

Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden

Wouter Vanneuville, Ruben Maddens, Christophe Collard, Peter Bogaert,
Philippe De Maeyer, Marc Antrop

Vakgroep Geografie
Universiteit Gent

Studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA

MIRA/2006/02

April 2006



Dit rapport verschijnt in de reeks MIRA Ondersteunend Onderzoek van de Vlaamse Milieumaatschappij. Deze reeks bevat resultaten van onderzoek gericht op de wetenschappelijke onderbouwing van het Milieurapport Vlaanderen.

Dit rapport is ook beschikbaar via www.milieurapport.be

Contactadres:
Vlaamse Milieumaatschappij
Milieurapportering (MIRA)
Van Benedenlaan 34
2800 Mechelen
Tel. 015 45 14 66
mira@vmm.be

Wijze van citeren:

Vanneuville W., Maddens R., Collard Ch., Bogaert P., De Maeyer Ph., Antrop M., 2006, Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, MIRA, MIRA/2006/02, UGent.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Lijst met Figuren	5
Lijst met afkortingen	6
Woord vooraf	8
Samenvatting	10
1 Doelstelling	11
2 De stand van zaken in het onderzoek	13
3 Methodologie	14
3.1 Bodembezetting	15
3.2 Bepalen maximale schade	19
3.2.1 Schade aan woningen	19
3.2.2 Schade aan industrie	23
3.2.3 Schade aan infrastructuur en luchthavens	24
3.2.4 Schade aan recreatiegebieden	25
3.2.5 Schade aan akkerland en weiland	25
3.2.6 Schade aan voertuigen	26
3.2.7 Schade aan water, natuur en bossen	27
3.2.8 Schade aan wegen	28
3.2.9 Schade aan spoorwegen	28
3.2.10 Schade aan waterwingebieden, zuiveringsinstallaties en spaarbekkens	28
3.2.11 Schade aan kerken, kloosters, abdijen, molens, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen, schoolgebouwen en kastelen	29
3.2.12 Schade aan elektriciteitscentrales, zendinstallaties en windturbines	29
3.2.13 Schade aan ondergrondse parkeergarages en metrostations	30
3.2.14 Schade aan benzinstations, winkelcentra en rusthuizen	30
3.2.15 Schade aan treinstations	31
3.2.16 Schade aan brandweer- en politiekazernes, gevangenissen en musea	31
3.2.17 Schade aan pretparken en zoo's	31
3.2.18 Overzicht	32
3.3 Schadefuncties en drempelwaarden	35
3.3.1 Drempelwaarden	36
3.3.2 Schadefuncties	36
3.4 Bepalen van (dodelijke) slachtoffers	44
3.4.1 Waterdiepte en stijgsnelheid als belangrijkste elementen	45
3.4.2 Voorbeeld slachtofferberekening	49
3.4.3 Individueel risico versus groepsrisico	50
3.4.4 Besluiten slachtofferberekeningen	51
4 Beschrijving van de hydraulische modellen	52
4.1 Demermodel	53
4.2 Dendermodel	53
4.3 Leie-Bovenshelde	53
4.4 IJzer	54
4.5 Grensmaas	54
4.6 Sigma	54

5	Schade door overstromingen in het verleden	56
5.1	December 1993	56
5.2	Januari 1995	58
5.3	September 1998	60
5.4	December 1999	62
5.5	Februari 2002	64
5.6	Januari 2003	66
5.7	Besluit	68
6	Risico huidige toestand	69
7	Toekomst scenario's	73
7.1	Klimaatverandering	73
7.1.1	Algemeen	73
7.1.2	Zeespiegelrijzing	75
7.1.3	Veranderingen in neerslagpatroon	75
7.2	Geplande ingrepen	76
7.2.1	Wijzigen van dijkhoogte	76
7.2.2	In dienst nemen van GOG en GGG	77
7.2.3	Technische oplossingen: het plaatsen van pompen	77
7.3	Geplande maatregelen	79
7.3.1	Watertoets	80
7.3.2	Verzekering van natuurrampen	81
7.4	Praktische voorbeelden	82
7.4.1	Concept	82
7.4.2	Uitwerking	83
8	Lopend en toekomstig onderzoek	94
9	Conclusies	96
10	Bibliografie	99
	Bijlage A - Definities klassen bodemgebruik	104
	Bijlage B - Gemiddelde verkoopswaarde woningen 2004	106
	Bijlage C - Maximale schade aan akkerbouwpercelen	112
	Bijlage D - Combineren van gegevens NGI tot bodembezettingsklassen	114
	Bijlage E - Codering bodemgebruikkaarten	117
	Bijlage F - Vergelijking berekende schade versus geïnventariseerde schade	121

Lijst met Figuren

Fig. 3-1: Combineren van punt-, lijn- en vlakobjecten tot bodemgebruikkaart	18
Fig. 3-2: Fictief voorbeeld berekenen bebouwingsdichtheid	21
Fig. 3-3: Schadefactor voor woningen en inboedels	37
Fig. 3-4: Schadefactor voor voertuigen	38
Fig. 3-5: Schadefactor voor industrie	39
Fig. 3-6: Schadefactor voor recreatie	40
Fig. 3-7: Schadefactor voor landbouw	41
Fig. 3-8: Schadefactor voor wegen en spoorwegen	42
Fig. 3-9: Schadefactor voor zendinstallaties en windturbines	43
Fig. 3-10: Overzicht schadefuncties	44
Fig. 3-11: Relatie waterdiepte, stijgsnelheid een percentage slachtoffers (alfa factor) van het totaal aantal personen in een gebied. (Vrisou Van Eck et al., 1999)	47
Fig. 3-12: Risico slachtoffers (aantal per jaar) voor het bestudeerde deel van het Denderbekken	50
Fig. 4-1: Overzicht van de hydrografische bekkens en bestudeerde waterlopen	55
Fig. 5-1: Schade 1993	57
Fig. 5-2: Schade 1995	59
Fig. 5-3: Schade 1998	61
Fig. 5-4: Schade 1999	63
Fig. 5-5: Schade 2002	65
Fig. 5-6: Schade 2003	67
Fig. 6-1: Risicokaart huidige situatie	72
Fig. 7-1: Risicoverschilkaart Denderbellebroek (basissituatie – alternatief) - Achtergrond: Topografische kaart 1:10 000 raster, Nationaal Geografisch Instituut	79
Fig. 7-2: Overschijdingsfrequentie hoogwaterstanden (Antwerpen)	82
Fig. 7-3: Risicokaart huidige situatie	87
Fig. 7-4: Risicokaart scenario 1	88
Fig. 7-5: Risicokaart scenario 2	89
Fig. 7-6: Risicokaart scenario 3	90
Fig. 7-7: Risicokaart scenario 4	91
Fig. 7-8: Risicokaart scenario 5	92
Fig. 7-9: Risicokaart scenario 6	93
Fig. 9-1 Economisch optimum tussen investeringskost en vermeden schade	97
Fig. B-1: Weergave van de verschillende deelgebieden waarvoor een gemiddelde waarde per hectare landbouwgewassen bepaald is.	113

Lijst met afkortingen

AWW	Antwerpse Waterwerken
CFK'S	Chloor Fluor Koolwaterstoffen
CIW	Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid
CLE/CEA	Centrum voor Landbouweconomie / Centre d'Economie Agricole
COMRisk	Common strategies to reduce the risk of storm floods in coastal lowlands
DHM	Digitaal hoogtemodel
FEBIAC	Belgische Federatie van Automobiel- en Tweewielerindustrie
FHRC	Flood Hazard Research Centre van Middlesex University (U.K.)
GGG	Gereduceerd Getijgebied
GML	Geography Markup Language
GOG	Gecontroleerd overstromingsgebied
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KINT	Koninklijk Instituut voor het Duurzame Beheer van de Natuurlijke Rijkdommen en de Bevordering van Schone Technologie
MER	Milieu effecten rapport
MERK	Micro-scale Risk Evaluation for Coastal Lowlands
MKBA	Maatschappelijke Kosten Baten Analyse
MOG	Gemodelleerd overstromingsgebieden
NAM-model	Hydrologisch model gebruikt in de software MIKE11 van het Danish Hydraulic Institute (DHI)
NGI	Nationaal Geografisch Instituut
NMBS	Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen
NOG	Van nature overstroombare gebieden
OMOB	verzekeringsmaatschappij, nu Ethias
PICASO	Pilot Case Overstromingen, Studieprogramma in Nederland voor onderzoek naar de oorsprong en gevolgen van overstromingen
PIDPA	Provinciale en Intercommunale Drinkwatermaatschappij der Provincie Antwerpen
POG	Potentieel Overstromingsgebied
RIZIV	Rijksinstituut voor Ziekte- en Invaliditeitsverzekering
ROG	Recent overstroomde gebieden
SEE	Socio-economische enquête
STADIM	Vastgoedadviesbureau
TAW	Tweede algemene waterpassing: referentieniveau voor hoogtemetingen in België
TWOL	Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek Leefmilieu
UGent	Universiteit Gent

VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
VMW	Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening
VLM	Vlaamse Landmaatschappij
WLH	Vlaamse Overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium

Woord vooraf

De Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium (WLH) werkt sinds 2003 mee aan het hoofdstuk ‘Verstoring van de Waterhuishouding’ in de MIRA-T rapporten 2003, 2004, 2005 (AG). Zij rapporteerden over de evolutie van het getij, een risicobenadering bij overstromingen, een vergelijking van de beschikbaarheid van water in verschillende landen en schade bij overstromingen sinds de jaren '90. Voor de gedeelten risicomethodologie overstromingen en schade overstromingen uit het verleden werd gebruik gemaakt van methoden en resultaten uitgewerkt door de Vakgroep Geografie van de UGent, die sinds 2002 samen onderzoek uitvoeren.

Kennis over de gevolgen van overstromingen en risico's wordt belangrijker. Er is een groeiend draagvlak binnen Vlaanderen en binnen Europa. De Vakgroep Geografie en het WLH waren er beide van overtuigd dat, vertrekkende van de bestaande methodologie en basisgegevens bijkomend onderzoek kan leiden tot een betere kennis van de gevolgen van overstromingen als indicator voor de toestand in Vlaanderen. De Vakgroep Geografie diende in samenwerking met WLH een voorstel voor ondersteunend onderzoek in bedoeld als input voor MIRA-S 2009. De studie wil het mogelijk maken scenario's door te rekenen en mogelijke evoluties in de tijd te simuleren. Ze behandelt overstromingsrisico's en hoort daarom thuis in een context van “Verstoring van de waterhuishouding”. Deze kan echter niet los gezien worden van voorspelde evoluties op klimatologisch vlak en heeft daardoor een sterke link met het thema “Klimaatverandering”. Belangrijkste doelstelling van dit rapport is een bijdrage leveren aan de voorbereiding van MIRA-S 2009, maar ook om aan te geven waar in de toekomst verder onderzoek noodzakelijk is alvorens duidelijke uitspraken te kunnen doen.

Voor dit project werd een stuurgroep samengesteld bestaande uit MIRA (VMM) als opdrachtgever, Vakgroep Geografie (UGent) als opdrachtnemer aangevuld met vertegenwoordigers van de Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium, de Afdeling Water en het KMI. Een startvergadering vond plaats op 05/12/2005, de opvolgingsvergadering op 15/02/2006. De conceptversie van het eindrapport wordt besproken op 26/04/2006.

In deze studie is gebruik gemaakt van hydraulische modellen van de bevaarbare waterlopen. Het gaat hierbij om de Vlaamse delen van:

- Leie en Bovenschelde met inbegrip van het knooppunt Gent
- IJzer en hiermee verbonden kanalenstelsel
- Dender
- Beneden Schelde met Dijle, Zenne, Rupel en Netes voor zover zij onder de bevoegdheid vallen van NV W&Z
- Grensmaas en het Kempische kanalenstelsel
- Demer voor zover deze onder de bevoegdheid valt van NV W&Z

Om de zijdelingse toevoer zo correct mogelijk te modelleren zijn aan deze schematisaties van de bevaarbare waterlopen takken gekoppeld voor de belangrijkste onbevaarbare waterlopen. Deze schematisaties en de waterstand-debietsrelaties van de onbevaarbare waterlopen zijn minder gedetailleerd dan voor de bevaarbare waterlopen. Dit geldt dan ook voor de overstromingskaarten die in deze zones eerder indicatief te beschouwen zijn.

Omdat bepaalde gebieden langsheen rivieren aangesproken (kunnen) worden voor waterberging vanuit bevaarbare en onbevaarbare waterlopen zijn deze zones weerhouden. Op plaatsen waar water gemodelleerd wordt, wordt in een volgende fase aan de hand van waterstand-schade relaties de schade berekend waaruit het risico volgt.

Gelet op de invoer van de hydrologische en hydraulische modellen kan gesteld worden dat de precisie het grootst is langsheen de bevaarbare waterlopen.

Samenvatting

Deze studie wil een aanzet geven voor onderzoeken in het kader van MIRA-T 2006 en MIRA-S 2009 door een methodologie te beschrijven om gevolgen van overstromingen te kwantificeren en verschillende scenario's door te rekenen.

Het omvangrijkste onderdeel van voorliggend rapport beschrijft de gebruikte methodologie. Deze is gebaseerd op alom gekende concepten en methoden uit de geografische informatie wetenschap. Hiervoor worden gegevens van totaal verschillende aard en oorsprong gecombineerd tot een dataset waarmee de uiteindelijke schade- en risicoberekeningen worden uitgevoerd.

Een van de belangrijkste punten in de conceptuele voorbereiding van de data is het bepalen van schadefuncties: hoe groot is de schade die een bepaald object ondergaat bij een gegeven waterhoogte. Deze functies worden in paragrafen 3.1 tot 3.3 uitvoerig besproken. Naast de materiële schade is er ook nog de kwantificering van (dodelijke) menselijke slachtoffers. Hiervoor wordt een aanzet gegeven in paragraaf 3.4, maar op dat vlak moet nog rekening gehouden worden heel wat onzekerheden.

Na een korte beschrijving van de Vlaamse Bekkens waarop deze methodologie werd toegepast, wordt eerst teruggekeken naar het verleden. Om de relevantie van de methodologie te bepalen worden de onderzoeksresultaten vergeleken met de belangrijkste overstromingen sinds 1993. Er werden modelberekeningen uitgevoerd met de schade- en risicomethode zoals ontwikkeld door UGent en WLH en een vergelijking gemaakt met gegevens van de Directie Rampenschade.

Het volgende deel bestaat uit het opstellen van een zogenaamde risicokaart voor de huidige situatie (figuur 6-1). Bij deze kaart horen een aantal belangrijke opmerkingen die in rekening moeten worden gebracht bij de interpretatie ervan. Dezelfde opmerkingen gelden ook voor de risicokaarten in hoofdstuk 7.

- Sommige risicowaarden kunnen toevallig hoog of laag zijn omwille van de keuze van de positionering van het grid: per gridcel wordt een gemiddeld risico berekend en dit gemiddelde kan sterk afhankelijk zijn van uitschieters.
- Een cel met een risico gelijk aan 0 betekent ook niet dat dit gebied nooit kan overstromen. Statistisch gezien kan men niet oneindig interpoleren waardoor compositiehydrogrammen maken met een zeer grote terugkeerperiode weinig betekenis heeft.
- Door de keuze van de data (o.a. beschikbaarheid voor heel Vlaanderen) is het mogelijk dat lokale variaties niet allemaal naar voor komen. De kaart kan dus niet gebruikt worden om lokaal een exacte waarde van het risico te bepalen: interpretatie op een niveau waarvoor de kaart niet werd gemaakt moet worden vermeden.

In het laatste deel van de studie worden dan een aantal toekomstscenario's van naderbij bekeken. Vooraleer tot realistische scenario's te komen werd onderzocht wat de invloeden van klimaatsverandering en menselijk ingrijpen kunnen zijn op de bestaande modellen. Naast deze eerder theoretische uitwerking, werden ook een zestal scenario's voor het sigma-bekken volledig uitgewerkt. Deze omvatten voorspellingen voor 2010 tot 2030 voor verschillende stadia van zeespiegelrijzing en waterbeheersingswerken.

1 Doelstelling

Deze studie wil een aanzet geven voor onderzoeken in het kader van MIRA-T 2006 en MIRA-S 2009 door een methodologie te beschrijven om gevolgen van overstromingen te kwantificeren en verschillende scenario's door te rekenen. De studie kan opgedeeld worden in 3 grote delen: het verleden, de huidige situatie en de toekomst.

De gebeurtenissen uit het verleden zijn sinds 1993 relatief goed bekend en data zijn in min of meerdere mate verzameld. Toch is ook hierover nog niet alles verteld: gegevens zijn onvolledig of inconsistent, met een ander doel verzameld, ... Het doel van deze studie is te kijken naar de gevolgen van overstromingen op mens en economie¹. Om de gegevens in het juiste perspectief te plaatsen, wordt de schade van gebeurtenissen uit het verleden (sinds 1993) doorgerekend en vergeleken met andere bronnen.

De huidige toestand wordt in deze studie (voorlopig) als referentie gebruikt. Voor de verschillende Vlaamse bekkens² worden wasgolven met verschillende terugkeerperioden doorgerekend. De corresponderende te verwachten schade van al deze gebeurtenissen wordt gecombineerd tot een risico (gemiddelde te verwachten schade per tijdseenheid per oppervlakte-eenheid).

Moelijkste onderdeel van dit onderzoek ligt bij het bepalen van scenario's voor de toekomst. Deze zijn op te delen in verschillende groepen:

- geplande waterbeheersingingrepen (harde en zachte maatregelen)
- effecten van een beleid dat overstromingsgevoelige gebieden vrijwaart
- effect van zeespiegelrijzing
- verandering van neerslaghoeveelheden en –patronen³

De toekomst is per definitie onzeker waardoor op verschillende punten keuzes dienen gemaakt te worden. Dit rapport beoogt het zoeken naar keuzes die voor een grote groep belanghebbenden aanvaardbaar zijn. Iedere keuze zal voor- en tegenstanders blijven hebben, maar het belangrijkste is ons inziens een wetenschappelijke beschrijving van de gemaakte keuzes om de resultaten reproduceerbaar te maken.

De toekomst is morgen, is volgend jaar, is binnen 100 jaar. Niet alle scenario's die in dit project zullen uitgewerkt worden zijn relevant om op korte dan wel op lange termijn te bekijken. Bij ieder van de scenario's zal aangegeven worden welke zichttijden gebruikt worden. Zo zijn de ingrepen die men wil doen om overstromingsgevoelige gebieden te vrijwaren op lange termijn onbekend⁴ en zijn de effecten van zeespiegelrijzing op korte termijn niet merkbaar.

¹ Dit houdt in dat niet gekeken wordt naar natuurschade, landschappelijke schade, geschiedkundige schade, ... Deze elementen zijn niet onbelangrijk maar vallen buiten de scope van het onderzoek. In een maatschappelijke kosten-batenanalyse dienen al deze elementen aan bod te komen en, waar mogelijk, kwantitatief vergeleken.

² Voor een gedetailleerde beschrijving: zie hoofdstuk 3 methodologie

³ Veranderingen in neerslagpatronen en –hoeveelheden zijn terug te vinden in de literatuur over klimaatverandering. Er is echter geen eenduidige relatie te vinden tussen neerslagvariatie en debietsvariatie in waterlopen aangezien daar ook concentratietijden, oppervlakte waarover een extreme bui viel, ... een rol spelen

⁴ 'Op lange termijn' is een vage aanduiding om aan te geven dat het enerzijds moeilijk is om aan te geven welke intenties men heeft en welke ingrepen effectief zijn doorgevoerd voor een situatie waarin klimaatverandering – zeespiegelrijzing een rol gaat spelen, bijvoorbeeld 2030. Anderzijds is er een sterke focus op bepaalde deelgebieden, zoals momenteel het sigmaplan voor het tijgebied van de Zeeschelde en bijrivieren waardoor geen uniform beeld bekomen wordt.

De geplande ingrepen zullen bestudeerd worden op basis van wat momenteel bekend is. Het is de bedoeling verschillende voorbeelden uit te werken die een waaier aan mogelijke ingrepen en effecten weergeven. Studie van deze ingrepen geeft inzicht in de getallen uit de schade- en risicoberekeningen, maar levert geen uniform beeld op voor Vlaanderen.

Het vrijwaren van overstromingsgevoelige gebieden kan opgesplitst worden in 2 fasen. Enerzijds berekenen van schade en risico met behoud van de huidige situatie en het sturen van toekomstige ontwikkelingen. Anderzijds kan op langere termijn gekeken worden naar het actief aanpassen van de nu bestaande toestand. Hierbij wordt gekeken naar overeenkomsten met visies en actieplannen opgemaakt in het kader van de bekkenbeheersplannen. Momenteel is het moeilijk om vergelijkingen met het verleden te maken. Een denken in termen van bescherming tegen schade in plaats van bescherming tegen bepaalde waterstanden is nog te jong om de effecten in praktijk te beoordelen.

Zeespiegelrijzing en klimaatverandering zijn woorden die voor steeds meer mensen een betekenis krijgen, met voor- en tegenstanders van bepaalde theorieën. Deze studie wil onbevooroordeeld kijken naar de voorspellingen die gemaakt worden voor zeespiegelrijzing op verschillende tijdstippen in de toekomst en kijken hoe deze het overstromingsrisico beïnvloeden. Dit zal enkel uitgewerkt worden voor de waterlopen waar dit relevant is. Een ander element aan klimaatverandering is een mogelijke wijziging van het neerslagpatroon en het effect op de afvoer van rivieren. Net als bij zeespiegelrijzing wordt gekeken naar verwachte voorspellingen en hun invloed op overstromingen.

Voor neerslagpatronen en klimaatverandering worden bestaande voorspellingen gebruikt waardoor er automatisch een link is met andere lopende onderzoeken. Waar mogelijk en relevant zullen gegevens uit andere onderzoeken ook voor andere elementen in deze studie ingevoegd worden, of gebeurde dit reeds in het verleden. De methodologie voor schade en risico waarover sprake in dit rapport is ontwikkeld door de Vakgroep Geografie in opdracht van WLH, maar niet zonder te kijken naar gelijkaardige onderzoeken in het binnen- en buitenland. De methodologieën werden aangepast aan de specifieke situatie in Vlaanderen en meer in detail langsheen de bevaarbare waterlopen, maar vooral op het gebied van data moeten de nodige alternatieven uitgewerkt worden wanneer een buitenlandse methodologie geadopteerd wordt.

De effecten op de economie worden monetair uitgedrukt, de effecten op personen (slachtoffers) in aantallen. Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van de bestaande hydraulische en hydrologische modellen van de Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium.

De output van dit onderzoek zal uit 3 delen bestaan. Enerzijds een volledig rapport dat alle data, keuzes en bewerkingen beschrijft. Anderzijds worden hieruit teksten afgeleid voor MIRA publicaties en het achtergronddocument.

2 De stand van zaken in het onderzoek

De hier beschreven methodologie maakt gebruik van de gegevens zoals ze begin 2006 beschikbaar zijn. De meeste gegevens die gebruikt worden in dit onderzoek zijn variabel in tijd en ruimte. Ze hebben allen een eigen updatecyclus. Alvorens scenario's door te rekenen in het kader van MIRA-S 2009 dient daarom nagekeken te worden welke invoer opnieuw bepaald moet worden om de berekeningen beter te laten aansluiten bij de nieuwe 'huidige toestand'.

Het bepalen van de schade die optreedt door overstromingen, op de manier zoals in dit rapport beschreven is maar één onderdeel van het totale plaatje. Zoals aangegeven op verschillende plaatsen in dit rapport is het een belangrijk onderdeel, noodzakelijk maar niet voldoende. Om te komen tot het afwegen van verschillende scenario's is een maatschappelijke kosten-batenanalyse nodig. Een optimale situatie vanuit monetair oogpunt op gebied van schade hoeft niet noodzakelijk samen te vallen met het maatschappelijke optimum. Een van de redenen hiervoor is dat in de toekomst bijkomend (fundamenteel) onderzoek nodig is naar het effect van overstromingen op 'potentiële slachtoffers'. De huidige kennis laat niet toe eenduidige relaties vast te leggen zoals verderop in dit rapport beschreven. De onzekerheden zijn op dit ogenblik zo groot, dat een inschatting weinig relevant is. Er wordt geen bijkomende informatie aangegeven maar enkel een uitvergroting van de onzekerheden. Ook bij het berekenen van de schade zijn er onzekerheden, en die moeten gecommuniceerd worden samen met de resultaten. Dit zal bij de voorbereiding van MIRA-S 2009 niet anders zijn.

De keuze is gemaakt om te werken met gebiedsgemiddelde waarden. Niet enkel in de waarderingsanalyse, maar bijvoorbeeld ook bij het verspreiden van woningen over de bebouwde oppervlakte. Dit is noodzakelijk bij een analyse op bekkenniveau, waarbij men wil kunnen aggregeren op Vlaams niveau. Consequentie hiervan is dat het eindresultaat geen antwoorden biedt op perceelsniveau. Op kaarten staan lijnen die gebieden afbakenen; in werkelijkheid gaat het om vage transities tussen gebieden.

Hoe zal kennis de komende jaren evolueren? In 1975 verscheen in Newsweek het artikel "The cooling world" en Lowell Ponte schrijft in 1976 het ophefmakende boek "The cooling" waarin hij zich afvraagt of de volgende ijstijd al begonnen is. In datzelfde jaar, 1976, beginnen wetenschappers zich ook zorgen te maken over de opwarming van de aarde, een bezorgdheid die sindsdien groter geworden is en door velen reeds een zekerheid genoemd wordt. Bovenstaand voorbeeld enkel maar om aan te tonen hoe snel inzichten kunnen veranderen. De volgende jaren zullen nieuwe klimaatvoorspellingen de wereld in gestuurd worden, zullen overstromingen misschien de statistiek van de extremen door elkaar gooien en kunnen verschillende bodemgebruiken totaal verschillend evolueren in waarde. Een grondige analyse van de verschillende stappen in het berekeningsproces om de geldigheid van de assumpties te toetsen is dus aangewezen in een domein waar kennis zo snel kan evolueren.

3 Methodologie

Om het overlopen van dijken langsheen bevaarbare rivieren zoveel mogelijk te vermijden, werd in het verleden het water zo snel mogelijk afgevoerd. Dit verhelpt niet alle problemen, zoals de geschiedenis aangetoond heeft. Sinds het MINA-plan 2 en in de beleidsnota's van de Minister van Mobiliteit, Openbare Werken en Energie Steve Stevaert (1999-2004), de Minister van Mobiliteit, Openbare Werken en Energie Gilbert Bossuyt (2003-2004) en de Minister van Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur Kris Peeters (2004-2009) wordt expliciet aangegeven dat men in de toekomst wil beschermen tegen schade. In de beleidsbrief van Minister Stevaert wordt dit als volgt omschreven:

“Het huidige waterpeilbeheer kiest niet langer bescherming tegen een bepaalde waterstand, maar voor bescherming tegen schade. Op sommige plaatsen is die schade beperkt. In sommige natuurgebieden kunnen overstromingen zelfs positieve effecten hebben. Elders, zoals in dicht bevolkte gebieden, moeten ze absoluut worden vermeden. Overstromingen moeten in de toekomst dus gecontroleerd gebeuren, op plaatsen waar dat verantwoord is. Zo kan een goede verhouding tussen maatschappelijke meerwaarde en kostprijs worden gerealiseerd”. (Minister Steve Stevaert, Minister vice-president en Minister voor Mobiliteit, Openbare Werken en Energie, Beleidsbrief 1999-2004).

Bij Minister Peeters wordt dit als volgt verwoord:

“Door de jaren heen is het inzicht gegroeid dat er anders moet worden omgegaan met de waterbeheersing dan vroeger. Men sprak vroeger van de strijd tegen overstromingen en men wilde zoveel mogelijk land overstromingsvrij maken. Dat heeft geleid tot de bouw van dijken zo dicht mogelijk tegen de rivier en zo hoog dat het hoogste waterpeil kon gekeerd worden. Maar onder meer de dreigende klimatologische ontwikkelingen met meer en intensere neerslag, met de aangekondigde zeespiegelrijzing, met meer stromen vanuit zee... doen inzien dat we er nooit zullen in slagen om Vlaanderen volledig overstromingsvrij te maken voor alle extreemhoge waterstanden. ... Water kan niet beheerst worden, in het beste geval kan het beheerd worden. ... We kiezen resoluut voor het concept vasthouden – bergen – afvoeren bij het beheer van de waterdebieten. ... In plaats van voorkomen van overstromingen, vormt het terugdringen van de risico's die de veiligheid aantasten, het uitgangspunt.” (Minister Kris Peeters, Minister voor Openbare Werken, Energie, Leefmilieu en Natuur, Beleidsbrief Openbare Werken 2005-2009, p. 49)

De veiligheid langsheen de bevaarbare waterlopen in de verschillende hydrografische bekkens is momenteel niet op elkaar afgestemd. De uitgewerkte methodologie wil het risico op een uniforme manier berekenen langsheen de verschillende bevaarbare waterlopen en zo een objectieve vergelijking van het risico in de verschillende bekkens mogelijk maken. Hoewel hier toegepast op overstromingen vanuit bevaarbare waterlopen⁵ is de methodologie theoretisch ook toepasbaar op overstroming met een andere oorsprong indien een inschatting gemaakt kan worden van de uitgestrektheid en de waterdiepte gerelateerd aan een bepaalde kans van voorkomen.

