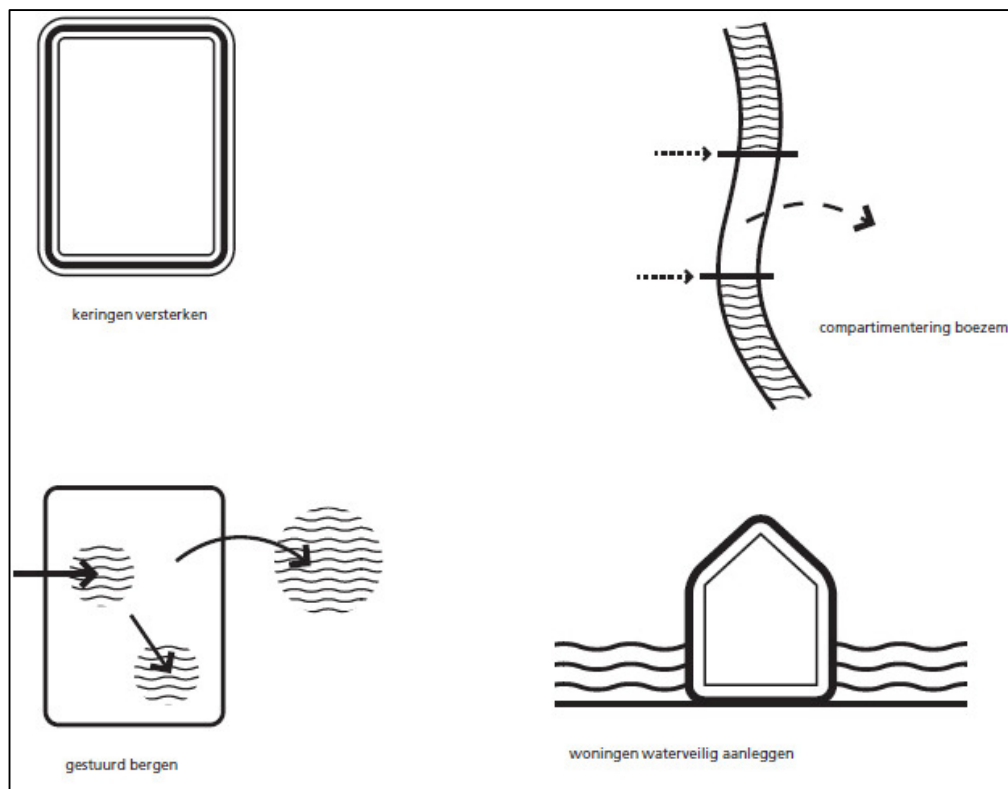


Regionale keringen Rotterdam

Overstromingsrisico's en strategieën



Colofon

Datum Augustus 2014

Auteurs: Nick van Barneveld (gemeente Rotterdam)
Hans de Moel (Vrije Universiteit Amsterdam)
Anne Weeda (gemeente Rotterdam)

Dit rapport is mede tot stand gekomen door samenwerking met en met dank aan:

Gemeente Rotterdam afdeling Water
Gemeente Rotterdam afdeling Stadsontwikkeling
Gemeente Rotterdam Ingenieursbureau

Hoogheemraadschap van Delfland
Waterschap Hollandse Delta
Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard
Provincie Zuid-Holland
Must Stedenbouw
Nelen & Schuurmans

Jason Zondag
Pieter de Greef & Peter van Veelen
Martin de Vries & Karel Hulsbos, Ria
van der Zaag
Marieke Alberts
Hans Waals & Yde Bruinsma
Rob Taffijn & Douwe Yska
Sandra Fraikin & Pieter-Jan Hofman

Financieel is bijgedragen door:

Gemeente Rotterdam
TURAS (EU project Transitioning towards Urban Resilience and Sustainability)
Kennis voor Klimaat (workshop Strategieën. Onderdeel van HSRR3.5)
Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard (overstromingsmodel)





Samenvatting

Het programma Rotterdam Climate Proof en het Waterplan Rotterdam richten zich op het klimaatbestendig maken van de stad en haar omgeving. In dat kader is voor het thema waterveiligheid onderzoek verricht naar de klimaatbestendigheid van de regionale waterkeringen. Een andere aanleiding voor het onderzoek naar de regionale keringen is de constatering dat een overstroming van een verstedelijkte polder als Zestienhoven-Schiebroek 1,6 miljard schade zou bedragen, ver boven de strengste klassegrens voor de regionale dijksterkte.

Verschillende factoren hebben invloed op de toekomstige overstromingsrisico's van de regionale keringen: klimaat, bodemdaling en socio-economische ontwikkeling. Strategieën vanuit het Waterplan Rotterdam (o.a. aanleg waterbergingen, groene daken, etc) zijn reeds in gang gezet en lijken voldoende effectief om de lange termijn opgaven vanuit klimaat te ondervangen.

Een gedetailleerde gevolgenanalyse voor de polder Zestienhoven-Schiebroek heeft een significant lager bedrag voor de schade opgeleverd (ruim 300 miljoen euro). Er zijn echter ook belangrijke categorieën nog niet meegenomen zoals schade door uitval van scheepvaart, schade aan het boezemsysteem en schade door uitval van infrastructuur (snelweg en spoor). Deze categorieën kunnen het totale schadebedrag nog fors verhogen. Toch lijkt een 'bijstelling van de huidige norm of klassegrenzen' voor de regionale kering niet direct noodzakelijk.

De overstromingsrisico's vanuit de regionale keringen zijn zodanig laag dat de kans op overlijden door overstroming kleiner is dan 1/100.000ste/jaar. Daarmee is in feite sprake van basisveiligheid - het nieuwe beleidsdoel voor de primaire keringen.

Er zijn verschillende strategieën mogelijk om de overstromingsrisico's in polders te beheersen: o.a. versterking van de waterkering, gestuurd bergen, compartimentering, evacueren van personen. Maatregelen zoals het wetproof aanleggen van nieuwbouw of het combineren van de snelwegverbinding A13/A16 met een waterkerend element zijn oplossingen die meer integrale en ruimtelijke kansen bieden. Een relatief eenvoudige maatregel lijkt echter op basis van praktische overwegingen en kosten veel effectiever en doelmatiger: het afdammen van het boezemstelsel na een dijkdoorbraak. Voor polder Zestienhoven-Schiebroek lijkt de keuze voor een maatregel op het niveau van het watersysteem daarmee het investeren in de 2^e laag van meerlaagsveiligheid - zoals het adaptief aanleggen van nieuwbouw - te ondermijnen. In polders met een lager veiligheidsniveau zouden 2^e-laag maatregelen mogelijk wel kosteneffectief kunnen zijn.

Vanuit de meerlaagse risicobenadering wordt aanbevolen om de specifieke gevolgen voor vitale infrastructuur en voorzieningen (snelwegen, elektriciteitsnetwerk, ziekenhuizen e.d) beter te begrijpen, af te wegen en indien nodig te reduceren ter voorkoming van grootschalige maatschappelijk ontwrichting. Een belangrijke kennisvraag is tevens of een overstap van overschrijdingskansen naar overstromingskansen (zoals bij de primaire keringen) leidt tot nieuwe inzichten cq andere doorbraakkansen van de regionale keringen en misschien zelfs andere strategieën.



Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doel	7
1.3 Leeswijzer	7
2 Systeembeschrijving	8
2.1 Het ontstaan van Rotterdam	8
2.2 Het watersysteem	9
2.2.1 Boezemsystemen	9
2.2.2 Regionale keringen	11
2.3 Normstelsel van regionale waterkeringen	12
3 Effecten op het overstromingsrisico in de toekomst	15
3.1 Factoren die het overstromingsrisico beïnvloeden	15
3.2 Klimaat	15
3.3 Socio-economische ontwikkelingen	17
3.4 Bodemdaling	18
4 Integrale overstromingsrisicoanalyse Zestienhoven-Schiebroek	20
4.1 Doel casestudie	20
4.2 Polder Zestienhoven-Schiebroek	20
4.3 Bestaande schattingen directe schade	22
4.4 Nieuwe schattingen directe schade	22
4.5 Slachtoffers	25
4.6 Overige gevolgen bij overstroming	26
4.7 Totale schade overstroming	29
5 Effecten van ruimtelijke ontwikkelingen op overstromingsrisico's Zestienhoven-Schiebroek	30
5.1.1 Nieuwbouw Park Zestienhoven	30
5.1.2 Snelwegverbinding A13-A16	30
6 Strategieën Zestienhoven-Schiebroek	32
6.1 Inleiding	32



6.2	Strategie 1. Waterkering versterken	33
6.3	Strategie 2: Gestuurd bergen	34
6.4	Strategie 3: Compartimentering van de polder	35
6.5	Strategie 4: Compartimentering boezem	36
6.6	Strategie 5: Aanpassingen op gebouwniveau	37
6.6.1	Maatregelen	37
6.6.2	Indicatie van kosten-baten bij aanpassing nieuwbouw	37
7	Conclusie en aanbevelingen	40
	Literatuur	42
	Bijlage 1: Gevolgenanalyse overstrooming Zestienhoven-Schiebroek	44



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het programma Rotterdam Climate Proof en het Waterplan Rotterdam richten zich op het klimaatbestendig maken van de stad en haar omgeving. Voor het thema waterveiligheid is er de afgelopen jaren een sterke focus geweest op de klimaatbestendigheid van de primaire keringen en het buitendijks gebied alsmede potentiële oplossingen voor geconstateerde opgaven. In Rotterdam bevinden zich naast primaire waterkeringen verschillende binnendijks gelegen, regionale waterkeringen. Deze keringen beschermen de dieper gelegen polders over het algemeen voor overstromingen vanuit boezemwatergangen.

Rond de overstromingsrisico's van regionale keringen bestaan nog veel vragen. Welke risico's (schade, slachtoffers) lopen de gebieden die door deze keringen worden beschermd? Is het geboden beschermingsniveau acceptabel? Hoe klimaatbestendig zijn de regionale keringen en welke effecten sorteren lange termijn socio-economische ontwikkelingen op de overstromingsrisico's? Welke (meerlaagse) strategieën zijn mogelijk om overstromingsrisico's te (blijven) beheersen, en zijn die ook noodzakelijk?

De Provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, het Hoogheemraadschap van Delfland en het Waterschap Hollandse Delta, de Vrije Universiteit Amsterdam en de afdelingen Watermanagement en het Ingenieursbureau van de gemeente Rotterdam hebben deze witte vlek in de adaptatiestrategie nu opgevuld door middel van een onderzoek naar de lange termijn opgave voor regionale waterkeringen in Rotterdam.

1.2 Doel

Doel van het onderzoek is tweeledig:

1. het inzichtelijk maken van de huidige en toekomstige overstromingsrisico's van regionale waterkeringen in Rotterdam en
2. het uitwerken van mogelijke strategieën om de overstromingsrisico's ook in de toekomst op een maatschappelijk acceptabel niveau te houden.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat over de huidige situatie van de regionale keringen in Rotterdam, daarna worden in hoofdstuk 3 toekomstige ontwikkelingen besproken die effect kunnen hebben op het overstromingsrisico in de toekomst. In de hoofdstukken 4 worden de huidige overstromingsrisico's van casestudiegebied Polder Zestienhoven-Schiebroek breed beschouwd. In hoofdstuk 5 wordt dit aangevuld met de effecten die ruimtelijke ontwikkelingen sorteren op het overstromingsrisico. Strategieën die kunnen helpen om het overstromingsrisico te verkleinen worden behandeld in hoofdstuk 6. Het rapport sluit af met hoofdstuk 7 Conclusies en aanbevelingen.

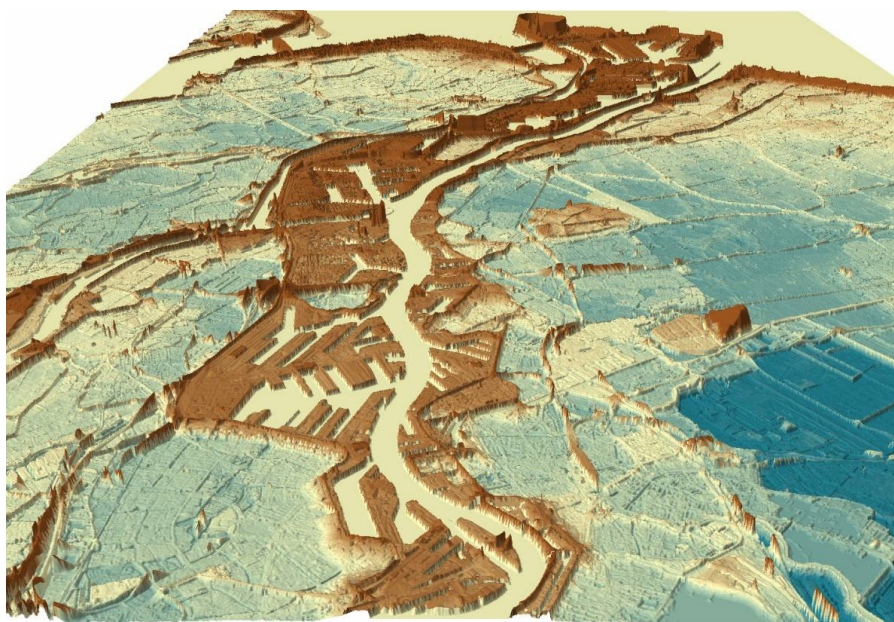
2 Systeembeschrijving

2.1 Het ontstaan van Rotterdam

Rotterdam ontstond in de 13^e eeuw bij een dam die in de rivier de Rotte werd gelegd. Via polderontwikkeling werd het grondgebied van Rotterdam voortdurend in stappen bewoonbaar gemaakt en uitgebreid. In de 19^e eeuw was de waterkwaliteit in Rotterdam zeer slecht. Het oppervlakte water in de stad diende als open riool, maar ook als drinkwatervoorziening, met als gevolg cholera-epidemieën. Reden om voor het eerst systematisch te kijken naar het watersysteem van Rotterdam. Willem Nicolaas Rose ontwierp in 1854 een betaalbaar plan dat zowel de hygiëne als de ruimtelijke inrichting van de stad ten goede kwam. In dit plan zorgden een systeem van gemalen, sluizen, duikers en een dertig kilometer lang singeltracé om de oude stad voor regelmatige verversing van het oppervlaktewater. Hoewel verschillende singels inmiddels gedempt zijn (Coolsingel, Goudsesingel), zijn de singels van Rose nog steeds kenmerkend voor de noordkant van de stad.

Rotterdam-Zuid ontwikkelde zich versneld toen de haven eind negentiende eeuw werd uitgebreid. Het watersysteem in deze kant van de stad kenmerkte zich door een waterpeil dat vrijwel in het hele gebied gelijk was en nog steeds is.

Op de 3D hoogtekaart van Rotterdam (figuur 2.1) is te zien dat de laagst gelegen gebieden in Rotterdam zich aan de noordoostkant van de stad bevinden. Het betreft voormalige veengebieden en droogleggingen. Het gaat hier vooral om polders in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard. De huidige polders wateren via gemalen af naar het hogergelegen boezemsysteem van bijvoorbeeld Rotte en Schie. Langs het boezemwater liggen de regionale keringen. Deze bevinden zich dan ook met name aan de noordkant van de stad.

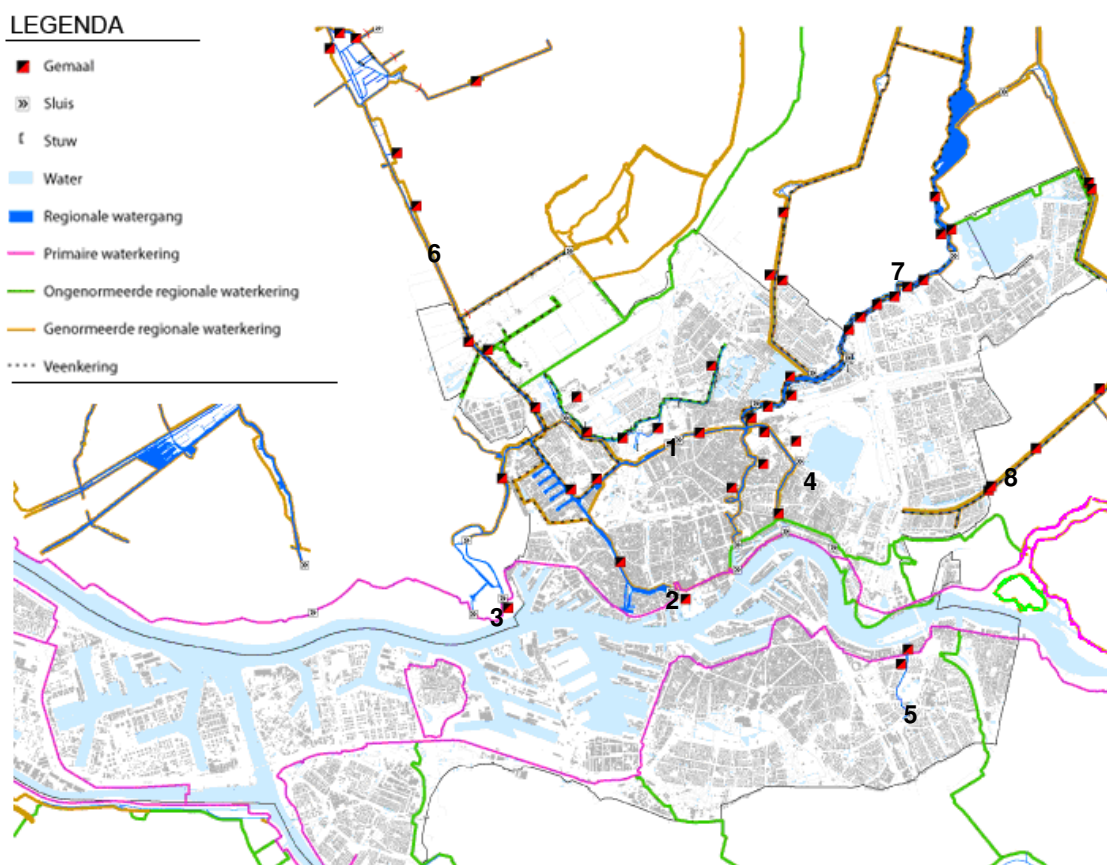


Figuur 2.1 Hoogtekaart van Rotterdam (rechts noord, links zuid)

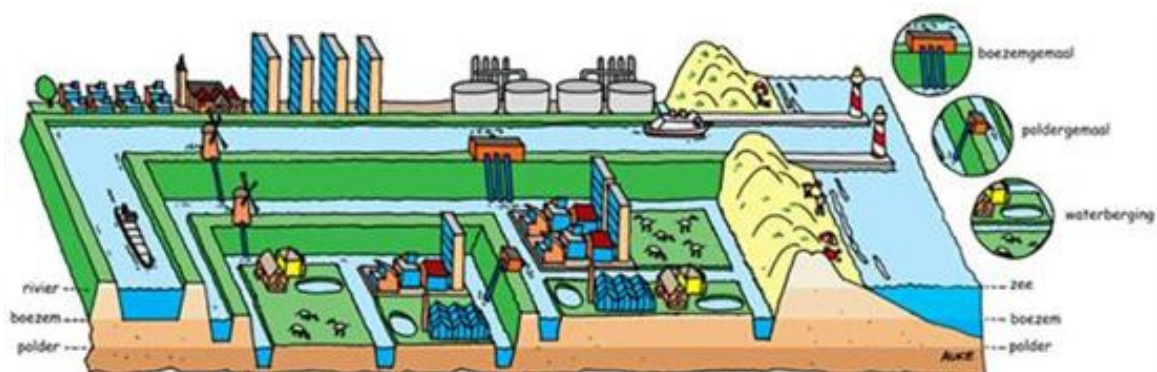
2.2 Het watersysteem

2.2.1 Boezemsystemen

In figuur 2.2 is het systeem van regionale watergangen in Rotterdam weergegeven. De boezemwateren hebben de functie om het overtollige water van de omliggende polders af te voeren om wateroverlast te voorkomen. In tijden van droogte kan water uit de boezemwateren in de polders worden gebracht (Figuur 2.3). De regionale watergangen die zich in en rondom Rotterdam bevinden zijn de Rotte, de Kreekse Boezem en de Schie, welke onderdeel uitmaakt van het Rijn-Schiekanaal. Daarnaast vallen ook gedeeltes van de vaart van de polder Bleiswijk en van de Ringvaart binnen de gemeentegrenzen van Rotterdam. De Schie en de Rotte zijn door een sluis in het Noorderkanaal (1) met elkaar verbonden. In Rotterdam-Zuid bevindt zich de Kreekse Boezem. Naast de regionale watergangen bevinden zich ook nog enkele grote waterlichamen in Rotterdam: de Kralingse Plas, de Bergsche Plassen, de Zevenhuizerplas en de Rottemeren (onderdeel Rotte).



