappen die bepalen welke hoeveelheid water in de waterlopen terecht komt. De helling, het grondgebruik, de verzadigingsgraad van de bodem, de aard van de bodem, enz. bepalen in grote mate welk percentage van de neerslag rechtstreeks naar de waterlopen afgevoerd wordt. Dit percentage wordt aangeduid door de afvoercoëfficiënt. De rest van het water sijpelt in de bodem of blijft staan en verdampt.

#### ANALYSE VAN DE BESCHIKBARE GEGEVENS

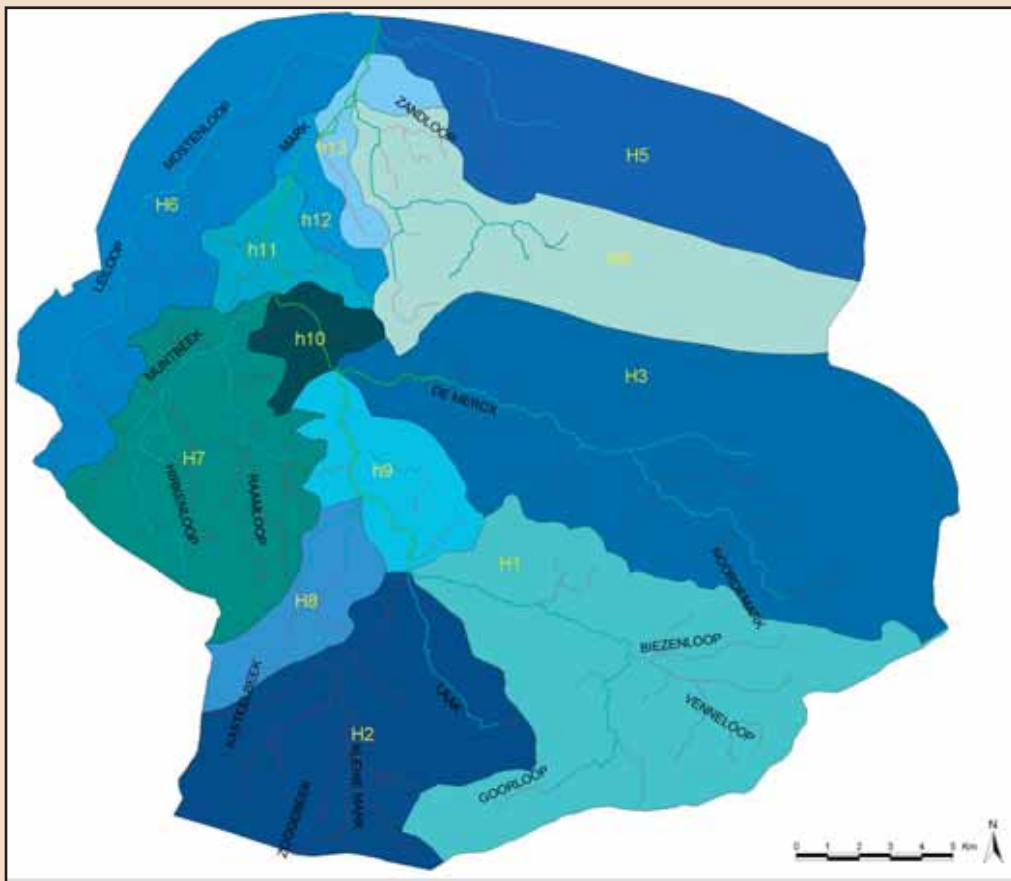
Op basis van bestaande neerslag- en debietgegevens van het stroomgebied van de Mark werd een hydrologische analyse uitgevoerd. De gegevens van de neerslag zijn beschikbaar bij het KMI, dat beschikt over een uitgebreid netwerk aan neerslagmeters (pluviografen en pluviometers). Pluviografen registreren de neerslag

Het hydrologisch model bootst met behulp van wiskundige formules de verschillende waterstromen van de bekende watercyclus na.





Limnigraaf te Minderhout.



De afvoer van regenwater uit het stroomgebied naar de Mark wordt berekend door het stroomgebied onder te verdelen in deelstroomgebieden. Elk deelgebied, dat meestal overeenstemt met een zijloop, produceert afvoergolven die deze deelgebieden binnenbrengen in de Mark. De afvoergolven worden berekend met een hydrologisch model, dat de bekende watercyclus nabootst.

continu; pluviometers worden eenmaal per dag afgelezen. Voor elk meetstation kunnen historische neerslagreeksen opgevraagd worden. In het stroomgebied van de Mark bevinden er zich drie pluviometers, namelijk in Meerle, Minderhout en Rijkvorsel.

Gegevens over het debiet zijn beschikbaar dankzij limnigrafen. Een limnigraaf is een toestel dat in de waterloop geplaatst wordt en permanent het waterpeil meet en registreert. Door debietmetingen op regelmatige tijdstippen uit te voeren, werd voor de meeste limnigrafen een relatie opgesteld tussen peil en debiet. Aan de hand van deze relatie kan op elk moment een peilmeting aan de limnigraaf omgerekend worden naar een waarde voor het debiet. Aangezien de limnigraaf het peil continu registreert, kunnen de historische tijdreeksen van het waterpeil dus omgerekend worden naar tijdreeksen van het debiet aan de limnigraaf. Er bevinden zich twee limnigrafen op de Mark. Een eerste limnigraaf bevindt zich sedert 1982 in Merksplas, ter hoogte van de Papenvoortsebrug, waar de Mark voor de eerste maal de weg van Merksplas naar Hoogstraten kruist. De tweede limnigraaf bevindt zich in Minderhout sedert 1992, waar de Mark de Castelreseweg kruist.

Naast deze beschikbare hydrologische gegevens werden bovendien data bekomen tijdens een 5 weken durende hydrologische meetcampagne in het kader van de modelleringsstudie. Hierbij werden op zes locaties peil- en debietmetingen uitgevoerd en op drie locaties neerslagmetingen.

Bij de hydrologische analyse worden twee soorten stormen onderscheiden. Enerzijds zijn er de stormen met een maximaal afstromingdebiet, anderzijds die met een maximaal afstromingvolume. De eerste zijn eerder het gevolg van korte, hevige onweders, die vaak in de zomer optreden. Door de hoge debieten treedt gemakkelijk overstrooming langs lage oevers op. Omdat de stormen meestal kort zijn, blijft het niet lang overstroomen. De tweede zijn eerder het gevolg van langdurige regenbuien met een aanzienlijke intensiteit. Deze zijn eerder winters fenomeen. Het grote gevaar zit hem hierin, dat wanneer de oevers overstroomd, dit gedurende lange perioden kan aanhouden, waarbij grote volumes water grote gebieden langsheen de waterloop kunnen blank zetten.

Voor beide limnigrafen werden jaargemiddelden, -maxima en -minima berekend van de debietreeksen en bijhorende neerslagreeksen. Uit de reeksen werden bovendien een groot aantal stormen geselecteerd en afzonderlijk bekeken. Voor elke storm werden een aantal karakteristieken zoals afvoercoëfficiënt, piekafvoer, duur en volume van de afvoergebeurtenis berekend en geïnterpreteerd. Door deze uitvoerige analyse van hydrologische data wordt het hydrologische karakter van het stroomgebied duidelijk.