De voorgestelde methode maakt gebruik van gegevens die uniform beschikbaar zijn voor gans Vlaanderen. Het doel van de voorgestelde methodologie is niet de schade bij een bepaalde gebeurtenis exact te voorspellen, wel om een inschatting te geven van de verwachte

⁵ Detailbeschrijving: zie verder

grootteorde en om te kunnen vergelijken met andere gebieden, waarvoor dezelfde basisgegevens gebruikt werden. In eerste instantie wordt er een bodemgebruikkaart gemaakt die aan iedere pixel één unieke code toekent. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van verschillende brondocumenten.

3.1 Bodembezetting

De bodembezetting in dit project wordt ingedeeld in klassen met een grotere mate van detail daar waar dit relevant is doordat de te verwachten schade per oppervlakte groot is. Dit maakt dat er verschillende klassen van bebouwing weerhouden worden, in functie van de dichtheid van de bebouwing, terwijl vele (semi-)natuurlijke bodemgebruiken samengevoegd worden in één klasse (de economische schade bij overstroming staat momenteel op 0 – zie verder).

Een eerste basisdocument is CORINE Land Cover (CLC 2000). De classificatie is Europees en wordt voor België uitgevoerd door het Nationaal Geografisch Instituut. Van deze data bestaan 2 verschillende versies. Voordeel van deze data is een goede definitie en omschrijving van de thematische klassen (zie N.N. 1993). Doordat het hier een Europese classificatie betreft zijn er klassen (zoals gletsjers) die in België niet voorkomen. Een voordeel van CLC 2000 in België is dat de minimale gekarteerde oppervlakte kleiner is dan de Europees opgelegde minima (5 ha). Deze zijn vrij grof voor een sterk versnipperd landschap als Vlaanderen. In de eerste CLC versie bleek daarenboven dat de minimaal gekarteerde oppervlakte bij de ‘artificiële oppervlakken’ (bebouwing, industrie, haven, stortplaats, recreatie, ...) vaak uit polygonen van minder dan 1 ha bestond. Ook bij CLC 2000 heeft het NGI ervoor gekozen om ‘beter te doen dan opgelegd’, wat de bruikbaarheid van deze data sterk verhoogt voor dit project.

Een tweede data laag beschikbaar voor heel Vlaanderen is het Kleinschalig Bodemgebruikbestand van Vlaanderen en Brussel (KBG). Hiervan bestaan eveneens 2 versies. In dit project is reeds gebruik gemaakt van de meest recente uit 2001. Voordeel van deze classificatie is dat ze op maat van Vlaanderen gemaakt is wat betreft de klassenindelingen, nadeel is dat de beschikbare documentatie beperkter is. De klassenindeling is licht verschillend tussen CLC 2000 en KBG. Zo komt op CLC 2000 de klasse stortplaats voor die niet voorkomt op KBG en is de CLC 2000 klasse akkerbouw in KBG opgesplitst in de klassen akkerbouw en maïs en knolgewassen. Bij percelen die kleiner zijn dan de initiële pixelgrootte is de classificatie tussen CLC 2000 en KBG eveneens verschillend. Dit valt het duidelijkst op bij de afwisseling tussen akkers en weilanden. Bij CLC 2000 is er een klasse ‘complexe perceelsstructuur’, bij KBG zijn deze pixels in hoofdzaak toegewezen aan de klasse weiland.

Ondanks de hierboven beschreven beperkingen en het feit dat er lokaal gedetailleerdere (en recentere) bodemgebruikskarteringen bestaan wordt voorgesteld om verder te werken met de hierboven beschreven gegevens. Zij maken immers een vergelijkbaarheid tussen verschillende gebieden mogelijk, wat sterk bemoeilijkt wordt wanneer steeds gewerkt wordt met kaarten met een lokale klassenindeling en verschillende definities. Het feit dat hier gewerkt wordt met 2 basisbestanden in plaats van te opteren voor 1 van beide heeft meerdere oorzaken:

- uit de combinatie van beide datasets kan additionele informatie afgeleid worden. Indien de gegevens voor een bepaalde locatie bijvoorbeeld industrie en haven zijn, kan men op basis hiervan veronderstellen dat we te maken hebben met industrie in het havengebied. Of indien de klassen recreatie en parkgebied voorkomen op dezelfde plaats dat we te maken hebben met een groene zone met als functie recreatie. Zeker voor het afbakenen van de verschillende dichtheden van bebouwing kan op deze manier een kernstad bebouwing (dichte bebouwing of kernstad bebouwing in beide datasets), een overgangszone (bebouwing en kernstad bebouwing of dichte bebouwing) en een meer open bebouwing (bebouwing in beide datasets) afgeleid worden. Dit is van belang voor het verdelen van het object gebouwen over de verschillende klassen (zie verder)
- beide documenten hebben een verschillende update cyclus waardoor steeds een ander document het meest recente is
- de informatie uit KBG is gedetailleerder, maar bevat aan de andere kant ook meer misclassificaties (wat betreft de eerste versie, de meest recente versie scoort op dat vlak opmerkelijk beter). Exacte waarden afgeleid uit een omissie-commissie⁶ matrix hierover zijn niet beschikbaar, maar gedetailleerde terreinkennis over bepaalde gebieden en onlogische classificaties (zoals losse punten kernstad bebouwing) lijken dit aan te geven.

Een volledige kruistabel die aangeeft welk bodemgebruik wordt afgeleid uit de combinatie van CLC 2000 en KBG wordt als bijlage gevoegd bij het eindrapport. Op deze manier worden in dit project onderstaande bodemgebruiksklassen weerhouden (Vanneuville et al., 2002):

- Bebouwing (opgedeeld in 3 klassen, Bebouwing I, II en III)
- Industrie (opgedeeld in 2 klassen, Industrie I en II)
- Infrastructuur⁷
- Luchthaven (opgedeeld in 2 klassen, Luchthaven I en II)
- Recreatie
- Akkerbouw
- Weiland
- Natuur
- Bos
- Water

Los van dit bodemgebruikbestand wordt een bestand aangemaakt waarop de lijnobjecten water, wegen en spoorwegen worden weergegeven (voor een combinatie tot het uiteindelijke bodemgebruik in het project: zie verder). Deze komen niet als ononderbroken structuren naar voor uit de hierboven beschreven bodemgebruikkaart. Nochtans is de schade aan de elementen (of hun effect op de schade in andere klassen – zie verder) van die grootte-orde dat het relevant is ze te bekijken in het kader van schade- en risicoberekeningen (Vanneuville et al., 2003b). Het zo correct mogelijk ingeven van de waterlopen is van zeer groot belang, omdat in de overstromingskaarten ook de maximale waterdiepte in de rivier vervat zit. Langsheen de bevaarbare rivier bevinden zich zeer uiteenlopende bodemgebruiken waaronder bebouwde gebieden en industriegebied. Indien de waterloop niet correct ingegeven wordt, staan in deze pixels zeer grote waterdiepten die tot grote schade leiden terwijl in werkelijkheid het water niet buiten de oevers treedt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de

⁶ omissie-commissie matrix: tabel waarin de geïnterpreteerde waarden (in dit geval bodemgebruiken) worden uitgezet t.o.v. de werkelijke bodemgebruiken a.d.h.v. terreincontrole om een beeld te geven van de kwaliteit van de interpretatie

⁷ Dit is een zeer gevarieerde klasse met artificiële oppervlakken waaronder parkings, constructiesites, bepaalde delen van de havens die niet onder industrie vallen, ...

themalaag *hydroline* (uit het bestand Top50v-Gis van het Nationaal Geografisch Instituut). In deze data laag zit voor sommige waterlopen de breedte (kartering van de beide oevers) of een code voor een bepaalde breedteklasse.

Voor wegen en spoorwegen wordt gebruik gemaakt van de bestanden *roadnet* (in sommige deelbestanden *roadline* – uit Top50v-Gis, NGI) en *railnet*⁸ (in sommige deelbestanden *railline* – uit Top50v-Gis, NGI). Verschillende eigenschappen worden gecombineerd tot een unieke code waaraan een maximale schade kan gekoppeld worden. Uit de tabellen die aan deze objecten verbonden zijn wordt voor wegen gebruik gemaakt van de kolommen:

- Type (voor voertuigen, fietsers, voetgangers)
- Bank (aanwezigheid van parallelle taluds en/of wallen links en rechts van de as)
- Bridge Category (soort brug)
- Lane Track Number (aantal rijstroken)
- Median Category (al of niet voorkomen van een middenberm)
- Use (soort weg)
- Width (informatie over de breedte van de weg)

Voor spoorwegen wordt gebruik gemaakt van de kolommen

- Lane Track Number (aantal sporen)
- Railroad Power Source (al dan niet geëlektrificeerd)
- Use (type spoorlijn of kabelspoor)

Voor een gedetailleerde beschrijving van de inhoud in deze kolommen wordt verwezen naar NGI (s.d.) en het overzicht in Bijlage D.

Tenslotte wordt gekeken naar een reeks discrete elementen in het landschap die een duidelijk afwijkende totale schade of schadefunctie (relatie waterdiepte – schade) hebben ten opzichte van hun omgeving (De Rouck et al., 2004). Het betreft hier zowel historische als niet-historische objecten. Hiervoor worden verschillende bronnen (zie volgende paragrafen) gebruikt, waarbij er steeds naar gestreefd is een dataset op te bouwen die uniform is voor Vlaanderen.

Uit de Landschapsatlas van Vlaanderen (verdeeld door OC-GIS Vlaanderen) komen kerken, kloosters, abdijen en kastelen. Uit het Skeletbestand (Multinet) (data laag: intrloc) komen ondergrondse parkeergarages, benzinstations, winkelcentra, pretparken en zoo's. Vanuit de vectoriële topografische kaart Top50v-GIS (datalagen: strucpoint, strucpoly en railpoint) werden volgende data geselecteerd: kerken, kloosters, abdijen, molens, elektriciteitscentrales, treinstations, rusthuizen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen, schoolgebouwen, kastelen, brandweer- en politiekazernes, gevangenis en windturbines.

Niet alle puntelementen konden uit deze bestanden gehaald worden en deze werden opgevraagd bij verschillende instanties in het kader van het project Veiligheidsniveau Vlaanderen (AWZ doelstelling). De meeste van deze gegevens dienen vertrouwelijk behandeld te worden en kunnen enkel in verwerkte vorm gebruikt worden voor dit project. Het gaat om Waterwingebieden, zuiveringsinstallaties en spaarbekkens (VMW, AWW, PIDPA), zendinstallaties (BIPT), treinstations (NMBS) en metrostations (De Lijn).

⁸ Deze bestanden worden gebruikt voor het berekenen van de schade. Indien spoorwegen onder water staan veroorzaakt dit schade. Dit staat los van het feit dat spoorwegen vaak hoger liggen in het landschap en daardoor dienst doen als secundaire waterkering. Die informatie wordt gehaald uit het Digitaal Hoogtemodel.

Het feit dat de informatie over sommige puntelementen afkomstig is uit verschillende bronnen heeft te maken met het feit dat, bv. van de treinstations, er nog een rangorde in functie van de grootte wordt opgesteld en/of er behoefte is aan een indicatie van de totale oppervlakte (omdat de monetaire waardering uitgedrukt is per oppervlakte-eenheid – zie verder).

Een volledige lijst met de verschillende codes die gehanteerd worden in de bodemgebruikkaarten is weergegeven in Bijlage E.

Alle gegevens omtrent bodembezetting van de bovenstaande 3 types (oppervlakken, lijnen en puntelementen) worden tenslotte gecombineerd tot 1 bodemgebruikkaart bruikbaar voor dit project. Deze wordt omgezet naar een raster met dezelfde resolutie als de overstromingskaarten en iedere pixel waarin zich een puntelement bevindt krijgt de code van dit puntelement. Daarna wordt aan ieder punt waarin zich nog niets bevindt de bodemgebruikcode van de eventueel voorkomende lijnelementen opgelegd. Alle andere punten krijgen tenslotte een bodemgebruikcode afkomstig uit polygoondatalaag. De manier waarop dit gebeurt is weergegeven in figuur 3-1.

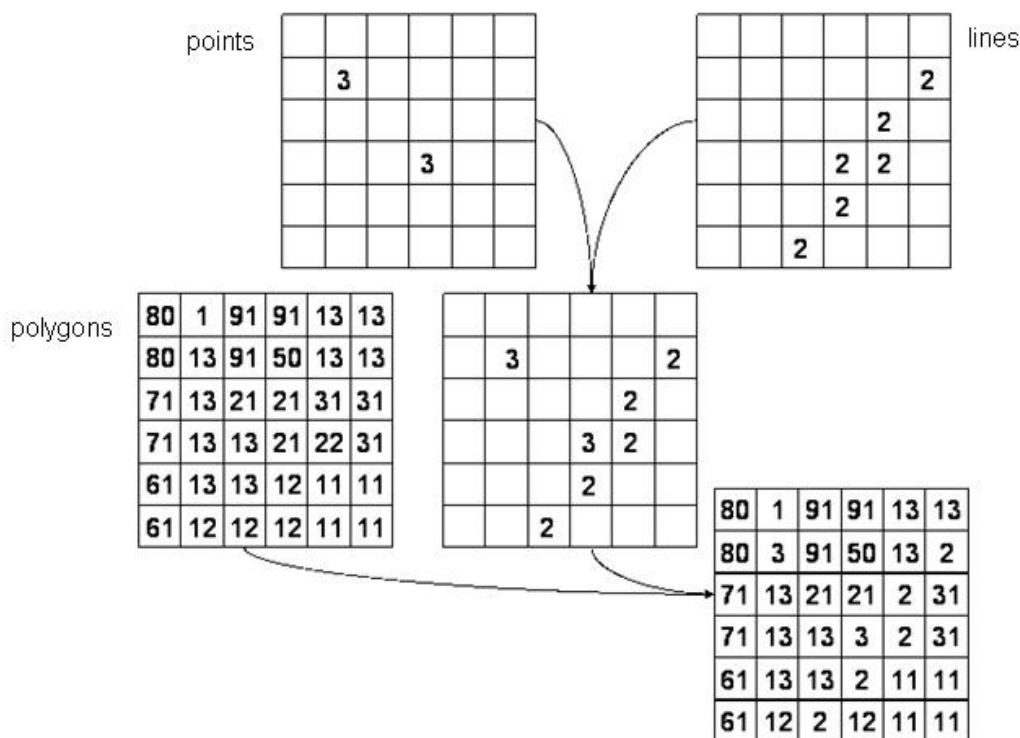


Fig. 3-1: Combineren van punt-, lijn- en vlakobjecten tot bodemgebruikkaart

3.2 Bepalen maximale schade

De volgende stap na het bepalen van de verschillende voorkomende bodemgebruiken is het bepalen van een maximale schade voor ieder object. Deze schade wil men definiëren als vervangingsschade, m.a.w. de prijs om een goed of product te vervangen door een identiek iets en niet door een nieuw product van hetzelfde type.

Er bestaan verschillende manieren om schade in te delen (Vanneuville et al., 2002; Van Damme et al., 2004). Een eerste onderscheid kan gemaakt worden tussen monetair waardeerbare en niet-monetair waardeerbare schade (lees moeilijk eenduidig waardeerbare schade, ook al bestaan er projecten om vergelijkbare indices op te stellen voor verschillende klassen, los van het monetaire, bv. De Nocker et al., 2006; KINT, 2001; MIRA, 2000). In deze studie is enkel de vermindering van gebruikswaarde meegenomen als (monetair waardeerbare) schade, wat wil zeggen dat geen rekening is gehouden met optiewaarden en bestaanswaarden (MIRA, 2000) zoals gevoelsschade, natuurschade, landschappelijke schade,...

Een andere indeling kan gemaakt worden tussen interne en externe schade. Interne schade is schade die optreedt binnen het overstroomde gebied, externe schade is schade die optreedt op een bepaalde plaats (of niet toe te kennen aan een locatie) zonder dat daar wateroverlast is. Externe schade kan ontstaan doordat goederen en/of diensten niet gekregen worden uit een overstroomd gebied (waar interne schade is) of er niet aan kunnen geleverd worden. Het inschatten van de externe schade is in dit project buiten beschouwing gelaten. Deze is immers zeer complex en de schadeverminderende reacties zijn zeer uitgebreid. In MERK (Reese et al., 2003) is getracht hierop een antwoord te leveren door de bruto toegevoegde waarde op jaarbasis in rekening te brengen, maar de resultaten verhogen de onzekerheid van de conclusies sterk, zonder veel bijkomende informatie aan te dragen. Van de complexe interactie tussen bedrijven en het inschatten van externe schade kunnen voorbeelden gegeven worden. Zo is er de manier waarop bedrijven reageren als ze bepaalde goederen en diensten niet kunnen ontvangen omdat de leverancier overstromingsschade heeft. De externe schade van de klant is afhankelijk van de stock die hij nog heeft, de mogelijkheid om bij andere leveranciers gelijkaardige producten te betrekken enz.

Een derde opdeling kan gemaakt worden tussen directe en indirecte schade. Directe schade wordt hier gedefinieerd als de schade aan materiële zaken zoals gebouwen, inboedels, gewassen, voertuigen, ... Onder indirecte schade worden hier productieverliezen en opruimkosten gerekend. Deze studie focust op de directe schade en brengt de indirecte schade in rekening als opslagfactoren voor de klassen bewoning, industrie en landbouw.

Een bijkomende veronderstelling in deze studie is dat de overstroming van korte duur is (maximaal 3 dagen of 72 uur⁹). Voor bepaalde klassen zijn ook schadebedragen voor langdurige overstromingen bekend, maar deze worden verder in de studie niet gebruikt.

3.2.1 Schade aan woningen

⁹ Dit is enerzijds gebaseerd op vaststellingen tijdens historische wassen die in de overgrote meerderheid van de gevallen overstromingen van korte duur geven in Vlaanderen (wanneer overloop beschouwd wordt zoals in dit project het geval is) en anderzijds is de duur gekozen omwille van internationale vergelijkbaarheid en mogelijkheid om buitenlandse data op te nemen en zo de dataset groter en statistisch relevanter te maken.

De maximale schade aan de gebouwen zelf wordt bepaald uit de gemiddelde verkoopswaarden in een bepaalde regio. In deze studie is gebruik gemaakt van de gegevens voor 2004¹⁰, verzameld door STADIM en gepubliceerd in Trends (jaarlijks). Hierbij worden verschillende min of meer homogene zones op gebied van woningmarkten afgebakend waarbij er een gemiddelde verkoopprijs berekend wordt. De zones omvatten 1 tot enkele gemeenten (mogen ook niet te klein zijn om de gemiddelden relevant te maken). Een lijst met de waarden per gemeente wordt gevonden in Bijlage B.

Voor de gemiddelde schade aan inboedels werd navraag gedaan bij verschillende verzekeringsmaatschappijen. OMOB (nu Ethias) stelde dat dit bedrag zich, voor de situatie in 2002, bevindt tussen de € 47 000 en € 53 000 als gemiddelde voor Vlaanderen. De Beroepsvereniging voor Verzekeringsondernemingen stelde voor om gebruik te maken van 50 % van de waarde van de woning zelf. Voor 2002 was de gemiddelde verkoopprijs voor een woning in gans Vlaanderen € 95 569, waarbij de helft van deze waarde zich bevindt in het door OMOB voorgestelde interval. Er wordt verder gewerkt met deze 50 % van de gemiddelde verkoopprijs van een woning in een bepaalde regio.¹¹

Vertrekkende van het aantal woningen in een statistische sector en de bebouwde oppervlakte in een statistische sector kan een woningdichtheid berekend worden. De berekeningen zijn uitgevoerd met de socio-economische gegevens (woningaantallen) uit de volkstelling van 2001.

Enkele basisassumpties bepalen de verdeling van de woningen over de bebouwde oppervlakte:

- er wordt een opdeling gemaakt in de bodemgebruikkaart tussen 3 klassen bebouwing in functie van de dichtheid van bebouwing;
- percelen in de kernstad worden verondersteld eerder klein te zijn in vergelijking met percelen langsheen een lintbebouwing of open bebouwing;
- de perceelsgrootte bij verspreide bebouwing is zeer gevarieerd, maar het aandeel zeer grote percelen (> 2000 m²) is relatief laag en dus niet de regel;
- de bebouwingsdichtheid in de middelste klasse ligt tussen de bebouwingsdichtheid van de kernstad en de verspreide bewoning.

Er wordt geopteerd om de regel in te voeren dat de percelen gemiddelde genomen 3x kleiner zijn in de kernstad dan bij verspreide bewoning. Er wordt gesteld dat de percelen in de middelste klasse van de bebouwing dubbel zo veel woningen per oppervlakte hebben dan bij de verspreide bewoning. Deze keuze levert geen gemiddelde perceelsgrootte voor gans Vlaanderen, aangezien vertrokken wordt van de oppervlakte berekend in de bodembezettingskaarten. Een voorbeeld verduidelijkt dit.

Stel dat in een statistische sector een gelijke oppervlakte voorkomt van de 3 klassen bebouwing, dan zal de helft van de huizen in de klasse kernstadbebouwing staan, een derde in de overgangsklasse tussen kernstad en verspreide bewoning en slechts een zesde van de huizen in de klasse verspreide bewoning. In praktijk komt de klasse verspreide bewoning duidelijk meer voor dan de andere 2, die voorbehouden blijken voor de stedelijke kernen.

¹⁰ Voor alle berekeningen is 2004 als financiële basis gekozen omwille van de onderlinge vergelijkbaarheid van resultaten.

¹¹ Voor 2002 ligt de helft van het verkoopbedrag van de woning nog relatief dicht bij de door OMOB opgegeven benedengrens voor inboedels. Aangezien de prijs op de woningmarkten de laatste jaren sneller geëvolueerd is dan de gemiddelde prijs voor consumptiegoederen, kan deze 50 %-regel aangehouden worden en bevindt de waarde zich meer in het midden van het door OMOB voorgestelde interval.

Door het werkelijke aantal woningen per statistische sector in rekening te brengen kan zo toch een onderscheid gemaakt worden tussen een dorpskern en een villawijk doordat het aantal woningen per oppervlakte-eenheid verschillend is. Volgend fictief voorbeeld verduidelijkt dit:

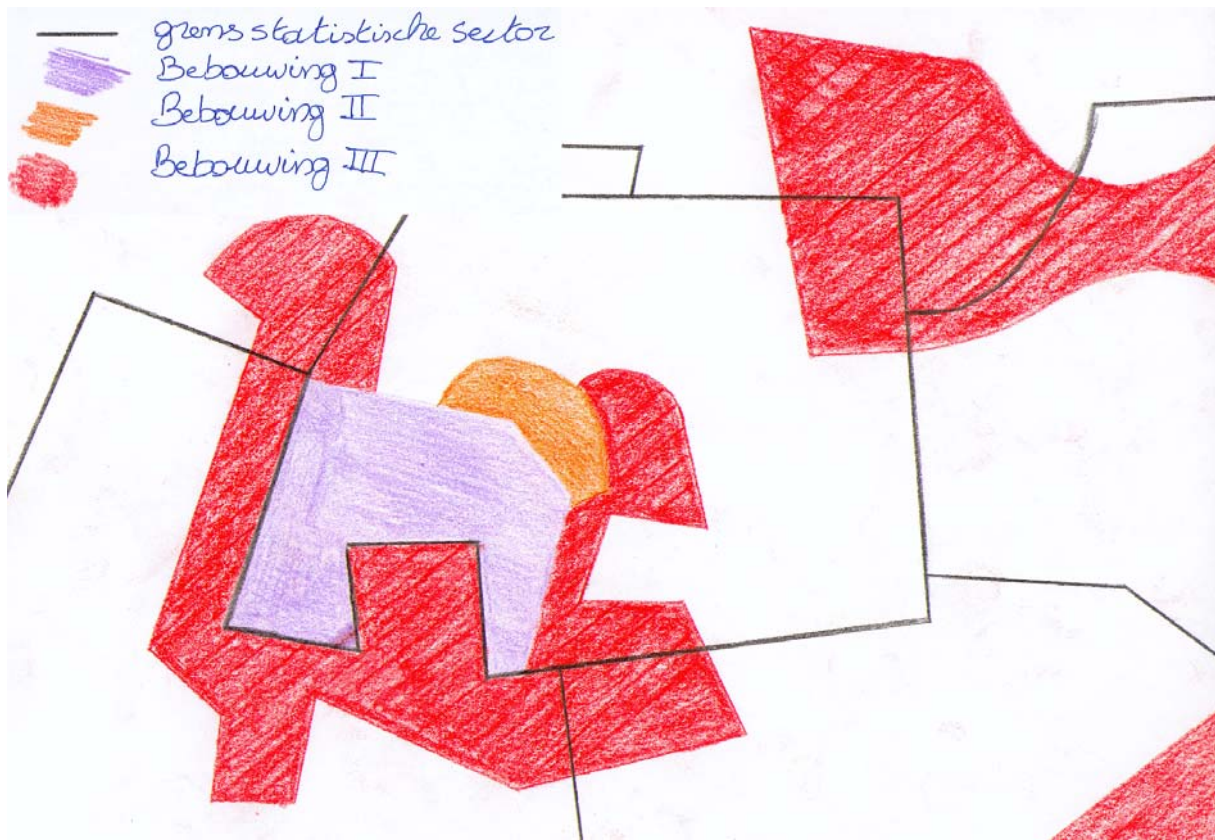


Fig. 3-2: Fictief voorbeeld berekenen bebouwingsdichtheid

Beschouwen we de middelste statistische sector in bovenstaande figuur en veronderstel dat zich hierin 500 woningen bevinden.

Veronderstellen we verder dat van de totale oppervlakte aan bebouwing in deze statistische sector 50% Bebouwing I is, 15% Bebouwing II en 35% Bebouwing III. Voor het berekenen van het aantal woningen kan dan volgende eenvoudige berekening gemaakt worden:

Bebouwing I: $50 * 3 = 150$

Bebouwing II: $15 * 2 = 30$

Bebouwing III: $35 * 1 = 35$

Totaal: som = 215

Dit geeft als aantal woningen in ieder gebied:

Bebouwing I: $(150/215) * 500 = 349$

Bebouwing II: $(30/215) * 500 = 70$

Bebouwing III: $(35/215) * 500 = 81$

Hoewel slechts 50 % van de oppervlakte van de beschouwde statistische sector kernstad bebouwing is (Bebouwing I) staan hier ongeveer 75 % van de woningen wanneer de hier gehanteerde verdeelsleutel toegepast wordt. De woningen in de klasse Bebouwing III staan homogeen verdeeld over de drie oppervlakken met dit bodemgebruik in de statistische sector.

In praktijk doet zich een bijkomend probleem voor indien niet de gehele oppervlakte van een statistische sector zich in het studiegebied bevindt. Hierbij wordt de veronderstelling gemaakt dat voor het gedeelte dat in het studiegebied ligt dezelfde oppervlakteverhoudingen tussen dezelfde bodemgebruiksklassen gelden als in de gehele statistische sector. Een voorbeeld verduidelijkt dit: indien 80 % van een statistische sector in het studiegebied ligt, dan wordt 80 % van de woningen uit die statistische sector verdeeld over de bebouwde oppervlakte in het studiegebied. Aangezien het beschouwde studiegebied een rechthoek is omheen de overstromingskaart, liggen deze statistische sectoren aan de randen waar zich in de meeste gevallen geen wateroverlast voordoet en deze assumptie heeft derhalve niet veel invloed op het eindresultaat.

Twee andere problemen die zich voordoen is het niet voorkomen van woningen in een statistische sector maar wel bebouwde oppervlakte in de bodemgebruikkaart of het omgekeerde geval waarbij er geen bebouwde oppervlakte is, maar wel woningen in de tabellen van het Nationaal Instituut voor de Statistiek. In het eerste geval levert dit een waarde 0 op voor het aantal woningen per oppervlakte-eenheid. In het tweede geval dringt een manuele correctie zich op aangezien anders een deling door 0 ontstaat. Het totaal aantal woningen wordt verdeeld over de verschillende statistische sectoren zonder rekening te houden met de sector waarin geen bebouwde oppervlakte te vinden was in de bodemgebruikkaart. Er dient opgemerkt te worden dat beide situaties hierboven beschreven zich slechts in uitzonderlijke gevallen voordoen en dat de totale oppervlakte en het totaal aantal woningen in deze gevallen beide klein zijn.