Figuur 2.2 Regionaal watersysteem Rotterdam (1. Bergsluis, 2. Parksluizen, 3. Schiegemaal, 4. Gemaal Schilthuis, 5. Kreekse Boezem, 6. Schie, 7. Rotte, 8. Ringvaart)



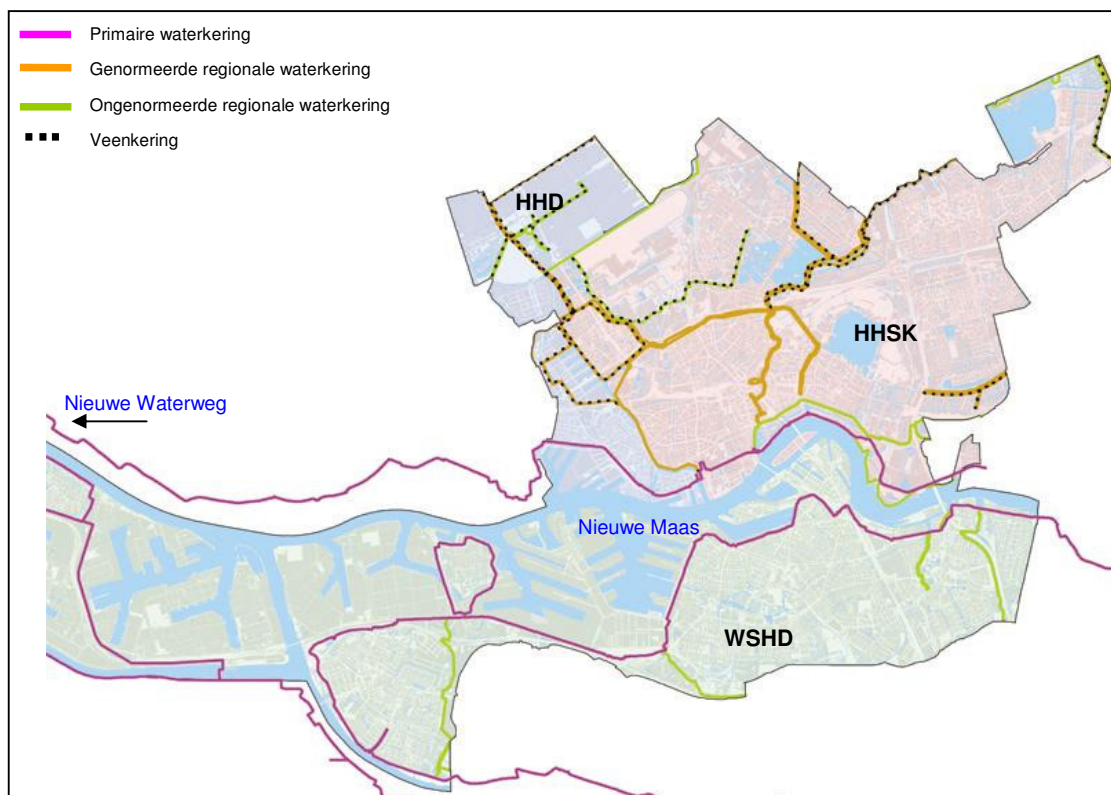
Figuur 2.3 Schets van de waterstaatkundige inrichting van rivier-, polder- en boezemsystemen. In West-Nederland liggen de polders veelal beneden zeeniveau waardoor overtollig water via diverse gemalen opgepompt wordt en afgevoerd naar zee. (Internetsite Hoogheemraadschap van Delfland)

In onderstaande tabel zijn lengtes, volumes en waterpeilen van de boezemwateren in en rond Rotterdam gegeven. Opvallend is dat de boezem in Delfland één systeem is met één peil over 225 km.

Tabel 2.1 Lengtes, waterpeilen en volumes boezemsystemen

Boezemsysteem	Lengte (km)	Waterpeil (to.v. NAP)	Watervolume (m ³)
Boezemsysteem HH van Delfland	225	-0,43 m	15.558.000
Boezemsysteem HH van Schieland en de Krimpenerwaard	85,5		
• Rotte	22	-1,02 m	4.248.000
• Ringvaart	34	-2,15 m	
Boezemsysteem Ws Hollandse Delta			
• Kreekse Boezem	Ca. 2	-0,90 m	

2.2.2 Regionale keringen



Figuur 2.4 Waterkeringen en Waterschappen in Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2012)

De (genormeerde) regionale keringen beschermen het binnendijkse gebied van overstromingsgevaar uit binnenwateren zoals de Schie en de Rotte. De meeste regionale keringen in Rotterdam bevinden zich aan de noordkant van de stad in de beheersgebieden van Hoogheemraadschappen van Delfland en van Schieland en de Krimpenerwaard (zie Figuur 2.4). Vaak hebben deze keringen naast een beschermende functie ook nog andere functies. Zo bevinden zich hier verkeersroutes, tuinen, maar ook woningen en kantoren (Figuur 2.5). Een deel van de (genormeerde) waterkeringen aan de noordkant van de stad bestaat uit oude veendijken.



Figuur 2.5 Medegebruik van waterkeringen op diverse locaties in Rotterdam (Bron: gisweb en google maps)

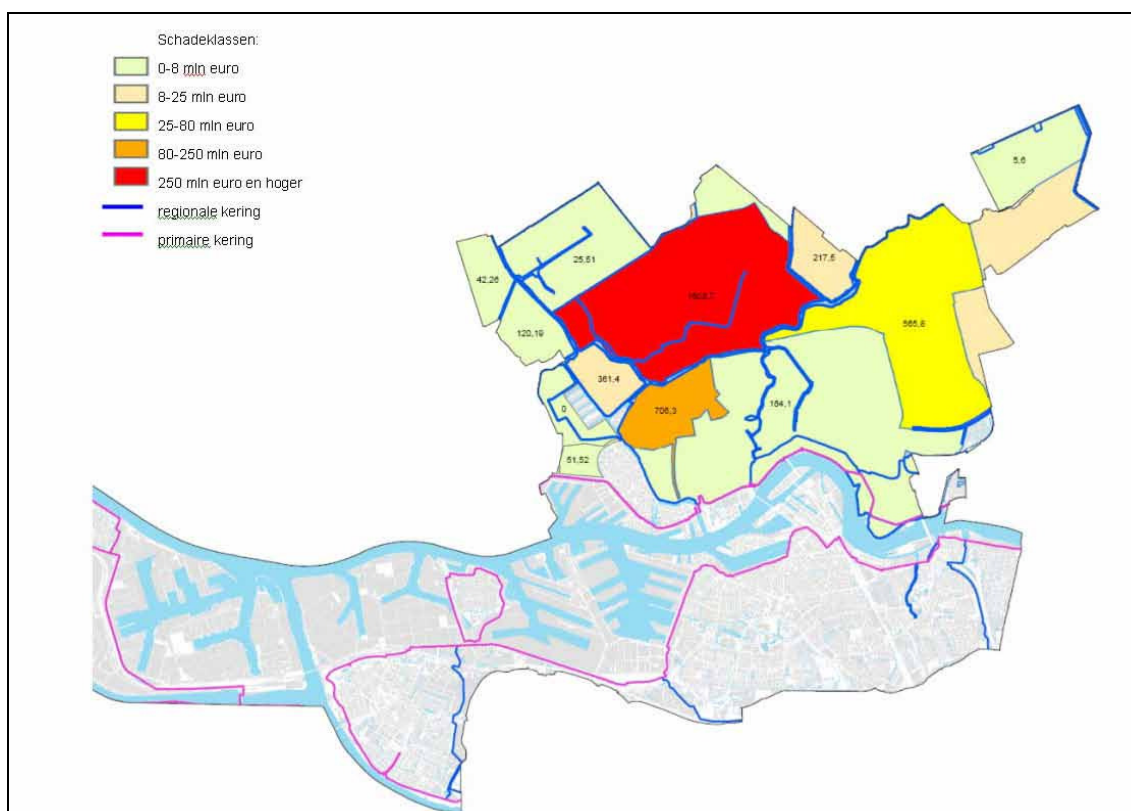
2.3 Normstelsel van regionale waterkeringen

De provincie bepaalt de normen voor de regionale waterkeringen en legt deze vast in provinciale waterverordeningen. Dat is nog niet voor alle regionale waterkeringen in Rotterdam gebeurd; in het beheersgebied van waterschap Hollandse Delta loopt nog een onderzoek naar de aanwijzing en normering van de regionale waterkeringen (Rotterdam, 2013).

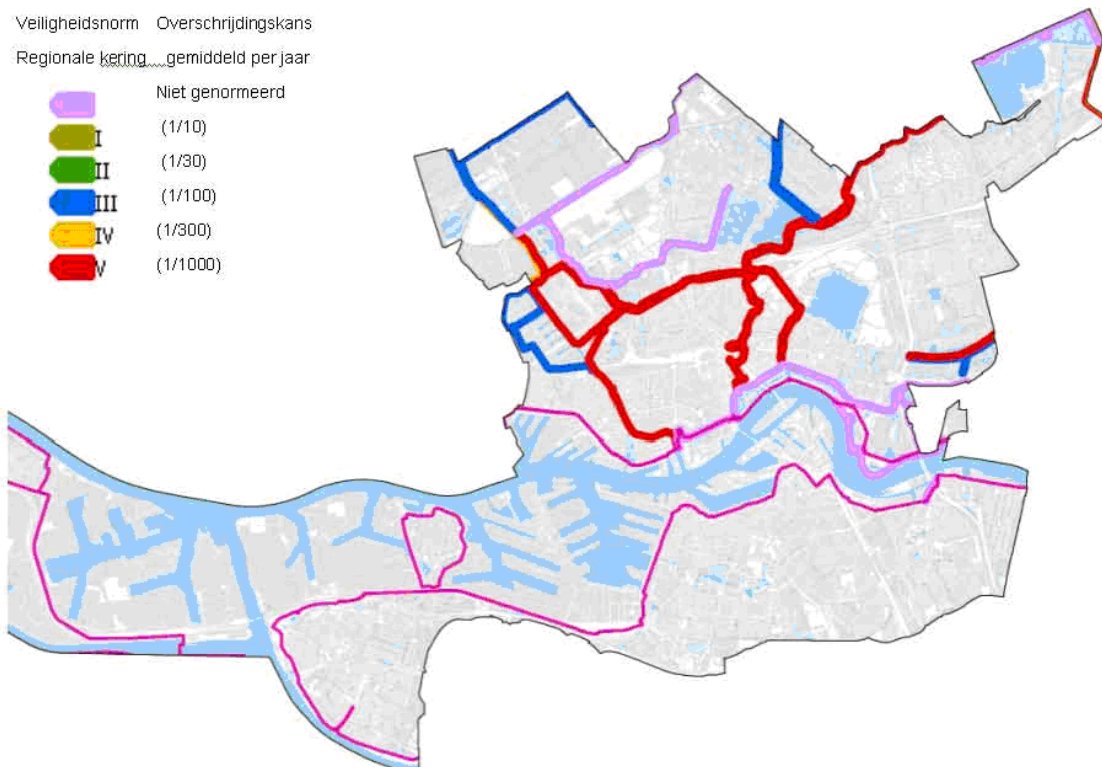
De regionale waterkeringen zijn op basis van de mogelijke optredende schade in een aantal klassen ingedeeld oplopende van een overschrijdingskans van 1/10 tot 1/1000 per jaar (zie Tabel 2.2). Deze aanpak resulteert in een strengere norm voor die keringen waarvan de gevolgen van een mogelijk falen groter zijn. Hierbij is de overschrijdingskans gedefinieerd als de kans van voorkomen van een bepaalde waterstand, waarbij de kering nog niet faalt (STOWA, 2008).

Tabel 2.2 Normering van regionale keringen (STOWA, 2008)

Klasse	Veiligheidsnorm	Gevolgschade voor de klasse [mln. Euro]	Frequentie van de maatgevende rivierwaterstand voor bepaling gevolgschade
I	1/10	< 8	1/10
II	1/30	8 - 25	1/30
III	1/100	25 - 80	1/100
IV	1/300	80 - 250	1/300
V	1/1.000	>250	1/1.000



Figuur 2.6 Schadeklassen (gebaseerd op: Provincie Zuid-Holland, 2012)



Figuur 2.7 Normen regionale keringen Rotterdam (gebaseerd op: Provincie Zuid-Holland, 2012)

Op de waterschadekaart van Rotterdam-Noord (Figuur 2.6) is te zien welke overstromingsgebieden zijn onderscheiden bij het normeren van de regionale keringen en in welke schadeklassen deze gebieden vallen. Deze kaart is de basis voor de vastgestelde normering van regionale keringen. De waterschadekaart is gebaseerd op economische waarden uit het jaar 2004 en een zogenaamd bakjesmodel, waarbij wordt uitgegaan van een gemiddeld hoogtepil binnen een overstromingsgebied. De vastgestelde normen voor de keringen zijn opgenomen in Figuur 2.7.

Vooraf in Overschie is de schade bij een doorbraak van de regionale kering hoog. Deze is zelfs vele malen hoger dan de schade zoals die gedefinieerd is in de hoogste schadeklasse, namelijk 1600 miljoen euro (terwijl de grens van de klasse ligt op 250 miljoen euro). Het centrum van de stad zal weinig schade ondervinden van een mogelijke doorbraak van een regionale kering (schades kunnen hier vooral groot zijn bij een doorbraak van de primaire waterkeringen die het centrum van de stad tegen het water van de Nieuwe Maas beschermen).

Rotterdam-Zuid ligt relatief hoog ten opzichte van het boezempeil in vergelijking met Rotterdam-Noord. Het waterschap Hollandse Delta verwacht bij een doorbraak van een regionale kering een maximale waterdiepte van 20 cm. Het normeren van compartimenteringskeringen is voor Rotterdam-Zuid wel een relevant vraagstuk. Momenteel wordt met de provincie aan de normering van compartimenteringskeringen gewerkt.

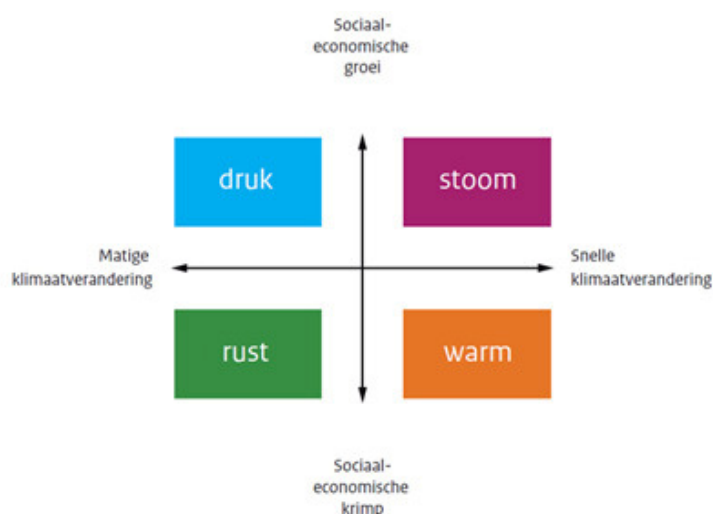
3 Effecten op het overstromingsrisico in de toekomst

3.1 Factoren die het overstromingsrisico beïnvloeden

Er zijn verschillende factoren die van invloed zijn op de overstromingsrisico's van regionale waterkeringen in de toekomst. In dit hoofdstuk worden de drie belangrijkste factoren toegelicht:

1. Klimaat;
2. Bodemdaling;
3. Socio-economische ontwikkelingen.

Omdat de ontwikkeling van deze factoren niet exact te voorspellen is, wordt gewerkt met scenario's (Figuur 3.1).



Figuur 3.1 Deltascenario's (Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, 2011)

3.2 Klimaat

Om te anticiperen op mogelijke klimaatveranderingen zijn in het Deltaprogramma verschillende toekomstscenario's voor het klimaat opgesteld. Deze zijn gebaseerd op de KNMI-2006 klimaatscenario's en gaan uit van twee uiterste mogelijkheden als het gaat om klimaat:

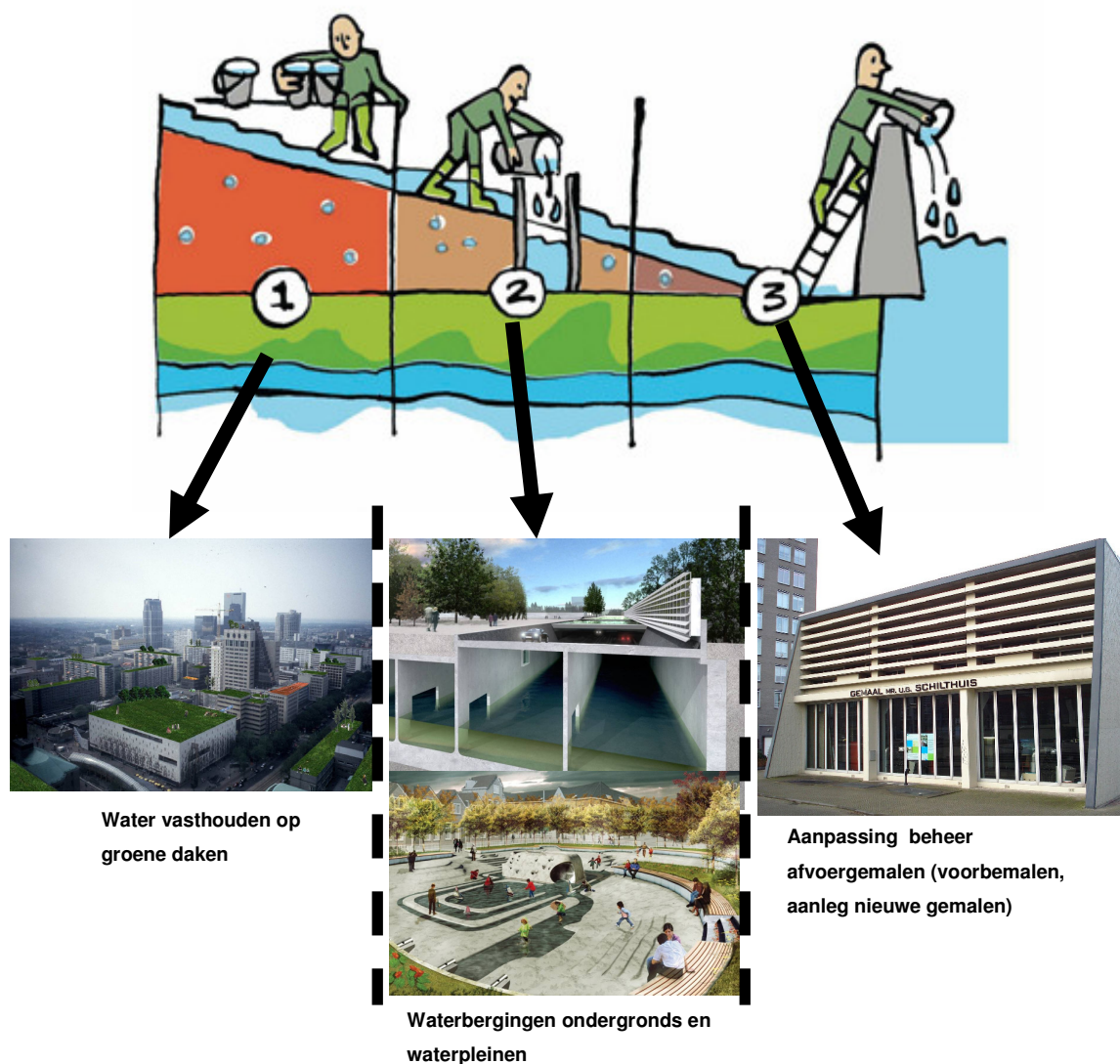
1. Langzame klimaatverandering;
2. Snelle klimaatverandering.