De afvoercoëfficiënten zijn in de zomer beduidend lager dan in de winter. Hiervoor kunnen verschillende redenen aangehaald worden. Een reden is de situatie van het stroomgebied inzake bodemvochtgehalte en infiltratiecapaciteit. In de zomer is vegetatie in volle

bloei wat een belangrijk aspect is in het vasthouden van de neerslag in het stroomgebied. Er verdampt ook veel meer water dan in de winter. Door de langere droge perioden is de bodem zelden verzadigd waardoor meer water kan opgenomen worden en de oppervlakkige afvoer verlaagt. Door de veelal lagere grondwaterstanden infiltreren de waterlopen mogelijks meer dan dat ze draineren, wat ook een vermindering van de afvoer langs de waterloop zelf veroorzaakt. Een andere reden is de duur van de zomerstormen. Zomerstormen duren slechts enkele uren tot maximum enkele dagen. Winterstormen kunnen ook weken duren. Hoe langer de buien aanhouden hoe meer de bodem in het stroomgebied verzadigd geraakt en hoe meer oppervlakkige afvoer er gecreëerd kan worden.

### DE HERHALINGSKANS VAN AFVOERGOLVEN

De hoeveelheid water die op een bepaalde plaats in een waterloop in de loop van de tijd afgevoerd wordt, noemen we een afvoergolf. Deze kan gevisualiseerd worden door op een grafiek op de horizontale as de tijd te plaatsen, en op de verticale as het debiet (het volume water per tijdseenheid, meestal uitgedrukt in m<sup>3</sup>/s of in l/s). De typische klokvormige afvoergolf is meestal het gevolg van een geconcentreerde neerslag die als een enkelvoudige gebeurtenis of storm beschouwd kan worden. Vanaf de droogweerafvoer of basisafvoer stijgt de waterafvoer naar een maximaal debiet, dat na de regen opnieuw afneemt tot het basisdebiet. Indien meerdere afvoergolven na elkaar worden weergegeven spreekt men eerder van een debietreeks. De terugkeerperiode van een afvoerpiek (met maximum debiet of maximum volume) is een statistische maat voor de kans van optreden van die afvoerpiek, en wordt uitgedrukt in jaren. Een afvoerpiek met een terugkeerperiode van 5 jaar zal dus gemiddeld 1 keer in de 5 jaar optreden, een afvoerpiek met een terugkeerperiode van 1000 jaar zal statistisch gezien 1 maal in de duizend jaar optreden. Het is belangrijk te weten dat dit niet wil zeggen dat deze afvoergolf zich pas bin-

nen 5 of 1000 jaar zal voordoen. Dit kan even goed morgen, volgende week of binnen 4 jaar zijn. Het gaat om gemiddelde waarden. Een afvoergolf met een retourperiode van 5 jaar kan bijvoorbeeld ook in twee opeenvolgende jaren optreden, en dan bijvoorbeeld 10 jaar niet. Statistisch gezien over een langere periode komt deze dan inderdaad eens om de 5 jaar voor. Na de hydrologische karakterisatie wordt daarom een frequentieanalyse uitgevoerd op het voorkomen van afvoergebeurtenissen. De bedoeling is een relatie te leggen tussen het piekdebiet van een afvoergebeurtenis en zijn terugkeerperiode. Dezelfde frequentieanalyse, die een wiskundige bewerking is op de van groot naar klein gerangschikte afvoeren, wordt uitgevoerd voor de afgevoerde watervolumes. Deze laatste geven weer welk volume water in een afvoergolf aanwezig is. De stormen bepaald aan de hand van het afgevoerd volume zijn representatief voor hoogwatergebeurtenissen waarvan niet zozeer het piekdebiet van de storm kritisch is voor overstroomingen dan wel het totale volume van de afvoergebeurtenis. Dit zijn twee afzonderlijke criteria om hoogwaterafvoeren te selecteren in het kader van analyse van hoogwaterafvoeren. Beide methoden zullen resulteren in ontwerphydrogrammen die ingevoerd worden in de hydraulische modellering. De hydraulische modellering zal in detail nagaan of de waterloop deze afvoeren zonder overstroomingen kan verwerken.

De frequentieanalyse werd uitgevoerd op de gemeten debietreeks van beide limnigrafen. Voor beide locaties kan dus voor elke terugkeerperiode een te verwachten piekdebiet of volume afgelezen worden uit de grafiek. Of andersom, voor elk piekdebiet van een hoogwaterafvoer kan nagegaan worden welke terugkeerperiode de hoogwaterafvoer heeft. Uit de grafiek van de frequentieanalyse van de limnigraaf van Minderhout kan bijvoorbeeld afgelezen worden dat een piekdebiet van 10 m<sup>3</sup>/s een terugkeerperiode heeft van ongeveer 10 jaar.



Stuw nr. 6 (Het Looi). Stuwen zijn hydraulische infrastructuur die een belangrijke rol spelen in het gedrag van watersystemen en als zodanig dan ook een belangrijk onderdeel vormen van de computermodellen.





## HYDROLOGISCHE MODELLEN

Op basis van de hydrologische analyse van de bestaande debiet- en neerslagreeksen werd reeds een goed beeld verkregen van de werking en het gedrag van het hydrologisch systeem. Om een exacter beeld te verkrijgen van de te verwachten afvoeren bij bepaalde terugkeerperioden wordt overgegaan tot een hydrologische computermodellering. Een goed computermodel laat toe om lange neerslagreeksen - die meestal wel beschikbaar zijn - om te zetten in even lange debietreeksen. Uit die lange debietreeksen kunnen vervolgens realistische afvoergolven bij verschillende retourperiodes bekomen worden.

Dit gebeurde voor de Mark met behulp van het softwareprogramma ISIS PDM. Op basis van neerslag- en evapotranspiratiegegevens berekent dit programma een debietreeks. Een aantal parameters, die de hydrologische eigenschappen van het (deel)stroomgebied beschrijven, dienen aangepast te worden totdat de gesimuleerde reeks zo goed mogelijk overeenstemt met de werkelijk gemeten reeks. Dit wordt de kalibratie genoemd. Het model van de Mark werd gekalibreerd op basis van de debietreeks ter hoogte van de limnigrafen van Merksplas en van Minderhout en van de 5 weken durende debietmeetcampagne die bij het begin van de studie uitgevoerd werd.

Voor de kalibratie werden een aantal 'events' of afvoer-gebeurtenissen geselecteerd. Hiervoor werden zowel korte als lange perioden gebruikt. De kalibratie wordt op drie verschillende manieren getoetst. Een eerste toetsing van de simulatie gebeurt aan de hand van de zogenaamde eyeball-kalibratie. Dat betekent dat de controle gebeurt door de gemeten en gesimuleerde reeksen grondig te bekijken en de afwijkingen te analyseren naar hun voorkomen. Hierbij wordt zowel gekeken naar de lange termijnvariabiliteit, de seizoensvariabiliteit als de stijgende en dalende delen van de hoogwatergebeurtenissen en natuurlijk naar de piekdebieten. Een tweede toets is de wiskundige som van het kwadraat van alle verschillen tussen berekende en opgemeten debieten, die in PDM zelf berekend wordt en een

maat is voor het passen van de gesimuleerde debietreeks op de te simuleren reeks. Voor de derde manier waarop de toetsing van de simulatie gebeurde, wordt de frequentieanalyse gebruikt. De resultaten van de frequentieanalyse van de gesimuleerde debietreeks werden vergeleken met de frequentieanalyse van de te simuleren debietreeks. Hoe beter de resultaten van beide frequentieanalyses overeenkomen, hoe beter het hydrologisch model de debietreeks simuleert. Dan zullen immers ook de trends van hoge en lage debieten en het volume van de afvoeren gerespecteerd zijn.