Behalve de directe schade wordt voor woningen ook een indirecte schade in rekening gebracht, voornamelijk de opruimkosten. De indirecte schade wordt bepaald als percentage van de directe schade en in functie van de waterdiepte. Bij een kleine schade (lage waterstand) zal het relatieve aandeel van de opruimkosten groter zijn dan bij grote schade (hoge waterstand). De indirecte schade bedraagt 15% van de directe schade bij een initieel kleine schade en 1% van de directe schade wanneer deze gelijk is aan het totale verlies van de woning en inboedel (Grigg et al., 1976). Aangezien er directe schade is aan het gebouw zelf en aan de inboedel, dient hiervan een combinatie gemaakt te worden voor het berekenen van de indirecte schade:

$$\text{indirecte schade (\%)} = b + \left(1 - \frac{2 * \alpha_{won} + \alpha_{inb}}{3}\right) * (a - b) \quad \text{met:} \quad \text{formule 3-1}$$

- α een factor die de directe schade weergeeft als fractie van de maximale schade
- (zie verder bij 3.3 schadefuncties)
- $a = 15$ percentage van de directe schade bij een initieel kleine schade
- $b = 1$ percentage van de directe schade bij totale verlies van woning en inboedel
-

De redenering achter het gebruik van de coëfficiënten a en b heeft te maken met het feit dat bij een lichte overstroming (beperkte waterdiepte) de opruimkosten een relatief groot aandeel hebben in de totale kosten. Meubels en goederen zijn misschien wel beschadigd, maar niet totaal verloren en kunnen door opkuisen nog (tijdelijk) verder gebruikt worden. Bij grotere waterdiepte is de schade groter, en zullen verschillende goederen totaal verloren zijn, waardoor er niet meer geïnvesteerd moet worden in opruimen maar de goederen volledig weggegooid moeten worden.

3.2.2 Schade aan industrie

Voor de risicokaart in de huidige situatie wordt de schade aan industrie op 2 verschillende manieren uitgerekend: in functie van de oppervlakte en met het aantal werknemers als sleutel. Voor de schadeberekeningen van de historische wassen in hoofdstuk 5 wordt gebruik gemaakt van de schade in functie van de oppervlakte.

Een eerste methode gebruikt de oppervlakte van de industrieterreinen als sleutel voor het berekenen van de maximale schade. Er wordt gewerkt met een waarde van € 100/m². Dit is een aanpassing van de waarden uit Van der Sande (2001). De waarde gevonden in deze studie is aangepast omwille van een algemene prijsindexstijging, maar werkt met een afgeronde waarde.¹² Het heeft ons inziens geen zin om een bedrag te bepalen tot op 0,01 eurocent omwille van de andere onzekerheden die tijdens het modelleren opduiken.

Het aantal werknemers wordt als sleutel gebruikt in een tweede methode. Er zijn verschillende bronnen voor het aantal werknemers, telkens met andere aantallen. Zo worden werknemers toegekend aan het bedrijf (de plaats van tewerkstelling) zelf of aan de hoofdzetel van een bedrijf in België. De minimale grootte van de opgenomen bedrijven verschilt, welke sectoren (bv. wat met kleinhandel), het al dan niet vrijwillig zijn van het leveren van gegevens, ... Twee bronnen werden weerhouden: de tabellen (gegeocodeerd) van het RIZIV en de gegevens uit de Kompas gids. In deze studie werd gewerkt met de Kompas gids (versie 15, 2003). Deze werknemers worden verdeeld over de oppervlakte toegekend aan industrie, waarbij de 'fictieve dichtheid' dubbel zo groot wordt verondersteld in de klasse Industrie I (echte bedrijven, fabriekshallen, ...) dan in Industrie II (parkeerterreinen, opslag in open lucht, ...). Deze methode is volledig analoog aan het verdelen van woningen over de verschillende klassen van bebouwing. Er wordt gewerkt met het aantal werknemers als sleutel, maar de waardebepaling is geen waarde van een werknemer!

Verder worden dezelfde aannames gemaakt voor gemeenten die slechts gedeeltelijk in het studiegebied vallen en de inconsistentie tussen gegevens uit de telling en het bodemgebruik als bij bebouwing (4.2.1). Het bepalen van een gemiddelde prijs per werknemer (geen relatie met waarde loon of leven) is in de literatuur afhankelijk van de industrietak waarin een bedrijf zich bevindt. De onderscheiden categorieën zijn (Van der Sande, 2001):

- energie en verwerkende nijverheid
- bouw
- verkeer en vervoer

Het totale aantal werknemers per sector voor gans België voor 2002 staat beschreven in Vanneuville et al. (2002) en wordt constant verondersteld in de tijd. Via een regel van 3 met

¹² In de oorspronkelijke versie van het schade en risicomodel werden de waarden strikt aangepast in functie van de indexwijzigingen. Dit leverde voor het prijsniveau van 2002 een waarde van € 96,2267/m².

het aantal werknemers en de prijs per werknemer in de verschillende categorieën (Van der Sande, 2001) wordt een gemiddeld bedrag van € 175.820 per werknemer bekomen. De waarde werd in deze studie verhoogd tot € 180.000 en hier geldt opnieuw de redenering dat het geen zin heeft om te werken met zeer precieze maar daarom niet meer nauwkeurige waarden.

Ook bij de industrie worden er indirecte kosten in rekening gebracht. Deze hebben betrekking op productieverliezen en opruimkosten. Volgens Grigg et al. (1976) bedraagt de indirecte schade tussen de 35% (bij volledig verlies) en 45% (bij initieel kleine schade) van de directe schade. Het is moeilijk hiervoor betere cijfers te vinden die voldoende statistisch relevant zijn, daar verondersteld kan worden dat er zeer grote individuele verschillen tussen de verschillende bedrijfssectoren zijn. De indirecte schade uitdrukken (in % van de directe schade) kan door gebruik te maken van formule 3-2.

indirecte schade (%) = $b + (1 - \alpha) * (a - b)$ met formule 3-2

- α een factor die de directe schade weergeeft als fractie van de maximale schade
- (zie verder bij 3.3 schadefuncties)
- $a = 45$ percentage van de directe schade bij een initieel kleine schade
- $b = 35$ percentage van de directe schade bij totale verlies van woning en inboedel
-

De redenering achter het gebruik van een variabele functie voor de indirecte schade is analoog aan deze voor de indirecte schade bij woningen en inboedels. Bij een beperkte waterdiepte kan door opkuis een deel van de goederen nog (tijdelijk) gebruikt worden. Ook voor de productieverliezen geldt dat de periode waarin niet geproduceerd kan worden slechts beperkt afhankelijk is van de waterhoogte. Relatief gezien is de indirecte schade dus belangrijker bij eerder kleine waterdieptes. De totale schade (directe en indirecte) neemt evenwel toe met de waterdiepte.

De beide methoden (oppervlakte en aantal werknemers) maken ook gebruik van een verschillende schadefunctie (zie 3.3). Het nut van 2 methoden voor een zelfde bodemgebruikklasse wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 6 bij het bepalen van het risico voor de huidige situatie en heeft te maken met het feit dat het inschatten van schade aan industrie moeilijk te bepalen is wegens zeer complex. Ook in vele buitenlandse studies is het inschatten van de schade en het risico door overstromingen aan industrie een zwak punt. Het is immers zeer moeilijk voldoende, transparante en recente gegevens te verzamelen voor het zoeken van verbanden. In dat opzicht wordt veel verwacht van een nieuwe studie door het Flood Hazard Research Centre (FHRC, Middlesex University) die moet leiden tot een nieuwe Multi-coloured Manual die eind 2006 – begin 2007 moet verschijnen.

3.2.3 Schade aan infrastructuur en luchthavens

Voor de infrastructuur zijn in de internationale literatuur weinig richtwaarden te vinden. Daarom wordt in Vanneuville et al. (2002) voorgesteld om te werken met dezelfde waarden als bij de industrie (methode in functie van de oppervlakte) voor de directe schade. Voor infrastructuur wordt geen indirecte schade in rekening gebracht. De maximale schade bedraagt € 100/m².

Verder dient opgemerkt te worden dat de totale oppervlakte infrastructuur beperkt is en de keuze van de maximale schade de totale schade bij een overstroming of het risico niet sterk beïnvloeden.¹³

Voor de luchthavens wordt een onderscheid gemaakt tussen de 3 grote luchthavens en de kleinere vliegvelden. De 3 grote luchthavens (Zaventem, Deurne en Oostende) worden afzonderlijk bekeken¹⁴. De schade bij historische wassen is verwaarloosbaar en er is geen risicostijging wanneer overstromingen vanuit de bevaarbare waterlopen beschouwd worden. Wanneer gekeken wordt naar het kustrisico dient de schade aan de luchthaven van Oostende opnieuw geëvalueerd te worden. Deze luchthavens worden in deze studie niet verder meegenomen.

Voor de kleinere vliegvelden is de schade die kan optreden niet gelijk aan deze in de grote (internationale) luchthavens. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de klassen luchthaven I (de eigenlijke gebouwen, landingsbanen etc.) en luchthaven II (terreinen van het vliegveld zonder gebouwen of noemenswaardige infrastructuur). In de klasse Luchthaven II zitten braakliggende terreinen tussen startbanen, maar bijvoorbeeld ook aanvliegroutes en zones die vrijgehouden worden van artificiële constructies, bomen ... Voor de eerste klasse is de maximale schade gelijk gesteld aan deze bij industrie (methode volgens de oppervlakte), € 100/m² en geen indirecte schade. Voor de tweede klasse wordt de economische schade € 0 verondersteld.

3.2.4 Schade aan recreatiegebieden

De maximale schade die optreedt bij recreatie is in Vlaanderen klein in vergelijking met bijvoorbeeld Nederland. Dit heeft te maken met de definitie van het bodemgebruik. In dit project bevat de klasse recreatie enkel de recreatiegebieden zelf en zijn de gebouwen en infrastructuren op deze domeinen reeds vervat in de klasse infrastructuur. De schade aan recreatie omvat dan ook in hoofdzaak opruimkosten en kleine herstellingen (bank, infobord, ...) hoewel ze in het rekenschema beschouwd wordt als directe schade.

De maximale schade is vastgelegd op € 0,03/m² (indexaanpassing en afronding van de gegevens van Van der Sande, 2001).

3.2.5 Schade aan akkerland en weiland

Voor de akkerbouw wordt gekeken naar de verschillende gewassen die in een bepaalde landbouwzone voorkomen en hun relatieve oppervlakte. Landbouw was vroeger een federale materie en de statistieken op Belgisch en Vlaams niveau zijn niet volledig aan elkaar te koppelen. Om te komen tot een bedrag per oppervlakte wordt voor iedere teelt de totale ingenomen oppervlakte beschouwd (uit het bestand Landbouwgebruikspercelen – aangemaakt door de Vlaamse Landmaatschappij), de opbrengst per hectare en de prijs per kilogram. Hieruit kan een gewogen gemiddelde bepaald worden dat de prijs per oppervlakte weergeeft

¹³ De klasse infrastructuur kwam wel meer voor in de eerste versie van het Kleinschalig Bodemgebruikbestand van Vlaanderen en Brussel. De invloed van de klasse infrastructuur op het eindresultaat is groter wanneer enkel deze data als input gebruikt worden voor het bodemgebruik (polygonen). Dit is een bijkomende reden om gebruik te maken van CORINE Land Cover als extra bron van gegevens

¹⁴ Gedetailleerde gegevens over de drie grootste vliegvelden zijn bij het begin van de studies rond risico opgevraagd door de Afdeling WLH. Achteraf is evenwel gebleken dat zij geen wateroverlast ondervinden ten gevolge van overstromingen door overloop van dijken van bevaarbare waterlopen.

voor een bepaald gebied. De opbrengst en prijsgegevens zijn gemiddelden voor heel Vlaanderen en maken geen onderscheid per landbouwstreek.

De verschillende zones die afgebakend worden zijn een doorsnede van de 11 hydrografische bekkens en de landbouwzones (Vanneuville, 2003a). Een volledige tabel en kaart met maximale schades voor iedere zone is als bijlage toegevoegd. De gemiddelde maximale schade voor heel Vlaanderen bedraagt ongeveer € 0,5 /m². Deze waarde schommelt sterk, met een tendens die zelfs tegengesteld kan zijn aan de algemene evolutie van de prijsindices.

Voor akkerbouw wordt behalve de directe schade aan de gewassen (verlies van opbrengst) ook een indirecte schade beschouwd voor het verlies aan bodemvruchtbaarheid, opruimkosten, ... Deze waarde wordt vast gezet op 10 % van de directe schade (Grigg et al., 1976) en is onafhankelijk van de waterdiepte.

De schade aan weiland (als verzamelnaam voor grasland en hooiland) is afgeleid uit de productie hooi per hectare en de prijs voor 100 kg. Ook hier wordt vertrokken van de assumptie dat de maximale schade gelijk is aan het totale inkomensverlies. Dit is een vereenvoudiging aangezien meerdere sneden hooi binnen gehaald worden en het vee de periode voor de overstroming al heeft kunnen grazen. Dit levert een maximale schade van € 0,08/m², een waarde die constant gehouden wordt voor gans Vlaanderen. Ook bij graslanden wordt een indirecte schade van 10 % beschouwd. Reden hiervoor is o.a. dat tijdens en na overstroming het vee tijdelijk niet op het grasland kan en dat hooiland in een periode na overstroming niet gemaaid mag worden omwille van het afgezette slib.

In deze berekeningen, die gebaseerd zijn op de methodologie in Vanneuville et al. (2002), wordt vertrokken van de idee dat er een verband is tussen de schade bij landbouw en de waterdiepte. Deze stelling is discutabel, maar wordt bij gebrek aan betere gegevens momenteel verder gebruikt. In deze materie wordt ook uitgezien naar de resultaten van De Nocker et al. (2006). Mogelijke aanpassingen en een verband dat niet meer afhankelijk is van de waterdiepte (waarbij bijvoorbeeld geen onderscheid gemaakt wordt in seizoenen), maar in hoofdzaak van het tijdstip van de overstroming en de duur kunnen ook gevonden worden in Piontkowitz (2004). De vertaalbaarheid van de door hen gevonden waarden naar een Vlaamse situatie valt buiten de scope van dit project maar dient verder onderzocht alvorens men gebruik kan maken van deze gegevens.

3.2.6 Schade aan voertuigen

Het tijdstip waarop een overstroming plaatsvindt kan zowel overdag als 's nachts zijn, in de week of het weekend, in de vakantie of tijdens het schooljaar. Dit is van minder belang voor de andere bodemgebruiksklassen die zich op een vaste plaats bevinden¹⁵ dan voor voertuigen. Het is dan ook moeilijk te zeggen waar auto's zich zullen bevinden op het ogenblik van een overstroming: thuis (waar ze geteld worden in de statistieken van het NIS), op het werk of elders. Om de voertuigen te verdelen over het land dient daarom weer vertrokken te worden van enkele aannames:

- de voertuigen worden homogeen verdeeld over de klassen bebouwing (I, II en III), industrie (I en II) en infrastructuur;
- er wordt geen verder gewicht aan de verschillende klassen toegekend;

¹⁵ Voor de andere klassen is eerder de periode tussen eerste waarschuwing en optreden van de was van belang, bijvoorbeeld om inboedels te verplaatsen naar hoger gelegen kamers. Het effect hiervan wordt in deze studie niet verder meegenomen, maar wordt aangehaald in hoofdstuk 8.

- de statistische sector is een te klein gebied om de voertuigen over te verdelen en er wordt gewerkt met de cijfers op gemeenteniveau;
- het aantal voertuigen per statistische sector is gekend en voor die sectoren die gedeeltelijk buiten het studiegebied vallen wordt verdeling over de bodemgebruikclassen gelijk gesteld als in de totale statistische sector;
- voertuigen kunnen het overstromde gebied verlaten en vooropgesteld dat de overstroming tijdig voorspeld en gecommuniceerd wordt loopt 70% van de voertuigen geen schade op.¹⁶

Om een gewogen gemiddelde voor voertuigen te berekenen, werd vertrokken van de gemiddelde nieuwprijs van voertuigen voor 2004 en het aantal wagens met een bepaalde ouderdom in België (FEBIAC). Uit de tabellen van Federauto werd een selectie gemaakt van voertuigen waarvoor een indicatie van de nieuwprijs werd opgegeven en een verkoopwaarde voor tweede handsvoertuigen in verschillende jaren. Hierbij werd voorkeur gegeven aan wagens waarvoor zo lang mogelijke reeksen beschikbaar zijn om de functie die de waardedaling in de tijd weergeeft zo accuraat mogelijk te beschrijven. Aangezien de types van wagens zeer snel veranderen is het aantal wagens in de selectie beperkt. De gemiddelde nieuwprijs uit deze selectie werd vergeleken met de gemiddelde nieuwprijs van alle verkochte wagen in 2004 waarbij de verhouding tussen deze getallen ook toegepast werd op de verkoopwaarden van tweedehandsvoertuigen van dat type.

Momenteel wordt gerekend met een gemiddelde waarde van € 4500 per voertuig, wat minder is dan enkele jaren geleden. Dit heeft te maken met het feit dat de prijsdaling in de eerste jaren sterk is en dat de gemiddelde leeftijd van het Belgische wagenpark tussen 2000 en 2004 gestegen is.

3.2.7 Schade aan water, natuur en bossen

De klasse natuur is in dit project een zeer heterogene mix van veel uiteenlopende gebieden die gemeenschappelijk hebben dat ze niet thuis horen in een andere klasse en dat het ingrijpen door de mens beperkt(er) is. Het gaat meestal om kale oppervlakken (zoals strand of slikken) of om gebieden waar planten min of meer ongehinderd door menselijk ingrijpen kunnen groeien. Los van de natuurwaarde of een gevoelswaarde is gekeken naar de economische schade aan deze gebieden indien ze onder water komen en wordt deze gelijk gesteld aan € 0. Dit vertelt niets over het belang van deze gebieden, aangezien bv. een strand of duin een belangrijke invloed heeft op de kans op overstromen van het achterliggende land.

Voor bossen werd eveneens gekeken naar de economische schade. Ten eerste zijn er in Vlaanderen zeer weinig plaatsen waar bossen een economische functie hebben (houtkap). Verder blijkt dat de groeivertraging die een overstroming teweeg brengt nauwelijks merkbaar is wanneer bomen geveld en verkocht worden. Aangezien deze schade zeer klein was (minder dan € 0,01/m²) werd de economische schade aan bossen gelijk gesteld aan € 0.

De klasse water tenslotte heeft geen schade in dit model. Er wordt van uit gegaan dat de infrastructuur in het water (bv. bediening van sluizen) of boven het water (bv. bediening van bruggen) voorzien is op waterstandvariaties. Dit houdt onder meer ook in dat in deze studie

¹⁶ Deze assumptie is moeilijk vol te houden wanneer behalve dijkoverloop ook geotechnisch falen wordt meegerekend aangezien dit moeilijker te voorspellen is. In het geval van bressen wordt geen evacuatiefactor voor voertuigen in het model ingevoerd en loopt 100% van voertuigen in het gebied schade op.

geen rekening gehouden wordt met het stilleggen van commerciële vaart of het opleggen van snelheidsbeperkingen, gegroepeerd schutten, ...

3.2.8 Schade aan wegen

De schade aan wegen is afhankelijk van het type. Dit type wordt bepaald uit de eigenschappen die beschreven zijn in paragraaf 4.1. In totaal worden 48 types onderscheiden met schade variërend van € 300/m voor een plattelandsweg zonder ophoging of afgraving en maximaal 5m breed tot € 7500/m voor een brug van meer dan 10m breed met middenberm op een nationale weg of autosnelweg. In deze bedragen, afkomstig van de Administratie Wegen en Verkeer, zijn de wegaanhorigheden zoals verkeerslichten, verkeersborden, schilderwerk, ... mee opgenomen.

Er wordt een correctie toegepast op deze schade bij het kruisen van water. Als het bodemgebruik water is, wordt de schade op die plaats € 0 verondersteld aangezien in de overstromingskaart op die locatie in de rivier een grote waterdiepte gekarteerd wordt die niet tot schade aan de bovenliggende brug hoeft te leiden.

3.2.9 Schade aan spoorwegen

De schade aan spoorwegen is, net zoals de schade aan wegen, afhankelijk van de eigenschappen beschreven in paragraaf 4.1. Bij spoorwegen worden echter slechts 4 types onderscheiden. Voor het bepalen van de kostprijs wordt van volgende veronderstelling uitgegaan (na contact met NMBS, Departement Infrastructuur en Onderhoud Sporen):

- de prijs van de seininrichting is groot in vergelijking met andere kosten;
- kosten voor ophoging / afgraving zijn klein in vergelijking met andere kosten;
- elektrificatie neemt ongeveer 20 % van de kostprijs in.

De 5 types die onderscheiden worden zijn (Vanneuville et al., 2002):

- enkelvoudig spoor, niet geëlektrificeerd (€ 500/m)
- enkelvoudig spoor, geëlektrificeerd (€ 625/m)
- meervoudig spoor, niet geëlektrificeerd (€ 6000/m)
- meervoudig spoor, geëlektrificeerd (€ 7500/m)
- hogesnelheidslijnen (€ 25000/m)

De grote maximale schade bij meervoudige sporen wordt verklaard door een veelheid aan wissels en dure seininstallaties die nodig zijn (Vanneuville et al., 2002). Deze blijken daarenboven schadegevoelig bij overstromingen (vaak dicht bij de grond of tussen de sporen).

3.2.10 Schade aan waterwingebieden, zuiveringsinstallaties en spaarbekkens

In De Rouck (2005) wordt dieper ingegaan op de methode om waterwingebieden in rekening te brengen naar analogie met de methode zoals beschreven in De Rouck et al. (2004). Er wordt een selectie gemaakt van de winningputten en zuiveringsinstallaties die in een gebied kunnen liggen dat overstroombaar is vanuit een bevaarbare waterloop. De drinkwatermaatschappijen verwachten dat betrouwbaar met deze gegevens wordt omgegaan.

Bij de bepaling van de schade is enkel uitgegaan van de directe, interne schade zoals beschreven aan het begin van paragraaf 4.2. Dit houdt in dat schade door het uitvallen van levering en de kosten voor alternatieven niet in rekening gebracht worden wegens onmogelijk

accuraat te beschrijven. Net zoals bij industrie zijn de mogelijkheden om te anticiperen op een tijdelijke uitval van een productiecentrum divers. In een aantal gevallen zal bijvoorbeeld water uit andere winningen geleverd kunnen worden. Verder is verondersteld dat de constructies zelf geen noemenswaardige schade lijden¹⁷ en dat de schade beperkt blijft tot de elektromechanische installaties. Een ander element dat niet in rekening gebracht wordt is het sluiten van een winning omwille van kwaliteitsproblemen zonder dat de winning zelf getroffen wordt aangezien dit ook valt onder de externe schade.

Elementen die schade kunnen oplopen zijn bepaald in samenspraak met de drinkwatermaatschappijen AWW, PIDPA en VMW. Het gaat hier om pompputten voor oppervlaktewater en een zeer beperkt aantal gebouwen en installaties bovengronds. Schade aan oppervlaktewaterwinning wordt niet meegenomen, behalve wanneer aangegeven werd dat de gebouwen kunnen overstromen.

3.2.11 Schade aan kerken, kloosters, abdijen, molens, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen, schoolgebouwen en kastelen

De maximale schade voor kerken, kloosters, abdijen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen en schoolgebouwen zijn afhankelijk van de oppervlakte. Voor kloosters en abdijen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen en schoolgebouwen kan deze informatie bekomen worden uit de data laag structpoly (Top50v-Gis, Nationaal Geografisch Instituut). De oppervlakte van kerken kan bepaald worden aan de hand van de perceelsnummers bij de Administratie van het kadaster. Omdat deze methode te tijdrovend was, is in deze studie gewerkt met een vaste waarde voor de oppervlakte van kerken, namelijk 400m².

Voor de waarde per vierkante meter van deze gebouwen wordt gebruik gemaakt van het Handboek Schatten van onroerende goederen (Avondtstondt & Avondtstondt, 2003). Deze waarden zijn in theorie Abex-afhankelijk. De Abex is een index voor de prijzen in de bouwsector die tweemaal per jaar herzien wordt. In deze studie wordt gewerkt met een Abex-waarde van 579 (mei 2004). Aangezien het hier om een gemiddelde waarde gaat, is deze vast verondersteld op € 1150/m².

Voor historische molens¹⁸ wordt de schade bepaald op basis van de volledig verzekerde waarde. Een onderscheid tussen molens met een stenen of houten structuur kan niet uit de data afgeleid worden. Daarom wordt gewerkt met het gemiddelde opgegeven door De Rouck et al (2004) en wordt aan molens een waarde van € 687 500 toegekend. Bij dit puntelement is in dit model de schade onafhankelijk van de oppervlakte.

Voor kastelen wordt gewerkt met een indicatieve waarde aangezien geen kastelen meer gebouwd worden en er een zeer grote diversiteit is. De grootste schade is het verlies aan cultuurhistorisch erfgoed. Voor Vlaanderen zijn te weinig gegevens beschikbaar en daarom wordt verder gewerkt met de Nederlandse waarde van € 10 000 000 (Briene et al., 2002).

3.2.12 Schade aan elektriciteitscentrales, zendinstallaties en windturbines

Bij elektriciteitscentrales is de schade afhankelijk van een zeer brede waaier aan factoren waaronder het verloop van de overstroming zelf. De structuur van deze centrales is sterk

¹⁷ Deze assumptie is minder geldig bij bressen in de omgeving van de winning. Dat laatste element is in deze studie niet in rekening gebracht.

¹⁸ windturbines: zie 4.2.12 Schade aan elektriciteitscentrales, zendinstallaties en windturbines

verschillend. Indien bijvoorbeeld water in een machinezaal dreigt te lopen is de grootste kost het stilleggen van de productie om grote schade aan belangrijke elektrische onderdelen zoals bedieningskasten en motoren te beperken. De manier waarop het stilleggen van productie een invloed heeft op het bedieningsgebied is opnieuw zeer divers en valt onder de externe schade. De Rouck et al. (2004) komt tot een bedrag van € 4 500 000 000.

Bij gebrek aan andere gegevens wordt deze waarde in deze studie weerhouden. Ook is er van uitgegaan dat een kerncentrale voldoende beschermd is om geen schade op te lopen aan het nucleaire gedeelte, zelfs indien deze dicht bij het water staat.

Voor de schade aan windturbines wordt gebruik gemaakt van een Duitse studie die een relatie opstelt tussen het vermogen en de totale schade (GWEA, 2004). Zij stellen een schade van € 1000 per kW voorop. Het gemiddelde vermogen van het windmolenpark in Vlaanderen is 712 kW, met 200 en 2000 kW als uiterste waarden (MVG-EWBL, antwoord per mail) en de schade aan een windturbine wordt dan bepaald op € 712 000.

Voor de zendinstallaties heeft het Belgisch Instituut voor Postdiensten en Telecommunicatie gegevens van de 3 grote Belgische operatoren verzameld. De gemiddelde schade per zendmast (voornamelijk de infrastructuur aan de voet) wordt bepaald op € 60 000. (De Rouck et al., 2004).

Er zijn 2 soorten pylonen: green-field pylonen en pylonen voor stedelijk gebied. Deze laatste bevinden zich meestal op het dak van een gebouw en worden uit de lijst gefilterd aangezien ze geen schade oplopen. De gegevens over de locaties dienen vertrouwelijk behandeld te worden.

3.2.13 Schade aan ondergrondse parkeergarages en metrostations

De Rouck et al. (2004) stelt voor om voor ondergrondse parkeergarages een waarde € 7 500 000 te gebruiken. Deze waarden zijn bepaald op basis van gegevens van Fort Corporate Insurance (FCI Fortis). De schade aan de voertuigen zelf is reeds bepaald in paragraaf 3.2.6. Het gaat hierbij enkel om grote ondergrondse parkeergarages in steden. Hier vallen parkings onder appartementsgebouwen waar enkel de bewoners hun auto kwijt vallen dus niet onder. De grote schade aan de parkeergarages is voor een groot deel te wijten aan het feit dat ze volledig zullen moeten leeggepompt worden omdat het water niet op een natuurlijke weg kan wegvloeien.