Deltascenario's Druk en Rust gaan uit van een matige klimaatverandering. De scenario's Warm en Stoom gaan uit van een snelle klimaatverandering (Figuur 3.1). In elk scenario wordt uitgegaan van vaker voorkomende en grotere wateroverlast, vooral als gevolg van extreme weerssituaties. Hierbij is sprake van een toename van extreme hoeveelheden neerslag en van toename van droge periodes (Bruggeman, 2011).

Gevolgen voor Rotterdam

Door de toename van neerslag zou er meer water via de boezem moeten worden afgevoerd. Zonder extra maatregelen zou de kans op wateroverlast op straat en een eventuele dijkdoorbraak toenemen. Dit speelt vooral in Rotterdam-Noord, op Zuid is de opgave minder groot. In de herijking van het

Waterplan Rotterdam zijn oplossingen uitgewerkt volgens de strategie van vasthouden, bergen en als laatste afvoeren (zie Figuur 3.2). Uitgangspunt van het waterplan is dat door uitvoering van de plannen waterpeilen in de boezem niet zullen stijgen. Hierdoor neemt het overstromingsrisico niet toe. Voorbeeld van een al uitgevoerd plan is de aanleg van de roeibaan in de Eendrachtspolder.



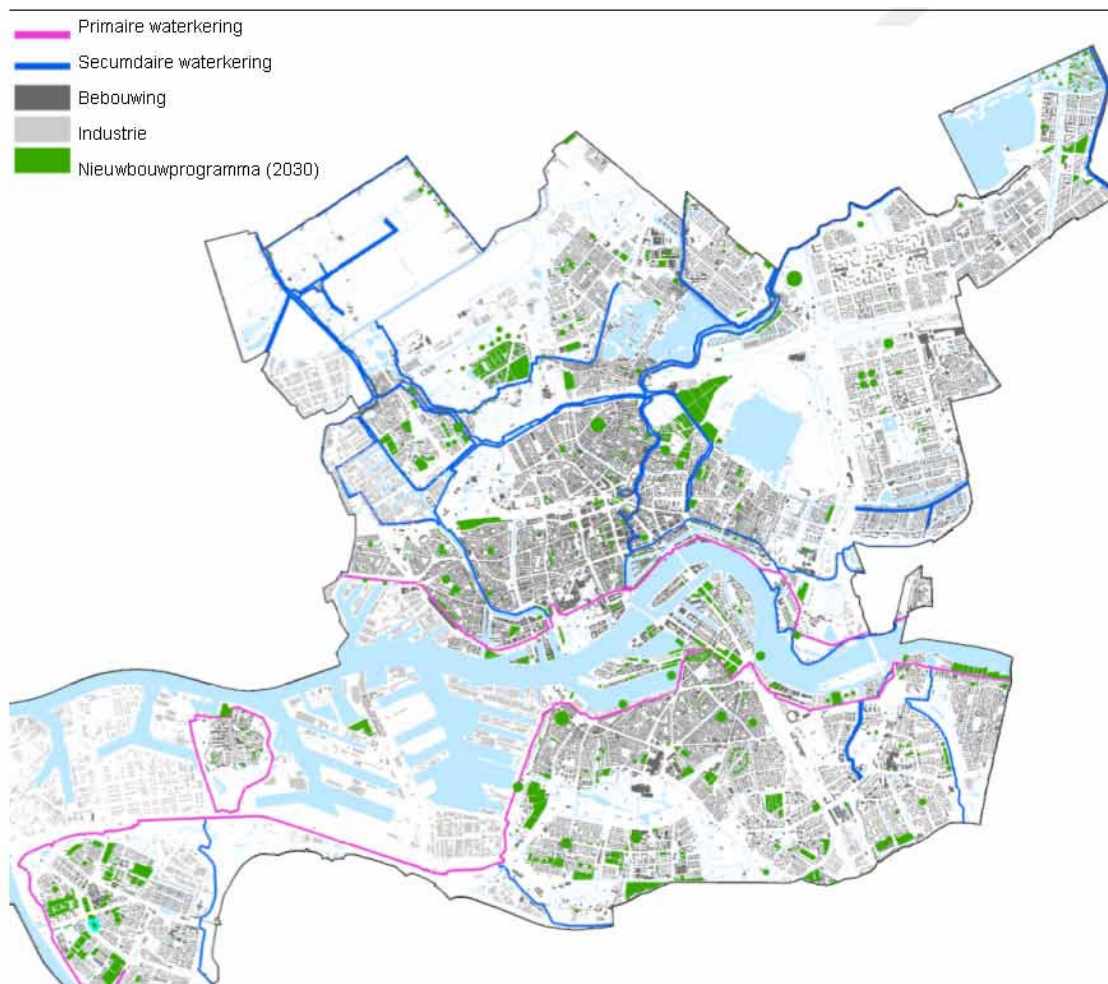
Figuur 3.2 Voorbeelden van oplossingen voor neerslagtoename volgens het principe van Vasthouden, Bergen, Afvoeren

Naast toename van neerslag zullen door de klimaatverandering naar verwachting ook juist vaker en langer drogere periodes optreden. Dit kan een negatieve invloed op de sterkte van veenkaden hebben. Door de droogte verdampt het water uit de veenkade, hierdoor kunnen krimp scheuren ontstaan of wordt de kruin lager. Ook neemt het gewicht van de dijk af. Veenkaden zijn vooral in Rotterdam-Noord aanwezig (zie Figuur 2.4). Op dit moment is er nog onvoldoende bekend over hoe

de sterkte van veenkaden afneemt in tijden van droogte. De STOWA doet hier onderzoek naar in het programma “Droogteonderzoek veenkaden”.

3.3 Socio-economische ontwikkelingen

Er bestaan verschillende plannen over de ruimtelijke ontwikkeling van Rotterdam en omstreken. Deze zijn ondermeer opgenomen in de Rotterdamse stadsvisie 2030. De ontwikkelingen richten zich met name op het verdichten van het bestaande stedelijke gebied (Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Nieuwbouwprogramma 2030 Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2012)

Voor de langere termijn (2050 en 2100) zijn de ruimtelijke opgaven voor de stad afhankelijk van socio-economische ontwikkelingen. Net als voor het klimaat zijn deze ontwikkelingen onzeker, en heeft het Deltaprogramma scenario's opgesteld voor sociaaleconomische groei en krimp (zie Figuur 3.1).

1. Hoge groei, Nederlandse bevolking neemt toe tot 20 miljoen in 2050, geconcentreerd in de steden (scenario's Druk en Stoom);

2. Lage groei, Nederlandse bevolkingsomvang blijft redelijk stabiel op 16 miljoen (scenario's Rust en Warm).

Gevolgen voor Rotterdam

Door de verdichting nemen de gevolgen van een overstroming en dus ook het overstromingsrisico toe. Hier komt bij dat de ruimtelijke ontwikkelingen op de lange termijn niet bekend zijn, en afhangen van socio-economische ontwikkelingen. Scenario's hiervoor zijn niet meegenomen in de normering van regionale keringen, maar omdat er veel onduidelijkheden zijn over de toekomst kiezen de waterschappen er op dit moment voor om de regionale keringen robuust te onderhouden. Dit betekent dat de keringen vaak groter of sterker zijn dan voor nu strikt genomen noodzakelijk is.

Vooraf de voorzienen ontwikkelingen in Rotterdam-Noord hebben invloed op de huidige normering van de waterkeringen. Verwacht wordt dat de toekomstige ontwikkelingen in Rotterdam-Zuid geen invloed hebben op de normeringen van de huidige genormeerde keringen. Wel kunnen ruimtelijke ontwikkelingen invloed hebben op het beleid voor de aanwezige compartimenteringskeringen in het gebied.

3.4 Bodemdaling

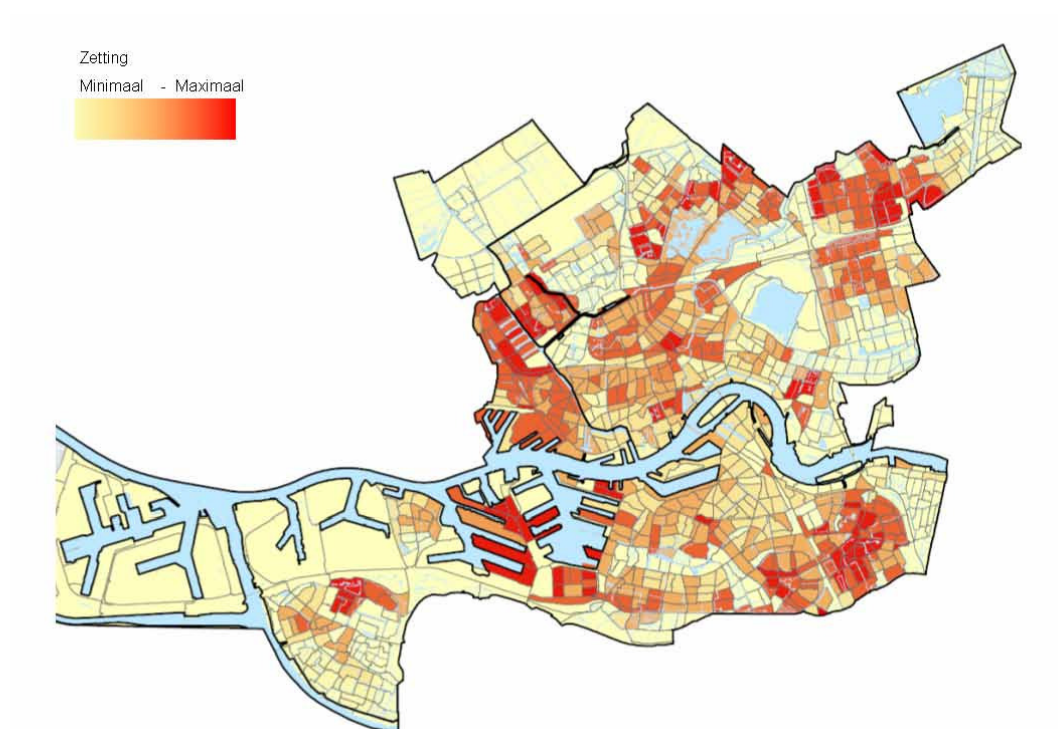
Ook bodemdaling is van invloed op de waterveiligheid van regionale waterkeringen. Niet alleen kan de kering zelf verzakken, het kan ook gebeuren dat de waterkering anders verzakt dan de aangrenzende polder, waardoor bijvoorbeeld scheuren of afschuivingen kunnen ontstaan.

Bodemdaling is een autonoom proces waarvan de snelheid onzeker is. Mogelijke oorzaken van bodemdaling zijn drooglegging, zetting van jonge sedimenten en het oxideren van oppervlakkige en organische lagen door drainage. In de deltasceario's wordt aangegeven dat in stedelijk gebied de maaiveld daling wordt geremd, doordat in de stad minder oxidatie plaatsvindt.

Ook de ruimtelijke ordening kan gevolgen hebben voor de zetting van een bepaald gebied, bijvoorbeeld wanneer een polder voor het eerst ontwikkeld wordt en sterke ontwatering plaatsvindt. De Deltascenario's gaan uit van verdere daling van de bodem in elk scenario. In veengebieden daalt de bodem tot 2050 naar verwachting ruim een meter (Bruggeman, 2011). Dit kan gevolgen hebben voor onderhoud aan de kades.

Gevolgen voor Rotterdam

In Rotterdam bevinden zich veel zettingsgevoelige gebieden (Zie Figuur 3.4). Bodemdaling zal in de toekomst waarschijnlijk niet tot andere overstromingsrisico's leiden, aangezien stedelijke gebieden in Rotterdam regelmatig worden opgehoogd. Hierop zijn sommige groene gebieden, zoals parken en volkstuinen een uitzondering. Over het algemeen gaat het dan om gebieden waar bij overstroming weinig schade te verwachten is.



Figuur 3.4 Zettingsgevoelige gebieden in Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2012)

4 Integrale overstromingsrisicoanalyse Zestienhoven-Schiebroek

4.1 Doel casestudie

Doel van de casestudie Zestienhoven-Schiebroek is om inzicht te generen op de volgende drie onderdelen:

1. Huidige overstromingsrisico's. Wat zijn - breed beschouwd - de huidige overstromingsrisico's in het gebied? (Hoofdstuk 4)
2. Toekomstige overstromingsrisico's. Beïnvloeden toekomstige ontwikkelingen de overstromingsrisico's van de polder? (Hoofdstuk 5)
3. Mogelijke strategieën om de risico's nu en op lange termijn goed te blijven beheersen. Welke oplossingsrichtingen zijn denkbaar, zoals dijkversterking, toepassing van meerlaagse veiligheidsconcept, aanpassing van RO beleid? (Hoofdstuk 6)

4.2 Polder Zestienhoven-Schiebroek

Polder Zestienhoven-Schiebroek ligt aan de noordelijke rand van Rotterdam en is door Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard gedefinieerd als één overstromingsgebied (Figuur 4.1). Het overstromingsgebied Zestienhoven-Schiebroek valt in de hoogste schadecategorie en heeft daarom een veiligheidsnorm van 1/1.000.

De polder wordt min of meer begrensd door de rijkswegen A20 en A13, en de Rotte en de Schie. Aan de noordkant ligt de Doenkade, tevens gemeentegrens. Naast Rotte en Schie zijn vooral de Bergse Plassen, ontstaan door turfwinning in de 17^e en 18^e eeuw, en de luchthaven Zestienhoven kenmerkende landschappelijke elementen in dit gebied. Daarnaast bevinden zich in de polder belangrijke infrastructurele objecten zoals de HSL, de Randstadrail en de A13 en er liggen verschillende woonwijken van deelgemeenten Overschie en Hillegersberg-Schiebroek.

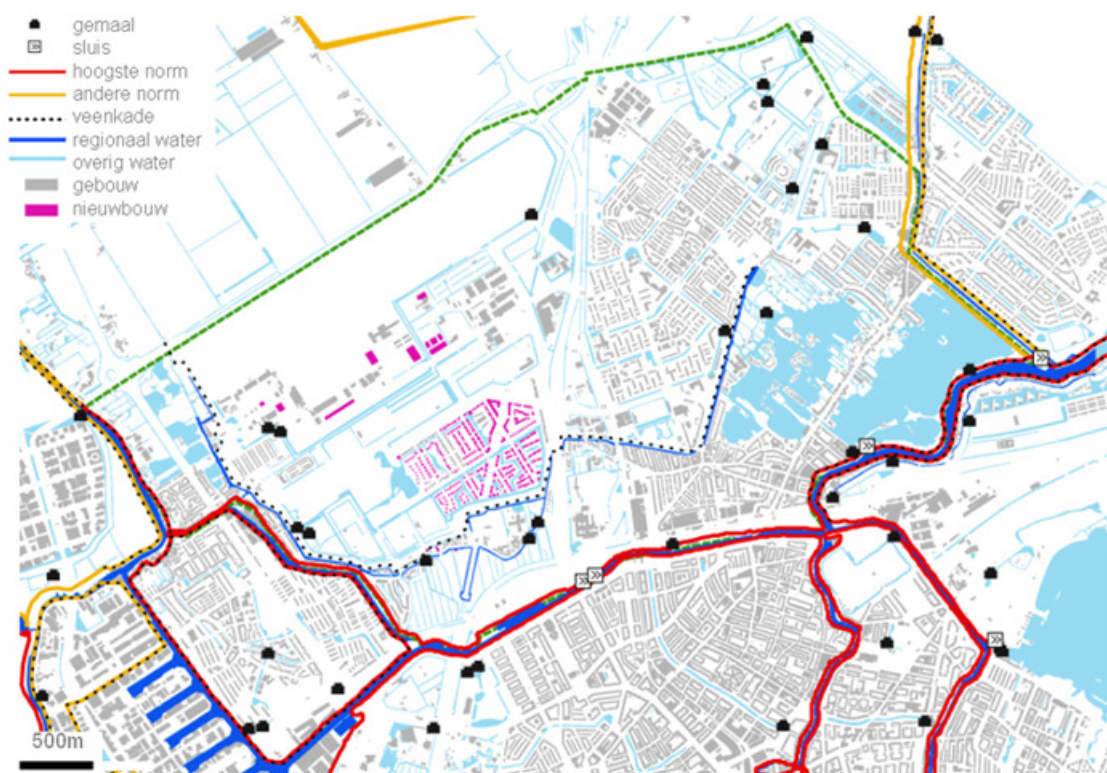


Figuur 4.1 Casestudie gebied Zestienhoven-Schiebroek

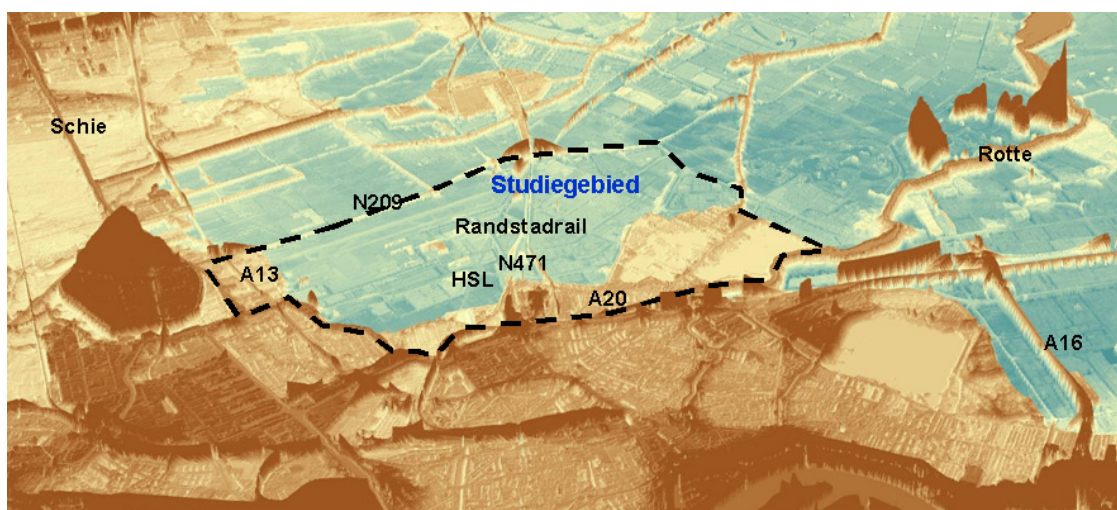
Het watersysteem en de hoogteligging van overstromingsgebied zijn weergegeven in Figuur 4.2 en Figuur 4.3. De polder ligt langs twee boezemwateren: de Schie en De Rotte. Daarnaast is in de polder een ringvaart gelegen voor de drooglegging van polder Zestienhoven.