Bij grotere terugkeerperioden vertoont de gemodelleerde debietreeks hogere piekdebieten dan de gemeten debietreeks. Dit is logisch omdat in het hydrologisch model geen overstromingen optreden. Door overstromingen zullen in de werkelijkheid de hydrogrammen immers sterk afgetopt worden en in lagere piekdebieten resulteren. Het hydrologisch model simuleert alleen de weg van de neerslag naar de waterloop toe, dit betekent afvoer over het landoppervlak, door de onverzadigde zone en via het grondwater. Het verloop in de waterloop zelf, met overstromingen waar de oevers laag liggen, wordt nadien in het hydraulisch model gesimuleerd.

Met een frequentieanalyse mag men eigenlijk maar voorspellingen doen voor maximaal twee maal de lengte van de gebruikte tijdreeks van gegevens. Immers, hoe korter de tijdreeks, hoe minder waarschijnlijk het is dat daarin uitzonderlijke gebeurtenissen zitten, en die willen we nu juist met een frequentieanalyse vinden. Een hydrologisch model alleen stelt ons dus nog niet in staat met (relatief) voldoende zekerheid het te verwachten debiet bij bv. een 50- en 100-jarige terugkeerperiode te achterhalen. Om dit probleem op te lossen wordt het hydrologisch model gebruikt om de 100-jarige neerslagreeks van het KMI te Ukkel om te zetten in een 100-jarige debietreeks. Er kan aangetoond worden dat de neerslag te Ukkel representatief is voor de neerslag in het stroomgebied van de Mark.

Grafieken links op blz. 19: de frequentiecurven 'debiet in functie van retourperiode' volgens verschillende statistische formules voor beide limnigrafen op de Mark.

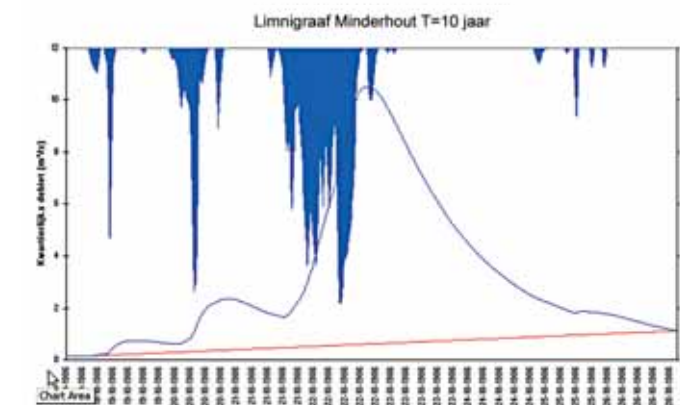
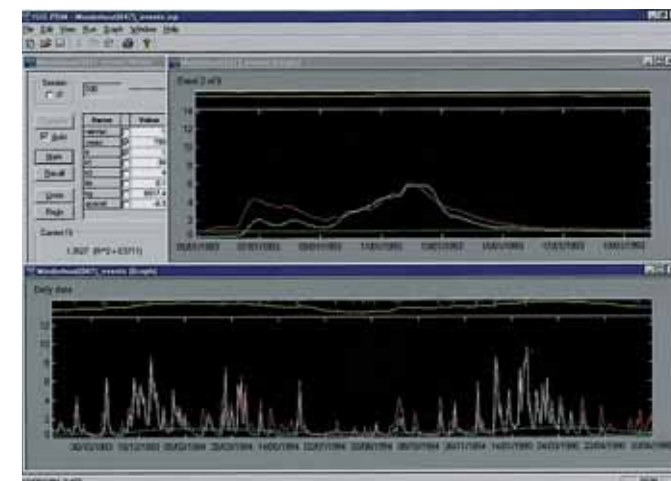
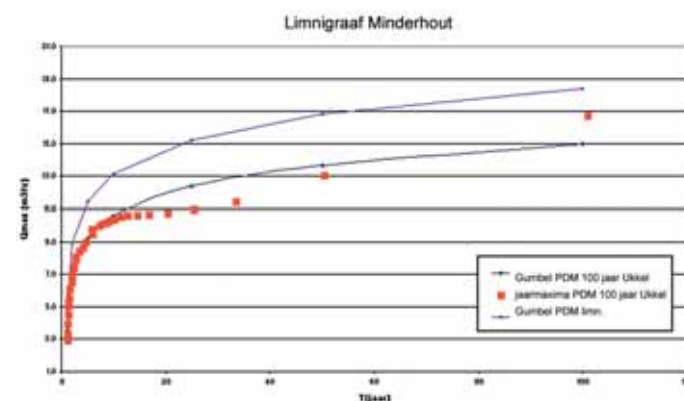
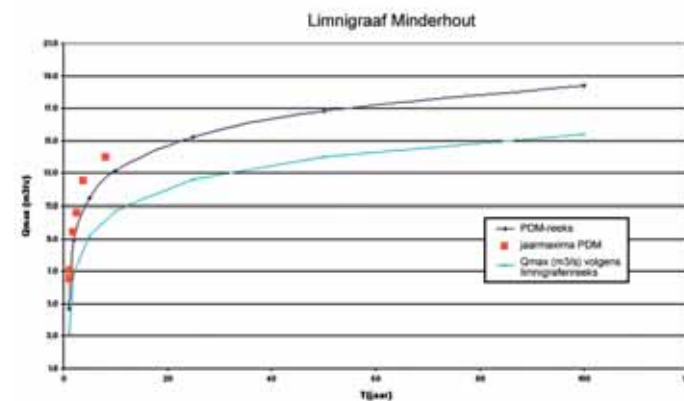
Op blz. 19 rechts boven: grafische voorstelling op een computerscherm van de kalibratie van het hydrologisch model PDM. In het wit de gemeten afvoergolven, in het rood de berekende. De parameters (getallen linksboven) worden zodanig aangepast tot een goede overeenkomst bereikt is. Zowel jarenlange afvoergolven (onderaan) als aparte stormen (bovenaan) worden bestudeerd.

## PDM

Het PDM-model (Probability Distributed Moisture) is een conceptueel neerslag-afvoermodel geschikt voor continue simulaties. Een conceptueel model is gebaseerd op een vereenvoudigd concept voor de beschrijving van het neerslag-afvoerproces. Het model beschrijft de functionele relaties tussen invoer (neerslag) en uitvoer (afvoer) van het watersysteem aan de hand van semi-empirische wiskundige vergelijkingen. De fysische betekenis hiervan is echter onvoldoende opdat de parameters uit directe metingen kunnen afgeleid worden. De parameters dienen bepaald te worden

door kalibratie. PDM werd in de loop van de jaren '80 ontwikkeld door het bekende British Institute of Hydrology. In essentie laat een dergelijk model de oppervlakkig afstromende neerslag door een aantal opeenvolgende reservoirs lopen. Daartoe wordt de gevallen neerslag eerst via een verliesfunctie vermindert tot de hoeveelheid neerslag die oppervlakkig afstroomt (het verlies stelt de neerslag voor die verdampt, blijft staan in plassen of in de grond sijpelt). De reservoirs stellen dan de voornaamste fysische elementen (bergingen) van het stroomgebied voor die invloed heb-

ben op de afstroming van de neerslag over de grond richting waterloop. Als belangrijkste kenmerk van PDM geldt het gebruik van een wiskundige verdelingsfunctie voor het bodemvochtgehalte ('soil moisture capacity') zodat niet langer met één conceptueel bodemreservoir gerekend wordt, maar met een ganse waaier van reservoirs. Dit laat toe om de dynamische aangroei van de vernattende gebieden in rekening te brengen zonder dat deze gebieden expliciet op kaart lokaliseerbaar moeten zijn. Er bestaan veel andere soorten modellen, die echter allemaal hun voor- en nadelen hebben.