De maximale schade aan een metrostation werd door De Lijn bepaald op € 5 000 000 (De Rouck et al. 2004).

3.2.14 Schade aan benzinstations, winkelcentra en rusthuizen

Voor de schade aan benzinstations wordt € 900 000 per eenheid genomen, voor rusthuizen € 12 500 000. De gemiddelde maximale schade voor een winkelcentrum wordt vastgesteld op € 50 000 000. Deze waarden zijn terug te vinden in De Rouck et al. (2004) en afgeleid uit informatie verstrekt door Fort Corporate Insurance (FCI Fortis).

Winkelcentra zijn in deze studie de locaties die als dusdanig zijn aangegeven in de digitale topografische kaart. Het gaat hierbij dus niet om losstaande winkels. Warenhuizen en supermarkten zitten in hoofdzaak vervat in de klasse infrastructuur. Indien ze gelegen zijn op een industrie terrein is meestal geen onderscheid gemaakt tussen het warenhuis en de andere

aanwezige bedrijven en valt het warehouse mee onder de klasse industrie. Winkels in het straatbeeld zijn mee begrepen in de klasse bebouwing. Het is onmogelijk om deze afzonderlijk te onderscheiden in een studie waarin een beeld voor Vlaanderen geschetst wordt.

3.2.15 Schade aan treinstations

Uit gegevens van de directie Patrimonium van de NMBS werden 3 klassen voor treinstations afgeleid. In een eerste groep zitten de grote stations (zoals Gent Sint-Pieters, Antwerpen-Berchem, Brussel-Zuid, Aalst, ...) waarvoor de schade station per station bekeken wordt aan de hand van tabellen. Deze tabellen zijn vertrouwelijk. Verder wordt een onderscheid gemaakt tussen middelgrote en kleine stations. Hiervoor werden gemiddelde waarden bepaald, respectievelijk € 295 000 en € 30 000 (aanpassing en afronding van de gemiddelde waarden in De Rouck et al., 2004).

3.2.16 Schade aan brandweer- en politiekazernes, gevangenissen en musea

De maximale schadewaarde voor deze elementen wordt ongeveer 3-jaarlijks overeengekomen door de Commissie voor de inventaris van de Staat en de Regie der gebouwen en worden bepaald op basis van een reconstructiewaarde. In deze studie wordt gebruik gemaakt van de gegevens van 31/12/2001 en de gegevens zijn een uitdrukking per vierkante meter. Er wordt gewerkt met de waarde € 1600/m² (aanpassingen en afronding van de waarden uit De Rouck et al., 2004).

De oppervlakte voor kazernes en gevangenissen is vermeld in *stucpoly* (tabel in top50v-Gis). Voor musea wordt gewerkt met een gemiddelde oppervlakte van 1800m² (dit is de gemiddelde oppervlakte van de politie- en brandweerkazernes en gevangenissen). De schadewaarde is exclusief de waarde voor de collectie. De waarde van de collectie is variabel voor vele musea in functie van de tentoonstelling. Daarenboven kan men veronderstellen dat er voldoende tijd zal zijn om werken te verplaatsen die schade van water ondervinden.

3.2.17 Schade aan pretparken en zoo's

De schade aan pretparken en dierentuinen wordt geval per geval bepaald. De totale verzekerde waarde is in sommige gevallen te bekomen en wordt samen met de oppervlakte gebruikt om een gemiddelde waarde per m² te berekenen voor de objecten waarvan geen inschatting van de waarde vrijgegeven wordt. De individuele uitbaters hebben schriftelijk laten bevestigen de waarden niet openbaar te maken.

Het aantal objecten in deze klassen dat kan overstromen is zeer beperkt. In de Rouck et al. (2004) worden enkel volgende locaties weerhouden: Zoo van Antwerpen, Planckendael, Zoological Park en Bobbejaanland

3.2.18 Overzicht

In onderstaand overzicht wordt de schade aan de verschillende bodemgebruiken en objecten zoals meegenomen in deze studie samengevat.

Bodemgebruik of object	Schade
Woningen	Maximale schade in functie van dichtheid van bebouwing (per statistische sector); Schade in functie van gemiddelde verkoopswaarde in de regio; Behalve directe ook indirecte schade.
Inboedel	Maximale schade 50 % van maximale schade woning; Behalve directe ook indirecte schade.
Industrie	Bepaling van schade op 2 manieren: - op basis van oppervlakte: € 100/m ² , behalve directe ook indirecte schade. - op basis van aantal werknemers: maximale schade in functie van dichtheid aantal werknemers in industriegebied (per gemeente); € 180 000 per werknemer, behalve directe ook indirecte schade.
Infrastructuur	€ 100/m ²
Luchthaven	Waarde niet van toepassing op 3 grootste luchthavens; € 100/m ² voor bodemgebruikklasse Luchthaven I, € 0/m ² voor Luchthaven II.
Recreatiegebied	€ 0,03/m ²
Akkerland	Waarde in functie van landbouwstreek en bekken op basis van geteelde gewassen (zie bijlage); Gemiddelde voor Vlaanderen ongeveer € 0,50/m ² ; Behalve directe ook indirecte schade.
Weiland	€ 0,08/m ² , behalve directe ook indirecte schade.
Voertuigen	€ 4500 per voertuig
Water, Natuur, Bossen	€ 0/m ²
Wegen	Waarde afhankelijk van type weg; Variërend tussen € 300/m en € 7500/m

Spoorwegen	Waarde afhankelijk van type spoorweg; Variërend tussen € 500/m en € 7500/m
Waterwinninginfrastructuur	Waarde bepaald op basis van expert opinion. Vertrouwelijk.
Pretparken en dierentuinen	Waarde bepaald op basis van expert opinion. Vertrouwelijk.
Kloosters, abdijen, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen en schoolgebouwen	€ 1150/m ²
Kerken	€ 1150/m ² , oppervlakte vastgezet op 400m ²
Brandweerkazernes, politiebureaus en gevangenissen	€ 1600/m ²
Musea	€ 1600/m ² , oppervlakte vastgezet op 1.800m ² ; waarde exclusief waarde van de collectie
Historische molens	€ 687 500 per stuk
Kastelen	€ 10 000 000 per stuk
Rusthuizen	€ 12 500 000 per stuk
Treinstations	Onderscheid wordt gemaakt tussen: - grote stations: waarde bepaald op basis van expert opinion. Vertrouwelijk. - middelgrote stations: € 295 000 per station - kleine stations: € 30 000 per station
Elektriciteitscentrales	€ 4 500 000 000 per centrale
Windturbines	€ 712 000 per turbine
Zendinstallaties	€ 60 000 per installatie
Ondergrondse parkeergarages	€ 7 500 000 per garage
Metrostations	€ 5 000 000 per station
Benzinestations	€ 900 000 per station
Winkelcentra	€ 50 000 000 per centrum

Tabel 3-1 Overzicht van de maximale schadewaarden per beschouwd bodemgebruik of object

3.3 Schadefuncties en drempelwaarden

De waarden beschreven in paragraaf 4.2 zijn de maximale bedragen. Bij een kleine waterstand op een bepaalde plaats kan verondersteld worden dat het 'object' niet volledig verloren is. Daarom worden in dit hoofdstuk relaties opgesteld die een verband geven tussen de waterstand en de schade.

Hierbij kunnen enkele bedenkingen gemaakt worden. Enerzijds kan verondersteld worden dat er een klein verschil zal zijn tussen een waterstand van x en $x+1$ cm. In deze studie wordt dit verondersteld voor alle waterdieptes, d.w.z. dat zowel het verschil tussen 32 en 33 cm als zeer klein verondersteld wordt als het verschil tussen 321 en 322 cm. Er wordt gewerkt met een klassenindeling van de waterdiepten in klassen van 25 cm en wel zo dat de indeling conservatief is, d.w.z. 'afgerond' naar het volgende veelvoud van 25 cm. In praktijk worden waterstanden van 104 en 124 cm beide vervangen door 125 cm. Deze overschatting van de waterdiepte is vooropgesteld omwille van het feit dat er van uit gegaan wordt dat een lichte overschatting van de waterdiepte (en daarmee schade en risico) meer aanvaardbaar is dan een onderschatting (naar Vanneuville et al., 2002).

Anderzijds kunnen vragen gesteld worden bij relaties die afhankelijk zijn van de waterdiepte. Daarbij dienen volgende opmerkingen gemaakt:

- de waterdiepte is een parameter die relatief eenvoudig kan afgeleid worden uit modelleringen en die in enquêtes aan getroffen en bepaald kan worden;
- net zoals het aantal werknemers voor de maximale schade aan industrie wordt de waterdiepte als sleutel gebruikt om een waaier aan factoren te vatten (waterkwaliteit, verschillende componenten van de snelheid, ...);
- voor artificiële objecten (woningen, industrie, ...) kan vrij eenvoudig opgemerkt worden dat de maximale waterdiepte een belangrijke rol speelt. Voor enkele andere bodemgebruiksklassen is deze relatie minder eenduidig (bv. landbouw, zie ook hoofdstuk 8, punt 2). Toch wordt deze relatie ook voor de andere bodemgebruiken toegepast omwille van een gebrek aan andere gegevens om een relatie aan af te ijken en omdat zelfs in die gevallen een correlatie (weliswaar minder duidelijk) tussen schade en waterdiepte waargenomen wordt.

De schade die optreedt in een bepaald punt kan dan uitgedrukt worden als:

$$S_w = \sum (\alpha * n_i * S_{\max}) \quad \text{met} \quad \text{formule 3-3}$$

- S_w schade die optreedt bij een bepaalde gebeurtenis
- α schadefactor / schadecoëfficiënt (waarde tussen 0 en 1, afhankelijk van het bodemgebruik; zie verder)
- n_i aantal eenheden (aantal, lengte in m, oppervlakte in m^2 , ...)
- S_{\max} maximale schade op basis van de vervangingswaarde (zoals bepaald in paragraaf 4.2) en uitgedrukt per lengte (m) of oppervlakte (m^2)
- en dit gesommeerd over alle verschillende klassen van het bodemgebruik

3.3.1 Drempelwaarden

De relaties – schadefuncties – in dit hoofdstuk zijn afgeleid uit bevragingen, hoofdzakelijk in het buitenland (Nederland, U.K.) waarbij aan de mensen letterlijk gevraagd werd naar de waterhoogte boven de drempel. Voor een aantal objecten wordt deze drempel niet gelijk gesteld aan het maaiveldniveau. Dit is het geval voor woningen, industrie en wegen. Voor woningen wordt een drempel ingebracht van 25 cm. Dit komt overeen met 1 hoogteklasse na conservatieve indeling van de waterhoogte. De werkelijke drempel ligt dus ergens tussen de 1 en 25 cm. Voor industrie ligt deze drempel tussen de 26 en 50 cm, ofwel 2 hoogteklassen na indeling van de waterdiepte.

Voor wegen is de redenering verschillend. Voor een kleine waterstand boven een weg (ook hier worden 2 klassen, ofwel 50 cm genomen, wat in werkelijkheid betekent een drempel van 26 tot 50 cm) wordt deze verondersteld schaderesistent te zijn. Ook bij hevige regenval staat er soms water op de weg zonder dat dit tot schade leidt. Dit geldt niet voor de spoorwegen aangezien een groot gedeelte van de elektrische, schadegevoelige componenten zich tussen de sporen of op het oppervlak bevinden.

3.3.2 Schadefuncties

In Vlaanderen zijn te weinig gegevens voor handen om nieuwe schadefuncties af te leiden. Daarom wordt gebruik gemaakt van, in hoofdzaak Nederlandse, bestaande gegevens die waar nodig aangepast worden. De meeste schadefuncties bereiken de waarde 1 bij een waterdiepte van 500 cm (indien verschillend wordt dit vermeld bij de respectievelijke schadefunctie). Vaak zijn er slechts gegevens beschikbaar per meter waterdiepte, bv. in Van der Sande (2001) en daarbij wordt er lineair geïnterpoleerd om een schadefactor per 25 cm te bepalen.

De schadefunctie voor woningen heeft betrekking op de woning zelf, niet op de inboedel en wordt toegepast voor de klassen bebouwing (I, II en III). Bron van de gegevens: Van der Sande (2001, gegevens van M. Kok, HKV_Lijn in water). Dezelfde functie wordt eveneens gebruikt voor de puntelementen kastelen, rusthuizen en schoolgebouwen.

$$\alpha = \frac{5}{10000} d \quad \text{voor } 0 \leq d \leq 100$$

$$\alpha = \frac{6}{10000} d - 0,01 \quad \text{voor } 100 \leq d \leq 200$$

$$\alpha = \frac{24}{10000} d - 0,37 \quad \text{voor } 200 \leq d \leq 300$$

$$\alpha = \frac{33}{10000} d - 0,64 \quad \text{voor } 300 \leq d \leq 400$$

formule 3-4

$$\alpha = \frac{32}{10000} d - 0,6 \quad \text{voor } 400 \leq d \leq 500$$

$$\alpha = 1 \quad \text{voor } 500 \leq d$$

-

- d waterdiepte uitgedrukt in cm

De schadefunctie voor de inboedel van woningen wordt toegepast voor de schade aan de inboedel bij de klasse bebouwing (I, II en III) en is (na interpolatie) overgenomen uit Van der Sande (2001, gegevens van M. Kok, HKV_Lijn in water).

$$\alpha = \frac{47}{10000} d \quad \text{voor } 0 \leq d \leq 100$$

$$\alpha = \frac{3}{10000} d + 0,44 \quad \text{voor } 100 \leq d \leq 200$$

$$\alpha = \frac{16}{10000} d + 0,18 \quad \text{voor } 200 \leq d \leq 300$$

formule 3-5

$$\alpha = \frac{17}{10000} d + 0,15 \quad \text{voor } 300 \leq d \leq 500$$

$$\alpha = 1 \quad \text{voor } 500 \leq d$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm

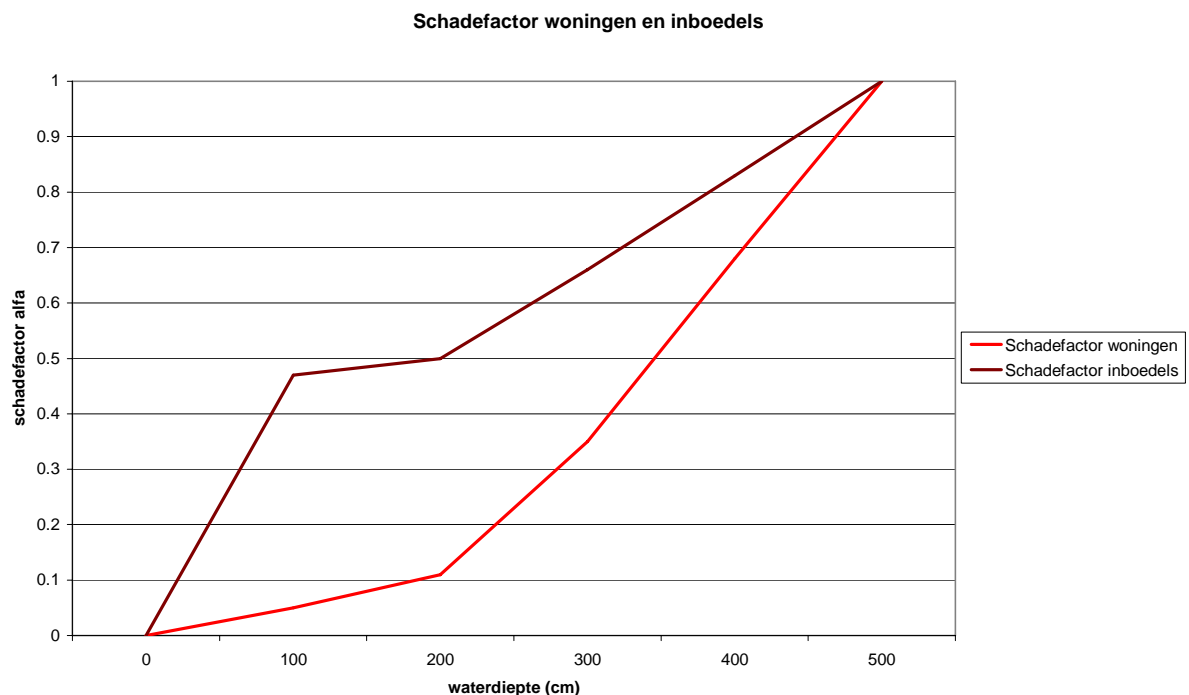


Fig. 3-3: Schadefactor voor woningen en inboedels

Voor voertuigen wordt de maximale schade reeds bereikt bij 200 cm. Ze wordt toegepast op de klasse voertuigen, die zoals eerder beschreven verdeeld worden over de bebouwing, industrie en infrastructuur. Ze is overgenomen uit Van der Sande (2001, gegevens van M. Kok, HKV_Lijn in water).

$$\alpha = \frac{5}{1000} d \quad \text{voor } 0 \leq d \leq 200 \quad \text{formule 3-6}$$

$$\alpha = 1 \quad \text{voor } 200 \leq d$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm

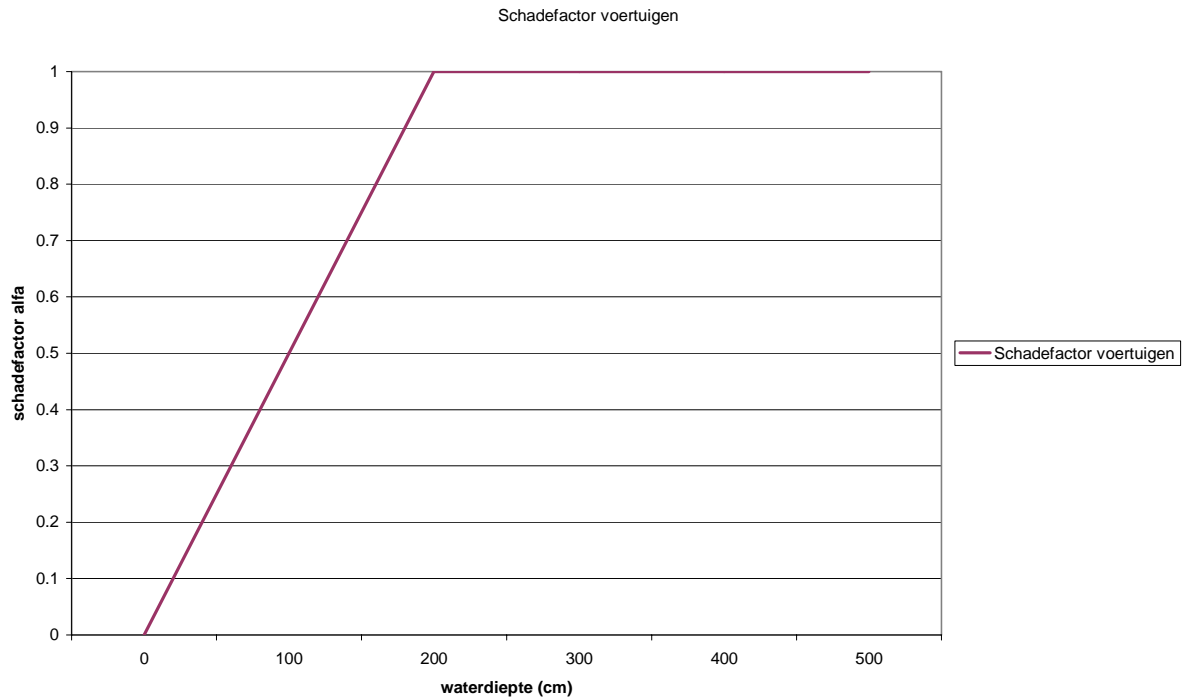


Fig. 3-4: Schadefactor voor voertuigen

Voor de industrie zijn er 2 verschillende schadefuncties (zie ook 4.2.2) al naargelang schade en risico berekend worden op basis van het aantal werknemers of de oppervlakte. De functie op basis van de oppervlakte bereikt haar maximum bij een hoogte van 400 cm, deze op basis van de werknemers bij 500 cm. Ze zijn overgenomen uit Van der Sande (2001, gegevens van M. Kok, HKV_Lijn in water), waar ook wordt aangegeven dat bepalen van schade aan industrie zeer complex is, onder meer doordat te beperkte gegevens voorhanden zijn. De schadefunctie voor de oppervlakte wordt ook gebruikt voor de klassen infrastructuur en luchthaven I. De functie gebruikt voor de oppervlakken wordt ook gebruikt voor een aantal puntelementen, namelijk abdijen, kerken, kloosters, molens, ziekenhuizen, stad- en gemeentehuizen, politie- en brandweerkazernes, gevangenissen, musea, winkelcentra, benzine- en treinstations, pretparken en zoo's.

Schadefunctie industrie (methode oppervlakte):

$$\alpha = \frac{4}{1000} d \quad \text{voor } 0 \leq d \leq 200$$

$$\alpha = \frac{1}{1000} d + 0,6 \quad \text{voor } 200 \leq d \leq 400 \quad \text{formule 3-7}$$

$$\alpha = 1 \quad \text{voor } 400 \leq d$$

-
- d waterdiepte uitgedrukt in cm

Schadefunctie industrie (methode werknemers):

$$\alpha = \frac{1}{1000} d \quad \text{voor } 0 \leq d \leq 100$$

$$\alpha = \frac{6}{10000} d + 0,04 \quad \text{voor } 100 \leq d \leq 300$$

$$\alpha = \frac{39}{10000} d - 0,95 \quad \text{voor } 300 \leq d \leq 500$$

formule 3-8

$$\alpha = 1 \quad \text{voor } 500 \leq d$$

-
- d waterdiepte uitgedrukt in cm

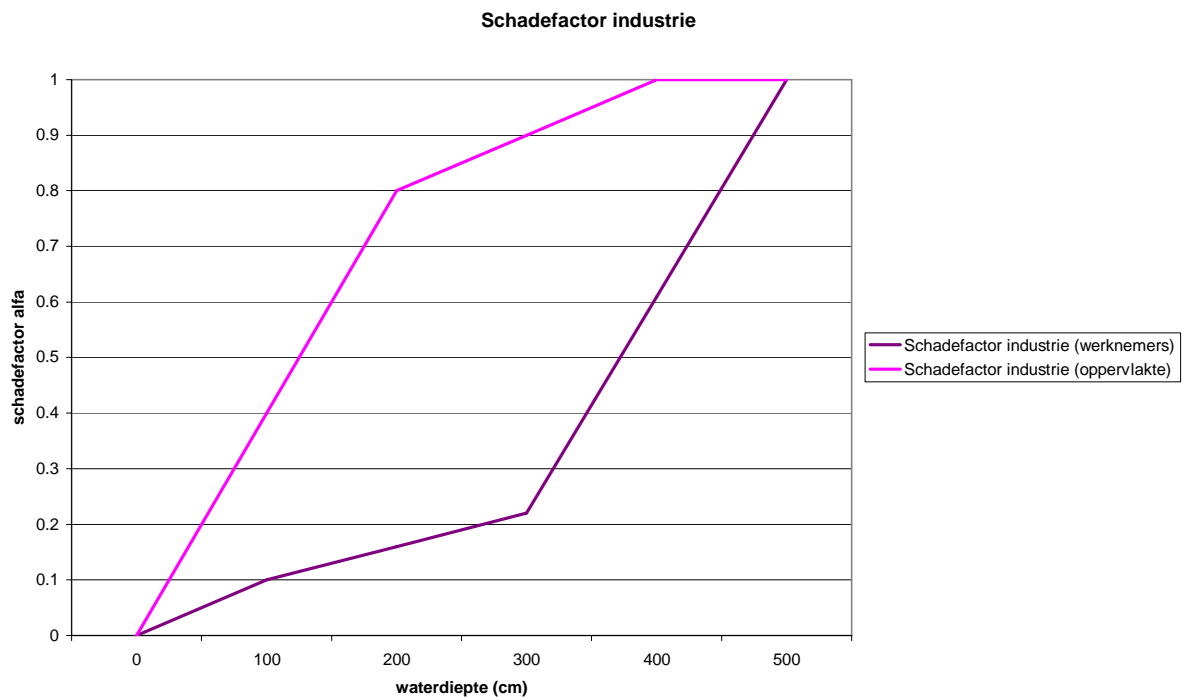


Fig. 3-5: Schadefactor voor industrie

Voor de recreatie wordt de oorspronkelijke functie sterk aangepast omwille van de definitie van de klasse recreatie zoals beschreven in 4.2.4. Ze bereikt haar maximum reeds bij een waterdiepte van 50 cm daar het in hoofdzaak enkel om opruimkosten en kleine herstellingen gaat.

$$\alpha = \frac{2}{100} d \quad \text{voor } 0 \leq d \leq 50$$

formule 3-9

$\alpha = 1$ voor $50 \leq d$
 -
 - d waterdiepte uitgedrukt in cm

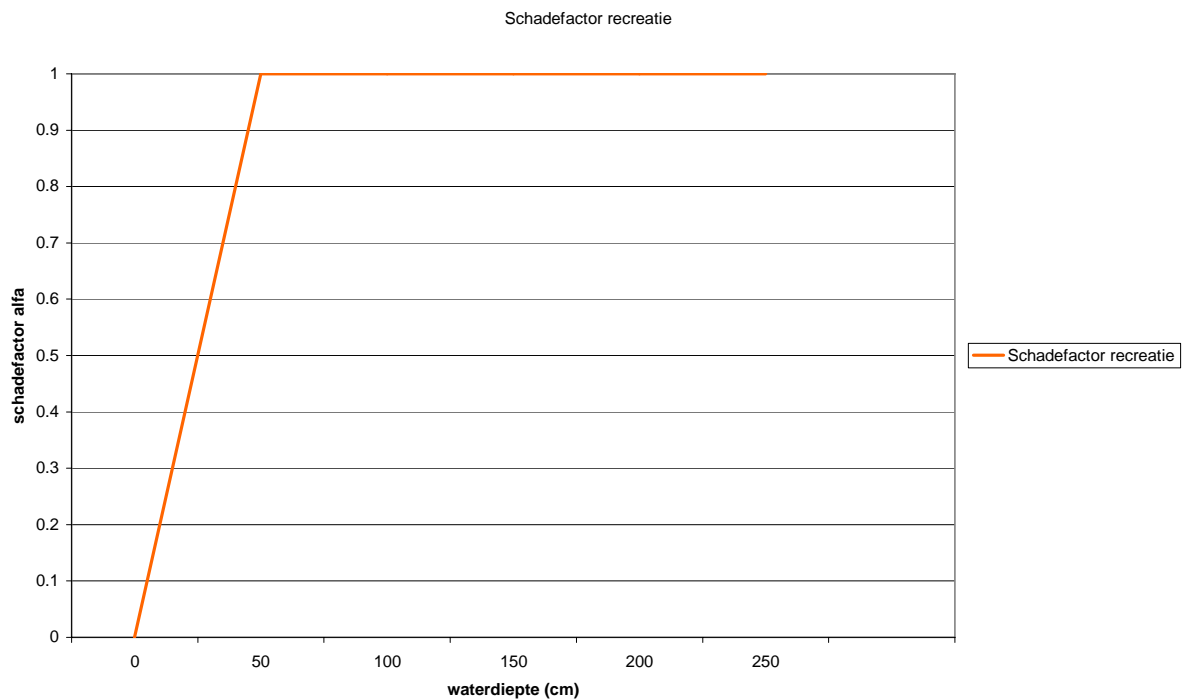


Fig. 3-6: Schadefactor voor recreatie

De schade voor de landbouw is afkomstig van de Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW). Het functieverloop kan mathematisch uitgedrukt worden als formule 4-4 en ze bereikt een maximum bij 375 cm (dit lijkt een te hoge waterstand, maar bij 200 cm is de waarde reeds 0,88). Deze functie is beschreven in Vrisou van Eck et al. (1999):

$$\alpha = \text{MIN}\left(\frac{d}{100}; 0,24 * \frac{d}{100} + 0,4; 0,07 * \frac{d}{100} + 0,75; 1\right) \quad \text{met} \quad \text{formule 3-10}$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm

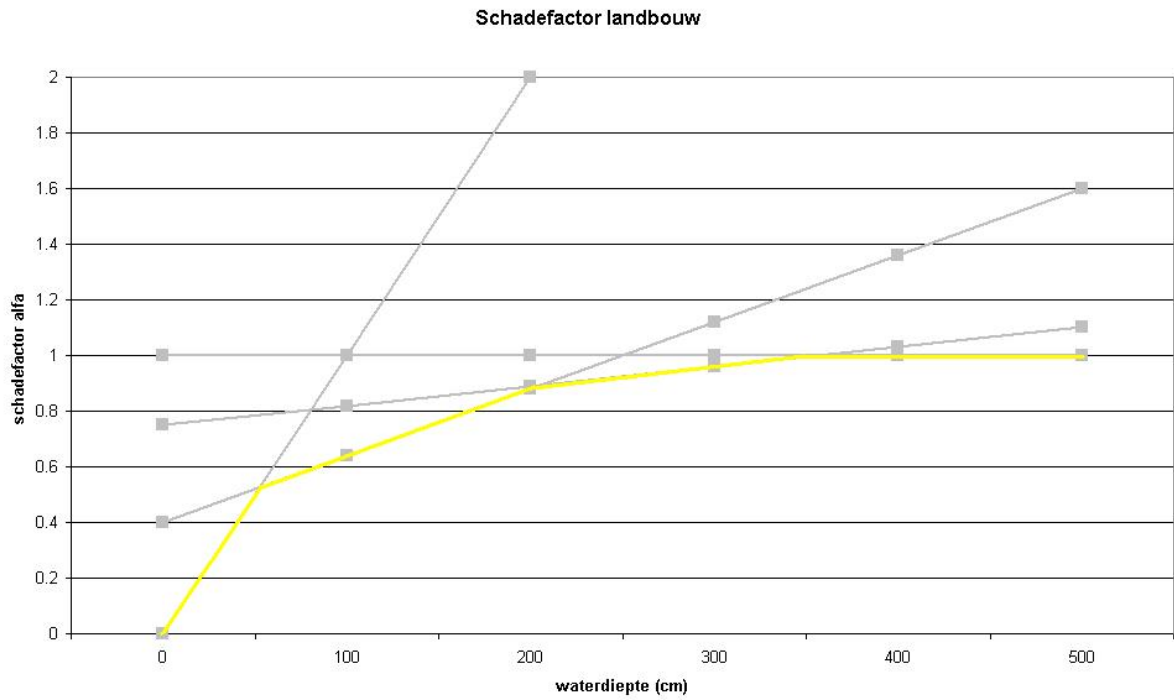


Fig. 3-7: Schadefactor voor landbouw

Ook voor wegen en spoorwegen wordt de schadefunctie overgenomen uit de TAW (Vrisou van Eck et al., 1999) en is weergegeven in formule 4-5.

$$\alpha = \text{MIN}\left(0,28 * \frac{d}{100}; 0,18 * \frac{d}{100} + 0,1; 1\right) \quad \text{met} \quad \text{formule 3-11}$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm

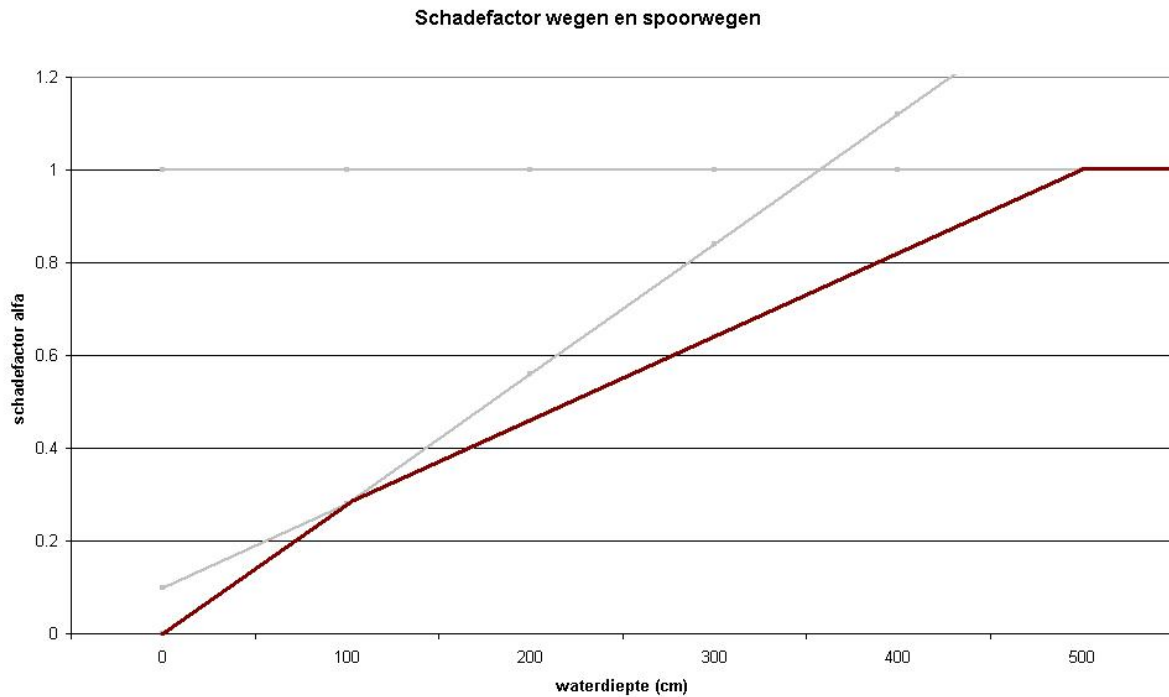


Fig. 3-8: Schadefactor voor wegen en spoorwegen

Voor zendinstallaties en windturbines wordt een afzonderlijke schadefunctie gebruikt. Zij leiden schade als hun infrastructuur aan de pyloon te maken heeft met wateroverlast. De functie is overgenomen uit Vrisou van Eck et al. (1999) en is weergegeven in formule 4-6.

$$\alpha = \text{MIN} \left(0,8 * \frac{d}{100}; 0,34 * \frac{d}{100} + 0,15; 1 \right) \quad \text{met} \quad \text{formule 3-12}$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm

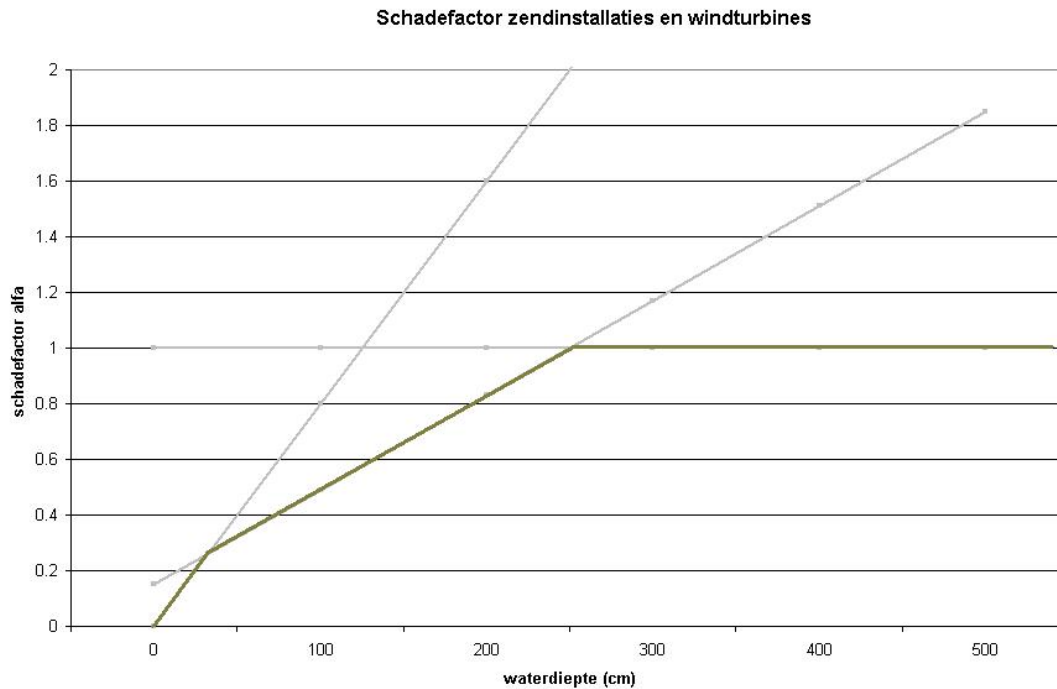


Fig. 3-9: Schadefactor voor zendinstallaties en windturbines

De schadefunctie voor waterwinningsputten, ondergrondse parkeergarages en metrostations is een binaire functie. Geen schade als er geen water is, een schade gelijk aan de vervangingswaarde (schadecoëfficiënt = 1) indien er water is. Voor deze objecten wordt wel gekeken naar een mogelijke drempel waar het water over moet alvorens de put, garage of het station in te stromen. Deze drempelhoogten t.o.v. het maaiveld worden in een afzonderlijk bestand aan de modellering toegevoegd.

Voor de klassen waar de maximale schade gelijk is aan € 0/m² (natuur, bos, water) wordt logischerwijs geen schadefunctie afgeleid.

Een samenvatting van de verschillende schadefuncties kan gevonden worden in figuur 3-10.

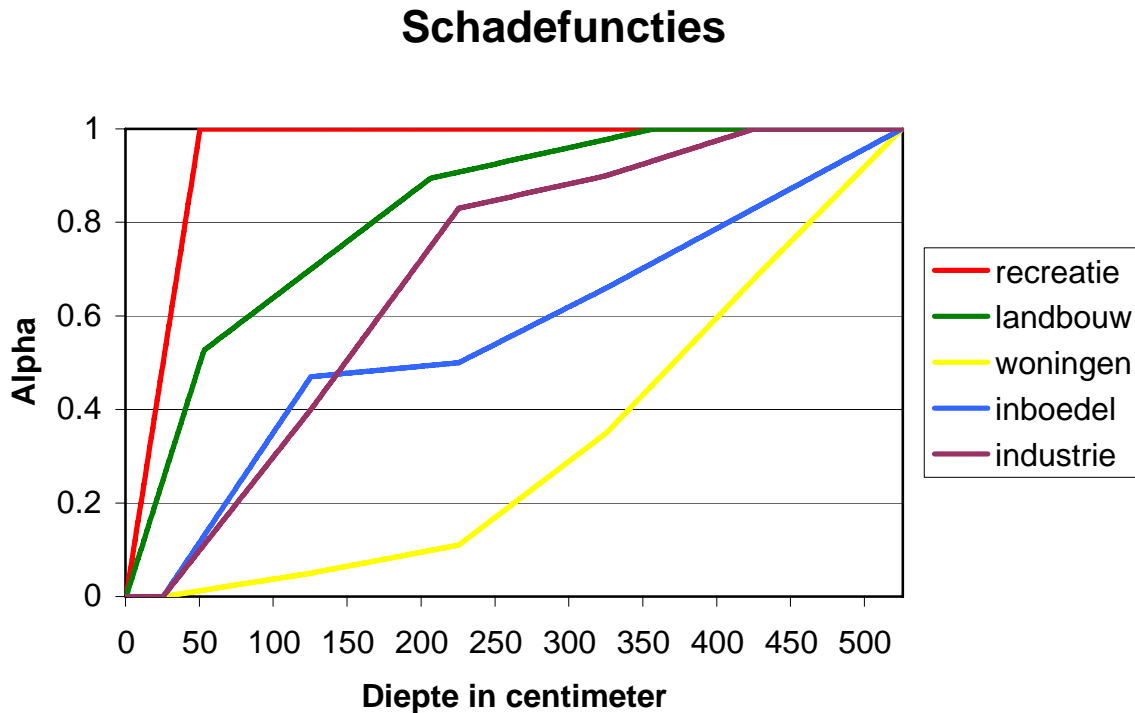


Fig. 3-10: Overzicht schadefuncties

3.4 Bepalen van (dodelijke) slachtoffers

Jonkman & Cappendijk (2006) beginnen hun rapport met een opsomming van definities. Slachtoffers, zoals hier bedoeld, zijn “het aantal dodelijke (menselijke) slachtoffers ten gevolge van de beschouwde overstroming”. Het aantal slachtoffers wordt bepaald door het product van de mortaliteit en het aantal getroffenen.¹⁹

Hoewel in het verleden²⁰ door (voornamelijk Amerikaanse) rechtbanken uitspraken gedaan werden over de waarde van een mensenleven dient dit steeds met de grootste omzichtigheid te gebeuren. Dit valt buiten het kader van dit onderzoek, waar het aantal dodelijke slachtoffers uitgedrukt als aantal, zonder hieraan een monetaire waarde toe te kennen. Deze kaart is dus niet zomaar op te tellen bij de kaarten die de materiële schade weergeven. De gevolgen hiervan zijn tweërlei (Vanneuille et al. 2003a):

- indien het in de toekomst noodzakelijk zou zijn één totale risicokaart te maken, kan men op zoek gaan naar monetaire waarderingen van mensenlevens die in het kader van het onderzoek min of meer algemeen aanvaard worden en na vermenigvuldigen van het aantal slachtoffers met deze waarde op te tellen bij de economische schade. Dit valt echter volledig buiten het doel van dit onderzoek.

¹⁹ Mortaliteit: maat voor de sterfte gedefinieerd als aantal slachtoffers gedeeld door aantal getroffen personen. Getroffenen: aantal aanwezigen (inwoners – geëvacueerden) zonder het aantal bewoners van hoogbouw

²⁰ In de meeste gevallen gaat het om individuele slachtoffers en niet om een hele groep getroffenen. De doodsoorzaak is meestal ook geen natuurramp zoals overstromingen, maar een ongeluk waar de technologie gefaald heeft zoals bij bedrijfsongelukken. De manier van waarderen van een mensenleven is hierbij vrij ondoorzichtig en de waarden lopen zeer sterk uiteen.

- indien inrichtingsalternatieven bestudeerd worden (rivierkundige maatregelen – harde en zachte, maar eveneens wijzigingen in bodemgebruik / -bezetting) kan het effect afzonderlijk bepaald worden op economische schade en aantal slachtoffers. Er zijn namelijk situaties denkbaar waarbij de economische schade verminderd maar het aantal slachtoffers verhoogd (of omgekeerd), zoals bijvoorbeeld bij geotechnisch falen.

Zoals reeds eerder aangehaald in paragraaf 3.2.6 (schade aan voertuigen) kunnen overstromingen zich op vele momenten voordoen: overdag of 's nachts, al of niet in een vakantie, ... Het is dan ook onmogelijk om aan te geven voor ieder tijdstip waar er zich mensen (en hoeveel) zullen bevinden. Om berekeningen uit te voeren zullen dus aannames moeten gebeuren, welke volledig analoog zijn als bij het verdelen van het aantal woningen in een statistische sector over de 3 klassen bebouwing in functie van de dichtheid (zie paragraaf 3.2.1).

Voor de bevolkingsaantallen per statistische sector worden gegevens gebruikt uit 2001 (Sociaal Economische Enquête NIS: meest recente beschikbare gegevens op het niveau van de statistische sector). Deze situatie sluit het best aan bij de socio-economische data uit de volkstelling 2001 die gebruikt wordt voor het inschatten van de economische schade.

Het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming moet ingeschat worden op basis van (Jonkman & Cappendijk, 2006):

- overstromingskenmerken (aantal en welke afhankelijk van de gebruikte formules);
- aantal aanwezigen in overstroomde gebied, al dan niet rekening houdend met evacuatie;
- aantal slachtoffers onder de aanwezige personen.

Voor het berekenen van het aantal slachtoffers bestaan een hele reeks formules, die niet enkel verschillen in de waarde van de coëfficiënten maar ook verschillende factoren in rekening brengen. Dit leidt tot een hele waaier formules waartussen het zeer moeilijk is een gefundeerde keuze te maken. In onderstaand hoofdstuk worden enkele formules besproken. Er zijn er nog veel meer! In Vrisou van Eck et al. (1999) worden 3 reeksen functies besproken: exponentieel in functie van de waterdiepte, in functie van waterdiepte en stijgsnelheid, in functie van waterdiepte, stijgsnelheid en een reeks additionele kenmerken zoals beschutting, bouwmaterialen, stroomsnelheid enz. Vrij algemeen is aanvaard dat de stijgsnelheid een belangrijke rol kan spelen bij het aantal slachtoffers ten gevolge van een overstroming. Veel andere kenmerken, zoals stroomsnelheid, zullen waarschijnlijk ook een invloed hebben, maar zijn moeilijk te modelleren. Daarom wordt meestal gekozen voor een benadering waarin al deze additionele kenmerken buiten beschouwing gelaten worden (of althans gecorreleerd verondersteld worden met de kenmerken die wel meegenomen worden).

3.4.1 Waterdiepte en stijgsnelheid als belangrijkste elementen

Het bepalen van risico voor slachtoffers verloopt in deze functies analoog aan het bepalen van economische schade, alleen wordt een coëfficiënt voor de stijgsnelheid van het water toegevoegd. De schadefunctie voor het bepalen van het aantal slachtoffers wordt dan (Vrisou van Eck et al., 1999):

$$N = \alpha_d * \alpha_w * A \quad \text{met} \quad \text{formule 3-13}$$

- N aantal slachtoffers
- α_d verdrinkingscoëfficiënt in functie van waterdiepte

- α_w verdrinkingscoëfficiënt in functie van stijgsnelheid
- A aantal personen in een gebied

Voor de coëfficiënt α_d wordt volgende formule aangehouden (Vrisou van Eck et al. 1999):

$$\alpha_d = \exp(1,16 * \frac{d}{100} - 7,3) \quad \text{met} \quad \text{formule 3-14}$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm
- α_w verdrinkingsfactor in functie van de waterdiepte

Ook hier wordt de waterdiepte conservatief ingedeeld in klassen van 25cm en wordt een drempelwaarde van 1 klasse (25cm – in praktijk 1-25cm) ingevoerd.

Voor het bepalen van de stijgsnelheid worden de modelresultaten in ieder netwerkpunt om de 10 minuten opgeslagen. In iedere overstromingstak wordt zo de maximale waterstandstijging op 1 uur tijd bepaald door gebruik te maken van een ‘*moving window*’ over de 10-minuten gegevens. Analoog als Vrisou van Eck et al. (1999) wordt de verdrinkingsfactor ten gevolge van de stijgsnelheid als volgt bepaald:

$$\alpha_w = 0 \quad \text{voor } w \leq 0,30$$

$$\alpha_w = 0,37w - 0,11 \quad \text{voor } 0,30 < w < 3 \quad \text{formule 3-15}$$

$$\alpha_w = 1 \quad \text{voor } 3 \leq w$$

- w stijgsnelheid uitgedrukt in m/uur.
- α_w verdrinkingsfactor in functie van de stijgsnelheid

De combinatie van beide parameters levert een schadefunctie zoals grafisch weergegeven in figuur 3-10. Vanuit deze puntgegevens wordt geïnterpoleerd om de stijgsnelheid op ieder punt te bepalen, waarbij de as van de waterloop als barrière fungeert waarover geen interpolaties kunnen plaatsvinden.

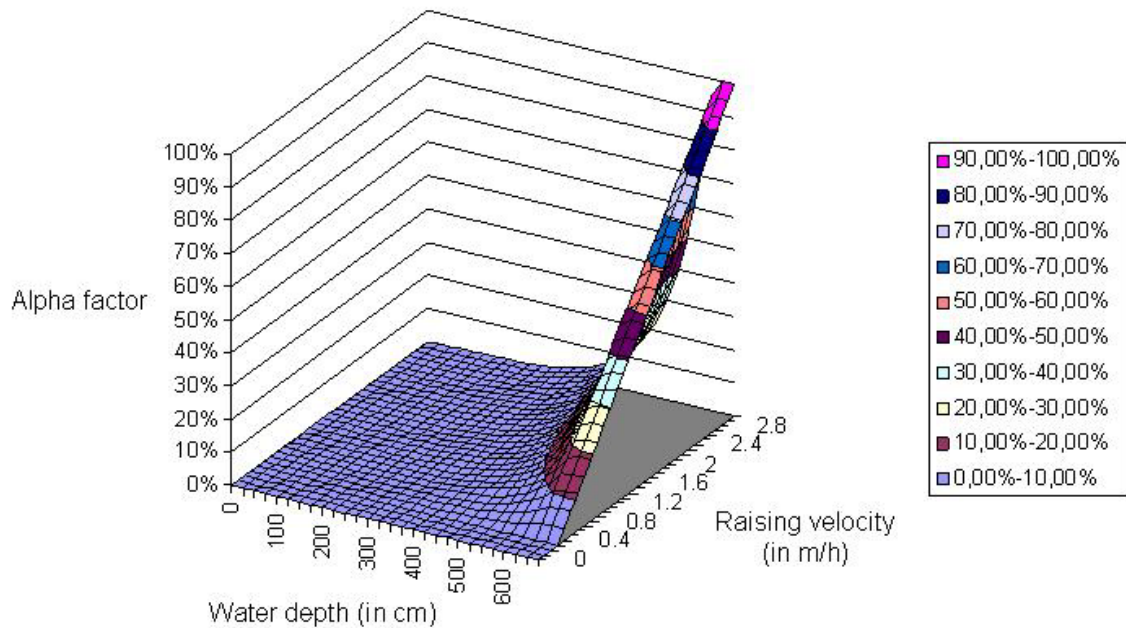


Fig. 3-11: Relatie waterdiepte, stijgsnelheid een percentage slachtoffers (alfa factor) van het totaal aantal personen in een gebied. (Vrisou Van Eck et al., 1999)

In de herwerking van Vrisou van Eck et al. (1999), Kok et al. (2002), wordt eveneens uitgegaan van een functie die maximale waterdiepte en stijgsnelheid als sleutelparameters gebruikt, maar zijn de coëfficiënten aangepast:

$$\alpha_{d,w} = 0 \quad \text{voor } d < 300 \vee v < 0,3$$

$$\alpha_{d,w} = 1 \quad \text{voor } d > 625 \wedge v < 2,0$$

$$\alpha_{d,w} = \text{MIN} \left[\text{MAX} \left\{ 8,5 \cdot \exp\left(\frac{6 \cdot d}{1000} - 6\right) - 0,15; 0 \right\}; 1 \right] \cdot \text{MIN} \left[\text{MAX} \left\{ 8,5 \cdot \exp\left(\frac{12 \cdot v}{10} - 4,3\right) - 0,15; 0 \right\}; 1 \right]$$

- d waterdiepte uitgedrukt in cm
- w stijgsnelheid uitgedrukt in m/uur.
- $\alpha_{d,w}$ verdrinkingsfactor in functie van de waterdiepte en de stijgsnelheid

Hierbij valt op dat ook voor de parameter stijgsnelheid een exponentiële functie gebruikt wordt. Stroomsnelheden en stormgolven (instorten van huizen leidt tot stijging aantal slachtoffers) kunnen alleen in rekening gebracht worden wanneer een relatie bekend is tussen het aantal bewoners (meer algemeen: aanwezigen), het type van het gebouw (voornamelijk aantal bouwlagen) en de geografische locatie. Er wordt gesteld dat bij overstroming de bewoners van hoogbouw een grotere kans hebben om gered te worden omdat zij zich op hogere verdiepingen in veiligheid kunnen brengen. Dit zou geldig kunnen zijn tot een bepaald punt waar het gebouw instort en het aantal slachtoffers in hoogbouw groter is dan elders. In welke mate beide elementen elkaar opheffen is op basis van de huidige gegevens en kennis niet uit te maken.

Bovenstaande functie houdt ook geen rekening met evacuatie²¹. Een verbeterde modellering van het aantal slachtoffers zou eerst kunnen bepalen hoeveel personen door evacuatie (voor de gebeurtenis) in veiligheid kunnen gebracht worden. Hierbij dient rekening gehouden te worden met weigering om de woning te verlaten, de tijd die beschikbaar is enz. Uiteindelijk zouden de functies voor het bepalen van het aantal slachtoffers toegepast kunnen worden op het aantal aanwezigen. Hiertoe zullen de coëfficiënten opnieuw aangepast moeten worden. In een daarop volgende fase zou men zelfs rekening kunnen beginnen houden met de grootte van mensen, hoewel dit voor een groot deel wordt opgevangen door bij evacuatie prioritaire groepen (zoals kinderen, bejaarden) eerst in veiligheid te brengen. Verder is het vooral de bedoeling na te kijken om mensen nog terecht kunnen op een droge verdieping, eerder dan of ze nog door het water kunnen waden (daar is immers de stroomsnelheid even belangrijk als de waterhoogte).

In het huidige onderzoek is de discussie over de keuze van de parameters slechts relevant daar waar de stijgsnelheid groot is, wat zelden het geval is wanneer enkel overloop en geen geotechnisch falen in rekening wordt gebracht. Het gaat daarbij om een slachtofferrisico (te beschouwen als een gemiddeld verwacht aantal slachtoffers per jaar) dat veel kleiner is dan 1 voor een volledig hydrografisch bekken. Kleine verschillen in stijgsnelheden (beneden de onzekerheid op deze gegevens, zeker wanneer gewerkt wordt met composiethydrogrammen) geven relatief gezien sterk uiteenlopende verschillen, net zoals toepassen van verschillende coëfficiënten in de formules.

In PICASO (Van der Doef et al., 2001) wordt wel gewerkt met een stroomsnelheid, op basis van een semi-2D modellering. De stijgsnelheid wordt hier afgeleid uit de waterdiepte in de tijd. Deze reeks is echter ingedeeld in klassen alvorens de stijgsnelheid te berekenen. Aangegeven wordt dat dit grote onzekerheden meebrengt!²² In deze studie worden als belangrijkste bronnen van onzekerheid bij het bepalen van slachtoffers volgende elementen gerekend:

- de manier van berekenen van de stijgsnelheid;
- de stroomsnelheid is niet opgenomen in de slachtofferfunctie;
- waterdiepte en stijgsnelheid zijn sterk afhankelijk van het bresdebiet of overslagdebiet;
- maatregelen om schade te beperken tijdens gebeurtenis zijn niet in te bouwen in de scenario's;
- bepalen van verloop evacuatie.

VNK (Jonkman & Cappendijk, 2006) werkt eveneens met waterstanden en stijgsnelheden en leidt daar stroomsnelheden van af. Voor de berekening van het aantal slachtoffers wordt een gebied ingedeeld in verschillende zones:

- een zone (vaak vlak nabij de bres) met grote stroomsnelheden waar personen omver gespoeld worden en gebouwen instorten;
- een zone met grote stijgsnelheden waar vluchten en evacuatie moeilijk zijn;
- overige zones waar slachtoffers vallen door andere oorzaken zoals onderkoeling, hartaanvallen, ...

²¹ Vluchtgedrag is wel impliciet meegenomen aangezien de functies allemaal hun oorsprong vinden in de overstromingsramp van 1953 in Nederland en daarna aangepast zijn in functie van gewijzigde (of verondersteld gewijzigde) randvoorwaarden zoals voorspellingsmogelijkheden, mobiliteit van getroffenen, ...

²² Daarenboven dient de bepaling van de stijgsnelheid semi-manueel te gebeuren wat, net zoals in de lopende studies in Vlaanderen, experimenteren met verschillende methoden bijna onmogelijk maakt omdat de berekeningen zeer tijdrovend zijn.

In de zone met grote stroomsnelheden worden alle aanwezigen verondersteld om te komen doordat bebouwing instort. Grote stroomsnelheden worden in dit onderzoek gedefinieerd als:

$$d \cdot v \geq 7 \frac{m^2}{s} \wedge v \geq 2 \frac{m}{s} \text{ met } d = \text{waterdiepte (m) en } v = \text{stroomsnelheid (m/s)}$$

In de zone met grote stijgsnelheden, hier gedefinieerd als 0,5 m/s²³, wordt een functie gebruikt voor grote stijgsnelheden, in de overige zones wordt een andere functie gebruikt. De exacte vergelijkingen voor het bepalen van de slachtoffers wordt in Jonkman & Cappediijk (2006) niet weergegeven. Wel wordt aan de hand van grafieken een aantal punten weergegeven en een fit. Hierin is meteen duidelijk dat de correlatie tussen het aantal slachtoffers en de waterdiepte zowel bij grote als bij kleine stijgsnelheden groot kan zijn. Zeker voor de functie met kleine stijgsnelheden lopen deze afwijkingen op tot meer dan 200%.

Gevoeligheidsanalyses (Jonkman & Cappediijk, 2006) geven aan dat het licht verplaatsen van de grens van 0,5 m/s voor de stijgsnelheid een duidelijke invloed kan hebben op de eindresultaten, net zoals de verschillen tussen voorziene en onvoorziene overstroming en zeker ook het al dan niet organiseren van evacuatie. Het effect van de stijgsnelheid is daarenboven moeilijk direct te kwantificeren.

3.4.2 Voorbeeld slachtofferberekening

Voor een volledig uitgewerkt voorbeeld verwijzen we naar Vanneuville W. et al. (2003a).

Voor iedere periode wordt de kans op slachtoffers berekend door het aantal aanwezigen per m² te vermenigvuldigen met de verdrinkingsfactoren voor de overstromingsdiepte en de stijgsnelheid. De kaarten met slachtofferkansen worden uiteindelijk gecombineerd tot een Risicokaart op basis van formule 6-4.