De Rotte was in de vroege middeleeuwen nog een riviertje, maar door bodemdaling en veenwinning ligt de bodem op dit moment veel hoger (NAP -3 meter) dan het omliggende land. De Rotte fungeert nu als boezemwater met een waterpeil op NAP -1,02 meter. Het waterpeil van de Schie ligt rond de NAP -0,43 meter. De bodem van de Schie ligt op NAP -2,45 meter, ruim 2 meter hoger dan het naastgelegen polder.

Rondom de polder Zestienhoven bevinden zich verschillende veenkades. Veenkades dateren meestal uit de late middeleeuwen en zijn ten behoeve van de ontginning aangelegd. De kades bevinden zich vaak op een ondergrond van zand of kei, doordat de veenlaag door afgraving, oxidatie en inklinking verdween (Makaske, 2004).



Figuur 4.2 Systeem en waterkeringen in het studiegebied



Figuur 4.3 Hoogteligging studiegebied

4.3 Bestaande schattingen directe schade

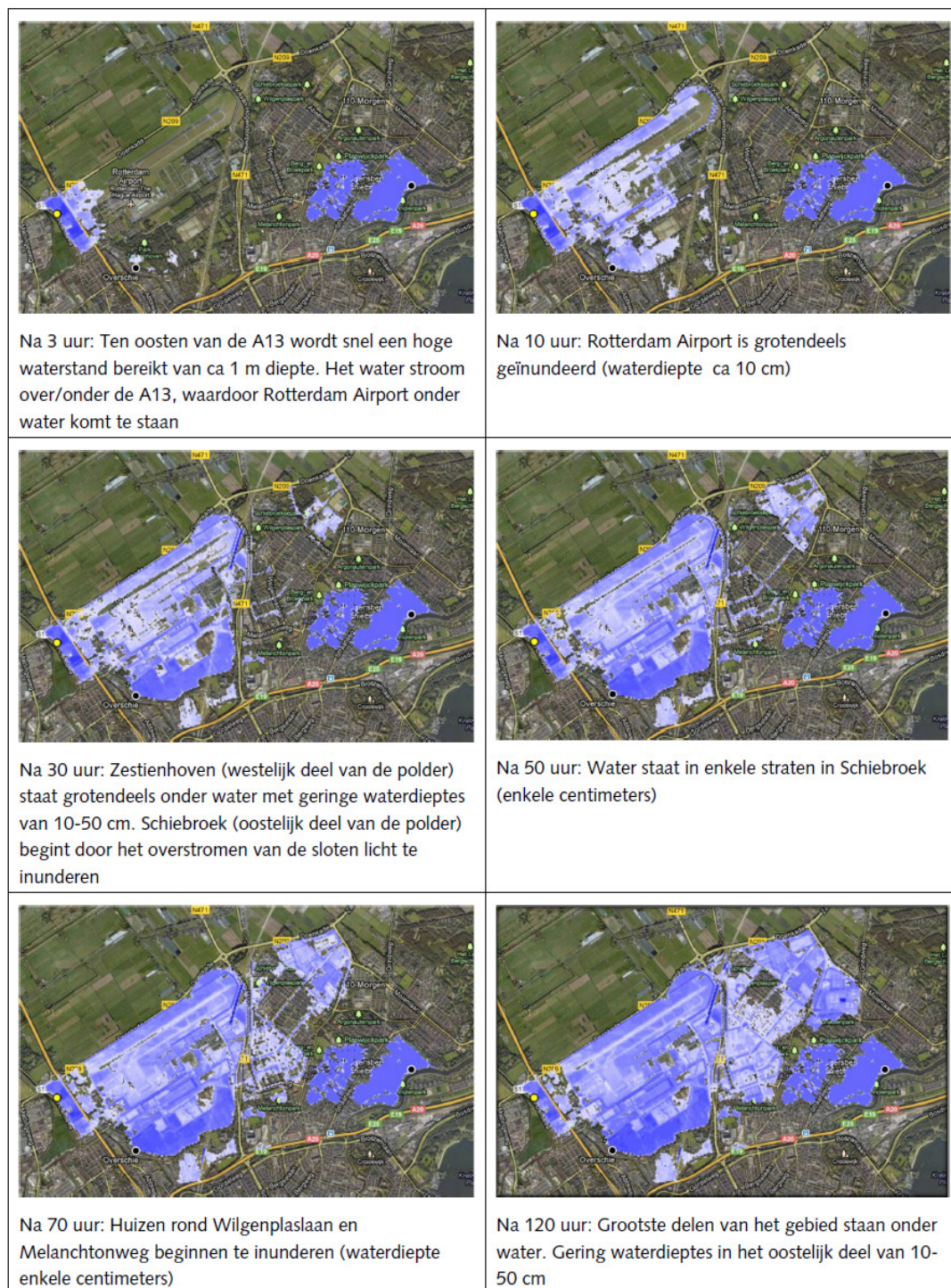
Ten behoeve van de normering zijn in 2004 de overstromingsgevolgen van een overstroming van de Schie in deze polder berekend. Hierbij is uitgegaan van een gemiddelde inundatiediepte van 0,93 meter voor het hele gebied. Met behulp van de HIS-Schade-Slachtoffermodule (HIS_SSM) is vervolgens de economische schade bij een kadedoorbraak in het gebied bepaald. Hiervoor zijn kengetallen aan verschillende soorten landgebruik gekoppeld. Dynamische aspecten die schade kunnen veroorzaken, zoals stroomsnelheden, zijn buiten beschouwing gelaten. Voor de polder Zestienhoven-Schiebroek is met deze methode in 2004 een schade berekend van € 1.600 miljoen. Deze schade ligt ver boven grens van de strengste klasse van > € 250 miljoen (tabel 2.2).

4.4 Nieuwe schattingen directe schade

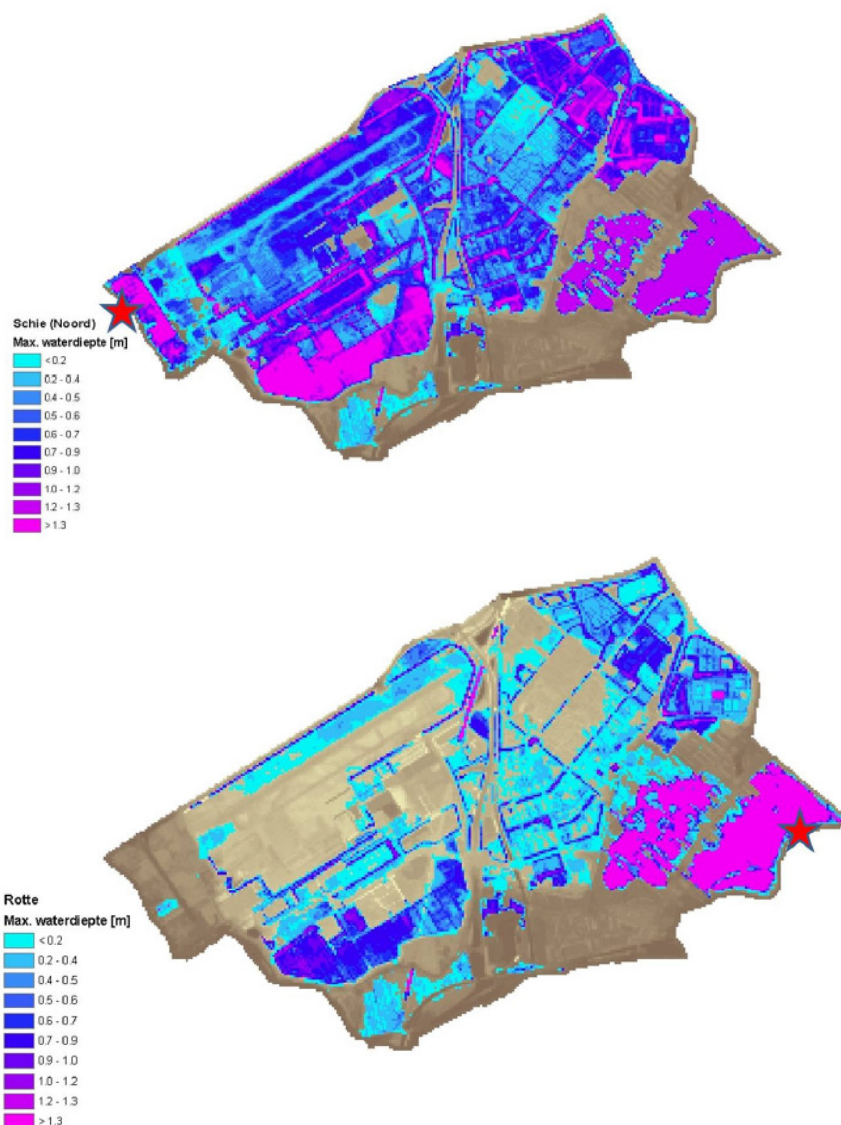
Het overstromingsverloop bij een doorbraak vanuit de Schie of Rotte

Met de actuele overstromingsmodellen kan steeds nauwkeuriger worden bekeken welke gebieden van de polder onderlopen bij een overstroming, zodat een beter onderbouwde schade kan worden bepaald. In het kader van deze studie zijn voor het plangebied SOBEK-overstromingsmodellen ontwikkeld voor een overstroming vanuit de Rotte en voor een overstroming vanuit de Schie.

In figuur 4.4 is het overstromingsverloop in uren weergegeven na een doorbraak in de kade van de Schie. Na een dag staat ongeveer de helft van de polder onder water. De waterdiepte varieert hierbij van enkele decimeters tot ca. 1 meter. Op laaggelegen plekken kan het water nog dieper zijn.



Figuur 4.4 Overstromingsverloop (modelmatig; in uren) na een doorbraak in de kering van de Schie (gele stip)



Figuur 4.5 Maximale waterdiepten (in meters) bij overstroming vanuit de Schie Noord (boven) en de Rotte (onder) zoals gemodelleerd in 2012 (Nelen en Schuurmans, 2012)

Figuur 4.5 geeft de maximale overstromingsdiepte weer bij een overstroming uit de Rotte en bij een overstroming uit de Schie. Opvallend is dat zowel een overstroming van de Rotte als een overstroming vanuit de Schie uitwerking heeft op zowel de oost- als de westzijde van het studiegebied. Een overstroming vanuit de Schie brengt door het grootste watervolume de grootste gevolgen met zich mee.

Waar voor de oorspronkelijke normering werd gewerkt met een gemiddelde diepte in de polder van 0,93 meter, is nu een duidelijk onderscheid zichtbaar in waterdiepte tussen verschillende delen van het studiegebied met een maximum van 1,8 meter. Alleen het hoger gelegen Hillegersberg en Kleiwegkwartier ondervinden weinig last van de overstroming. Daarnaast valt op dat ook grote infrastructurele objecten als snelweg A13 en HSL onder water lopen bij een overstroming.

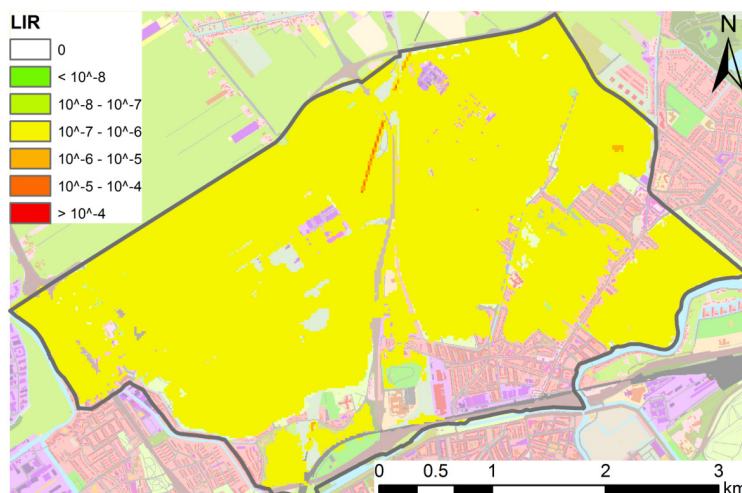
VU/Amsterdam heeft met behulp van de nieuwe overstromingssimulaties een nieuwe berekening gemaakt van de directe schade (zoals schade aan onroerend goed) op basis van het landgebruik¹. Gevolgen voor milieu en schade aan monumenten zijn niet beschouwd. Aan de verschillende functies zijn waarden voor schade gekoppeld. In combinatie met het nieuwe overstromingsmodel geven deze gegevens een nieuwe waarde voor overstromingsschade van € 230 miljoen. Het grote verschil in schadebedragen kan verklaard worden door de grote hoogteverschillen in het studiegebied. Waar eerst met een gemiddelde overstromingsdiepte gewerkt werd, blijkt nu dat de dichtst bebouwde gebieden hoger gelegen zijn en aanzienlijk minder schade ondervinden dan voorheen gedacht werd. In de lagergelegen gebieden bevinden zich ondermeer volkstuinen en sportcomplexen. Daarnaast zijn in het model van de VU geen kengetallen voor bedrijfsschade toegepast. Kanttekening is dat het schadegebied in het nieuwe model wel groter is dan voorheen gedacht werd. Zo loopt bijvoorbeeld ook Schiebroek onder water bij een overstroming vanuit de Rotte.

4.5 Slachtoffers

Naast materiële schade zijn er mogelijk ook slachtoffers te betreuren. Het overstromingsmodel HIS-SSM van Zestienhoven-Schiebroek (Nelen en Schuurmans, 2012) rapporteert 33 mogelijke slachtoffers in het gebied. Hierbij wordt echter geen rekening gehouden met evacuatie. De gevolgenanalyse van VU Amsterdam houdt wel rekening met evacuatie (90%) en komt daardoor uit op 3 potentiële slachtoffers (inclusief evacuatie). Het ligt voor de hand dat personen geëvacueerd worden omdat er voldoende tijd is om mensen uit het gebied te halen.

In figuur 4.6 is de kans op overlijden ruimtelijk weergegeven op basis van een overstromingskans van 1/1.000 (gelijk gesteld aan de overschrijdingsnorm) en een evacuatiepercentage van 90%. Hieruit blijkt dat het overlijdensrisico in de polder kleiner is dan 1 op honderduizend (per jaar). Vanuit de nieuwe normeringssystematiek van de primaire keringen bekeken zou dit betekenen dat vanuit de regionale kering ook sprake is van 'basisveiligheid' in het gebied.

¹ Ook de landgebruikskaart is voor deze berekening geoptimaliseerd, door de kaarten van Top10, CBS landgebruik en de BAG te combineren. Hierbij is het beste van elke dataset gecombineerd en worden verschillende type gebouwen onderscheiden



Figuur 4.6 Ruimtelijke spreiding van het Lokaal Individueel Risico (LIR; per jaar) in de polder Zestienhoven-Schiebroek (o.b.v. 1/1.000 overstromingskans en evacuatiefractie van 0.9).

4.6 Overige gevolgen bij overstroming

Naast directe materiële schade zijn er ook andere gevolgen van overstromingen. Het gaat bijvoorbeeld om schade door uitval van bedrijven en schade aan het boezemsysteem. Om een beter beeld te krijgen van de werkelijke totale schade bij een overstroming vanuit de Schie, is er een uitgebreide, doch grove analyse gemaakt van overige gevolgen van een overstroming in Zestienhoven-Schiebroek. Deze analyse is opgenomen in bijlage 1. Er blijken veel aanvullende schadecategorieën op de directe schade analyse (par. 4.3 en 4.4) te zijn. Enkele schadecategorieën zijn met behulp van kengetallen uit eerder onderzoek gekwantificeerd. Voor het kwantificeren van een aantal overige schadecategorieën is nader onderzoek nodig.

Tabel 4.1 Schade(categorieën) bij overstrooming van de Schie (noord) in polder Zestienhoven-Schiebroek

Schadecategorie	Te verwachten schade bij doorbraak van de Schie
Landgebruik (HIS-model Vrije Universiteit Amsterdam)	€ 230.000.000
Schade aan het vliegveld en vliegtuigen	€ 42.600.000
Dichten van de bres en aanleggen nieuw wegdek	€ 50.000
Bedrijfsuitval vliegveld	€ 70.000 per dag
Bedrijfsuitval in de polder	€ 5.100.000 per dag
Slachtoffers	3
Schadecategorie, kosten onbekend	
Uitval van de beroepsscheepvaart	27 schepen per dag
Uitval van de recreatiescheepvaart	24 recreatievaartuigen per dag
Schade aan het boezemsysteem	Schie: 398 kilometer kade in het geding (Rotte: 249 kilometer)
Schade aan woningen op en om de kering	schade aan funderingen, niet-gekwantificeerd
Schade door uitval doorgaande infra (A13 & HSL)	niet-gekwantificeerd
Schade vitale infrastructuur	schade en mogelijke uitval van 500 straatkassen
Milieuschade	2 locaties met verontreinigde bovenlaag
Schade aan woonboten en vaartuigen	2 locaties met verontreinigde bovenlaag Schie: circa 10 woonboten Rotte: 135 woonboten en meer dan 1.000 pleziervaartuigen

Box: Dijkdoorbraak Wilnis 2003

Het dorp Wilnis kwam in 2003 in het nieuws vanwege de afschuiving van 60 meter veenkade waarbij 230.000 kubieke meter water uit de tussenboezem de polder instroomde. 1.500 Inwoners werden geëvacueerd. Omstreeks 06.00 uur was de toevoer van water gestopt door het afdammen van de boezem. Er stond toen ca. 50 cm water in het dorp. In het bovenland, aan de andere kant van de boezem, liep het grondwater weg. Hierdoor braken ondergrondse leidingen af en kwamen funderingen scheef te staan. Hoewel de bewoners van de polder binnen enkele dagen hun huizen weer in konden, heeft het voor sommige huizen in het bovenland maanden geduurd voordat ze weer bewoonbaar waren.



Schade bovenland Wilnis

De overstroming veroorzaakte een miljoenenschade. De directe overstromingsschade lag tussen de 6 – 10 miljoen euro. En alleen al het herstel van de boezem kostte ongeveer €12,5 miljoen euro. De oorzaak van de dijkdoorbraak is op dit moment onderwerp van een rechtzaak tussen gemeente Ronde Venen en het waterschap Amstel Gooi en Vecht. De kering voldeed aan de destijds gestelde norm voor regionale waterkeringen van 1/100 jaar, maar een periode van droogte resulteerde in krimp, scheurvorming, vervorming en uiteindelijk het wegschuiven van de veenkering.

Uit de ervaring van Wilnis blijkt dat gevolgschades van een overstroming divers van aard en groot kunnen zijn, en onduidelijkheid kunnen geven in de verantwoordelijkheden.