## ONTWERPHYDROGRAMMEN

Het uiteindelijke doel van de hydrologische modellering is het bepalen van ontwerphydrogrammen voor de verschillende zijlopen van de Mark voor verschillende terugkeerperioden, namelijk 2, 5, 10, 25, 50 en 100 jaar. Deze ontwerphydrogrammen geven het verloop van het debiet doorheen de tijd weer voor een bepaald punt op de hoofdloop en worden gebruikt als inloophydrogrammen in de hydraulische modellering. Het ontwerphydrogram wordt bepaald door in de gemeten debietreeks of in de 100-jarige gesimuleerde debietreeks, een storm te zoeken die een maximaal debiet, of een maximaal afgevoerd volume, heeft dat gelijk is aan het berekende maximaal debiet of afgevoerd volume bij een bepaalde terugkeerperiode. Deze realistische storm zal dan het water geven dat via de zijlopen in de hoofdwaterloop terecht komt.

De ontwerphydrogrammen worden bepaald voor verschillende deelstroomgebieden die overeen komen met de verschillende zijlopen, zodat in het hydraulisch model op verschillende plaatsen het debiet kan opgelegd worden. Dit impliceert dat de volledige hydrologische modellering eerst voor elk deelstroomgebied uitgevoerd dient te worden vooraleer het hydraulisch model kan starten.

## 2. Hydraulische computermodellering

Een hydrologisch model bestudeert niet hoe het water dat in een waterloop geraakt is, verder doorheen deze waterloop stroomt. Een hydraulisch model kan dat wel. In een hydraulisch model wordt de waterloop nagebouwd en nagebootst. Het model bestaat uit een raamwerk van knopen. De meeste knopen zijn de dwarssecties van de waterloop, met bedding en oevers, bijvoorbeeld om de 50 meter genomen. Andere knopen geven de kunstwerken en hindernissen weer die te vinden zijn op de waterloop, zoals klepstuwen, bruggen, duikers, meanders, overstromingszones, enz. De afmetingen van al deze secties en kunstwerken worden voorafgaandelijk nauwkeurig op het terrein opgemeten door landmeters. Aan dit raamwerk van knopen worden op verschillende plaatsen de ontwerphydrogrammen, afgeleid uit de hydrologische modellering, ingevoerd. Deze ontwerphydrogrammen voeden de waterloop dus met het afspoelend regenwater. Het rekenprogramma van het hydraulisch model zal dan de waterafvoer doorheen het raamwerk berekenen, volgens de natuurkundige stromingsvergelijkingen - namelijk het behoud van massa en het behoud van beweging - opgesteld door de Franse onderzoeker de-Saint-

Figuur rechtsonder: het typisch klokvormig ontwerphydrogram voor een retourperiode van 10 jaar aan de limnigraaf te Minderhout. De donkere balkjes bovenaan geven de overeenstemmende neerslag aan.





Het hydraulisch model zal in het bijzonder de overstroming van de oevers vaststellen evenals de wijze waarop het overstromend water de valleien zal vullen. Daartoe moet de nauwkeurige hoogteligging van deze valleigronden worden opgemeten en ingevoerd in het model. Het kaartje geeft het snoer van opeenvolgende reservoirs of wachtbekkentjes langsheen de hoofdwaterlopen aan, waar water kan blijven staan.

Ook het hydraulisch model wordt gekalibreerd. Daartoe worden metingen (balletjeslijn) en berekeningen (volle lijn) van gekende stormen met elkaar vergeleken. Parameters worden aangepast tot een goede overeenkomst bekomen wordt.

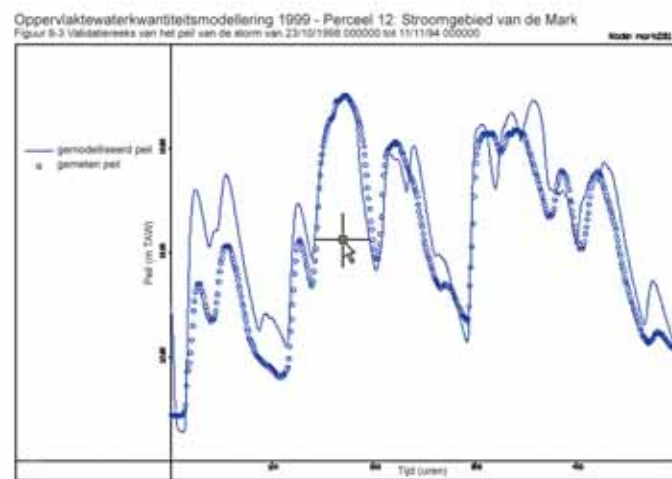
Venant, en aangeven waar er afvoerknelpunten optreden en er zich bijvoorbeeld overstromingen voordoen. De oplossing van deze wiskundige vergelijkingen geeft een gelijktijdig resultaat voor het waterpeil, debiet en stroomsnelheid in elke knoop van het model. Het typisch resultaat van de stroming doorheen een waterloop is de afvlakking (lager piekdebiet) en uitdeining (verbreden) van de typische klokvormige afvoergolven in de waterloop. Dit is te wijten aan de stromingsweerstand die de golf ondervindt van de ruwheid en begroeiing van bedding en oevers, en van de hindering en afremming van de stroming aan vernauwingen en inbuizingen. Goede modellen laten daarenboven toe om complexe situaties te berekenen, bijvoorbeeld de werking van stuwen en sluisen, of van een vermaasd netwerk van waterlopen. Het gebruikte Engelse softwareprogramma ISIS voldoet aan al deze voorwaarden. Door later knopen weg te laten, bij te voegen of te veranderen, kan het model omgezet worden in een toekomstige situatie van de waterloop. Nieuwe berekeningen in deze toestand laten dan toe het effect van de ingrepen en wijzigingen te evalueren.

### OPBOUW VAN HET MODEL

In het ISIS-model van de Mark werden alle waterlopen van eerste categorie van het Belgische gedeelte van de Mark opgenomen. Dat betekent dat naast de Mark zelf, ook een deel van het Merkske, de drie meanders van de Mark en de molenarm van de molen in Dreef, in het model werden opgenomen. De samenloop van de Mark met de Kleine Mark en de Laak is de bovenstroomse rand van het model voor de zijde van de Mark zelf. Voor het Merkske start de modellering ter hoogte van de Schoorbrug in Hal. Stroomafwaarts eindigt het model aan de Belgisch-Nederlandse grens, stroomafwaarts van de samenloop van de Strijckbeekse loop (Gouwbergse loop) en de Mark. Al de kunstwerken die op de Mark, het Merkske en de meanders voorkomen zijn opgenomen in het model. De stroomopwaartse randvoorwaarden bestaan uit de inloophydrogrammen van de verschillende deelstroomgebieden. De stroomafwaartse randvoorwaarde bestaat uit het waterpeil in de Mark, bepaald aan de hand van gegevens van een hydrografisch meetstation in Nederland, de Blauwe Kamer. Op een groot aantal plaatsen bleek het noodzakelijk om overstromingszones in het model in te bouwen zodat de effecten van een 100-jarige storm doorgerekend konden worden.

