



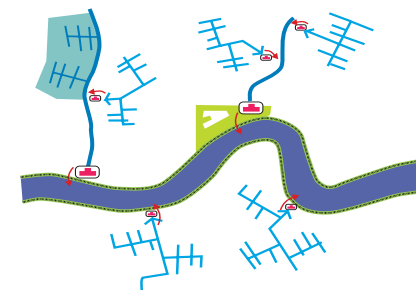
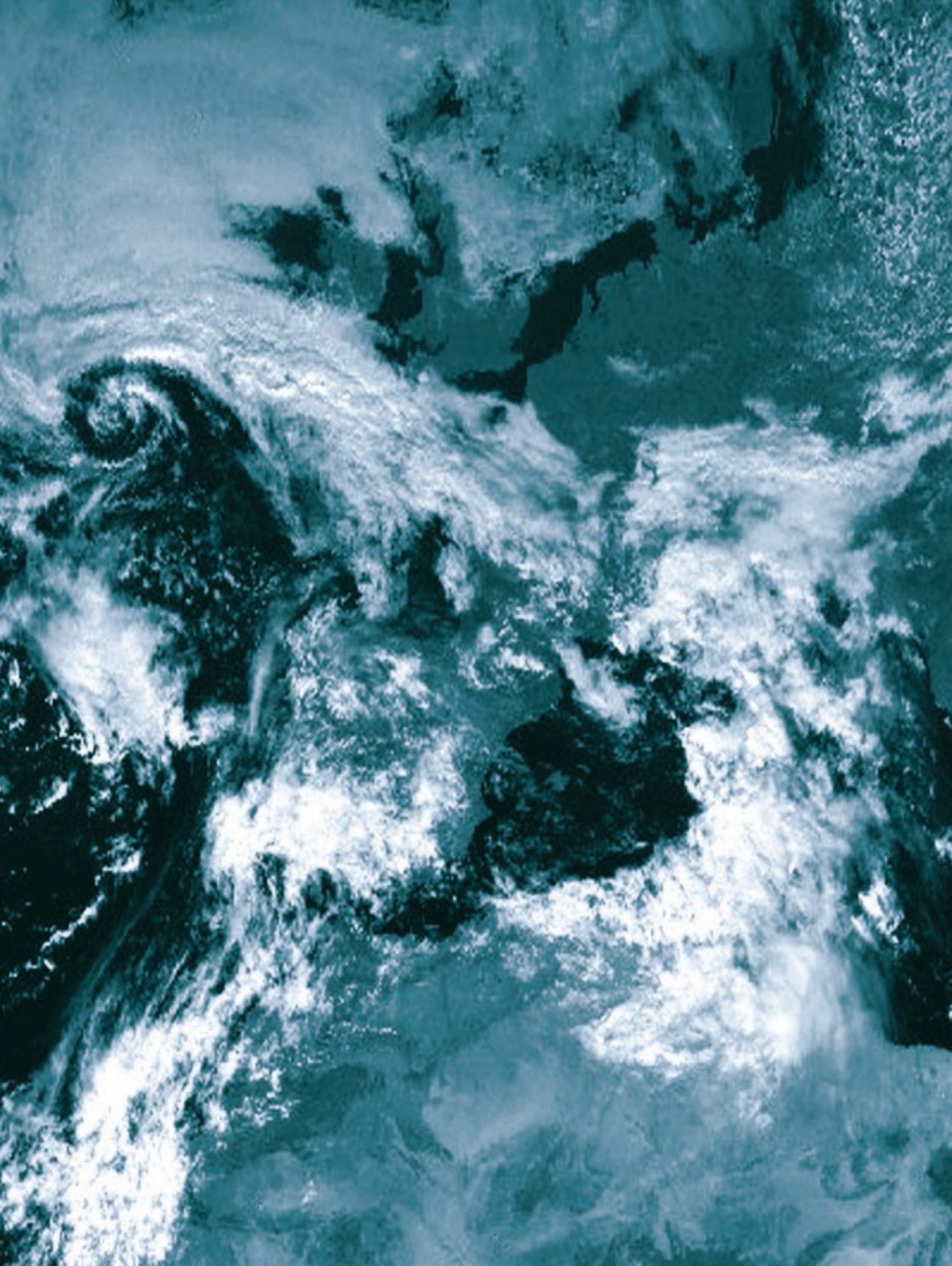
INTERNATIONALE ARCHITECTUUR BIENNALE ROTTERDAM 2005

ROTTERDAM

waterstart

Water en cijfers

#4



Niveaus en werking van het watersysteem ~
Het watersysteem in Rotterdam is ingedeeld in drie niveaus met verschillende cruciale onderdelen en eigen dominante waterbewegingen: Het hoofdsysteem met water uit de zee (uit het westen) en uit de rivieren (uit het oosten). Het regionaal systeem met water uit de Rotte en Schie (boezemwateren, water uit de regio). Het stedelijk systeem met water uit de polders binnen de Ruit (neerslag en grondwater)

‘Water en cijfers’ volgt deze indeling zoveel mogelijk en beschrijft de relevante relaties tussen de verschillende systemen. De blik is daarbij gericht op 2005, op 2035 en op 2070. De eerste twee systemen zijn weergegeven op kaartbladen met Rotterdam in haar ruime omgeving. Voor het stedelijk systeem wordt ingezoomd op het gebied binnen de Ruit van Rotterdam. Ook de eerder aan bod gekomen componenten van het hoofdsysteem en het regionale systeem komen terug op deze kaart.

Je zou bijna denken dat Rotterdam haar watersysteem nog nooit zo goed op orde had als aan het begin van de eenentwintigste eeuw. Overtollig regenwater wordt snel en onzichtbaar afgevoerd via het ondergrondse rioleringsstelsel. In droge tijden worden de stadsingels doorgespoeld met voldoende zoet water van elders. Bovendien is de stad sinds de aanleg van de Maeslantkering uitstekend beschermd tegen stormvloed op zee. Het huidige watersysteem is het resultaat van voortdurende aanpassingen door de eeuwen heen. Telkens weer werd het watersysteem aangepast aan de nieuwste inzichten en wensen. De voortschrijdende technische mogelijkheden speelden daarbij een grote rol. Het resultaat mag er zijn. Helaas is echter weinig reden om tevreden achterover te leunen.

Het klimaat verandert. Door de temperatuursverhoging zal de zeespiegel stijgen. De winters worden natter, de droge periodes in de zomer worden langer. En ook het aantal zeer hevige regenbuien zal toenemen. Het Rotterdamse watersysteem kan deze veranderingen niet zonder meer verwerken. De grenzen zijn nu al bereikt. Een kleine verandering in de temperatuur zal grote, direct merkbare gevolgen hebben. Rotterdam zal zich daarom nu moeten voorbereiden op haar waterhuishoudkundige toekomst. Aanpassing is onontkoombaar.

‘Water en cijfers’ brengt het Rotterdamse watersysteem in beeld en geeft aan waar en hoe, nu en in de toekomst, met het watersysteem gestuurd kan worden. Uit de beschikbare gegevens zijn telkens de meest relevante geselecteerd. Het complexe systeem is teruggebracht tot de essentie en zo inzichtelijk mogelijk gepresenteerd.

Het hoofdsysteem en het regionale systeem

HET HOOFDSYSTEEM is het watersysteem van de zee en de rivieren. Onder normale omstandigheden staan de zee en de rivieren met elkaar in open verbinding.

Hun onderlinge beïnvloeding op een zeker moment is bepalend voor de omstandigheden in de Nieuwe Maas bij Rotterdam.

Voor Rotterdam zijn zowel de waterstand als de waterkwaliteit van het hoofdwatersysteem van groot belang. De waterstand omdat een groot deel van de stad lager ligt dan de gemiddelde buitenwaterstand. De waterkwaliteit is met name van belang vanwege de behoefte om in droge periodes zoet water vanuit de rivieren in te laten in de regionale en lokale watersystemen, waarbij de mens tot op zekere hoogte de zoutbeweging in het hoofdsysteem kan sturen. Dit gebeurt door middel van het beheer van de Haringvliet-sluizen.

Waterstand ~ In het benedenstroomse deel van de delta heeft de zee een grotere invloed op de waterstand dan de rivierafvoer.

Zo ook in het hoofdwatersysteem rond Rotterdam. De zee kent een getijdebeweging. Dominant hierin is de aantrekkingskracht van zon en maan die leidt tot het tweemaal daags optreden van eb en vloed. De exacte stand van de maan heeft invloed op de hoogten van het laagwater en hoogwater: het optreden van springtij en doodtij. Bij springtij is het verschil tussen eb en vloed groter, bij doodtij juist kleiner. Getijverschillen zijn ook merkbaar op de grote rivieren.

De Nieuwe Maas kent ter hoogte van Rotterdam centrum een getijdebeweging van gemiddeld 1.50 m: gemiddeld hoog water bedraagt 1.15 m +NAP, gemiddeld laag water 0.35 m -NAP. Verder stroomopwaarts in de rivieren neemt de getijdeninvloed af. Tot bovenstrooms van Gorinchem (aan de Waal) is de getijdebeweging nog duidelijk waarneembaar. Naast de getijdenbeweging is ook de wind bepalend voor de zeebeweging. De Noordzee reageert sterk op landinwaarts gerichte wind, waardoor opwaaiing van het water optreedt. Wanneer het springtij samenvalt met westerstorm leidt dit tot extreme waterstanden aan de Nederlandse kust.

Waterkering ~ De hoofdwaterkering beschermt het achterland tegen overstromingen bij hoge waterstanden in het buitenwater. De dijkhoogte is gedimensioneerd op een veiligheidsniveau van 1:10.000. De hoogte van de dijken is in Rotterdam centrum ongeveer 5.50 m +NAP. Wanneer de waterstand in Rotterdam centrum echter een niveau van 3.10 m +NAP bereikt

heeft, wordt de Nieuwe Waterweg door middel van een stormvloedkering (de Maeslantkering) afgesloten van de zee en is de doorgang voor de scheepvaart tijdelijk onmogelijk. Als de storm geluwd is, gaat de Maeslantkering weer open. De Maeslantkering heeft een hoogte van 6.00 m +NAP.

Hoogwatervrije terreinen ~ De (voormalige) haventerreinen liggen buitendijks. Dat betekent dat deze terreinen niet beschermd worden door de hoofdwaterkering. Om niet te overstromen, zijn de terreinen opgehoogd. Ze zijn echter maar tot op zekere hoogte hoogwatervrij. Vooral oudere terreinen liggen vaak onder het niveau van de huidige hoofdwaterkering. Daarmee hebben ze in principe dus een ander veiligheidsniveau dan de binnendijkse gebieden. Sinds de aanleg van de stormvloedkering in de Nieuwe Waterweg worden echter ook deze gebieden door een zeekering beschermd. Van oost naar west (zeewaarts) neemt de gemiddelde hoogte van de buitendijkse terreinen toe. Dit heeft te maken met toename van de zee-invloed. Bovendien zijn de nieuwere terreinen hoger aangelegd.

Zouttong ~ In de Nieuwe Waterweg komen het zoute zeewater en het zoete rivierwater samen. De overgang tussen zout en zoet verloopt geleidelijk. Er is sprake van een zogenaamde zouttong. Het zwaardere zoute water uit de zee dringt door onder het lichtere zoete rivierwater. De ligging van de zouttong is sterk

afhankelijk van de aanvoer van zoet rivierwater. In droge perioden met weinig rivieraanvoer schuift de zouttong verder landinwaarts. In de kaart is de gemiddelde overgang van zout naar zoet water aangegeven.