4.7 Totale schade overstrooming

De te verwachten schade bij een overstrooming van de Schie in het gebied is nu € 273 miljoen aan materiële schade + € 5,2 miljoen per dag aan bedrijfsschade + 3 potentiële slachtoffers. Bij een overstrooming waarbij zowel de bedrijven als het vliegveld tien dagen uitvallen, gaat het om een schade van in totaal € 325 miljoen en 3 potentiële slachtoffers. Dit staat meer in verhouding tot de veiligheidsnorm van de kering 1/1000 (zie Tabel 2.2) met een overstroomingsklasse >250 mln.

Het programma 'Veiligheid Nederland in Kaart' (VНК) rekent voor slachtoffers een economische schade van ca. € 6 miljoen per slachtoffer. Drie potentiële slachtoffers resulteren in een bedrag van € 18 miljoen, oftewel 5 % van de totaal berekende schade (van € 343 mln = € 273 mln. + € 52 mln + € 18 mln).

In dit schadebedrag zijn nog niet meegenomen:

- schade door uitval van scheepvaart,
- schade aan het boezemsysteem en aan woningen op en om de kering,
- schade door uitval van hoofdwegen en andere infrastructuur,
- milieuschade en
- schade aan woonboten en vaartuigen.

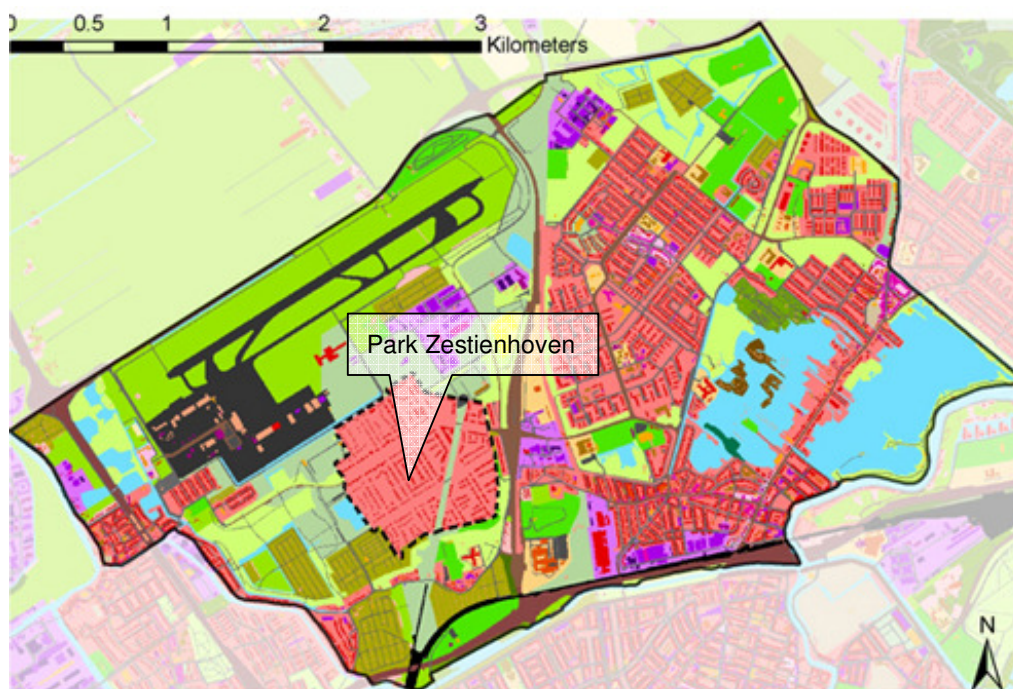
Deze categorieën kunnen het totale schadebedrag nog wel fors verhogen. Nader onderzoek is nodig om deze schade te kwantificeren.

5 Effecten van ruimtelijke ontwikkelingen op overstromingsrisico's Zestienhoven-Schiebroek

In hoofdstuk 3 is algemeen ingegaan op de effecten van klimaat, bodemdaling en ruimtelijke ontwikkeling op de overstromingsrisico's in de toekomst. In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de effecten van ruimtelijke ontwikkelingen op het overstromingsrisico in casestudiegebied Zestienhoven en Schiebroek aan de hand van twee voorbeelden.

5.1.1 Nieuwbouw Park Zestienhoven

Momenteel wordt in de polder Zestienhoven-Schiebroek nieuwbouwwijk Park Zestienhoven ontwikkeld. Het gaat om een woonwijk in het dieper gelegen gedeelte van het studiegebied. Tot 2015 worden hier 1.800 woningen ontwikkeld (naar verwachting 5.000 inwoners). Figuur 5.1 geeft de resulterende kaart weer voor het studiegebied in de periode na aanleg van de nieuwbouw van Park Zestienhoven. Met de aanleg van Park Zestienhoven zal in de toekomst de directe materiële schade bij een overstroming toenemen van € 230 miljoen tot circa € 260 miljoen na tien dagen bij een doorbraak vanuit de Schie (voor uitleg methodiek: zie par. 4.4). Bij een kadedoorbraak aan de Rotte zal het water de nieuwbouwwijk niet bereiken en is dus ook geen extra schade te verwachten.



Figuur 5.1 Polder Zestienhoven-Schiebroek na ontwikkeling Park Zestienhoven (met 1800 woningen)

5.1.2 Snelwegverbinding A13-A16

Momenteel wordt de snelwegverbinding A13-A16 voorbereid en deels al uitgevoerd. Deze verbinding vormt een alternatieve route tussen Rotterdam (oost) en Delft. Het nieuwe snelwegtraject is gesitueerd over de hoger gelegen Doenkade, de huidige poldergrens van Zestienhoven (Figuur 5.2).

Dit maakt dat de uitvoering van de nieuwe weg cruciaal is voor de gevolgen van een potentiële overstroming van de Schie in de Polder Zestienhoven-Schiebroek. Wanneer de snelweg op een lager niveau wordt aangelegd dan de huidige Doenkade, zal deze niet of verminderd functioneren als waterkerend element, waardoor bij een overstroming in de polder Zestienhoven-Schiebroek mogelijk ook de Polder Schieveen zal inunderen. Echter, doordat polder Schieveen minder bebouwing heeft zal over beide polders gezien een lagere schade optreden. Bij een verlaagde weg zal bij overstroming ook deze nieuwe weg onderlopen, waardoor zowel de huidige A13 als de nieuwe snelwegverbinding A13-A16 buiten gebruik kunnen raken.



Figuur 5.2 Verbinding A16-A13 (bron: www.rws.nl/a13a16rotterdam)

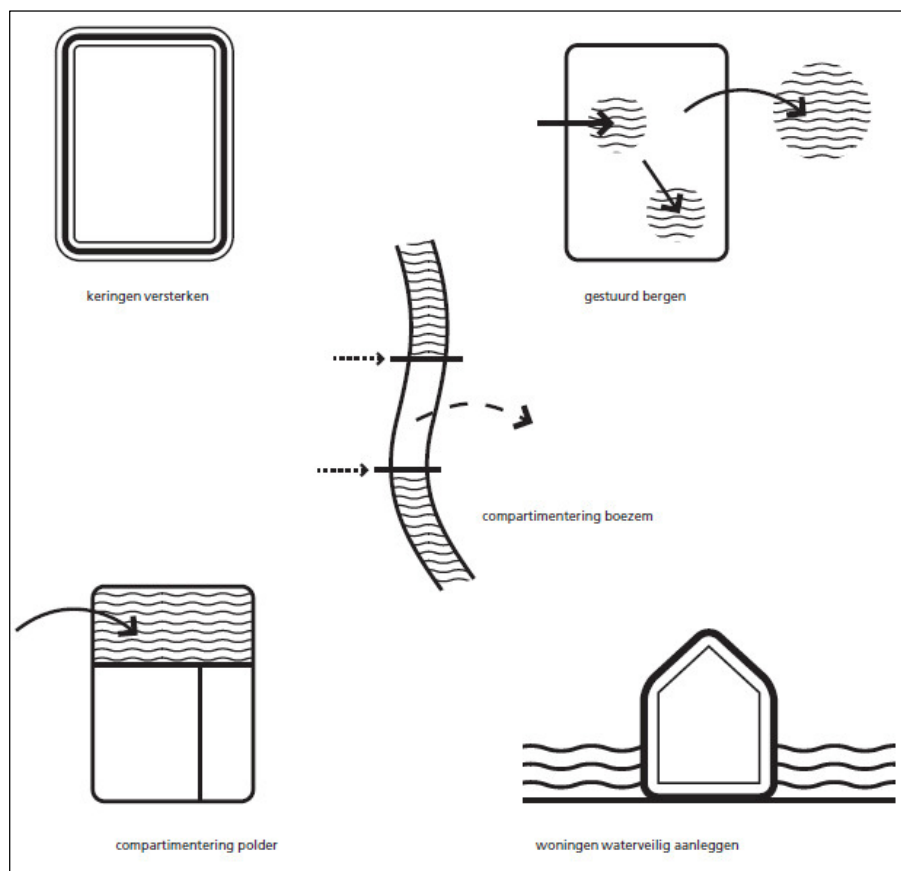
6 Strategieën Zestienhoven-Schiebroek

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is aan bod gekomen dat vanuit het Waterplan Rotterdam reeds maatregelen worden getroffen om de overstromingsrisico's vanuit regionale keringen te beperken. Dit gebeurt door toepassing van de strategie 'water vasthouden, bergen, afvoeren'. Daarnaast anticiperen waterschappen op toekomstige stedelijke verdichtingen (en daarmee gepaard gaande verhoging van de overstromingsrisico's) door regionale keringen robuuster aan te leggen.

Er zijn meerdere strategieën denkbaar om het overstromingsrisico te beheersen (fig. 6.1):

1. versterking van de regionale waterkering;
2. het gestuurd bergen van het water tijdens een overstroming;
3. compartimentering van de polder;
4. compartimentering van de boezem;
5. waterbestendig bouwen;
6. evacueren van personen.



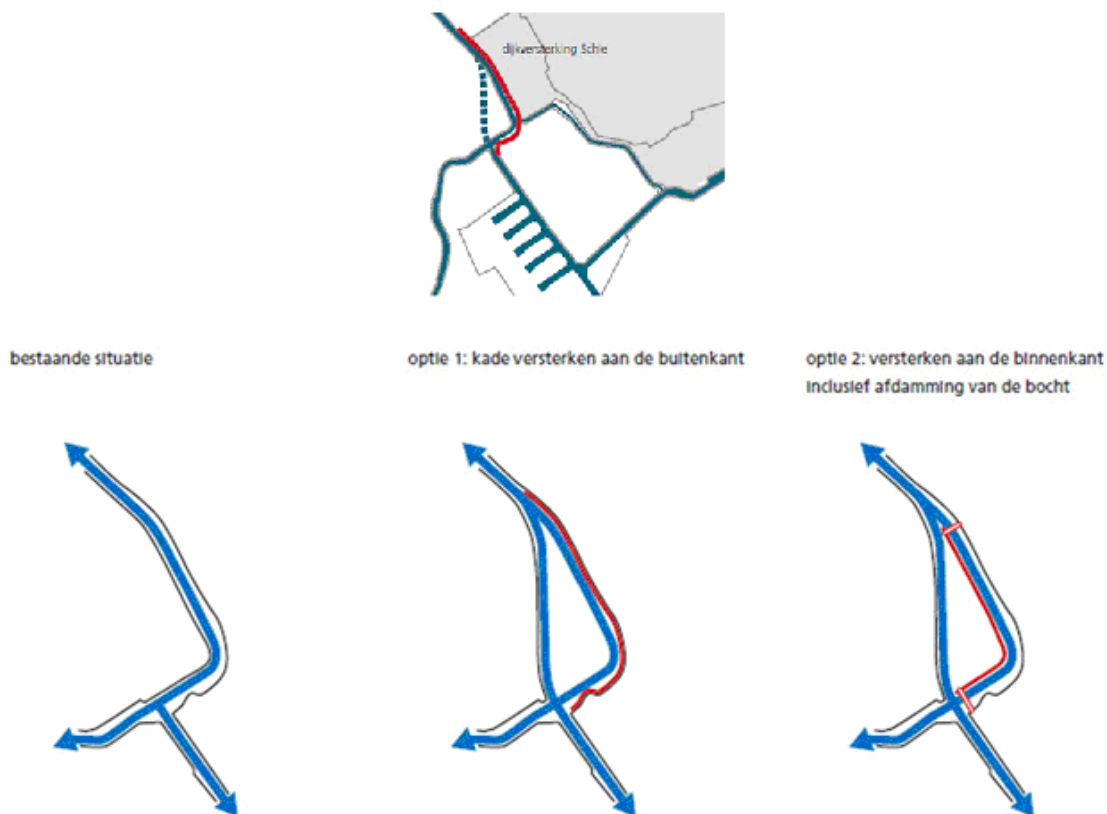
Figuur 6.1 Vijf strategieën om overstromingsrisico's regionale keringen te beperken (Must stedenbouw, 2013)

In dit hoofdstuk worden strategieën 1 t/m 5 nader toegelicht. Strategie 6: “Evacueren van personen” is niet verder uitgewerkt. In de huidige situatie zijn voldoende mogelijkheden tot evacuatie naar de naastliggende polder.

6.2 Strategie 1. Waterkering versterken

De meest traditionele aanpak om het risico van overstroming in polder Zestienhoven-Schiebroek te verkleinen is het versterken van de bestaande waterkeringen. In Figuur 6.2 is een voorbeeld van een dijkversterking opgenomen ter hoogte van het project ‘bochtafsnijding in de Schie’. Dit project betreft een bestaand project waarbij de huidige bocht wordt afgesneden om de doorvaart voor de scheepvaart te verbeteren. Om de overstromingsrisico's in de naastgelegen polder te verlagen zijn twee opties mogelijk:

1. dijkversterking van de bestaande, oostelijke kade. De waterkering valt hier op lange stukken samen met het bebouwde lint. Een eventuele versterking van de regionale kering levert dan ook ruimtelijke en technische problemen op.
2. dijkversterking aan de bestaande, westelijke kade. Door de bochtafsnijding komt ruimte vrij om een nieuwe dijk versterkt aan te leggen. Hiermee wordt de lintbebouwing aan de westelijke kade ontzien, al dient in deze variant de oude bocht van de Schie wel afgedamd te worden.



Figuur 6.2 Strategie Waterkering versterken bij de bochtafsnijding in de Schie (Must stedenbouw, 2013)

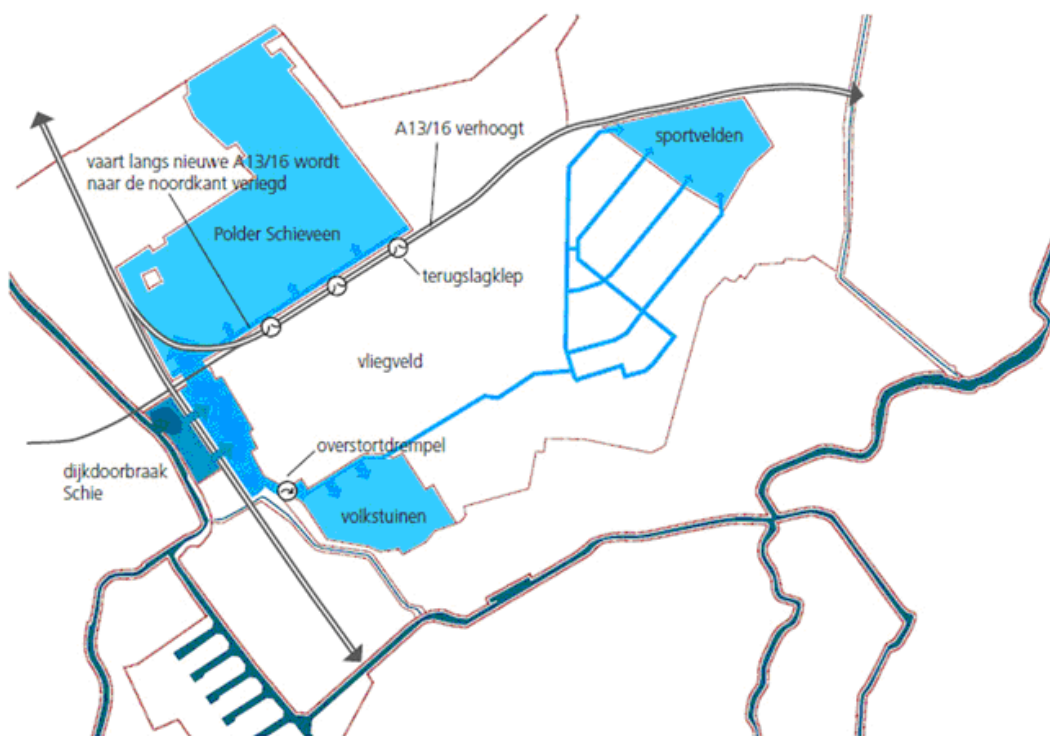
6.3 Strategie 2: Gestuurd bergen

In deze oplossing wordt het water na een dijkdoorbraak naar aangewezen gebieden geleid en daar geborgen. Dit zijn vooral locaties met extensieve functies, zoals agrarische gebieden, sportvelden of volkstuinen. Het water stroomt hierbij via een natuurlijke weg van hoger gelegen naar lager gelegen gebieden. In Figuur 6.3 zijn drie mogelijke locaties uitgewerkt:

1. in de polder Schieveen, dus buiten de polder Zestienhoven-Schiebroek;
2. de volkstuinen aan de zuidwestkant van de polder;
3. de sportvelden helemaal aan de noordoostkant van de polder.

Om het water naar de gekozen gebieden te leiden is het noodzakelijk om aanvullende maatregelen te treffen, zoals de aanleg van terugslagkleppen of overstortdrempels.

Bij een dijkdoorbraak vanuit de Schie stroomt het water richting het westen over de A13 heen en wordt middels een nieuw aan te leggen dijk aan de westzijde van het vliegveld op het hoger gelegen gebied vastgehouden. Vervolgens kan het water zowel naar het noorden in de richting van polder Schieveen als naar het zuiden in de richting van de volkstuinen in Laag Zestienhoven worden geleid. Verder bestaat de mogelijkheid het water via de bestaande watergangen in de wijk Schiebroek te leiden naar de laaggelegen sportvelden aan de noordoostkant. Hetzelfde bergingssysteem is ook te gebruiken bij een dijkdoorbraak vanuit de Rotte. In deze situatie zullen eerst de Bergse Plassen onderlopen, vervolgens stroomt het water ook hier via de bestaande watergangen in de wijk Schiebroek naar de sportvelden (noordoost).