Het slachtofferrisico voor de bestudeerde zone wordt hieronder weergegeven in Fig. 3-12. Het totale risico voor het bestudeerde gebied bedraagt 0,005242 mensenlevens per jaar.

²³ Voor waterdiepten boven 1,5m, daaronder worden geen slachtoffers verondersteld. Ook deze parameter wordt gevarieerd en heeft een directe invloed op het berekende aantal slachtoffers.

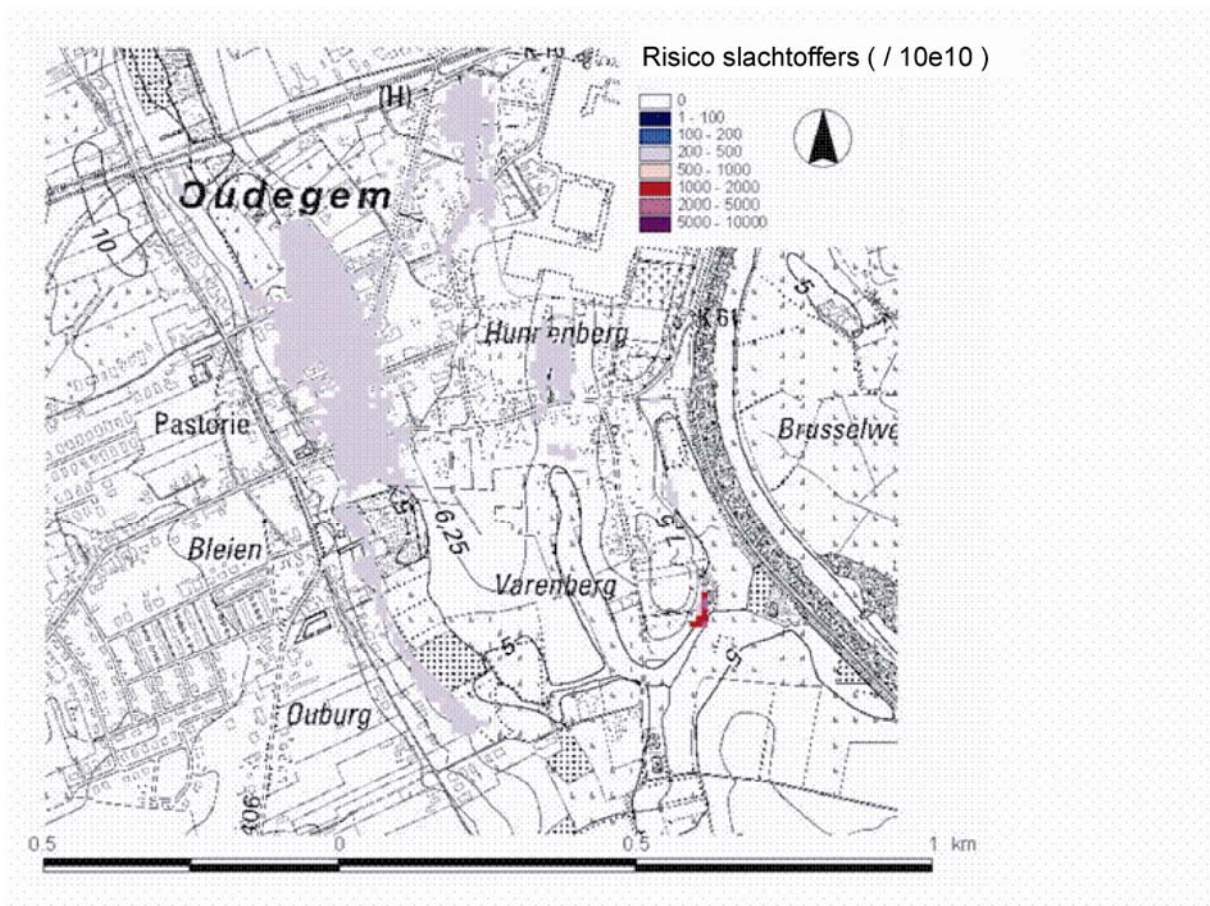


Fig. 3-12: Risico slachtoffers (aantal per jaar) voor het bestudeerde deel van het Denderbekken

3.4.3 Individueel risico versus groepsrisico

Naast de verwachte schade en het verwachte aantal slachtoffers kan ook het individuele risico en het groepsrisico²⁴ uitgerekend worden. Het individuele risico wordt bepaald als de jaarlijkse kans op overlijden van een individu op een bepaalde plaats met als randvoorwaarde dat het potentiële slachtoffer zich steeds op die locatie moet bevinden. Een fundamenteel verschil tussen het individuele risico en de in paragraaf 6.4.1. omschreven context is het feit dat het potentiële slachtoffer bij bepaling van het individuele risico niet kan vluchten of geëvacueerd worden en dat de mogelijkheid van in min of meerdere mate “bescherming zoeken”²⁵ uitgesloten wordt. Het maximaal individueel risico in een gegeven scenario is dan gelijk aan de maximale fractie van dat scenario (de kans op overlijden, gegeven dat scenario) vermenigvuldigd met de kans van voorkomen van het scenario. Het individuele risico kan dan gesommeerd worden voor (theoretisch alle) verschillende scenario's om zo het individueel risico voor verdrinkingsgevaar bij overstromingen te berekenen. Het individueel risico wordt gezien als een ongeschikte maat om te normeren.

Voor personen die zich vlak bij de doorbraak bevinden is het individueel risico soms wel bruikbaar als bijkomende maat. Daar is het, in tegenstelling tot de stelling in Van Manen (2001), mogelijk dat geotechnisch falen en schade optreden zonder (of met zeer beperkte) evacuatietijden.

²⁴ In de literatuur soms ook maatschappelijk risico genoemd

²⁵ Voorbeelden: het ‘schuilen’ op een hogere verdieping of preventief zandzakken leggen

Het groepsrisico heeft ook alleen betrekking op veiligheid en wordt meestal weergegeven in een FN-kromme. Bij het groepsrisico wordt de cumulatieve overschrijdingskans van een gebeurtenis met N slachtoffers uitgezet tegen het aantal slachtoffers. Het oppervlak onder de FN-kromme is de verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers (Van der Doef et al., 2001). Voor meer details over het groepsrisico, de aversie-factor k en de beleidsfactor β wordt verwezen naar Vrouwenfelder & Vrijling (1995). In veel gevallen worden normen bepaald op basis van een waarde voor het groepsrisico. In Vlaanderen zijn echter geen normen voor slachtoffers ten gevolge van overstromingen en natuurrampen in het algemeen.

Een bijkomende maat die gehanteerd kan worden is het persoonlijk risico (Vrouwenfelder & Vrijling, 1995). Het persoonlijk risico verschilt van het individueel risico doordat het een persoonlijke, locatieafhankelijke kans op overlijden door overstromen weergeeft, gegeven de vlucht- en evacuatiemogelijkheden. Die persoonlijke component is van belang aangezien niet iedereen dezelfde mogelijkheden heeft wat betreft mobiliteit.

3.4.4 Besluiten slachtofferberekeningen

Het berekende aantal slachtoffers wordt overschat door het onvolledig of niet meenemen van evacuatie en door de beperkte theoretische onderbouwing voor het bepalen van de stijgsnelheid (hoewel deze parameter in de meeste functies als zeer belangrijk aanzien wordt). De invloed van het debiet (bresdebiet of overslagdebiet) is in de berekeningen groot. Een lichte verhoging van het debiet leidt tot onevenredig meer slachtoffers. De onzekerheid op het aantal slachtoffers neemt nog toe door gebruik te maken van synthetische hydrogrammen.

Om de berekeningen over slachtoffers zinvol te maken (en ervoor te zorgen dat ze effectief informatie bijdragen aan de verschillen tussen scenario's) is het noodzakelijk de bestaande theoretische concepten uit te breiden naar een interactiemodel tussen waterdiepten, stijgsnelheid en stroomsnelheid. Dit is momenteel niet voorhanden.

Ook een theoretische onderbouwing van de 'ideale' zone om slachtoffers binnen te berekenen is momenteel ontoereikend. Buiten het feit dat dit per gebied zal verschillen, zal deze onderbouwing dienen om te gaan met het feit dat mensen zich allesbehalve steeds op dezelfde plaats bevinden²⁶. In Nederland wordt gewerkt met homogene gridcellen (meestal 100x100 meter), in Vlaanderen met administratieve eenheden (in casus statistische sectoren). Hoe groter de zone waarbinnen men het aantal slachtoffers berekent, hoe kleiner de invloed van het feit dat mensen verplaatsen maar hoe groter de onzekerheden door lokaal sterk verschillende waterstanden, stijgsnelheden en stroomsnelheden.

Waar ligt het optimum (economisch, maatschappelijk of welk optimum dan ook) voor het bepalen van schade en slachtoffers. Vooral de stijgsnelheid is daar van belang. Doorbreken van een secundaire kering zal de schade in bijna alle gevallen verhogen, maar kan de stijgsnelheid beperken waardoor het aantal slachtoffers daalt. Gelet op het feit dat de stijgsnelheid op zeer verschillende wijzen (lineair, exponentieel) een rol speelt in het bepalen van de slachtoffers is het momenteel onmogelijk om daarover een gefundeerde uitspraak te doen. In tegenstelling tot voor schade, waar er een relatie is tussen de hoeveelheid water in een gebied (en dus de overstromde oppervlakte) en de schade, is dit verband veel minder duidelijk of zelfs afwezig wat betreft slachtoffers. De kaarten omvatten dus enkel de schade.

²⁶ Dit is een probleem dat zich minder voordoet bij het bepalen van schade, hoewel dit ook voor voertuigen een belangrijke rol speelt. Blum en Thorentz (2004) halen dit probleem ook aan voor inboedel, vee enz. waarvan aangegeven wordt dat deze 'goederen' niet vaak verplaatst worden maar wel verplaatsbaar zijn.

4 Beschrijving van de hydraulische modellen

Voor de beschrijving van de hydrologische en hydraulische modellen wordt in de eerste plaats verwezen naar de rapporten over de opmaak.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat er geen modellen beschikbaar zijn voor overstromingen vanuit zee. Zoals eerder al vermeld werd dit onderzoek uitgevoerd op modellen van (grosso modo) de bevaarbare Vlaamse waterlopen. Het gebruikte model is niet in staat om overstromingen vanuit zee op dezelfde manier te verwerken. Bovendien werd in dit onderzoek gekeken naar overstromingen door overloop en de terugkeerperiodes van schadelijke overloop of golfslag vanuit zee zijn veel groter (en bijgevolg ook minder invloedrijk) dan de terugkeerperiodes die in rekening werden gebracht in de andere modellen (max. 100 jaar).

Aangezien er verschillende soorten berekeningen gemaakt worden (huidige toestand met compositiehydrogrammen voor 7 terugkeerperiodes en doorrekenen van historische tijdreeksen) staat bij ieder model ook aangegeven welke belangrijke wijzigingen er zijn tussen het model (zo goed mogelijke weergave van de huidige situatie) en de situatie op het terrein ten tijde van een wasperiode sinds 1993.

De gegevens voor de historische perioden, waterstanden en debieten, werden als randvoorwaarden gebruikt bij het doorrekenen van volgende hydrologische en hydraulische modellen voor:

- Leie en Bovenschelde, inclusief de afvoerkanalen van Gent naar zee
- Demer (gedeelte onder de bevoegdheid van NV Waterwegen en Zeekanaal)
- Maas
- Dender
- IJzer
- Tijgebied (sigmamodel, gedeelte onder de bevoegdheid van NV Waterwegen en Zeekanaal van Schelde, Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne)

Deze modellen werden opgemaakt door de Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium (WLH) en beschrijven de waterafvoer in functie van de tijd in deze waterlopen en genereren hieruit overstromingskaarten. Hier wordt gebruik gemaakt van de overstromingskaart met de maximale uitgestrektheid en met in ieder punt de maximale voorkomende waterdiepte. Alle deze numerieke modellen werden opgesteld in het softwarepakket MIKE11. Dit model beschrijft de piekwaarden in waterstanden en debieten accuraat en in MIKE GIS (de koppeling van de software met ArcView (ESRI)) wordt de waterstand in berekende punten geëxtrapoleerd naar ieder lager gelegen punt in het digitaal hoogtemodel (DHM), wat een goede inschatting geeft van het overstroomde gebied (Gomez, 2005, p. 61)

In het tijdsbestek van dit onderzoek en het onderzoek van De Rouck et al. (2005) was het ook niet mogelijk de volledige toestand uit het verleden in modelvorm te gieten. Er wordt vertrokken vanuit enkele aannames. Door gebrek aan tijd en data wordt gebruik gemaakt van de meest recente beschikbare bathymetrie²⁷ i.p.v. de bathymetrie op het ogenblik van de wasgolf in te bouwen. Per bekken worden de veranderingen in het model tussen 1993 en 2003 indien bestaande afzonderlijk vermeld. De invoergegevens (waterpeilen en debieten) werden

²⁷ Bathymetrie: het geheel van dieptemetingen dat gebruikt wordt om een 3D-model van de rivier op te bouwen en debieten en stroomsnelheden te berekenen

verzameld uit de databank HYDRA van WLH en hieruit werden de invoerbestanden afgeleid. De bestanden nodig om de wasgolven door te rekenen zijn:

- hydrologische tijdreeksen (dfs0)
- simulatiefile (sim11)
- randvoorwaarden (bnd11)
- dwarssecties (xns11)
- netwerkfile (nwk11)
- hydrodynamische parameters (hd11)

Na berekening levert dit uitvoerbestanden (res11) en overstromingskaarten (iimg). De naamgeving van deze bestanden per model kan teruggevonden worden in De Rouck et al. (2005).

4.1 Demermodel

Een gedetailleerde beschrijving van het model kan gevonden worden in Smets (2001). In het model zitten de wachtbekkens Webbekomsbroek en Hoeleden die voor het eerst ingezet werden in september 1998. Zij vertekenen de overstromingsgebeurtenissen voor december 1993 en januari 1995. Overige wijzigingen na 1998 die eveneens in het huidige model zitten en voor alle wasperiodes gebruikt worden zijn: ophoging fietsverbinding Langdorp, ophoging verbindingsweg aan Rommelaar, ophoging Amerstraat, ophoging Kerkendijk, ophoging Tesselte dijk en ophoging Het Zand.

Voor de hydrologie wordt gebruik gemaakt van een NAM-model, beschreven in Berlamont et al. (2000).

4.2 Dendermodel

Een gedetailleerde beschrijving van het model kan gevonden worden in Willems et al. (2002). Het Dendermodel werd verschillende keren verbeterd door de KULeuven en door WLH. Alle aanpassingen zijn beschreven in de volgende nota's: Boey (2003), Deschamps (2004) en Willems & Timbe (2004). De afwaartse rand van dit model is de monding van de Dender in de Schelde. Hoog en laagwater worden daar verkregen met de formule

$$hoogte = Z + amplitude \left(\sin \frac{2\pi}{12,42 \cdot tijd} \right) \quad \text{met} \quad \text{formule 4-1}$$

- Z gemiddelde waterstand (in meter)
- 12,42 gemiddelde duur van een getij (in uur)

waarbij sinusoidaal geïnterpoleerd wordt om minuutgegevens als randvoorwaarde te kunnen opleggen. (macro van P. Viaene en I. Boey)

4.3 Leie-Bovenshelde

De modellen van deze 2 waterlopen, samen met de afvoerende kanalen, zitten in één model omwille van de interactie die bestaat tussen de verschillende componenten van dit waternetwerk. Gedetailleerde beschrijving van het model kan gevonden worden in Fobe & Van Looveren (2004) en Fobe et al. (2004). De aanpassingen sinds 1993 hebben een zeer

bepaalde invloed. Er zijn wijzigingen aangebracht in de afvoerbepalende kunstwerken van Beernem en Balgeroeke maar deze hebben een zeer kleine invloed op het gebied langsheen Leie en Bovenschelde. De uitwateringssluis in Heist heeft sinds 1998 een automatische regeling maar de invloed hiervan is eveneens minimaal (De Rouck et al., 2005).

4.4 IJzer

Beschrijving van het IJzermodel kan gevonden worden in D'Haeseleer et al., 2004). Belangrijkste verschil tussen de gemodelleerde toestand en de realiteit ten tijde van de hier beschouwde wasgolven zijn de baggerwerken uit 1995 en 1999-2004. Voor de was van december 1993 waren geen tijdreeksen beschikbaar voor de Krekelbeek (Handzamevaart) en de Sint-Jansbeek waardoor gewerkt is met NAM gegevens. Voor het kanaal Duinkerke-Nieuwpoort wordt een constant peil van 2,6 m TAW opgelegd voor de perioden dat geen meetreeksen beschikbaar zijn. Daar waar de tijdreeksen voor de Ganzepoot niet vervolledigd kon worden voor de doorgerekende perioden, werd gewerkt met het tij te Oostende en hierop een tijdsverschuiving van 3 uur toe te passen.

4.5 Grensmaas

Voor beschrijving van het model van de Grensmaas wordt verwezen naar D'Haeseleer et al. (2002). Ontgrindingen in verschillende grindplassen langsheen de Maas maken dat het model een andere situatie beschrijft dan ten tijde van de doorgerekende wasperiodes. De belangrijkste verschillen zijn een dijkverlegging en oeververlaging ter hoogte van Leut-Meeswijk in 2003 en de herinrichting van de grindplas Meers vanaf 2000.

4.6 Sigma

Het sigma model omvat het volledige tijgebonden gebied van de Schelde en zijn bijrivieren voor het gedeelte dat onder de bevoegdheid van Waterwegen en Zeekanaal – Afdeling Zeeschelde valt. Een beschrijving kan gevonden worden in Van Looveren et al. (2003).

Locatie van de Vlaamse bekkens

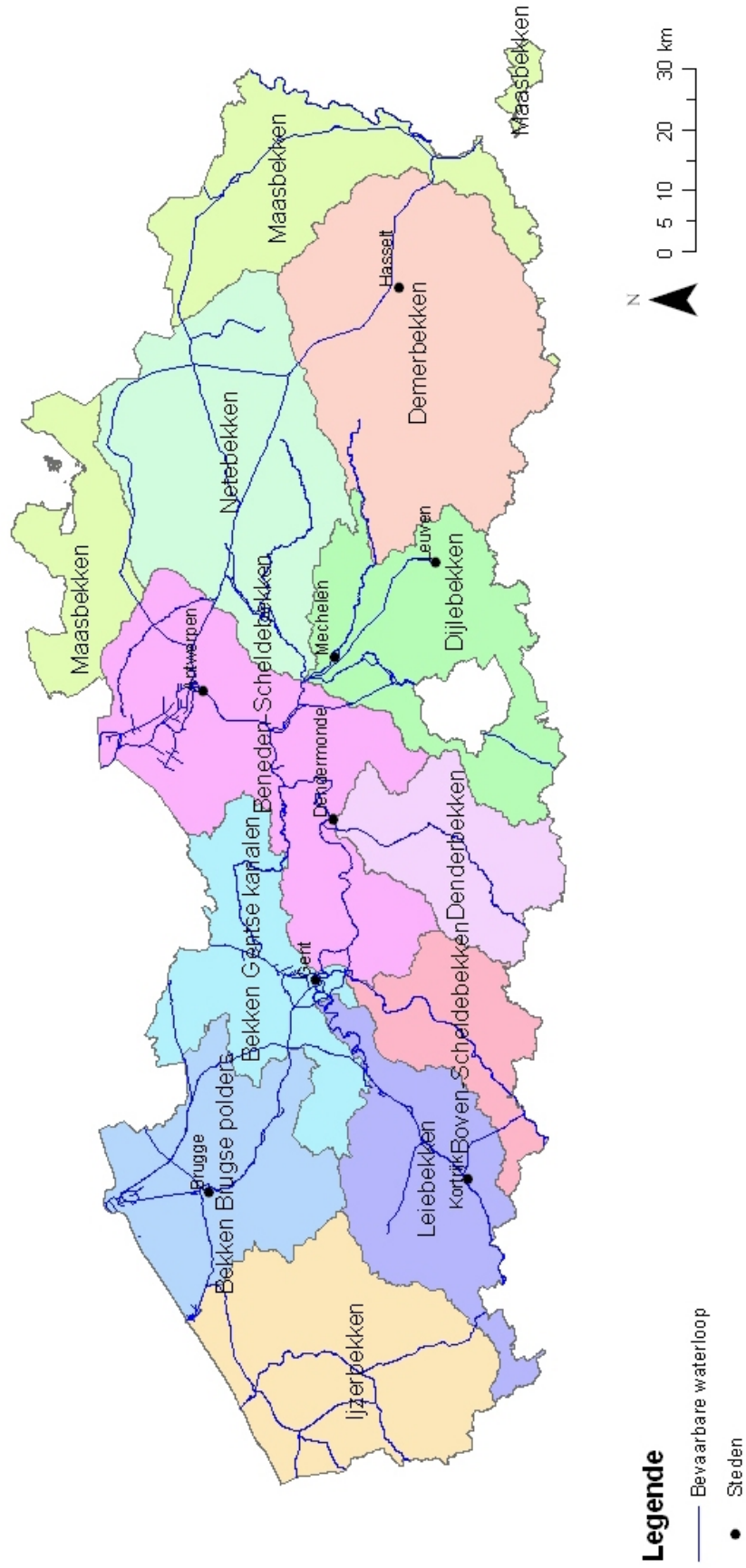


Fig. 4-1: Overzicht van de hydrografische bekkens en bestudeerde waterlopen

5 Schade door overstromingen in het verleden

Voor deze deelopdracht wordt vertrokken van de voorlopige resultaten uit De Rouck et al. (2005) en heeft als doel de schadecomponent uit de risicomethodologie te vergelijken met de in het verleden ingediende schadebedragen door burgers na een overstroming. Reeds in het begin van dit hoofdstuk willen we stellen dat deze 2 getallen niet gelijk zullen zijn. De benaderingen zijn in teveel opzichten verschillend van elkaar. Voor een uitgewerkt voorbeeld van die vergelijking verwijzen we naar niet-openbare Bijlage F.

Te ver teruggaan in het verleden is niet mogelijk door een gebrek aan data. In het kader van dit onderzoek worden dan ook enkel de zes belangrijkste wasperiodes sinds 1990 bekeken, namelijk:

- december 1993
- januari 1995
- september 1998
- december 1999
- februari 2002
- januari 2003

De figuren (zie verder) voor deze 6 wasperiodes zijn gemaakt voor de modellen Dender, Demer, IJzer, Maas en Leie-Bovenshelde (zoals beschreven in hoofdstuk 4) en zullen hier per periode besproken worden. Van het gebied van de Gentse kanalen, de Brugse polders en het tijgebied van de Schelde en zijrivieren zijn geen hydraulische doorrekeningen van al deze wassen bekend. Langsheen de kanalen zitten ook zelden gebieden die kunnen overstroomd worden in het model, aangezien de waterhoogte er geregeld kan worden, waardoor de totale schade door overstromingen vanuit rivieren zeer beperkt is. Voor het tijgebied wordt wel een berekening gemaakt van het risico (zie hoofdstuk 7).

Om deze gegevens voor te stellen werd een kilometergrid aangemaakt op basis van de Lambert-coördinaten. De waarden voorgesteld in de figuren 5-1 t.e.m. 5-6 zijn uitgedrukt per hectare en een gemiddelde van de schade in die cel. Figuur 4-1 geeft een overzicht van de bekkens zoals gebruikt in deze studie en geeft aan welke waterlopen bekeken werden.

5.1 December 1993

Belangrijke overstromingen uit de 20^e eeuw waren deze van 1953 en 1976. Ook daarna traden rivieren nu en dan buiten hun oevers (zoals de Maas in 1986), maar de jaren '90 werden gekenmerkt door verschillende wassen die telkens in min of meer grote delen van Vlaanderen voor wateroverlast zorgden. Tot 1993 kunnen we ook teruggaan om simulaties uit te voeren. Veel gegevens (zoals bij de Directie Rampenschade) worden sindsdien op een uniforme manier bijgehouden en er zijn digitale tijdreeksen beschikbaar. De situatie is weergegeven in figuur 5-1. Globaal genomen valt op dat ieder beschouwd bekken (beperkt) getroffen is door wateroverlast. Toch is de overheersende kleur licht van tint wat wijst op relatief beperkte schades.

Schadekaart 1993

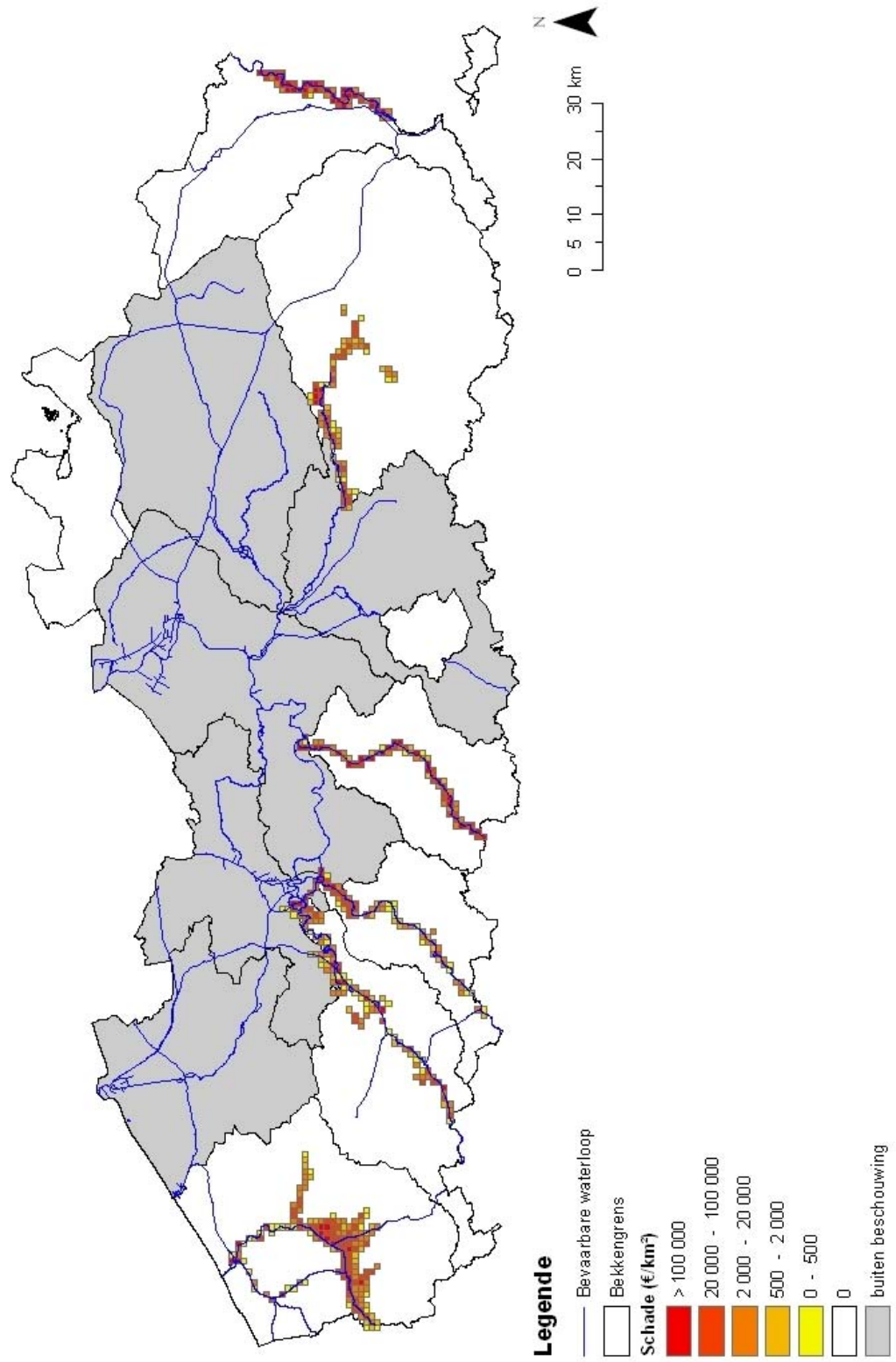


Fig. 5-1: Schade 1993

5.2 Januari 1995

De overstroming van 1995 is aangegrepen om onderzoek op te starten, onder meer om te kijken naar de monetaire gevolgen (KINT, 1999). Hier wordt een opdeling gemaakt tussen schade aan private goederen en schade aan het publieke domein zoals toegekend door de Directie Rampenschade. Zeker voor het Maasbekken is de uitbetaalde schade aan private eigendommen veel groter (factor 300) dan de publieke schade die vergoed werd. Een vergelijking van de cijfers op provinciaal of stroomgebiedsniveau is evenwel niet mogelijk aangezien er ook kosten vermeld zijn voor de inzet van materiaal en personeel van overheden, openbare instellingen en hulpdiensten en er een bedrag bepaald is voor de schade aan gezondheid. De materiële schade wordt op ongeveer 75 % van de totale schade geschat.

