

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Toetsing kombergingsmodellen

2Dh Overstromingsberekeningen Tieler en Culemborgerwaarden

B I D O C

(bibliotheek en documentatie)



Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015 - 2518 363/364

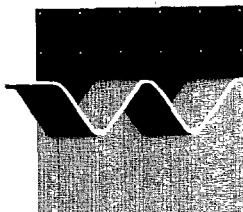
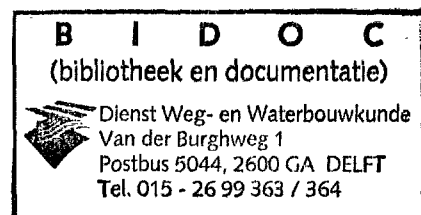
Oktober 1997

9.1-171

Toetsing kombergingsmodellen

2Dh Overstromingsberekeningen Tieler en Culemborgerwaarden

H.W.J. Kernkamp, J.J. de Jonge



26 JAN. 1998

waterloopkundig laboratorium | WL

KLANT : Rijkswaterstaat, Dienst Weg en Waterbouwkunde

TITEL : Toetsing kombergingsmodellen

SAMENVATTING : Het (2Dh) rekenprogramma DELFT-FLS is een afgeleide versie van het 3D waterbewegingsprogramma TRISULA [4], speciaal geschikt gemaakt voor het maken van overstromingsberekeningen veroorzaakt door b.v. dijkdoorbraken.

Dit stelt andere eisen aan het maken van invoer en uitvoer dan gebruikelijk bij 'normale' waterbewegingsprogramma's. Het opleggen van de initiele condities vergt extra aandacht. Daarbij gaat het zowel om initiele waterstanden als om de bodemligging. Er is aparte programmatuur vereist om hier flexibel mee om te gaan.

Er is voor dit project een overstromingsmodel gemaakt van de Tieler en Culemborger waarden.

Er zijn dijkdoorbraken gesimuleerd te Culemborg, Tiel Heesselt en Dalem.

De berekeningsresultaten zijn vergeleken met de resultaten van het 1Dh waterbewegingsprogramma DUFLOW. De waterstandscurves van DUFLOW en DELFT-FLS kunnen aanzienlijk verschillen. Dit heeft vooral te maken met het pad van de vloedgolf in het model. Dit pad wordt in DELFTFLS door het programma zelf berekend, terwijl het bij modellering met DUFLOW door de modelleur wordt voorgeschreven. Er is bij modelleren met DUFLOW meer a priori kennis van de waterbeweging vereist dan bij modelleren met DELFTFLS.

REFERENTIES : Offerte aanvraag Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en waterbouwkunde, 18 juli 1995, A/953252.
Opdrachtbrief Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 12 september, brief met kenmerk A/954107.
Overeenkomst nr. DWW-1051A, A/955664, 5 dec 1995.
WL project Z993/Q2136.

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	GECONTROLEERD		GOEDGEKEURD	
	Kernkamp	sept. 1997	concept	De Jonge		Stelling i.a.	
	De Jonge	sept. 1997	concept	Kernkamp		Glas	
	Kernkamp	okt. 1997	definitief	Kernkamp		Glas	
TREFWOORD(EN)			PAGINA'S	DOCUMENT NR.		STATUS	
Overstromingsmodellering Inundatie DELFT-FLS Hoogwater Informatie Systeem (HIS) Dijkdoorbraak Tieler- en Culemborgerwaarden			TEKST :34 p			definitief	
			TABELLEN :7				
			FIGUREN :62				
			ARCHIEF NR: Z993/Q2163				

Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

Samenvatting, aanbevelingen, conclusies

1	Inleiding	1 — 1
2	Rekenmodel DELFT-FLS	2 — 1
3	Modellering Tieler- en Culemborgerwaard	3 — 1
4	Dijkdoorbraakberekeningen	4 — 1
4.1	Culemborg.	4 — 1
4.2	Tiel	4 — 3
4.3	Heesselt	4 — 6
4.4	Dalem.	4 — 8
4.5	Analyse gecombineerde berekeningen.	4 — 10
4.6	Doorbraak Heesselt, berekening zonder Dalemse overlaten. . . .	4 — 12
5	Gebruik van DELFT-FLS en ARC/INFO bij schademodeltering en scenariokeuze	5 — 1
5.1	Inleiding	5 — 1
5.2	Dijkdoorbraak en rampenplan	5 — 1
5.3	Gebruik van DELFT-FLS en ARC/INFO	5 — 3
5.3.1	Omzetten DELFT-FLS-resultaten naar grids	5 — 3
5.3.2	Schadeberekening	5 — 3
5.4	Data-structuur	5 — 5
5.4.1	De context van de data-structuur	5 — 5
5.4.2	Indeling van data	5 — 6
5.4.3	Aanschaf van geografische bestanden en databasetabellen	5 — 9
5.4.4	Standaardbestanden en leveranciers	
5.5	Opmerkingen en aanbevelingen	5 — 12

Referenties

Figuren

Lijst van tabellen

Tabel I	Alarmeringstabel dijkdoorbraak Culemborg
Tabel II	Alarmeringstabel dijkdoorbraak Tiel
Tabel III	Alarmeringstabel dijkdoorbraak Heesselt
Tabel IV	Alarmeringstabel dijkdoorbraak Dalem
Tabel V	Gecombineerde alarmeringstabel
Tabel VI	Begaanbaarheidsduur wegen
Tabel VII	Waterstanden met en zonder Dalemse overlaten

Lijst van figuren

- 3.1 Gebiedscompartimentering volgens RAMP en dijkdoorbraaklocaties
- 3.2 Bathymetrie
- 3.3 Rekenuitvoer-locaties
- 3.4 Randvoorwaarden

Doorbraak Culemborg

- 4.1.1-4.1.4 Tijdseries van waterstanden
- 4.1.5-4.1.11 Waterdieptes

Doorbraak Tiel

- 4.2.1-4.2.4 Tijdseries van waterstanden
- 4.2.5-4.2.11 Waterdieptes
- 4.2.12-4.2.13 Stroomsnelheden
- 4.2.14a-4.2.14.c Vectorvelden
- 4.2.15-4.2.16 Stroomlijnen

Doorbraak Heesselt

- 4.3.1-4.3.4 Tijdseries van waterstanden
- 4.3.5-4.3.11 Waterdieptes

Doorbraak Dalem

- 4.4.1-4.4.4 Tijdseries van waterstanden
- 4.4.5-4.4.11 Waterdieptes

Analyse gecombineerde berekeningen

- 4.5.1 Vluchttijden
- 4.5.2 Begaanbaarheidsduur wegen doorbraak Culemborg
- 4.5.3 Begaanbaarheidsduur wegen doorbraak Tiel
- 4.5.4 Begaanbaarheidsduur wegen doorbraak Heesselt
- 4.5.5 Begaanbaarheidsduur wegen doorbraak Dalem
- 4.5.6 Begaanbaarheidsduur wegen doorbraak Tiel, punten waarvoor het hoogtecriterium maatgevend bleek
- 4.5.7 Begaanbaarheidsduur wegen doorbraak Tiel, punten waarvoor het snelheidscriterium maatgevend bleek

Doorbraak Heeselt, berekening zonder Dalemse overlaten

- 4.6.1-4.6.4 Tijdseries van waterstanden

0 Samenvatting, aanbevelingen, conclusies

0.1 Samenvatting

Het (2Dh) rekenprogramma DELFT-FLS is een afgeleide versie van het 3D waterbewegingsprogramma TRISULA (WL, 1994), speciaal geschikt gemaakt voor het maken van overstromingsberekeningen. Het rekenhart is aangepast op het 'glad' door kunnen rekenen op de overgang van 'nat' naar 'droog'. Dit was met de huidige 2Dh en 3D rekentechnieken nog niet goed mogelijk. Een programma voor het berekenen van overstromingen stelt andere eisen aan invoer en uitvoer dan 'normale' waterbewegingsprogramma's. Het opleggen van de initiële condities vergt extra aandacht. Daarbij gaat het zowel om initiële waterstanden als om de bodemligging.

Er is voor dit project een overstromingsmodel gemaakt van de Tiel en Culemborger waarden.

Er zijn dijkdoorbraken gesimuleerd te Culemborg, Tiel, Heesselt en Dalem. De Dalemse overlaten zijn in deze berekeningen opengesteld als het rivierpeil 10 cm lager is dan het polderpeil. Er is voor de doorbraak Heesselt ook een berekening zonder Dalemse overlaten uitgevoerd.

De berekeningsresultaten zijn vergeleken met de resultaten van het 1D waterbewegingsprogramma DUFLOW. De resultaten van dat model zijn vergelijkbaar met de resultaten van het kombergingsprogramma RAMP. Vooral in de initiële fase van een dijkdoorbraak benadert DELFT-FLS het ware waterstandsverloop beter dan RAMP of DUFLOW. Dit wordt veroorzaakt doordat de geometrie met DELFT-FLS nauwkeuriger kan worden weergegeven dan met RAMP of DUFLOW. Het 2Dh model rekt het door een overstromingsgolf gekozen pad zelf uit, terwijl dat in 1Dh modellen door de modelleerder wordt voorgeschreven. Ten opzichte van RAMP wordt de fysica van het onderlopen in DELFT-FLS nauwkeuriger beschreven. In de RAMP-modellering worden geen impulsvergelijkingen opgelost.

Berekeningsresultaten van DELFT-FLS kunnen d.m.v. de zgn. 'incrementele' file m.b.v. een overstromings-klasseindeling op een zeer compacte manier worden weggeschreven. Op basis van analyse van deze file zijn voor de vier doorbraken zgn. 'overstromingsrapporten' samengesteld, een verhalende beschrijving van opeenvolgende gebeurtenissen in de tijd. Daarnaast zijn 'alarmeringstabellen' samengesteld, die voor locaties of objecten bijhouden wanneer een bepaald waterdiepte- of snelheidsniveau wordt overschreden. De resultaten van de 4 berekeningen zijn gecombineerd en daarmee is een kaart van de vluchttijden samengesteld, met de minimale tijd over de vier berekeningen genomen, waarin het water tot een niveau van meer dan 1 meter is gestegen.

De begaanbaarheid van wegen gedefinieerd als 'stroomsnelheid kleiner dan 1 m/s en overstromingsdiepte kleiner dan 30 centimeter', is voor de vier doorbraken in tabelvorm en in kaartvorm gepresenteerd.

0.2 Aanbevelingen

0.2.1 Met betrekking tot de programma invoer

- A Voor de toekomst bevelen we aan om de bodemruwheid ruimtelijk variabel te specificeren in verband met de variabele ruwheid door obstakels als dorpen, bossen etc.

0.2.2 Met betrekking tot het rekenprogramma

- C Op dit ogenblik zijn alleen dijkdoorbraken mogelijk over de volle roosterbreedte, dus minstens 100 meter groot. We bevelen aan ook kleinere doorbraken in het model mogelijk te maken.
- D De overstromingsberekeningen zijn tamelijk rekenintensief. De rekestijdstap wordt beperkt door de hoogst optredende snelheden van het water. Aangezien die enkel rondom het tijdstip van een dambreuk hoog zijn, wordt het grootste deel van de tijd met een veel te kleine rekenstap gerekend. We bevelen aan de rekenefficiëntie te vergoten door een variabele tijdstap in te programmeren.

0.2.3 Met betrekking tot de programma-uitvoer

- E De bijgevoegde demo geeft een duidelijk 'overall' beeld van een overstroming. Wil men echter in detail waterstanden en snelheden weten, dan biedt de demo onvoldoende mogelijkheden. Er zou een presentatiewijze moeten komen waarmee tijdens de demo kan worden gestopt, kan worden ingezoomd en waarden kunnen worden opgevraagd. De 'incrementele' file biedt een goed uitgangspunt om tot een dergelijke functionaliteit te komen.

0.2.4 Met betrekking tot schademodellering

- F Om een realistische schatting van de potentiële schade te kunnen geven, zijn betrouwbare schadefuncties nodig. Om de betrouwbaarheid van een schadefunctie te toetsen zijn historische gegevens nodig over vergelijkbare situaties. Door snelle maatschappelijke ontwikkelingen dienen schadefuncties continu bijgesteld te worden voor de huidige situatie. Mede doordat recent historische schadegegevens niet altijd voorhanden zijn als toetsingsmateriaal, is het moeilijk om schadefuncties te bepalen die algemeen toepasbaar zijn. Hierdoor vormt het bepalen van betrouwbare schadefuncties een bron van zorg. Het verdient aanbeveling om een systeem te ontwikkelen waarmee voor elke willekeurige locatie snel bepaald kan worden welke waarden de parameters van de schadefuncties moeten krijgen voor het geven van betrouwbare schattingen.
- G Om een realistisch dijkdoorbraakscenario te selecteren dient de toestand van de dijken bekend te zijn. Het verdient aanbeveling een monitoring-systeem op te zetten om het verloop van de conditie van de dijken zichtbaar te maken. Ook hiervoor vormt een ARC/INFO een geschikt hulpmiddel. Hiertoe dienen binnen een ARC/INFO de verschillende dijkvakken in de vorm van een kaart opgeslagen te worden. Door het onderhoudsverloop (inspectie en herstelwerkzaamheden) te koppelen aan het

ARC/INFO, ontstaat een beeld waar zich de zwakke plekken in de dijk bevinden en waar de kans op een dijkdoorbraak bij hoge waterstanden het hoogst is.

0.3 Conclusies

0.3.1 Met betrekking tot de vergelijking van DELFT-FLS met DUFLOW

Berekende maximale waterhoogtes komen in de meeste gevallen redelijk overeen, afwijkingen van ca. 0.3 m op waterdieptes 2 - 3.5 m. In een aantal gevallen ware de verschillen groter, 0.5 m. Het verschil neemt toe naarmate de gebieden minder komvormig zijn.

Verschillen in berekende momentane waterdieptes kunnen oplopen tot 2 m. Dit wordt veroorzaakt door verschillen in het door de golf gekozen pad. Hierdoor is het water in sommige gevallen drie dagen sneller ter plaatse in het badkuip of takken model dan in het 2Dh model. Er is voor het modelleren met RAMP of DUFLOW meer a priori kennis van de te verwachten waterbeweging vereist dan voor modelleren met DELFT-FLS.

1 Inleiding

Dit project behelst het uitvoeren van inundatieberekeningen voor de Tieler en Culemborger waarden, waartoe Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde op 12 september 1995 per brief met kenmerk A/954107 opdracht heeft verleend. In het kader van een vervolgoopdracht zijn de Dalemse overlaten en de dijken rondom het inundatiekanaal bij Tiel toegevoegd en is de begaanbaarheid van wegen onderzocht.

Beide opdrachten maken deel uit van onderdeel 1a van "Fase A uitvoering van pilot-projecten en basisontwerp (1995)" uit het produktontwikkelingsplan "Hoogwater Informatie Systeem voor het rivierengebied" (WL en Provincie Overijssel, 1995).

Doel van de berekeningen is het nagaan van de geschiktheid van het programma DELFT-FLS (Delft Flooding System) voor het maken van overstromingsberekeningen t.g.v. dijkdoorbraken. De rekenresultaten worden vergeleken met de resultaten van het 1D waterbewegingsprogramma DUFLOW. (Zie, voor resultaten van het kombergingsprogramma RAMP, het rapport 'Inundatiescenario's Tieler en Culemborgerwaarden en Betuwe', BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT, 1994) en dienen als voorbeeld van mogelijk gebruik van 2Dh overstromingssimulaties in HIS. Deze activiteiten staan beschreven in de door WL uitgebrachte offerte 'Toetsing kombergingsmodellen' (WL, 1995).

In de offerte wordt steeds verwezen naar het overstromingsprogramma 'INUNDA'. 'Inunderen' betekent echter 'het doen onderlopen van een terrein, b.v. als militaire ingreep'. We hebben een andere naam voor het programma gekozen, DELFT-FLS, omdat het programma juist eerder voor civiel gebruik is bedoeld.

In dit rapport wordt eveneens aangegeven hoe DELFT-FLS en ARC/INFO gebruikt kunnen worden bij het bepalen van schaderisico's.

In Hoofdstuk 2 wordt het rekenprogramma DELFT-FLS beschreven en in Hoofdstuk 3 de modellering van de Tieler en Culemborger waarde. In Hoofdstuk 4 worden de rekenresultaten van dit model gepresenteerd, voor vier dijkdoorbraken, bij Culemborg, bij Tiel, bij Heesselt en bij Dalem, waarbij de Dalemse overlaten in gebruik zijn. In een vijfde berekening, met de dijkdoorbraak bij Heesselt, worden de Dalemse overlaten niet in werking gesteld. Hoofdstuk 5 is gewijd aan schademodeltering.

Bij het rapport hoort een demo met een animatie van de overstroming behorende bij het 'dijkdoorbraak-scenario Tiel'.

Het project is uitgevoerd door Prof. G.S. Stelling (numerieke aspecten), drs. J.J. de Jonge (projectleider (95 - eerste helft '97) en schademodeltering, rapportage Hoofdstuk 5), ir. H.W.J. Kernkamp (projectleider (tweede helft '97), modellering, rapportage) en D. Verploegh (kleurenfiguren).

In het rapport wordt zowel in de tekst als in de figuren verwezen naar waterstanden en terreinhoogtes. Al deze verwijzingen zijn gegeven ten opzichte van N.A.P., tenzij anders vermeld.

2 Rekenmodel DELFT-FLS

Rekentechniek

Het (2Dh) rekenprogramma DELFT-FLS is een afgeleide versie van het 3D waterbewegingsprogramma TRISULA (WL, 1994), speciaal geschikt gemaakt voor het maken van overstromingsberekeningen. De rekentechniek is zodanig gewijzigd dat alle stromingsregimes, van rivierstroming en overlandflow tot schietend water kunnen worden berekend. Het rekenschema is eerste-orde nauwkeurig. Daarnaast zijn de procedures voor "droogvallen en onderlopen", zoals in TRISULA en TRIWAQ, overbodig geworden door toepassing van een schema dat positieve oplossingen garandeert. Er treden hierdoor geen "schokken" in de oplossing meer op. Het programma rekent acht maal zo snel als TRISULA in 2Dh mode.

Geometrie

Er wordt gerekend op vierkante roosters met vaste maaswijdte. Hierdoor wordt de aansluiting naar GIS-systemen vereenvoudigd. Voor dit project is een maaswijdte van 100 meter aangehouden.

De definitie van het dieptepunt is gewijzigd ten opzichte van die in het standaard TRISULA. Er wordt nu gerekend met 'getegelde' dieptes, in plaats van met gemiddelde dieptes. Het dieptepunt wordt nu gedefinieerd op de plaats van het waterstandspunt. Dit heeft bijvoorbeeld als voordeel dat een dijk die onder 45 graden door het rooster loopt, nu met een enkele diagonale lijn van hoge punten gemodelleerd kan worden, waar dit in het standaard TRISULA met een zigzaglijn had moeten gebeuren. Daarnaast kan een waterloop nu één roostercel breed worden gemodelleerd, waar die voorheen in het algemeen noodgedwongen twee roostercellen breed moest zijn.

Beginvoorwaarden

Er is een routine toegevoegd die het mogelijk maakt verschillende initiële waterstanden te definiëren op gescheiden waterlopen. Het voordeel hiervan is dat de rivieren sneller kunnen zijn "ingespeeld" en dat stilstaande wateren, zoals b.v. het afgesloten deel van het Amsterdam-Rijnkanaal, op het gewenste pand kunnen worden gezet. De gebruiker hoeft per waterloop slechts een M,N-coördinaat op te geven, met bijbehorende waterstand. Het programma 'vult' vervolgens de rest van het gebied dat bij het opgegeven niveau met dit punt in verbinding staat met water op, d.m.v. een soort 'paintbrush' routine.

Randvoorwaarden

In het algemeen zal het rekenmodel worden aangestuurd met waterstandsranden en debietranden. Per rand kan een tijdserie worden opgegeven, eventueel met onregelmatig tijdsinterval.

Dijkdoorbraken

Een dijkdoorbraak wordt gemodelleerd door middel van een aantal parameters. Deze zijn: de M,N-coördinaten van het doorbraakpunt, start en eindtijd van de doorbraak en de diepte van de bres. De lokale bodemhoogte wordt in het aangegeven tijdsinterval verlaagd tot de aangegeven diepte. Desgewenst kunnen er meer dijkdoorbraken tegelijkertijd of vlak na elkaar worden gemodelleerd. In dit project wordt de dijk over de volledige breedte van een roostercel verlaagd. Voor komende projecten kan nog worden onderzocht of het mogelijk is slechts een deel van de volledige breedte van een roostercel open te zetten, zodat ook doorbraken met een kleinere breedte dan 100 m kunnen worden gemodelleerd. Als volgende stap zou een speciale dijkdoorbraakmodule in het programma opgenomen kunnen worden.

Incrementele file

Het programma berekent waterstanden en u- en v-snelheden in alle roosterpunten. Er is een standaard uitvoer d.m.v. tijdreeksen voor geselecteerde uitvoerlocaties en waterstands- of snelheidsvelden voor geselecteerde tijdstippen. Beleidsmakers zullen vooral geïnteresseerd zijn in het moment waarop ergens een bepaalde waarde of klasse in waterdiepte of -snelheid wordt overschreden. Om dit moment voor iedere locatie met de standaarduitvoer vast te kunnen stellen, zijn òfwel zeer veel uitvoerlocaties vereist, òfwel velden op zeer veel tijdstippen. Dit levert in de praktijk problemen op met de grootte van de geproduceerde bestanden.

Om die reden wordt er in DELFTS-FLS een zgn. 'incrementele' file geproduceerd. Voor de waterstanden bevat deze file de initiële waterdieptes op het starttijdstip en vervolgens per tijdstap, de M,N-coördinaten van de punten die in van te voren gedefinieerde klassen zijn gestegen c.q. gedaald. Er kan b.v. een klasse-indeling gekozen worden met slechts vijf klassen: 0.0 (droog), 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 (m) (en hoger). Dit levert een enorme besparing ten opzichte van de traditionele opslagmethoden. (Ter vergelijking: een som van 7 dagen in de Tieler- en Culemborger waarde levert een incrementele file van 1.8 Mb op, terwijl mapvelden met een interval van 24 uur een file van 34.5 Mb opleveren). Naarmate een fijnere klasse-indeling wordt gekozen, wordt de resulterende file uiteraard groter. Voor de snelheden kan een soortgelijke procedure worden gevolgd.

Met een apart programma kan vervolgens voor alle punten een realisatie gemaakt worden op een opgegeven tijdstip. Hiermee hebben we *overstromingsrapporten* gemaakt, verhalende beschrijvingen gegeven van de gebeurtenissen op opeenvolgende tijdstippen. Met hetzelfde programma kan ook voor een opgegeven punt het tijdstip bepaald worden waarop een opgegeven klasse wordt overschreden. Met deze laatste optie hebben we *alarmeringstabellen* gemaakt van de momenten waarop dorpen onder water komen te staan of de momenten waarop wegen onbegaanbaar zijn geworden. In de laatste fase van het project is voor een aantal belangrijke wegen een kaart gemaakt van de *begaanbaarheidsduur*.

3 Modelleren Tieler- en Culemborgerwaard

Rekentijdstap

De berekeningen worden gemaakt met een tijdstap van 20 s over een periode van 8 dagen (34560 tijdstappen, rekeninspanning één nacht op een Pentium 90 MHz).

Geometrie

Het te modelleren gebied is afgebeeld in Figuur 3.1. De nummering van de verschillende gebieden is overeenkomstig de compartimentering die is aangehouden in de RAMP (Bouwdienst Rijkswaterstaat, 1994), modellering. Er zijn vier dijkdoorbraaklocaties gekozen, bij Culemborg, Tiel, Heesselt en Dalem.

Het rooster heeft een maaswijdte van 100 m en dimensies van 337 punten bij 210 punten. Het 'linksonder'-punt heeft coördinaten (x,y = 126450.0, 423050.0). Er zijn circa 42000 actieve rekenpunten.

De bathymetrie van het gebied wordt gegeven in Figuur 3.2. Deze bathymetrie is tot stand gekomen op basis van een door de opdrachtgever verstrekt ARC/INFO-hoogtebestand met een resolutie van 100 m. Het ARC/INFO-bestand is gemaakt op basis van een maaiveldhoogtebestand en de zogenaamde man-made points. De diepte-informatie die is gebruikt om de rivieren mee te modelleren is afkomstig uit 2D stromingsmodellen van de Lek en de Waal.

Vervolgens is de bathymetrie op diverse plaatsen met de hand aangepast met het interactieve interpolatie-programma 'QUICKIN'. Hiermee is bereikt dat het tussendijkse deel van de Linge over de volle lengte kan doorstromen. De Linge zelf valt weg in de gekozen resolutie van 100 m en zal pas op een rooster van 25 m zichtbaar worden. Daarnaast zijn op een aantal locaties dijken verlaagd tot maaiveldhoogte om het effect van viaducten weer te geven. Waar nodig, zijn viaducten samengenomen tot één roostercel.

Deze locaties zijn:

Gebied nummer	locatie	x,y,z coördinaten		
		(km)	(km)	(m)
16-17		148.0	431.5	3.1
17-20	Spoorweg Geldermalsen West	148.0	431.5	3.1
15-18	Spoorweg Culemborg Tricht	436.5	265.0	2.0
18-19	Spoorlijn N-Beesd	141.5	434.5	1.5

In figuur 3.2 zijn de A2 en de A15 nog zichtbaar in de bodemligging op plaatsen waar deze wegen hoger dan het maaiveld liggen. De A15 loopt in west-oost richting door de compartimenten 21, 20 en 17. De A2 loopt in noord-zuid richting 18, 19 en over de grens van 20/21. Een verdere opdeling van compartimenten die door deze wegen worden doorsneden is voor de RAMP-modelleringsring niet nodig, omdat deze wegen deels op maaiveldniveau liggen. Vanuit kombergingsgedachte geredeneerd is de weg dan niet aanwezig en kan met de huidige compartimentering worden volstaan.

Een nadere beschrijving van de overstromingsrelevante landschapskenmerken is overgenomen uit 'Inundatiescenario's Tieler en Culemborgerwaarden en Betuwe', BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT, 1994.

De aangegeven grenzen van de compartimenten zijn alle min of meer duidelijke waterkerende objecten in het overigens zeer vlakke land. De compartimenten 15, 18 en 19 zijn ingesloten door de Lek in het noorden, door de Aalsdijk en de Lingedijk in het oosten en zuiden, en door de Diefdijk (kruinhoogte 6.4 m) in het westen. Direct ten noorden van de Noordelijke Lingedijk ligt het smalle gebied 19, dat door de Spoorlijn Leerdam-Geldermalsen (kruinhoogte 1.5-2.5 m) wordt afgescheiden van gebied 18. Gebied 18 wordt van het oostelijke gebied 15 afgescheiden door de spoorlijn Culemborg-Geldermalsen (kruinhoogte 3.4 m). Het laagste bodemniveau van gebied 15 is 0.5 m, en van gebieden 18 en 19 is het 0.0 m.

Gebieden 16, 17, 20 en 21 liggen tussen de zuidelijke Lingedijk en de Waal. Het oppervlak wordt doorsneden door (van oost naar west) de volgende compartimenteringsdijken: de oost-west spoorlijn ten zuiden van Geldermalsen (vanaf kruising met rijksweg A15 tot Geldermalsen-West), de noord-zuid spoorlijn (Geldermalsen-West - Waardenburg en rijksweg A2 (Zaltbommel-Enspijk)). De kruinhoogten hiervan zijn respectievelijk 4.3 m, 3.8 m, en 2.4 m. Gebied 16 (rond Geldermalsen) wordt ingesloten door de Zuider-Lingedijk, bovengenoemde oost-west spoorlijn en een kort stuk van rijksweg A15 dat beide grenzen met elkaar verbindt. Het ligt relatief hoog: het laagste bodemniveau ligt op 2.5 m. Gebied 17 ligt aan de Waal tussen Tiel en bovengenoemde noord-zuid spoorlijn en heeft als laagste bodemniveau 2.0 m. Gebied 20 ligt tussen de spoorlijn en rijksweg A2 in, en is op zijn laagst 1.0 m. Gebied 21 is het grootste en diepste van de vier en ligt tussen rijksweg A2 en Gorinchem. Het laagste bodemniveau is -0.5 m. De westelijke begrenzingen worden gevormd door de nieuwe Zuider-Lingedijk (kruinhoogte 6.4 m) en de Spijkse Dijk langs de Linge (kruinhoogte 6.6 m), die op de Waal aansluit.

Dalemse overlaten

De Dalemse overlaten hebben een totale lengte van 700 m, (D.W.W., 1993), en een hoogte van 2.0 m. De overlaten worden in de berekening over een periode van 8 uur afgebroken als het rivierpeil ter plaatse van de overlaten 10 centimeter lager is dan het peil in de polder ter plaatse van de overlaten.

Dijken rond Inundatiekanaal Tiel

De dijken rond het Inundatiekanaal Tiel hebben een hoogte van 2.5 m. Ze lopen van de rivierdijk tot aan de spoorbaan. De hoogte van de dijken t.o.v. het maaiveld is gering, gemiddeld ca. 0.8 m.

Rekenuitvoerlocaties

Tijdreeksen van waterstanden worden gepresenteerd voor 27 locaties, zie Figuur 3.3.

Randvoorwaarden

De waterstands- en debietrandvoorwaarden zijn afgeleid voor een 1 op 100 jaar situatie op basis van de ontwerp afvoergolf en de betrekkinglijnen. De hoogste waterstanden bedragen respectievelijk 580 cm NAP bij Hagestein in de Lek en 515 cm NAP in de Waal bij Vuuren. De maximale debieten in Lek en Waal zijn respectievelijk 2700 en 7750 m³/s. Zie figuur 3.4.

De waterstandsranden zijn benedenstrooms gelegd, de debietranden bovenstrooms. Het voordeel van deze keuze is dat de debiet randvoorwaarde niet hoeft te worden aangepast als er een dijkdoorbraak optreedt, onafhankelijk van het onstane dijkdoorbraak-debiet. De waterstandsrandvoorwaarde zal in veel gevallen moeten worden aangepast als het dijkdoorbraakdebiet groot is ten opzicht van het rivierdebiet. Dit geldt echter niet voor de periode die het waterstandssignaal nodig heeft om van de dijkdoorbraak-locatie te reizen naar de waterstandsrand. Gedurende die tijd, (in dit geval maximaal ongeveer driekwart uur) reageert het model zoals we willen. Na die tijd zouden we de waterstandsrandvoorwaarde in principe aan moeten passen.

Bij een grote dijkdoorbraak neemt het debiet in het benedenstroomse deel van de rivier af. Hierdoor daalt de waterstand bij de benedenstroomse waterstand, die hier eigenlijk voor gecorrigeerd zou moeten worden. Gegeven de arbitraire keuze van de dijkdoorbraakafmetingen, wordt aanbevolen de randvoorwaarden ongemoeid te laten. Naarmate de dijkdoorbraken groter worden gekozen, zal het meer noodzakelijk zijn de waterstandsrandvoorwaarde te corrigeren voor het kleinere netto rivierdebiet in het benedenstroomse deel.

De dijkdoorbraken worden 24 na de start van de berekening ingezet, op maximum hoogwater. Het moment van dijkdoorbraak wordt in de presentatie van de waterstands- en snelheids velden genoemd $T = 0$ uur. In de tijdreeksplaatjes komt dit moment overeen met $t = 24$ uur.

Beginvoorwaarden

Om een 'gladde start' van de hierboven beschreven randvoorwaarden mogelijk te maken, zijn de beide rivieren d.m.v. de 'paintbrush' routine op hetzelfde niveau gezet als dat waarmee de waterstands-randvoorwaarden beginnen. Deze routine vult vanuit een opgegeven initialisatie punt alle aangrenzende 'natte' punten tot aan de plaats waar de bodem hoger is dan het opgegeven initialisatieniveau. Voor de Lek is dat 5.5 m en voor de Waal is dat 4.9 m. Het Amsterdam-Rijnkanaal is geïnitieerd op haar eigen niveau van 2.5 m.

Dijkdoorbraken

Alle vier dijkdoorbraken hebben een gemodelleerde breedte van twee roosterzellen, 200 m ieder. De doorbraken starten op maximaal hoogwater en hebben allen een groeiduur van 24 uur.

De bresdieptes zijn overgenomen uit de RAMP-modellering:

Culemborg:	5.8 m
Tiel:	5.6 m
Heesselt:	5.9 m
Dalem:	6.3 m

4 Dijkdoorbraakberekeningen

4.1 Culemborg

Tijdseries van waterstanden:	Figuren 4.1.1 - 4.1.4.
Waterdieptes:	Figuren 4.1.5 - 4.1.11
Maximaal instroomdebiet:	880 m ³ /s
Bresdiepte:	5.8 m

Overstromingsrapport:

- 0 uur: Dijkdoorbraak, gebied 15 begint vol te stromen.
- 3 uur: Water stroomt door het gemodelleerde viaduct in de spoorlijn Utrecht- Geldermalsen bij Lanxmeerse Wetering van gebied 15 naar 18.
- 11 uur: In het gebied 15 staat het water tot aan de noordelijke Lingedijk bij Tricht.
- 12 uur: In gebied 18 bereikt het water de A2.
- 15 uur: Vanuit 15 wordt nu naar 18 gestroomd over de spoorlijn bij Oude Hoeven. Er staat meer dan 2 m water tegen de spoorlijn in gebied 15, over grote delen van gebied 18 staat meer dan 1 meter water.
- 16 uur: Bij Tricht stroomt het water over de spoorlijn van gebied 15 naar 19. De noordelijke Lingedijk wordt ook aan de westzijde van het spoor bereikt.
- 20 uur: 19 wordt nu ook gevuld vanuit gebied 18 via het viaduct A2-spoorlijn. Op twee plaatsen tegelijk overstroomt de A2 naar het westen.
- 28 uur: Het deel van 18 westelijk van de A2 is nu geheel nat. Het Proefbedrijf Binnenvisserij oostelijk van de A2 is juist als laatste punt van gebied 18 overstroomd.
- 38 uur: In gebied 18 zowel oost als west van de A2 waterdieptes groter dan 2 meter.
- 48 uur: Gebied 19 geheel nat.
- 61 uur: In geheel gebied 18 meer dan 2 meter waterdiepte. Gebied 15 enkel droog rond Beusichem.
- 74 uur: Noordelijke Lingedijk spoelt 4 km oostelijk van Leerdam over, bij Hooge veld.
- 77 uur: Noordelijke Lingedijk spoelt nu ook over 1 km oostelijk van Asperen.
- 85 uur: Zuidelijke Lingedijk spoelt op die locatie ook over.
- 89 uur: Water bereikt in 21 de A15, die in oost-westrichting door het gebied loopt.
- 100 uur: Het water stroomt tussen het Lingebos en de kop van de A15 (althans daar waar de A15 wordt verlaagd tot maaiveldniveau), naar Vuuren toe.
- 102 uur: Water omringt Gorinchem geheel. Gebied 14 wordt vanuit Linge gevuld.
- 125 uur: Het water staat tot aan Herwijnen.
- 150 uur: De A15 staat over een lengte van 2,5 km westelijk van Leuven onder water, is oostelijk nog droog.
- 156 uur: Het water staat, zuidelijk van de A15, tegen de A2 aan.
- 210 uur: Noordelijk van de A15 loopt een kleine hoeveelheid water over de A2 gebied 20 in.
- 216 uur: Gebied 20 blijft noordelijk van de A15 bijna geheel droog en zuidelijk van de A15 geheel droog. Gebied 14 blijft grotendeels droog. Gebied 17 blijft geheel geheel droog. Polderpeil gebied 21 is 2.2 m, Dalemse overlaten blijven dicht.

Plaatsnaam	<0.5	<1	<2	>2
	meter water op tijdstip (uur)			
Gorichem	-	-	-	-
Spijk	131	136	140	-
Dalem	104	109	117	179
Vuren	118	126	160	-
Haaften	-	-	-	-
Waardenburg	-	-	-	-
Opijnen	-	-	-	-
Rhenoy	47	49	51	74
Beesd	30	38	49	90
Deil	-	-	-	-
Tricht West	25	62	90	-
Tricht Oost	-	-	-	-
Geldermalsen	-	-	-	-
Meteren	-	-	-	-
Ophemert	-	-	-	-
Kerk-Avezaath	-	-	-	-
Kapel-Avezaath	-	-	-	-
Zoelen	-	-	-	-
Tiel Noord	-	-	-	-
Tiel Zuid	-	-	-	-
Culemborg West	2	11	23	43
Culemborg Oost	1	2	12	-
Beusichem	-	-	-	-
De Harde Poel	-	-	-	-
Beneden Strijmen	-	-	-	-

Tabel I Alarmeringstabel dijkdoorbraak Culemborg
(Opgegeven tijden in uren na dijkdoorbraak)

NB. Als er in de tabel een streepje staat, betekent dat niet dat de betreffende waarde nooit bereikt zal worden, maar dat die waarde binnen de tijdsduur van de berekening in ieder geval niet bereikt is.