### KALIBRATIE EN VALIDATIE VAN HET MODEL

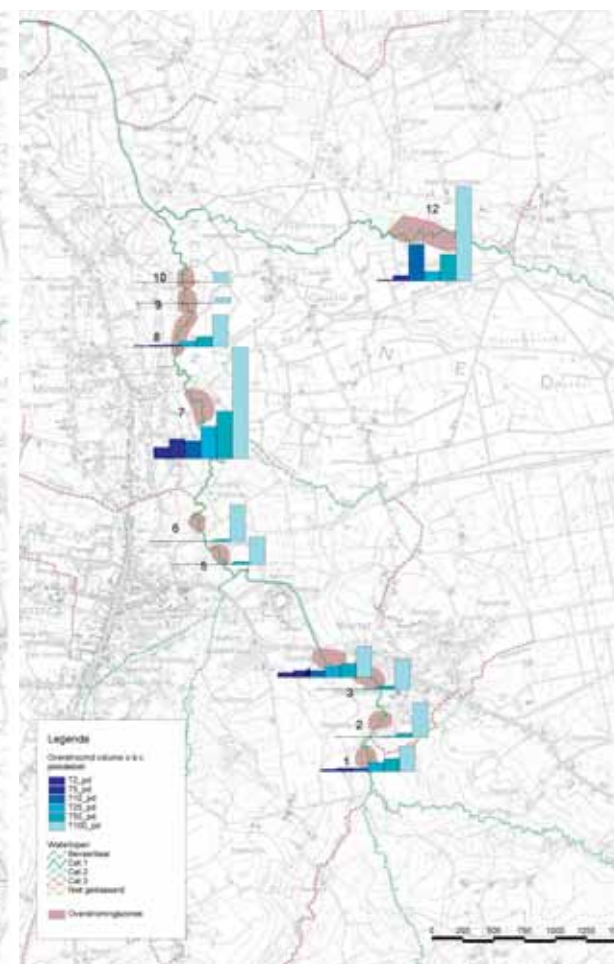
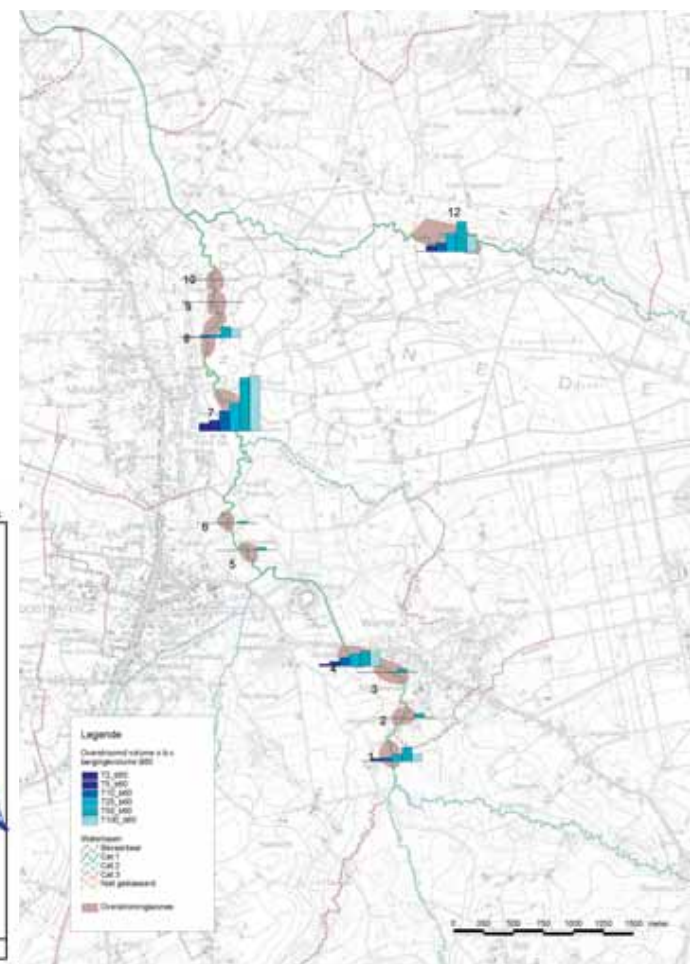
Het model werd gekalibreerd door de met PDM gesimuleerde inloophydrogrammen voor een storm uit de meetcampagne in te voeren. De gemodelleerde peilen ter hoogte van de verschillende meetpunten uit de meetcampagne en ter hoogte van de limnigrafen werden vergeleken met de werkelijk gemeten peilen. Hetzelfde werd gedaan voor een aantal stormen uit de debietreeks, gemeten ter hoogte van de limnigrafen. Door de ruwheid van bedding en wanden aan te passen en de regeling van de stuwen zo goed mogelijk te laten verlopen als in werkelijkheid, kon het model gekalibreerd worden. Er werd een maximale afwijking van 5 à 10 cm op de gemeten peilen bekomen, hetgeen overeenkomt met de intrinsieke nauwkeurigheid van het model. Na de kalibratie of afijking wordt een



model ook nog gevalideerd, d.i. gecontroleerd voor stormen die niet gebruikt werden bij de kalibratie. Daartoe worden berekende en gemeten waarden met elkaar vergeleken zonder nog te sleutelen aan de parameters van het model. Pas dan is het model goedgekeurd voor verdere berekeningen.

### SIMULATIE BESTAANDE TOESTAND

Eens het model opgebouwd en gecontroleerd is, worden de ontwerphydrogrammen voor de verschillende terugkeerperioden (zowel voor het piekdebiet als het volume) doorgerekend. Uit de resultaten van deze simulaties kunnen de overstromingsgevoelige locaties bepaald worden. Ook in deze fase gebeurt er nog een nazicht: de berekende locaties moeten immers overeenstemmen met de plaatselijke ervaring, zo niet moet het model opnieuw bijgestuurd worden. Reeds bij de berekeningen met ontwerphydrogrammen met herhalingsperiode 2 jaar treedt overstroming op in het gemodelleerd gedeelte van de Mark. Het vergelijken van maximale peilen alleen in de waterloop is dus niet betekenisvol, men moet het effect van de overstromingen mee in beschouwing nemen. Omdat er nog geen gedetailleerd DTM (Digitaal Terrein Model) beschikbaar was en geen valleigebieden opgemeten werden, kon de verspreiding van de overstroming - de geografische afbakening van de overstromingszones - ook niet correct berekend worden. Daarom werd voor de verschillende overstromingszones enkel het totale overstromde watervolume berekend. Dat volume kan gebruikt worden om de effecten



van bepaalde ontwerpscenario's met elkaar en met de bestaande toestand te vergelijken. Hoe kleiner de overstromingsvolumes hoe beter het ontwerp. Door vele terreinbezoeken en gesprekken met bewoners van de betrokken gebieden zijn de overstromingsgebieden van de Mark gelukkig toch goed gekend. Hieruit blijkt dat de gemodelleerde overstromingsgebieden goed overeenkomen met de werkelijke overstromingsgebieden. In februari 2002 trad de Mark op vele plaatsen ver buiten zijn oevers. Een terreinbezoek op 26 februari bevestigde de resultaten van de modellering van de overstromingsgebieden.

### SIMULATIE VAN NIEUWE TOESTANDEN

Het hydraulisch model laat nu toe om ontwerpscenario's of wijzigingen in de waterloop of zijn omgeving door te rekenen.



Op deze kaartjes staan, voor zomerstormen (links) en winterstormen (rechts) en voor de verschillende retourperiodes (de verschillende gekleurde balkjes), de overstromde hoeveelheden water aangeduid die in de verschillende valleilaagten overstromen in een bepaald scenario.

Dit kaartje toont een deel van het hydraulisch model, dat een ketting is van opeenvolgende rekenknopen. De meeste knopen zijn de dwarsdoorsneden van de waterloop; andere knopen stellen bruggen voor of andere kunstwerken en hindernissen. Complexe modellen kunnen meer dan 5.000 knopen tellen.



# 5 Welke maatregelen hebben effect?

Tijdens het derde lokaal wateroverleg met de stuurgroep werd overeengekomen welke ontwerpscenario's berekend zouden worden. In het eerste scenario worden de wachtbekkens, voorzien in de ruilverkaveling van Merksplas, gesimuleerd. In het tweede scenario wordt nader ingegaan op de capaciteit van de overstromingszone aan de Klinketstraat aan de hand van een digitaal terrein model (DTM) van het gebied. In het derde scenario tenslotte wordt het effect van de geplande vistrappen aan de stuwen op de Mark gesimuleerd.