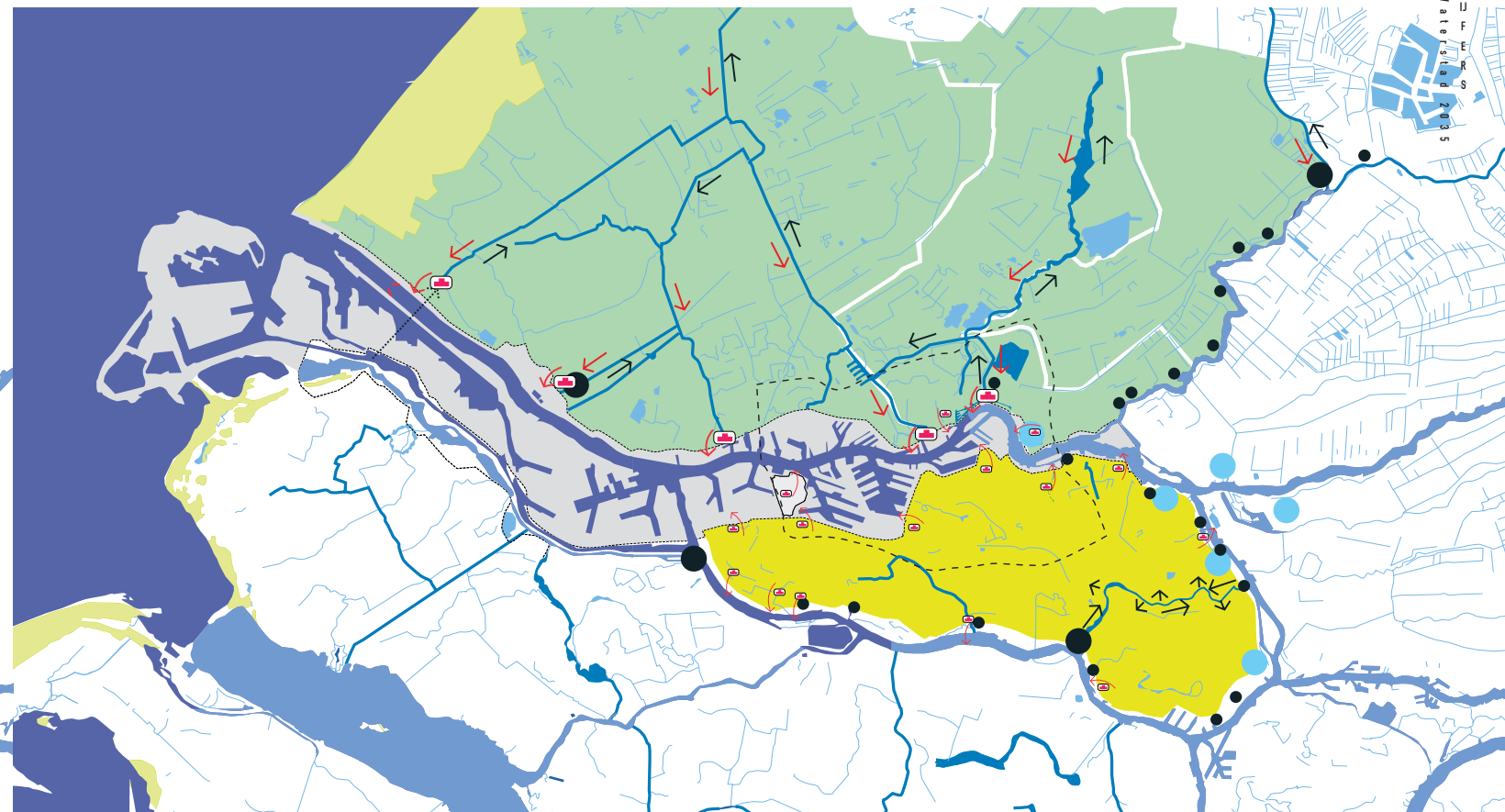
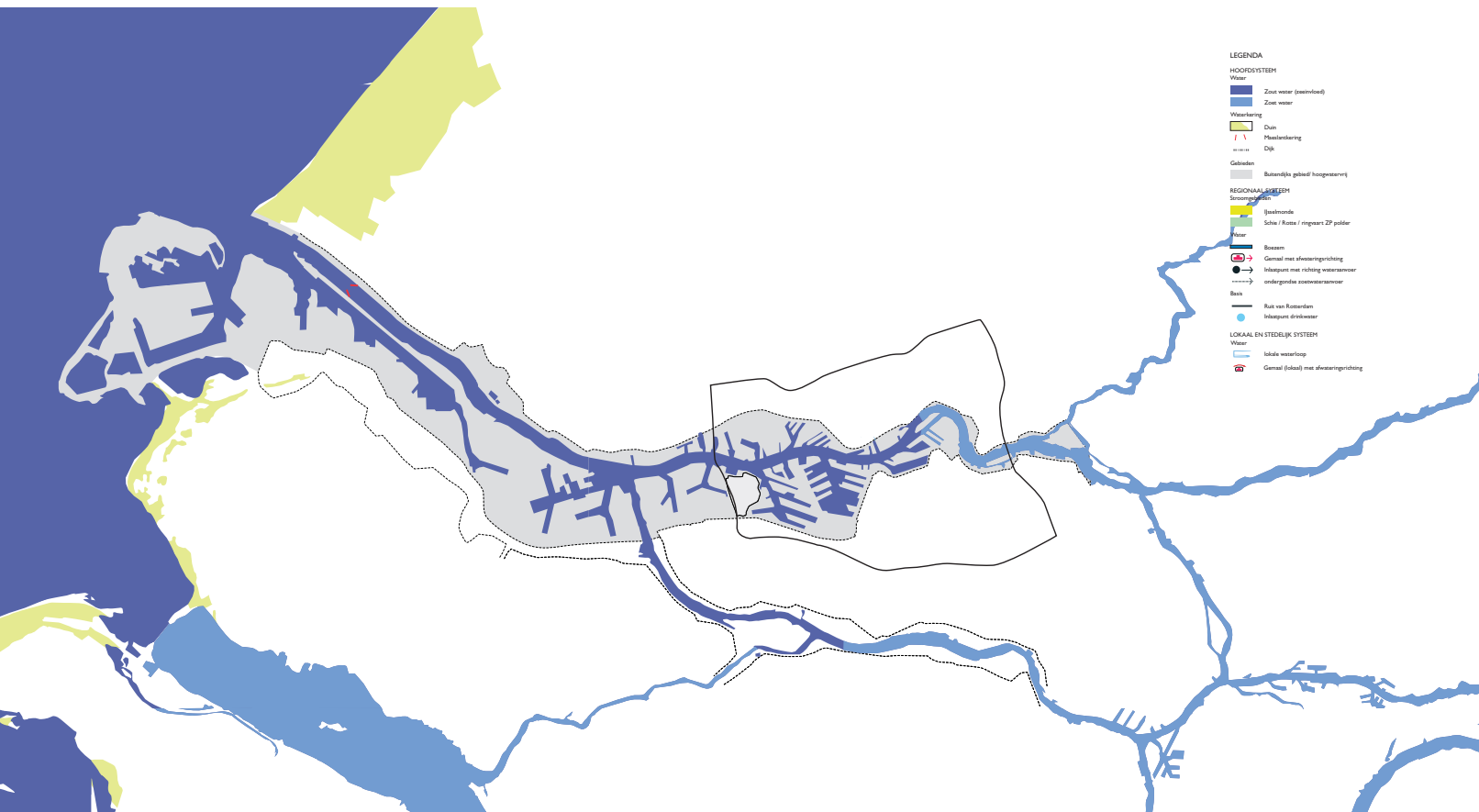
HET REGIONALE WATERSYSTEEM koppelt de lokale waterlopen aan het hoofdsysteem. Ten noorden van de Nieuwe Maas is deze koppeling fundamenteel anders georganiseerd dan ten zuiden van de Maas.

Waterafvoer ~ Het gebied van IJsselmonde is omgeven door buitenwater. Het overtollige water in de verschillende polders kan direct richting het buitenwater worden uitgemaal. Dit betekent dat het systeem weinig kwetsbaar is en goed te beheersen. Het gebied ten noorden van Rotterdam kent een stelsel van boezemwateren die functioneren als intermediair tussen lokale watersystemen en het hoofdsysteem. De afwatering van deze gebieden gebeurt daardoor getrapt. Vanuit poldersloten via kleine gemalen naar de boezem. Aan de kop van de boezem zorgen grote gemalen voor het uitslaan van water richting het hoofdsysteem. Het gebied ten noorden van Rotterdam valt uiteen in de deelsystemen van de Rotte en de Schie. Er zijn verschillen tussen beide

deelsystemen. In het systeem van de Schie is, naast bemalen poldergebieden, ook 'boezemland' aanwezig. Overtollig water uit deze gebieden stroomt direct, of onder vrij verval richting de boezem. De boezem kent slechts een beperkte bergingscapaciteit die bij hevige neerslag snel volledig benut is. Wanneer het peil een kritieke waarde bereikt, wordt een maalstop ingesteld voor de poldergebieden die uitmalen op de boezem. Ook het bemalen stedelijk gebied wordt hiermee geconfronteerd. Op dit punt is het systeem van de Schie kwetsbaar. De Rotte kent nauwelijks boezemland. Al het overtollige water uit de aangrenzende gebieden wordt er via gemalen in gepompt. De capaciteit van het boezemgemaal aan de kop van het systeem is afgestemd op de gezamenlijke capaciteit van de afzonderlijke poldergemalen. Het boezempeil is hierdoor goed te controleren. De Rotte heeft echter ook een kwetsbaar punt. Het boezemgemaal slaat niet direct uit naar het buitenwater, maar op havenbekkens die binnen de hoofdwaterkering liggen. Onder normale omstandigheden staan deze havenbekkens wel in open verbinding met het buitenwater. Bij hoge buitenwaterstanden worden de binnenhavens echter door het sluiten van de hoofdwaterkering van het buitenwater afgesloten. De capaciteit van het dan afgesloten havenbekken laat nog ongeveer één dag doormalen van het boezemgemaal toe. Hierna moet het boezemgemaal en daarmee ook de poldergemalen in het achterland tijdelijk stoppen. Dit heeft ook gevolgen voor

de op de boezem afwaterende stedelijke gebieden. Gelukkig valt een hoge buitenwaterstand lang niet altijd samen met hevige neerslag in de poldergebieden.

Wateraanvoer ~ In IJsselmonde geschiedt ook het inlaten van water in droge periodes direct vanuit het buitenwater: de Nieuwe Maas, de Noord en de Oude Maas. Het 'Waaltje' functioneert als een soort inlaatboezem vanuit de Oude Maas. Deze Oude Maas is veel minder gevoelig voor zoutindringing dan de overige wateren rond IJsselmonde. Ten noorden van de Maas vindt de aanvoer van zoet water in droge tijden plaats via de boezemwateren. De inlaatpunten en de stroomrichting bij wateraanvoer zijn aangegeven op de kaart. Hierbij valt op dat het systeem van de Rotte een relatief geïsoleerd systeem is. Voor inlaat is het systeem afhankelijk van de Nieuwe Maas. Dit is niet altijd mogelijk in verband met de indringing van zout zeewater. Het systeem van de Schie is in noordelijke richting gekoppeld aan andere systemen, waardoor aanvoer over lange afstand, zelfs vanuit het Amsterdam Rijnkanaal, mogelijk is. Bovendien is aanvoer mogelijk van zoet water uit de Brielse Maas door middel van een leiding onder de Nieuwe Waterweg door. Door middel van het Noorderkanaal staan de Rotte en de Schie met elkaar in verbinding.

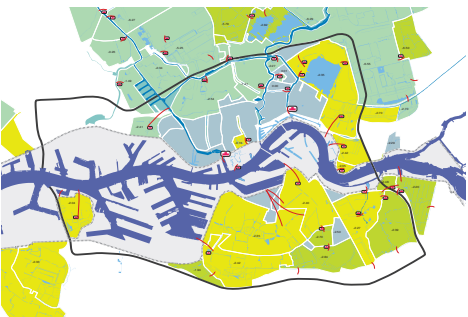
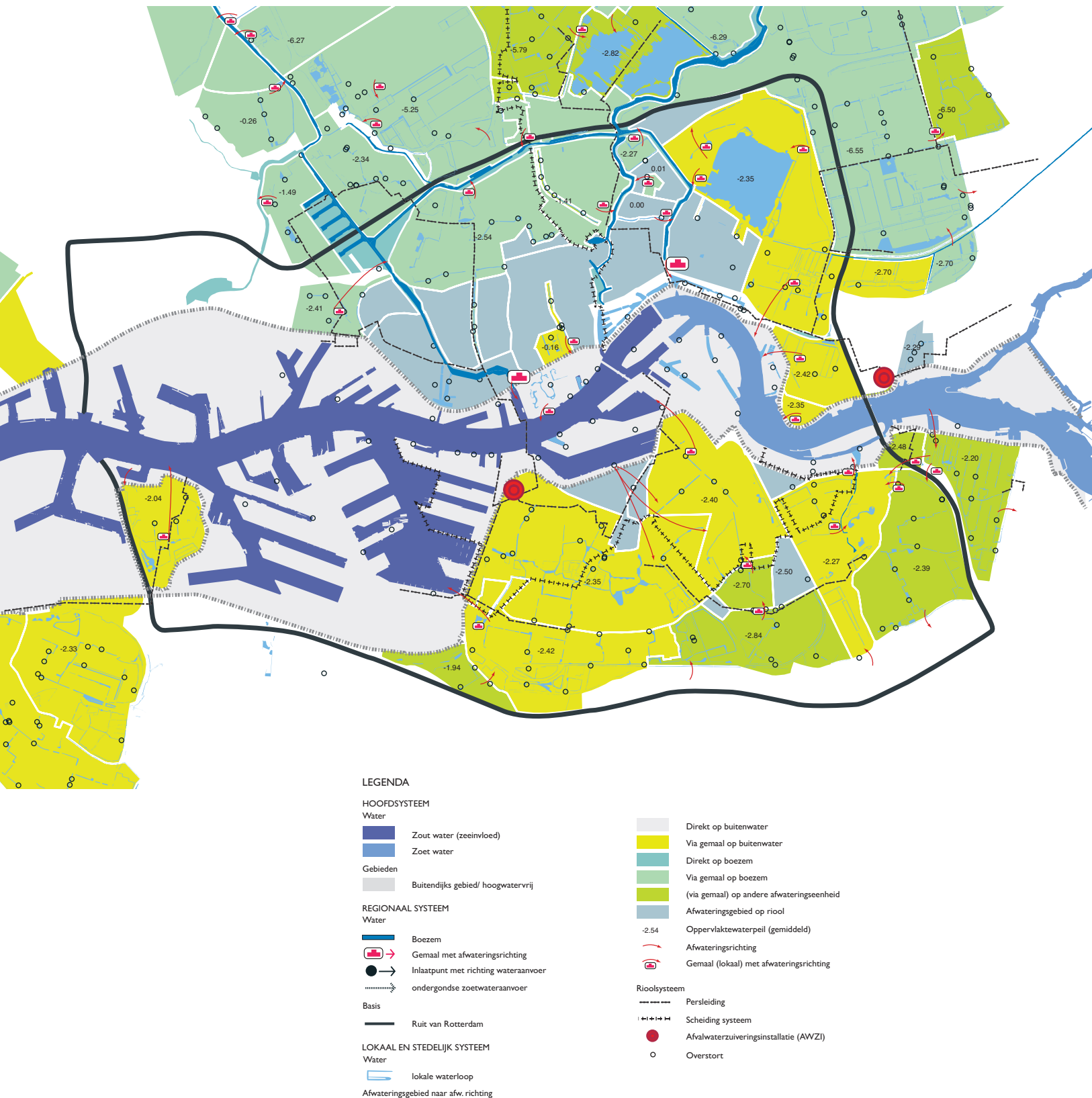