N.b. In de figuren met tijdreeksen zijn de waterstanden geplot t.o.v. N.A.P, niet de overstomingsdieptes. Hiervoor is gekozen, opdat de resultaten van beide modellen na enige tijd in de figuren (zie de volgende twee berekeningen) tenminste zullen samenvallen. Immers, hadden we gekozen voor het in een figuur plotten van waterdieptes, dan zou de toevallige afwijking in hoogteligging tussen de monitorpunten van beide modellen ook na verloop van tijd steeds zichtbaar blijven als een verticale offset van de resultaten. Nu treedt deze offset alleen aan het begin op, in het gedeelte dat we toch al afwijkingen konden verwachten. Het horizontale deel van de lijnen in het begindeel van de registraties, nog voordat de golf op een locatie aanwezig is, moet opgevat worden als een indicatie voor de hoogteligging van het monitorpunt. Er is dan nog geen water op dat punt, maar er is in de berekening wel een dun laagje water geïnitieerd. Als aan het programma gevraagd wordt wat daar de waterstand is, geeft het programma de bodemhoogte plus de lokale waterdiepte, hetgeen bij zo'n zeer dun waterlaagje neerkomt op de bodemligging. Het horizontale deel van de lijn moet dus opgevat worden als: 'Hier is nog geen water'.

4.2 Tiel

Tijdseries van waterstanden:	Figuren 4.2.1 - 4.2.4.
Waterdieptes:	Figuren 4.2.5 - 4.2.11
Stroomsnelheden:	Figuren 4.2.12 - 4.2.13
Vectorveld:	Figuur 4.2.14
Stroomlijnen:	Figuren 4.2.15 - 4.2.16
Waterstanden:	Figuur 4.2.17

Maximaal instroomdebiet: 2150 m³/s

Bresdiepte: 5,8 m

Overstromingsrapport:

0 uur:	Dijkdoorbraak, gebied 14 stroomt vol tot tegen de spoorlijn door Tiel, waarna het water meteen gebied 17 instroomt.
2 uur:	Geheel Tiel bezuiden spoorlijn staat 2 meter onder water.
4 uur:	Ophemert is nat.
5 uur:	Wadenooien wordt nat over de spoorlijn heen.
7 uur:	De A15 overstroomt bij Est.
9 uur:	Het water staat tot aan de kruising A15 met spoorlijn Geldermalsen-Zaltbommel.
10 uur:	Het water staat ook noordelijk van die kruising en stroomt tegelijk gebied 16 binnen over de spoorlijn bij Geldermalsen.
11 uur:	Gebied 20 overstroomt via de spoorlijn Geldermalsen-Zaltbommel, zowel noordelijk als zuidelijk van de A15. Gebied 16 wordt ook nat via Hoge Hoeven.
12 uur:	Spoorlijn door Tiel overstroomt noordelijk naar gebied 14.
13 uur:	De zuidelijke Lingedijk overstroomt bij Wanooien.
14 uur:	Gebied 16 staat geheel onder water. Water over de A2 vult gebied 20 benoorden knooppunt Deil.
15 uur:	Hetzelfde gebeurt bezuiden kooppunt Deil.
22 uur:	De kop van de A15 (althans daar waar de A15 tot op het maaiveld zakt) wordt omstroomd van noord naar zuid.
24 uur:	Het water omringd Gorichem geheel.
27 uur:	Hoogerveld wordt nat
33 uur:	De Linge stroomt vanuit gebied 14 vol tegen de noordelijke Lingedijk.
40 uur:	De Linge stroomt tot Tricht. In gebied 14 bereikt het water het AR-kanaal.
43 uur:	De zuidelijke Lingedijk overstroomt bij Rhenoy.
54 uur:	Water in de Lingebedding vanuit het oosten en vanuit het westen ontmoet elkaar bij Enspijk.
55 uur:	Gebied 19 loopt vol via Noordelijke Lingedijk bij Acqoy en benoorden Rhenoy.
58 uur:	Gebied 18 wordt nat via viaduct A2/spoorlijn.
65 uur:	Gebied 18 westelijk van de A2 staat geheel onder water.
69 uur:	In gebied 14 zijn dorpjes als Kapel-Avezaath en Kerk-Avezaath en Zoelen nog wel droog, maar geheel omringd met water in gebied 14.
75 uur:	Gebied 18 oostelijk van de A2 staat geheel onder water. Gebied 15 komt onder water te staan via viaduct Culemborg.
85 uur:	Gebied 19 staat geheel onder water.
97 uur:	Beide kanten van de Noordelijke Lingedijk staan bij Buuren onder water.
110 uur:	Dalemse overlaten open, peil gebied 21 is 4.6 m
216 uur:	Polderpeil gebied 21 is 3.1 m

Plaatsnaam	<0.5	<1	<2	>2
	meter water op tijdstip (uur)			
Gorichem	-	-	-	-
Spijk	27	27	28	32
Dalem	24	24	26	29
Vuren	25	26	28	36
Haften	27	35	42	58
Waardenburg	49	58	-	-
Opijnen	10	16	-	-
Rhenoy	59	60	61	93
Beesd	62	73	82	103
Deil	21	47	56	-
Tricht West	84	89	104	-
Tricht Oost	-	-	-	-
Geldermalsen	13	14	21	-
Meteren	11	15	-	-
Ophemert	-	-	-	-
Kerk-Avezaath	-	-	-	-
Kapel-Avezaath	-	-	-	-
Zoelen	-	-	-	-
Tiel Noord	-	-	-	-
Tiel Zuid	1	2	4	-
Culemborg West	69	70	72	80
Culemborg Oost	80	90	95	111
Beusichem	-	-	-	-
De Harde Poel	80	97	122	-
Beneden Strijmen	101	126	-	-

Tabel II Alarmeringstabel dijkdoorbraak Tiel
(Opgegeven tijden in uren na dijkdoorbraak)

Vergelijking met DUFLOW:

De berekende maximale waterstanden komen in de meeste gebieden voor beide modellen redelijk overeen. In gebied 14 en 17, direct achter de doorbraak, zijn de verschillen het grootst en bedragen ca. 50 cm. op een waterdiepte van ca. 2.0 m. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door dat deze gebieden weinig 'komvormig' zijn, met een groot bodemhoogteverschil in de gebieden zelf. Dit interne hoogteverschil wordt in de DUFLOW-modellering niet 'gezien'. In DUFLOW wordt per gebied de bodemhoogte van het laagste punt aangehouden. Voor de overige, meer komvormige gebieden is de afwijking in berekende maximale waterstanden minder dan 30 cm, op waterdieptes van bijna 4 m. Relatief is dit verschil gering te noemen.

Verschillen in de momentane waterstanden zijn daarentegen groot. Dit wordt veroorzaakt door het pad dat door de vloedgolf wordt gevolgd. Bij de doorbraak in Tiel loopt de golf in DELFT-FLS achtereenvolgens door de gebieden 17, 20, 21, Linge, 19, 18 en 14/15, zie de figuren 4.2.5-4.2.11. In DUFLOW is de volgorde anders: achtereenvolgens worden de gebieden 17, 14, 20/15, 21, 19 en 18 doorlopen. In gebied 14 is het water in DUFLOW er drie dagen eerder dan in DELFT-FLS. In de meeste andere gebieden is dit verschil kleiner.

In figuur 4.2.3 is te zien dat de Dalemse overlaten niet precies tegelijkertijd worden opengesteld. In DUFLOW worden ze eerder geopend doordat het waterpeil in gebied 21 sneller steigt dan in de DELFT-FLS-berekening. Het tijdsverloop van het leeglopen is daarna zeer overeenkomstig in de gebieden 20 en 21 naast de Dalemse overlaten. Opmerkelijk is dat de waterstand in gebieden 15, 18 en 19 sneller daalt in DUFLOW dan in DELFT-FLS. Station 8 in

gebied 15 blijft in de DUFLOW berekening 2 meter onder water staan, ook als het niveau in de rest van dit compartiment daalt. Kennelijk ontbreekt er een knooppunt dat afstromen in zuidelijke richting mogelijk maakt.

Stroomsnelheden: Figuren 4.2.12 - 4.2.13

In deze twee figuren is duidelijk te zien wanneer bepaalde wegvakken ontoegankelijk zijn geworden in verband met te hoge stroomsnelheden. Dit soort figuren kan ook gebruikt worden bij het bepalen van blijvende schade aan het terrein.

(N.b. Deze figuren zijn gemaakt op basis van een berekening zonder de inundatiedijken bij Tiel en met een minder snel dalende rivierrandvoorwaarde. De figuren (uit begin '96) zijn niet opnieuw gemaakt omdat ze zuiver ter illustratie dienen.)

Vectorvelden: Figuren 4.2.14a, 4.2.14b en 4.2.14c

In deze figuren zijn vectorvelden geplot over de bodemkaart heen. Stroomrichting en snelheid kunnen met veel hogere resolutie worden weergegeven dan in andere modellen haalbaar is. Opvallend is het overstroomen van de spoorweg bij Tiel, juist tegenover de dijkdoorbraaklocatie. Het gaat hier om een slechts geringe overstromingshoogte, namelijk van 0,4 m water over de spoorweg. Dat ligt in dezelfde orde als de snelheidshoogte van het water dat juist door de doorbraak is gestroomd. Het is duidelijk dat met een eendimensionaal waterbewegingsmodel en bijgevolg meer geschematiseerde geometrie, niet te voorspellen is of deze spoorweg overstroomd wordt of niet. In de figuren b en c is de werking van de Dalemse overlaten te zien.

Stroomlijnen: Figuren 4.2.15 - 4.2.16

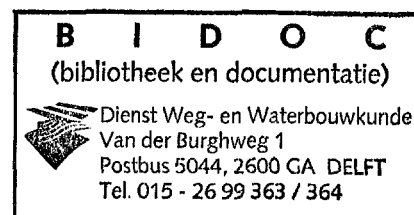
Van moment tot moment is met deze figuren goed te zien hoe het water verspreid wordt over het gebied. De getekende stroomlijnen hebben een maximale 'tijdslengete' van 24 uur. De figuren kunnen b.v. een eerste indicatie geven van het verspreidingsgebied van stoffen die door het water vanaf een bepaalde locatie worden losgespoeld en vervolgens over het gebied worden getransporteerd.

(N.b. Deze figuren zijn gemaakt op basis van een berekening zonder de inundatiedijken bij Tiel en met een minder snel dalende rivierrandvoorwaarde. De figuren (uit begin '96) zijn niet opnieuw gemaakt omdat ze zuiver ter illustratie dienen.)

Waterstanden: Figuur 4.2.17

Omwillen van de compleetheid worden nog waterstanden gepresenteerd.

(N.b. Deze figuur is gemaakt op basis van een berekening zonder de inundatiedijken bij Tiel en met een minder snel dalende rivierrandvoorwaarde. De figuur (uit begin '96) is niet opnieuw gemaakt omdat deze zuiver ter illustratie dient.)



4.3 Heesselt

Tijdseries van waterstanden:	Figuren 4.3.1 - 4.3.4.
Waterdieptes:	Figuren 4.3.5 - 4.3.11
Maximaal instroomdebiet:	1700 m ³ /s
Bresdiepte:	5.9 m

Overstromingsrapport:

0 uur:	Dijkdoorbraak, water stroomt gebied 17 in.
2 uur:	Het water staat net tot aan de rand van Opijnen, Bommelse straat minder dan 0.5 meter onder water.
3 uur:	Bommelse straat 1 meter onder water.
5 uur:	Teen van de golf komt bij A15 aan.
6 uur:	Spoorlijn Geldermalsen-Zaltbommel bereikt, A15 stroomt over.
9 uur:	Gebieden 16 en 20 worden nat.
13 uur:	Gebied 21 wordt nat.
22 uur:	Stroming om de kop van de A15 (althans waar die in maaiveld komt te liggen) van noord naar zuid. Het front aan de zuidzijde van de A15 heeft juist Herwijnen gepasseerd.
27 uur:	Meer dan 2 meter water in gebied 17 tegen de spoorweg.
48 uur:	Zuidelijke Lingedijk overstroomt.
64 uur:	Noordelijke Lingedijk overstroomt.
69 uur:	Gebied 18 wordt nat via de spoorlijn Leerdam-Geldermalsen.
904 uur:	Water stroomt van gebied 18 naar gebied 15 via het viaduct van de spoorlijn in Culemborg.
106 uur:	Gebied 19 geheel onder water.
108 uur:	Het water bereikt in gebied 14 het Amsterdam-Rijnkanaal en snijdt het gebied doormidden.
111 uur:	Dalemse overlaten gaan open, polderpeil gebied 21 is 4.4 m
216 uur:	Polderpeil gebied 21 is 3.1 m.

Plaatsnaam	<0.5	<1	<2	>2
	meter water op tijdstip (uur)			
Gorichem	-	-	-	-
Spijk	27	28	28	35
Dalem	23	24	26	30
Vuren	26	26	29	39
Haften	33	39	47	71
Waardenburg	58	71	-	-
Opijnen	8	20	-	-
Rhenoy	70	71	73	-
Beesd	74	94	103	-
Deil	42	55	67	-
Tricht West	105	-	-	-
Tricht Oost	-	-	-	-
Geldermalsen	11	14	69	-
Meteren	9	18	-	-
Ophemert	-	-	-	-
Kerk-Avezaath	-	-	-	-
Kapel-Avezaath	-	-	-	-
Zoelen	-	-	-	-
Tiel Noord	-	-	-	-
Tiel Zuid	-	-	-	-
Culemborg West	83	84	87	100
Culemborg Oost	99	112	129	-
Beusichem	-	-	-	-
De Harde Poel	112	-	-	-
Beneden Strijmen	-	-	-	-

Tabel III Alarmeringstabel dijkdoorbraak Heesselt
(Opgegeven tijden in uren na dijkdoorbraak)

Vergelijking met DUFLOW:

De maximale waterstanden verschillen komen voor de gebieden 14, 17, 20 en 21 goed overeen. Voor de gebieden 15, 18 en 19 is het verschil ca. 0.9 m. (DUFLOW hoger dan DELFT-FLS.) In gebied 16 komt geen water in de DUFLOW berekening, dit zou door een extra knooppunt opgevangen kunnen worden.

De vloedgolf volgt in DELFT-FLS het pad 17, 16, 20, 21, 19/14, 18 en 15. In DUFLOW is het pad 17, 20, 21, 19/14, 18 en 15. In gebied 18 is de golf twee dagen eerder aanwezig in DUFLOW dan in DELFT-FLS.

4.4 Dalem

Tijdseries van waterstanden:	Figuren 4.4.1 - 4.4.4.
Waterdieptes:	Figuren 4.4.5 - 4.4.11
Maximaal instroomdebiet:	2500 m ³ /s
Bresdiepte:	5.6 m

Overstromingsrapport:

0 uur:	Dijkdoorbraak bij Dalem, water stroomt gebied 21 in.
3 uur:	Water bereikt kop A15 (althans waar die tot op maaiveldniveau zakt).
5 uur:	Dijk rondom Spijk overstroomt, driekwart van Hooge Veld staat onder water.
9 uur:	Water bereikt Zuidelijke Lingedijk.
14 uur:	Water bereikt A2 benoorden knooppunt Deil.
15 uur:	Water bereikt A2 bezuiden knooppunt Deil.
16 uur:	Water stroomt van gebied 21 naar gebied 20 benoorden knooppunt Deil.
21 uur:	Water stroomt van gebied 21 naar gebied 20 bezuiden knooppunt Deil.
22 uur:	Water bereikt spoorlijn Geldermalsen-Zaltbommel.
27 uur:	Gebied 16 loopt vol via Geldermalsen.
28 uur:	Zuidelijke Lingedijk overstroomt. Gebied 16 wordt vanuit gebied 20 gevuld.
33 uur:	Spoorlijn overstroomt bij Geldermalsen, gebied 17 wordt nat.
38 uur:	Noordelijke Lingedijk overstroomt.
44 uur:	Water stroomt van gebied 19 naar gebied 18.
70 uur:	Water stroomt van gebied 18 naar gebied 15. De overstroming volgt verder het patroon van de dijkdoorbraak Heesselt, maar alles gaat wat sneller. Gebied 14 blijft grotendeels droog.
90 uur:	Uitstromen begint, door de dijkdoorbraak. De Dalemse overlaten worden in de berekening niet opengesteld. Dit is niet nodig, omdat het positief verval steeds kleiner is dan de 0.1 m waarop het openstellen getriggered wordt.
216 uur:	Het waterpeil in gebied 21 is <u>3.0 m</u>

Plaatsnaam	< 0.5	< 1	< 2	> 2
	meter water op tijdstip (uur)			
Gorichem	-	-	-	-
Spijk	4	5	6	14
Dalem	-	-	2	9
Vuren	3	4	7	19
Haaften	17	20	26	50
Waardenburg	33	50	-	-
Opijnen	46	-	-	-
Rhenoy	44	46	48	-
Beesd	50	78	-	-
Deil	25	31	42	-
Tricht West	-	-	-	-
Tricht Oost	-	-	-	-
Geldermalsen	36	42	-	-
Meteren	41	54	-	-
Ophemert	-	-	-	-
Kerk-Avezaath	-	-	-	-
Kapel-Avezaath	-	-	-	-
Zoelen	-	-	-	-
Tiel Noord	-	-	-	-
Tiel Zuid	-	-	-	-
Culemborg West	61	62	67	88
Culemborg Oost	84	109	-	-
Beusichem	-	-	-	-
De Harde Poel	-	-	-	-
Beneden Strijmen	-	-	-	-

Tabel IV Alarmeringstabel dijkdoorbraak Dalem
(Opgegeven tijden in uren na dijkdoorbraak)

4.5 Analyse gecombineerde berekeningen

Vluchttijden:

De resultaten van de berekeningen kunnen op diverse manieren worden gecombineerd. We willen er een van laten zien, nl. die van de 'vluchttijd', Figuur 4.5.1. De vluchttijd is gedefinieerd als de tijd die verstrijkt tussen het moment van dijkdoorbraak en het moment dat er water aanwezig is. Deze kaart is gemaakt door op ieder punt het minimum te bepalen van dit tijdstip over de vier berekeningen. Er zou eigenlijk een vijfde berekening toegevoegd moeten worden met een dijkdoorbraak in gebied 18. De figuur kan dus op dit moment nog niet gebruikt als bedoeld gebruikt worden, maar is vooral bedoeld om een idee te geven van de gebruiksmogelijkheden van de rekenresultaten.

In onderstaande tabel zijn de aankomsttijden van het water voor de vier dijkdoorbraken nog eens samengevat. Per locatie is snel af te lezen hoeveel uren tijd men heeft bij iedere dijkdoorbraak. Uiteraard wordt de tabel nog interessanter als ook de vluchtwegen die bij deze locaties horen, in de tabel worden opgenomen.

Plaatsnaam	Doorbraak			
	Cul.	Tiel	Hees.	Dalem
Gorichem	-	-	-	-
Spijk	131	27	27	4
Dalem	104	24	23	-
Vuren	118	25	26	3
Haaften	153	27	33	17
Waardenburg	-	49	58	33
Opijnen	-	10	8	46
Rhenoy	47	59	70	44
Beesd	30	62	74	50
Deil	166	21	42	25
Tricht West	25	84	105	-
Tricht Oost	-	-	-	-
Geldermalsen	-	13	11	36
Meteren	-	11	9	41
Ophemert	-	-	-	-
Kerk-Avezaath	-	-	-	-
Kapel-Avezaath	-	-	-	-
Zoelen	-	-	-	-
Tiel Noord	-	-	-	-
Tiel Zuid	-	1	-	-
Culemborg West	2	69	83	61
Culemborg Oost	1	80	99	84
Beusichem	-	-	-	-
De Harde Poel	-	80	112	-
Beneden Strijmen	-	101	-	-

Tabel V Gecombineerde alarmeringstabel
(Opgegeven tijden in uren na dijkdoorbraak)

Begaanbaarheidsduur wegen

In figuren 4.5.2 - 4.5.5 zijn de begaanbaarheidsduren (in uren na de dijkdoorbraak) van een aantal belangrijke mogelijke vluchtwegen uit het gebied weergegeven. Een weg is als begaanbaar gedefinieerd als de stroomsnelheid kleiner is dan 1.0 m/s en de overstromingsdiepte kleiner dan 0.3 m. De begaanbaarheidsduur is het aantal uren dat de weg nog begaanbaar is na doorbraak. Uiteraard is per weg de kortste tijd maatgevend. Dit is samengevat in de volgende tabel.

Tabel VI Begaanbaarheidsduur wegen in uren

weg	begaanbaarheidsduur doorbraak Culemborg	begaanbaarheidsduur doorbraak Tiel	begaanbaarheidsduur doorbraak Heesselt	begaanbaarheidsduur doorbraak Dalem
A2 (noord-zuid)	23	13	12	17
A15 (oost-west)	96	5	5	1
Culemborg-Waardenburg	1	8	5	28
Geldermalsen-Leerdam	43	10	9	12
Culemborg-AR-kanaal	1	86	109	99

Het snelheidscriterium en het overstromingsdieptecriterium bleken afwisselend maatgevend. Het hoogtecriterium vaker dan het snelheidscriterium. Voor de dijkdoorbraak Tiel zijn de begaanbaarheidsduren voor punten waarbij het hoogtecriterium maatgevend bleek gegeven in figuur 4.6.6. In figuur 4.6.7. zijn de punten gegeven waarvoor het snelheidscriterium maatgevend bleek. Sommige punten lijken samen te vallen (maar doen dat niet), dit wordt veroorzaakt doordat de wegen in het terreinmodel breder zijn gemodelleerd dan noodzakelijk is.

We nemen het stadje Geldermalsen als voorbeeld voor een analyse, en we gaan uit van de forse dijkdoorbraken van 200 m. Het water bereikt de stad 13 uur na een doorbraak bij Tiel, 11 uur na een doorbraak bij Heesselt en 36 uur na een doorbraak bij Dalem. Breekt de dijk bij Culemborg, dan blijft Geldermalsen droog. Als mogelijke vluchtwegen komen de A15, de weg Geldermalsen-Leerdam en de weg Culemborg-Waardenburg in aanmerking. De kortste verbinding uit de polder loop via de A15 richting Tiel, die vanaf 3 km oostelijk van Geldermalsen altijd droog blijft. Bij dat punt kan men komen via de weg Geldermalsen Leerdam. Dit wegdeel blijft ca. 10 uur begaanbaar na doorbraken in Tiel en Heesselt, en ca. 24 uur na een doorbraak bij Dalem. De Lingedijk blijft nog langer beschikbaar, maar de capaciteit ervan is waarschijnlijk niet erg groot. De weg naar Culemborg blijft bij alle doorbraken meer dan twee dagen begaanbaar. Men moet dan echter al weg zijn, want het waterniveau in de stad is meer dan 1 m na 21 uur bij een doorbraak in Tiel en na 69 uur bij een doorbraak bij Heesselt. Dan is uit de stad ontkomen al erg lastig. Na een doorbraak bij Dalem komt het water niet tot aan de 1 m.

4.6 Doorbraak Heesselt, berekening zonder Dalemse overlaten

Tijdseries van waterstanden: Figuren 4.6.1 - 4.6.4.

In de tabel hieronder is de invloed van de overlaten zichtbaar, per gebied wordt het peil na 240 uur gegeven met en zonder overlaten:

gebied nr	met overlaten (m)	zonder overlaten (m)
15	3.4	4.7
18	3.4	4.7
19	3.4	4.7
14	3.4	4.7
17	3.4	4.7
16	3.8	4.7
20	3.1	4.7
21 [±]	3.1	4.7

Tabel VII Waterstanden met en zonder Dalemse overlaten

De overlaten zijn zeer efficient in het doen leegstromen van de polder. Op het moment dat de overlaten opengaan, zit er ca. 660 miljoen m³ water in de polder. Ongeveer vier dagen later, op het einde van de berekening na 240 uur, is dit nog 220 miljoen m³. Onder de drempelhoogte van 2.0 m zal nog 85 miljoen m³ water blijven staan die met spuisluizen of pompen verwijderd zal moeten worden. De overlaten kunnen dus bijna 90 procent van de afwatering voor hun rekening nemen. Worden de overlaten niet gebruikt dan neemt het volume in de polder toe naar ca. 750 miljoen m³ na 10 dagen.

De invloed van de dijken rond het inundatiekanaal op het totale overstromingsverloop is gering te noemen. Alleen in het gebied direct rondom de dijken is enige invloed merkbaar, zie de uitvergrote tijdreeksen in figuur 4.7.5 met het berekeningsresultaat met en zonder dijken. Er is een opstuwings van ca. 0.1 m voor de dijken (station 26), en een zeer geringe vertraging van ca. 5 minuten van de golf achter de dijken (station 25).

5 Gebruik van DELFT-FLS en ARC/INFO bij schademodellering en scenariokeuze

5.1 Inleiding

De combinatie van een slechte conditie van een dijk en een te hoge waterdruk tijdens hoogwater kan leiden tot een doorbraak van de dijk. Bij het doorbreken van een dijk moet voorkomen worden dat er slachtoffers vallen en dient de gevolgschade binnen de perken te blijven.

Om in te kunnen grijpen bij het dreigen van een dijkdoorbraak zijn de volgende aandachtspunten van belang:

- wat gebeurt er als de dijk doorbreekt;
- wat zijn de gevolgen van de dijkdoorbraak;
- ligt er een goed rampenplan gereed;
- hoeveel tijd is er om maatregelen te treffen;
- hoe snel is de informatie nodig voor het uitvoeren van een rampenplan beschikbaar;
- hoe overzichtelijk is de informatie en de situatie die ontstaat te presenteren.

Een overstromingsmodel zoals DELFT-FLS en een Geografisch Informatie Systeem (GIS) zijn handige hulpmiddelen om hier inzicht in te verschaffen. Voor het GIS wordt in het vervolg uitgegaan van ARC/INFO, omdat het prototype HIS (zie Geodan Geodesie, 1995) hier eveneens op gebaseerd is.

5.2 Dijkdoorbraak en rampenplan

Bij een dijkdoorbraak stroomt het achterliggende gebied vol door de bres die ontstaat. Hoe snel dit gebeurt hangt af van de geometrie van het gebied, de hoogte van de afvoergolf en de groeisnelheid van de ontstane bres en het aantal locaties waar de dijk doorbreekt, ofwel het dijkdoorbraakscenario.

Omdat te allen tijde voorkomen moet worden dat er slachtoffers vallen is het essentieel dat er voorafgaand aan de dreiging van dijkdoorbraak een rampenplan is uitgewerkt in combinatie met een gedetailleerd rampenscenario voor de uitwerking van het plan. Het rampenplan heeft tevens tot doel om de gevolgschade te beperken. Omdat er verschillende dijkdoorbraakscenario's denkbaar zijn, dienen er over het algemeen meer rampenplannen uitgewerkt te worden.

Betrokkenen bij het beheer en beleid van een dijkkringengebied dragen de verantwoordelijkheid voor het opstellen en uitvoeren van rampenplannen. Hier wordt volstaan met het aangeven van een aantal voorbeelden van aspecten die binnen een rampenplan passen:

- uit welke gebieden moeten mensen en dieren geëvacueerd worden;
- in welke volgorde vindt evacuatie plaats;
- langs welke wegen verloopt de evacuatie;
- welke locaties worden als opvangcentra ingericht;
- welke wegen moeten afgezet worden;
- waar wordt een coördinatiepunt ingericht voor het treffen van voorzorgsmaatregelen;
- wie worden er ingeschakeld bij het treffen van maatregelen;
- bij welke bedrijven moeten welke veiligheidsmaatregelen getroffen worden;
- etc.

Om een rampenplan goed te laten verlopen is informatie nodig over:

- op welke locaties is de dijk doorgebroken of wordt een doorbraak verwacht;
- hoe snel stroomt het water naar binnen en over welke gebieden;
- hoe hoog staat het water op elke locatie;
- welke wegen zijn ondergelopen, welke wegen zijn reeds afgezet en welke kunnen als vluchtweg gebruikt worden;
- wat is de capaciteit van de vluchtwegen;
- welke locaties worden het meest bedreigt;
- vanuit welke locaties is evacuatie niet meer mogelijk;
- waar bevinden zich bedrijven met een verhoogd risico op schade of een milieuramp bij overstroming;
- etc.

Ook deze lijst is niet uitputtend. Beheerders en beleidmakers die verantwoordelijk zijn voor het betreffende gebied, hebben het meeste inzicht in de vereiste informatie. De hier genoemde informatie is ruimtelijk georiënteerd of rechtstreeks gekoppeld aan ruimtelijke informatie.

Omdat de tijd voor het treffen van maatregelen door de snelheid van het water tijdens een dijkdoorbraak niet altijd voldoende is, begint de uitvoering van een rampenscenario reeds bij de dreiging van een dijkdoorbraak. In verband met onder andere de beschikbare tijd en de capaciteit van vluchtwegen kan het nodig zijn om reeds evacuaties uit te voeren voor dat de dijk echt doorbreekt. Ook nadat het water z'n hoogste stand heeft bereikt en het gebied binnen de dijkkring weer drooggevalen is loopt het scenario door, omdat dan mensen en dieren weer terug moeten keren, noodmaatregelen zoals het plaatsen van zandzakken weer ongedaan gemaakt moeten worden, etc.

5.3 Gebruik van DELFT-FLS en ARC/INFO

5.3.1 Structuur in- en uitvoer DELFT-FLS

Gegeven een dijkdoorbraakscenario berekent DELFT-FLS welke gebieden onderlopen, hoe snel dit gebeurt en met welke stroomsnelheid. Binnen DELFT-FLS is het projectgebied, hier de Tieler- en Culemborgerwaarde, opgeslagen in de vorm van gridcellen. Voor elke gridcel die overstroomt berekent het programma per tijdseenheid de stroomsnelheid van het water in de cel en de overstromingsdiepte.

De invoer van het rekenprogramma bestaat uit de volgende onderdelen:

- a) geometrie
- b) randvoorwaarden
- c) beginvoorwaarden
- d) dijkdoorbraakparameters
- e) overige parameters

a) De geometrie wordt bepaald door de hoogteligging van de rekenpunten. Het bestand waarin de hoogteligging wordt beschreven bevat een rechthoekige matrix met hoogtegetallen.

b) De randvoorwaarden bestaan uit tijdreeksen van ingestuurde grootheden op de randen van het model. Voor iedere rand wordt een bijbehorend bestand opgegeven. De bestanden bevatten twee kolommen, met tijden en waarden. De tijdsintervallen hoeven niet uniform te zijn en mogen voor ieder bestand anders gekozen worden.

c), d), en e) De beginvoorwaarden, dijkdoorbraakparameters en overige parameters staan in de zgn. 'master definition file', de md-file.

De uitvoer van het rekenprogramma bestaat uit de volgende onderdelen:

- a) tijdreeksen voor alle tijdstippen van berekende grootheden (u,v,h) per geselecteerd punt
- b) velden van berekende grootheden voor alle punten op geselecteerde tijdstippen
- c) klasseovergangen van berekende grootheden voor alle punten over alle tijdstippen.

a) Dit bestand is de zogenaamde 'history-file', waaruit achteraf plaatjes van het tijdsverloop van de berekende grootheden kunnen worden gemaakt.

b) Dit bestand is de zogenaamde 'map-file', waarmee plots van isolijnen van waterdieptes of vectorvelden kunnen worden gemaakt.

c) Dit bestand is de zogenaamde 'incrementele file', waarmee zowel plaatjes van het tijdsverloop voor geselecteerde punten als velden van waterstanden of -dieptes of -snelheden voor alle punten kunnen worden gemaakt. Dit bestand is eerder beschreven in hoofdstuk 2.

Om deze uitvoer binnen ARC/INFO te laden is een conversie-programma nodig, dat voor elke tijdstap een ASCII-bestand aanmaakt dat geschikt is om als grid binnen ARC/INFO te laden. Een dergelijk grid bevat voor elke gridcel de berekende overstromingsdiepte, waterstand of stroomsnelheid, op basis van de uitvoergegevens van DELFT-FLS.

Een grafische weergave van de grids binnen ARC/INFO geeft inzicht in de overstromingsdieptes en stroomsnelheden per tijdstap.

5.3.2 Schadeberekening

Tot op heden geldt als criterium bij het ontwerpen en toetsen van dijken dat deze bescherming moeten bieden tegen overstromingen uitgedrukt in een maatgevende waterstand die gekeerd moet kunnen worden. De ramp van 1953 is echter aanleiding geweest om een ontwikkeling in gang te zetten om veiligheid tegen overstromingen in termen van risico uit te drukken.

Het overstromingsrisico $R(x)$ is gedefinieerd als de kans $P(x)$ van voorkomen van de gebeurtenis x vermenigvuldigd met de te verwachten schade. In formulevorm:

$$R(x) = E(x) * P(x)$$

De totale economische schade aan objecten binnen het getroffen gebied hangt af van:

- hydrodynamische factoren zoals de stroomsnelheid en overstromingsdiepte, die DELFT-FLS berekent;
- objectgerelateerde factoren zoals het type landgebruik, de waarde hiervan en het aantal dagen dat het object onder water staat.

Een voorbeeld van een schadefunctie voor het berekenen van de schade voor een landgebruiktype L en een locatie S op tijdstip n ziet er uit als:

$$f_{L,S}(d) = \sum_{t=1}^k (v(t,L) * d(t,L) * a(t,L) * c(L,S) * n(L) * p(l))$$

waarin:

- v = stroomsnelheid
- d = overstromingsdiepte
- a = aantal dagen dat het object onder water staat
- c = schadefactor
- n = aantal overstroomde objecten
- p = gemiddelde waarde van landgebruiktype L

Voor de stroomsnelheid, de overstromingsdiepte en het aantal dagen dat een object overstroomd is, zullen vaak drempelwaarden gelden. Een drempel voor de overstromingsdiepte is onder andere zinvol bij de berekening van schade aan particuliere bezittingen, omdat de begane grondvloer van woningen over het algemeen niet op maaiveldhoogte ligt maar enkele centimeters daarboven. Voor vegetatie daarentegen kan een drempel voor het aantal overstromingsdagen gelden; is de overstromingsduur beperkt, dan weet een deel van de vegetatie zich te herstellen, terwijl een deel zal sterven als de overstroming aanhoudt.

Het uitvoeren van beschermende maatregelen zoals voorzien in een rampenplan, reduceert de totale schade aan objecten. Aan de andere kant brengt het uitvoeren van een rampenplan kosten met zich mee. Het netto-effect van het treffen van maatregelen is de reductie van de schade verminderd met de kosten van het uitvoeren van de maatregelen. Omdat het voorkomen van het vallen van slachtoffers het belangrijkste doel is van het uitvoeren van een rampenplan, hoeft het netto-effect niet noodzakelijkerwijs positief te zijn.

Verschillende gebeurtenissen kunnen tot overstromingen leiden. Bij elke gebeurtenis hoort een bepaalde kans van voorkomen en een schadeverwachting. Elke gebeurtenis levert een bijdrage aan het overstromingsrisico. Het totale overstromingsrisico is gelijk aan de som van de overstromingsrisico's per gebeurtenis.

Om een realistische schatting van de potentiële schade te kunnen geven, zijn betrouwbare schadefuncties nodig. Om de betrouwbaarheid van een schadefunctie te toetsen zijn historische gegevens nodig over vergelijkbare situaties. Door snelle maatschappelijke ontwikkelingen dienen schadefuncties continu bijgesteld te worden voor de huidige situatie. Mede omdat recent historische schadegegevens niet altijd voorhanden zijn als toetsingsmateriaal, is het moeilijk om schadefuncties te bepalen die algemeen toepasbaar zijn.