## Scenario 1

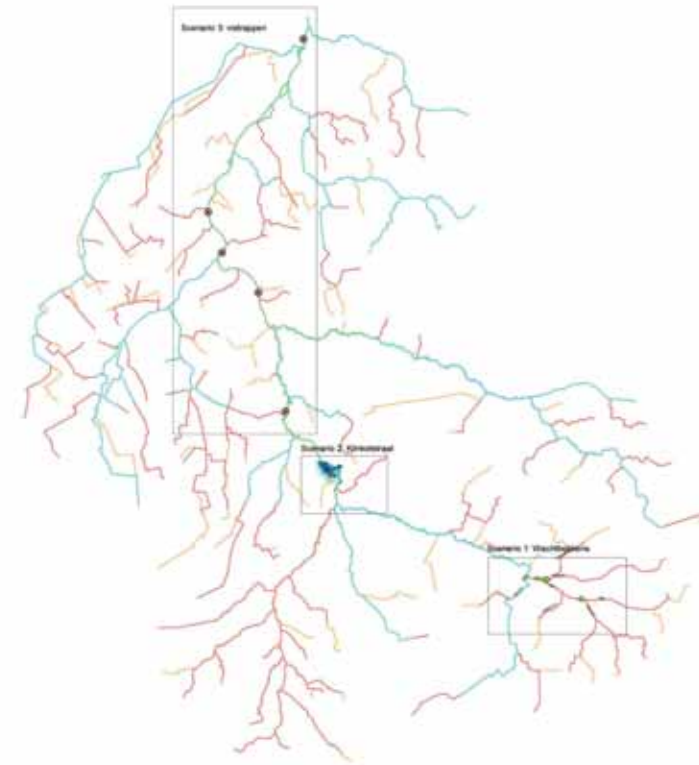
Als eerste scenario werd het effect doorgerekend van de wachtbekkens die gepland zijn in het kader van de ruilverkaveling van Merksplas.

In Tabel 1 worden de overstroomde volumes weergegeven voor de verschillende overstromingszones in de bestaande toestand en voor de toestand van scenario 1. Er werden twee manieren van lozen van het wachtbekken gesimuleerd. In de eerste situatie stromen de wachtbekkens leeg onmiddellijk nadat het peil in de waterloop terug tot het drempelpeil gezakt is. In het tweede geval stromen de wachtbekkens pas leeg nadat over het hele Belgische verloop van de Mark het waterpeil gezakt is tot onder het kritische peil (het water

is dan overall gezakt tot onder het peil van de oever). De berekeningen van het eerste scenario tonen aan dat de wachtbekkens die gepland zijn in het kader van de ruilverkaveling zeker een gunstig effect hebben op de overstromingen in het gemodelleerd gedeelte van de Mark. Het effect is echter sterk afhankelijk van het moment waarop de wachtbekkens lozen. Het ideale moment is het tijdstip waarop bij de meest overstromingsgevoelige plaatsen het debiet gezakt is tot onder het kritische debiet voor die plaatsen. Indien vroeger geloosd wordt, vervalt het positief effect van de wachtbekkens. Er moet anderszits ook snel genoeg geloosd worden opdat, wanneer een volgende storm snel volgt, de wachtbekkens zich opnieuw kunnen vullen.

Tabel 1: vergelijking overstroomde volumes (m3) bij T=50 jaar

OVERSTROMINGSZONES	BESTAANDE TOESTAND	SCENARIO 1 MET ONMIDDELIJKE LOZING	SCENARIO 1 MET UITGESTELDE LOZING (6-12-1960)
1: tussen manege en Zandstraat	315.463	312.817	213
2: stroomafw. Zandstraat	90.810	70.892	1
3: tussen Zandstraat en Klinketstraat	81.978	72.697	0
4: stroomopw. Klinketstraat	336.281	410.485	36503
5: stroomafw. van Hoogstratensebaan, stroomopw. Van Molenstraat	57.553	47.460	8
6: stroomopwaarts van de Laermolen	41.479	30.610	0
7: stroomopw. limnigraaf Minderhout (Castelreseweg)	1.197.817	1.454.454	189.607
8: stroomafw. Castelreseweg, ten oosten van Lage Weg	246.887	269.034	8.118
9: stroomafw. Castelreseweg, ten oosten van Lage Weg	807	641	0
TOTAAL	2.369.075	2.262.252	36.923



## Scenario 2

In het tweede scenario werd de overstromingszone tussen de Klinketstraat en de Zandstraat in Wortel nader bekeken. Hiervoor werden de topografische gegevens van het terrein, opgenomen in het kader van de ruilverkaveling van Rijkvorsel, gebruikt. Uit de studie blijkt dat wanneer het volledige overstromingsgebied gevuld zou worden tot 17.0 m TAW, 343.200 m<sup>3</sup> water geborgen zou kunnen worden. Dit is minder dan het totale volume dat nu overstroomt voor stormen met een herhalingsperiode kleiner dan 25 jaar. Door een stuw te bouwen aan de stroomafwaartse rand van de overstromingszone zou ook voor stormen met kleine herhalingsperiodes de capaciteit van de overstromingszone optimaal gebruikt kunnen worden. Dit zou een verbetering betekenen voor de stroomafwaarts gelegen gebieden. Men moet er echter wel rekening mee houden dat dit opstuwings zal veroorzaken in de onmiddellijk stroomopwaarts gelegen zone. Tijdens een 25-jarige storm echter, in het basismodel zonder stuw, is het totaal overstroomde volume volgens de modellering al meer dan 300.000 m<sup>3</sup>. Een stuw zou de capaciteit van de overstromingszone dus niet meer kunnen verbeteren voor deze grote stormen. Alle stormen geselecteerd op basis van piekde-



Links: Situering van de drie scenario's.

Rechts: Limnigraaf te Merksplas.

biet werden in het model, zonder stuw, ingevoerd en doorgerekend. Het is dus een meer gedetailleerde modellering van de overstromingen in de Klinketstraat in de bestaande toestand. Zo kon de uitbreiding van de overstromingszone met toenemende grootte van stormen toch ingeschat worden aan de hand van het DTM van de Vlaamse Landmaatschappij. In Tabel 2 wordt het maximaal peil gegeven voor de verschillende herhalingsperiodes ter hoogte van de stroomafwaartse rand van de overstromingszone, namelijk net stroomopwaarts van de Klinketstraat.

Op 26 februari 2002 was het waterpeil in de overstromingszone gestegen tot ongeveer 20 cm onder het sleutelpeil van de brug, wat betekent dat het waterpeil van de overstromingszone toen ongeveer op 16.05 m TAW stond. Uit onderstaande tabel blijkt dat dit peil overeenkomt met het maximale peil van een 25-jarige afvoer.



Tabel 2: Maximaal peil voor ontwerphydrogrammen van piekdebiet aan de stroomafwaartse rand van de overstromingszone in de Klinketstraat

T (JAAR)	MAXIMAAL WATERPEIL (M T.A.W.)
5	15.87
10	15.89
25	16.06
50	16.19
100	16.47



### BREDA

De stad Breda is stroomafwaarts van de Belgisch-Nederlandse grens langs de Mark gelegen. Breda heeft regelmatig te kampen met wateroverlast veroorzaakt door hoogwater op de Mark. Momenteel heeft de stad bescherming tegen een afvoer met een terugkeerperiode van 50 jaar. Om een betere bescherming te bieden wordt er gezocht naar aanvullende maatregelen. Omdat de Nederlandse oppervlakte van het stroomgebied stroomopwaarts van Breda zeer beperkt is, ontstaat er een probleem bij het zoeken naar bergingsmogelijkheden voor bijkomende bescherming. Daarom werd de vraag vanuit Nederland gesteld wat de mogelijkheden zijn op het Belgisch gedeelte van het stroomgebied.