Het stedelijk watersysteem

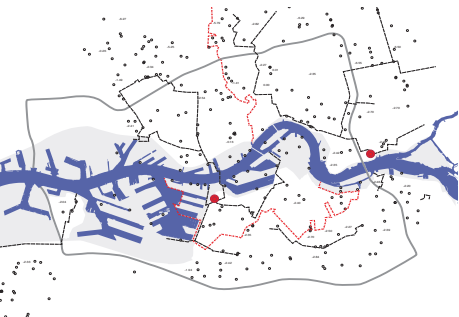
Het stedelijke watersysteem regelt de af- en aanvoer van water op het laagste schaalniveau. De regen die in de stad valt, komt als eerste in het stedelijke watersysteem terecht. Het stedelijke watersysteem van Rotterdam is geleidelijk ontwikkeld tot een complex geheel. De hoofdrol is daarbij weggelegd voor het rioleringsstelsel. Het stelsel van oppervlaktewaterlopen speelt een bijrol, onder andere als verlengstuk van het rioolstelsel. Beide stelsels, het bovengrondse en ondergrondse, zijn onlosmakelijk met elkaar verweven. Dit is een belangrijke reden voor de kwetsbaarheid van het stedelijke watersysteem.

het buitenwater) naar 'indirect' (via een gemaal op een andere afwateringseenheid). Tussen beide uitersten bevindt zich een aantal andere afwateringsmogelijkheden: direct op de boezem en via een gemaal op de boezem. Sluitstuk en zeer 'indirect' 'afwatering voornamelijk via de riolering'. Er kan gezegd worden: hoe directer de afwatering, hoe minder kwetsbaar. Op deze manier is het beeld uit de kaart van het regionale systeem voor het stedelijke niveau nader ingevuld. IJsselmonde onderscheidt zich weer van het gebied ten noorden van de Nieuwe Maas door zijn directe relatie met het buitenwater. De oppervlakte open water en daarmee de bergingscapaciteit in de stad is beperkt. In de binnenstad is oppervlaktewater zelfs nagenoeg afwezig. Het oppervlaktewatersysteem is daarmee afhankelijk van snelle afvoer in tijden van overschot en aanvoer in tijden van tekort. Omwille van de waterkwaliteit en om het tekort aan te vullen worden de stedelijke waterlopen doorspoeld, vanuit de boezems of vanuit het buitenwater.

Singelplan Rose ~ Inzicht in het eerste uitgevoerde waterplan voor Rotterdam, het Singelplan van stadsarchitect Rose (zie volgende pagina) helpt bij het doorgronden van het huidige watersysteem. Het singelplan van Rose (1854) was een reactie op een aantal problemen betreffende de waterkwaliteit en overbelasting van de waterhuishouding. Op voorstel van Rose werd er bij hoog water vers Maaswater ingelaten in de stadsvesten die omwille van de waterkwaliteit werden doorspoeld. Op ruime afstand van de stadsvesten, in de aangrenzende poldergebieden, werden nieuwe singels aangelegd. Deze begrensd de toekomstig te verstedelijken poldergebieden. De singels kregen een zelfstandig, lager waterpeil. Het water uit de stadsvesten kon daardoor onder vrij verval via een aantal poldersloten door de te toekomstig te verstedelijken gebieden richting de singels stromen. Daarna vervolgde het, inmiddels minder schone, water zijn weg via de singels om vervolgens weer in de Maas uitgemalen te worden.



Bovengronds systeem



Ondergronds systeem

Rioleringsstelsel ~ Op jaarbasis wordt het grootste deel van het neerslagwater afgevoerd via het ondergrondse rioleringsstelsel. Het komt daar samen met het huishoudelijk afvalwater. Via een complex stelsel van rioolbuizen en persleidingen komt het uiteindelijk terecht bij een afvalwaterzuiveringsinstallatie. Na zuivering wordt het uitgemalen richting de Maas. Er zijn twee van elkaar gescheiden ondergrondse rioleringsstelsels binnen de Ruit van Rotterdam, een oostelijk en een westelijk systeem. Het rioolwater in de westelijke helft van de stad ten noorden van de Maas wordt via een persleiding getransporteerd naar de zuiveringsinstallatie ten zuiden van de Maas. Op deze manier wordt het water van een reguliere bui verwerkt.

Oppervlaktewater ~ Het lokale oppervlaktewatersysteem van de stad is een geheel van afzonderlijke afwateringseenheden met daarin waterlopen met een eigen peil en afwateringsrichting. De peilen van de gebieden zijn aangegeven op de kaart, net als de afwateringsrichting. De indeling loopt van 'direct' (direct op

Kwetsbaarheid ~ Bij hevige buien toont het stedelijk systeem zijn kwetsbaarheid. De stad heeft een groot percentage verhard oppervlak, waardoor er weinig regenwater tijdelijk vertraagd afgevoerd of geborgen kan worden. Veel water wordt versneld naar het riool afgevoerd. Het rioolstelsel kent echter een beperkte bergingscapaciteit en hevige buien kunnen niet meer binnen het rioolsysteem verwerkt worden. In deze gevallen wordt rioolwater via overstorten (tijdelijk) geloosd op het oppervlaktewater, waardoor het oppervlaktewaterpeil stijgt. Op de kaart zijn de locaties van deze riooloverstorten aangegeven. Een deel van dit water kan via het oppervlaktewater worden afgevoerd. Een ander deel komt via een systeem van overstortbemaling weer in het riool terecht. Naast de nadelige gevolgen voor de waterkwaliteit heeft dit systeem ook een kwantitatief bezwaar. De oppervlakte open water, en daarmee de bergingscapaciteit, is beperkt. Als gevolg van riooloverstort op het open water stijgt het waterpeil snel en kan wateroverlast optreden.

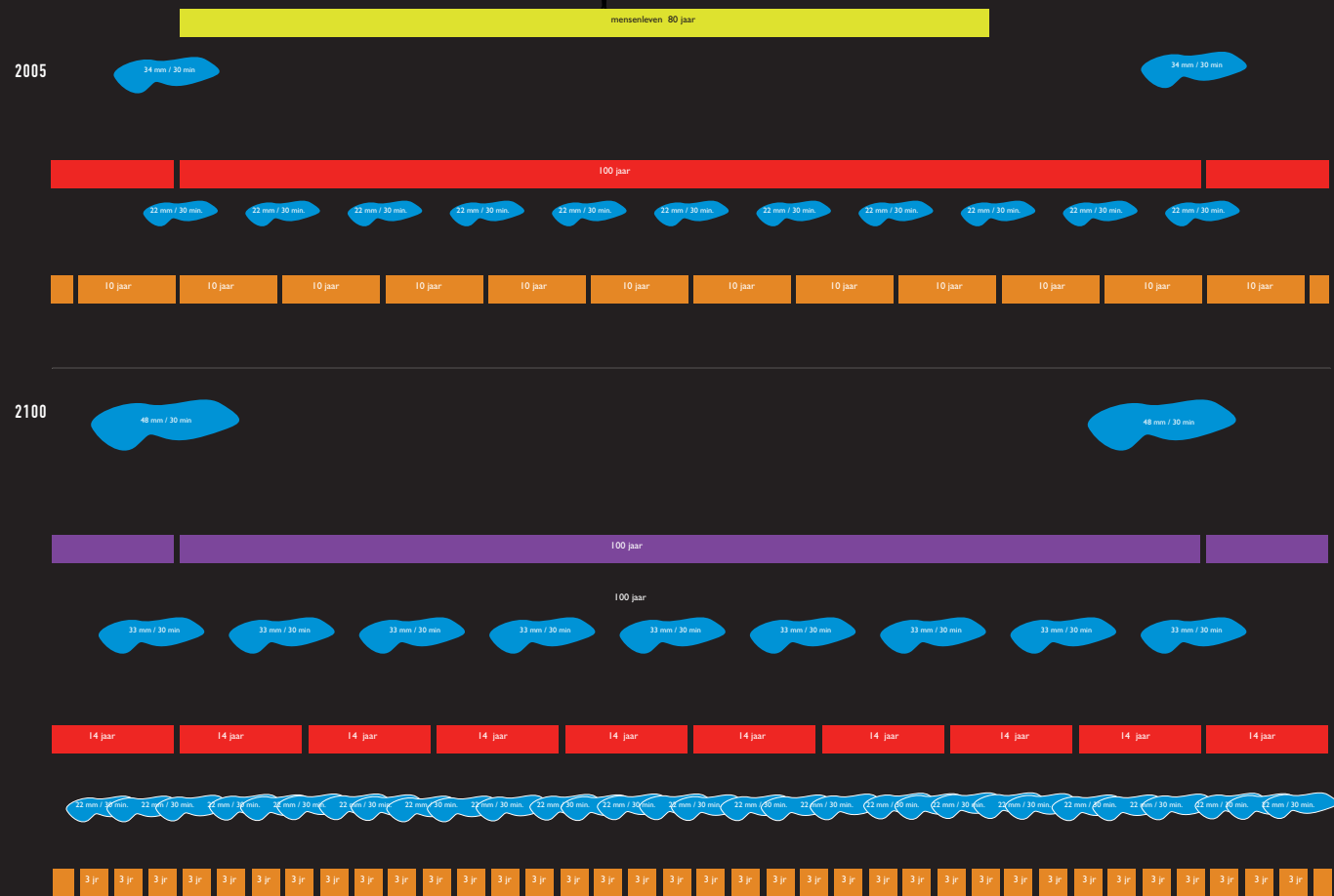
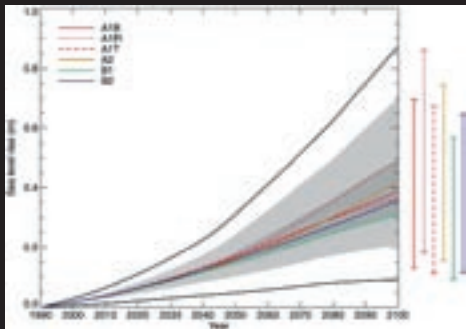
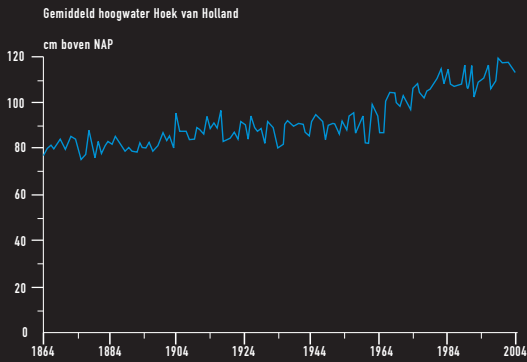
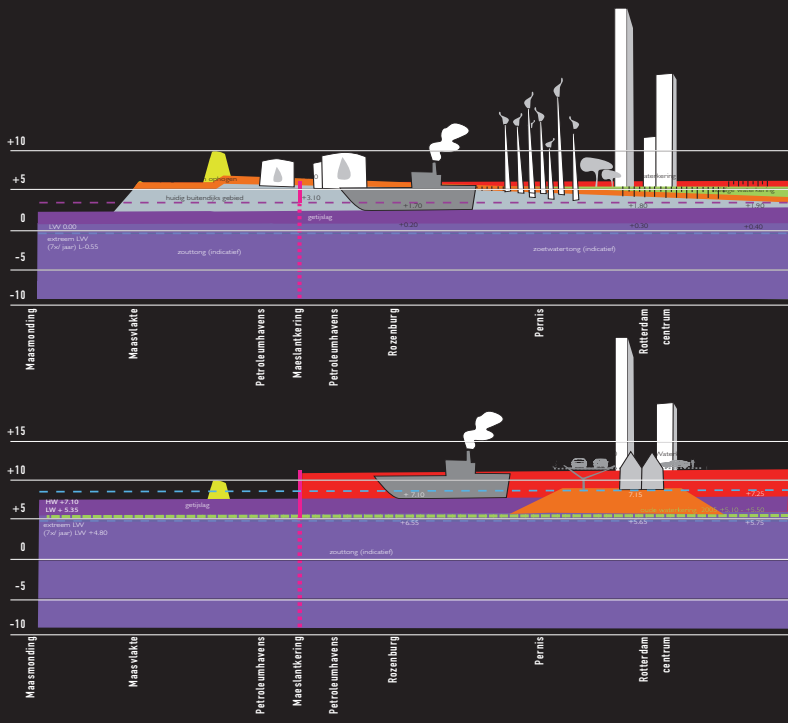


Huidige oppervlakte open water

De waterhuishouding in zowel de binnenstad als de begrensde poldergebieden kon voortaan onafhankelijk van Schieland geregeld worden. Daarnaast kreeg de singel extra betekenis door beplanting, de aanleg van wandelroutes en door het creëren van een nieuw woonmilieu voor welgestelde burgers.