5.4 Data-structuur

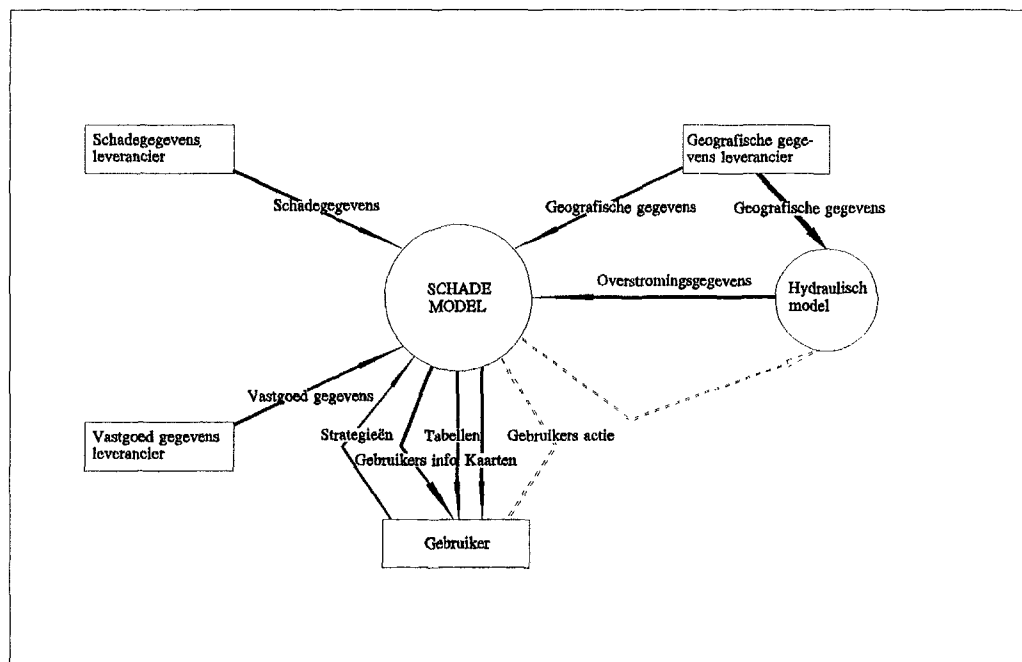
Deze paragraaf gaat in op de data-structuur voor het analyseren en presenteren van de gevolgen van een dijkdoorbraak. Zowel de data-structuur voor de schademodelering als die voor het presenteren van kaarten en tabellen komt aan de orde.

De hier beschreven data-structuur is erop gericht om scenario's door te kunnen rekenen en vast te leggen voordat er een dijk doorbreekt. Voor de meest waarschijnlijke locaties voor een dijkdoorbraak en een selectie uit de diverse scenario's, levert DELFT-FLS - HIS informatie over te verwachten gevolgen van een dijkdoorbraak en de mogelijkheden en onmogelijkheden om maatregelen te treffen. Indien er in één van de veronderstelde locaties van de dijk daadwerkelijk een bres ontstaat, kan direct een operationeel rampenplan van de plank gehaald worden.

Omdat DELFT-FLS in circa 1,5 à 2 uur circa twee dagen kan doorrekenen, kan DELFT-FLS in combinatie met ARC/INFO tevens on-line toegepast worden tijdens een dijkdoorbraak, om gedetailleerde informatie te geven over de toestand van het bedreigde gebied: welke gebieden zullen de komende uren onder lopen, hoelang zijn vluchtwegen te gebruiken, etc.

5.4.1 De context van de data-structuur

Figuur 1 geeft de context van de data-structuur weer.



Figuur 1 Context diagram schademodelering

In deze figuur worden gegevens uit vijf verschillende data-bronnen gecombineerd in een schademodel om een zo goed mogelijk inzicht te krijgen in de gevolgen van een dijkdoorbraak:

- de gebruiker die het dijkdoorbraak- en rampenscenario definieert en de strategie uitzet om de schade te beperken;
- een hydraulisch model zoals DELFT-FLS dat waterdieptes en stroomsnelheden per tijdstap berekent;

- leveranciers van geografische bestanden zoals geografische eenheden, landgebruik, hoogteligging, etc.;
- leveranciers van vastgoedgegevens, zoals aantal inwoners per geografische eenheid, type bedrijven, prijzen van objecten binnen een landgebruikstype, etc.;
- zo mogelijk leveranciers van schadegegevens per geografische eenheid om de schade-functies te kunnen iken.

5.4.2 Indeling van data

Vanwege de aard van de gegevens ontstaat binnen ARC/INFO een indeling in een aantal groepen.

1 *Grids*

Dit zijn (floating point) grids die gebaseerd zijn op de DELFT-FLS-resultaten. Per (geselecteerde) tijdstap worden er één of twee grids aangemaakt met de overstromingsdieptes of de stroomsnelheden. Voor de Tieler- en Culemborgerwaarde is binnen DELFT-FLS gerekend met gridcellen van 100 bij 100 m. De omvang van de celgrootte is in principe vrij. Echter door de omvang van de cellen te verkleinen voor meer detail, nemen de rekentijd, de benodigde geheugenruimte en de benodigde opslagcapaciteit toe.

2 *Coverages*

Dit zijn thematische kaarten binnen ARC/INFO. Een coverage binnen ARC/INFO bestaat uit een digitale kaart met een indeling in gebieden volgens een bepaald thema, met daaraan gekoppeld een databasetabel met de codering van de verschillende gebieden. Coverages die kunnen worden onderscheiden zijn onder andere:

- landgebruik, opgedeeld in een aantal hoofdklassen, bijvoorbeeld agrarisch gebied, woningbouw, bedrijvenpark, bossen en infrastructuur;
- geografische eenheden, bijvoorbeeld een indeling in postcodegebieden;
- hoogteligging, inclusief dijken en andere terreinsprongen;
- eventueel een groepering van de geografische eenheden tot grotere eenheden zoals gemeentegrenzen;
- een topografische kaart als referentie bij de visualisatie van resultaten;
- namen van karakteristieke objecten of gebieden ter referentie;
- indeling in beheergebieden van verantwoordelijke instanties;
- ligging van rampencoördinatiecentra.

Overigens kunnen coverages eenvoudig omgezet worden naar grids en vice versa.

3 *Databasetabellen*

Dit zijn losse tabellen die via een gemeenschappelijk item aan een of meer coverages gekoppeld zijn. Hier is het merendeel van de tabellen gekoppeld aan de coverage met geografische eenheden. Tabellen die onderscheiden worden zijn:

- aantal personen;
- aantal huizen;
- aantal bedrijven, opgesplitst naar branch;
- prijzen van de huizen;
- economische waarde van bedrijven;
- indien mogelijk: schade aan objecten in een historische situatie voor de calibratie van schadefuncties;
- capaciteit van vluchtwegen.

Voor het berekenen van de schade dienen een aantal kaarten met elkaar gecombineerd te worden in een zogenaamde overlay. Het gaat hierbij om de combinatie van overstromingsdiepte, landgebruik en geografische eenheden.

De visualisatie en presentatie van berekeningsresultaten richt zich enerzijds op de directe gevolgen van de dijkdoorbraak en anderzijds op de economische gevolgen. Hieronder wordt een reeks van punten genoemd voor visualisatie en presentatie. Deze reeks is niet uitputtend maar geeft een indicatie van wat er zichtbaar gemaakt kan worden met behulp van het GIS en hoe. Beheerders van een dijkkring en direct betrokkenen bij het uitzetten en uitvoeren van het beleid in geval van een dijkdoorbraak dienen aan te geven welke informatie noodzakelijk is en hoe zij deze gepresenteerd willen hebben.

Voor de presentatie van gevolgen dienen macro's geschreven te worden. Voor het opstellen en uitvoeren van rampenplannen is inzicht in de directe gevolgen per tijdstap belangrijk. Deze kunnen door middel van onder andere de volgende kaarten, die ontstaan door combinatie van de verschillende coverages en database-tabellen (tegen een topografische achtergrond) gepresenteerd worden:

- een overzicht van het overstroomde gebied, met daarop tevens zichtbaar de locaties waar de dijk doorgebroken is;
- een overzicht van wegen die ondergelopen of reeds afgezet zijn en de mogelijke vluchtwegen;
- een overzicht van door de overstroming geïsoleerde, bebouwde locaties (bijvoorbeeld ondergelopen boerderijen);
- een overzicht van bedrijfsterreinen met een verhoogd risico op schade of een milieuramp bij overstroming;
- een overzicht van locaties met grote concentraties bewoners die bedreigd worden door het water.

Bovengenoemde overzichten zijn onder andere van belang ter ondersteuning van hulpverleners die moeten weten waar ze welke hulp moeten bieden en hoeveel tijd ze daarvoor hebben.

Voor wat betreft de economische schade valt te denken aan de volgende kaarten:

- totaalschade per geografische eenheid of geaggregeerde eenheid;
- schade per branche;
- overzicht van locaties waar een verhoogd risico op het vallen van slachtoffers bestaat.

Aan veel getalsmatige informatie zal ten behoeve van de visualisatie een kleurklassificatie worden toegekend door middel van zogenaamde opzoektabelen. Een voorbeeld hiervan is een indeling van overstromingsdieptes in klassen van 25 cm.

Naast kaarten zijn rapporten zeer geschikt voor het presenteren van resultaten. Rapporten zijn uitvoertabelen uit ARC/INFO waarin analyse- en rekenresultaten staan. Te onderscheiden rapporten zijn onder andere:

- aantal overstroomde gebouwen per geografische eenheid of aggregatie hiervan;
- aantal personen met 'natte voeten' per geografische eenheid;
- totaalschade per branche;
- overstroomde wegen per tijdstap.

Voor de presentatie van gegevens en resultaten is het ARC/INFO-produkt ARCVIEW zeer geschikt.

5.4.3 Aanschaf van geografische bestanden en databasetabelen

Bij de aanschaf van thematische bestanden kan er vaak gekozen worden uit bestanden van verschillende aanbieders. Welke bestanden het meest geschikt zijn voor een bepaald project-gebied hangt onder andere af van de mate van detail van de bestanden, de aanmaakdatum, onderhoudbaarheid, etc. Om echter een uniforme werkwijze te volgen die geschikt is voor een willekeurig gebied in Nederland, verdient het aanbeveling bij het aanschaffen van bestanden rekening te houden met de volgende punten:

- is het bestand landsdekkend. In dat geval is de betreffende informatie voor elke willekeurige dijkkring op dezelfde manier toegankelijk.
- sluit het bestand goed aan op reeds aangeschafte bestanden, met andere woorden is er niet veel correctiewerk nodig om bestanden met elkaar te combineren;
- hoe recent is het bestand. De analyses en berekeningen dienen de realiteit te weer-spiegelen. Een hoogtemodel bijvoorbeeld dat op belangrijke locaties sterk afwijkt van de huidige situatie zal bij overstromingsberekeningen tot onrealistische en daarmee onbetrouwbare resultaten leiden;
- wordt het bestand goed onderhouden, dat wil zeggen regelmatig aangepast aan de huidige situatie;
- mag het bestand onbeperkte tijd gebruikt worden, dient er een onderhoudscontract afgesloten en kan het voor advisering ter beschikking gesteld worden aan derden.

5.4.4 Standaardbestanden en leveranciers

De voorgaande paragrafen geven een algemene beschrijving van de typen bestanden en kaarten die wenselijk zijn voor de schademodeltering. Deze paragraaf bevat een overzicht van bestaande standaardbestanden die van belang zijn voor de schademodeltering en de presentatie van resultaten. Zo mogelijk wordt tevens de leverancier of beheerder genoemd.

Hoogteinformatie:

- Digitaal Hoogtebestand Nederland (DHN), hoogtepunten met een gemiddelde dichtheid van 1 punt per hectare, opgezet door de Meetkundige Dienst (MD) van Rijkswaterstaat en de Topografische Dienst (TD). Veel van de gegevens zijn inmiddels meer dan 25 jaar oud.
Leverancier: MD
Structuur: DXF, SUF, ASCII of ARC/INFO-export
Landsdekkend: Ja
- Digitaal Topografisch Bestand Rivieren (DTB), hoogtebestand volgens analoge rivierkaarten schaal 1:5.000 van zeer hoge kwaliteit, in ontwikkeling bij Rijkswaterstaat.
Beheerder: MD
Structuur: DXF
Landsdekkend: Nee, alleen de gebieden die op de analoge rivierkaarten staan worden opgenomen.

Dijken en overige terreinsprongen:

- Bij veel beheerders is de leggerinformatie digitaal beschikbaar. Schaal en formaat verschilt per beheerder. In de toekomst mogelijk uniformering binnen DIJKGIS, een ontwikkeling die plaatsvindt binnen een samenwerkingsverband tussen RWS, Dir. IJsselmeergebied, de MD en een aantal waterschappen.

Landgebruik:

- CBS bodemgebruik, bodemgebruikkaart van het Centraal Bureau voor de statistiek, schaal 1:25.000 uit 1989. Indeling in een groot aantal categorieën van bodemgebruik, inclusief waterlopen met een breedte van meer dan 6 m.
Leverancier: CBS
Structuur: ARC/INFO coverage
Landsdekkend: Ja
- Landelijke Grondgebruiksdatabank Nederland (LGN2), gebaseerd op het BARS-bestand (BASisbestand Ruimtelijke Structuren) van de Rijksplanologische Dienst (RPD), topografische kaarten, luchtfoto's, CBS-landbouwstatistieken en gegevens uit het veld. Rasterkaart, waarin voor cellen van 25x25 m het grondgebruik is vastgesteld, schaal 1:50.000.
Leverancier: Staringcentrum
Structuur: rasterbestand
Landsdekkend: Ja

Gebiedsindeling:

- Postcodegebieden, 6-cijferig, continu onderhouden bestand, samengesteld op basis van gegevens van het kadaster, zowel in de vorm van punten als Thiessenpolygonen.
Leverancier: BRIDGIS
Structuur: ASCII-bestand

- Landsdekkend: Ja
- Landelijke wijk- en buurtindeling en gemeentegrenzen voor januari 1993 volgens het CBS, schaal 1:25.000.
- Leverancier: CBS
- Structuur: ARC/INFO-export formaat
- Landsdekkend: Ja

Vastgoedgegevens:

- Woninginformatie (aantal, koop, huur, bouwjaar, type, prijzen) per 6-cijferige postcode.
- Leverancier: BRIDGIS
- Structuur: ASCII-bestand
- Landsdekkend: Ja
- Bedrijfsinformatie (aantal, branch) per 6-cijferige postcode.
- Leverancier: BRIDGIS
- Structuur: ASCII-bestand
- Landsdekkend: Ja

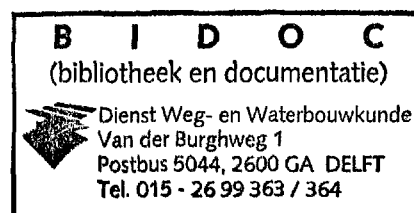
Bevolkingsgegevens:

- Aantal personen, aantal huishoudens en klassificatie gezinsfase, autobezit- en waarde per huishouden, per 6-cijferige postcode.
- Leverancier: BRIDGIS
- Structuur: ASCII-bestand
- Landsdekkend: Ja
- Inwonertal, bevolkingsdichtheid, leeftijdsstructuur, gemiddeld besteedbaar inkomen per wijk en buurt volgens het CBS.
- Leverancier: CBS
- Structuur: ARC/INFO-export formaat
- Landsdekkend: Ja

Achtergrondinformatie:

- Top10vector bestand van de Topografische Dienst. Digitale topografische kaart gebaseerd op de analoge kaart schaal 1:10.000.
- Leverancier: Topografische Dienst
- Structuur: DGN, SUF2
- Landsdekkend: Ja

Omdat rasterbestanden omgezet kunnen worden naar vectorbestanden en vice-versa kunnen beide typen met elkaar gecombineerd te worden. Problemen met het combineren van bestanden zullen eerder ontstaan door een verschil in geometrische nauwkeurigheid.



5.5 Opmerkingen en aanbevelingen

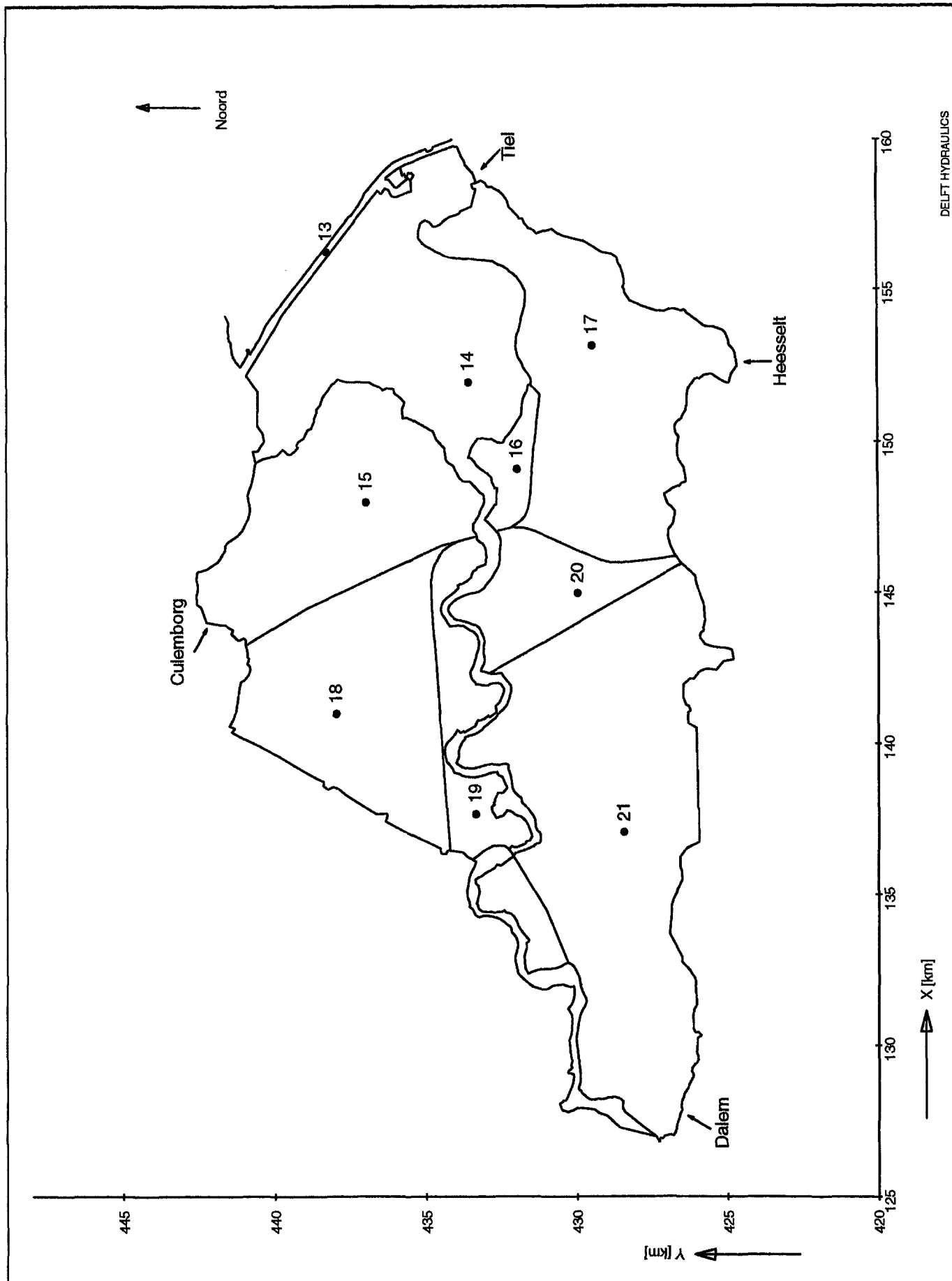
- 1 Om een realistische schatting van de potentiële schade te kunnen geven, zijn betrouwbare schadefuncties nodig. Om de betrouwbaarheid van een schadefunctie te toetsen zijn historische gegevens nodig over vergelijkbare situaties. Door snelle maatschappelijke ontwikkelingen dienen schadefuncties continu bijgesteld te worden voor de huidige situatie. Mede omdat recent historische schadegegevens niet altijd voorhanden zijn als toetsingsmateriaal, is het moeilijk om schadefuncties te bepalen die algemeen toepasbaar zijn. Hierdoor vormt het bepalen van betrouwbare schadefuncties een bron van zorg. Het verdient aanbeveling om een systeem te ontwikkelen waarmee voor elke willekeurige locatie snel bepaald kan worden welke waarden de parameters van de schadefuncties moeten krijgen voor het geven van betrouwbare schattingen.
- 2 De combinatie DELFT-FLS - HIS is met name geschikt om als off-line systeem te beschouwen om vooraf geselecteerde dijkdoorbraak- en rampenscenario's door te kunnen rekenen en de gevolgen in kaart te brengen zijn. Het doorrekenen van scenario's kost tijd en neemt schijfruimte in beslag. Het is daarom van belang om vooraf goed na te gaan welke scenario's de meeste realiteitswaarde hebben en deze door te rekenen en daarmee te anticiperen op een werkelijke dijkdoorbraak.
- 3 Om een realistisch dijkdoorbraakscenario te selecteren, dient de toestand van de dijken bekend te zijn. Het verdient aanbeveling een monitoringsysteem op te zetten om het verloop van de conditie van de dijken zichtbaar te maken. Ook hiervoor vormt een ARC/INFO een geschikt hulpmiddel. Hiertoe dienen binnen een ARC/INFO de verschillende dijkvakken in de vorm van een kaart opgeslagen te worden. Door het onderhoudsverloop (inspectie en herstelwerkzaamheden) te koppelen aan het ARC/INFO ontstaat een beeld waar zich de zwakke plekken in de dijk bevinden en waar de kans op een dijkdoorbraak bij hoge waterstanden het hoogst is.
- 4 Voor de overstromingsberekeningen is een betrouwbaar hoogtemodel essentieel. Het Digitaal Hoogtebestand Nederland (DHN) is het meest complete digitale hoogtebestand van Nederland. Het bestand is echter in een reeks van jaren, beginnend in de jaren '60, opgebouwd, en niet continu aangepast aan de huidige situatie. Het DHN vertoont daardoor op bepaalde locaties grote verschillen met de werkelijkheid. De laatste jaren zijn er verschillende technieken ontwikkeld waarmee het eenvoudiger en minder tijdrovend is geworden om landhoogten in te meten. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of er een techniek is die als standaard kan dienen voor het opbouwen van hoogtemodellen voor het HIS.
- 5 Voor het HIS verdient het de voorkeur uit te gaan van ARC/INFO als GIS, omdat dit de standaard is bij Rijkswaterstaat en het daarnaast een pakket is dat bij veel waterschappen en provincies gebruikt wordt. In combinatie met ARCVIEW biedt ARC/INFO ruimschoots gelegenheid voor het maken van analyses en het opvragen van gegevens, ook voor niet-GIS-specialisten.

- 6 Voor de standaardisering van projecten op verschillende locaties verdient het aanbeveling zoveel mogelijk gebruik te maken van landsdekkende, recente, goed te combineren bestanden, die goed onderhouden worden. Het valt tevens aan te bevelen om voor de standaardisering en uniformering van gegevens het aantal leveranciers van bestanden beperkt te houden. Een groot deel van de genoemde gegevens zijn te leveren door bijvoorbeeld de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat en de Topografische Dienst.
- 7 Beheerders van dijkringen en alle overige direct betrokkenen bij de beleidsbepaling en -uitvoering voor een beheergebied, hebben het beste inzicht in welke ruimtelijke informatie van belang is bij een dijkdoorbraak en de maatregelen om dit te voorkomen. Deze groep van personen dient aan te geven welke informatie zij binnen DELFT-FLS - HIS beschikbaar willen hebben en hoe deze informatie gepresenteerd moet worden.

Referenties

Bouwdienst Rijkswaterstaat, TCB-R-94001, 1994; Inundatiescenario's Tieler en Culemborgerwaarden en Betuwe
Geodan Geodesie, 1995; Hoogwaterinformatiesysteem Prototype, Globaal ontwerp en plan van aanpak
Waterloopkundig Laboratorium en Provincie Overijssel, 1995; Kok, M. en A.H. Majers: Produktontwikke-
lingsplan Hoogwater Informatiesysteem voor het rivierengebied
Waterloopkundig Laboratorium, 1995; Toetsing kombergingsmodellen, Werkplan, Q2136
Waterloopkundig Laboratorium, 1995, Flood Hazard Assessment, speurwerkverslag, Q2064
Waterloopkundig Laboratorium, 1994, TRISULA, simulation program for hydrodynamic flows and transports
in 2 and 3 dimensions
Waterloopkundig Laboratorium, 1994, Onderzoek Watersnood Maas, deelrapport 9, Schademodellering
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, WBA-N-93092, 1993; F. Den Heijer: De Lingewerken

Figuren



Compartimentering volgens RAMP en doorbraaklokaties.

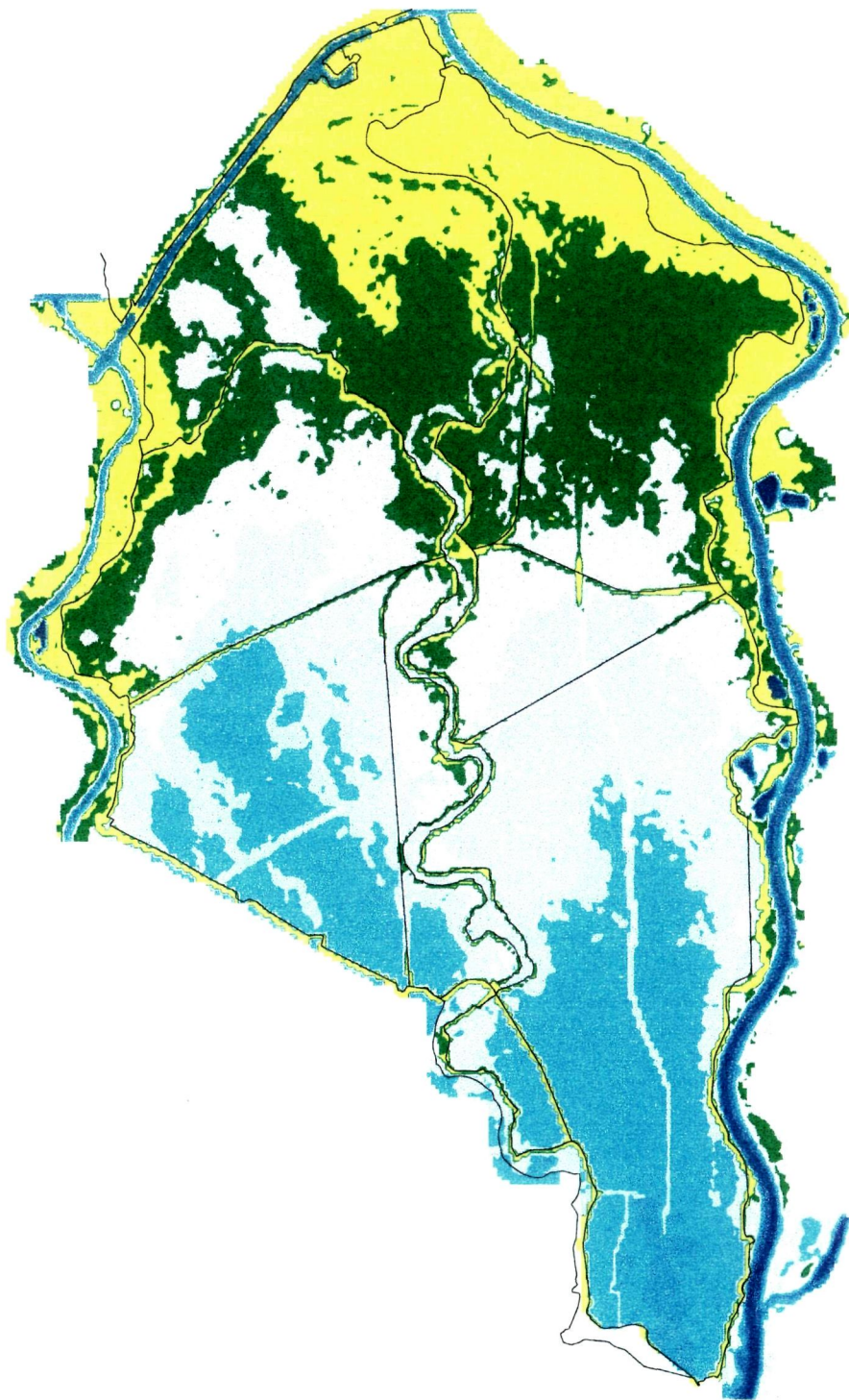
11.01.96

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 3.1

boven
 4.00
 3.00
 2.00
 1.00
 0.00
 -1.00
 -2.00
 -3.00
 -4.00
 -5.00
 onder



DELFT HYDRAULICS

Hoogtekaart Tiel- en Culemborgerwaard

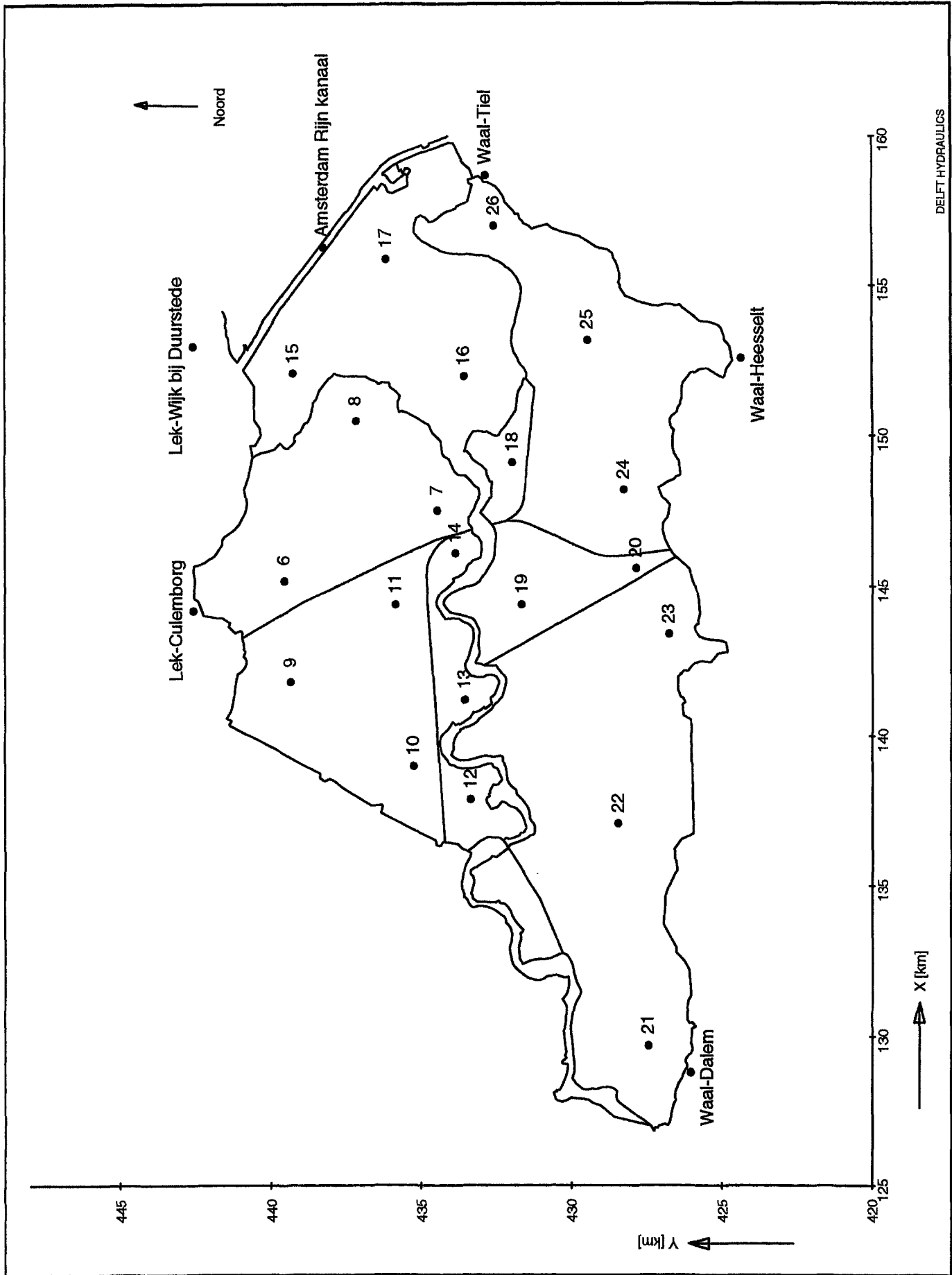
11.01.96

OPC = T10

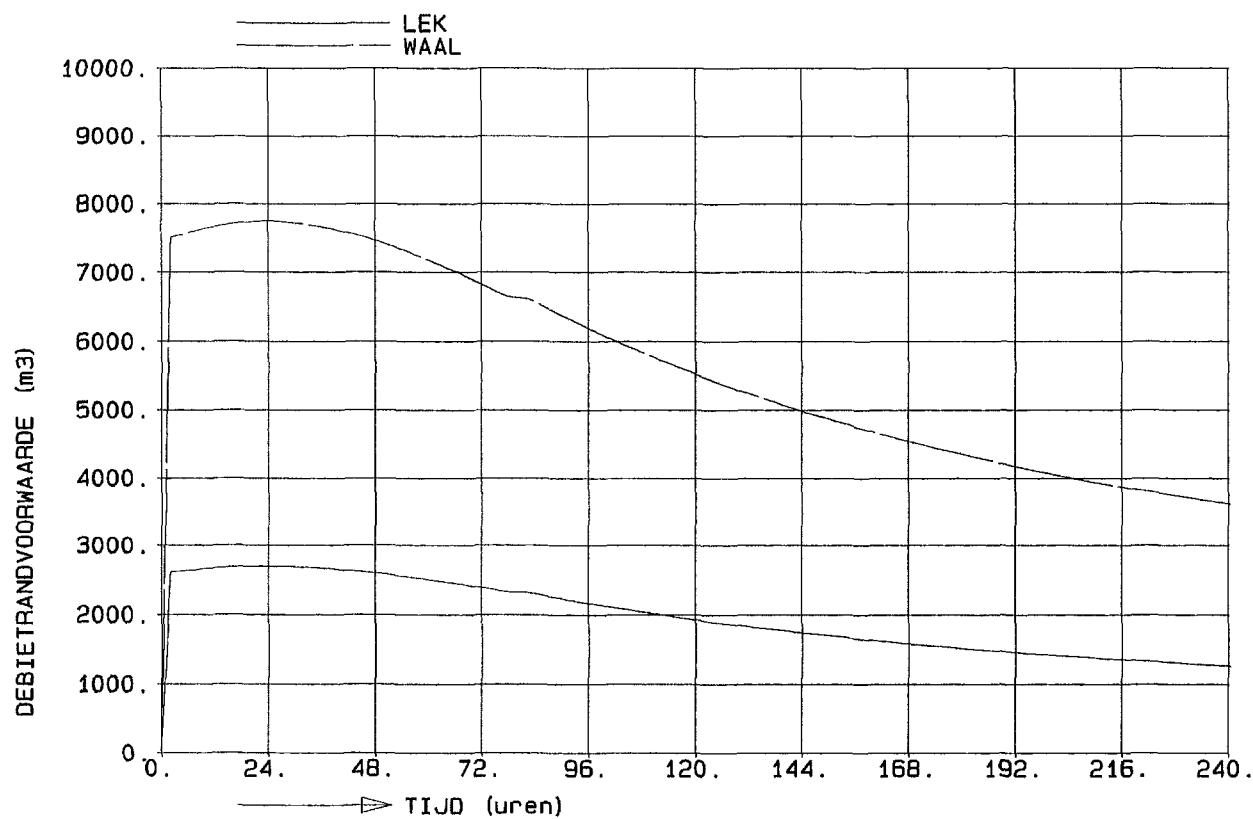
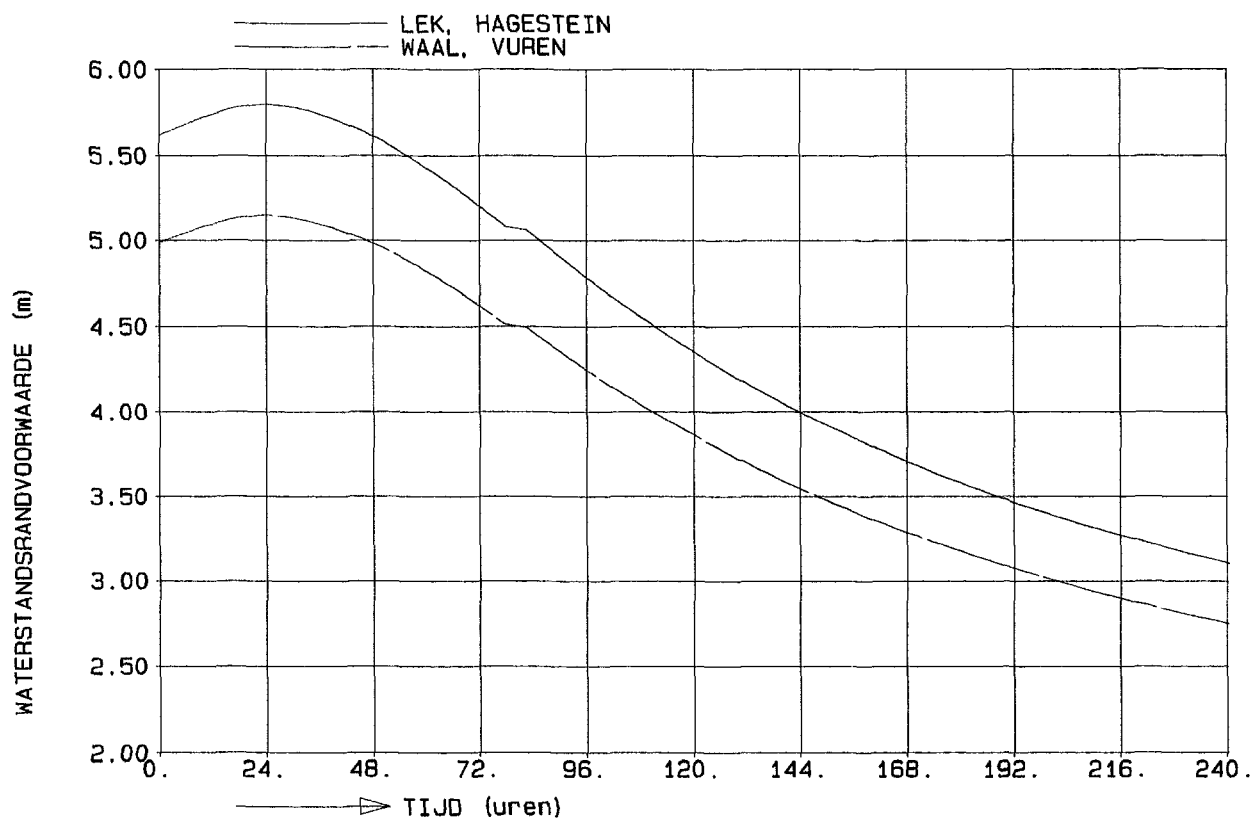
DELFT HYDRAULICS