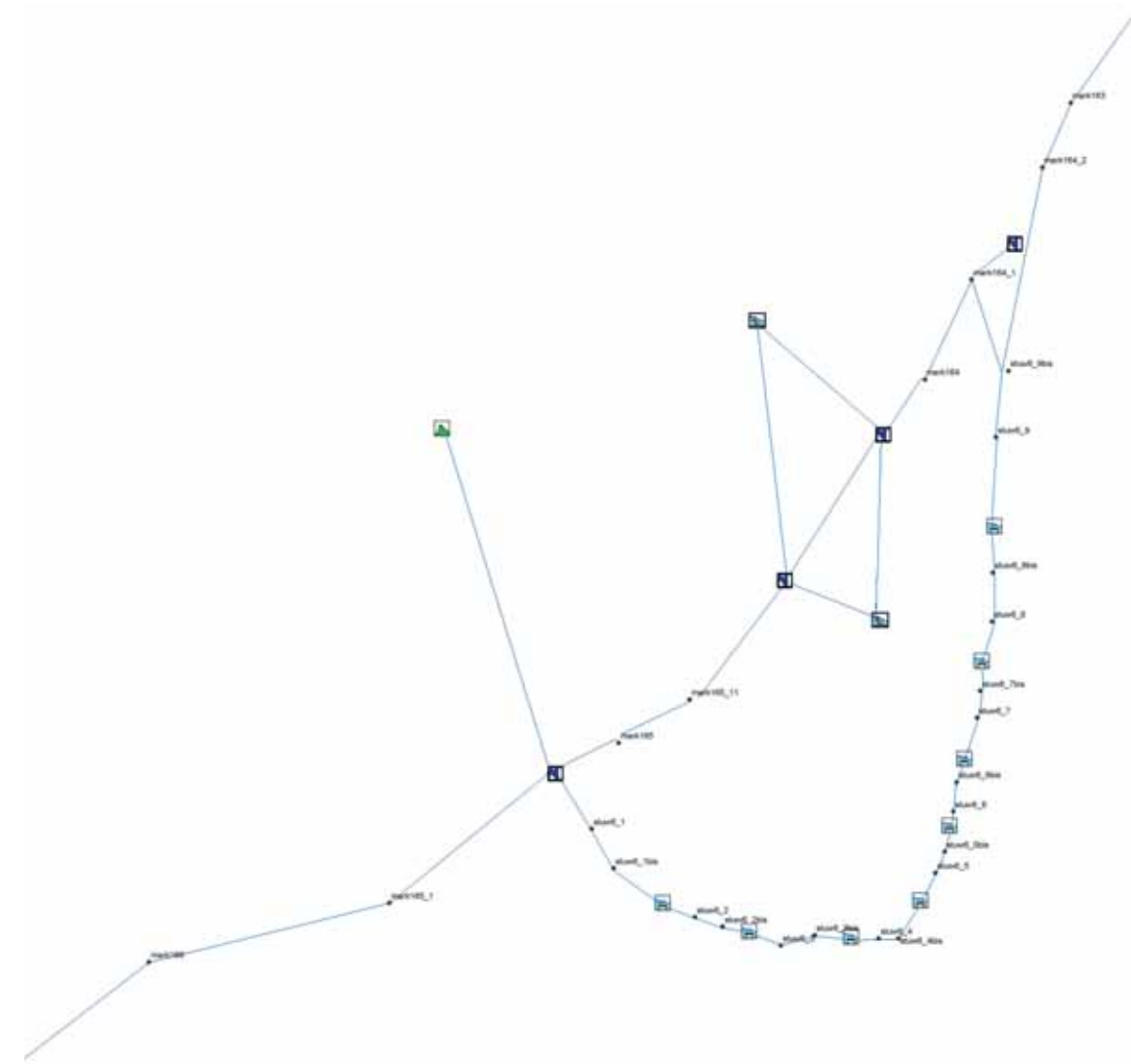
Uit de berekeningen van het tweede scenario is gebleken hoeveel de bergingscapaciteit van het gebied ongeveer bedraagt, namelijk 343.200 m<sup>3</sup> wanneer het bekken gevuld wordt tot op 17 m TAW. Bij de kleinere stormen zoals die met herhalingsperiode van 2 jaar kan een stuw er voor zorgen dat de capaciteit beter gebruikt wordt. Door een stuw te plaatsen kan er meer water vast gehouden worden dan wat er op natuurlijk manier zou overstromen en dus vertraagd wordt. Bij grotere stormen echter zoals die in februari 2002, wordt het gebied al door natuurlijke overstroming tot op een hoog niveau gevuld. Dat betekent dat er voor de grote stormen nu al een sterk vertragend effect gegenereerd wordt door deze natuurlijke overstromingszone. Door de bouw van een stuw en eventueel bijkomende dijken aan de rand van de overstromingszone

kan het effect wel nog wat vergroot worden. Hierbij moet echter rekening gehouden worden met een grotere opstuwing en dus hogere peilen aan de stroomopwaartse kant van het overstromingsgebied.

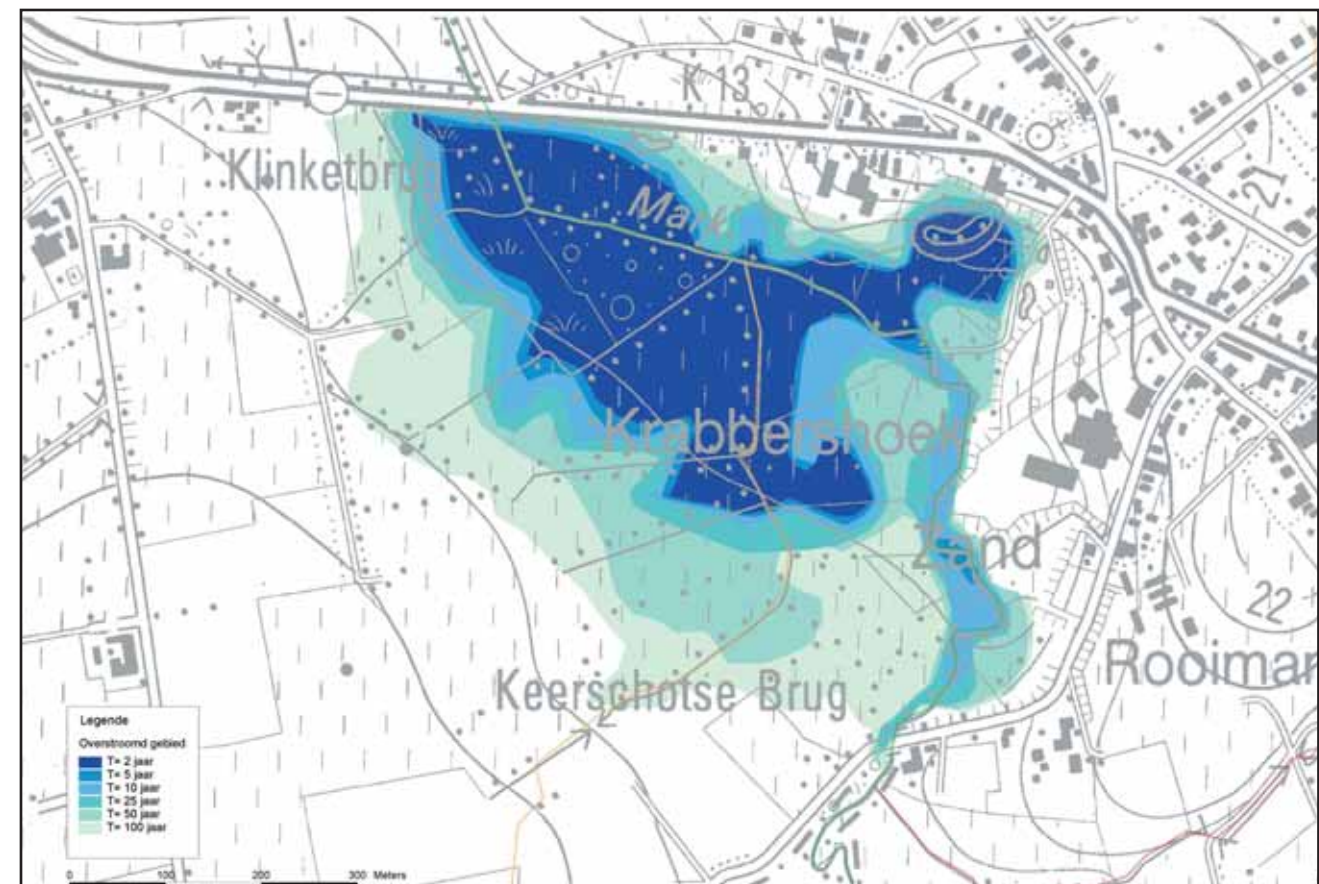
Het is dus vooral voor afvoergebeurtenissen met een terugkeerperiode die lager is dan 25 jaar, dat de overstromingszone een effect zou kunnen hebben. Gezien Breda al beschermd is voor een 50-jarige afvoer is de mogelijke bijdrage van dit gebied voor de stad Breda beperkt.