Het Singelplan van Rose was volledig gebaseerd op beheersing van het oppervlaktewater. Helaas bleek vooral door technische en organisatorische problemen het Singelplan niet zaligmakend in de verbetering van de waterhuishouding en verstedelijking van het negentiende-eeuwse Rotterdam. Het vormde echter wel een belangrijke aanzet. Echte verbeteringen werden bereikt door de aanleg van rioleringsstelsels voor de afvoer van fecaliën. Geleidelijk is de nadruk steeds meer op het ondergrondse systeem komen te liggen. Veel waterlopen werden gedempt vanwege stank en om stedenbouwkundige redenen. Op dit moment speelt het oppervlaktewaterstelsel een marginale rol.

Wat komt er op ons af?



	Huidige toestand	Minimumscenario	Middenscenario	Maximumscenario
Temperatuur (graden)		+ 0.5 °C	+ 1 °C	+ 2 °C
Neerslag jaar (mm)	700-900	+ 1.5 %	+ 3 %	+ 6 %
Neerslag zomer (mm)	350-475	+ 0.5 %	+ 1 %	+ 2 %
Neerslag winter (mm)	250-425	+ 3 %	+ 6 %	+ 12 %
Neerslagintensiteit buien		+ 5 %	+ 10 %	+ 20 %
Verdamping (mm)	620-720	+ 2 %	+ 4 %	+ 8 %
Zeespiegelstijging (cm)		+ 10 cm	+ 25 cm	+ 45 cm
Rijnsafvoer zomer (m³/s)	2103	-1 à -4 %	-3 à -9 %	-5 à -19 %
Maatgevende Rijnsafvoer (m³/s)	16000			17.600
Maasafvoer april/juli (m³/s)	142	+1 à +8 %	+1 à +17 %	+3 à +34 %
Maasafvoer aug/sept (m³/s)	142	-1 à -2 %	-1 à -3 %	-1 à -7 %
Maatgevende Maasafvoer (m³/s)	3800	3.990	4.180	4.560

Jaartal	duur	herhalings-tijd	hoeveelheid neerslag
2005	30 min.	T=100	34 mm
2100	30 min.	T=14	33 mm
2100	30 min.	T=100	48 mm (toename 40% t.o.v. 2005)

	Extreem nat (2035)	Extreem nat (2070)	Extreem droog (2035)	Extreem droog (2070)
Zeespiegelstijging	25 cm	45 cm	25 cm	45 cm
Neerslag hoeveelheid	+ 4%	+ 8%		
Neerslag winter	+ 8%	+ 17%		
Neerslag intensiteit (30 minuten)	+ 14%	+ 28%		
Verdamping			+ 3%	+ 6%
Maatgevende afvoer Rijn	+ 8%	+ 11%		
Piekafvoer april/juli	+ 15%	+ 30%		
Piekafvoer aug/sept			- 3%	- 7%
Bodemdaling		10 cm		

Belangrijke aanleidingen om anders om te gaan met water zijn de klimaatverandering met als gevolg verandering in het neerslagpatroon, de stijging van de zeespiegel (mede als gevolg van klimaatveranderingen), de daling van de bodem en het afnemen van de opvangcapaciteit (door toename verhard oppervlak).

Klimaatverandering

Het klimaatscenario van het KNMI voor de 21e eeuw (derde klimaatrapportage, 1999) schetst

- een stijging van de temperatuur vergelijkbaar met die van het wereldgemiddelde (1 tot 6 graden Celsius)
- een verkorting van de duur van strenge winters
- meer neerslag in de winter (per graad warmer een toename van enkele procenten)
- intensievere regen in situaties met langdurige hevige winterneerslag
- zwaardere buien in de zomer

De Commissie Waterbeheer 21e eeuw vertaalde deze klimaatveranderingen naar gevolgen voor het wateraanbod in 2050. In de periode tot 2100 zullen de percentages verdubbelen met uitzondering van de zeespiegelstijging, want deze neemt onevenredig toe. Oorzaken voor deze variaties van het klimaat zijn verschuivingen van continenten en zeestromen, inslagen op aarde van kometen of meteorieten, verhoogde vulkanische activiteit, variaties in de aardbaan, veranderende zonneactiviteit, het chaotisch gedrag van de atmosfeer, veranderend landgebruik en recent de door menselijke activiteiten toegenomen hoeveelheid kooldioxide en andere broeikasgassen in de atmosfeer.

Meer extreme buien en drogere periodes

De extremen in de neerslag kunnen nog verder toenemen ('externe krachten', RIZA, 2000). De tabel geeft inzicht in de verwachte toename van extreme neerslag. Voor 2005 en 2100 is de duur, de hoeveelheid en de herhalings-tijd weergegeven. T=100 betekent dat een dergelijke bui gemiddeld 1 x per 100 jaar optreedt. Voor 2100 wordt verwacht dat een extreme bui van 33 millimeter in een half

uur op zal treden met een herhalings-tijd van 14 jaar. Ter vergelijking: tijdens de laatste extreme situatie in Rotterdam (op 18 augustus 2001) viel ook 33 mm neerslag, maar wel in 1 uur tijd. Als gevolg van de klimaatverandering zal de verdamping in droge periodes toenemen. De rivieren zullen 's zomers minder water afvoeren.

De zeespiegel stijgt

De afgelopen honderd jaar is de zeespiegel in Hoek van Holland ongeveer 25 cm gestegen. Volgens de meest recente schatting van het IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) zal in het jaar 2100 de zeespiegel 9 tot 88 cm hoger zijn dan nu. Zoals te zien is in de figuur zijn er nogal wat verschillende scenario's, waarbij de stijging groter is naarmate de tijd vordert. Het KNMI gaat er voorslagnog vanuit dat de zeespiegelstijging in Nederland gelijk is aan de gemiddelde wereldwijde zeespiegelstijging.

DE REDENEN WAAROM DE ZEESPIEGEL STIJGT ZIJN ALS VOLGT TE VERKLAREN:

- de toename van het totale volume van het zeewater als gevolg van uitzetting door de hogere temperatuur (ongeveer 75% van het totaal)
- toename van de hoeveelheid zeewater als gevolg van het smelten van gletsjers en landijs (25%)
- toename van de hoeveelheid zeewater als gevolg van het smelten van de Groenlandse ijskap (10%)
- de toegenomen sneeuwval op Antarctica zal de zeespiegelstijging weer iets doen verminderen

Er is weinig bekend over het effect van klimaatveranderingen op de hoogte en kracht van de golven. Uitgangspunt van deze studie is daarom dat de getijdenwerking bij zeespiegelstijging gelijk blijft. Ook geldt het uitgangspunt dat extreme waterstanden evenredig stijgen met de gemiddelde zeespiegelstijging. Wanneer de natuur geleidelijk reageert op de klimaatverandering zal de zeespiegel in 2035 met 25 cm gestegen zijn en in 2070 met 65 cm (beide ten opzichte van de huidige situatie). Daarbij komt nog een kleine bodemdaling daalt als gevolg van het inklinken van grond door het lage grondwaterpeil en het kantelen van de aardbodem in Noordwest Europa. Er is ook een extremer zeespiegel-scenario mogelijk.

Extreme zeespiegelstijging: Atlantis-scenario

Het Atlantis scenario gaat ervan uit dat het westelijke deel van de ijskap van Antarctica vrij plotseling smelt: in 2035 dient het fenomeen zich aan en in 2070 is het daadwerkelijk gebeurd. Het bevat genoeg water voor een zeespiegelstijging van zes meter. Over circa tien jaar weten we of de breuk daadwerkelijk doorzet. Er is een aantal fysische processen dat ervoor kan zorgen dat dit deel van de ijskap veel sneller verdwijnt dan alleen op grond van de stijging van de luchttemperatuur te verwachten valt. Zo kunnen de ijsplaten (de uitlopers van de ijskap in zee) losraken van de oceaانبodem doordat de zeespiegel stijgt, waardoor de ijskap sneller in zee gaat stromen en de afkalving groter wordt. Ook kan een stijging van de zeewatertemperatuur zorgen voor extra afsmelting aan de onderkant van deze ijsplaten. De totale ijskap van Antarctica kan in theorie 61 meter zeespiegelstijging veroorzaken. Het is natuurlijk nog niet zeker dat het Atlantis-scenario daadwerkelijk zal optreden. Diverse ontwikkelingen geven echter aan dat we er wel degelijk rekening mee moeten houden. Het westelijke deel van de ijskap van Antarctica is nu al volop in beweging en daarom gevoelig voor temperatuurveranderingen. Het oostelijk deel van de ijskap van Antarctica blijft naar verwachting echter in stand: daar moet de luchttemperatuur met maar liefst 20 °C stijgen voordat het ijs gaat smelten.

Klimaatscenario's Rotterdam Waterstad

Om het functioneren van het huidige watersysteem af te kunnen zetten tegen de toekomstige klimaatveranderingen is een aantal klimaatscenario's opgesteld voor 2035 en 2070. Voor beide jaren wordt een extreem droge en extreem natte situatie bekeken. De zeespiegelstijging vindt onafhankelijk hiervan plaats en is daarom gelijk voor de droge en de natte situaties. Het Atlantis-scenario vormt een zelfstandig scenario. De extreme zeespiegelstijging vormt een zelfstandig mechanisme dat vooral aangrijpt op het hoofdsysteem. De principes voor neerslag en verdamping die gelden in 2070 gelden ook bij het Atlantis-scenario.

Gevolgen voor het huidige watersysteem

HOOFDSYSTEEM: De beweging van de zee en de rivierafvoer bepalen samen het waterpeil en de waterkwaliteit van de Maas. Door stijging van de zeespiegel zal de zee-invloed meer dominant worden ten opzichte van de rivierafvoer. Of het nu gaat om een relatief kleine stijging of om het Atlantis-scenario, een zeespiegelstijging het heeft gevolgen voor de volgende aspecten van het hoofdsysteem:

- de veiligheid van de waterkering
- de veiligheid en bruikbaarheid van de hoogwatervrije terreinen
- het in oostelijke richting opschuiven van de zouttong

Gevolgen zeespiegelstijging ~ In 2035 gaat het om een relatief kleine zeespiegelstijging van 35 cm. Om aan eenzelfde veiligheidsniveau als in 2005 te voldoen, zal de hoofdwaterkering in Rotterdam met een gelijk aantal centimeters opgehoogd moeten worden.

In 2070 zal sprake zijn van een aanmerkelijke zeespiegelstijging van 65 cm. Ook dit grijpt aan op de hoogte van de hoofdwaterkering. Een aantal laag gelegen buitendijkse terreinen (tussen de 3.00m en 3.50m +NAP) wordt merk-

baar minder hoogwatervrij. Zeven keer per jaar (extreem hoog water) het water tot 2.70 m + NAP reikt. De Maeslantkering zal vaker dicht moeten (wellicht zelfs tot meerdere keren per jaar) omdat het peil van 3.10m + NAP vaker bereikt wordt. Dit heeft gevolgen voor de bereikbaarheid van de havens die binnen de kering gelegen zijn.

ATLANTIS:De zeespiegelstijging bij het Atlantis-scenario is van een geheel ander orde: tot 6 m ten opzichte van de huidige situatie. Dat betekent dat het gemiddeld waterpeil reikt tot boven de huidige dijkhoogtes. Dat geldt ook voor de buitendijkse terreinen, met uitzondering van een gedeelte van de Maasvlakte.

Mogelijke oplossingen ~ Het verhogen van de hoofdwaterkering is als antwoord op de zeespiegelstijging in 2035 voldoende. Eventueel kan een aantal buitendijkse terreinen opgehoogd of omkaad worden.