Z993

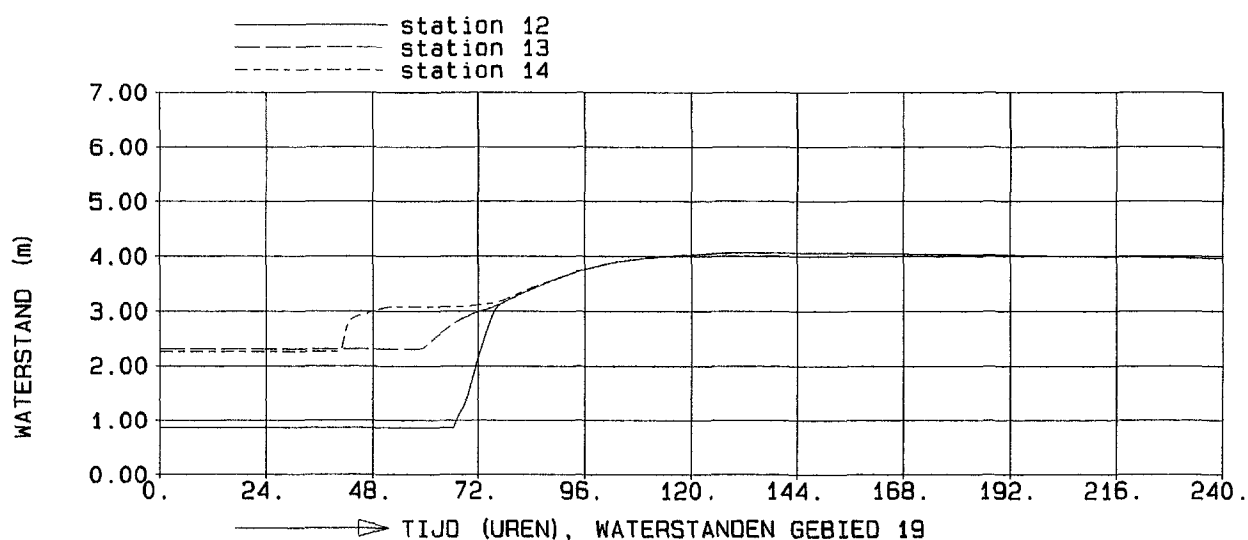
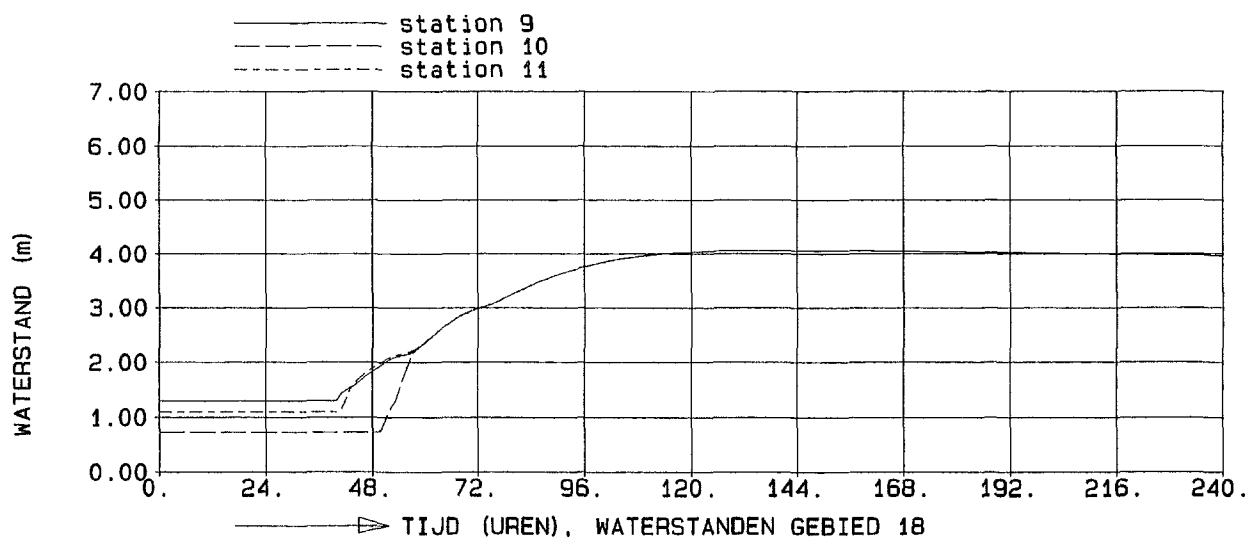
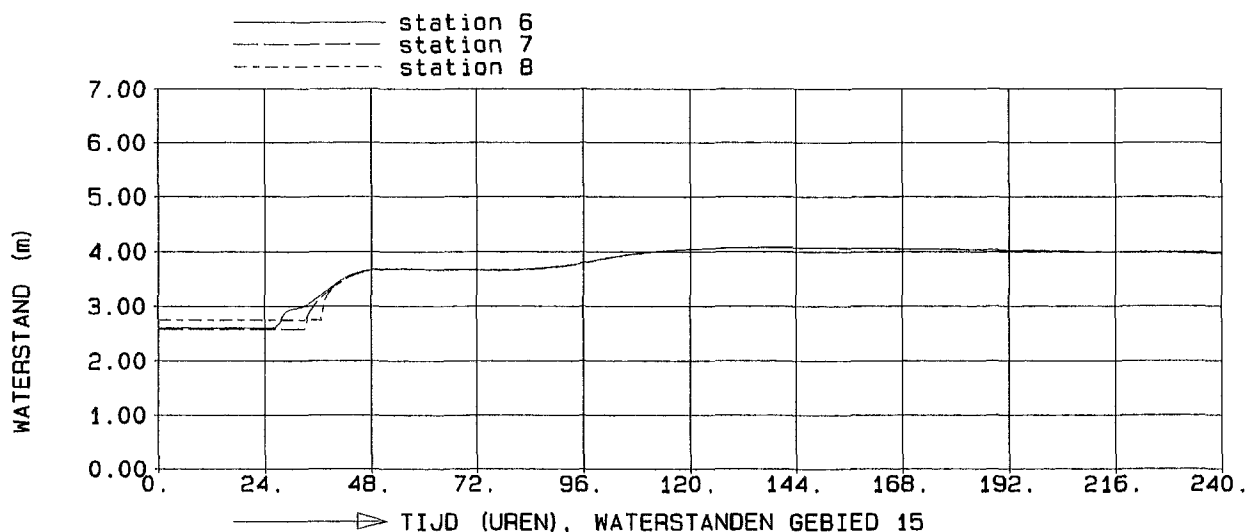
Fig. 3.2



Rekenuitvoer-lokaties	12.01.96	
DELFT HYDRAULICS	Z993	Fig. 3.3



RANDVOORWAARDEN IN LEK EN WAAL



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 15, 18 EN 19
 DOORBRAAK CULEMBORG

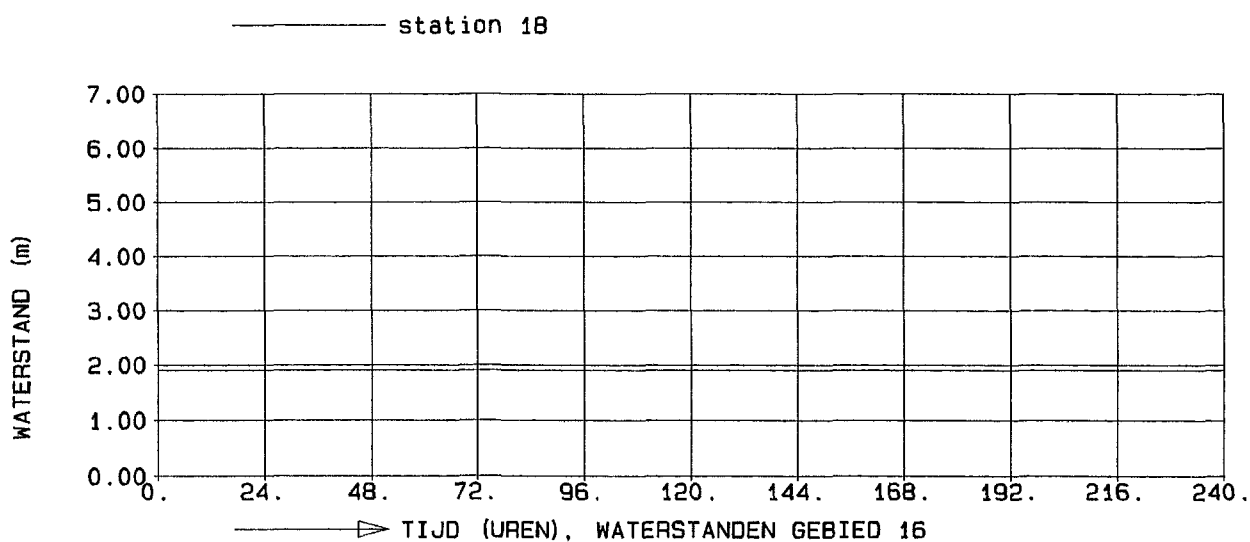
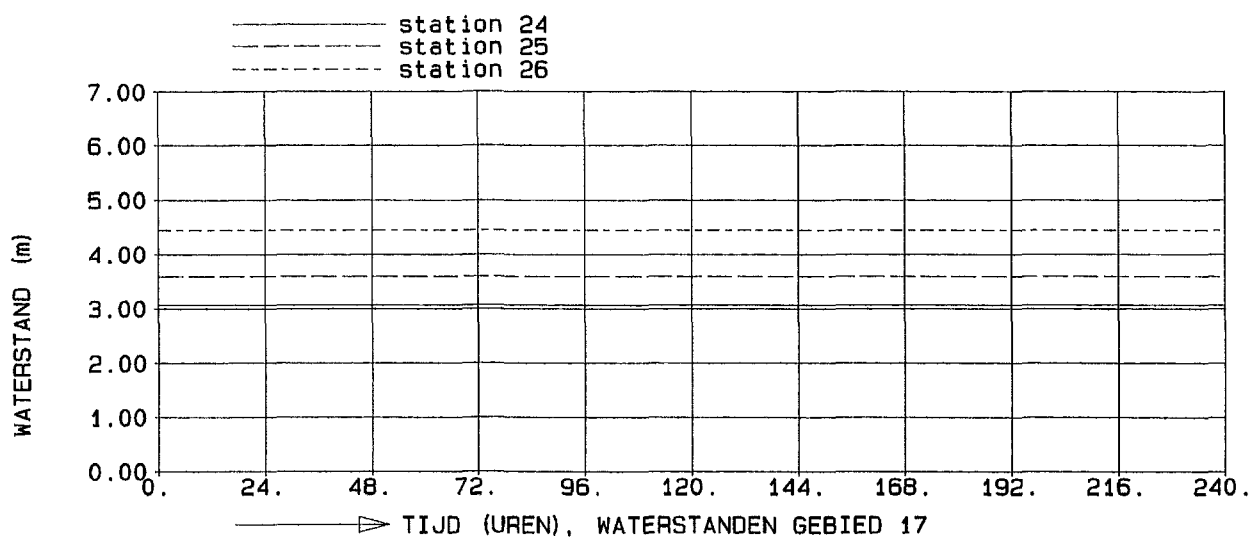
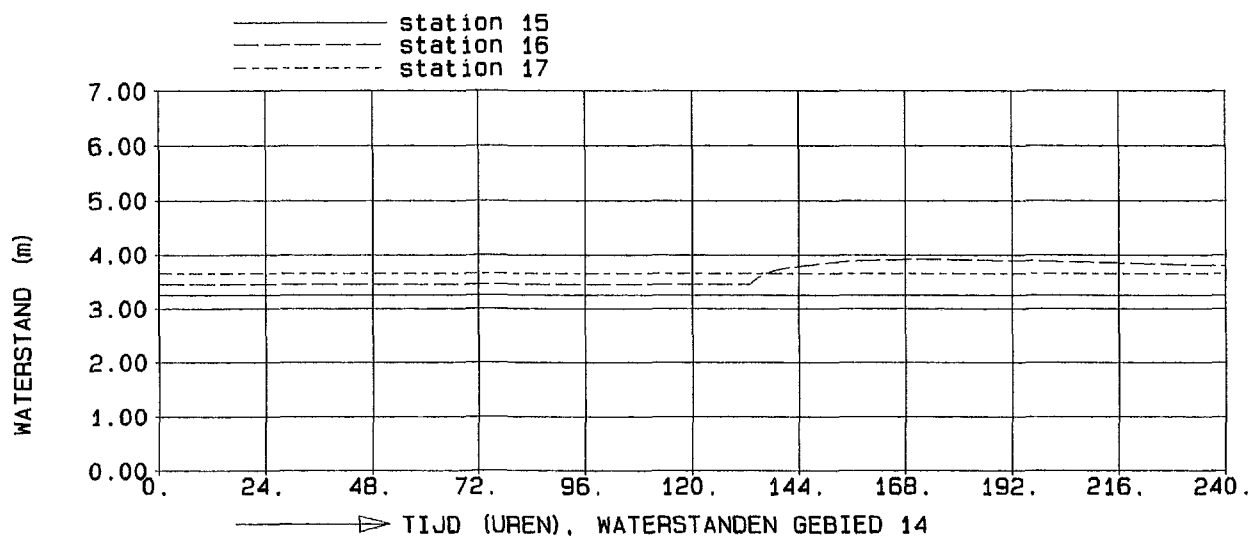
04.09.97

OPC = tc6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.1.1



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 14, 16 EN 17
 DOORBRAAK CULEMBORG

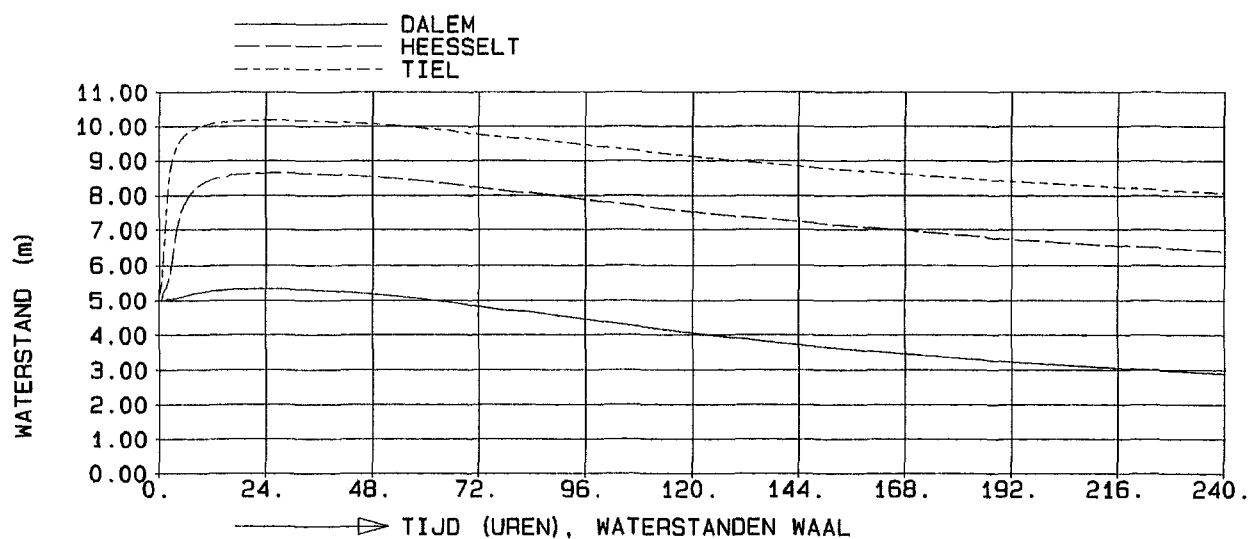
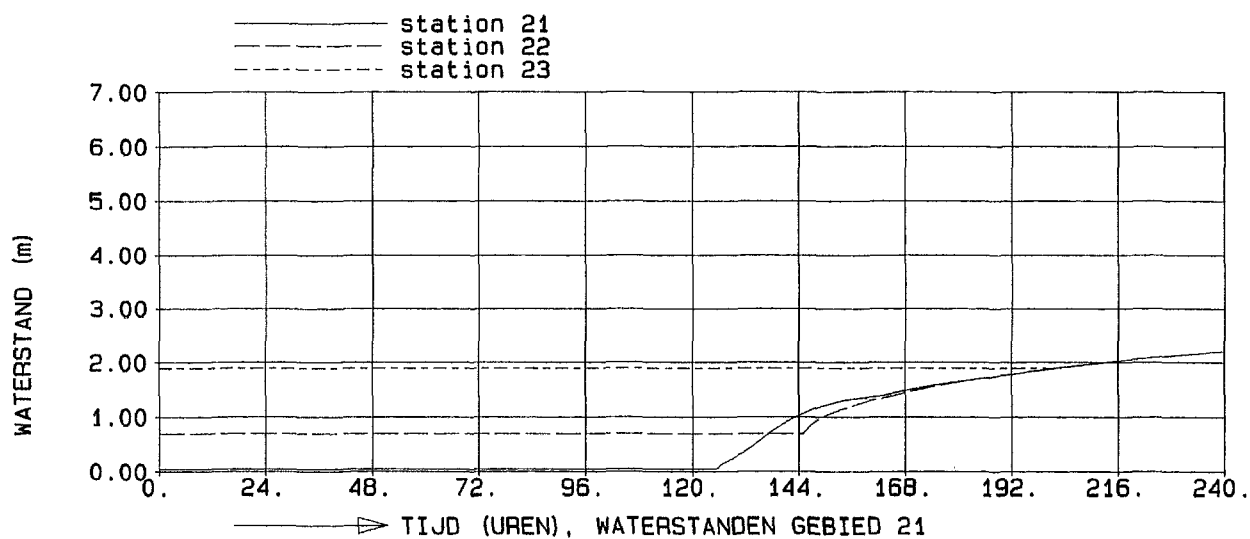
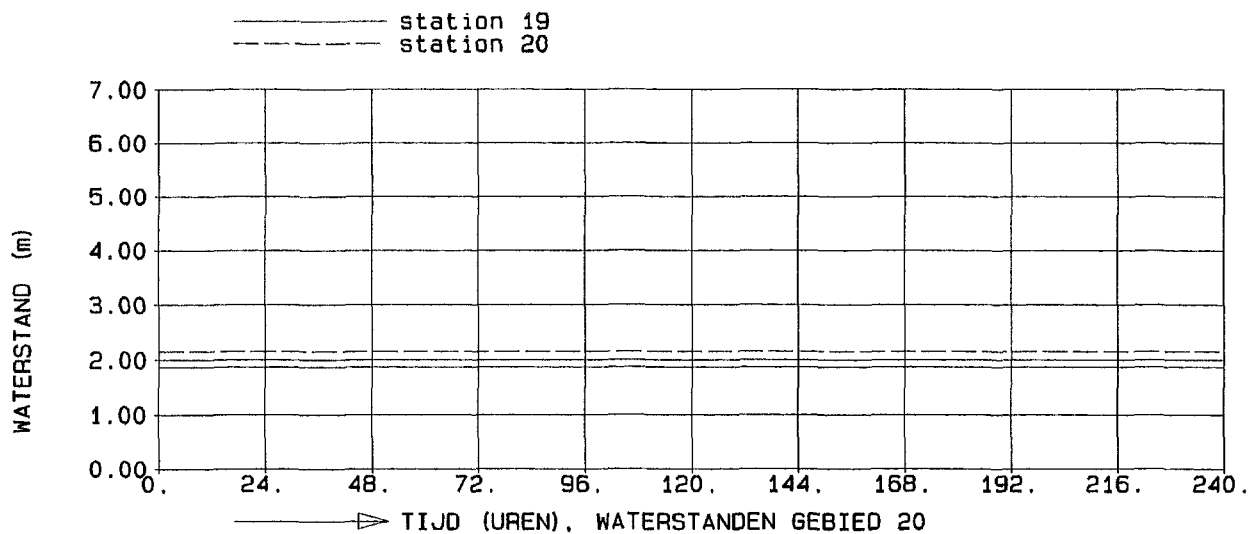
04.09.97

OPC = tc6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.1.2



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 20, 21 EN WAAL
 DOORBRAAK CULEMBORG

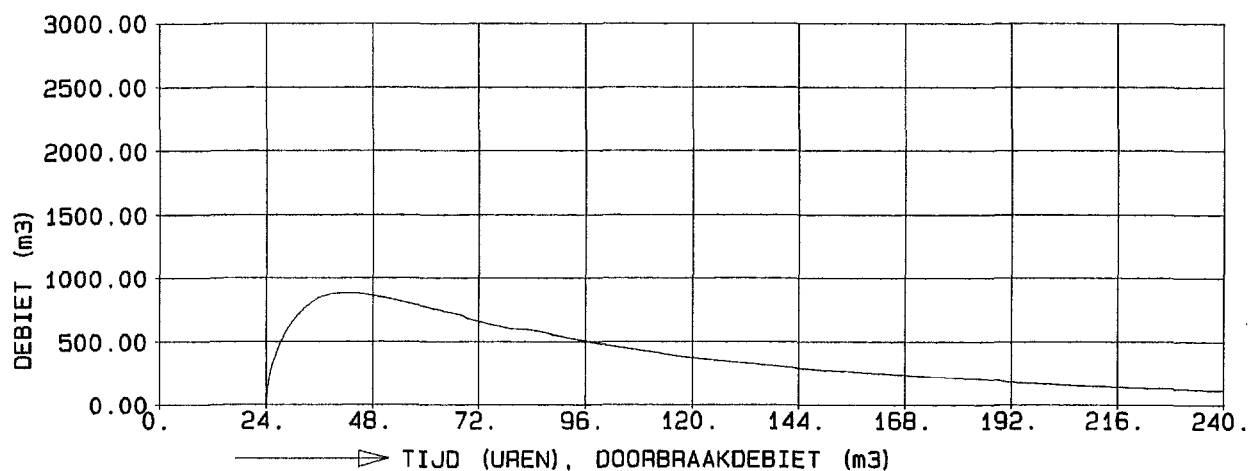
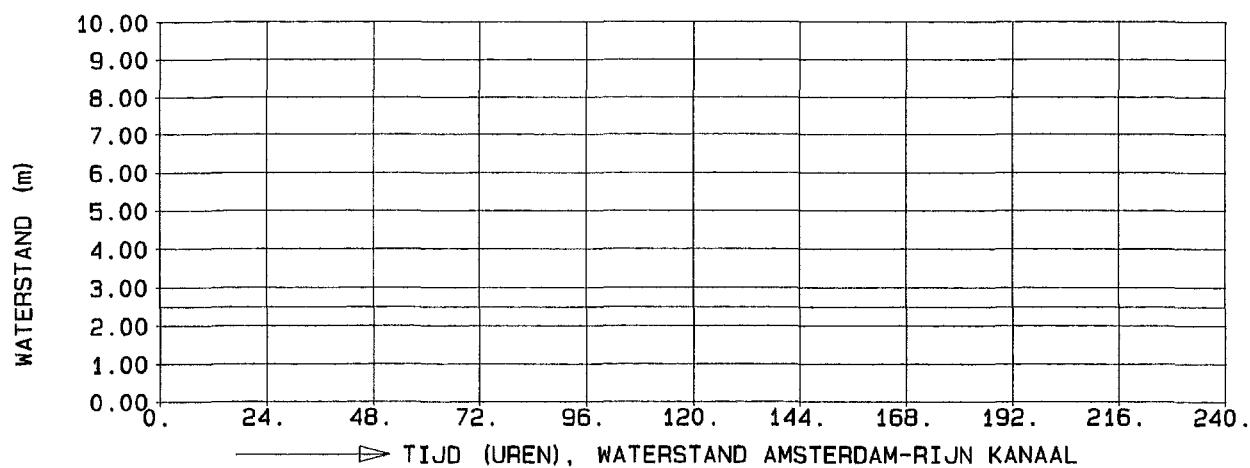
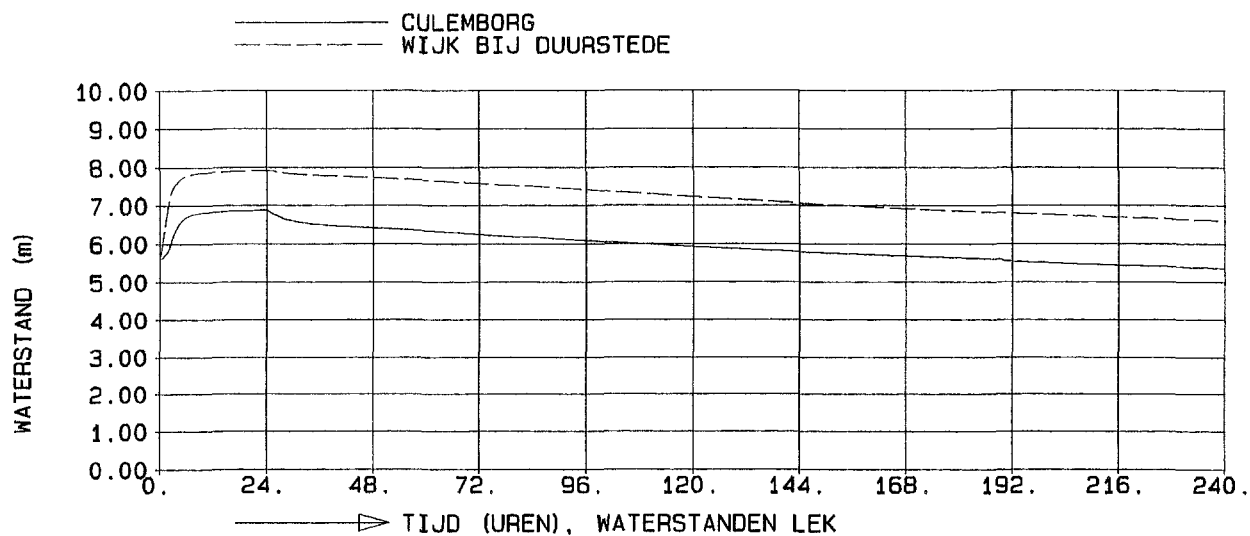
04.09.97

OPC = tc6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.1.3



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN LEK, A-R KANAAL EN DOORBRAAKDEBIET
 DOORBRAAK CULEMBORG

04.09.97

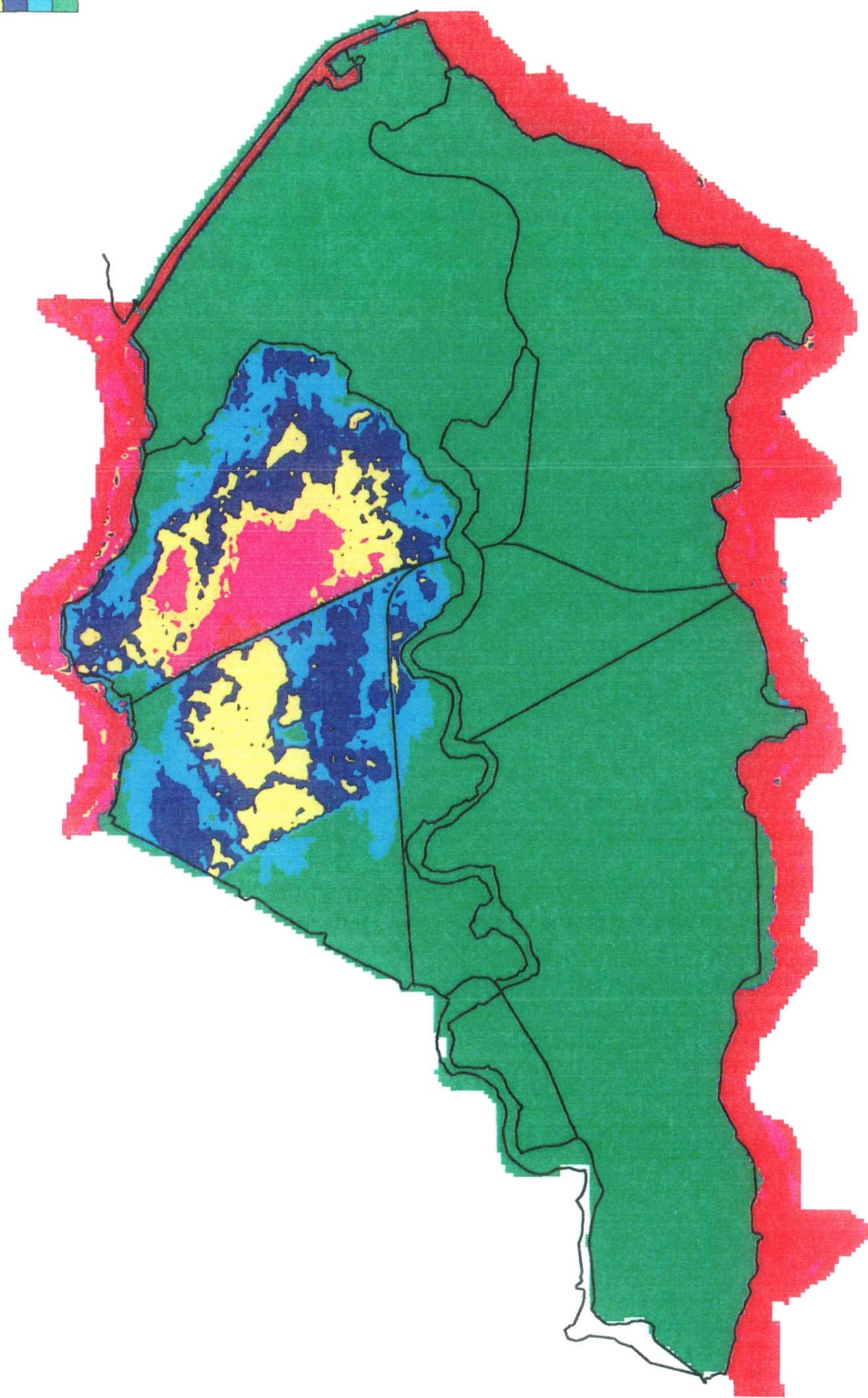
OPC = tc6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.1.4

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Culemborg

22.04.97

T = 24 hr.

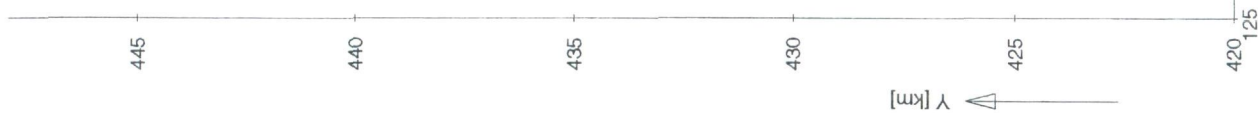
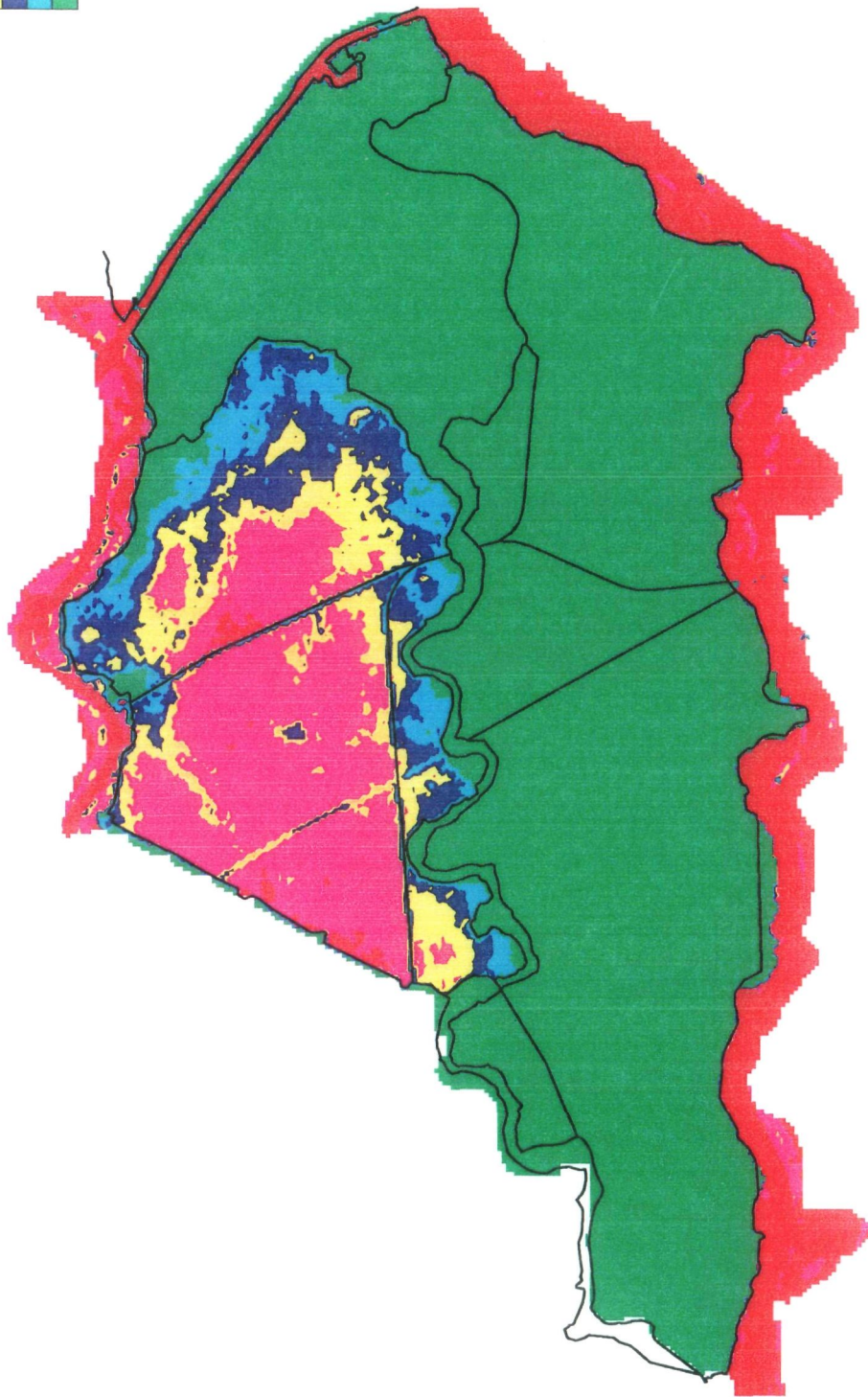
OPC = TC6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.1.5

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



dijkdoorbraak Culemborg

22.04.97

T = 48 hr.