### Scenario 3

In het derde scenario werden in totaal 5 vistrappen in het model ingebouwd. Vier van deze vistrappen bevinden zich aan de stuwen op de Mark. De vijfde vistrap bevindt zich aan de Laermolen in Minderhout. Het ontwerp van deze vistrappen was reeds beschikbaar zodat de modellering zo getrouw mogelijk aan het ontwerp uitgevoerd kon worden. Het model met de vistrappen werd eerst doorgerekend voor het ontwerphydrogram piekdebiet met herhalingsperiode 2 jaar. De hoogwatersituatie werd doorgerekend om na te gaan of de constructies niet te veel opstuwing veroorzaken. Vervolgens werd het model ook doorgerekend voor het gemiddelde jaarlijkse minimum debiet omdat laagwatersituaties kritischer zijn voor de goede werking van de vistrappen. Bij te laag water wordt de vismigratie over de vistrap immers verhinderd.



Detail van een stukje hydraulisch model met zijn rekenknopen. De knopen zijn bouwstenen, die wegge laten, toegevoegd of veranderd kunnen worden. Wiskundige formules die daar bij horen, berekenen de waterafvoer door de gehele ketting. De kleine zwarte puntjes zijn gewone dwarssecties van de rivier. Speciale kunstwerken zijn aangegeuid met een eigen symbooltje. Het groene klokje links stelt het inloophydrogram voor van een zijriviertje.



Berekende overstromingskaart van de vallei ter hoogte van de Klinketbrug. De kleuren geven de retourperiode van overstroming aan (van donkerblauw tot lichtgroen voor de retourperioden van 2 tot 100 jaar).



## 6 Wat brengt de toekomst?

Uit de berekeningen bleek dat de vistrappen geen probleem vormen voor de hoogwaterafvoeren. Er werd slechts een kleine opstuwung veroorzaakt door de smallere doorgang aan de Laermolen. Het ontwerp van deze vistrap zal echter volledig opnieuw bekeken worden. Doordat bij enkele vistrappen een van de twee kleppen van de stuw weggenomen wordt en vervangen door de vistrap, wordt het vaste streefpeil in het opwaartse pand echter moeilij-

ker vastgehouden in geval van laag water. In Tabel 3 worden de peilen achter de stuwen met vistrap gegeven voor de berekening met het gemiddeld jaarlijks minimum debiet. Bij laagwatersituatie zal het water in de Mark dus lager staan. Dit kan een invloed hebben op de grondwaterstand in de aangrenzende percelen, en in geval van droogte kan dit een probleem zijn voor de landbouw.

Tabel 3: Peil stuwen in scenario 3

STUW	STREEFPEIL (M T.A.W.)	PEIL BIJ GEMIDDELD JAARLIJKS MINIMUM DEBIET (M T.A.W.)
Stuw E	6.10	5.5
Stuw B	9.0	8.5
Stuw 6	9.74	9.35
Stuw A	10.73	10.35



Zicht op het landschap langs de Mark ter hoogte van stuw nr. 4.



De wachtbekkens in het kader van de ruilverkaveling van Merksplas kunnen een gunstige invloed hebben op de overstromingen van de Mark. Hierbij is het echter heel belangrijk dat het moment van lozen goed gekozen wordt. Een snelle lozing beperkt ook het opstuwend effect tot het gebied in de onmiddellijke omgeving van de wachtbekkens.



Vallei van de Mark ter hoogte van Looi.

Het overstromingsgebied aan de Klinketstraat kan voor bijkomende berging zorgen voor frequent voorkomende afvoergolven wanneer aan de stroomafwaartse rand een stuw geplaatst zou worden. Dit geldt evenwel alleen voor afvoergebeurtenissen met een terugkeerperiode kleiner dan 25 jaar. Bij de afvoergebeurtenissen met terugkeerperiode van 25 jaar en meer wordt het gebied in de huidige omstandigheden al tot op een hoog niveau gevuld. Om nog meer berging te creëren zouden dan ook dijken rond het gebied moeten aangelegd worden.

De resultaten van de modellering van het ontwerp van de vistrappen duiden niet op problemen bij hoogwatersituaties. De ontwerpen veroorzaken nauwelijks opstuwung. Bij laagwatersi-

tuaties wordt het streefpeil aan de stuwen op het stroomafwaartse gedeelte van de Mark echter niet behouden. De modellering resulteerde in een verlaging tot 60 cm ten opzichte van het streefpeil. Dit kan tijdelijk nadelige gevolgen hebben voor de landbouw in naburige percelen. In algemene bewoordingen kan gesteld worden dat in het moderne waterbeheer van de waterloopbeheerder nog weinig harde waterbouwkundige ingrepen op de onbevaarbare waterlopen verwacht worden. Sleutelbegrippen zijn thans het opnieuw ruimte bieden aan het water en het herwaarderen van de landschappelijk-ecologische waarde. Door behoud en verdere uitbouw van vooral natuurlijke overstromingsgebieden en bufferzones tracht men het overstromingsrisico in bebouwde zones te beperken zon-



der elders nieuwe problemen te scheppen. Het is dan ook belangrijk dat de lokale besturen en de eigenaars van dergelijke percelen beseffen dat zij een eigen verantwoordelijkheid dragen en dat de natuurlijke overstromingsgebieden in de toekomst onbebouwd moeten gelaten worden, zoniet zal het rivierwater daar en ook elders overstromen met nog grotere schade tot gevolg. We dienen de nog beschikbare ruimte dus ver-

standig te gebruiken om extreme afvoeren te bufferen en alle initiatieven achterwege te laten die aanleiding geven tot verhoogde of versnelde afvoer. De aanleg van minder verharde oppervlakten, het scheiden van rioolwater in leidingen en regenwater in open grachten, met insgelijks voldoende bergingscapaciteit, verdient ons aller aandacht. Op die manier komen we tot meer veilige stroomgebieden.







Ministerie van de  
Vlaamse Gemeenschap  
afdeling Water