2070: Nog steeds is verhoging van de hoofdwaterkering de oplossing. De verwachting is dat de ruimtelijke consequenties van dijkverhogingen van 35 of 65 cm niet eens zoveel van elkaar verschillen. De grootste opgave is niet het aanleggen van de nieuwe dijk maar het scheppen van ruimte in de bestaande dijkzones om deze verhoging mogelijk te maken. De bestaande occupatielaag, met name de hoofdinfrastructuur, moet daarbij verwijderd worden. Voor de buitendijkse terreinen kan

naar andere oplossingen gezocht worden, met name in het buitendijkse woongebied. De introductie van een veilig, op dijkhoogte gelegen ontsluitingssysteem in combinatie met een gelijkblijvend maaiveld zou een dergelijke oplossing kunnen zijn. Dit systeem is voor de havengebieden waarschijnlijk te ingrijpend. Om het veiligheidsniveau te behouden zullen deze gebieden integraal opgehoogd en heringericht moeten worden.

ATLANTIS: Met het perspectief van 6 m zeespiegelstijging moet een fundamentele keuze gemaakt worden. Kan Rotterdam haar verbinding met de zee in westelijke richting in stand houden? Is dat ook een open verbinding? Er zou gekozen kunnen worden voor volledig afsluiten van de Nieuwe Maas, gecombineerd met een heroriëntatie van de stad op haar buitenwater, waarbij het accent verschuift in oostelijke richting. Dat houdt ook verplaatsing van de havens in. De verbinding met de zee komt dan tot stand via het Haringvliet. Omdat de ontwerpogave gericht is op Rotterdam binnen de Ruit is deze rigoureuze oplossing hier niet verder verkend. Houdt Rotterdam de huidige relatie met de zee in stand, en blijft het huidige stedelijke gebied bewoond, dan is in het Atlantis-scenario een forse verhoging van de hoofdwaterkering de enige mogelijke oplossing. Naast het scheppen van de benodigde ruimte hiervoor is het dijkontwerp zelf een grote opgave die, afhankelijk van het gekozen ontwerp, aangrijpt op een

strook van zo'n honderd tot driehonderd meter in de stad. De dijk kan niet langer 'onzichtbaar' blijven, zoals nu vaak het geval is en de relatie tussen stad en rivier zal door aanleg van een hoge dijk veranderen.

Voor de buitendijkse woongebieden kan voortgebouwd worden op het systeem van hooggelegen hoogwatervrije infrastructuur. Voor de havengebieden moet de keuze gemaakt worden: of 6 m ophogen, of de haventerreinen opgeven en ergens anders opnieuw ontwikkelen.

REGIONAAL SYSTEEM: Vanwege de toenemende zee-invloed en de lage rivierafvoeren in droge tijden zal de zouttong steeds verder landinwaarts op de rivieren opschuiven. De inlaat van zoet water vanuit het hoofdsysteem in de regionale systemen in droge tijden wordt daardoor bemoeilijkt waardoor de waterkwaliteit gevaar loopt. Om een beeld te krijgen van dit proces is gekeken naar de studies voor een aanpast beheer van de Haringvliet-sluizen. Duidelijk wordt dat een kleine verandering in het systeem grote gevolgen heeft.

Gevolgen zeespiegelstijging ~ In de huidige situatie kent IJsselmonde vanwege de overwegend goede waterkwaliteit van de Oude Maas goede inlaatmogelijkheden. De kaart op basis van Haringvliet-scenario's laat echter zien dat in 2035 slechts één inlaatpunt in de Oude Maas in gebruik kan blijven. In 2070 zal ook dit punt onbruikbaar zijn. Bij de andere inlaatpunten zal het buitenwater permanent te zout zijn voor inlaat. De mogelijkheid vanuit de Maas zoet water in te laten in de Rotte en de Schie vervalt al in 2035.

De zeespiegelstijging heeft weinig gevolgen voor de afwatering van het regionale systeem in tijden van wateroverschot. De boezemwateren zijn via gemalen gekoppeld aan het hoofdsysteem. Ook in de toekomst zullen zij hun overtollige water op deze manier op het hoofdsysteem blijven lozen. Wel is op termijn een aanpassing aan de kop van de Rotte gewenst. Het systeem van uitmalen op de binnenhavens komt onder druk naarmate de hoofdwaterkering vaker moet sluiten en de binnenhavens van het buitenwater worden afgesloten. Een oplossing is het verplaatsen van het gemaal naar de hoofdwaterkering.

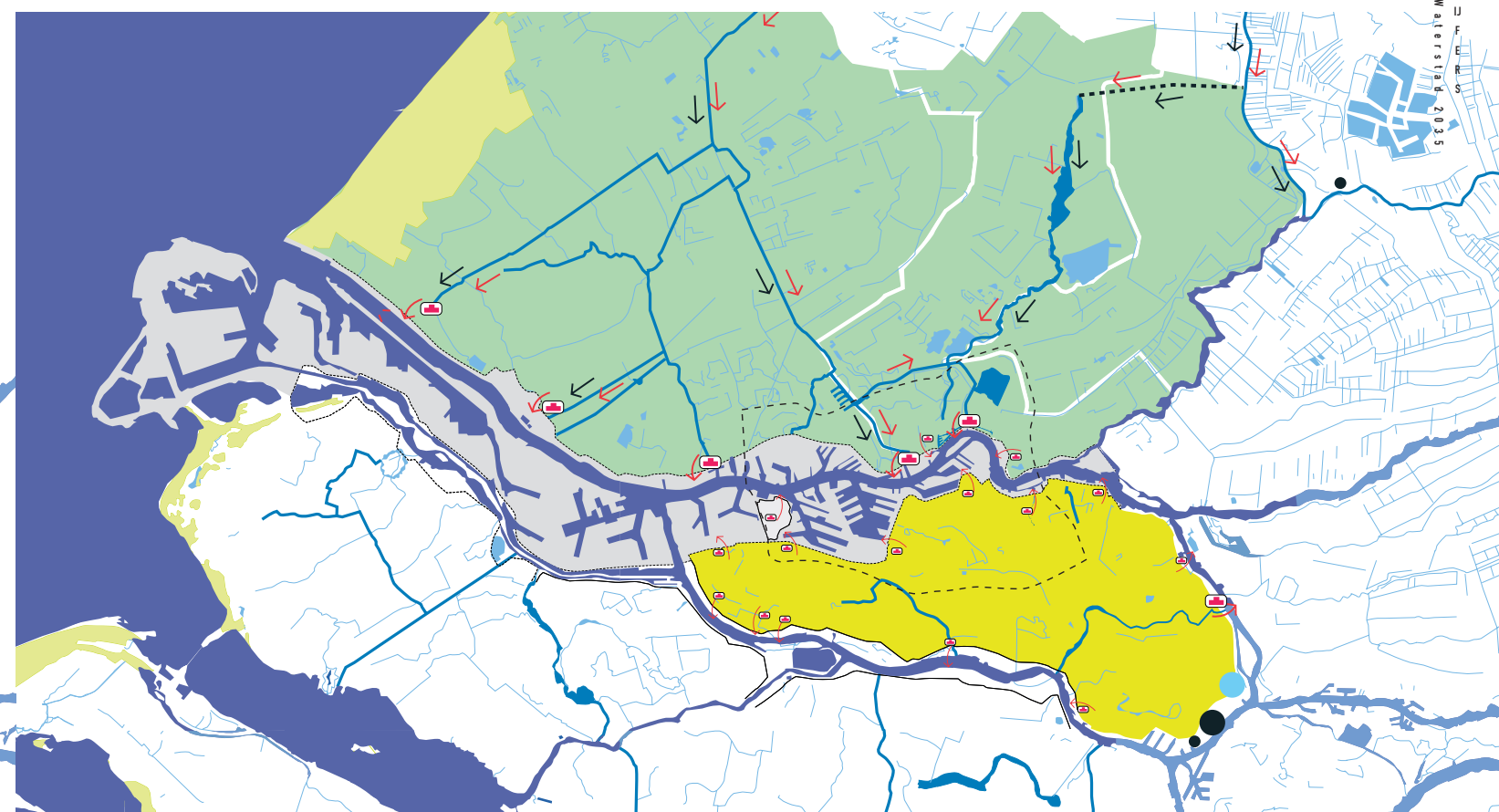
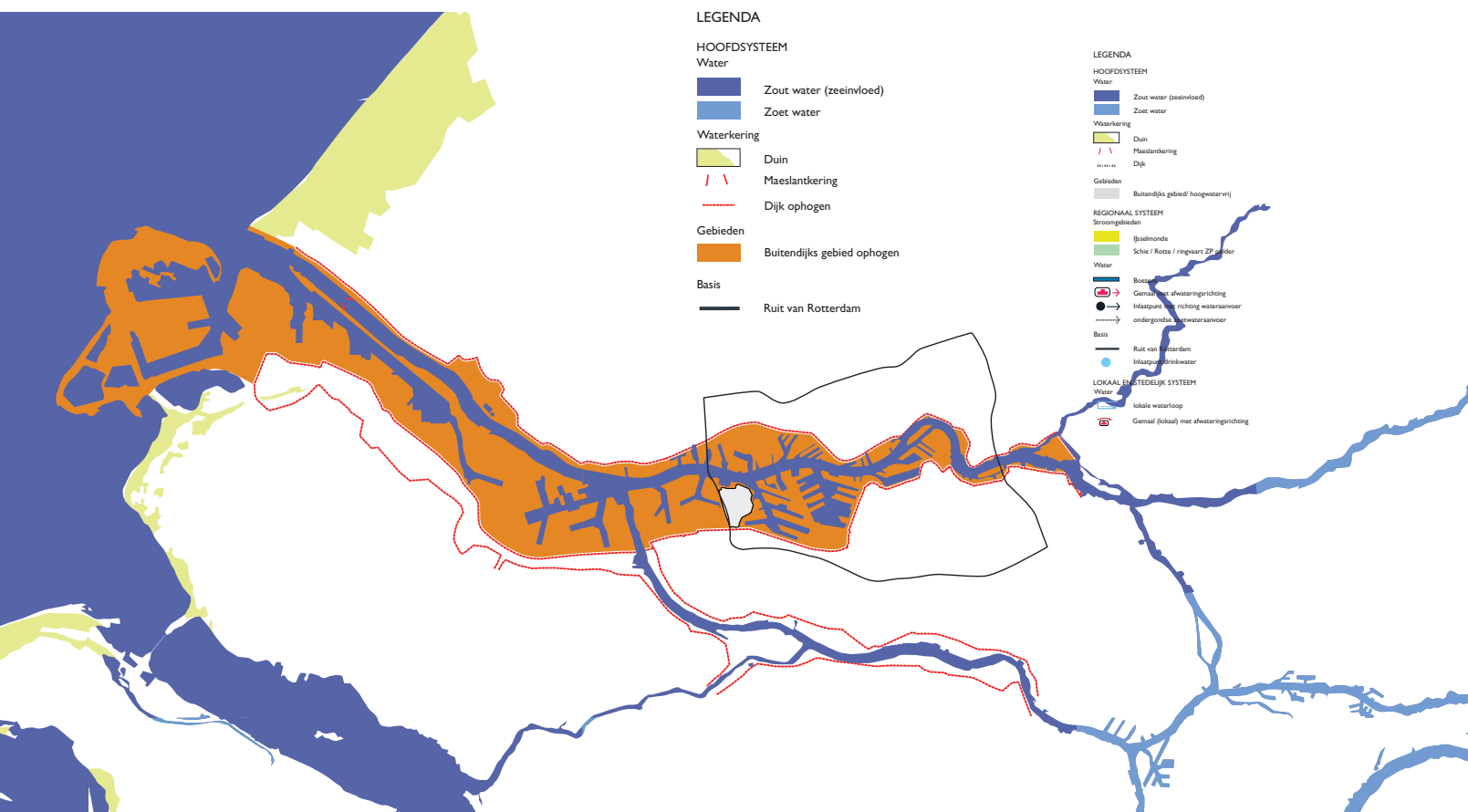
Mogelijke oplossingen ~ Als antwoord op opschuivende zouttong in het hoofdwatersysteem zijn twee typen antwoorden mogelijk:

- de aanvoer van zoet water van elders wordt geoptimaliseerd, in combinatie met de aanleg van een voorraad zoet water (seizoensberging)

- er wordt voor gekozen om over te stappen van een zoet naar een brak of zout stedelijk watersysteem

Voor IJsselmonde heeft het waterschap Hollandse Delta nu al initiatief genomen om de zoetwateraanvoer vanuit de Oude Maas te optimaliseren. Ook worden voorraden aangelegd voor droge tijden. Als op termijn ook de inlaatpunten aan de Oude Maas verziltten, ligt het voor de hand om hier te gaan zoeken naar alternatieve oplossingen. Zo kan overgestapt worden op een volledig brak of zout stedelijk watersysteem.

De koppeling van de systemen van de Rotte en de Schie aan het landelijke netwerk kan geoptimaliseerd worden zodat ook bij opheffing van de zoetwaterinlaatpunten in de Nieuwe Maas aanvoer van zoet water vanuit noordelijke richting mogelijk blijft. Het is echter de vraag of dit in 2070 en het Atlantis-scenario nog een afdoende oplossing is. De diepe polders zullen als gevolg van de toename van zoute kwel verziltten. Doorspoeling kan dat op termijn niet meer tegengaan. Als dat moment zich aandient kan overgestapt worden op een zout watersysteem.