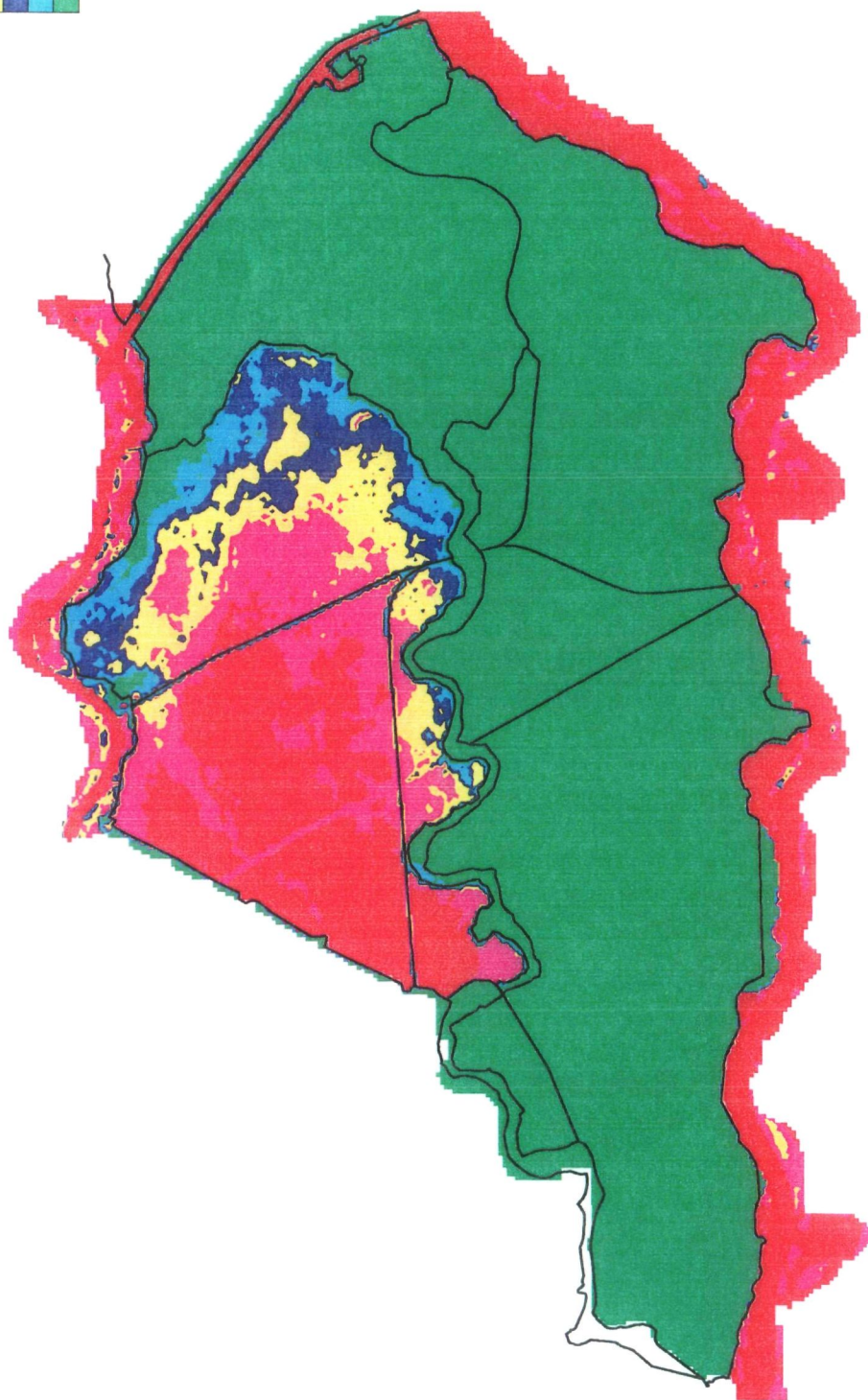
OPC = TC6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.1.6

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Culemborg

22.04.97

T = 72 hr.

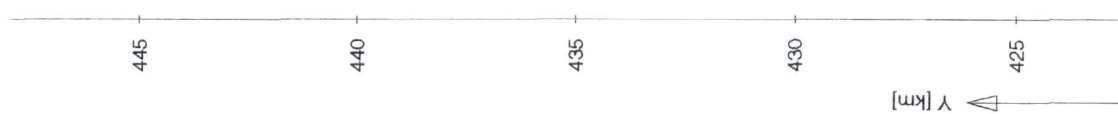
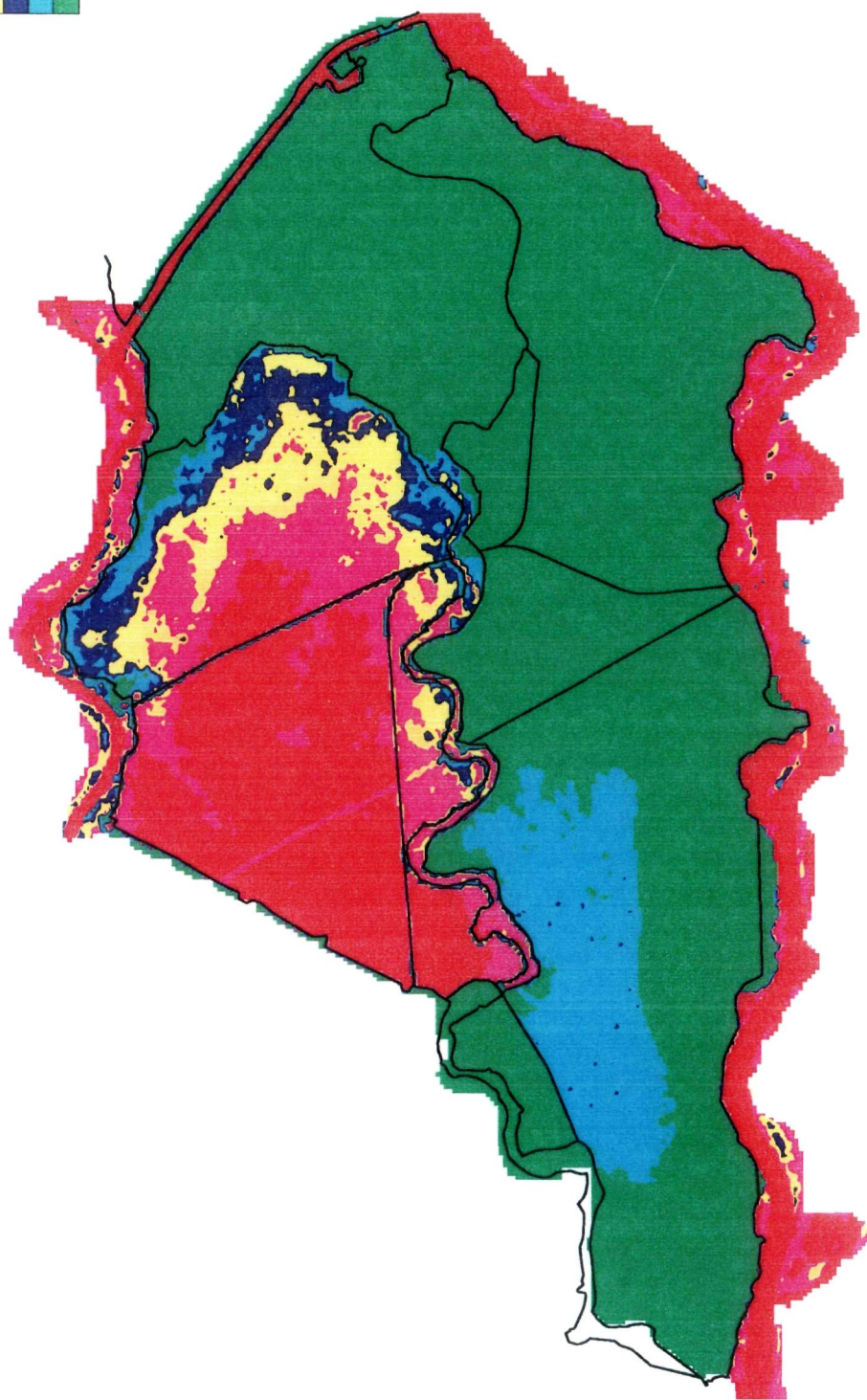
OPC = TC6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.1.7

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



dijkdoorbraak Culemborg

22.04.97

T = 96 hr.

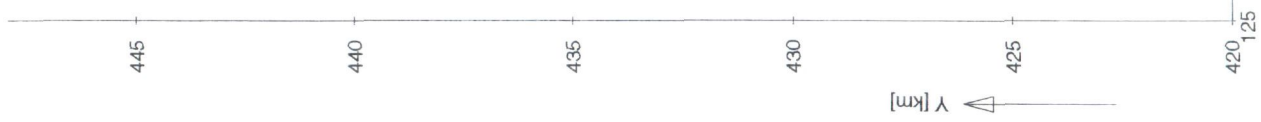
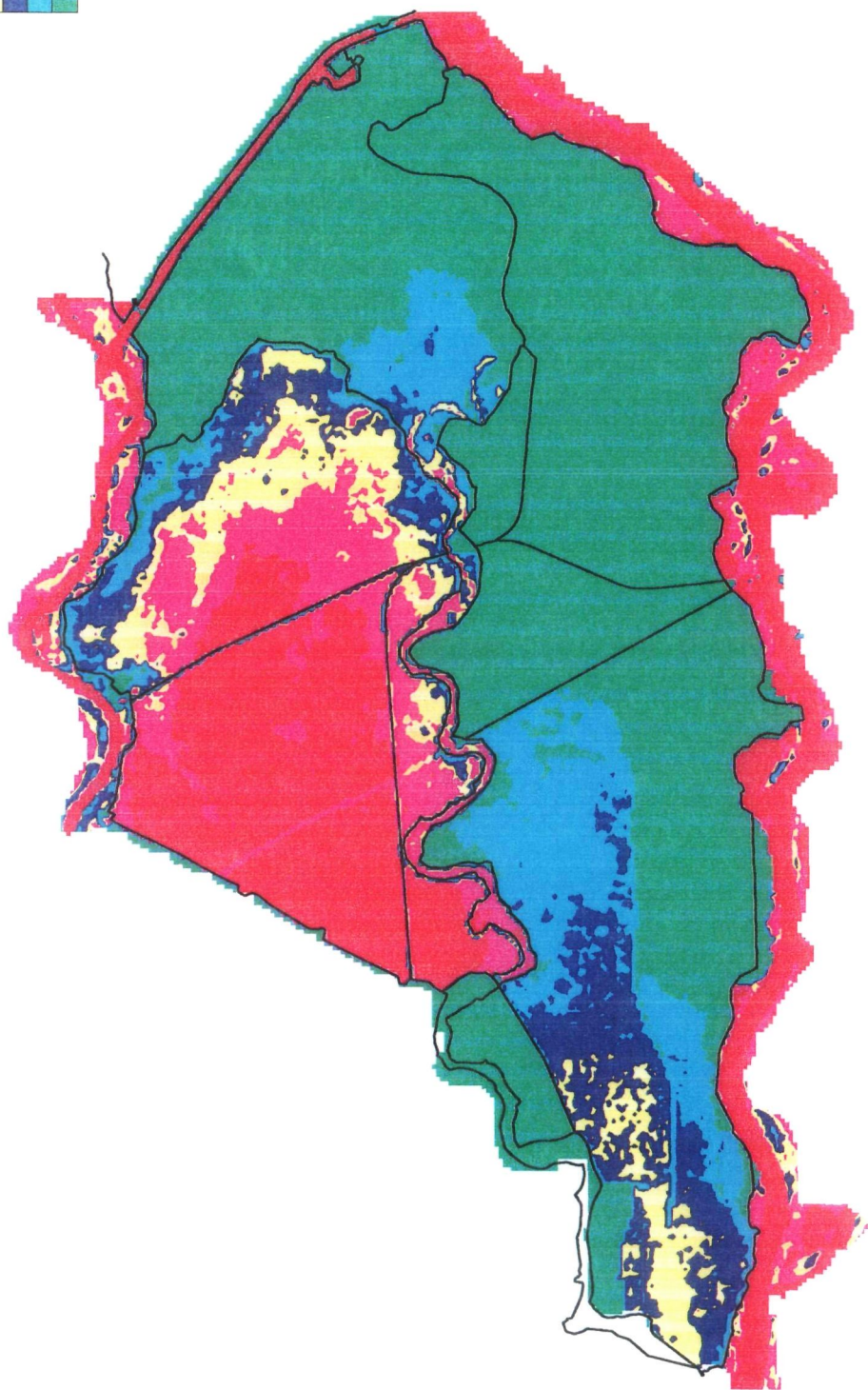
OPC = TC6

DELFT HYDRAULICS

Z993

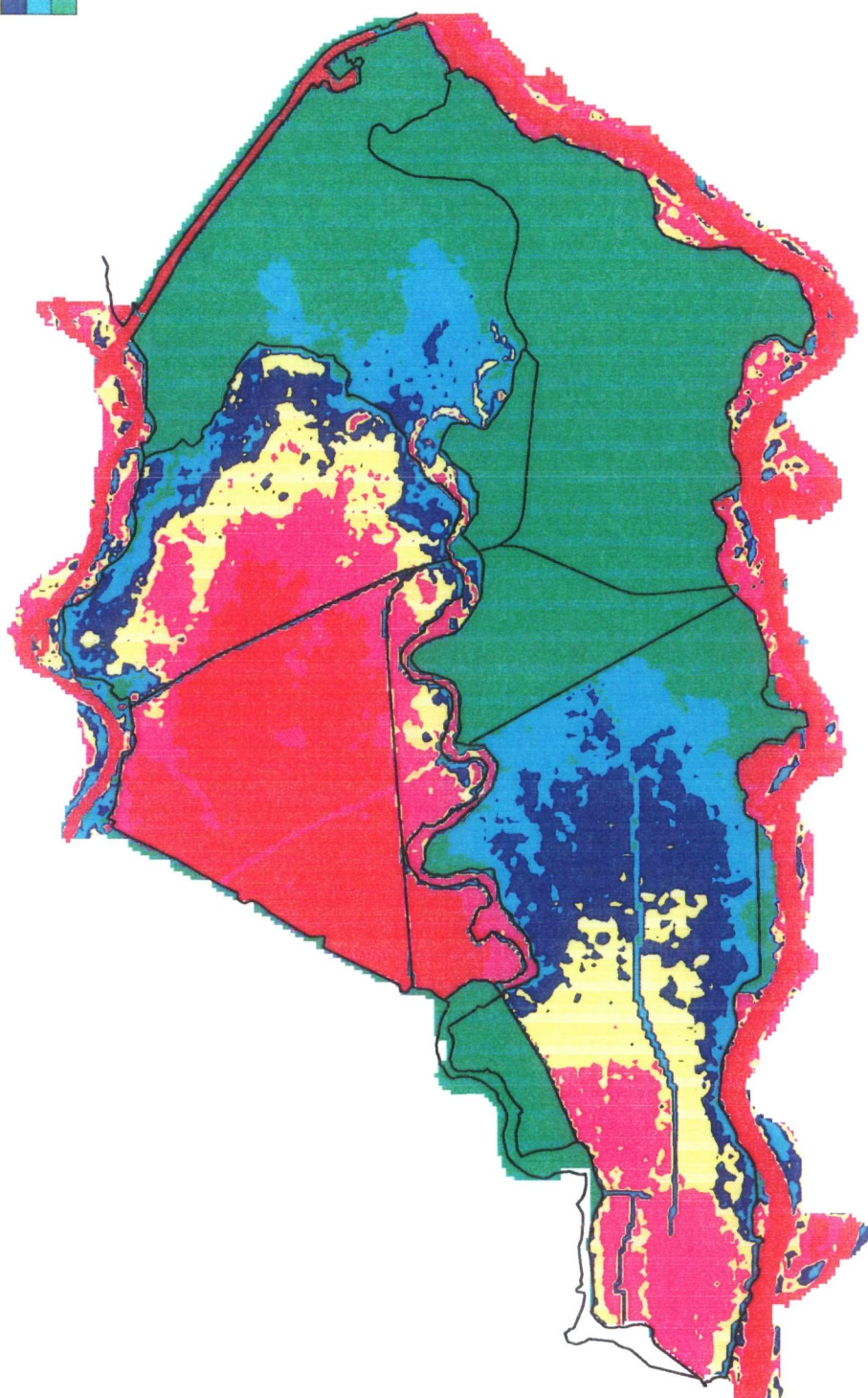
Fig. 4.1.8

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



dijkdoorbraak Culemborg	22.04.97	T =120 hr.
	OPC = TC6	
DELFT HYDRAULICS	Z993	Fig. 4.1.9

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



Y [km]

X [km]

DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Culemborg

22.04.97

T = 168 hr.

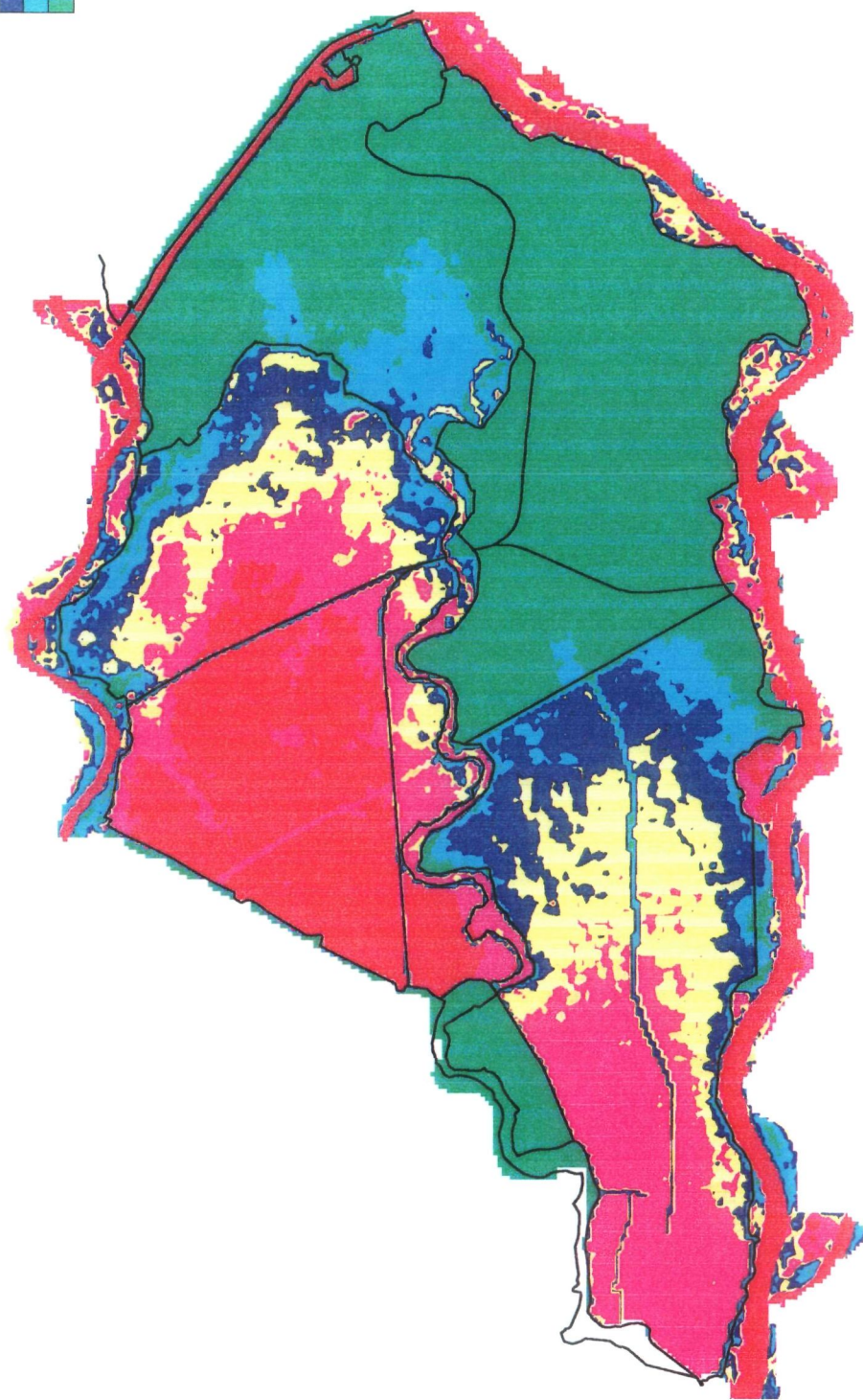
OPC = TC6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.1.10

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



dijkdoorbraak Culemborg

22.04.97

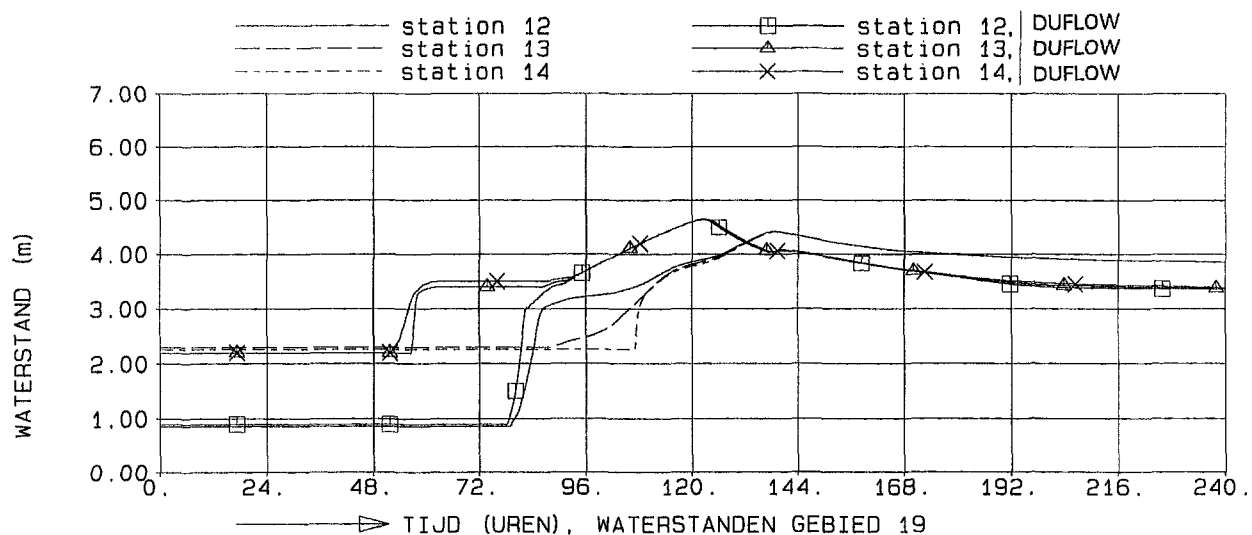
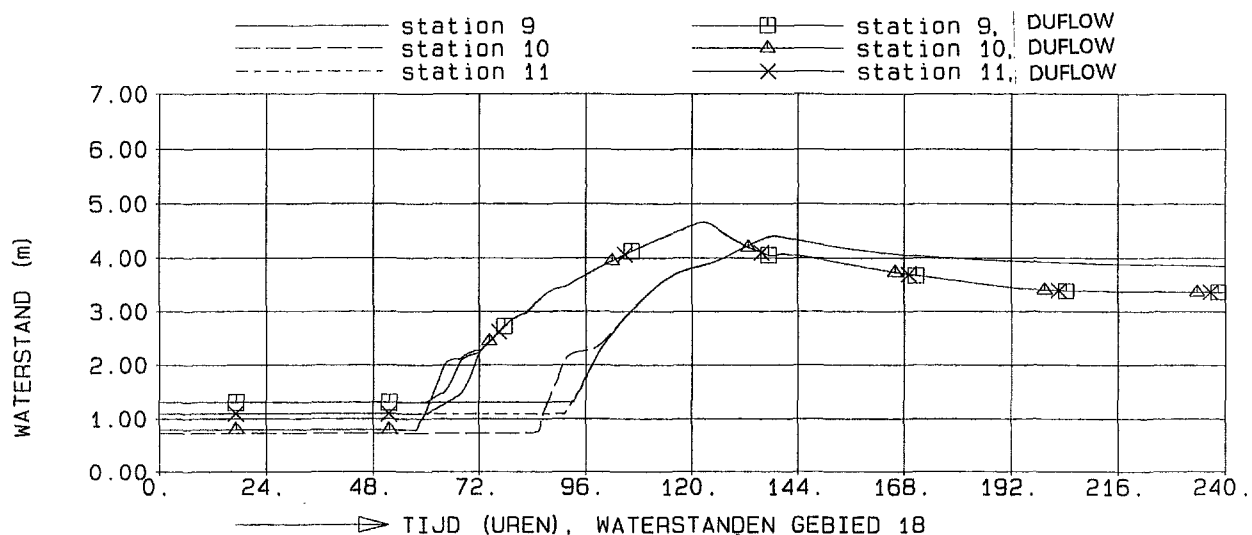
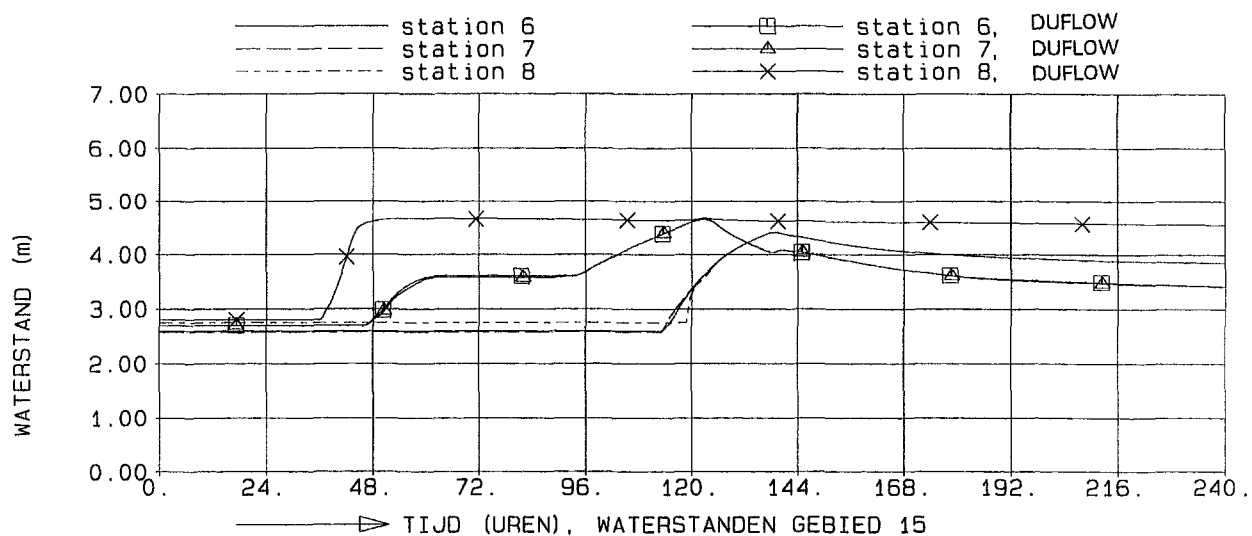
T =216 hr.

OPC = TC6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.1.11



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 15, 18 EN 19
 DOORBRAAK TIEL

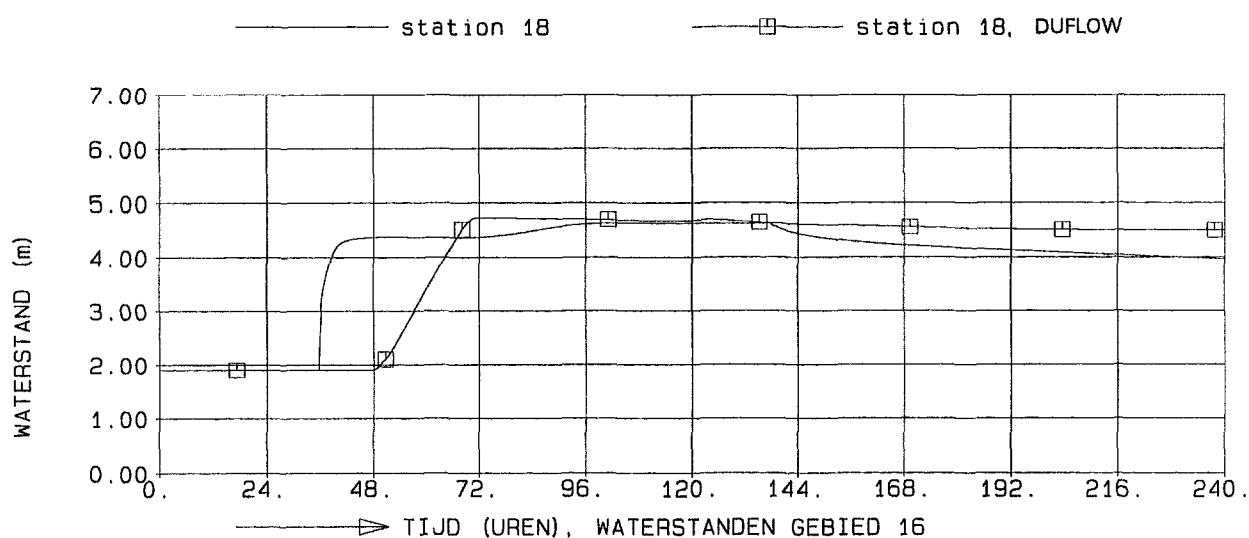
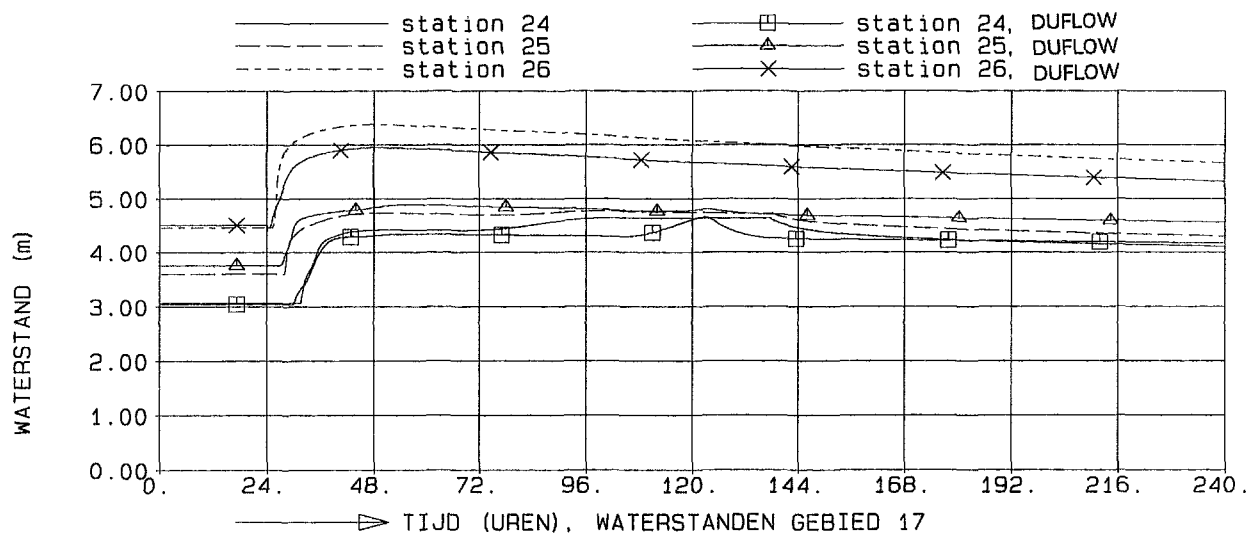
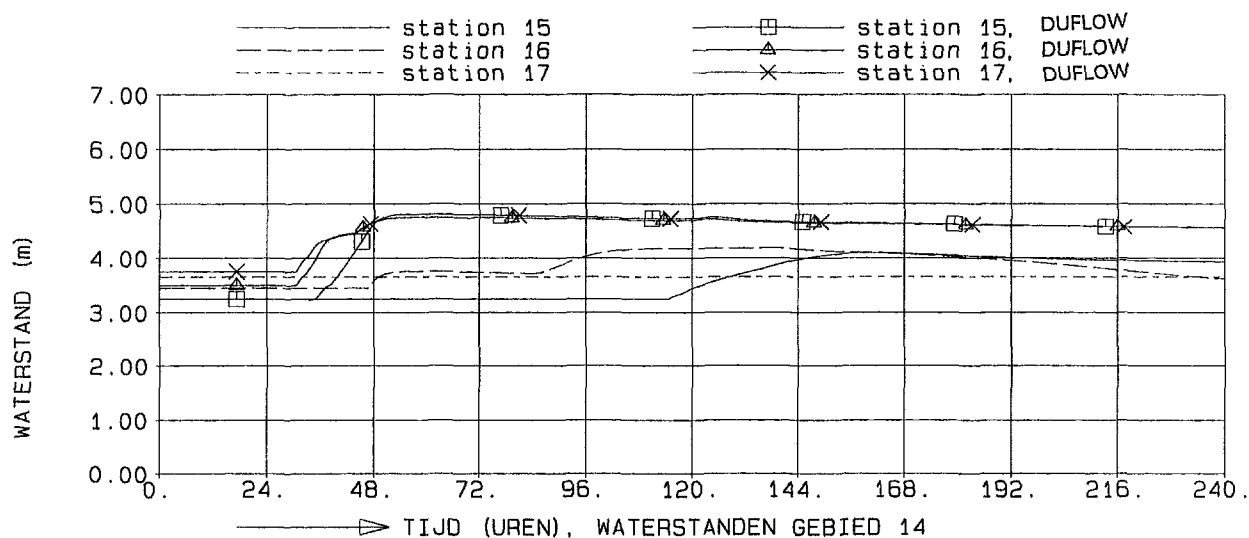
02.09.97

OPC = tt6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.2.1



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 14, 16 EN 17
 DOORBRAAK TIEL

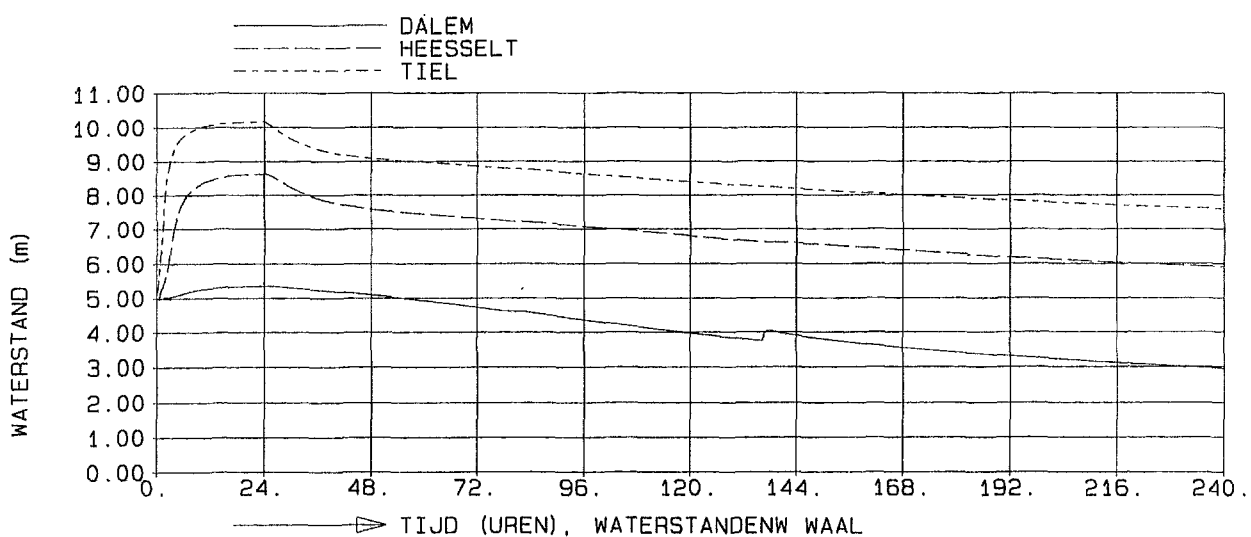
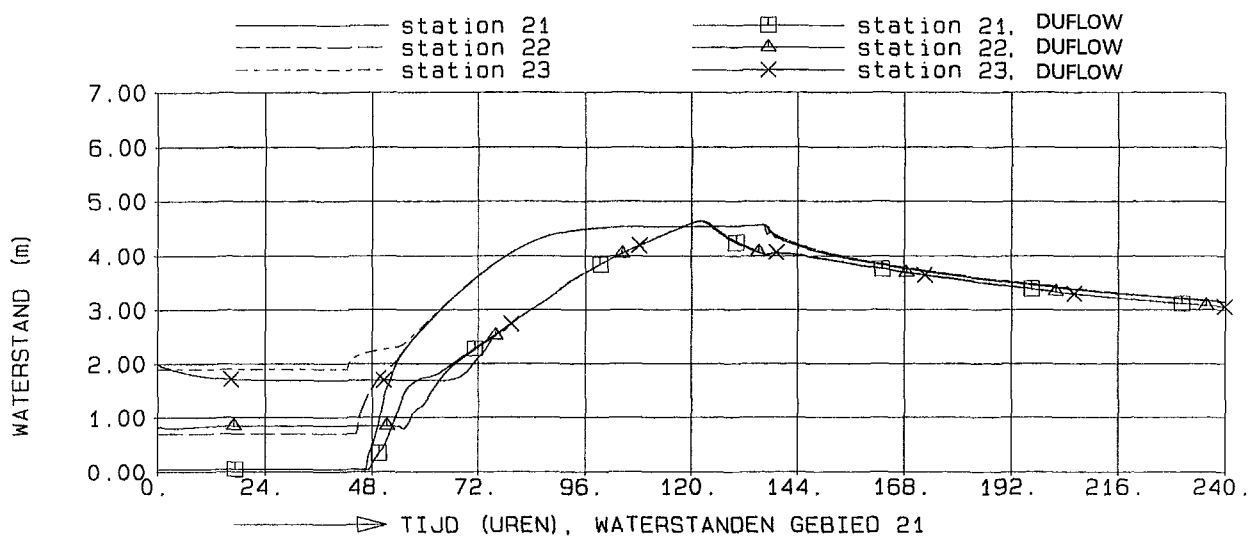
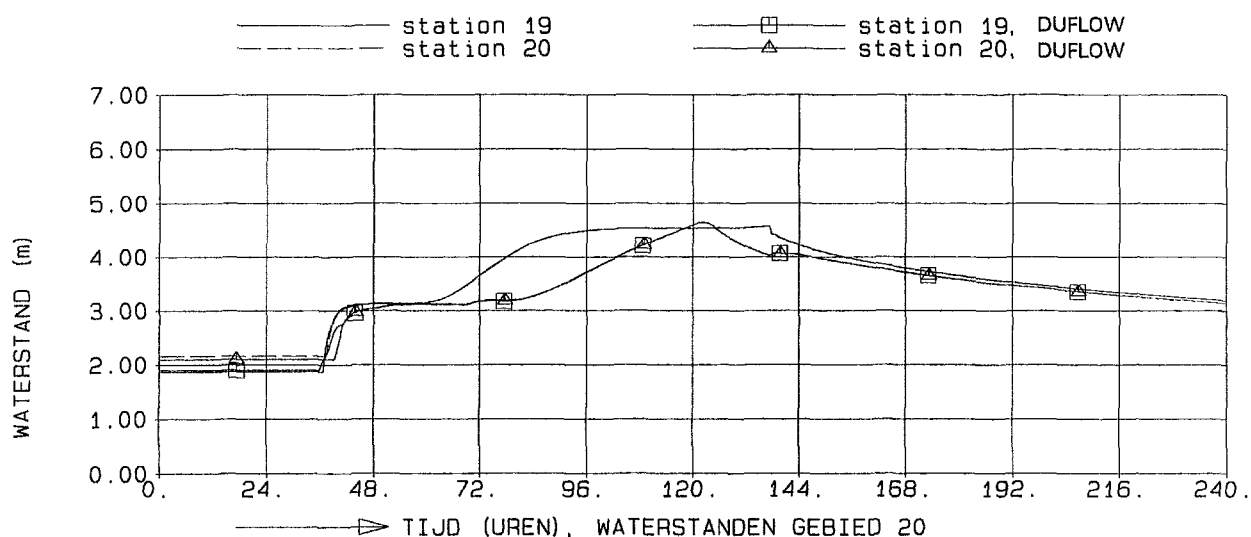
02.09.97