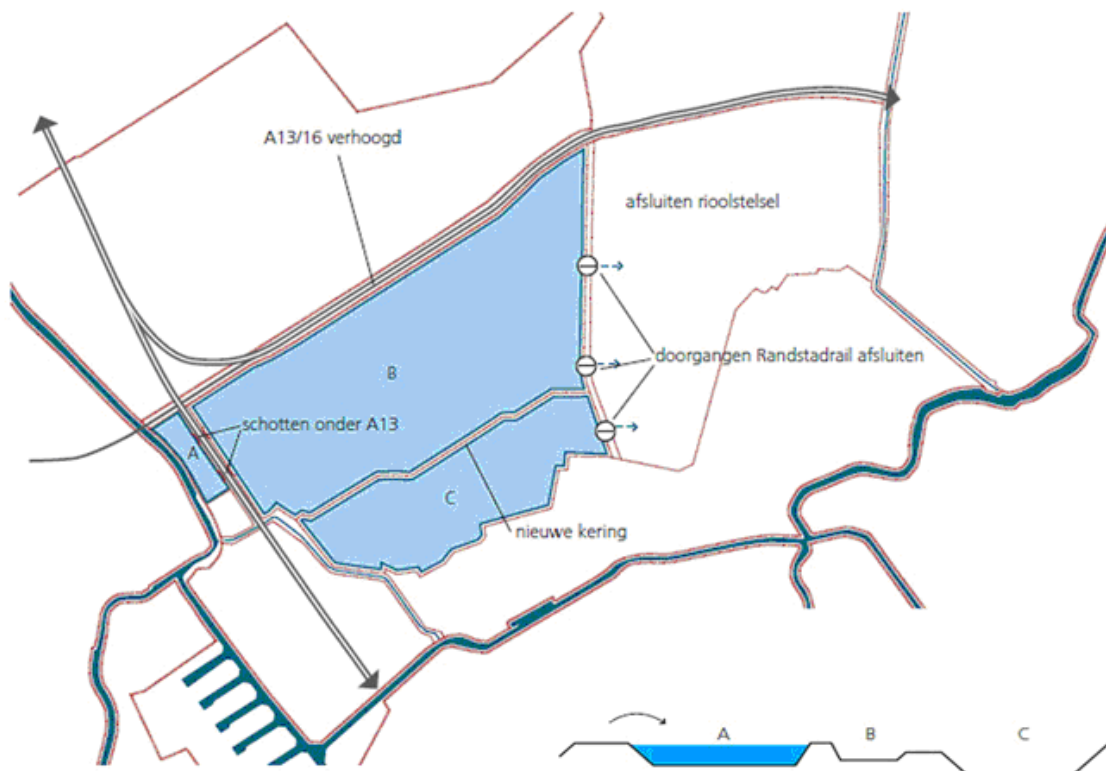
Figuur 6.3 Strategie Gestuurd bergen naar lager gelegen gebieden in de polder (Must stedenbouw, 2013)

6.4 Strategie 3: Compartimentering van de polder

In deze strategie wordt de polder verdeeld in compartimenten. De gevolgen van een dijkdoorbraak beperken zich vervolgens tot maar één 'bekken' binnen de polder. In Figuur 6.4 zijn als voorbeeld drie compartimenten geschetst:

- compartiment A tussen Schie en A13;
- compartiment B bij het vliegveld;
- compartiment C bij de volkstuinen en wijk Zestienhoven.

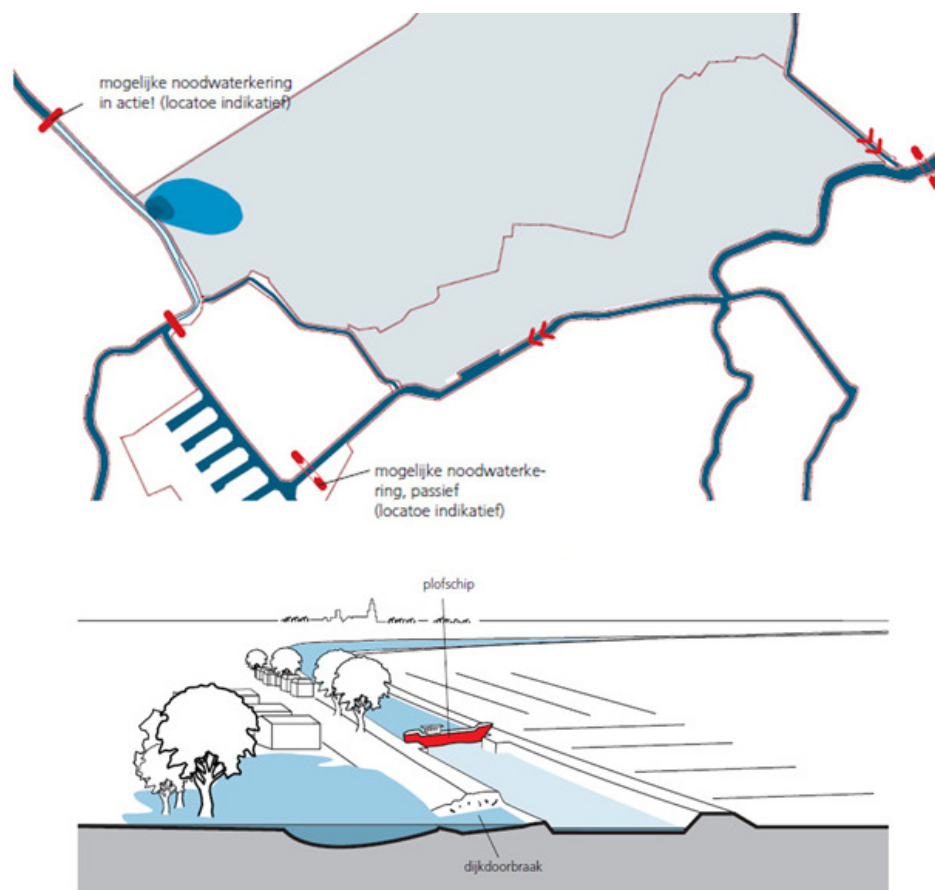
Bij het compartiment A bestaat de kans op een overstrooming vanuit de Schie te beperken tot het gebied tussen de Schie en de A13. Het compartiment B bevat vooral het gebied rondom vliegveld Zestienhoven. In het geval dat compartiment A niet voldoet, zal het water in de richting van het vliegveld stromen. Bij een dijkdoorbraak van de zuidelijker gelegen Rotterdamse Schie komt compartiment C aan bod. Hierbij lopen de volkstuinen en de nieuwbouwwijk Zestienhoven onder. Het vliegveld wordt juist beschermd. Bij de strategie van compartimenteringen is het noodzakelijk om extra voorzieningen in de polder aan te brengen die voorkomen dat het water zich verder verspreid. Hierbij gaat het ondermeer om extra waterkeringen (compartimenteringskeringen), afsluitingen van over- en onderdoorgangen van rail- en weginfrastructuur. Ook is het noodzakelijk om het rioolstelsel lokaal af te sluiten om ondergrondse verspreiding van water te voorkomen.



Figuur 6.4 Strategie Compartimentering polder (Must stedenbouw, 2013)

6.5 Strategie 4: Compartimentering boezem

De meest voor de hand liggende oplossing is de watertoevoer van een overstroming te stoppen of te beperken. Dit kan via noodwaterkeringen die het boezemsysteem in compartimenten opdelen (Figuur 6.5). Hierbij zijn verschillende typen keringen mogelijk, zoals balgkeringen, klepstuwen, keersluizen. Deze noodkeringen zijn vast in het systeem geïntegreerd. Verder zijn ook mobiele keringen denkbaar, welke snel op de juiste plek ingezet kunnen worden. Hierbij kunnen klei, stortsteen, damwanden, big bags of zandzakken worden gebruikt. Mogelijk kunnen ook schepen als mobiele noodwaterkeringen worden ingezet (zie Figuur 6.5). In het huidige boezemsysteem zijn momenteel nog elementen aanwezig die afsluiting van de boezem mogelijk maken. Dit zijn fysieke overblijfsels, aangelegd onder het zogenaamde BWO (Bescherming Waterstaatswerken in Oorlogstijd) dat in de jaren 50 werd ingevoerd. In 1991 werd deze wet afgeschaft. Compartimentering van de boezem lijkt vooral voordelen met zich mee te brengen omdat het de overstroming vroegtijdig stopt. Dat heeft voordelen voor het overstromingsgebied alsook voor het verderop gelegen deel van het boezemsysteem. Er kleeft echter ook een nadeel aan: binnen een compartiment daalt het water veel sneller wat grotere gevolgen heeft voor de kades binnen de compartimentering.



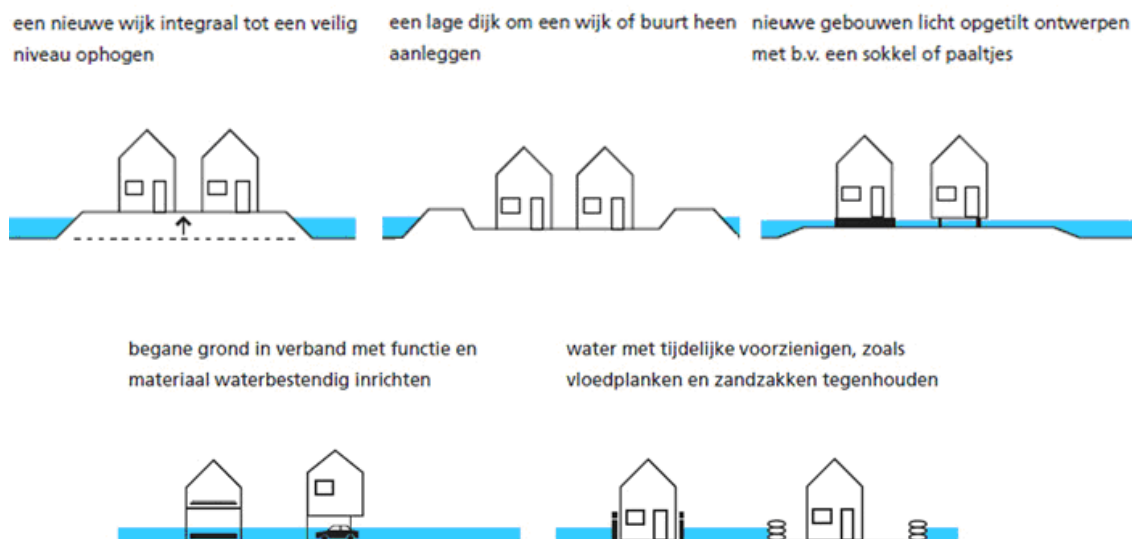
Figuur 6.5 Strategie Compartimentering boezem (Must stedenbouw, 2013)

6.6 Strategie 5: Aanpassingen op gebouwniveau

6.6.1 Maatregelen

Ook in het ruimtelijke domein zijn maatregelen mogelijk (de zgn. 2^e laag van meerlaagse veiligheid). Hier is een bundel aan strategieën denkbaar (zie ook Figuur 6.6):

1. Het verhoogd aanleggen van bijvoorbeeld een nieuwbouwwijk.
2. Aanleg van nieuwe, lokale dijken om bestaande of nieuw aan te leggen wijken of buurten. Deze maatregel heeft een grote impact op het ontwerp van de openbare ruimte van de wijk, omdat deze dijken een ruimtelijke scheiding tussen wijken en buurten veroorzaken. Vaak hoeven deze dijken niet heel hoog te zijn, zodat een belemmering van het uitzicht voorkomen kan worden. Het is ook denkbaar dit soort dijken te combineren met andere functies, zoals geluidswallen.
3. De begane grond van gebouwen waterbestendig inrichten (wetproof bouwen). Een stenen vloer kan tegen water, een tapijt of een houten vloer niet. Ook de functie van de begane grond kan worden aangepast.
4. Water met tijdelijke voorzieningen tegenhouden zoals vloedplanken, zandzakken. Deze aanpak hoort strict genomen bij laag drie van de meerlaagse veiligheid en is onderdeel van de calamiteitenbestrijding.



Figuur 6.6 Strategie Aanpassingen op gebouwniveau (Must stedenbouw, 2013)

6.6.2 Indicatie van kosten-baten bij aanpassing nieuwbouw

In tabel 5.1 is de effectiviteit van verschillende aanpassingen op gebouwniveau weergegeven in relatie tot de overstromingsschade in polder Zestienhoven-Schiebroek (Tabel 6.1). De maatregelen zijn in deze berekening op elk gebouw in het studiegebied toegepast. De percentages in de tabel geven aan welk percentage van de referentieschade optreedt wanneer de

desbetreffende maatregel op elk gebouw doorgevoerd zou zijn. Bij het ophogen met 50 cm of dryproof bouwen halveert de schade grofweg. Wetproof bouwen reduceert de schade met circa 20-25%. Verder blijkt dat ophogen vanaf 50 cm in geval van een overstroming uit de Rotte nauwelijks tot meer reductie leidt. Daarentegen blijkt ophogen tot 100 cm nog wel een duidelijk effect te hebben bij een overstroming vanuit de Schie.

Tabel 6.1 Schadeberekeningen en het effect van verschillende type schadereducerende maatregelen voor overstromingen vanuit de Rotte en Schie (excl. nieuwbouwwijk Park Zestienhoven).

	Rotte	Schie
Referentie schade	€ 55 miljoen	€ 232.miljoen
Ophogen 50 cm	53 %	50 %
Ophogen 100 cm	48 %	38 %
Ophogen 150 cm	47 %	37 %
Ophogen 200 cm	47 %	37 %
Dryproof	56 %	48 %
Wetproof	79 %	75 %

Dezelfde berekening is uitgevoerd voor de situatie dat alle nieuwbouw in Polder Zestienhoven gerealiseerd is (Tabel 6.2). Dit leidt tot een toename van de potentiële schade van circa € 32 miljoen. De verschillende maatregelen (enkel toegepast op de nieuwbouwwoningen) kunnen deze toename voor een belangrijk deel reduceren. Ophogen met 50 cm of meer resulteert in een reductie van 65% van de toegenomen schade. Ook dry-proof bouwen zou het schadepotentieel meer dan halveren. Opvallend is dat ophogen boven 50 cm in het nieuwbouwgebied weinig zin lijkt te hebben. Dit komt doordat het gebied waarin nieuwe woningen worden gebouwd sowieso al wordt opgehoogd tot -470 cm NAP. Bij een overstroming komen waterdieptes in dit gebied daardoor niet boven een halve meter.

Tabel 6.2 Schadeberekeningen voor een overstroming vanuit de Schie met gerealiseerde nieuwbouw van Zestienhoven.

	Overstroming vanuit de Schie	Vermeden schade door maatregel per overstroming	NCW van vermeden schade (100 jaar, 2.5%, kans=1/1000)	Investeringsruimte (per 70 m2)
Totale schade	€ 264 miljoen			
Toename schade door nieuwbouw	€ 32 miljoen			
50cm ophogen	-65%	€ 21 miljoen	€ 0,8 miljoen	€ 562
100cm ophogen	-65%	€ 21 miljoen	€ 0,8 miljoen	€ 562
150cm ophogen	-65%	€ 21 miljoen	€ 0,8 miljoen	€ 562
200cm ophogen	-65%	€ 21 miljoen	€ 0,8 miljoen	€ 562
Dryproof	-55%	€ 18 miljoen	€ 0,7 miljoen	€ 477
Wetproof	-26%	€ 8,3 miljoen	€ 0,3 miljoen	€ 225

Om na te gaan of een investering in een veiligheidsmaatregel uit kan ten opzichte van de vermeden schade zijn de vermeden schadebedragen omgezet in Netto Contante Waarden (NCW).



Uitgangspunt hierbij is een kans van overstroming van 1/1000 jaar, een tijdshorizon van 100 jaar (levensduur maatregel) en een rentevoet van 2,5 %. Vervolgens is uitgerekend hoeveel per woning in Polder Zestienhoven kan worden geïnvesteerd, wil de netto schade gelijk of groter zijn dan het investeringsbedrag (i.a.w. tot welk investeringsbedrag het kosteneffectief is om te investeren). Hierbij is de totale contante waarde van de vermeden schade in de polder tevens berekend per huis (aannemende dat het gemiddelde oppervlak van een huis 70 m² is) om een beter beeld te geven.

De conclusie is dat de investeringsruimte voor waterbestendig bouwen vrijwel nihil is met een investeringsruimte van ongeveer 500 euro per huis. Het lijkt daarom niet kosteneffectief om op gebouwniveau maatregelen te nemen in Polder Zestienhoven. Dit komt door de lage kans (1/1000 jaar) op schade en het feit dat het al opgehoogd is. Wel zullen maatregelen ook een positieve invloed hebben bij wateroverlast (bijvoorbeeld bij hevige regenval) of mogelijk bij overstromingen vanuit een ander systeem zoals de Nieuwe Maas. Deze baten zijn niet meegenomen. Indien zou blijken dat het risico hoger is dan hier aangenomen (bijvoorbeeld in het geval dat de overstromingskans groter dan 1/1000 per jaar zou zijn), zou de investeringsruimte ook beduidend hoger worden. In polders met een lager veiligheidsniveau zouden dergelijke 2^e-laag maatregelen dus wellicht wel kosteneffectief kunnen zijn.

7 Conclusie en aanbevelingen

Verskillende factoren hebben invloed op de toekomstige overstromingsrisico's van de regionale keringen: klimaat (meer neerslag, meer droogte), bodemdaling (diepere polders) en socio-economische ontwikkeling (verdere verdichting van de stad). Vanuit het waterplan Rotterdam zijn en worden reeds maatregelen getroffen in het stramien van 'vasthouden/bergen/afvoeren' (waterbergingen, groene daken, etc). Verdroging van keringen e.d. wordt voorkomen door dijkinspectie en het – indien nodig - nathouden van dijken en treffen van lokale maatregelen (dichten van droogtescheuren). Zolang deze twee strategieën volledig worden uitgevoerd, lijken de lange termijn opgaven vanuit klimaat voor de regionale keringen grotendeels ondervangen.

De gevolgenanalyse voor de polder Zestienhoven-Schiebroek heeft een nieuw totaalbedrag voor de schade opgeleverd: ruim 300 miljoen euro, veel lager dan het oude schadebedrag van 1,6 miljard. In dit schadebedrag zijn directe schade, bedrijfsschade door uitval (10 dagen) en slachtoffers meegenomen. Er zijn echter ook belangrijke categorieën nog niet meegenomen:

- schade door uitval van scheepvaart,
- schade aan het boezemsysteem en aan woningen op en om de kering,
- schade door uitval van hoofdwegen (A13) en andere infrastructuur (HSL, Randstadrail),
- milieuschade,
- schade aan woonboten en vaartuigen.

Deze categorieën kunnen het totale schadebedrag nog fors verhogen.

Ondanks de kanttekening dat niet alle risico's in geld konden worden uitgedrukt, lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat de nieuwe schadeschatting (ruim 300 miljoen euro) meer in verhouding staat tot de hoogte van de huidige norm van deze polder: 1/1.000 overschrijdingskansen voor schadeklasse >250 miljoen euro. Een 'bijstelling van de norm of klassegrenzen' lijkt vanuit dat opzicht voor deze polder niet nodig.

De nieuwe normering voor de primaire keringen in Nederland is gebaseerd op het beleidsdoel basisveiligheid voor iedereen binnen de dijkkringen. Hoewel deze doelstelling niet voor regionale keringen van toepassing is, kan worden geconcludeerd dat het overlijdensrisico binnen de polder Zestienhoven-Schiebroek ruimschoots binnen de maat valt. Met andere woorden: ook vanuit de regionale kering gezien is sprake van basisveiligheid en is de kans op slachtoffers door overstroming zeer beperkt (kans op overlijden is kleiner dan 1/100.000ste/jaar).

In de casestudie Zestienhoven-Schiebroek zijn strategieën in beeld gebracht om de overstromingsrisico's in polders te beheersen: o.a. versterking van de waterkering, gestuurd bergen, compartimentering, evacueren van personen. Maatregelen zoals het wetproof aanleggen van nieuwbouw of het combineren van de snelwegverbinding A13/A16 met een waterkerend element zijn oplossingen die meer integrale en ruimtelijke kansen bieden.

Een relatief eenvoudige maatregel lijkt echter op basis van praktische overwegingen en kosten veel effectiever en doelmatiger: het afdammen van het boezemstelsel na een dijkdoorbraak. Hiermee wordt tevens voorkomen dat door het leeglopen van het boezemstelsel schade ontstaat aan kades en funderingen langs het boezemsysteem tot ver buiten het overstromingsgebied.