Gevolgen voor het stedelijk watersysteem



Scenario extreem nat (2035 en 2070)

GEVOLGEN: De lokale watersystemen moeten meer neerslag verwerken en meer water richting de boezem uitmalen. De capaciteit van de boezems is echter beperkt. Er zal vaker een maalstop ingesteld worden, waardoor de lokale watersystemen hun water tijdelijk niet kwijt kunnen. Ook het stedelijke gebied wordt hiermee geconfronteerd.

MOGELIJKE OPLOSSINGEN: Het stedelijke gebied van noordelijk Rotterdam is deels afhankelijk van afvoer via de boezems van de Rotte en de Schie. Er zou, net als in de tijd van het Singelplan van Rose, een oplossing gezocht kunnen worden in het volledig ontkoppelen van de afvoer van het stedelijke gebied door introductie van een nieuw, eigen afvoersysteem.

ONTWERPOPGAVE: Aanleg van een nieuwe 'supersingel' in de bermen van de Ruit. Deze supersingel kan een gecombineerd afvoer-bergingssysteem voor de stad worden, zodat deze minder afhankelijk wordt voor de afvoer naar het regionaal systeem.

MOGELIJKE OPLOSSINGEN: Het peil in de boezems en de stedelijke waterlopen moet hoe dan ook worden gehandhaafd. Dit kan op verschillende manieren. Er kan gezocht worden naar andere aanvoermogelijkheden. Een oplossing is de aanleg van seizoensberging, waardoor het stedelijk systeem kortere of langere droge periodes onafhankelijk kan zijn van de regionale aanvoer. Ook kan eventueel water van een (iets) mindere kwaliteit worden ingelaten om uitzakken van het peil te voorkomen. Waterpeil gaat in dit geval voor waterkwaliteit!

ONTWERPOPGAVE: De ruimtelijke consequenties van de aanleg van seizoensberging zijn doorgerekend voor twee situaties. Allereerst de oppervlakte open water die aangelegd moet worden om, met een verder ongewijzigd watersysteem, een droge periode van dertig dagen te kunnen overbruggen. Daarnaast is ook een extremere situatie berekend waarbij de gevolgen van klimaatverandering zijn meegenomen. Het resultaat is een oppervlakte open water die aangelegd moet worden om geheel onafhankelijk te zijn van de aanvoer van water uit de

VOOR DE BEREKENINGEN ZIJN DE VOLGENDE TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN GEHANTEERD:

- per m² bestaand open water is er 1 m³ water nodig per 10 dagen
- als gevolg van minder aanvoer en extra verdamping is er gedurende de periode van augustus/september 30 dagen extra water benodigd
- seizoensberging is maximaal 2 m diep
- er is geen rekening gehouden met extra doorspoelbehoefte als gevolg van de toename van zoute kwel

RESULTAAT: Er is ongeveer 2500 hectare seizoensberging nodig voor 30 dagen doorspoeling. Dit is ongeveer 10% van de oppervlakte van de stad binnen de Ruit.

SEIZOENSBERGING 2:100 DAGEN DOORSPOELEN

De kaart laat zien hoe veel open water per afwateringseenheid aangelegd moet worden als voorraad om, wanneer geen aanvoer van water uit het regionale systeem mogelijk is, een droge periode van honderd dagen te overbruggen. De grootte van de stippen staat voor de oppervlakte.



Scenario extreem droog (2035 en 2070)

GEVOLGEN: De rivierafvoer in de zomer neemt af ten opzichte van de huidige situatie. Dat betekent dat de mogelijkheid zoet water in de boezems in te laten verder wordt beperkt. De behoefte aan water neemt echter toe, als gevolg van een toename van de verdamping. Het peilbeheer en het doorspoelregime komen onder druk. Dit heeft gevolgen voor zowel de boezemwateren als het oppervlaktewater in de stad. Als het boezempeil zakt kunnen de boezemkades verzwakken en uiteindelijk bezwijken. Langs de Rotte heeft een dergelijke kadebreuk recent plaatsgevonden. De (zwakkere) boezemkades liggen buiten de Ruit van Rotterdam. Als het peil in de stedelijke waterlopen zakt, ontstaan grote problemen met de houten paalfunderingen. Wanneer de waterlopen in de stad niet meer doorgespoeld worden, zal de waterkwaliteit verslechteren.

regio. De uitkomsten zijn op kaart weergegeven in het aantal hectare benodigde seizoensberging per afwateringseenheid. Deze bergingsruimte kan in de afwateringseenheid waar de behoefte ontstaat worden aangelegd, maar dat hoeft niet. Het kan ook georganiseerd worden op het niveau van de stad als geheel (de bermen van de Ruit inrichten voor seizoensberging). Het is zelfs mogelijk de seizoensberging op grotere afstand in de omgeving van Rotterdam aan te leggen. Als de aanvoer maar goed georganiseerd is.

SEIZOENSBERGING 1:30 DAGEN DOORSPOELEN

De kaart laat zien hoe veel open water per afwateringseenheid aangelegd moet worden als voorraad om, wanneer geen aanvoer van water uit het regionale systeem mogelijk is, een droge periode van dertig dagen te overbruggen. De grootte van de stippen staat voor de oppervlakte.

- de doorspoelbehoefte neemt toe als gevolg van toename van zoute kwel
- de doorspoelbehoefte neemt toe als gevolg van de aanleg van extra oppervlaktewater (onder andere ten behoeve van piekberging)
- de doorspoelbehoefte neemt toe als gevolg van de extra verdamping als gevolg van de temperatuurstijging
- in de zomermaanden is geen aanvoer van water mogelijk uit de regio
- in de berekening is ervan uitgegaan dat er in de natte periode voldoende regen valt om de seizoensberging aan te vullen

RESULTAAT: Er 11.000 ha nodig om gedurende 100 dagen te kunnen doorspoelen. Dit is ruim 40% van de oppervlakte van Rotterdam binnen de Ruit.



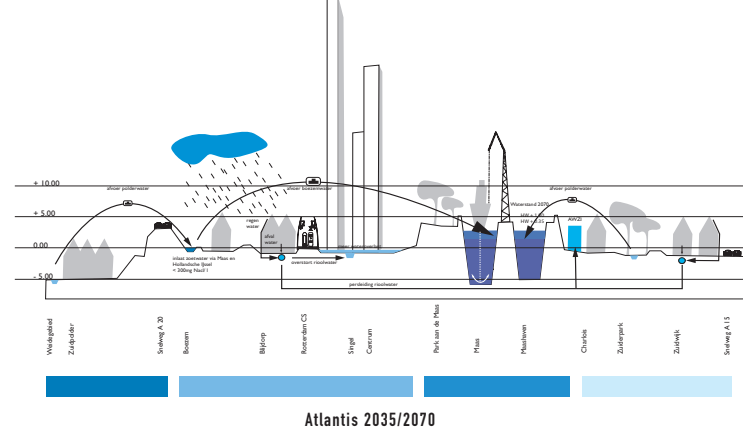
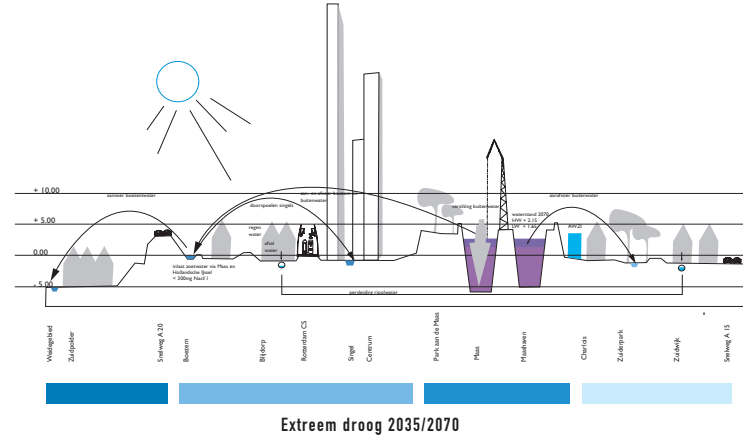
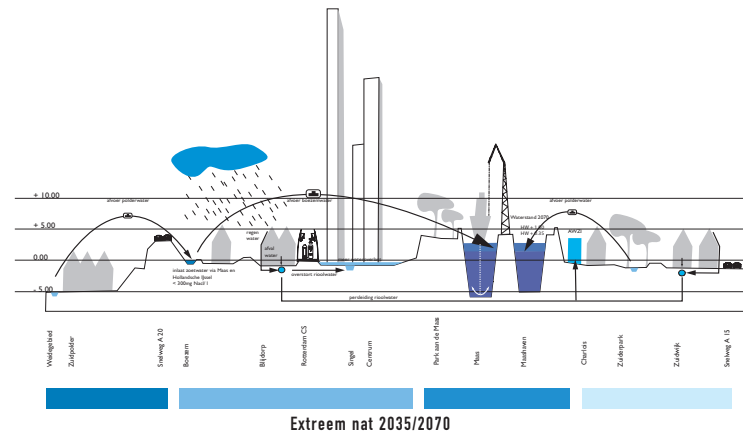
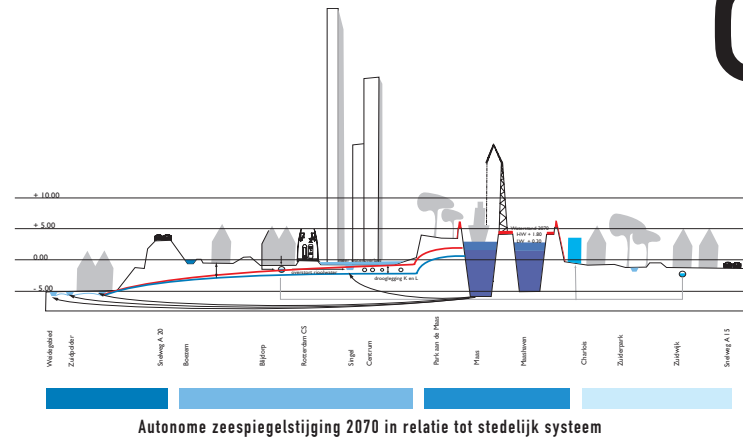
Stadsvesten 17e eeuw

Singelplan Rose 1854

Supersingel 2035

Mechanisme Supersingel

Gevolgen zeespiegelstijging



De beperking van de mogelijkheden om zoet water in te laten lopen is reeds beschreven bij de gevolgen voor het regionale systeem. Verder zijn de gevolgen van een relatief beperkte zeespiegelstijging in 2035 en 2070 voor het stedelijk watersysteem beperkt.

Wanneer het meest extreme scenario van zeespiegelstijging (Atlantis) doorzet, dient zich echter een geheel nieuw probleem aan. In grote delen van de binnenstad is nauwelijks oppervlaktewater aanwezig. Daardoor ontbreekt de mogelijkheid om via oppervlaktewaterbeheer te sturen aan het grondwaterpeil. Op dit moment is dat nog geen groot bezwaar: de binnenstad ligt vrij hoog ten opzichte van het buitenwater. Als de buitenwaterstanden sterk gaan stijgen zullen kwelstromen zich verleggen, waardoor grondwateroverlast ontstaat in gebieden die daar nu niet mee te maken hebben.

MOGELIJKE OPLOSSINGEN: De beheersbaarheid van het grondwaterpeil in de binnenstad moeten worden vergroot. Dit kan onder andere door het aanleggen van open water (sloten) om het gebied als het ware tot één of meerdere polders om te vormen. Ook is een technische oplossing mogelijk met behulp van ondergrondse drainage, bijvoorbeeld met drainageriolen.

ONTWERPOPGAVE: De ontwerpogave in de stad is gericht op de beheersbaarheid van het grondwaterpeil, door aanpassingen in het bovengrondse én het ondergrondse systeem.

Scenario extreem nat (2070) ~ GEVOLGEN: De totale hoeveelheid neerslag die valt in een jaar neemt toe. De toename lijkt op het eerste gezicht wellicht beperkt, de gevolgen zijn echter enorm. Het rioleringsstelsel zit aan de grenzen van zijn kunnen. De toename van extreme buien zal direct merkbaar zijn in een toename van de wateroverlast. Nu komt het gemiddeld één keer per jaar voor dat de riolen het water niet kunnen verwerken en dat overstort op het oppervlaktewater optreedt. In 2100 zal dat meerdere keren per jaar gebeuren. Nu treedt gemiddeld 1 x per 10 jaar (8 x in een mensenleven) een bui op waarbij plaatselijk wateroverlast ontstaat. In 2100 zal dat maar liefst 1 x per 3 jaar (27 x in een mensenleven) plaatsvinden. Hevige buien waarbij grote wateroverlast in

ONTWERPOPGAVE: De ruimtelijke consequenties van de aanleg van piekberging in de vorm van extra open water zijn doorgerekend voor twee situaties. Allereerst de oppervlakte open water die aangelegd moet worden om problemen die in de toekomst ontstaan als gevolg van de toename van extreme buien te voorkomen waarbij riooloverstort blijft optreden en de huidige knelpunten blijven bestaan. Daarnaast is ook een extremere situatie berekend waarbij ervan uit is gegaan dat naast de toekomstige problemen ook de huidige problemen worden opgelost. Er treden geen riooloverstorten meer op. De uitkomsten zijn op kaart weergegeven in het aantal hectare benodigde piekberging per afwateringseenheid. Deze bergingsruimte moet waar de behoefte ontstaat worden aangelegd.