OPC = tt6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.2.2



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 20, 21 EN WAAL
 DOORBRAAK TIEL

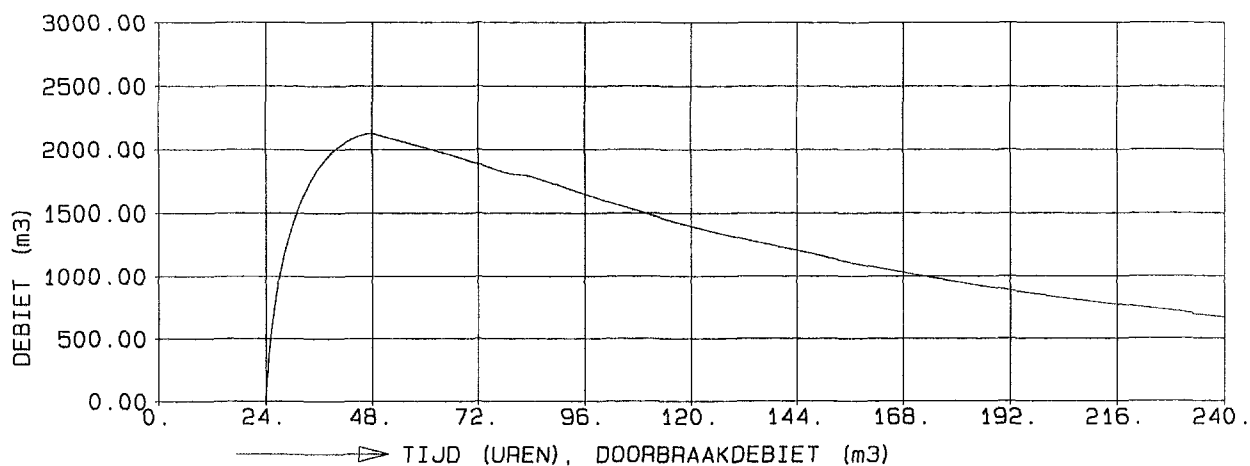
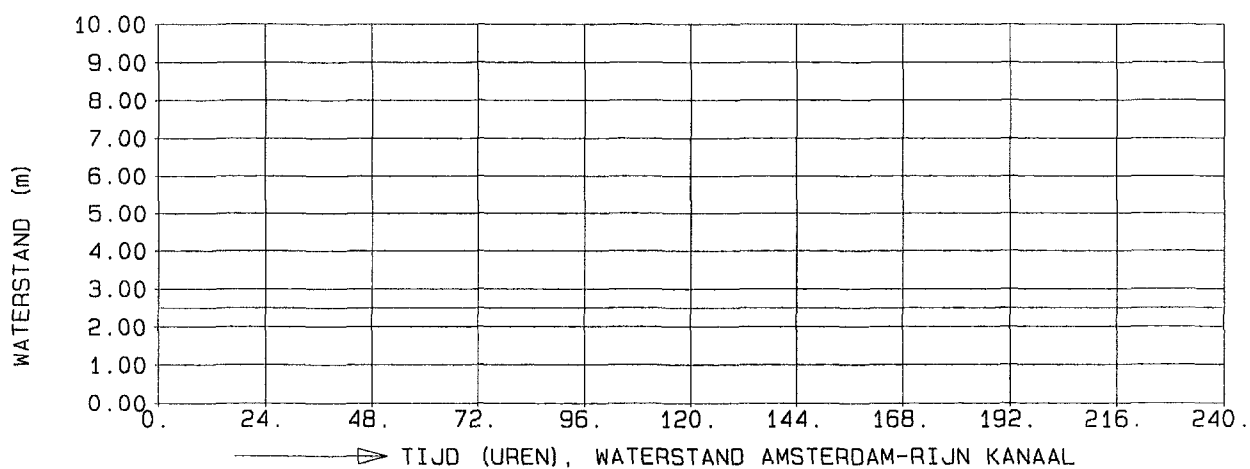
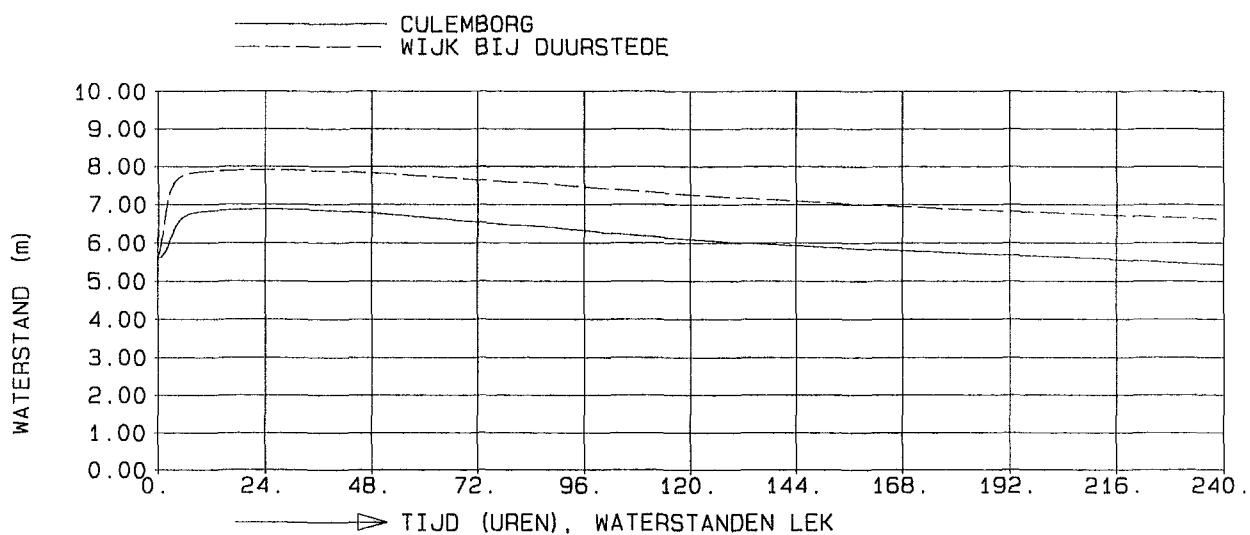
02.09.97

OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.2.3



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN LEK, A-R KANAAL EN DOORBRAAKDEBIET
 DOORBRAAK TIEL

02.09.97

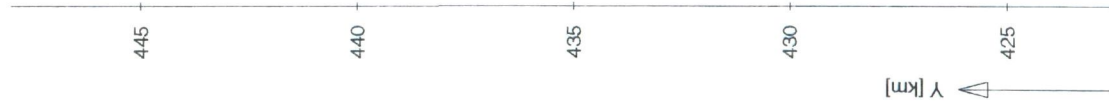
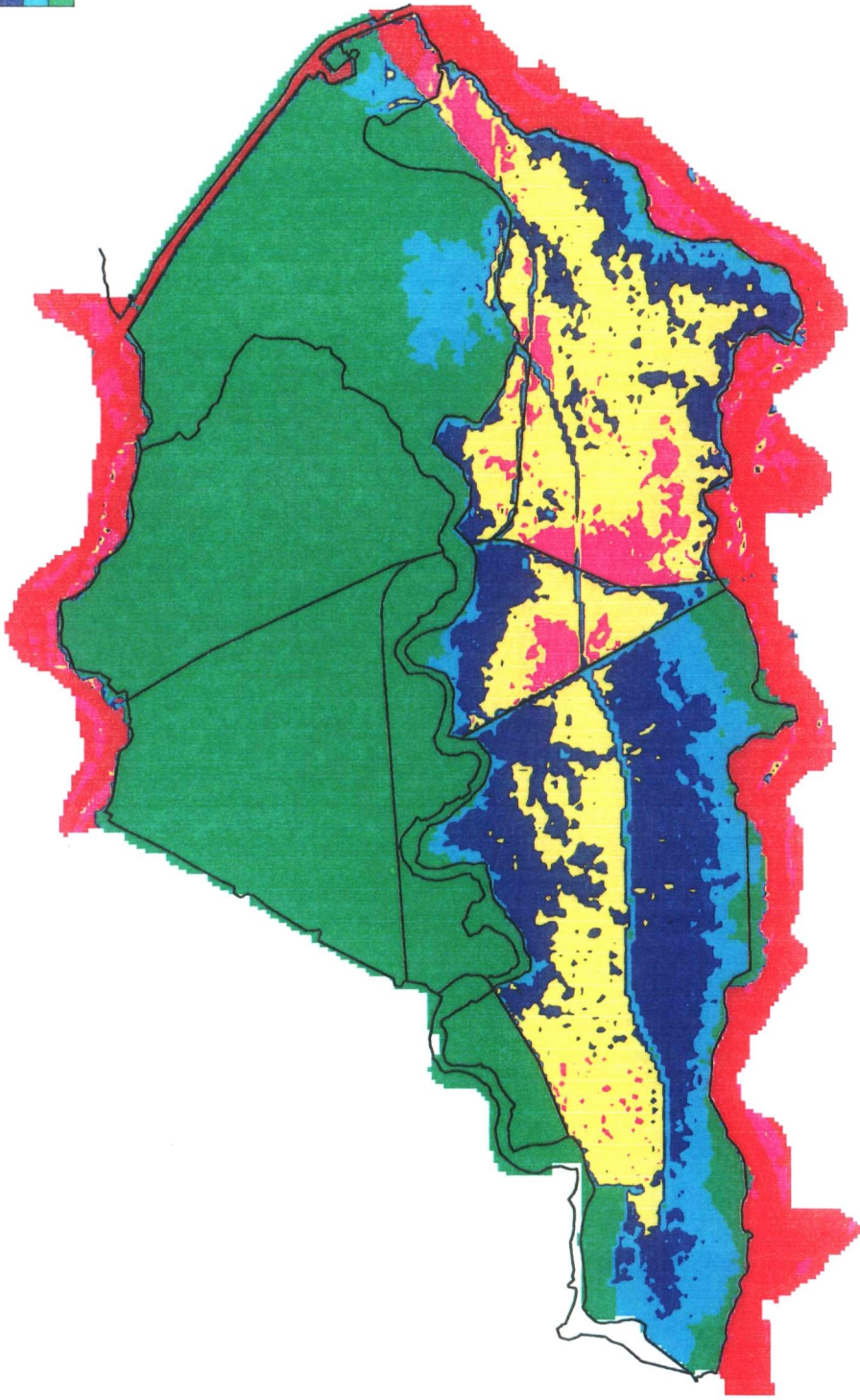
OPC = tt6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.2.4

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 24 hr.

OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

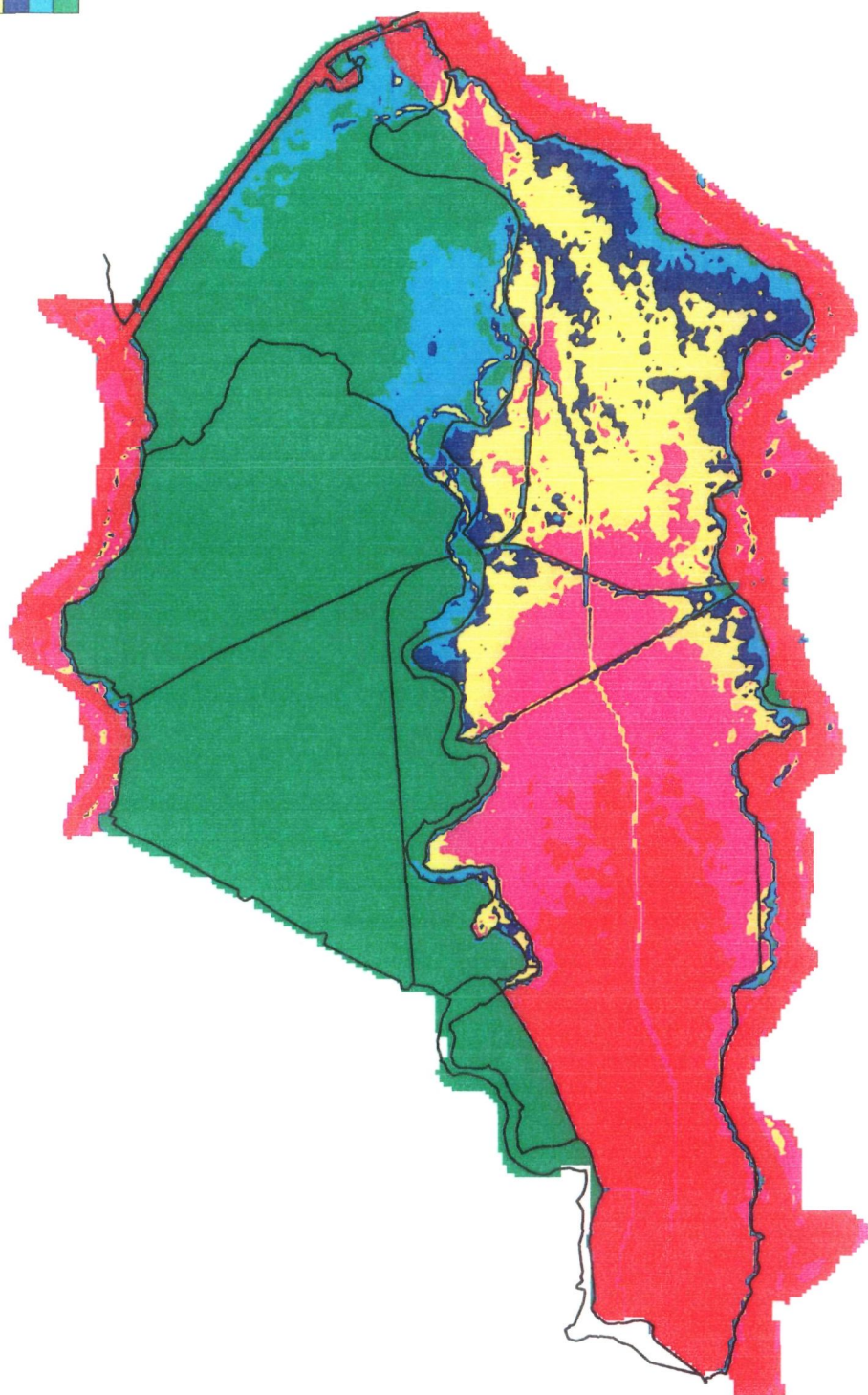
Fig. 4.2.5

B I D O C
(bibliotheek en documentatie)



Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Van der Burghweg 1
Postbus 5044, 2600 GA DELFT
Tel. 015 - 26 99 363 / 364

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 48 hr.

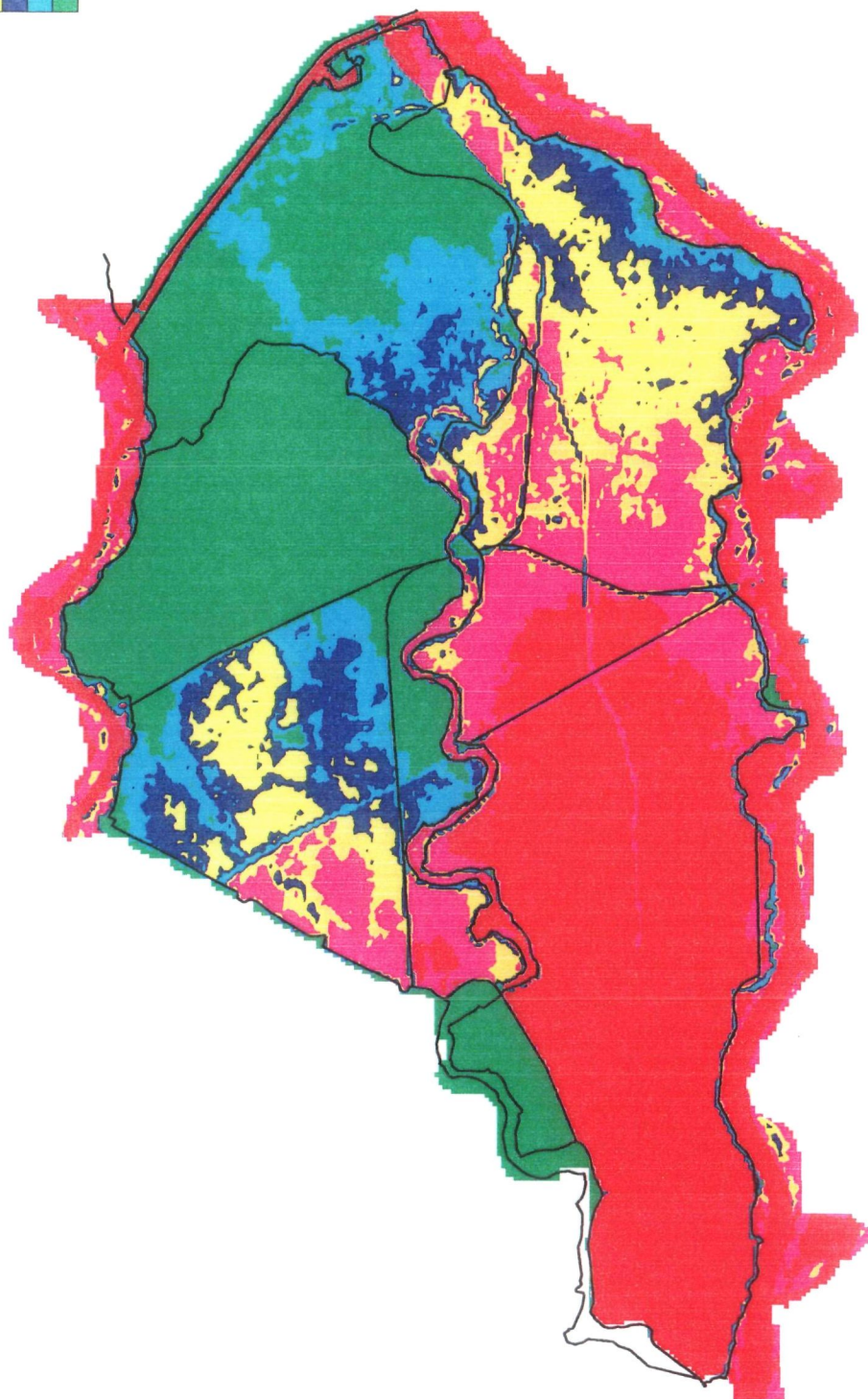
OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.6

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 72 hr.

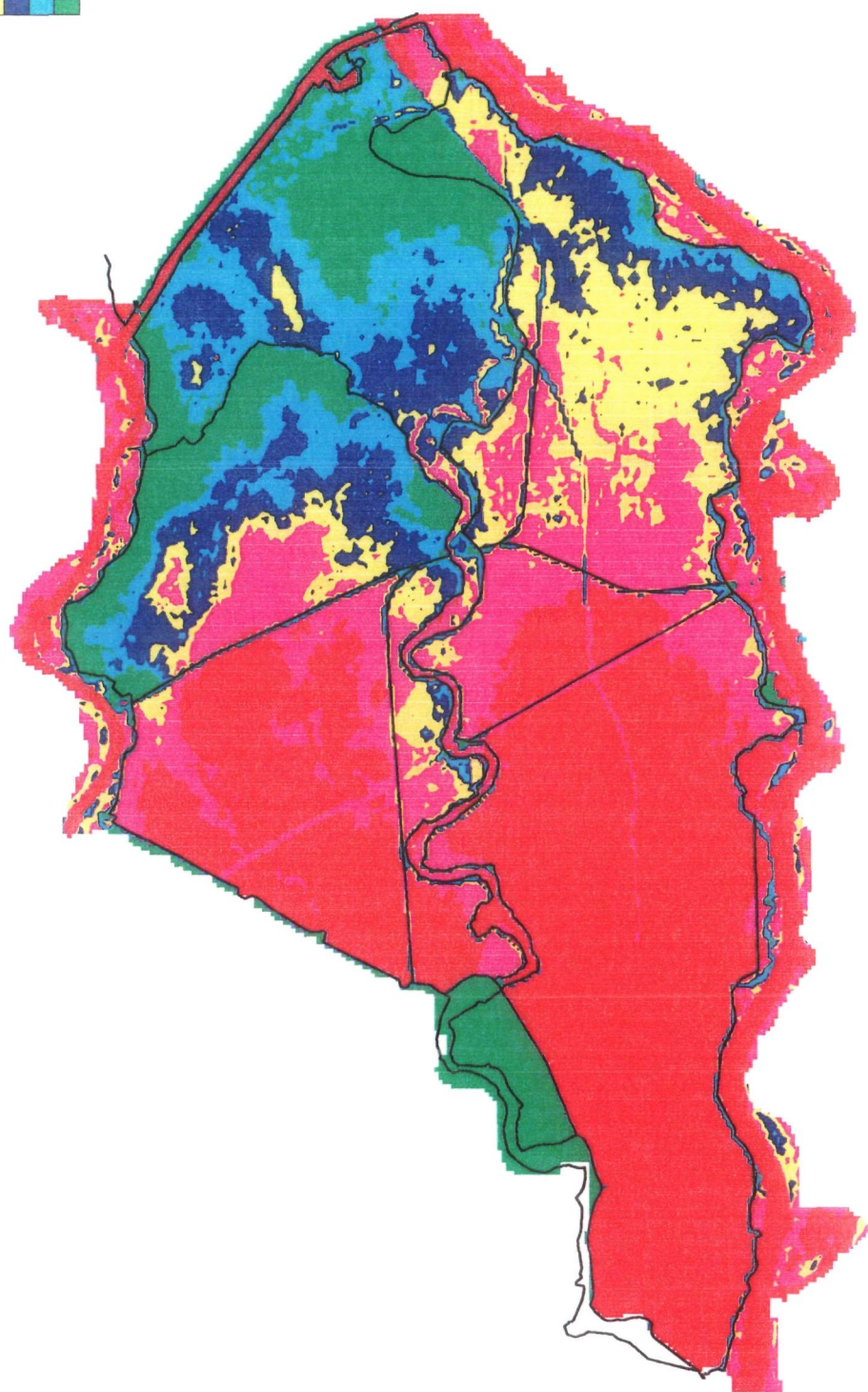
OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.7

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 96 hr.

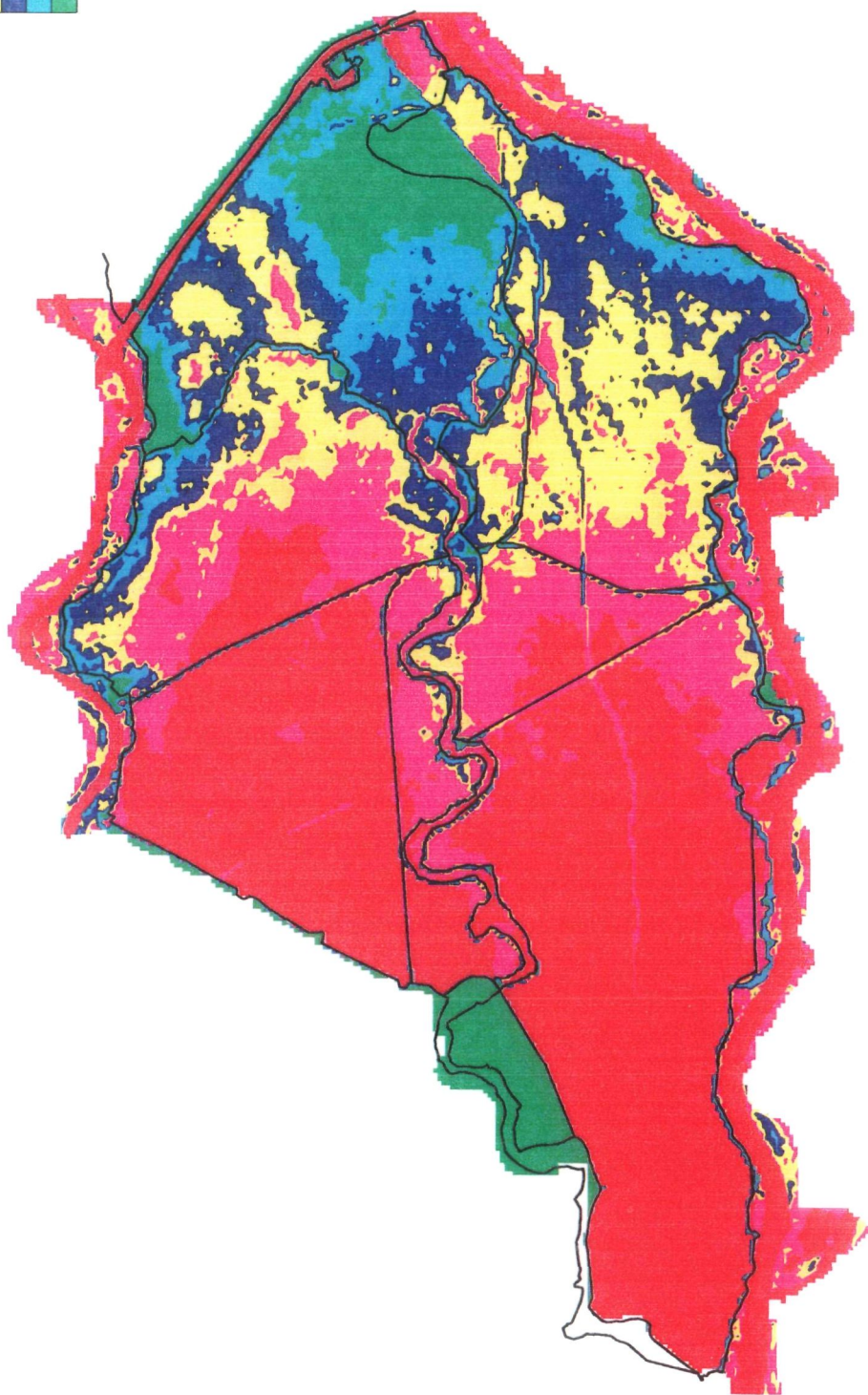
OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.8

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 120 hr.

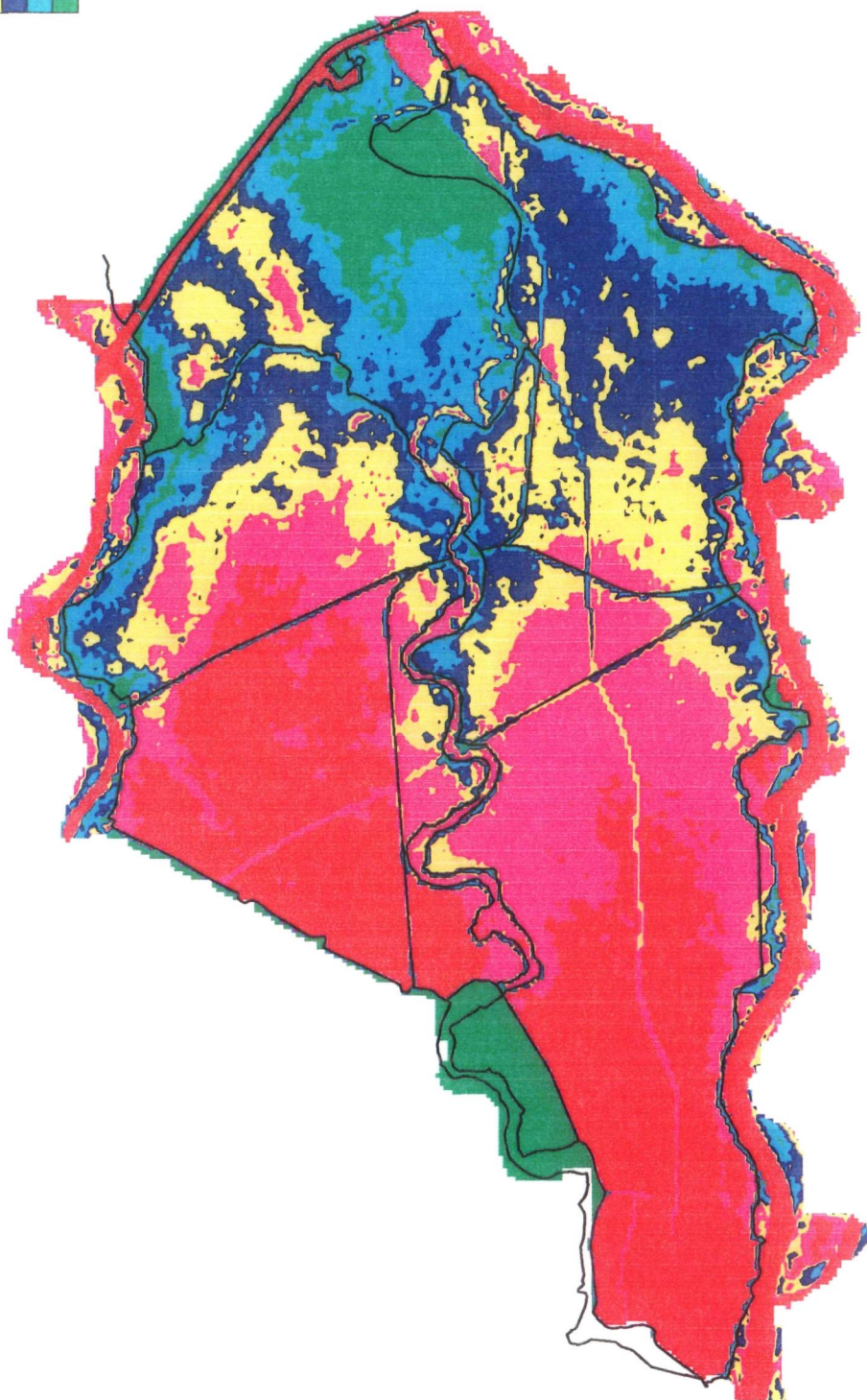
OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.9

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

X [km]

Y [km]

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 168 hr.

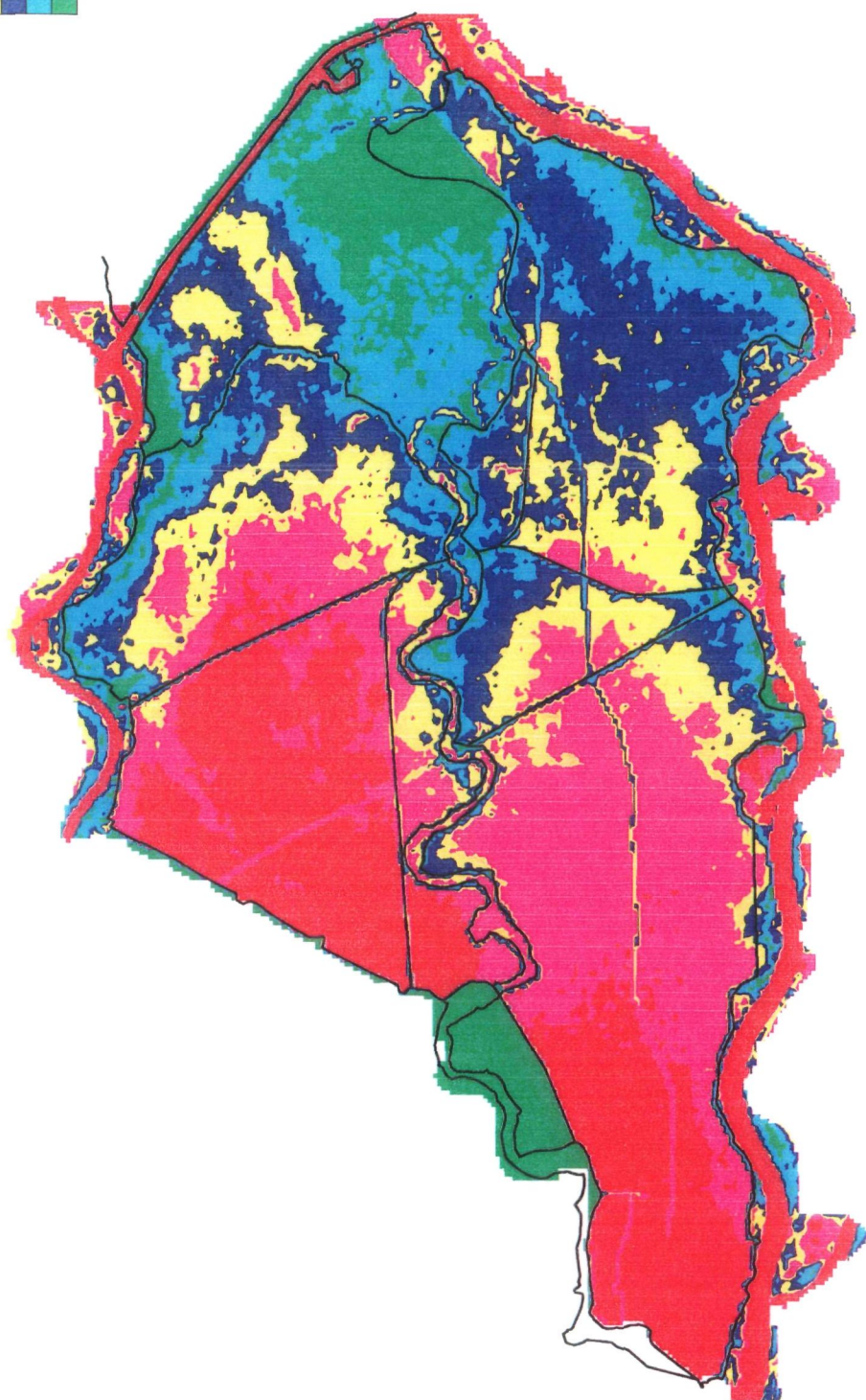
OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.10

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel

22.04.97

T = 216 hr.