De schade in 1995 is globaal genomen ook groter dan in 1993 en dit voor alle beschouwde bekkens. Opvallend is de uitbreiding van het getroffen gebied voor de IJzer, maar de waarden blijven daar over het algemeen vrij klein. Eenzelfde tendens ook voor Dender en Demer. Voor Leie en Bovenschelde komt daarbij dat er enkele grote waarden teruggevonden worden die wijzen op een aanzienlijke schade in een bepaald gebied. Deze grote waarden komen ook naar voor in de gegevens van de Directie Rampenschade. Voor de Maas is het niet zozeer de uitbreiding in gebied waar schade gelopen werd die opvalt maar wel de verandering in kleur naar donkerdere tinten die wijzen op grotere gemiddelde schades in die omgeving.

De gebieden die schade geleden hebben in 1993 hebben bijna zonder uitzondering ook schade geleden in 1995. Daarenboven hebben de omgevingen met een grote gemiddelde schade in 1993 ook een even grote of nog grotere schade in 1995. Uit bovenstaande blijkt het logisch dat overstromingsschade veel aandacht kreeg na 1995.

Schadekaart 1995

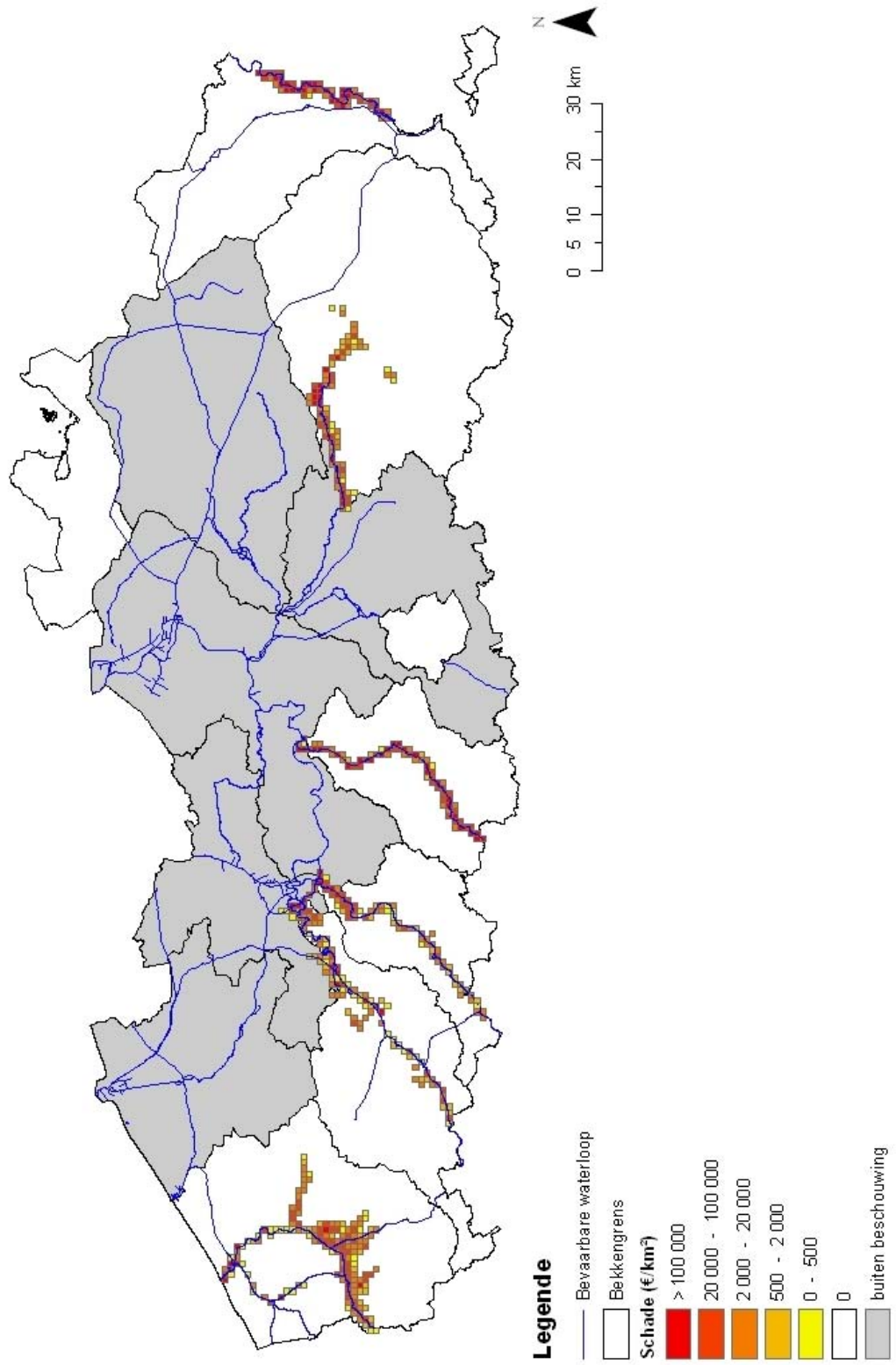


Fig. 5-2: Schade 1995

5.3 September 1998

De overstromingen in 1998 zijn veel minder uitgestrekt. Voor IJzer, Leie-Bovenshelde en Dender is het aantal kwadranten waarbinnen schade gemodelleerd wordt vergelijkbaar met de situatie in 1993. De kleuren zijn wel opvallend donkerder wat betekent dat de schade groter is. Voor de Demer ligt de uitgestrektheid van het gebied dat schade oploopt ergens tussen de situatie in 1993 en 1995, maar ook hier worden opvallend meer donker gekleurde gebieden (= een grotere schade) waargenomen. Voor de Maas is het gebied waarin schade optreedt kleiner dan in 1993 en 1995, maar de schade in de kwadranten is in 1998 hoger.

Doordat uiteindelijk gewerkt is met schademodules die niet variëren in de tijd, betekent een donkerdere kleur meer schade (gemiddeld per oppervlakte). Een hogere schade wordt gemodelleerd als de waterstand in een gebied hoger is.

Schadekaart 1998

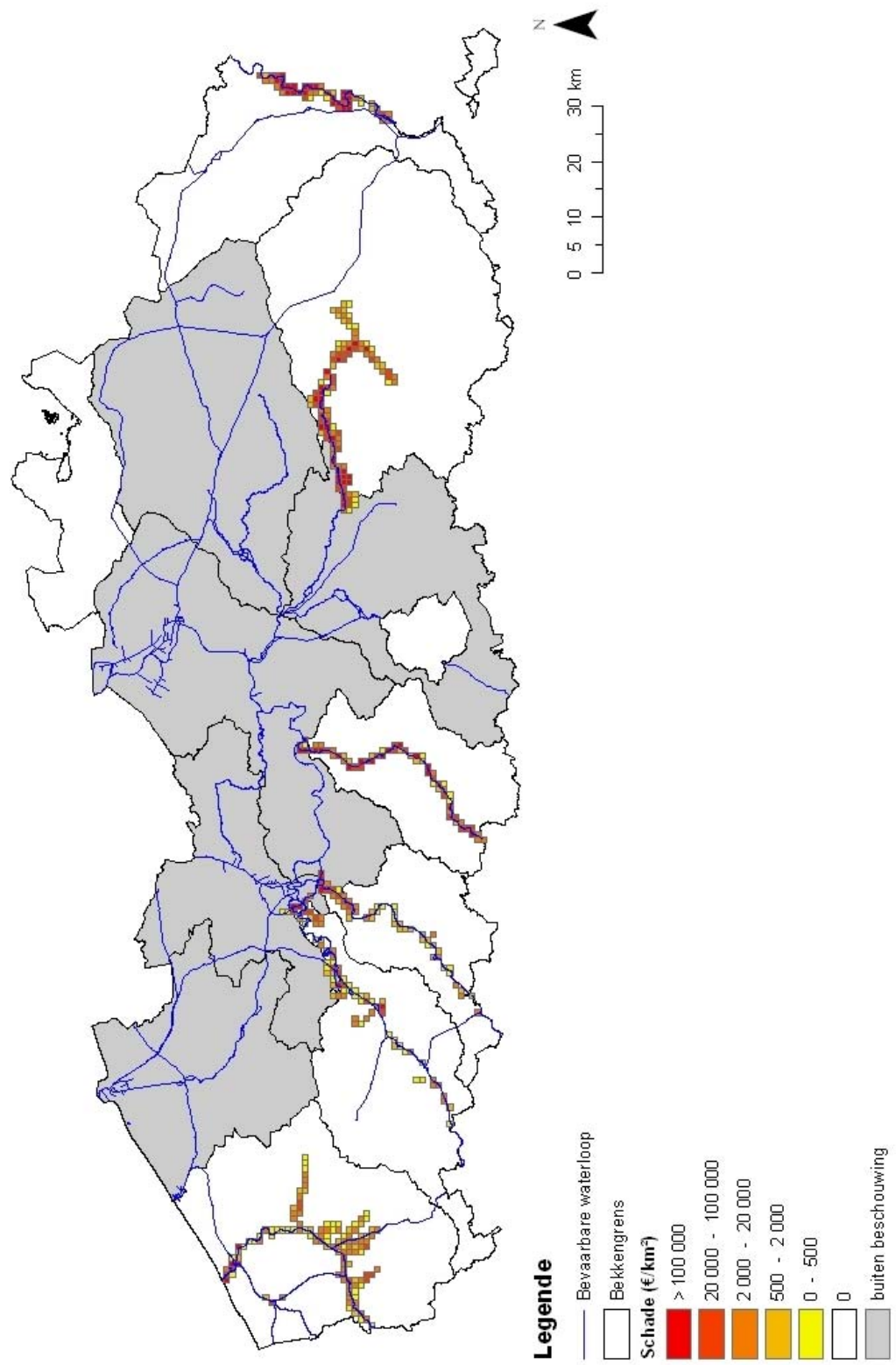


Fig. 5-3: Schade 1998

5.4 December 1999

De schade in 1999 is globaal genomen vergelijkbaar met de situatie in 1998. Voor IJzer, Leie-Bovenschede, Maas en Dender is er een lichte toename van het aantal kwadranten waarin schade optreedt, maar de gemiddelde schade per oppervlakte ligt lager. Voor de Demer is het aantal kwadranten lichtjes afgenomen en ook de schade per oppervlakte is in 1999 lichtjes kleiner dan in 1998.

Uit de gemodelleerde overstromingen van 1998 en 1999 en hun schade komt het beeld waarin in het oostelijke deel van Vlaanderen vooral schade leed in 1998 en het westelijke deel in 1999 niet duidelijk naar voor. Dit blijkt ook niet eenduidig uit de gegevens van de Directie Rampenschade. Wel zien we voor het westelijke deel van Vlaanderen een groter aantal ingediende dossiers in 1999, maar de toegekende bedragen per dossier liggen lager. Dit komt goed overeen met het beeld dat gevonden wordt in de schadeberekening.

Schadekaart 1999

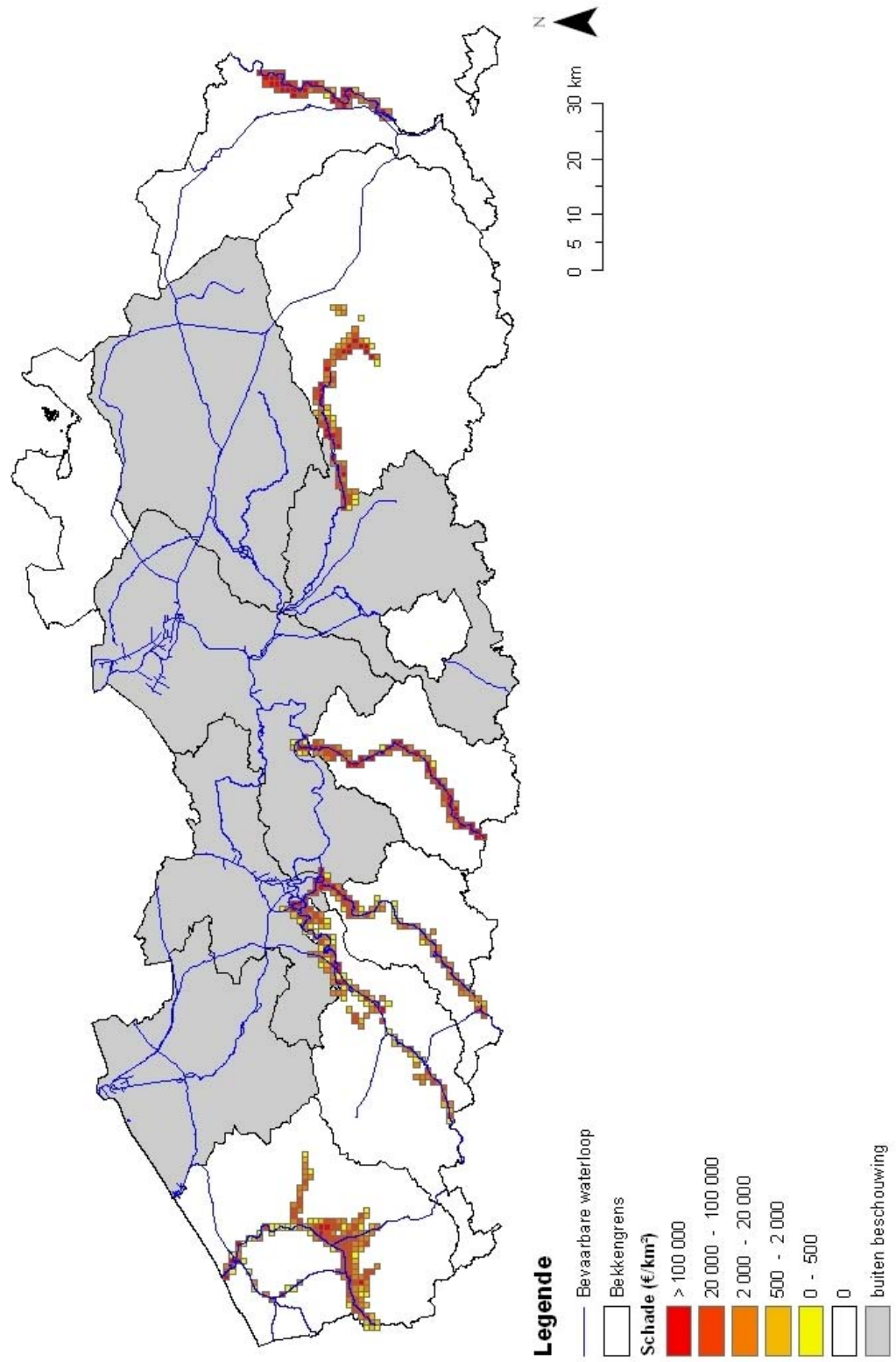


Fig. 5-4: Schade 1999

5.5 Februari 2002

In de bekkens van Leie en Bovenschelde is de situatie in 2002 vergelijkbaar met deze in 1999. Voor Dender en Maas is de schade in 2002 ook vergelijkbaar met deze in 1998. De uitgestrektheid van de gebieden die schade oplopen is voor de Demer in 2002 kleiner dan in 1998 of 1999, maar de gemiddelde schade per kwadrant blijft hier zeer hoog. Dit laatste geldt ook voor de Maas, waar de uitgestrektheid moeilijk sterk kan variëren maar waar voor de overstromingen van februari 2002 een gemiddelde schade per kwadrant wordt waargenomen vergelijkbaar aan deze in het bekken van de Demer.

Schadekaart 2002

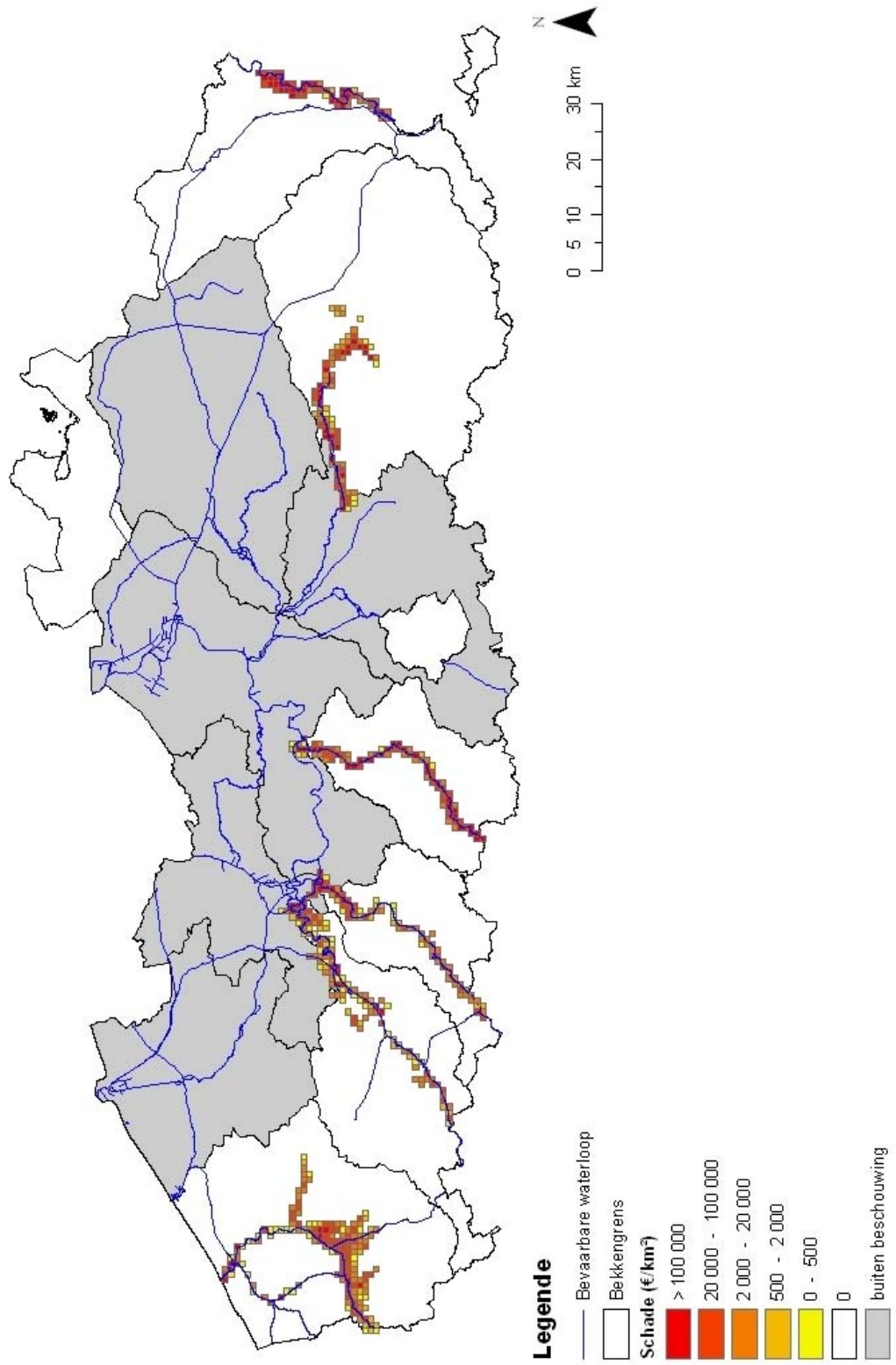


Fig. 5-5: Schade 2002

5.6 Januari 2003

De overstromingen van 2003 ten slotte geven een beeld dat nauw aansluit bij dit van 1999 en dit voor alle beschouwde bekkens. Door de topografie van de regio valt vooral de uitgestrektheid van de overstroming langsheen de IJzer op, met daarbij in verhouding veel geel en licht oranje gekleurde kilometer kwadranten. Dit wijst op twee elementen: enerzijds relatief weinig objecten in het gebied die een grote schade per oppervlakte geven (zoals woningen, industrie) en anderzijds een beperkte waterdiepte.

Bij de Demer is de uitgestrektheid van de kilometerkwadranten met schade bijna identiek als in 2002, maar de gemiddelde schade per kwadrant is duidelijk een stuk hoger.

Voor het Leie-Bovenshelde bekken, het Dender- en het Maasbekken blijft de overstroomde oppervlakte ongeveer gelijk, maar is er een lichte daling in de gemiddelde schade per kwadrant.

Schadekaart 2003

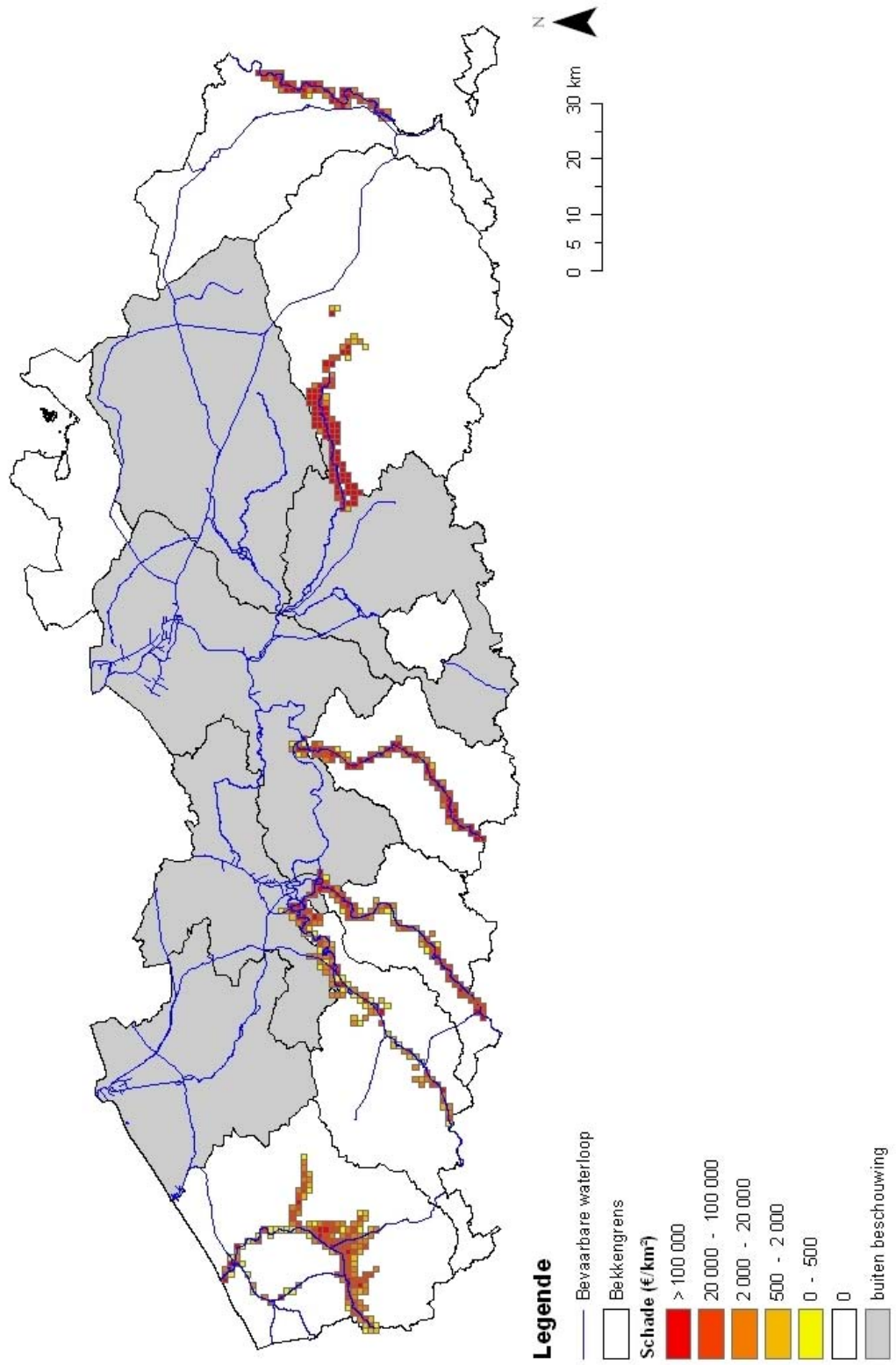


Fig. 5-6: Schade 2003

5.7 Besluit

Globaal genomen kan gesteld worden dat de schade ten gevolge van de overstromingen in 1995 het meest uitgestrekt is. De gemiddelde schade in een kwadrant was echter sterk variabel. In vergelijking met 1993 is de gemiddelde schade per kwadrant in de meeste bekkens groter voor de gebeurtenissen vanaf 1998.

	aantal getroffen gridcellen	gemiddelde per getroffen gridcel	maximum	totaal
1993	551	6 038 987	2 333 451 957	3 327 482 080
1995	552	4 026 073	1 070 186 807	2 222 392 305
1998	473	3 280 759	376 823 767	1 551 799 114
1999	598	11 735 446	2 915 757 535	7 017 796 722
2002	409	19 119 112	3 861 770 027	7 819 716 823
2003	598	52 925 430	10 881 524 270	31 649 407 571

Tabel 5-1 Overzicht van de schade (€) in de 5 bestudeerde bekkens voor de 6 wasperiodes

Voor wat betreft de schade kan uit het beeld per bekken afgeleid worden dat voor Dender en Maas (en in mindere mate ook voor Demer) een aaneensluitende reeks kwadranten gevonden wordt waarin overstromingen optreden die schade veroorzaakten. Voor IJzer, Leie en Bovenschelde wordt veeleer een beeld teruggevonden waarbij losse groepjes van kwadranten schade oplopen en de tussenliggende zones geen of een verwaarloosbaar kleine schade. Dit kan te wijten zijn aan 2 verschillende mechanismen:

- er is slechts op enkele plaatsen langsheen de waterloop een overstroming die leidt tot schade
- er is wateroverlast langsheen de volledige (of een groot deel van de) waterloop, maar door de bodembezetting en het bodemgebruik zijn er bepaalde delen die geen of een zeer weinig schade oplopen.

Dit laatste kan bijvoorbeeld indien grote delen van de overstroomde oppervlakte natuur en of bos zijn. In praktijk zal uiteraard een combinatie van beide spelen. Welke van de hierboven beschreven fenomenen per bekken het meest doorweegt dient nog verder uitgezocht te worden.

6 Risico huidige toestand

Voor het bepalen van een risicokaart van de huidige toestand wordt vertrokken van compositiehydrogrammen met terugkeerperioden 1, 2, 5, 10, 25, 50 en 100 jaar. Deze methode werd opgesteld door de KULeuven – Laboratorium voor Hydraulica (Berlamont et al., 2000). Voor ieder van deze terugkeerperioden wordt het hydraulisch model doorgerekend en worden overstromingskaarten opgemaakt. Vanuit deze overstromingskaarten en de methodologie beschreven in hoofdstuk 3 worden dan 7 schadekaarten²⁸ gemaakt.

Om te komen van een schadekaart tot een risicokaart dient aan de verschillende schadekaarten een gewicht toegekend te worden. Hiervoor bestaan verschillende mogelijkheden. De mogelijkheid gebruikt in deze studie is deze beschreven in Vanneuville et al. (2002). Deze formule heeft als voordeel slechts in beperkte mate afhankelijk te zijn van de keuze van de terugkeerperioden. Het weglaten, toevoegen of variëren van de terugkeerperioden zoals opgesomd in de eerste paragraaf verandert het uiteindelijke resultaat minder dan wanneer bijvoorbeeld gewerkt wordt met een formule die 1/100 toekent als gewicht aan de schadekaart afgeleid uit de overstromingskaart T100, 2/100 – 1/100²⁹ aan de schadekaart afgeleid uit de overstromingskaart T50, enz.³⁰

Het risico wordt uitgedrukt als gemiddelde verwachte schade (€) per oppervlakte (km²) per tijdseenheid (jaar). In de formule beschreven in Vanneuville et al. (2002) wordt dit theoretisch:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} (S_i - S_{i-1}) \quad \text{met} \quad \text{formule 6-1}$$

- R risico
- S_x schade horend bij een overstroming met een terugkeerperiode i

Dit kan uitgeschreven worden tot

$$R = \frac{1}{1} S_1 + \frac{1}{2} (S_2 - S_1) + \frac{1}{3} (S_3 - S_2) + \dots \quad \text{met} \quad \text{formule 6-2}$$

- R risico
- S_i schade horend bij een overstroming met een terugkeerperiode i

indien compositiehydrogrammen opgesteld worden en doorgerekend voor alle (gehele)³¹ terugkeerperioden. Dit is niet alleen tijdrovend, ook statistisch is het verschil tussen een terugkeerperiode van 86 en 87 jaar niet significant. Rekening houden met de 7 beschikbare terugkeerperioden in dit project wordt formule 6-2 herwerkt tot:

²⁸ In werkelijkheid 14 schadekaarten aangezien er varianten zijn voor de industrie in functie van de oppervlakte en met het aantal werknemers als sleutel.