De keuze voor een maatregel op het niveau van het watersysteem lijkt daarmee het investeren in de 2^e laag van meerlaagsveiligheid (op polderniveau) te ondermijnen. Adaptieve aanleg van nieuwbouw in de polder Zestienhoven-Schiebroek draagt weinig bij aan de schadereductie op het totaal en is niet kosteneffectief. Desalniettemin is het wel degelijk noodzakelijk om in deze polder de gevolgen voor vitale infrastructuur en voorzieningen (snelwegen, electriciteitsnetwerk, ziekenhuizen e.d) beter te begrijpen, af te wegen en indien nodig te reduceren. Wanneer de overstromingskans van polders groter is, zowel voor Zestienhoven als elders, dan is de investeringsruimte voor 2^e laag maatregelen groter en kunnen 2^e-laag maatregelen wellicht wel kosteneffectief zijn.

Algemeen wordt aanbevolen om aandacht te blijven besteden aan de wijzen waarop ruimtelijke ontwikkelingen en waterveiligheid elkaar positief of negatief kunnen beïnvloeden. Vanuit het oogpunt van potentiële maatschappelijke ontwrichting is er behoefte aan meer kennis over de verschillende typen en grootte van overstromingsrisico's ten aanzien van snelwegen (bereikbaarheid), boezemsystemen en vitale infrastructuur. Er is tevens behoefte aan kennis over het effect van droogte op waterkeringen.

Uit het nationale Deltaprogramma en Veiligheid Nederland in Kaart is gebleken dat een overstap van overschrijdingskansen naar overstromingskansen van *primaire* keringen nieuw licht werpt op de overstromingskansen van gebieden. Voor de primaire keringen blijken de overstromingskansen (feitelijk de 'doorbraakkansen' van de keringen) dikwijls groter blijkt te zijn dan de vigerende overschrijdingskansen. De vraag of dit ook opgaat voor de regionale keringen is een belangrijk onderwerp voor de kennisagenda.



Literatuur

Bruggeman, W. et al, 2011. *"Deltascenario's, Verkenning van mogelijke fysieke en sociaaleconomische ontwikkelingen in de 21ste eeuw op basis van KNMI'06 en WLO-scenario's, voor gebruik in het Deltaprogramma 2011 – 2012"*, Delft: Deltares.

Deltaprogramma Rijnmond-Drechtsteden, 2011, *"Verkenning Deltascenario's voor het stedelijk gebied Rijnmond-Drechtsteden"*,. Den Haag.

Deltares, 2011, *"Maatschappelijke kosten-batenanalyse Waterveiligheid 21e eeuw"*, Delft.

Gemeente Rotterdam, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Waterschap Hollandse Delta en Hoogheemraadschap van Delfland, 2007. Waterplan II. Rotterdam: Gemeente Rotterdam.

Gemeente Rotterdam, 2011, *"Stadsvisie Rotterdam"*.

Gemeente Rotterdam, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Waterschap Hollandse Delta en Hoogheemraadschap van Delfland, 2013, *"Herijking Waterplan 2: Werken aan water voor een aantrekkelijke klimaatbestendige stad"*.

Groot Zwaartink, M. E. & Dijkman, M.E. 2007, *"HIS- Schade en Slachtoffers Module versie 2.4, Gebruikershandleiding"*,. Nijmegen, Royal Haskoning en Geodan.

Hoogheemraadschap van Delfland, 2010, *"Waterbeheerplan 2010-2015, keuzes maken, kansen benutten"*, Delft.

Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, 2009, *"Waterbeheerplan 2010-2015, goed voor elkaar"*, Rotterdam.

Houben, F.J.M. Teulings, J.H.A. Hall, A. van, Verruijt, A. Huis in 't Veld, J.C., 2004, *"Wat Wilnis ons leert, Over technische, bestuurlijke en juridische aspecten van dijkverschuiving bij langdurige droogte"*, De Ronde Venen, Onderzoekscommissie Wilnis.

Huizinga, J. Nederpel, A. Groot, K. de, Wee, S. van der, 2009, *"Risicomethode buitendijs: Methodiek ter bepaling van risico's als gevolg van hoogwater"*, Lelystad, HKV Lijn in Water en Arcadis.

Keizer, A., 2008, Afstudeeronderzoek, *"Leidraad voor beperking overstromingsschade na doorbraak regionale waterkeringen"*.

Kok, M. Huizinga, H.J. Vrouwenvelder, A.C.W.M. Barendregt, A., 2004, *"Standaardmethode 2004 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen"*, . Den Haag, RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde.



Makaske, B., 2004, *"Nooit meer Wilnis"*, Boomblad, nr. februari 2004, p.10-11.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, 2011, *"Werk aan de delta, Deltaprogramma 2012, Maatregelen van nu, voorbereiding voor morgen"*.

Must stedenbouw, 2013, *"Workshop ontwerp en strategie overstromingsrisico's Zestienhoven-Schiebroek"*.

PBL (Planbureau voor de Leefomgeving), 2009, *"Overstromingsrisicozonering in Nederland. Hoe in de ruimtelijke ordening met overstromingsrisico's kan worden omgegaan"*, Den Haag/Bilthoven.

Provincie Zuid-Holland, 2006, *"Beleidsnota provinciale vaarwegen en scheepvaart"*, Den Haag.

Provincie Zuid-Holland, 2011, *website: Regionale Keringen, www.zuid-holland.nl/overzicht_alle_themas/c_landschap/water/c_waterveiligheid/c_e_thema_water-waterveiligheid_regionale_keringen.htm*.

Prinsen, G. Verschelling, E. Niewold, H. Dorst, M.A.M. van, Peijnenborgh, E. Beek, H.H. van der, 2004, *"Toetsing kruinhoogten boezemkaden binnen dijkkring 14 en 44, Deelrapport"*, Hoogheemraadschap van Schieland, Provincie Zuid-Holland, Den Haag.

Quispel, M. Ubbels, B. Dasburg-Tromp, N.J., 2008, *"Maatschappelijke kosten-baten analyse bochtafsnijding Schie"*, Zoetermeer, NEA.

Rijksoverheid, 2006, *"Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, katern boezemkaden"*.

Rijksoverheid, *"website: <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/regionale/>"*.

STOWA, 2008, *"Richtlijn – Normering keringen langs regionale rivieren"* Utrecht, STOWA.

Witteveen en Bos, 2010, *"Bochtafsnijding Delftse Schie definitief ontwerp"*, Den Haag, Provincie Zuid-Holland.

Bijlage 1: Gevolgenanalyse overstrooming Zestienhoven-Schiebroek

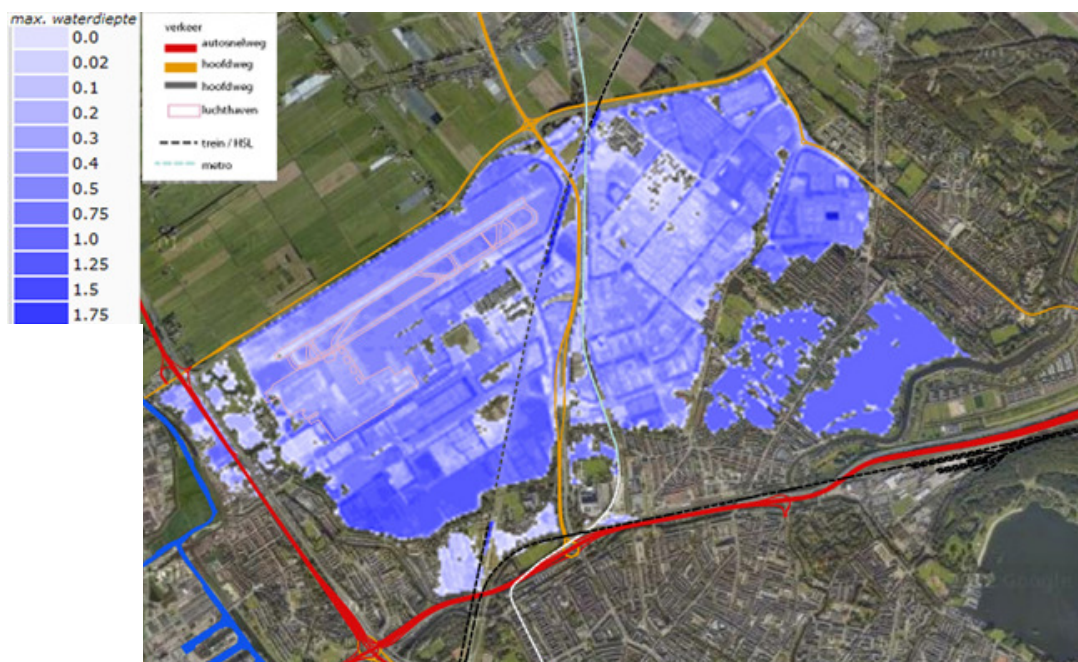
Schade door bedrijfsuitval

In de polder Zestienhoven Schiebroek zijn verschillende bedrijven gevestigd. Vooral de gezondheids- en welzijnszorg zijn goed vertegenwoordigd in het gebied. Goed inzicht krijgen in de gevolgen die gepaard gaan met bedrijfsuitval is bijzonder complex en momenteel onderwerp van academisch onderzoek. De complexiteit heeft er in de eerste plaats mee te maken dat bedrijfsuitval verschillende invloeden heeft op verschillende typen bedrijven. Daarnaast is gedetailleerde informatie nodig over het type bedrijf, de processen die er plaats vinden, hoelang die processen duren, welke andere bedrijven daar van afhankelijk zijn, etcetera. Daarnaast speelt ook de schaal van het bedrijf mee en of productie of processen kunnen worden overgenomen door bedrijven in de omgeving. Hierbij speelt ook de duur van de bedrijfsuitval mee.

Om toch enig inzicht te krijgen in schade door bedrijfsuitval in het gebied is gebruik gemaakt van gegevens van het CBS waarbij voor verschillende economische sectoren de bruto toegevoegde waarde per werknemer per jaar is gegeven. Over alle sectoren is een gemiddelde te nemen van verloren toegevoegde waarde per werknemer van ongeveer € 125.000 per werknemer per jaar (ca. € 340 per werknemer per dag). In het studiegebied waren in 2011 circa 15.000 mensen werkzaam (www.rotterdamincijfers.nl). Met deze gegevens komen we op een schade van ongeveer € 5 miljoen euro per dag schade door bedrijfsuitval in het gebied indien het gehele gebied niet zou kunnen produceren vanwege de overstrooming.

Schade aan de infrastructuur

Naast bestemmingsverkeer kent het studiegebied een aantal belangrijke doorgaande routes zoals de A13, de A16, de HSL en de Randstadrail. Bij overstrooming zullen delen van de A13 en de tunnel van de HSL onder water lopen, en buiten bedrijf komen. Verdergaand onderzoek is nodig om te bezien of het water ook via de HSL-tunnel in de polders ten noorden van het studiegebied terecht kan komen. Kengetallen voor directe schade aan de infrastructuur zijn meegenomen de schadeberekening. De schade die indirect zal ontstaan door uitval van deze belangrijke routes is niet inzichtelijk.



Bijlage 1 Figuur 1 Infrastructuur en maximale overstromingsdiepten in polder Zestienhoven-Schiebroek

Uitval van de scheepvaart

In de schadeberekeningen is geen rekening is gehouden met de gevolgen die de overstroming kan hebben voor bedrijvigheid buiten de polder. Dit gaat bijvoorbeeld om beroepsscheepvaart en de bedrijvigheid die daarvan afhankelijk is.

De Delftse Schie is een belangrijke scheepvaartverbinding in Zuid-Holland. Het is een van de mogelijke verbindingen tussen de Zeeuwse wateren en het IJsselmeer. De binnenvaart op de Delftsche Schie bestaat vrijwel geheel uit bestemmingsverkeer voor bedrijven in de Spaanse Polder, Overschie, Delft (zowel Zuid als Noord), Rijswijk en Den Haag. Zo worden dagelijks circa 60 containers van Den Haag naar Rotterdam vervoerd en voeren bedrijven zoals DSM in Delft-Noord per schip grondstoffen aan en andere producten af (bij DSM gaat het om ca. 95.000 ton per jaar). Het merendeel van de binnenvaart over de Schie betreft bouwmaterialen zoals zand en grind (82%) aangevoerd vanuit Duitsland, Noord-Brabant en Limburg, op weg naar beton- en asfaltcentrales in Delft en Den Haag. Daarnaast bestaat de binnenvaart over de Schie uit voedingsmiddelen (4%) en afval (14%), dat vervoerd wordt vanuit ondermeer Delft en de Spaanse Polder naar de verwerkingsinstallatie in Rozenburg (Quispel, 2008).

Wanneer de kade van de Schie zou doorbreken en de boezem niet meer bevaarbaar is, heeft dat dus grote gevolgen voor de binnenlandse scheepvaart en de bedrijven die daarvan afhankelijk zijn. Per dag vallen ongeveer 27 binnenvaartschepen uit (Provincie Zuid-Holland, 2006). Verder onderzoek is nodig om te bezien hoe deze schade in kosten uitgedrukt kan worden en of alternatieve routes mogelijk zijn.

Ook de recreatievaart maakt intensief gebruik van de Delftse Schie. Het traject vormt een schakel in de doorgaande route tussen de Zeeuwse wateren en het IJsselmeer. In 2002 passeerden 4.500

recreatievaartuigen de Parksluizen in Rotterdam. Daarnaast wordt op de vaarweg geoefend door (wedstrijd)roeiers. In 1999 passeerden ruim 9.000 recreatievaartuigen de Abtswoudsebrug bij Delft (Quispel, 2008).

Schade aan het vliegveld

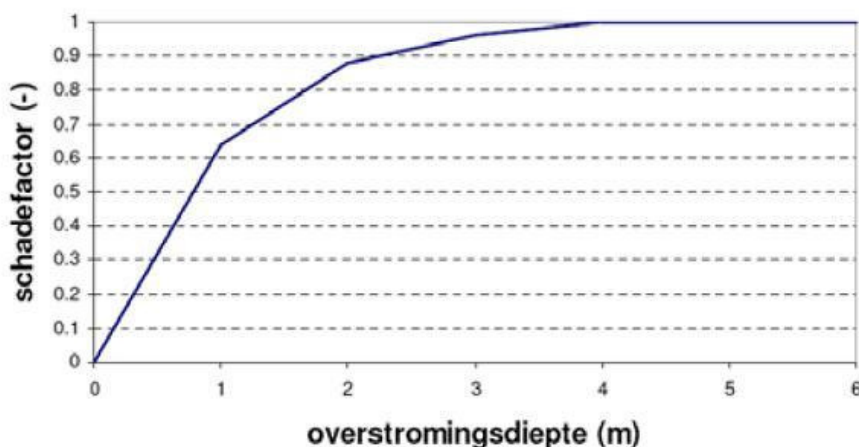
Voor het bepalen van de directe schade aan vliegvelden is een onderscheid te maken in directe schade aan de infrastructuur, directe schade aan de vliegtuigen en indirecte schade door uitval van het vliegveld. Hiervoor is gebruik gemaakt van informatie die bekend is vanuit de Schiphol Groep (Keizer, 2008), waarvan ook vliegveld Rotterdam/The Hague Airport onderdeel is.

Voor de directe schade aan de infrastructuur wordt gerekend met kengetallen voor de aanlegkosten voor wegconstructies voor hoge belasting. Deze kosten bedragen gemiddeld € 650.000 per hectare (Keizer, 2008). De wegconstructie van het vliegveld Rotterdam/The Hague Airport heeft een oppervlak van ongeveer 50 hectare. Het bijbehorende schadebedrag is € 32.500.000,-.

De schade aan vliegtuigen is afhankelijk van de gemiddelde vervangingswaarde per vliegtuig, het gemiddeld aantal vliegtuigen dat op enig moment op de dag aanwezig is en het percentage vliegtuigen dat tijdig kan worden geëvacueerd. Bij eerdere berekeningen voor overstromingsschade voor Schiphol heeft men door dit te berekenen een gemiddelde schade berekend van € 547.000 per hectare vliegveld. Het oppervlak van het vliegveld Rotterdam/The Hague Airport is ca. 200 hectare. Het verwachte bedrag aan schade van vliegtuigen is dan € 109.400.000.

Om de indirecte schade bij uitval van het vliegveld te berekenen kan gebruik worden gemaakt van de omzet van het vliegveld. Voor Schiphol is een omzet van € 419 420 per hectare per jaar in 2002 berekend (Keizer, 2008). Uitgaande van 200 hectare voor Rotterdam/The Hague Airport komt dat op een indirecte schade van € 229.819,- per dag.

Over de genoemde schade kan een schadefactor worden gerekend, afhankelijk van de waterdiepte. Het vliegveld loopt in dit geval circa 0,5 meter onder water, wat resulteert in een factor 0,3. In totaal komt de schade bij een overstroming van het vliegveld dan op een materiele schade van € 42.570.000 en een schade door bedrijfsuitval van € 68.946,- per dag.



Bijlage 1 Figuur 2 Schadefunctie voor vliegvelden (Groot Zwaaftink, 2007)

Schade aan vitale infrastructuur

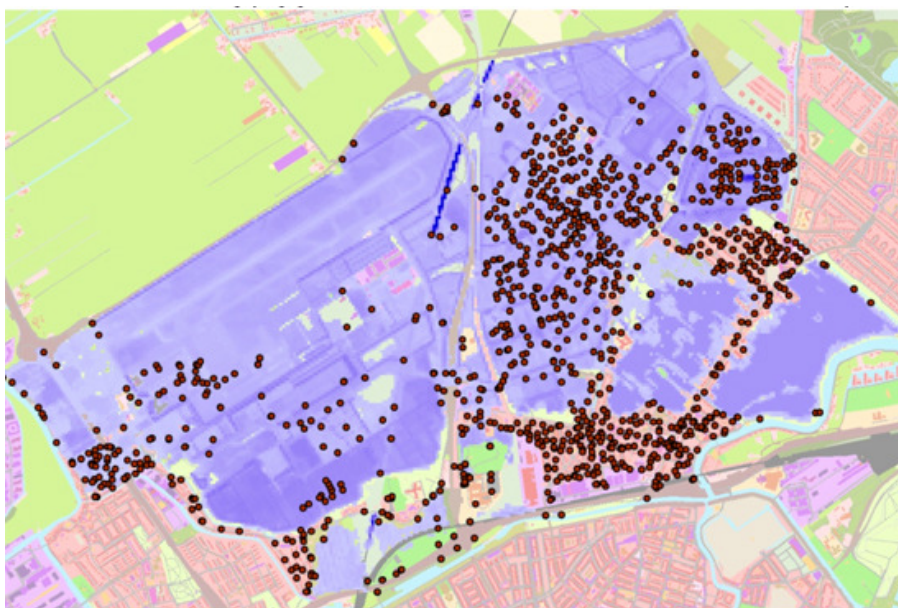
We spreken van vitale infrastructuur als het gaat om producten, diensten en de onderliggende processen die, als zij uitvallen, maatschappelijke ontwrichting kunnen veroorzaken. Dat kan zijn omdat er sprake is van veel slachtoffers en grote economische schade, dan wel wanneer het herstel zeer lang gaat duren en er geen reële alternatieven voorhanden zijn, terwijl we deze producten of diensten niet kunnen missen. Voorbeelden zijn elektriciteit, drinkwater, gas, ICT en Telecom (Deltares, 2011).