RESULTAAT: In 2070 is in totaal 500 hectare extra open water nodig om toename van wateroverlast als gevolg van het vaker optreden van extreme buien te voorkomen. Procentueel is dit een toename van 30% open water ten opzichte van de huidige situatie. Er zijn echter grote lokale verschillen.

PIEKBERGING 2: OPLOSSEN TOEKOMSTIGE ÉN BESTAANDE PROBLEMEN: De kaart laat zien hoe veel open water per afwateringseenheid aangelegd moet worden als piekberging, wanneer de toekomstige én bestaande problemen worden opgelost. De grootte van de stippen staat voor de hoeveelheid oppervlakte open water. Voor de berekeningen zijn de volgende technische uitgangspunten gehanteerd:



grote delen van de stad ontstaat komen nu slechts gemiddeld 1 x per 100 jaar (1 x in een mensenleven) voor. In 2100 zal dat gemiddeld 1 x per 14 jaar zijn (7 x in een mensenleven). En 1 x per 100 jaar (1 x in een mensenleven) zal een zeer hevige bui optreden waarbij enorme overlast in vrijwel het gehele stedelijke gebied optreedt.

MOGELIJKE OPLOSSINGEN: De toekomstige stad zal meer neerslag moeten verwerken. Dat daarbij overlast optreedt, kan op verschillende manieren voorkomen worden. In theorie is het mogelijk de oplossing volledig te zoeken in het vergroten van de bergings- en afvoercapaciteit van het ondergrondse rioolstelsel. Dit is echter een complexe en zeer kostbare ingreep. Ook is het mogelijk om het verharde oppervlak van de stad (gedeeltelijk) af te koppelen van het riool en bij hevige buien het water op verschillende daarvoor gereserveerde plekken in de stad te bergen. Deze zogenaamde piekberging kan verschillende gedaanten hebben. Een andere oplossing is de aanleg van extra open water. Er zijn ook andere creatieve oplossingen mogelijk, bijvoorbeeld het (tijdelijk) bergen van water op daken, in tuinen en in de openbare ruimte.

Transport van het overtollige water over grote afstanden is niet mogelijk.

PIEKBERGING 1: OPLOSSEN TOEKOMSTIGE PROBLEMEN: De kaart laat zien hoeveel open water per afwateringseenheid aangelegd moet worden als piekberging, wanneer uitsluitend de toekomstige problemen worden opgelost. De grootte van de stippen staat voor de hoeveelheid oppervlakte open water. Voor de berekeningen zijn de volgende technische uitgangspunten gehanteerd:

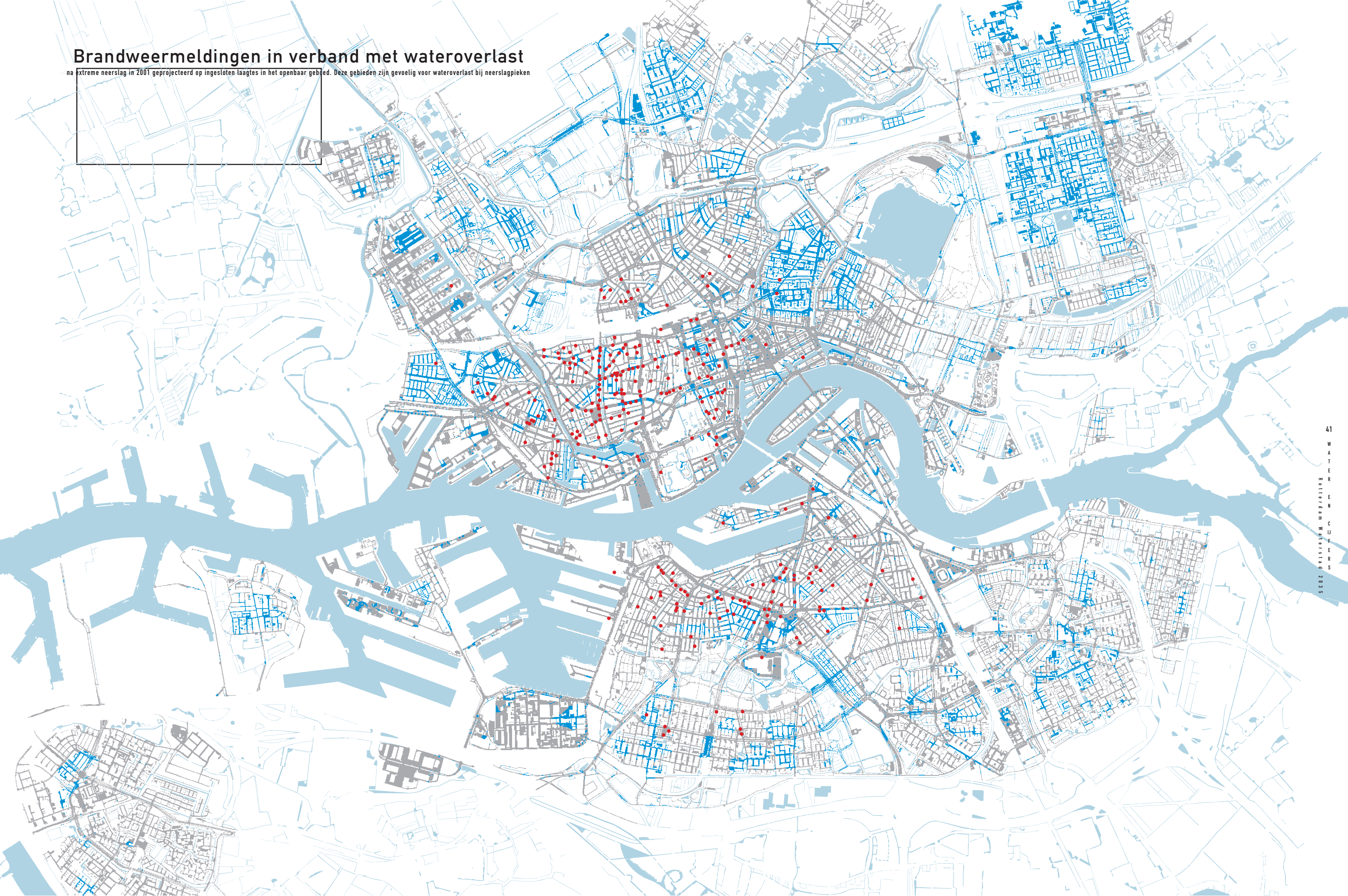
- korte, intensieve neerslagbuien nemen in 2070 toe met 28%
- de regenbui van 18 augustus 2001 is uitgangspunt
- alleen de extra wateroverlast wordt opgelost, dus niet de reeds aanwezige overlast
- de toelaatbare peilstijging van het oppervlaktewater is 25 cm
- de afstroming van verhard oppervlak is 100%, van het overige gebied (met uitzondering van groen) 50%
- het boezemsysteem wordt buiten beschouwing gelaten
- er wordt geen rekening gehouden met extra bergingsbehoefte als gevolg van problemen als grondwateroverlast, extra riooloverstorten e.d.

- korte, intensieve neerslagbuien nemen in 2070 toe met 28%
- de regenbui van 18 augustus 2001 is uitgangspunt
- de bergingscapaciteit van de riolering is 9 mm
- bij een bui van 20 mm treden er geen problemen op en treden de overstorten nog niet in werking
- de totale hoeveelheid extra af te voeren of te bergen water is 22 mm
- de toelaatbare peilstijging van het oppervlaktewater is 25 cm
- de afstroming van verhard oppervlak is 100%, van het overige gebied (met uitzondering van groen) 50%
- het boezemsysteem wordt buiten beschouwing gelaten

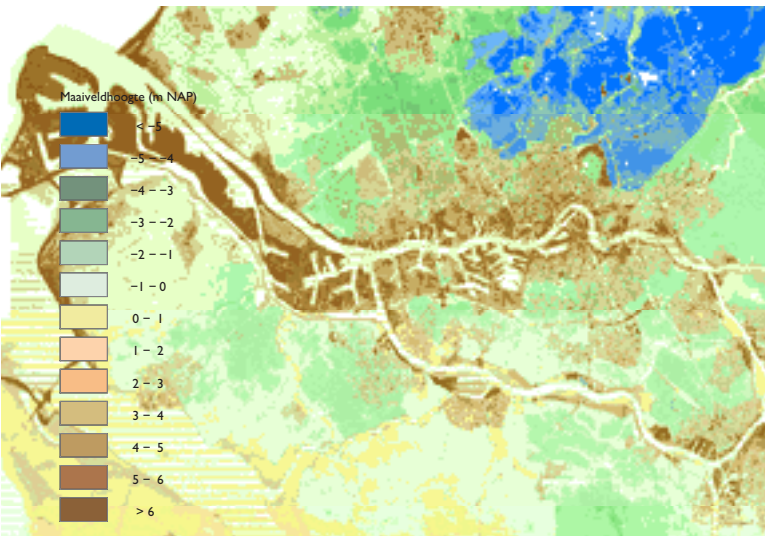
RESULTAAT: Er is in totaal 1160 hectare nodig om de toekomstige én bestaande problemen op te lossen. Dit betekent een procentuele toename van open water van 70% ten opzichte van de huidige situatie. Er zijn sterke lokale verschillen.

Brandweermeldingen in verband met wateroverlast

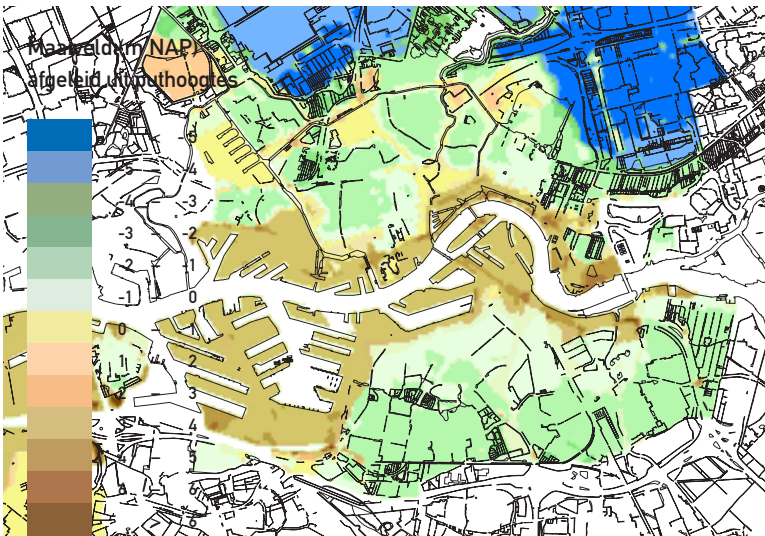
na extreme neerslag in 2001 geprojecteerd op ingesloten laagtes in het openbaar gebied. Deze gebieden zijn gevoelig voor wateroverlast bij neerslagpieken



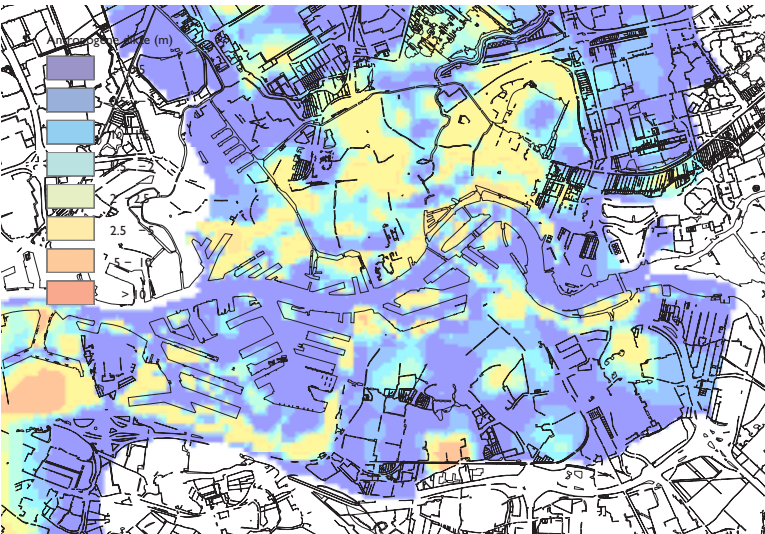
MAAIVELDHOOGTE



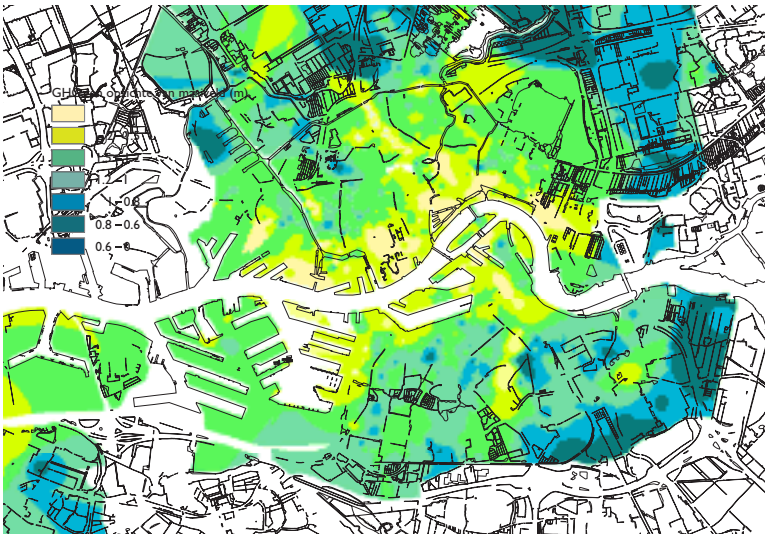
MAAIVELDHOOGTE (IN NAP)AFGELEID UIT PUTHOOGTES