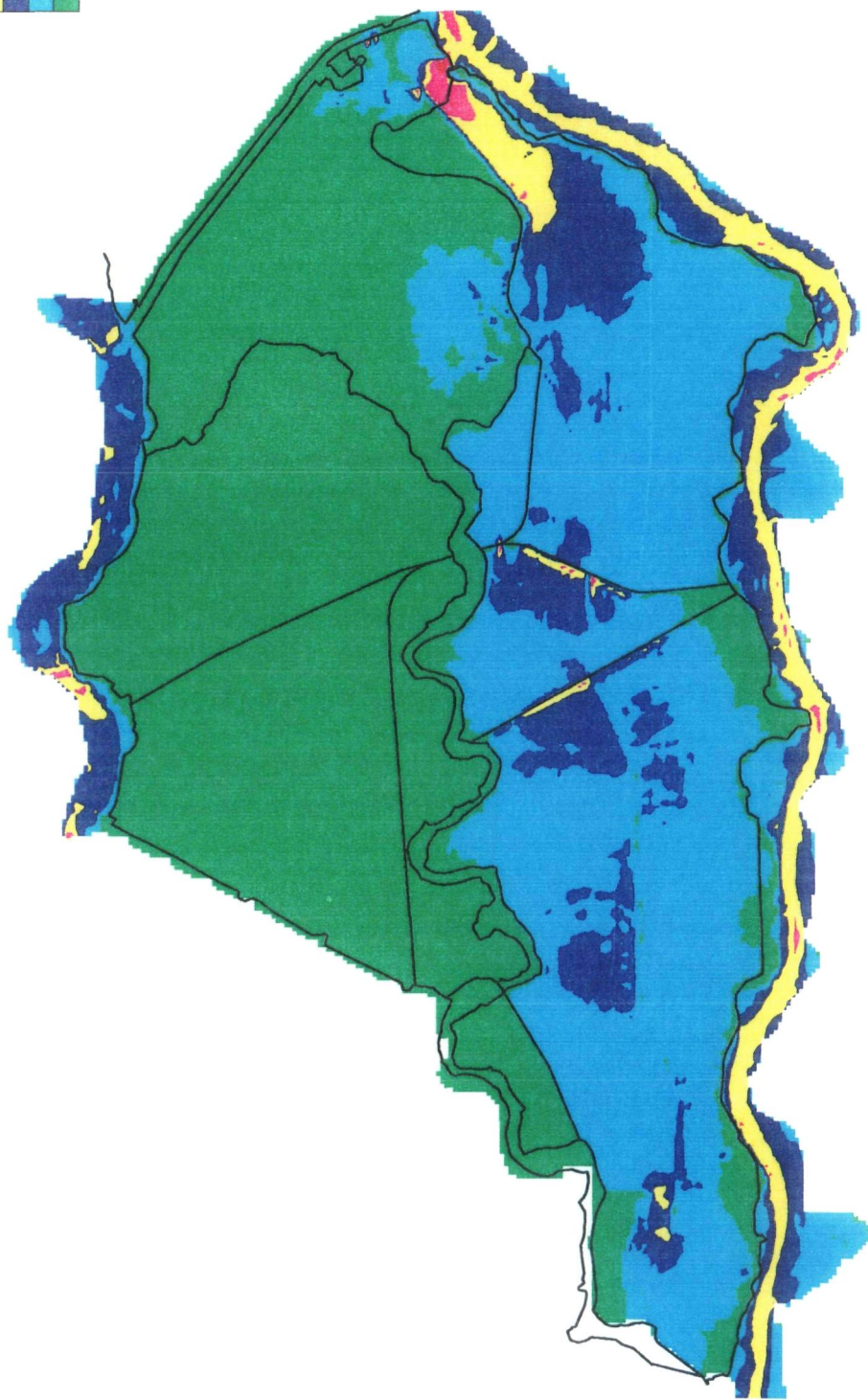
OPC = TT6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.11

above
2.50
1.50
1.00
.50
.01
below



X [km]

Y [km]

DELFT HYDRAULICS

dijkdoorbraak Tiel, snelheidsmagnitudes

12.01.96

T = 24 hr.

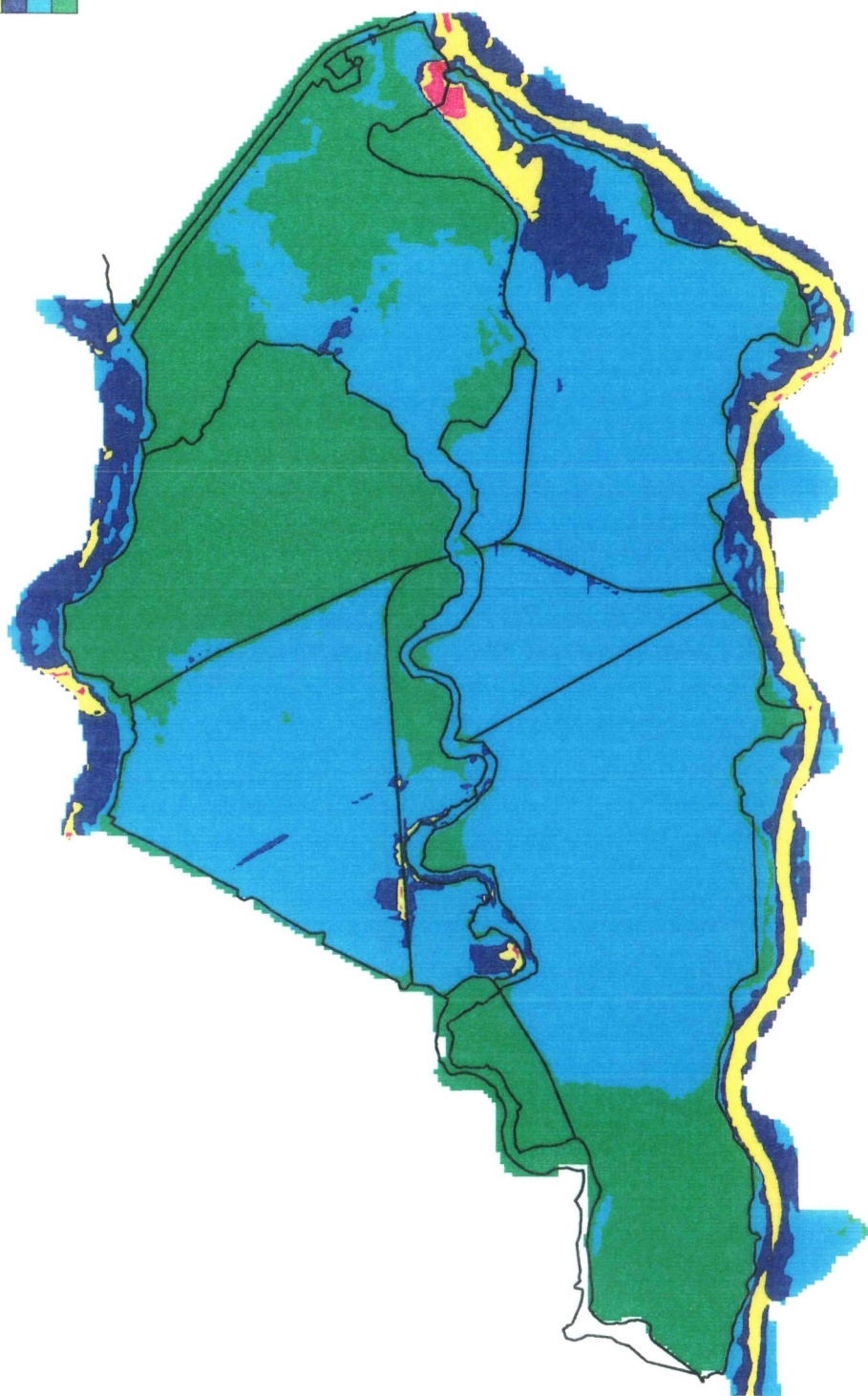
OPC = TT4

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.12

above
2.50
1.50
1.00
.50
.01
below



125 130 135 140 145 150 155 160

X [km]

Y [km]

dijkdoorbraak Tiel, snelheidsmagnitudes

12.01.96

T = 72 hr.

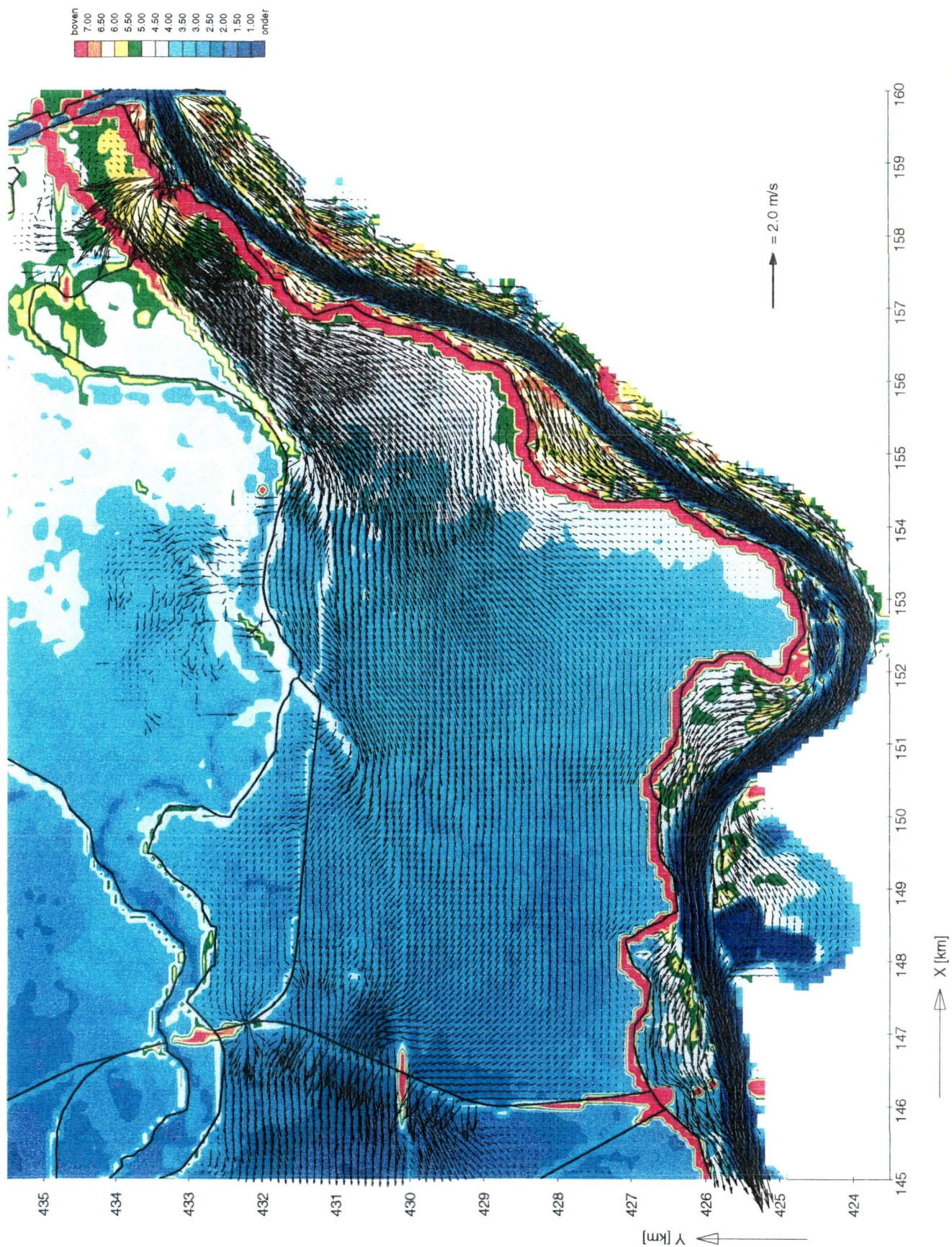
OPC = TT4

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.13

DELFT HYDRAULICS



dijkdoorbraak Tiel, snelheidsvectoren

22.04.97

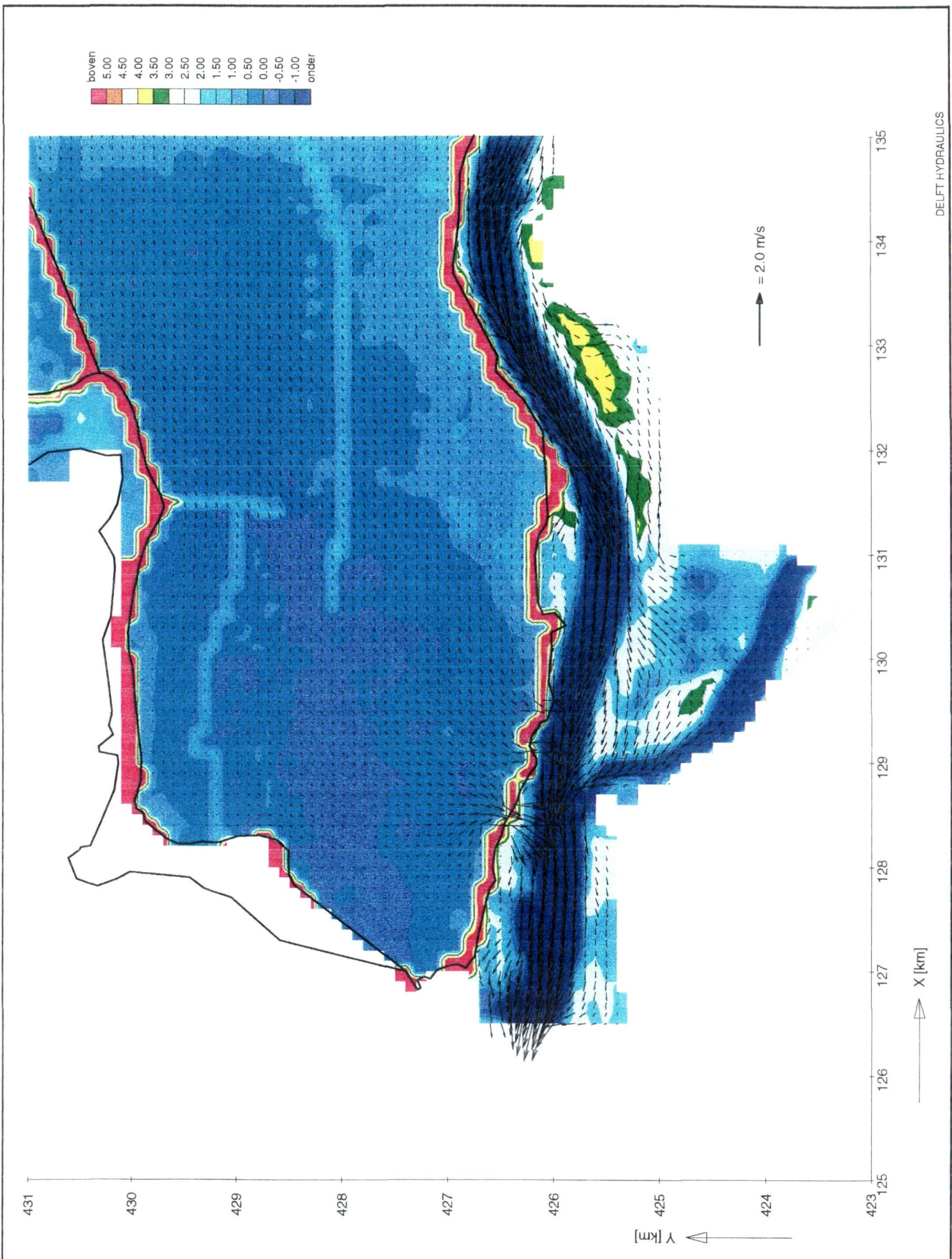
T = 24 hr.

OPC = TT6

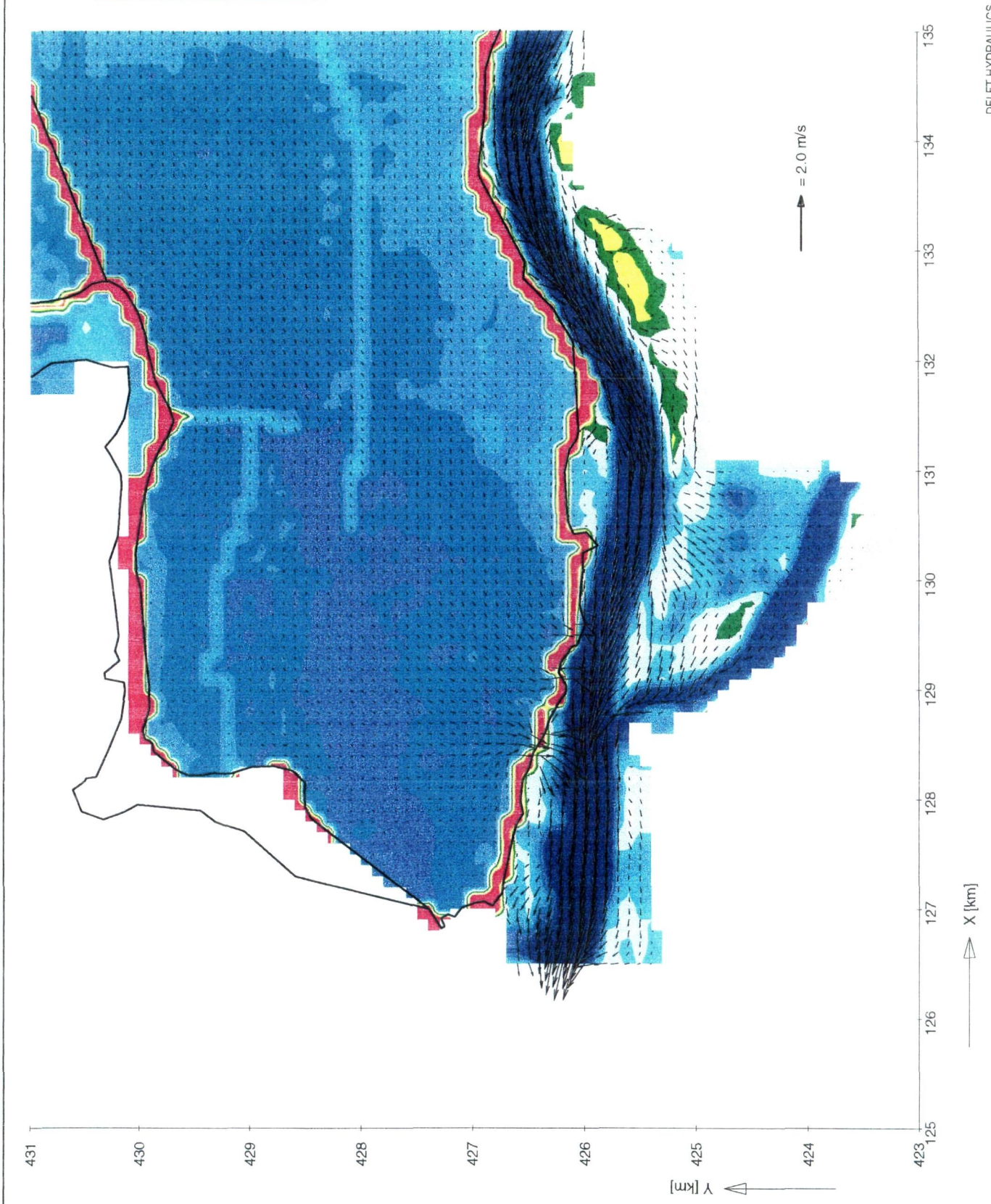
DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.14a

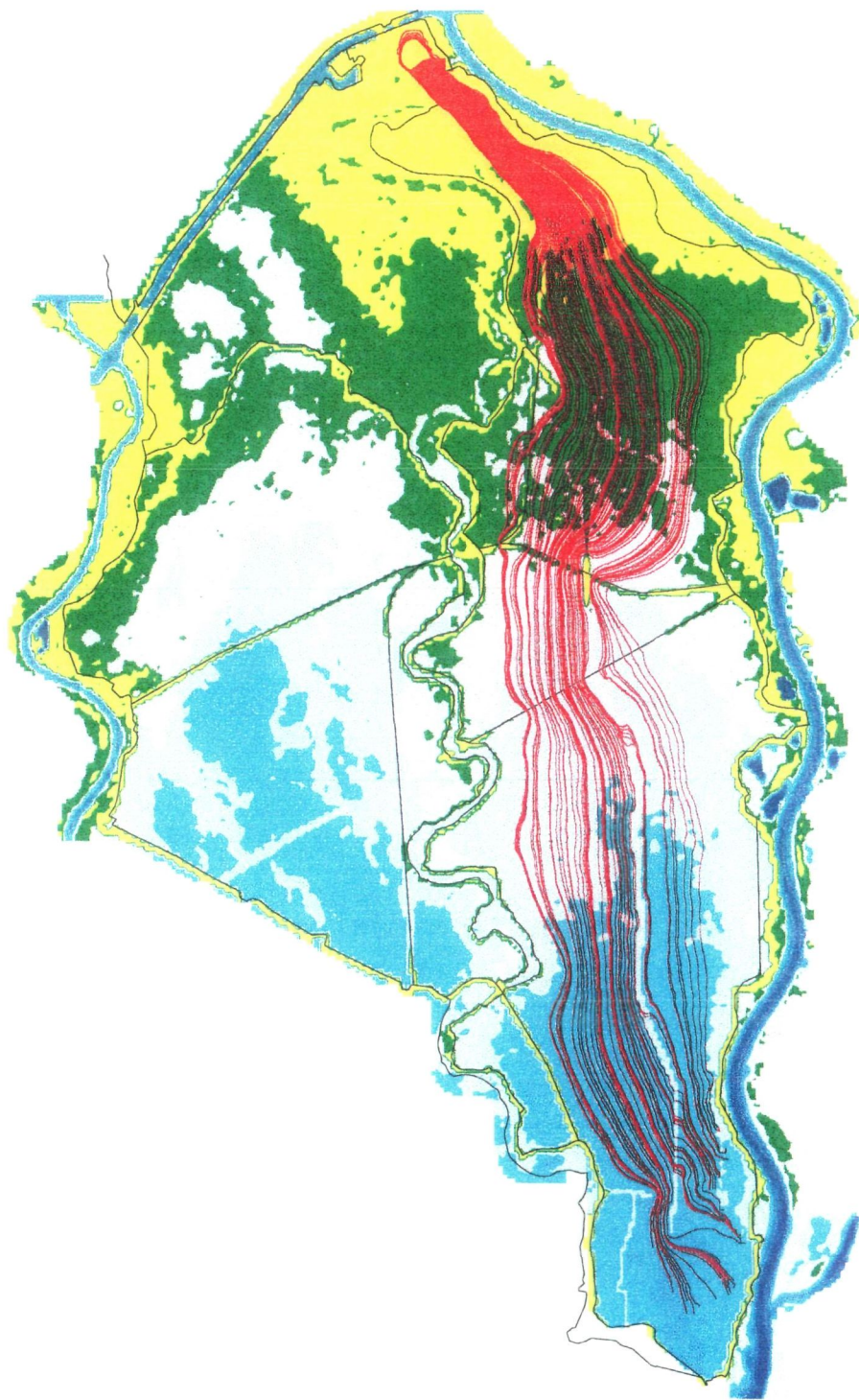


dijkdoorbraak Tiel, snelheidsvectoren	22.04.97	T = 144 hr.
	OPC = TT6	
DELFT HYDRAULICS	Z993	Fig. 4.2.14b



dijkdoorbraak Tiel, snelheidsvectoren	22.04.97	T = 168 hr.
	OPC = TT6	
DELFT HYDRAULICS	Z993	Fig. 4.2.14c

boven
 4.00
 3.00
 2.00
 1.00
 .00
 -1.00
 -2.00
 -3.00
 -4.00
 -5.00
 onder



DELFT HYDRAULICS

Dijkdoorbraak Tiel, stroomlijnen.

11.01.96

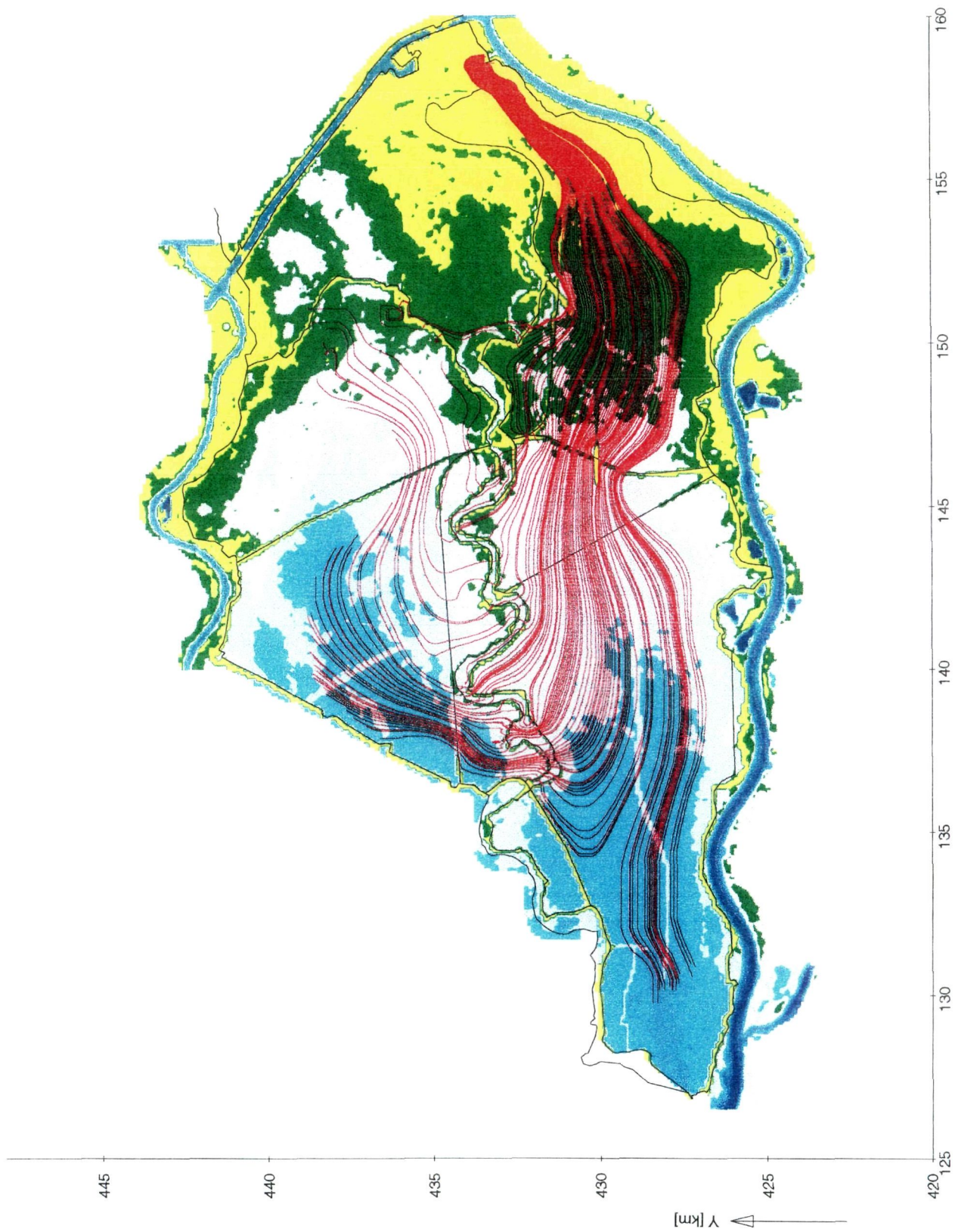
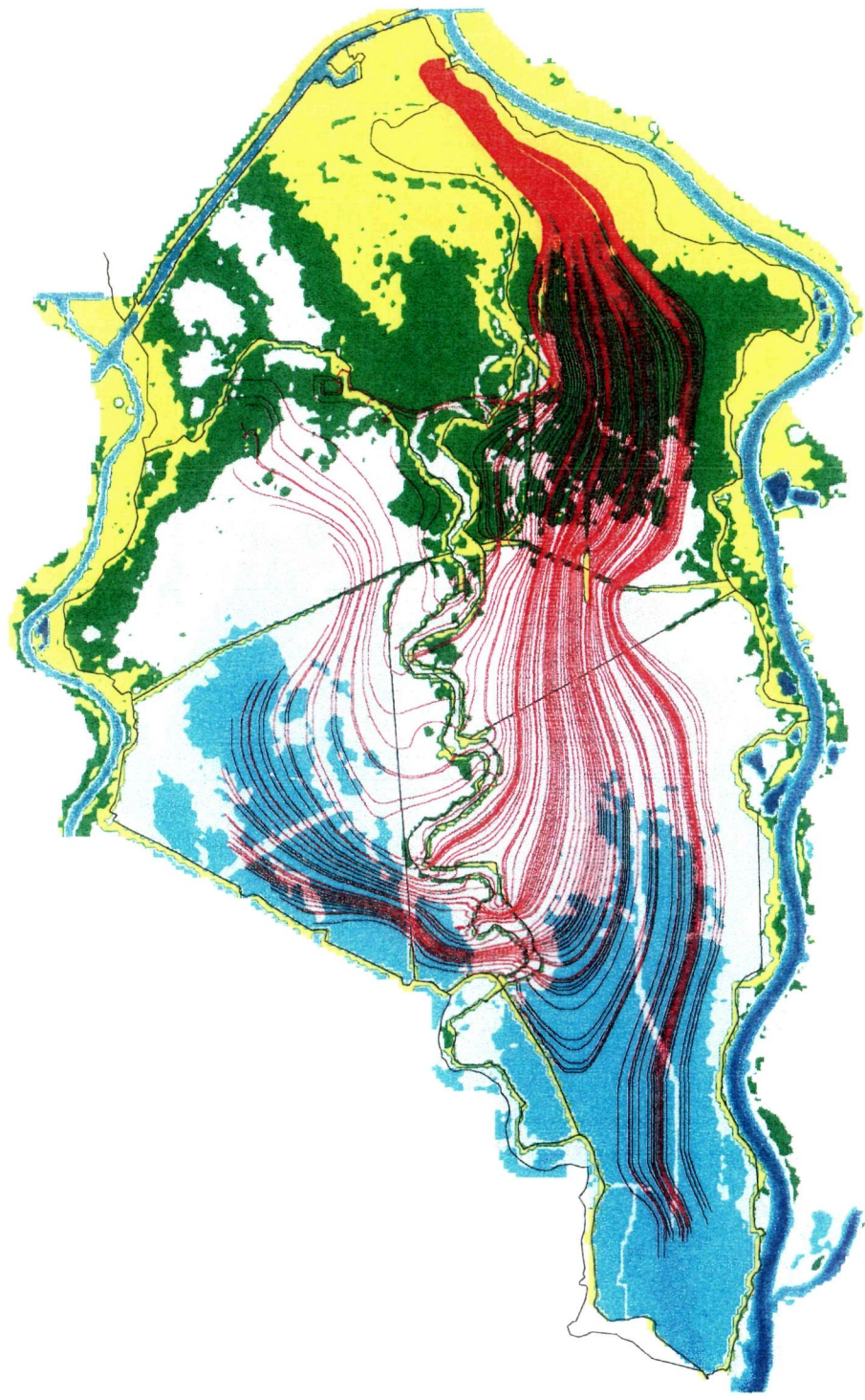
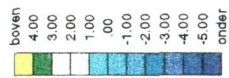
T = 24 hr.

OPC = TT4

DELFT HYDRAULICS

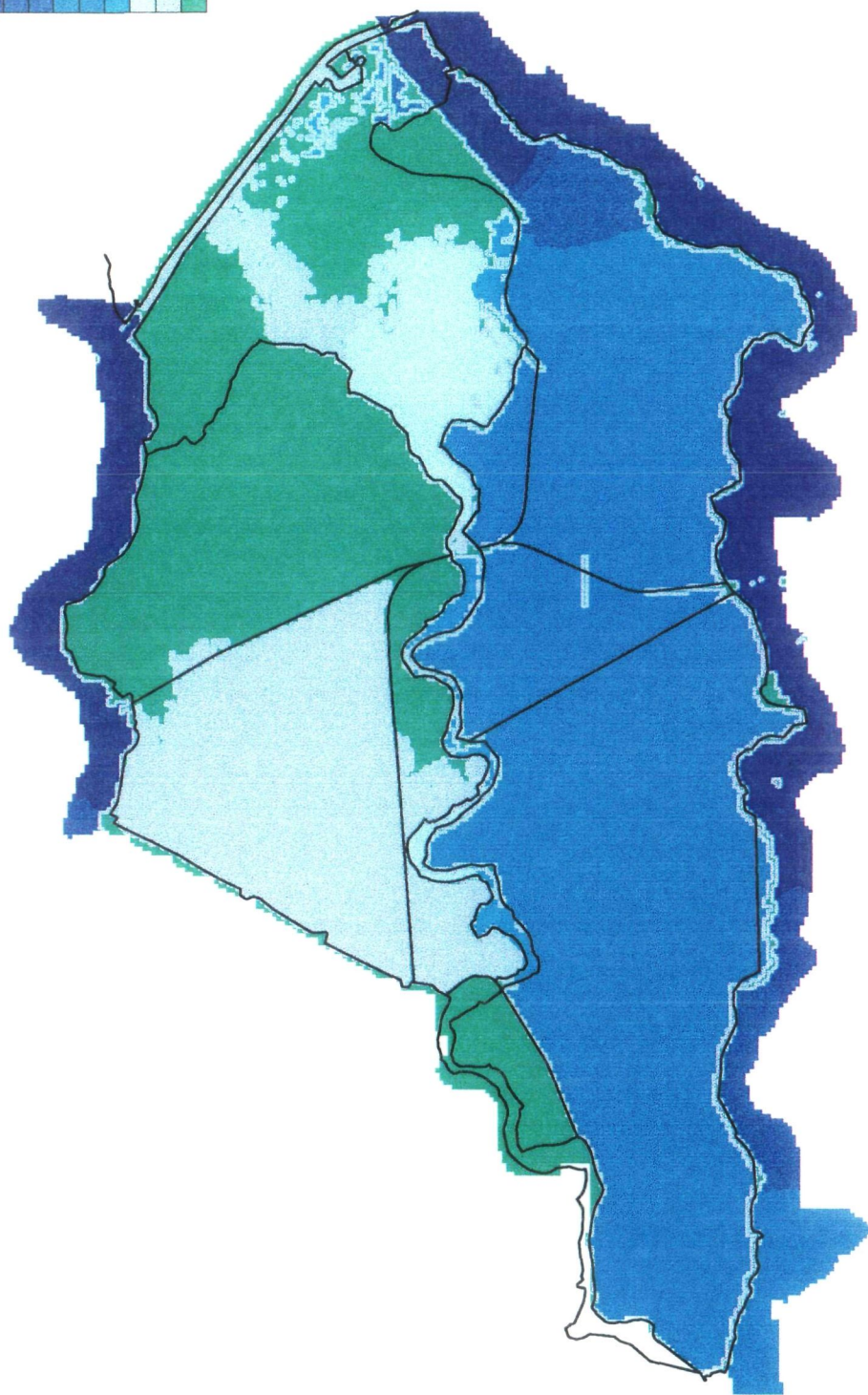
Z993

Fig. 4.2.15



Dijkdoorbraak Tiel, stroomlijnen.	11.01.96	T = 144 hr.
	OPC = TT4	
DELFT HYDRAULICS	Z993	Fig. 4.2.16

above
6.00
5.75
5.50
5.25
5.00
4.75
4.50
4.25
4.00
-9.00
dry



DELFT HYDRAULICS

Dijkdoorbraak Tiel, waterstanden.