Om de gevolgen van een overstroming voor de vitale infrastructuur inzichtelijk te maken is zorgvuldig onderzoek nodig. Hiervoor was binnen het kader van deze studie onvoldoende ruimte. Onderstaand is wel een eerste poging gedaan om gevolgen van een overstroming voor vitale infrastructuur inzichtelijk te maken met behulp van gegevens over straatkasten in het studiegebied.

Waterdiepte elektriciteitskastjes

Er zijn in het studiegebied vele bovengrondse voorzieningen, in totaal circa 1.150 stuks (Bijlage 1 Figuur 3). Deze bovengrondse voorzieningen kunnen verschillend van aard zijn, verdeelkasten voor elektriciteit (laagspanning), of straatkasten voor kabel en telecom. Zie voor voorbeelden de Google streetview screenshots (Bijlage 1 Figuur 4).

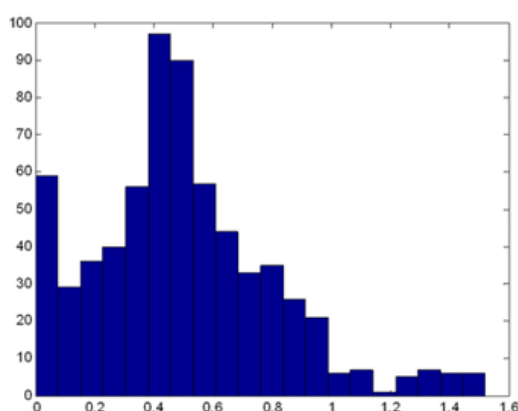
Van de 1.150 voorzieningen staan er bij overstroming circa 660 onder water. Potentiële waterdieptes lopen op tot circa 1,5 meter, waarbij het grootste deel ongeveer 50 cm onder water kan komen te staan (Bijlage 1 Figuur 5). Onderzoek in het buitendijkse gebied naar vitale infrastructuur liet zien dat bij verdeelkasten (laagspanning) en straatkasten (telecom) bij meer dan 30 cm waterdiepte kritieke elementen nat zullen worden die problemen kunnen veroorzaken voor het functioneren van de voorzieningen. Bij maximale overstroming zijn er in het studiegebied circa 500 bovengrondse voorzieningen waar waterdieptes van meer dan 30 cm verwacht worden. Wanneer bij een doorbraak de bres vroegtijdig gedicht kan worden, kan hiermee de schade worden beperkt.



Bijlage 1 Figuur 3 Bovengrondse voorzieningen (rode rondjes) in het studiegebied in vergelijking met de inundatiediepte die kan ontstaan na een overstroming vanuit de Schie (noord; 10 dagen).



Bijlage 1 Figuur 4 Straatkasten (bron: maps.google.nl)



Bijlage 1 Figuur 5 Waterdiepte van de verschillende bovengrondse voorzieningen. De x-as geeft de potentiële waterdiepte aan, de y-as het aantal voorzieningen dat zo diep onder water kan komen te staan na overstromingen vanuit de Schie (noord) of Rotte.

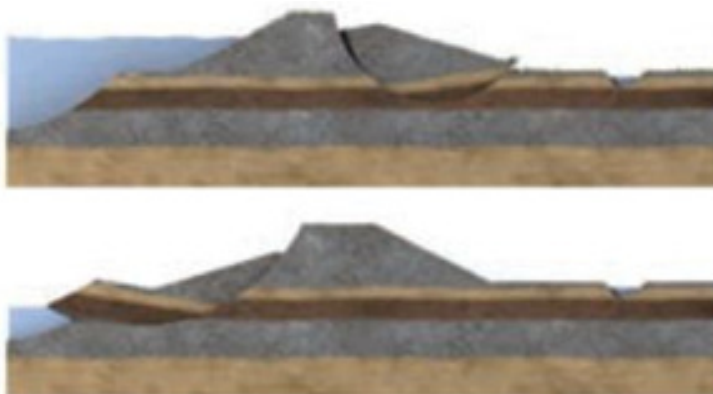
Schade aan het boezemsysteem en bebouwing op de kering

De overstromingsberekeningen gaan uit van een uiteindelijke bres van 20 meter in de boezemkering van de Schie en 45 meter in de kering van de Rotte (N&S 2012). De kosten voor herstel van de kering inclusief wegdek kan worden geschat op € 100.000 bij een bres van 50 meter (schatting HHSK, 2012). Per strekkende meter zou men gemiddeld $\frac{€ 100.000}{50} = € 2.000$ kunnen rekenen. Kosten kunnen sterk verschillen afhankelijk van de omstandigheden.

Schade aan boezemkaden buiten de bres

Door een relatief plotselinge val van het boezemwater, die in de Schie of de Rotte plaats kan vinden bij een dijkdoorbraak, kan instabiliteit van het buitentalud ontstaan. De dijk is immers nog verzadigd met grondwater, terwijl de waterdruk aan de kanaalzijde deels wegvalt. Vaak is dan de steilheid van het watertalud kritisch. Afkalving en mogelijk instabiliteit door het ontstaan van een cirkelvormig glijvlak in het buitentalud kunnen optreden, waardoor de kade kan afschuiven in de boezem.

Ook kan bij overstroming ter plaatse van een bres in de kade of dijk het binnentalud instabiel worden, door erosie als gevolg van het binnen stromend water. De kade schuift dan af langs een glijcirkel in het binnentalud, waardoor een grotere bres ontstaat (progressief bezwijken). Het schadebeeld is dan een bezweken kade waarbij zowel de kade als eventuele aanwezige weg of bebouwing langs de kade bezwijkt. Voor deze schade zijn vooralsnog geen kengetallen bekend.



Bijlage 1 Figuur 6 Afschuiven van de kade (MRO, Rotterdam)

Wat de exacte gevolgen voor deze boezemkaden zijn bij overstroming en waar mogelijk afschuiving zal plaatsvinden is onbekend. Wel is bekend dat mogelijke schade beperkt kan worden wanneer het peil in de boezem langzamer daalt, of wanneer het peil alleen over een klein gedeelte van de boezem daalt.

Bebouwing op de kering

Bij afschuiven van de kade, kan grote schade aan de woningen optreden. Daarnaast kan ter plaatse van een bres zoveel grond wegspoelen dat de horizontale stabiliteit in het geding is. Ook kan de stromingsdruk van sterk stromend water een constructie, bijvoorbeeld de bovenbouw van een huis, doen bezwijken. In het studiegebied zijn met name de kaden van de Schie druk bebouwd. De te verwachten schade aan bebouwing op de kade bij een kadedoorbraak van een regionale kering in Rotterdam is momenteel niet inzichtelijk.

Funderingen

Bij een overstroming is voor gebouwen in de polder waterschade te verwachten door bijvoorbeeld verweking van plaatmateriaal, vochtschade, kortsluiting, brand en verlies van inboedel. Hiervoor zijn in het schademodel kengetallen gebruikt. Schade aan de bouwconstructie is lastig in te schatten en hangt sterk samen met het type fundering. Funderingen op palen zijn minder kwetsbaar in een ondergelopen gebied. Wel kan ter plaatse van een bres zoveel grond wegspoelen dat de horizontale stabiliteit van de woning in het geding is. Voorts kan de stromingsdruk van sterk stromend water een constructie, bijvoorbeeld de bovenbouw van een huis, doen bezwijken.

Doordat het gebied bebouwing kent op verschillende typen ondergrond en uit verschillende perioden, zijn ook de funderingen gevarieerd. Een groot deel van de bebouwing in de polder Zestienhoven Schiebroek is gefundeerd op betonnen palen en zal hiermee weinig last ondervinden bij een overstroming. De rand van de polder Zestienhoven wordt aan de zuidzijde gekenmerkt door de Steilrand, waar voor circa 70 % lintbebouwing aanwezig is. Hier staan veelal vrijstaande huizen, van begin 20^e eeuw of ouder. Deze bebouwing is doorgaans op houten palen gefundeerd in het grondlichaam van de secundaire kering. De kwaliteit van de funderingen is over het algemeen redelijk, maar bij overstromingen kunnen door stroming en door verschillen in grondwaterpeilen grote funderingsproblemen bestaan. Min of meer kan hetzelfde gezegd worden over de bebouwing langs de Rotte in Hillegersberg.

Specifiek in dit gebied is bij Laag-Zestienhoven een klein wijkje Landzicht opgebouwd uit noodwoningen die op staal zijn gefundeerd. Voorts zijn enkele langs de dijk gelegen woningen (mogelijk) op staal gefundeerd. Ook zijn in Schiebroek langs de Plataanweg enkele woningen op staal gefundeerd. Ook zijn enkele langs de dijk gelegen woningen (mogelijk) op staal gefundeerd. Funderingen op staal zijn kwetsbaarder dan funderingen op palen. Bij een overstroming kan door het wegspoelen van de grond de draagkracht afnemen, waardoor schade kan ontstaan. Ook te hoge grondwaterstanden kunnen een effect hebben op de integriteit van fundering en daarmee dus ook de bovenbouw. Daardoor ontstaat afname van draagkracht, funest bij kritisch belaste funderingen (de draagkracht van de fundering ongeveer net zo groot is als de belasting op de fundering). Wat de te verwachten schade is aan funderingen bij een overstroming is in dit onderzoek niet berekend. Hiervoor is meer onderzoek nodig.

Monumenten

In het studiegebied bevinden zich verschillende monumenten, met name in de omgeving van de Schie en van de Straatweg. Schade bij overstroming is zeer afhankelijk van de ligging van deze monumenten in het gebied, en van de constructie en materialisering van het bouwwerk. Zo is aan houten constructie relatief veel schade te verwachten.

Direct langs de Schie, rondom de aangewezen mogelijke breslocaties, bevinden zich verschillende monumenten, zoals de kerk St. Petrus Banden en buitenplaats Leeuwenhof, maar ook Delftweg 94 (1875) en 96 (toekomstig monumenten uit 1910). Een doorbraak van de kade langs de Schie kan bij deze bouwwerken tot ernstige schade leiden. Ook de Prinsenmolen, nabij de breslocatie aan de Rotte is een monument. Ook stroomafwaarts langs de Schie in Overschie staan een aantal monumenten (boerderij, huizen, waterwerken) langs de boezem die eventueel problemen kunnen ondervinden bij het droogvallen van de boezem, afhankelijk van lokale grondwaterstanden en mogelijke verzakkingen.

In Hillegersberg en Schiebroek liggen de toekomstige monumenten Calandlyceum (1957) en Nederlands Hervormde Kerk Kastanjeplein (1957). Bij een overstroming vanuit de Schie kunnen deze gebouwen tot zo'n 1,5 meter onder water komen te staan. Welke schade het gebouw hiervan zal ondervinden is niet duidelijk. Gezien de ligging in het gebied, is bij een overstroming vanuit zowel Schie als Rotte enkele dagen de tijd om op de locaties de nodige voorzorgsmaatregelen te nemen. Monumenten in oud Hillegersberg, zoals het raadhuis (1884) en de Nederlands hervormde kerk (1300), bevinden zich op voldoende hoogte, zodat nauwelijks schade te verwachten is.

Schade aan woonboten en vaartuigen

Bij een overstroming van de boezem is naast schade in de polder, ook schade te verwachten aan woonboten en boten die in de boezem gelegen zijn. Wanneer de waterstand in de boezem zakt, of de boezem droogvalt, kan structurele schade aan een woonboot ontstaan doordat de woonboot kantelt, of doordat aansluitingen van kabels en leidingen losraken. Bij de dijkverschuiving van de boezemkade bij Wilnis in 2003, waarbij de boezem geheel droog viel, raakten de woonboten in de modder vast. Dit zorgde voor problemen, en een extra kostenpost bij het opnieuw vullen van de boezem.

In het systeem van de Schie zijn relatief weinig woonboten gelegen; tussen Rotterdam en Delft zijn dat er hoogstens 10. Echter, in het boezemsysteem van de Rotte gaat het om veel meer woonboten, rond de 135. De meeste hiervan liggen op het traject tussen de brug bij Kleinpolderplein en de kruising van waterwegen bij de Rottebrug. Buiten de woonboten liggen ook veel pleziervaartuigen in de Rotte. In het Rotterdamse deel van de Rotte liggen zes jachthavens, waarin ruimte is voor meer

dan 350 boten. Verder stroomopwaarts liggen nog eens vier jachthavens, met ongeveer 250 boten in totaal. Ook buiten de jachthavens liggen over de gehele lengte van de Rotte boten op individuele ligplaatsen, wat in totaal waarschijnlijk een verdubbeling van de hoeveelheid pleziervaartuigen op de Rotte oplevert.

Voor alle woonboten en pleziervaartuigen geldt dat deze mogelijk schade kunnen ondervinden bij het, al dan niet volledig, droogvallen van de Rotte. De kosten die hier mee gemoeid gaan zijn moeilijk te schatten, maar indien de Rotte in relatief korte tijd volledig zou droogvallen zouden 135 woonboten en meer dan 1000 pleziervaartuigen mogelijk schade kunnen oplopen.



Bijlage 1 Figuur 7 Woonboten langs de zuidoever (Gordelpad), en jachthaven aan de noordoever (Noorderkade) van de Rotte.

Milieuschade

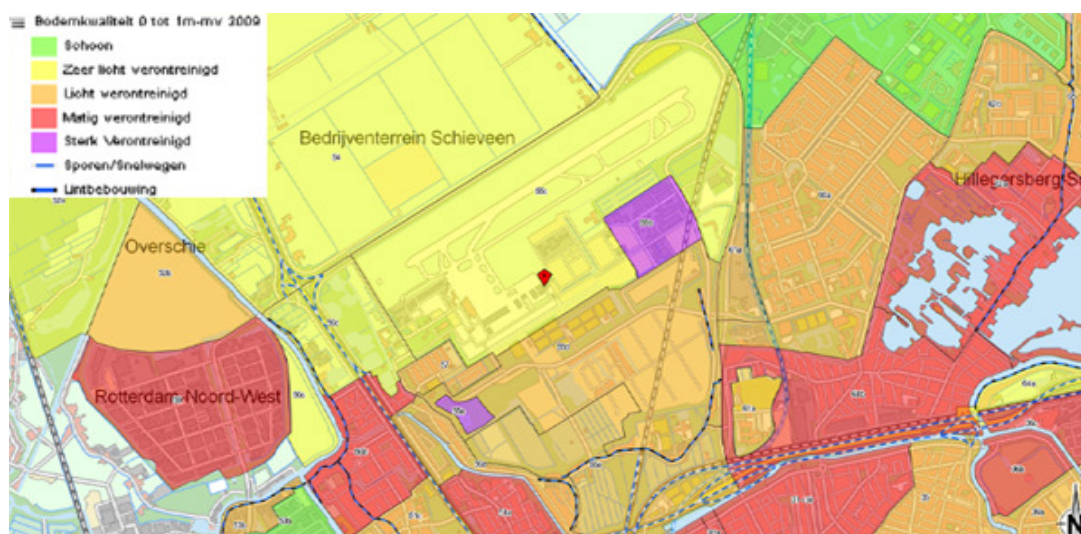
Bij overstroming zijn de milieurisico's afhankelijk van de in het inundatiegebied aanwezige voorzieningen, opslag en economische activiteiten. Vanwege milieu-schadelijke brandstoffen zijn voertuigen en tanks een potentieel milieurisico bij inundatie. Het bepalen van de omvang van dit risico valt buiten het kader van deze studie en is een aanbeveling voor een eventueel vervolgonderzoek.

Op basis van milieuonderzoeken uit het verleden houdt de Gemeente Rotterdam een indicatieve bodemkaart bij waarin diverse gebieden (percelen) in Rotterdam al dan niet verontreinigd zijn en zo ja, in welke mate.

De milieurisico's met betrekking tot verspreiding van reeds aanwezige bodemverontreinigingen door overstroming is niet groot, hooguit door transport van grond van de bovenlaag. Bij het onderlopen van de polder kan de grond zich met water vermengen (erosie, suspensie). Dit geldt in principe voor de bovenste grondlaag (in milieu-termen: contactzone). Hoewel geen ernstige

bodemsaneringlocaties bekend zijn in de polder Zestienhoven of Schiebroek, zijn wel een tweetal locaties bekend waar de bovengrond (sterk) verontreinigd kan zijn. De oorzaak hiervan is veelal terug te voeren naar het materiaal waarmee bepaalde percelen zijn opgehoogd. Op de onderstaande kaart zijn deze locaties (paars) aangegeven.

Van eventuele dieper aanwezige verontreiniging wordt vooralsnog geen interactie verwacht met eventueel overstromingswater. Bovendien zal in de grond aanwezige verontreiniging veelal niet mobiel zijn (en dus aan de grond gebonden zijn).



Bijlage 1 Figuur 8 Verontreinigingsbeeld contactzone (tot 1 m-mv) polder Zestienhoven/Schiebroek (bron: GisWeb 2.0)

Slachtoffers

Naast directe schade is er bij overstromingen ook een gevaar op slachtoffers. Deze worden over het algemeen berekend aan de hand van zogenaamde mortaliteitscurves, welke de relatie tussen waterdiepte en de kans op overlijden weergeven; vergelijkbaar met schadecurves. De kans op overlijden wordt vervolgens toegepast op de hoeveelheid mensen die achtergebleven zijn in het gebied: de blootgestelde bevolking. Deze blootgestelde bevolking staat gelijk aan de totale bevolking minus de mensen die geëvacueerd zijn, en minus de mensen die in veilige schuilplaatsen hun toevlucht zoeken. In deze studie wordt gebruik gemaakt van de mortaliteitscurve zoals die door Jonkman et al. (2009) is opgesteld aan de hand van gegevens van orkaan Katrina in New Orleans. In dezelfde studie wordt uitgegaan van een evacuatiefractie van 80% en een schuilfractie van 10%, waardoor er 10% van de originele bevolking blootgesteld wordt aan de overstroming.

Een overstroming vanuit het regionale watersysteem door het bezwijken van een boezemkade is in principe een heel andere situatie dan een orkaan. Zo kan de komst van een orkaan dagen voor aankomst al voorspeld worden, terwijl het bezwijken van een boezemkade een meer abrupte gebeurtenis is. Aan de andere kant is na het bezwijken van een boezemkade veel meer tijd om te reageren, gezien het voor sommige plekken dagen kan duren voordat er water komt te staan. Daar deze effecten tegengesteld werken is ook in deze studie uitgegaan van een evacuatie- en schuilfractie van in totaal 90%.



In totaal wonen ongeveer 34.600 mensen in het studiegebied, verdeeld over een zestal wijken. Potentiële slachtoffers zijn berekend m.b.v. de mortaliteitscurve van Jonkman et al. (2009). Er zijn twee berekeningen gemaakt: een voor een overstroming vanuit de Schie (na 240 uur), en een voor een overstroming vanuit de Rotte (na 147 uur). De momenten zijn gekozen door te kijken wanneer de hoogste schade bij elke overstroming optrad. Op dat moment is de waterdiepte het hoogst bij gebouwen en kan de overstroming dus ook de meeste slachtoffers veroorzaken. Volgens de berekeningen is de hoeveelheid te verwachten slachtoffers beperkt: drie bij een overstroming van de Schie en 0.4 bij een overstroming van de Rotte. Dit heeft er mee te maken dat waterdieptes bij de woningen, relatief beperkt is (veelal kleiner dan 1 meter). Bij zulke waterdieptes kan ook gemakkelijk op hogere verdiepingen van woonhuizen toevlucht worden gezocht.