GEMIDDELDE HHOOGSTE GRONDWATERSTAND



GEMIDDELDE LAAGSTE GRONDWATERSTAND



KWEL/WEZIJGING



GEBIEDEN DIE ONDER VRIJ VERVAL KUNNEN AFWATEREN OP BOEZEM



MAAIVELDHOOGTE: De hoogte-
ligging van het maaiveld en vooral
de verschillen in hoogte bepa-
len mede de dynamiek van het
oppervlaktewater. In stedelijke
gebieden zullen zich in de lager
gelegen delen eerder knelpunten
voordoen die te maken hebben met
wateroverlast. Ook is er een relatie
tussen hoogteligging en de grond-
waterstand. In het algemeen zal de
grondwaterstand hoger zijn in lage
delen, waardoor er daar eerder
grondwateroverlast optreedt. Voor
gebieden buiten het door dijken en
duinen beschermd gebied bepaalt
de hoogteligging de kans op over-
stromingen vanuit het westen.

KAARTBEELD: Er zijn twee kaarten met
maaiveldhoogte. Eén kaart van de regio en
één kaart van Rotterdam binnen de Ruit. De
kaart van de regio is gebaseerd op het Actueel
Hoogtebestand Nederland. In dit bestand is
bebouwing niet gefilterd. Witte vlekken zijn
'no data'. Vaak betreft dit water, maar soms
ook gebieden met een dichte, en relatief hoge
begroeiing. De kaart van Rotterdam binnen de
Ruit is gebaseerd op de hoogtes van rioolput-
deksels. Deze kaart geeft alleen gegevens voor
gebieden die zijn aangesloten op de riolering.

Belangrijke karakteristieken van het landschap
zijn terug te vinden in de kaarten. Het veen-
weidegebied is overwegend groen gekleurd. De
diepe polders (oude droogmakerijen) zijn voor-
al blauw van kleur en de hoger gelegen delen
langs de Nieuwe Maas zijn bruin gekleurd. Het
is goed te zien dat de buitendijks gelegen ge-
bieden relatief hoog liggen. Het oude centrum
van Rotterdam ligt duidelijk hoger dan de rest
van Rotterdam en bij de Maasvlakte, richting
het westen, neemt als gevolg van antropogene
ophoging de hoogte toe. Tevens is op de kaart
voor de regio het verkavelingspatroon en de lig-
ging van de waterlopen goed te zien.

BRON: De gegevens uit het AHN (Actueel
Hoogtebestand Nederland) hebben een reso-
lutie van 5 x 5 m en de nauwkeurigheid is 10
cm, met een standaard deviatie van 15 cm.
Gegevens zijn ingewonnen in 2002/2003 en de
gegevens zijn weergegeven in cm t.o.v. NAP.

De gegevens van de rioolputdeksels zijn op
ongeveer 10 cm nauwkeurig, maar hebben
een veel lagere punt dichtheid dan het AHN en
zijn soms gedateerd. Daarentegen is er geen
invloed van vegetatie en huizen die het beeld
kunnen verstoren.

**GEMIDDELD HOOGSTE GROND-
WATERSTAND:** De Gemiddeld
Hoogste Grondwaterstand (GHG) is
bepalend voor de geschiktheid van
het gebied voor verschillende func-
ties. Zo stelt grasland andere eisen
dan woningbouw. Voor woning-
bouw moet de GHG ten minste 70
cm beneden maaiveld liggen. Deze
kaart is ook van belang wanneer
men water wil 'vasthouden' door
het te laten infiltreren. In gebieden
met een relatief hoge grondwa-
terstand zal hierdoor de kans op
(grond)wateroverlast toenemen.

KAARTBEELD: In de gebieden met een blauwe
kleur komt de GHG binnen 1 m van het maaiveld.
Dit zijn gebieden waar het niet verstandig
is extra water te infiltreren. Verder valt op dat
de GHG in de buitendijks gelegen gebieden
en in het oude centrum relatief diep is ten
opzichte van maaiveld.
Overigens is gebleken dat er in Rotterdam lang
niet altijd een directe relatie bestaat tussen
de gebieden met (grond)wateroverlast en een
hoge GHG. Dit wordt waarschijnlijk verklaard
doordat de bodem erg heterogeen van aard is.

BRON: De kaart met de GHG is gemaakt door
gegevens van peilbuizen te vertalen naar een
gebiedsdekkende kaart. GHG is een statisti-
sche maat voor de hoogte van de grondwater-
stand. Het gaat om het gemiddelde van de drie
natste waarnemingen over de afgelopen tien
jaar.

**GEMIDDELD LAAGSTE GROND-
WATERSTAND:** De Gemiddeld
Laagste Grondwaterstand (GLG)
bepaalt tezamen met de GHG de
dynamiek in de grondwaterstand.
Indien de grondwaterstand in een
gebied lager is dan in het omrin-
gende gebied bestaat de kans dat
de (zoute)kwelstroom toeneemt. In
gebieden met een lage grondwater-
stand bestaat, afhankelijk van het
bodemtype, tevens de mogelijk om
water te infiltreren. Met het oog op
de stabiliteit van vooral de secun-
daire waterkeringen zijn veen-
gebieden met een relatief groot
verschil tussen GHG en GLG extra
kwetsbaar voor dijkdoorbraken.

KAARTBEELD: Het patroon van de GLG komt
overeen met het patroon in de kaart met de
GHG. Gemiddeld is de GLG 30 cm lager dan de
GHG. Vooral in het uiterste noorden van het ge-
bied kunnen de verschillen oplopen tot 80 cm.

BRON: De kaart met de GLG is gemaakt door
gegevens van peilbuizen te vertalen naar een
gebiedsdekkende kaart. GLG is een statistische
maat voor de laagste grondwaterstand. Het
gaat om het gemiddelde van de drie laagste
waarnemingen over de afgelopen tien jaar.

ANTROPOGENE DIKTE: De dikte van
de antropogene laag zegt iets over
de mate waarin het gebied is opge-
hoogd. Ophoging vindt vooral plaats
om ervoor te zorgen dat de bewo-
ners 'droge voeten' houden.

KAARTBEELD: In Rotterdam is de mate van
ophoging vooral afhankelijk van twee factoren.
De natuurlijke maaiveldhoogte en het tijdstip
van ontwikkeling van het gebied. Recenter ont-
wikkelde gebieden zijn veelal meer opgehoogd.

BRON: Gegevens aangeleverd door Gemeente-
werken Rotterdam

Naar zes grote waterdistricten

DE WATEROPGAVE VOOR DE MASTERCASE

De huidige indeling van het watersysteem in vele kleine bemalingsgebieden heeft een negatief effect op de flexibiliteit en het reactievermogen van het oppervlaktewaterstelsel. Daarom wordt voorgesteld om het watersysteem aan te passen en voortaan uit te gaan van zes grote waterdistricten. Dit is de basis voor de exacte wateropgave die het uitgangspunt is voor het ontwerp tijdens de Mastercase. Bij bepaling van deze opgave wordt vooruit voorgesorteerd op een aantal ontwerpkeuzes.

Extreem droog ~ De voorgaande berekeningen voor seizoensberging gaan ervan uit dat in de toekomst niet alleen watertekorten worden aangevuld, maar dat met het oog op de waterkwaliteit ook nog steeds wordt doorgespoeld. Voor bepaling van de opgave is de huidige doorspoelbehoefte als het ware vertaald naar de toekomst.

In de Mastercase wordt ervan uitgegaan dat in extreem droge periodes niet wordt doorgespoeld, maar dat uitsluitend het tekort dat ontstaat als gevolg van een toename van de verdamping wordt aangevuld. De opgave voor extreem droge tijd is om dertig dagen verdamping zonder neerslag te overbruggen. Om tot een ontwerpopgave te komen is als uitgangspunt genomen dat al het verdampte water wordt aangevuld vanuit seizoensberging.

VOOR DE BEREKENINGEN ZIJN DE VOLGENDE
UITGANGSPUNTEN GEHANTEERD:

- Droge periode van 30 dagen
- Wateroppervlak verdampt 5 mm/etmaal en onverhard oppervlak 2.5 mm/etmaal
- Er is geen rekening gehouden met extra doorspoelbehoefte als gevolg van de toename van zoute kwel
- Met doorspoeling is geen rekening gehouden, aangezien in droge situatie met name water wordt ingebracht om het waterpeil op hoogte te houden

- Seizoensberging kan een peilverschil hebben van 0,5 m. In dit peilverschil zit ook de autonome verdamping van de seizoensberging zelf.

RESULTAAT: In Noord is een behoefte van ongeveer 600.000 m3 water. Dit komt overeen met een plas van 170 hectare. In Zuid is een behoefte van ongeveer 1.050.000 m3 water. Dit komt overeen met een plas van ongeveer 300 hectare.

Extreem nat ~ De voorgaande rekenoefeningen met piekbuien van 9 mm en 22 mm geven een eerste indruk van de mogelijke ruimtelijke opgave om wateroverlast in de stad te voorkomen. Het rioolstelsel is in Rotterdam verweven met het oppervlaktewatersysteem. Daarom is ervoor gekozen de maatgevende bui te laten bepalen door een reeks van buien die eens in de honderd jaar voorkomt. Hierbij is ervan uit gegaan dat naast de toekomstige problemen ook de huidige problemen worden opgelost. Vooruitlopend op de oplossing is bij deze berekening rekening gehouden met het behoud van het rioolstelsel in sommige waterdistricten. Het riool voert dan alleen regenwater af. Het afvalwater wordt echter niet meer vermengd met regenwater. Ook wordt vooruit gelopen op de ontwerpkeuze om een groot deel van de daken te voorzien van sedumbegroeiing en dat hierin een deel van het regenwater tijdelijk geborgen wordt. De uitkomsten zijn op kaart en in de tabel weergegeven in het aantal hectare benodigde piekberging per waterdistrict. In de tabel staat een aantal verschillende mogelijke oplossingen weergegeven waarbij de maatgevende oplossing per district gearceerd is.

- De toelaatbare peilstijging van het oppervlaktewater is in Noord 1 m, in Kralingen 0,30 m en in Zuid 0,65 m. Dit zijn gemiddelden over dat gebied.
- Het rioolstelsel in Noord is qua regenberging gehandhaafd. In de andere gebieden is van een verbeterd gescheiden stelsel uitgegaan.
- In de berekening wordt rekening gehouden met 50% van de daken sedum bezit en dat deze sedumdaken 50 mm berging hebben waarna al het regenwater tot afstroming komt.
- Het toekomstig rioolstelsel zal een verbeterd gescheiden stelsel (vgs) zijn met 4 mm berging en 0.3 mm/uur regenwater pompcapaciteit (poc)
- Oppervlaktewater bemalingscriterium is 18 mm/etmaal.
- Er wordt geen rekening gehouden met extra bergingsbehoefte als gevolg van problemen als grondwateroverlast, extra riooloverstorten e.d.

RESULTAAT: In de tabel staat het aantal hectare watergang dat moet worden aangebracht. De oplossing hoeft echter niet allen in het graven van water te liggen. Andere mogelijkheden zijn de sedumdaken, droge pleinen of sportvelden die onder water worden gezet.

UITLEG TABEL: In de tabel staan een aantal mogelijk oplossingen weergegeven, uitgedrukt in hectare oppervlaktewater. In de tabel is de huidige hoeveelheid oppervlaktewater weergegeven in een waterdistrict met daarnaast de hoeveelheid oppervlaktewater dat in 2005 volgens de normen eigenlijk al aanwezig had moeten zijn. De toekomstige situatie is doorgerekend in vier mogelijke oplossingen. Dit geeft een indicatie van de verschillende ruimtelijke effecten van de mogelijke oplossingen. Van de vier mogelijke oplossingen zijn de maatgevende weergegeven per waterdistrict. Hierbij is voorgesorteerd naar de oplossing.

[illegible]