11.01.96

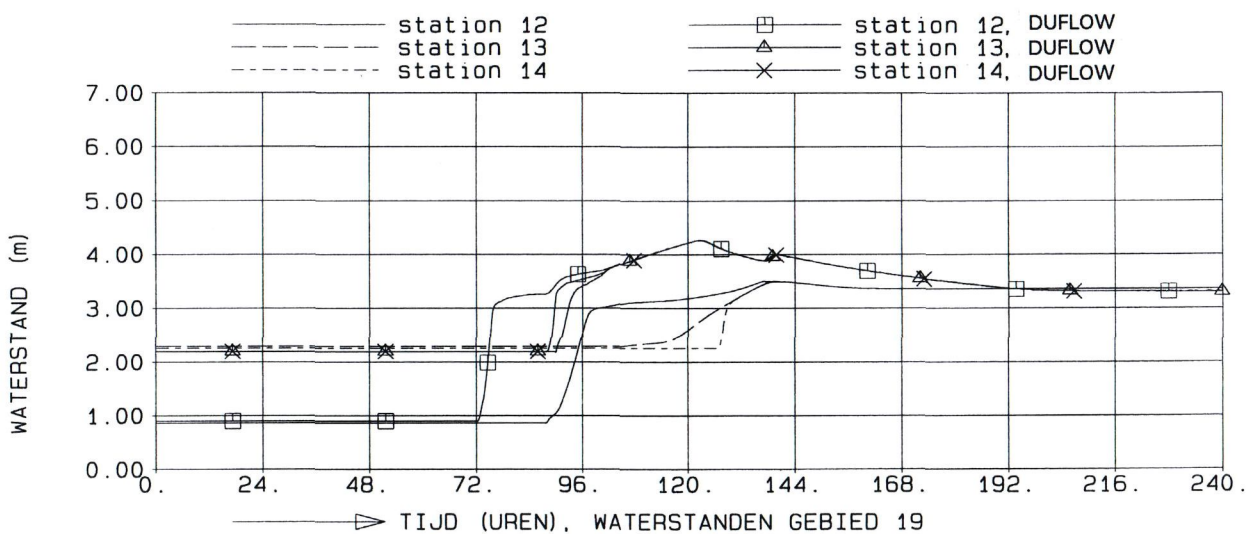
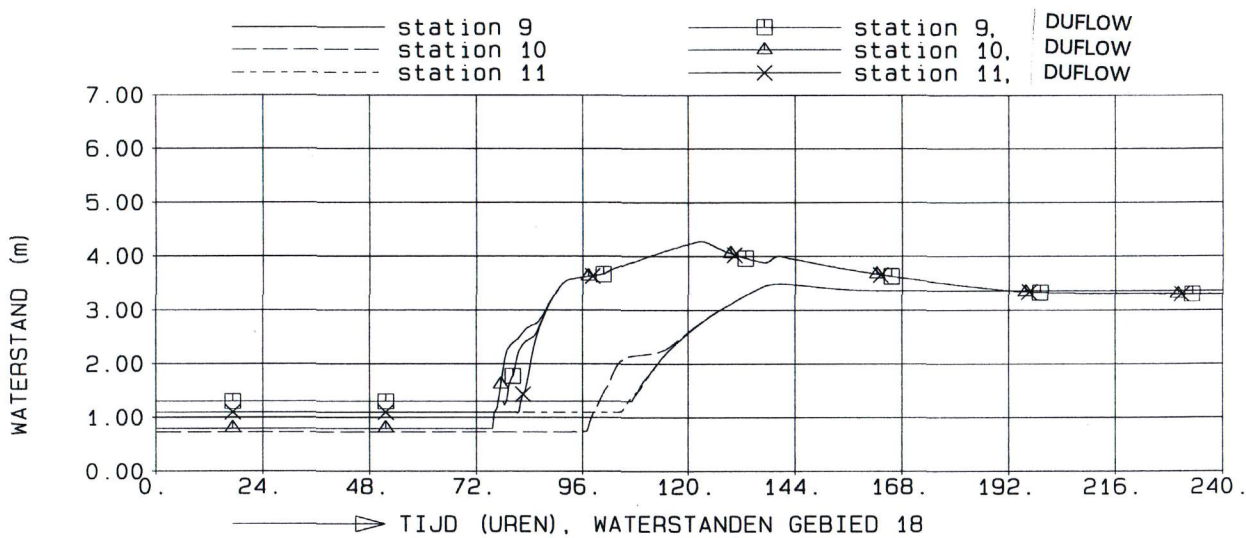
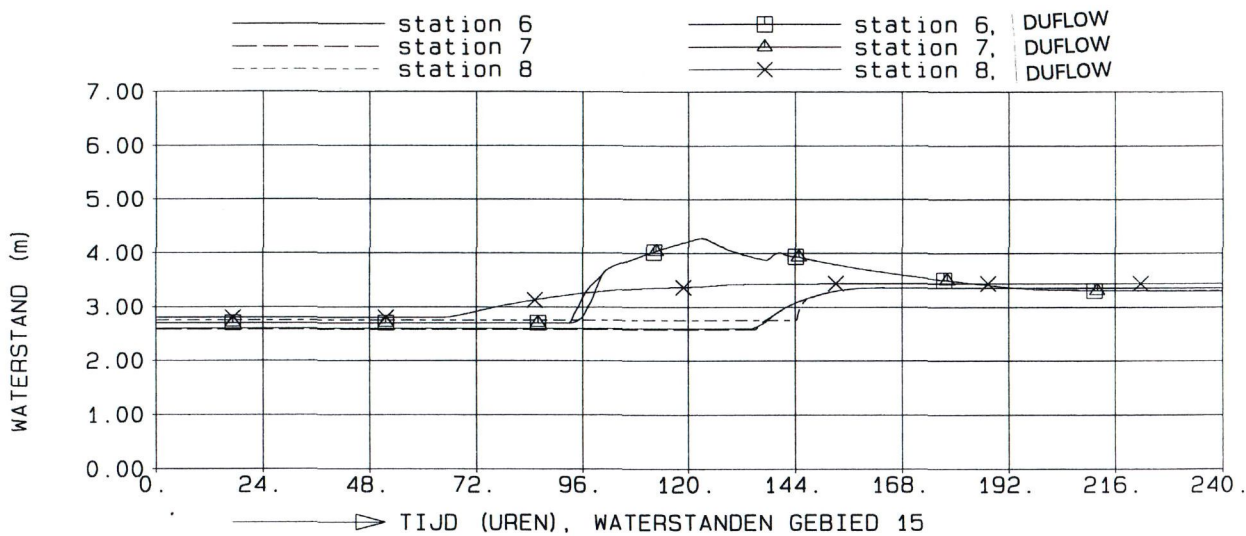
T = 72 hr.

OPC = TT4

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.2.17



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 15, 18 EN 19
 DOORBRAAK HEESSELT

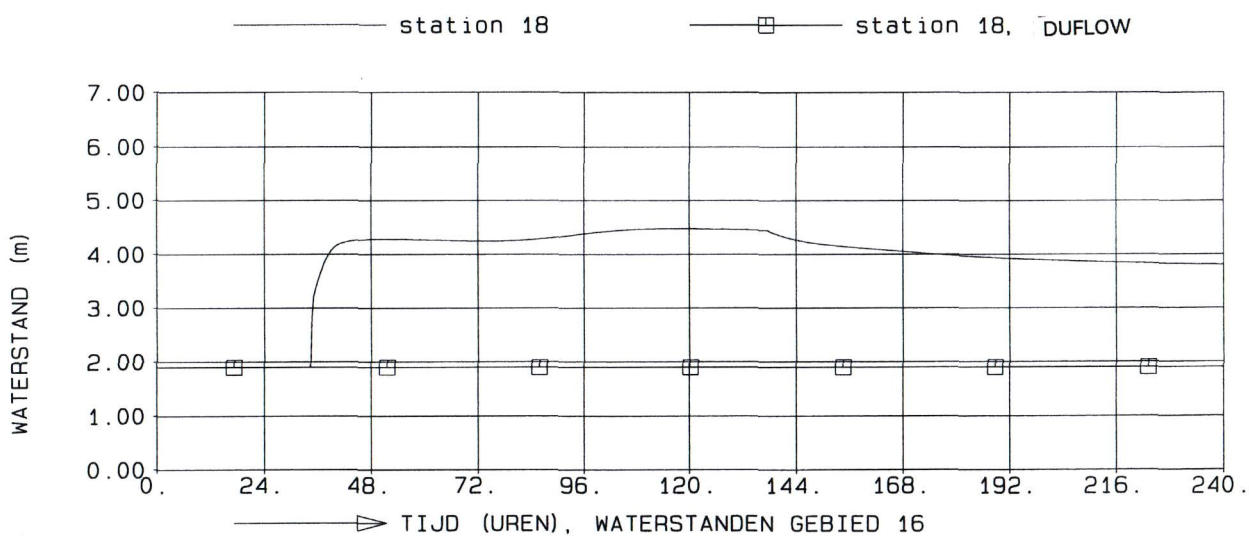
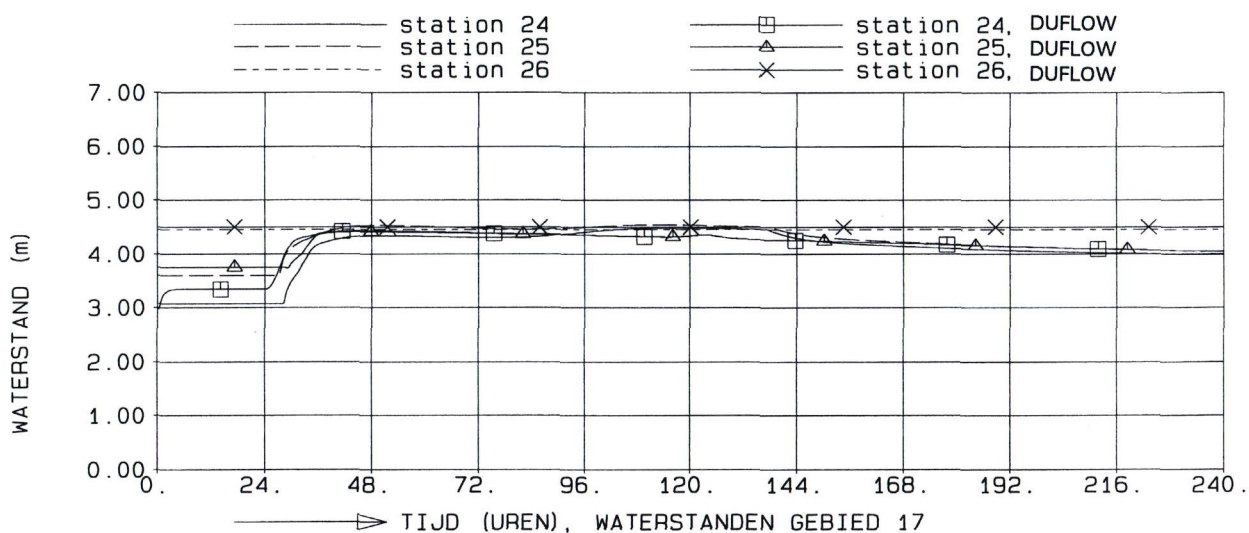
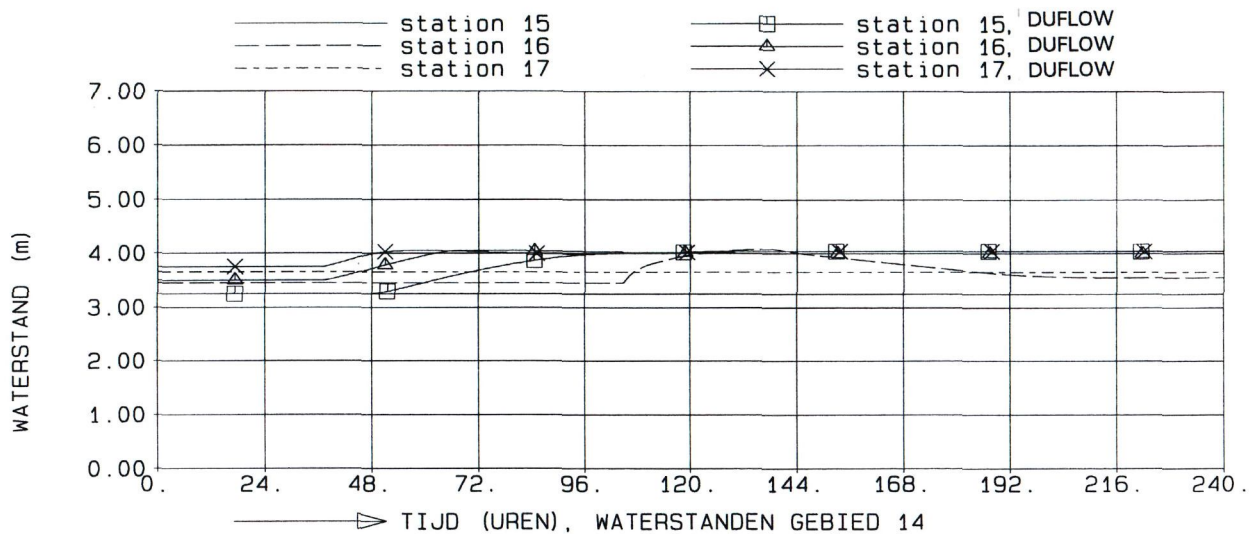
02.09.97

OPC = th6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.3.1



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 14, 16 EN 17
 DOORBRAAK HEESSELT

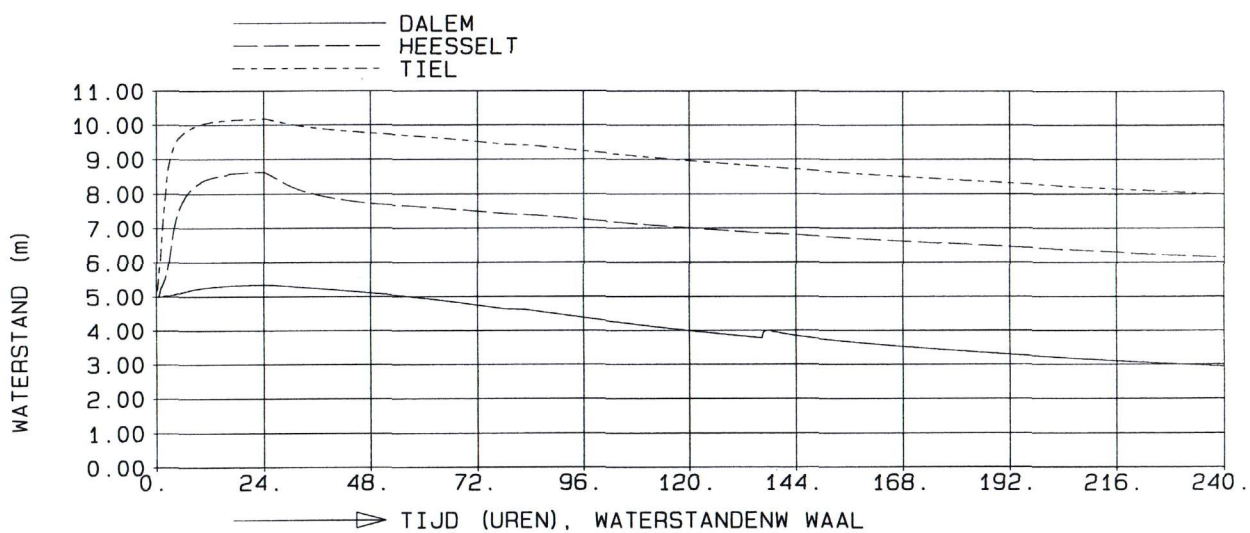
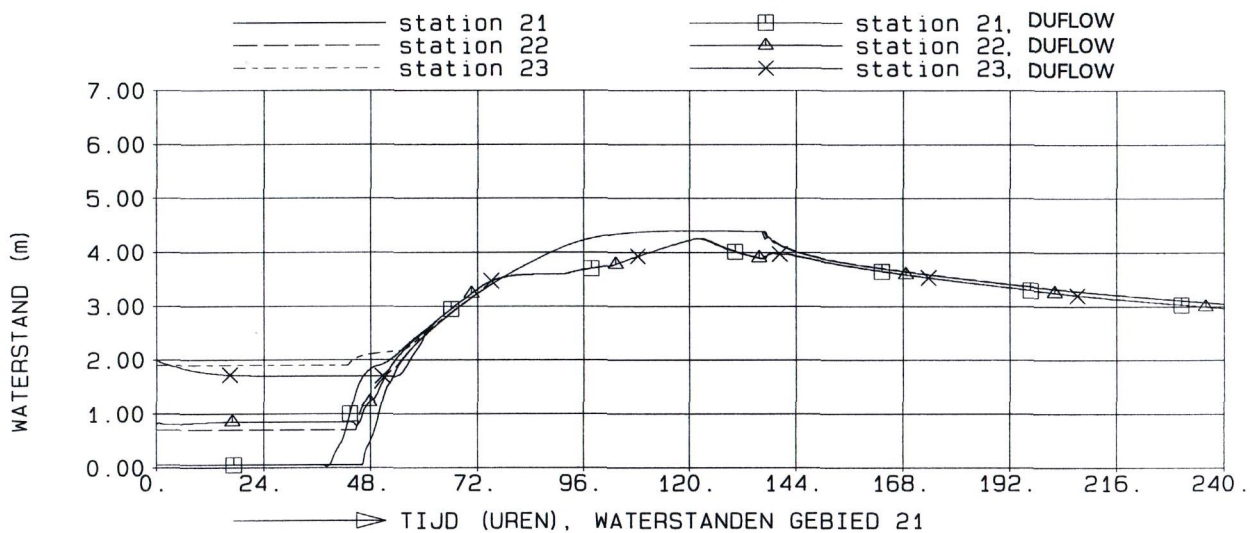
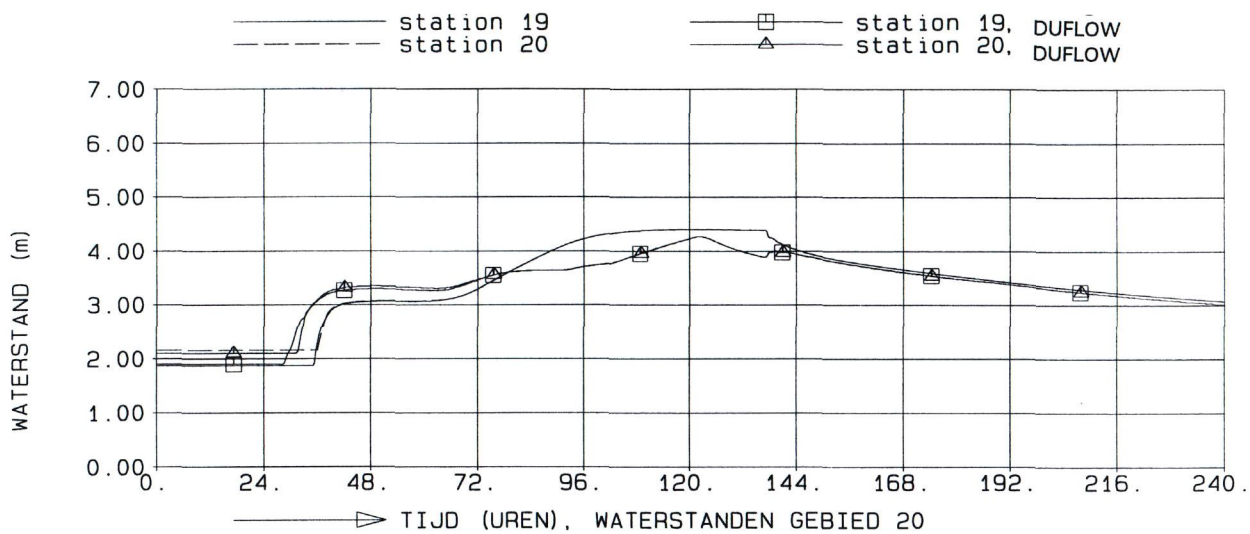
02.09.97

OPC = th6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.3.2



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN GEBIEDEN 20, 21 EN WAAL
 DOORBRAAK HEESSELT

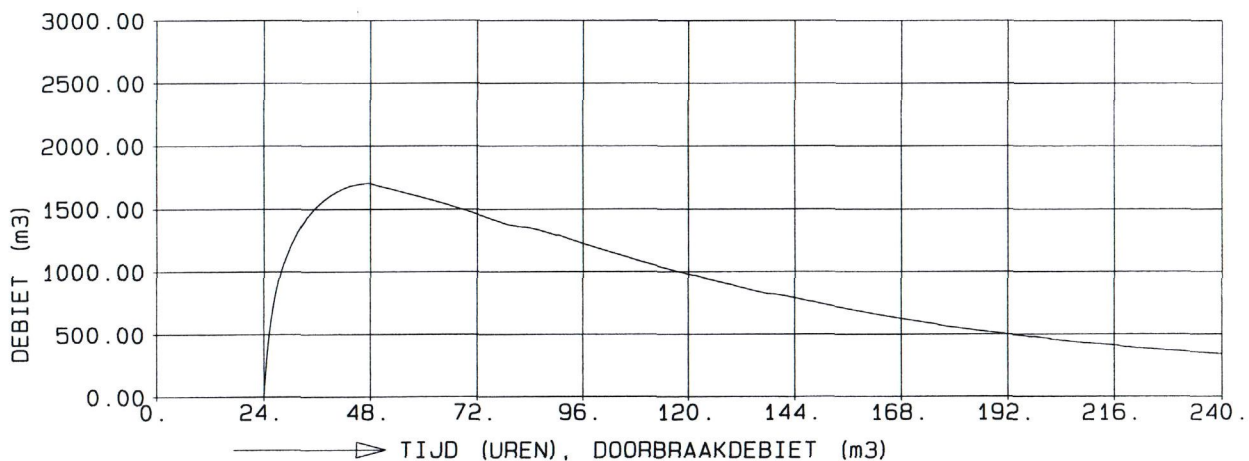
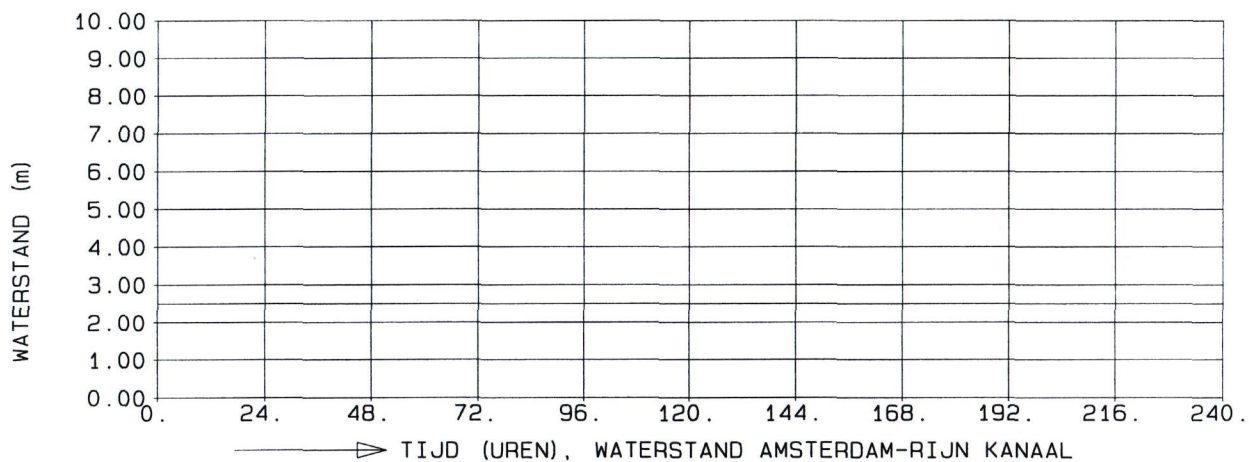
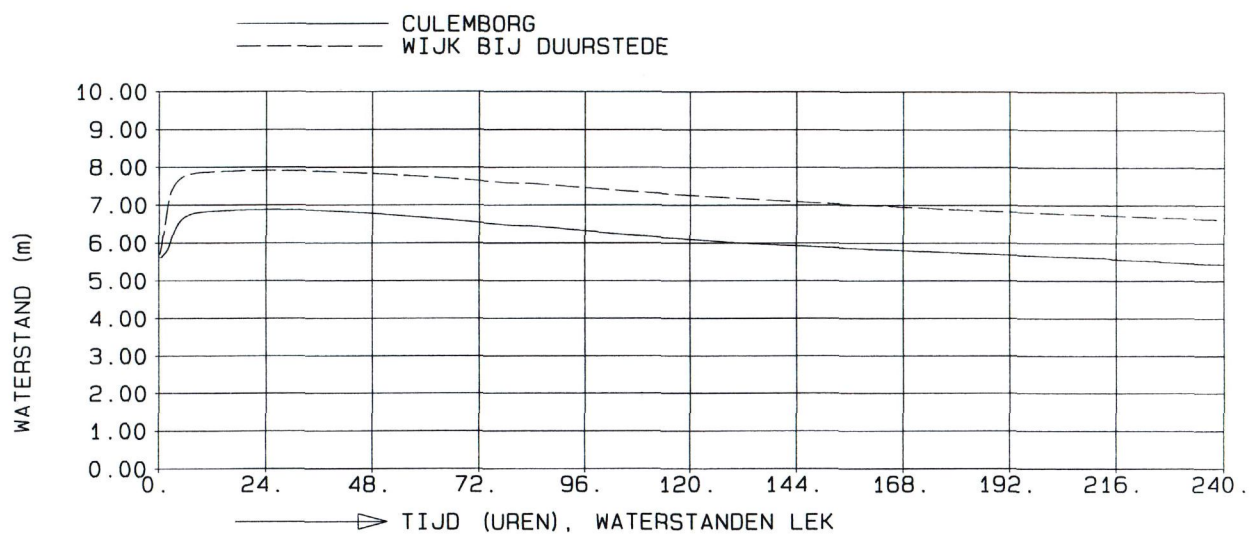
02.09.97

OPC = TH6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.3.3



DX=100 M, DIEPTE=t13, ZETA0=-2.0 M, AANTAL OPEN RANDEN=4
 TIJDSTAP=20.00 S
 WATERSTANDEN LEK, A-R KANAAL EN DOORBRAAKDEBIET
 DOORBRAAK HEESSELT

02.09.97

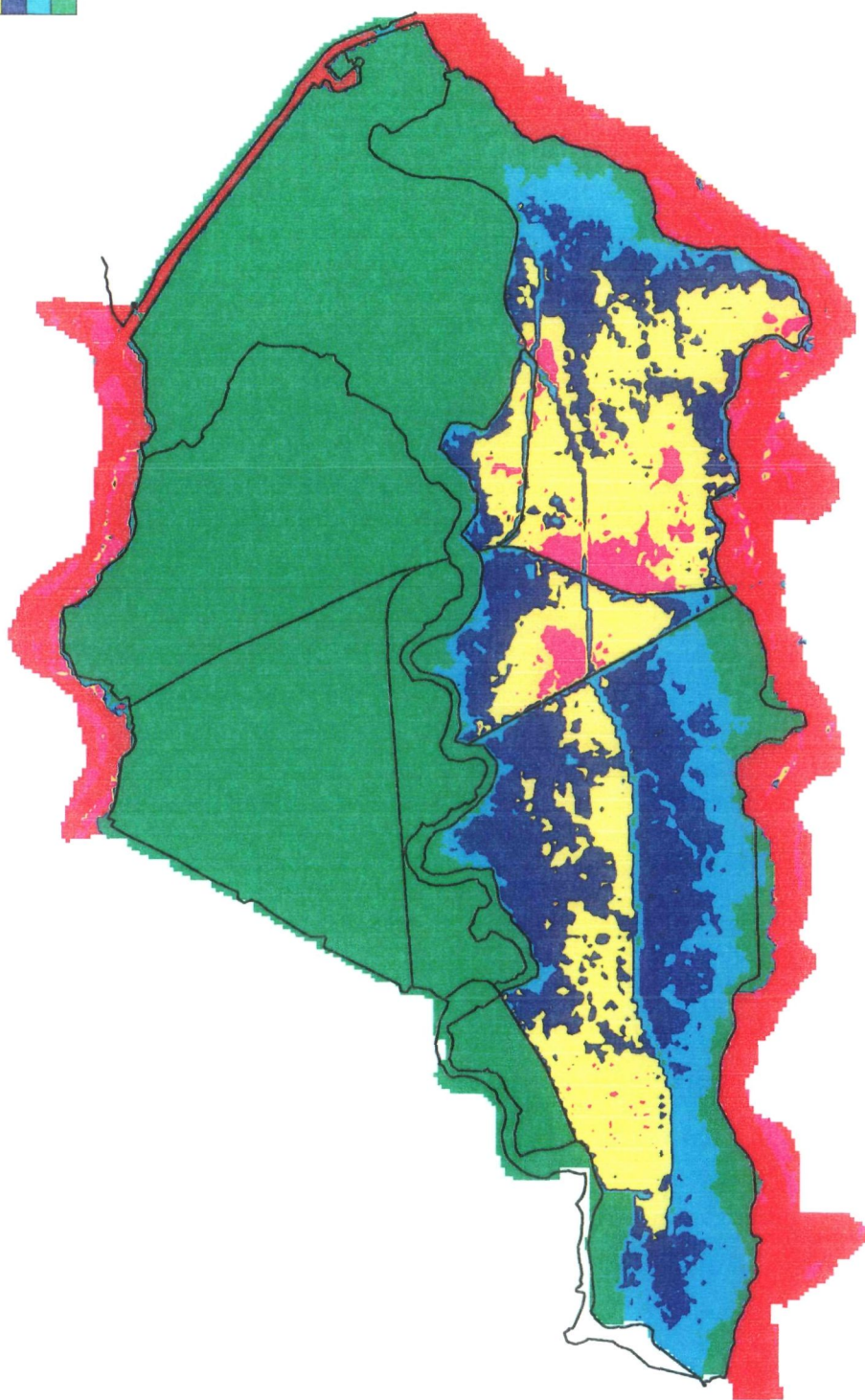
OPC = th6

DELFT HYDRAULICS

Z993

FIG4.3.4

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



DELFT HYDRAULICS

Dijkdoorbraak Heesselt

22.04.97

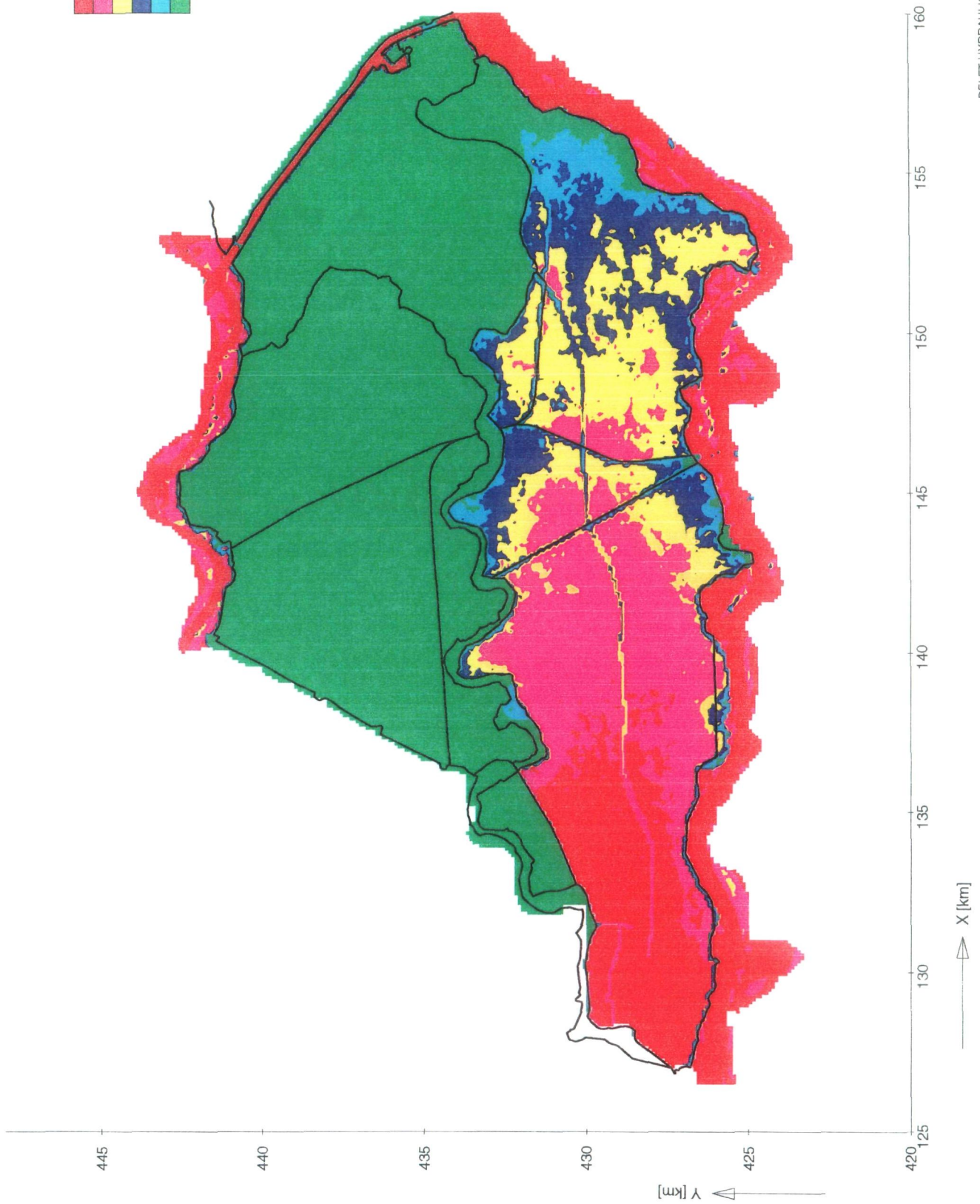
T = 24 hr.

OPC = TH6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.3.5



Dijkdoorbraak Heesselt

22.04.97

T = 48 hr.

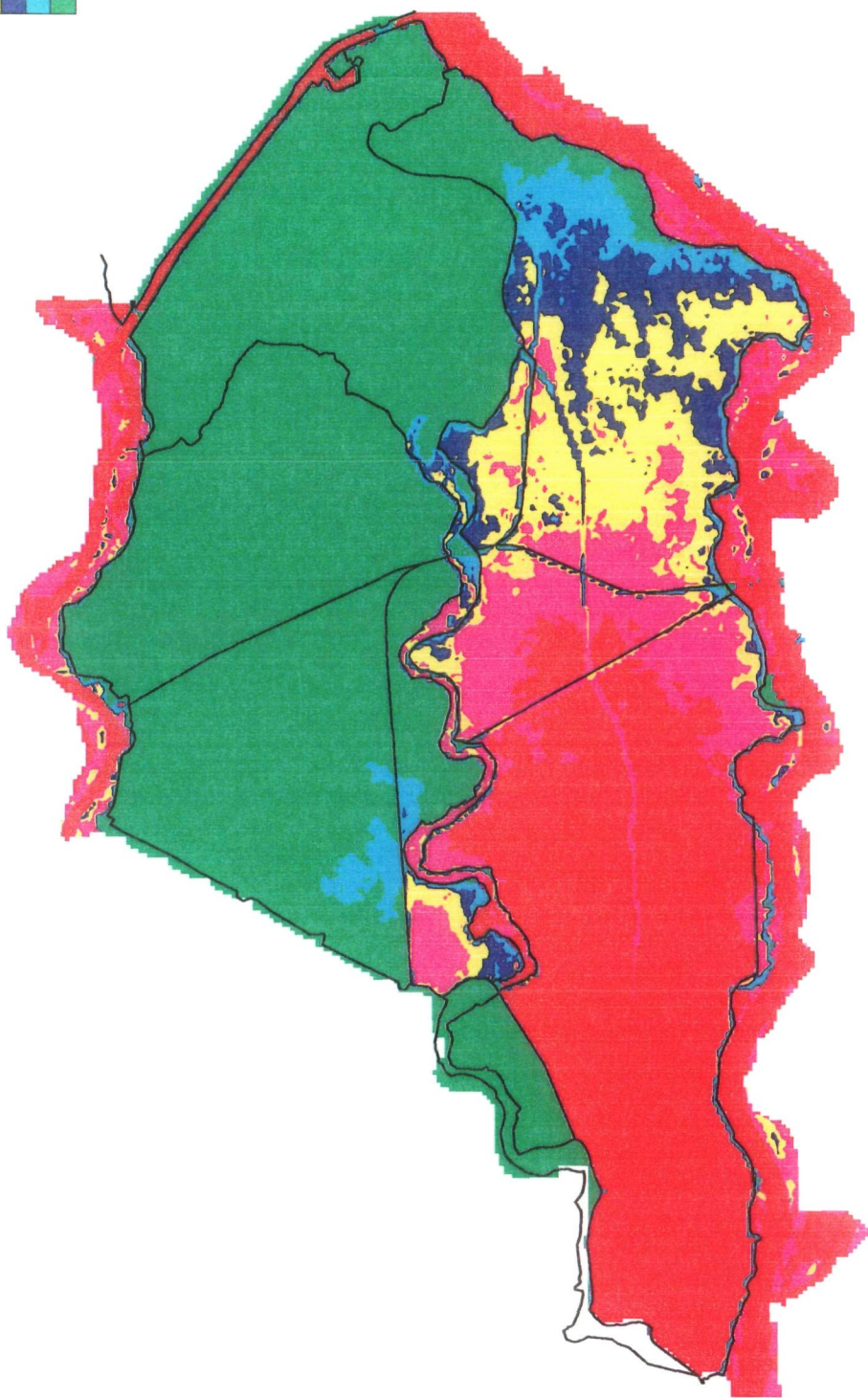
OPC = TH6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.3.6

above
2.50
1.50
1.00
0.50
0.01
below



Dijkdoorbraak Heesselt

22.04.97

T = 72 hr.

OPC = TH6

DELFT HYDRAULICS

Z993

Fig. 4.3.7