²⁹ Aan de schadekaart afgeleid uit de overstromingskaart T50 wordt een gewicht van 1/50e toegekend, verminderd met de gewichten reeds toegekend aan grotere terugkeerperioden (in dit geval 1/100e voor de schadekaart T100).

³⁰ De volledige formule zou dan worden:

$0,5 * T1 + 0,3 * T2 + 0,1 * T5 + 0,06 * T10 + 0,02 * T25 + 0,01 * T50 + 0,01 * T100$

³¹ Door gebruik te maken van gewogen gemiddelden kunnen theoretisch ook niet gehele terugkeerperioden (bv. 2,5 jaar) in rekening gebracht worden.

$$R = \frac{1}{1} S_1 + \frac{1}{2} (S_2 - S_1) + \frac{\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5}}{5-2} (S_5 - S_2) + \frac{\frac{1}{6} + \frac{1}{7} + \frac{1}{8} + \frac{1}{9} + \frac{1}{10}}{10-5} (S_{10} - S_5) + \dots \quad \text{formule 6-3}$$

- R risico
- S_i schade horend bij een overstroming met een terugkeerperiode i

waarbij lineair geïnterpoleerd wordt tussen 2 tijdstappen van het composiethydrogram. Een andere manier om formule 7-3 te schrijven is als

$$R = 0,5 * S_1 + 0,2389 * S_2 + 0,132 * S_5 + 0,07 * S_{10} + 0,0318 * S_{25} + 0,0135 * S_{50} + 0,0138 * S_{100} \quad \text{formule 6-4}$$

- R risico
- S_i schade horend bij een overstroming met een terugkeerperiode i

Zoals reeds eerder aangehaald zijn er twee methoden om de schade aan industrie te berekenen. Deze beide methoden worden volledig uitgewerkt, er worden afzonderlijke schadekaarten gemaakt en deze 2 groepen schadekaarten worden gecombineerd tot een risicokaart. In een laatste stap worden deze 2 risicokaarten gecombineerd. Omwille van de onduidelijkheid die er is over het omgaan met schade aan industrie, ook internationaal, wordt momenteel gewerkt met het maximum voor iedere pixel uit beide risicokaarten³².

In figuur 6-1 en Tabel 6-1 wordt een overzicht gegeven van het risico in de huidige situatie. Om deze gegevens voor te stellen wordt dezelfde methode gebruikt als beschreven in hoofdstuk 5 (kilometergrid doorsneden met bevaarbare waterlopen en bekkengrenzen).

De legende van figuur 6-1 kan niet rechtstreeks vergeleken worden met de legende uit de figuren uit hoofdstuk 5. Als eenmalig een schade van € 1000 per km² gemodelleerd wordt is dit verschillend van een risico van € 1000 per km². Risico wordt namelijk uitgedrukt per jaar.

De resultaten³³ in figuur 6-1 sluiten wat betreft uitgestrektheid van de schadegevoelige gebieden sterk aan bij de overstroming uit 1995. Wat verder opvalt is dat de vraag in hoofdstuk 5 naar de reden van niet aaneengesloten gebieden met schade (geen wateroverlast of bodembezetting niet onderhevig aan economische schade) gedeeltelijk kan beantwoord worden door te kijken naar de risicokaart. Hierin zien we duidelijker langsheen de waterlopen een keten van kwadranten waarin schade kan optreden. Reden dat dit dan niet gebeurt is in de historische wassen is het feit dat voor de risicokaart ook grote terugkeerperioden (tot 100 jaar) beschouwd zijn.

Voor de Maas valt op dat de waargenomen schaden in het verleden groot zijn in vergelijking met het risico. Statistisch gesproken kunnen we dus zeggen dat de bevolking langsheen de Maas 'pech gehad' heeft het voorbije decennium en voor hetzelfde geldt nu een periode

³² Dit is verschillend van werken met het maximum uit schadekaarten met een zelfde terugkeerperiode. Het is perfect mogelijk dat bij kleine terugkeerperioden de schade aan industrie het grootst is wanneer gewerkt wordt met de methode volgens oppervlakte en bij grote terugkeerperiode met de schade in functie van de werknemers. Paarsgewijs vergelijken van schade zou dus een groter uiteindelijk risico genereren dan de methode waarbij enkel het finale risico vergeleken wordt.

³³ In het tweede deel van de studie zullen de resultaten uit hoofdstuk 7 opnieuw doorgerekend worden met de aanpassingen aan de data zoals hiervoor beschreven. Ook de afwerking van de figuren dient dan met meer zorg te gebeuren (mooie afbakening gebieden zonder schade en niet beschouwde bekkens, hogere resolutie van de bestanden om leesbaarheid en lokale variatie beter naar voor te brengen, ...)

zonder grote schade tegemoet gaat. Voor de lager gelegen zones langsheen Leie en Bovenschelde zou ongeveer de omgekeerde redenering kunnen gelden.

De figuren in dit hoofdstuk (en in hoofdstuk 5) geven een globaal beeld en dit kan sterk verschillen van de zeer lokale situatie, die niet expliciet naar voor kan komen wanneer gebruikt gemaakt wordt van kilometerkwadranten. Een voorbeeld is de keuze van het rooster. Er is gebruik gemaakt van kilometerkwadranten (Lambert72 kilometergrid). Indien een lokaal belangrijke schade net aan de rand van een kwadrant ligt, kan deze schade toch nog weinig opvallend zijn in de kaart indien er verder in dat kwadrant geen of weinig schade optreedt. Er wordt ook gewerkt met een gemiddelde schade per kwadrant, d.w.z. dat lokaal de schade groter kan zijn en er binnen een kwadrant delen kunnen zijn waar geen schade optreedt, waar zelfs geen wateroverlast is (zelfs niet bij een terugkeerperiode van 100 jaar).

In de legende staat de klasse waarin een risico van € 0 per m² per jaar werd berekend, maar een absoluut ontbreken van risico is onbestaande. Stel dat ook overstromingen met een terugkeerperiode van 10 000 jaar worden meegenomen of zelfs nog extremere situaties, dan kan op een bepaalde plaats waar nu nooit wateroverlast optreedt wel degelijk schade ontstaan. Het risico (gemiddelde schade per jaar!) zal bij deze gebeurtenissen wel degelijk klein zijn maar niet onbestaande. In praktijk is het verder extrapoleren van (relatief) korte tijdreeksen met metingen (+/-30 jaar) tot zulke extremen niet verantwoord en brengt dit enkel meer onzekerheid in de resultaten en weinig tot geen extra informatie.

Bekken	Aantal getroffen gridcellen	Gemiddeld per getroffen gridcel	Maximum	Totaal
Ijzer	172	103 590	8 400 926	17 817 534
LBS	207	3 535 500	631 538 650	731 848 503
Dender	87	70 164	1 043 960	6 104 324
Demer	63	450 561	25 491 358	28 385 343
Maas	56	240 557	8 385 567	13 471 240
Sigma	751	1 287 436	129 397 267	966 864 469
Vlaanderen	1 336	1 320 726	631 538 650	1 764 491 416

Tabel 6-1 Overzicht van het risico (€/km²/jaar) in de huidige situatie

Risicokaart - Huidige situatie

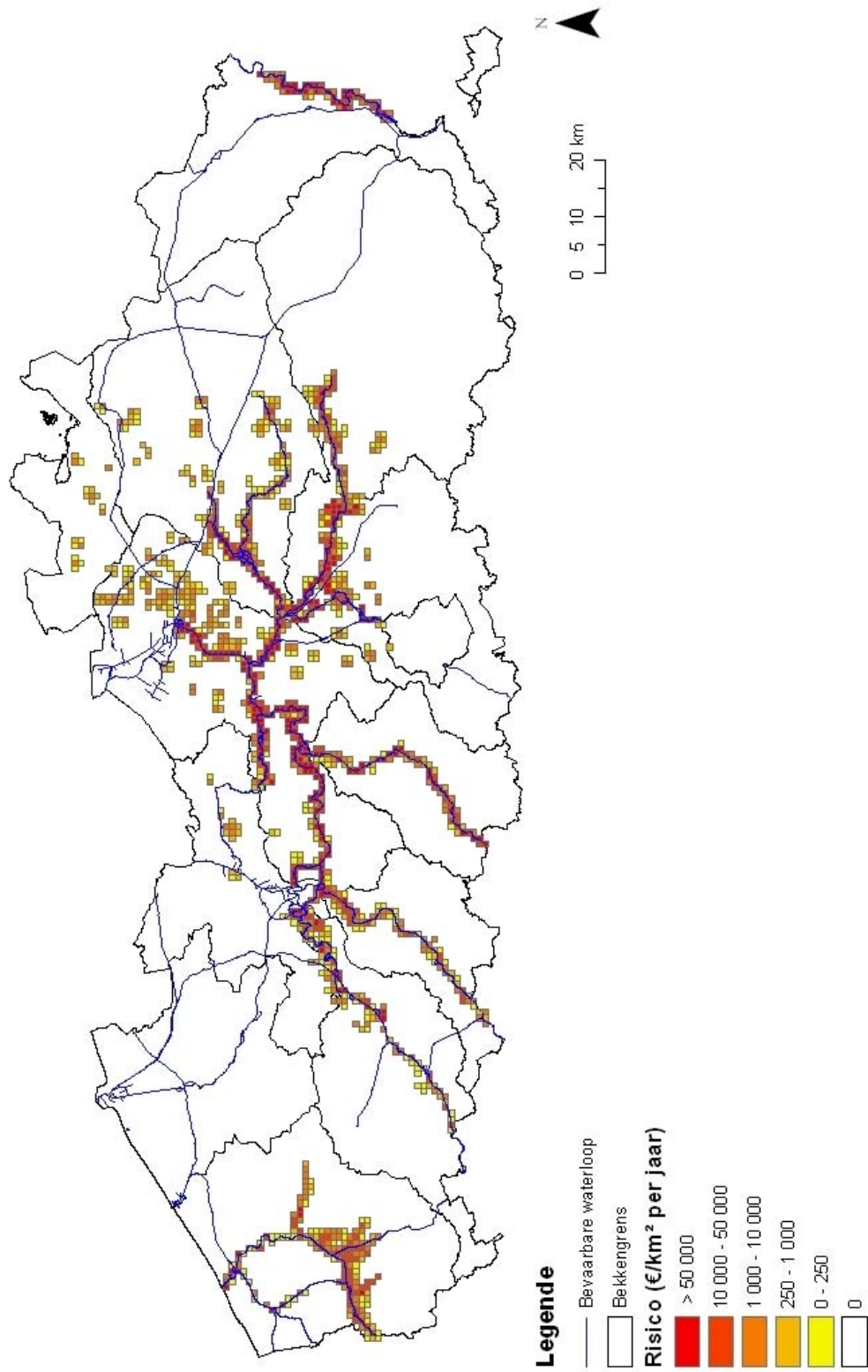


Fig. 6-1: Risicokaart huidige situatie

7 Toekomst scenario's

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar toepassingen van de methodologie zoals ontwikkeld in de paragrafen 3.1 en 3.2 op scenario's voor de toekomst. Daarbij proberen we rekening te houden met zowel klimaatveranderingen als menselijke ingrepen.

7.1 Klimaatverandering

7.1.1 Algemeen

De huidige wetenschappelijke consensus over de opwarming van de aarde is dat het grootste deel van de opwarming van de laatste vijftig jaar waarschijnlijk niet enkel en alleen kan worden toegeschreven aan natuurlijke evoluties (IPCC, 2001a). Door de stijgende emissie van broeikasgassen (waterdamp, koolstofdioxide, methaan, CFK's, ...) sinds de industriële revolutie blijft steeds meer en meer warmte in de atmosfeer bewaard en stijgt bijgevolg de temperatuur op aarde. Globaal steeg gedurende de 20^e eeuw de gemiddelde temperatuur op aarde met 0,6°C ($\pm 0,2^\circ\text{C}$), maar de stijging is groter boven land dan boven zee (IPCC, 2001a). Het MIRA Milieurapport Vlaanderen - Achtergronddocument 2005 - Klimaatverandering stelt dat in Europa deze temperatuurstijging zelfs 0,95°C bedroeg, een ongewone verandering die ruimschoots de natuurlijke klimaatfluctuaties van de laatste 1000 jaren overtreft. De stijging was bovendien groter in de winter (+1,1°C) dan in de zomer (+0,7°C) zodat de verschillen tussen de seizoenen kleiner werd.

In welke mate de menselijke productie van deze gassen de temperatuur en dus het klimaat meetbaar en bewijsbaar beïnvloedt, is echter onderwerp van wetenschappelijke discussie. Tegenover de productie van broeikasgassen staat namelijk ook de natuurlijke heropname van deze gassen en bovendien verandert het klimaat onafhankelijk van dit effect voortdurend.

Aangezien het hier om een belangrijke en complexe materie gaat werd in 1988 vanuit de Verenigde Naties het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) opgericht om de risico's van klimaatverandering te evalueren. Het IPCC heeft als doel op onpartijdige en wetenschappelijke wijze een duidelijke en objectieve evaluatie te maken van de beschikbare wetenschappelijke, technische en socio-economische informatie in verband met klimaatverandering. Ze houdt rekening met de verschillende visies en onzekerheden, en biedt elementen aan die kunnen bogen op een consensus in de wetenschappelijke gemeenschap (IPCC, 2001a). Het IPCC communiceert zijn conclusies via een reeks rapporten die gelden als referentiewerken voor beleidsmakers en wetenschappers. Het meest recente IPCC-rapport ("Third Assessment Report") verscheen in 2001, een volgende editie is voorzien voor eind 2007.

Veranderingen in het klimaat kunnen verregaande en onomkeerbare gevolgen hebben zowel voor sociale, economische, fysische en ecologische systemen. Men merkt reeds nu dat recente regionale klimaatwijzigingen, en voornamelijk temperatuurstijgingen, reeds gevolgen hebben voor hydrologische en ecologische systemen over heel de wereld (IPCC, 2001a). Daarom heeft men zich tot doel gesteld (zie bijvoorbeeld Kyoto-protocol) de concentratie aan broeikasgassen in de dampkring op een zodanig niveau te stabiliseren dat een gevaarlijke menselijke invloed op het klimaat wordt voorkomen. Hiertoe moet de uitstoot dalen tot een heel kleine fractie van de huidige uitstoot. In deze context speelt inertie of traagheid echter

een belangrijke rol: het effect van maatregelen zal pas jaren of decennia later merkbaar zijn. Bij een stabilisatie van de concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer zal, wegens de lange levensduur van deze gassen, de temperatuur nog een eeuw met enkele tienden van een graad stijgen en het zeeniveau zelfs nog enkele eeuwen verder blijven stijgen (IPCC, 2001a).

Bij het onderzoek naar toekomstige klimaatverandering moet men in de eerste plaats zicht hebben op hoe de uitstoot van broeikasgassen zal evolueren. Deze emissiehoeveelheden zijn echter het resultaat van complexe en dynamische systemen die beïnvloed worden door demografische, socio-economische en technologische ontwikkelingen zodat voorspellingen hieromtrent geconfronteerd worden met talrijke onzekerheden. Daarom werden door het IPCC verschillende scenario's uitgewerkt waarbij rekening wordt gehouden met de verschillende mogelijk te verwachten sociale, demografische, economische, technologische, ecologische en beleidsmatige ontwikkelingen. Op vier algemene scenario's ('storylines') worden verschillende klimaatmodellen toegepast zodat men uiteindelijk een veertigtal scenario's bekomt die rekening houden met de verschillende onzekerheden (IPCC, 2001b).

Volgens deze verschillende scenario's zou de globale gemiddelde temperatuur op aarde in 2100 gestegen zijn met 1,4 tot 5,8°C ten opzichte van 1990. Voor de periodes 1990 tot 2025 en 1990 tot 2050 zijn de verwachte temperatuurstijgingen respectievelijk 0,4 tot 1,1°C en 0,8 tot 2,6°C (IPCC, 2001b). De verschillende modellen projecteren verder een grotere dagelijkse, seizoenale en jaarlijkse variabiliteit in temperatuur en neerslag met een verandering in frequentie, intensiteit en duur van extreme weergebeurtenissen (IPCC, 2001b).

Hoewel klimaatverandering zich afspeelt op mondiaal vlak zullen de verwachte klimatologische effecten geografisch sterk verschillen en zal de impact afhankelijk zijn van de lokale kwetsbaarheid. Zo is volgens het IPCC (2001c) zelfs binnen Europa een groot onderscheid te maken tussen verschillende subregio's: de kwetsbaarheid voor klimaatverandering ligt in het bijzonder het hoogst in het zuiden van Europa en de arctische gebieden (grootste temperatuurstijging boven het zuiden en noordoosten van Europa, minst uitgesproken langs de Atlantische Oceaan).

Een specifiek scenario voor België werd tot op heden nog niet opgesteld, veel auteurs (Gellens & Roulin, 1996, 1998; Schoeters & Vanhaecke, 1999; d'Ieteren et al., 2004) baseren zich op scenario's die werden opgesteld door het IPCC (1995, 1997) en de UK Climate Change Impact Review Group (1996). Het scenario dat aangenomen werd gaat ervan uit dat er geen beleidsmaatregelen worden genomen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, bovendien neemt men aan dat de temperatuurverandering gelijklopend zal zijn voor heel België en dat er geen regionale verschillen zullen optreden. Een onderzoek uitgevoerd op vraag van Greenpeace (van Ypersele & Marbait, 2004) neemt voor België meerdere scenario's in rekening en bekomen dan ook andere en meer extreme resultaten.

Volgens het scenario gebruikt door Gellens & Roulin (1996, 1998), Schoeters & Vanhaecke (1999) en d'Ieteren et al. (2004) zal de temperatuur met 2 tot 2,5°C toenemen in de periode 1990-2100. De temperatuurstijging zou in de winter beduidend groter zijn dan in zomer, en er wordt verwacht dat de minimumtemperaturen grotere veranderingen zullen vertonen dan de maximumtemperaturen. Van Ypersele & Marbait (2004) besluiten daarentegen dat de temperatuur in de zomer sterker zal stijgen dan in de winter: respectievelijk 2,4 tot 6,6°C en 1,7 tot 4,9°C.

7.1.2 Zeespiegelrijzing

Globaal heeft men gedurende de 20e eeuw een (gemeten) zeespiegelrijzing vastgesteld van 1-2 mm per jaar. Dit zou in de eerste plaats te wijten zijn aan thermische uitzetting van de oceanen en afsmelting van ijskappen en gletsjers. De lokale verschillen zijn echter heel sterk en kunnen verklaard worden door andere oorzaken, zoals verticale verschuivingen van aardplaten en wijzigingen in overheersende windrichting of stromingsrichtingen. In Oostende werd een gemiddelde stijging waargenomen van 1,7 mm per jaar (periode 1937-2004), deze stijging is bovendien sterker bij hoog- dan bij laagwater (MIRA, 2005).

In tegenstelling tot andere indicatoren van klimaatwijziging (zoals temperatuur) kan voor het zeeniveau nog geen versnelde evolutie aangetoond worden, mogelijk te wijten aan de enorme omvang en thermische opslagcapaciteit van de oceanen en de trage reactie van de grote ijskappen aan de polen op de snelle wijzigingen in atmosferische temperaturen (MIRA, 2005; IPCC, 2001b).

Vertrekkende van de verschillende scenario's verwacht men tussen 1990 en 2100 een zeespiegelrijzing van 9 tot 88 cm maar met sterke regionale verschillen (IPCC, 2001a; 2001b). Voor Europa verwacht men zo reeds tegen 2050 een gemiddelde stijging van 13 tot 68 cm (IPCC, 2001c). Van Ypersele en Marbait (2004) stellen evenwel dat de regionale verschillen beperkt lijken te blijven en dat deze op dit moment allerm minst op betrouwbare wijze kunnen worden ingeschat.

Veranderingen van het zeeniveau worden ook op langere termijn (na de 21^e eeuw) bekeken, volgens een gemiddeld scenario kan, ondermeer door het inertieprincipe, in het jaar 3000 de stijging tot acht meter bedragen (van Ypersele & Marbait, 2004).

Verschillende auteurs (MIRA, 2005; d'Ieteren et al., 2004; IPCC, 2001b; IPCC 2001c; van Ypersele & Marbait, 2004) waarschuwen voor de gevolgen van het stijgende zeeniveau: naast de toenemende kans op overstromingen zal in kustgebieden een verhoogde erosie optreden. Bovendien zet het stijgende zeeniveau zich verder langsheen rivieren die in open verbinding staan met de zee zodat landinwaarts zout water zal aangevoerd worden met de bedreiging van ecosystemen tot gevolg. Economische activiteiten en bewoning langs de kust komen eveneens in gevaar.

7.1.3 Veranderingen in neerslagpatroon

Onderzoek aan het Hadley Centre (2005) besluit dat sterke aanwijzingen bestaan dat de jongste decennia neerslag zich vaker extreme omstandigheden voordoet. Significante wereldwijd geldende evoluties zijn echter minder duidelijk aan te tonen voor neerslag dan voor temperatuur. Er is met grote waarschijnlijkheid aangetoond (IPCC, 2001b) dat gedurende de 20e eeuw de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in het noordelijke halfrond met 5-10 % is gestegen (Noord-Europa zelfs +10-40 %), al kent men in sommige gebieden ook een vermindering in neerslaghoeveelheid (tot -20 % in gebieden rond de Middellandse Zee). Voor België concludeert MIRA (2005) dat de neerslagvariatie tijdens de 20^e eeuw de jaarlijkse neerslaghoeveelheid gemiddeld slechts licht gestegen is maar dat er steeds nadrukkelijker meer natte dan droge jaren voorkomen in ons land.

Neerslag is een klimaatvariabele die een grote natuurlijke variabiliteit vertoont over verschillende jaren en decennia, voorspelling van de neerslag blijft dan ook erg onzeker. Uit de verschillende scenario's blijkt dat voor de meeste gebieden de hydrologische cyclus

intenser zal verlopen. De gemiddelde jaarlijkse globale neerslag zou gedurende de 21^e eeuw toenemen, al verwacht men op regionale schaal zowel toenames als afnames van de jaarlijkse neerslag van 5 tot 20 % (IPCC, 2001a; 2001b). Naar alle waarschijnlijkheid zal men van jaar tot jaar sterkere variaties van neerslag ondervinden in de meeste zones waar er een stijging van de gemiddelde hoeveelheid neerslag zal voorkomen. De verwachte toename aan intense neerslag leidt tot een groter risico op overstromingen, grondverschuivingen of modderstromen en een sterkere bodemerosie wat dan weer gevolgen zal hebben voor verzekeringssystemen of rampenbestrijding.

Voor België voorspellen Gellens & Roulin (1996; 1998), Schoeters & Vanhaecke (1999) en d'Ieteren et al. (2004) een neerslagstabilisatie of –vermindering tot 3 % in de zomer maar een toename van 10% in de winter. Ook hier bekomen van Ypersele en Marbait (2004) meer extreme waarden voor de evolutie van de neerslag tegen 2100: een daling van 0 tot 50 % in de zomer en een stijging in de winter van 6 tot 23 %.

Alle auteurs zijn het er wel over eens dat vaker extreme weerfenomen zullen voorkomen, niet enkel inzake temperatuur (hittegolven) maar ook op het gebied van neerslag (intense regenval). d'Ieteren et al. (2004) stelt bijvoorbeeld dat tegen 2050 het aantal stormen met 30 % zal toenemen. Volgens verscheidene modellen zou de klimaatwijziging leiden tot een daling van het aantal depressies boven de Noord-Atlantische Oceaan en Europa en een toename van sterke depressies, die gepaard gaan met stormwinden (van Ypersele & Marbait, 2004). Het Hadley Centre (2005) stelt dat wereldwijd het aantal zwakke stormen zal afnemen maar het aantal krachtige stormen zal toenemen.

7.2 Geplande ingrepen

In dit hoofdstuk worden maatregelen besproken waarbij tijdens de planningsfase gebruik gemaakt werd van risicoberekeningen. De voorgestelde resultaten zijn niet noodzakelijkerwijs volledig identiek aan deze in de nota's en rapporten waarin ze voor het eerst bestudeerd werden, aangezien de ontwikkeling en implementatie een stapsgewijze procedure is. In de berekeningen gemaakt in het kader van dit project is steeds gebruik gemaakt van de modules voor oppervlakken, lijn- en puntelementen. De voorbeelden die gegeven worden zijn exemplarisch en streven geen volledigheid na. Wel willen ze een beeld geven van de mogelijke maatregelen die op deze manier kunnen onderzocht worden.

Vaak wordt een onderscheid gemaakt tussen harde en zachte maatregelen. Onder harde maatregelen verstaan we de bouw of aanpassing van permanente waterkerende constructies zoals dijken en kaaimuren. Zachte maatregelen kunnen o.a. zijn het aanspreken van laaggelegen land langsheen de rivier als GOG of als GGG, strandsuppleties. Verder willen we kijken naar technische oplossingen zoals pompen. Aanpassingen aan het bodemgebruik komen aan bod in paragraaf 3.1. De methode zoals hier beschreven is in hoofdzaak toegepast voor het overlopen (eventueel gecombineerd met golfoverslag van dijken). Bij wijze van voorbeeld wordt aangegeven welke de mogelijkheden en beperkingen van de methode zijn om de effecten van geotechnisch falen te berekenen.

7.2.1 Wijzigen van dijkhoogte

Zoals aangehaald in de inleiding van hoofdstuk 3 bestond de visie op waterbeheer in het verleden in hoofdzaak uit het beschermen tegen een bepaalde waterstand en dit door de dijken minstens even hoog te maken als de hoogst voorgekomen waterstand uit het 'verleden'.

Dijkverhogingen kunnen schade en risico doen dalen en het huidig waterbeleid moet niet automatisch tegen (lokale) verhogingen zijn. Onderstaand voorbeeld, langsheen de Dender ter hoogte van Overboelare (De Rouck & d'Haeseleer, s.d.), toont echter aan dat dijkverhogingen niet steeds de meest ideale situatie zijn.

In het scenario worden de effecten van een dijkverhoging met 20 cm en dijkverlaging met 20 cm vergeleken met de huidige situatie voor de waterstanden op de Dender en naar risico toe. Voor de effecten op de waterstanden worden zowel de grote als kleine terugkeerperioden beschouwd om het effect van vernatting in rekening te brengen. In beide scenario's zijn afwaarts het overstromingsgebied van Geraardsbergen en Ninove geen noemenswaardige verschillen in waterstand merkbaar.

De resultaten van de risicoberekening worden bekeken in 2 studiegebieden: enerzijds de onmiddellijke omgeving van de ingreep en anderzijds in het volledige rivierpand. Rekening houdend met een reeks onzekerheden geven de scenario's een hoogste risico bij de dijkverhoging en een laagste bij de dijkverlaging. De huidige situatie ligt daar ergens tussenin. Reden voor dit verschijnsel is dat bij dijkverlaging ter hoogte van de ingreep een grotere waterdiepte ontstaat die er elders voor zorgt dat de overstromingsdiepte kleiner wordt en dus ook schade en risico afnemen. Bij verschillen in bodemgebruik (en dus maximale schade en/of schadefuncties) kan een dijkverlaging zo leiden tot een risicodaling. Een dijkverhoging leidt tot het omgekeerde effect: lokaal (ter hoogte van de ingreep) een risicodaling maar bekeken over het volledige studiegebied een risicostijging. Er dient wel opgemerkt te worden dat dit enkel een voorbeeld is. De verschillen zijn in deze studie te klein om echt significant te zijn want gelegen binnen de marges van onzekerheid die optreden in de verschillende stappen van het berekeningsproces (statistiek, modellering, overstromingskaart en DHM³⁴, waarderingsanalyse en schadefuncties). Wel blijkt uit bovenstaande beschrijving dat een dijkverlaging niet automatisch gepaard dient te gaan met een stijging van het risico.

7.2.2 In dienst nemen van GOG en GGG³⁵

Momenteel zijn 12 GOG's gerealiseerd en is het 13^e (Kruikeke-Bazel-Rupelmonde) in uitvoering. Dit laatste gebied (volgens het oorspronkelijke sigmaplan) is gedeeltelijk GOG en gedeeltelijk GGG (Meyvis et al., 2003). Bij de herziening van het Sigmaplan kwam de aanleg van +/- 1800 ha als bijkomend GOG naar voor als scenario met de kleinste investeringskost (MKBA, s.d.). De optimale oplossing bestaat uit een combinatie van dijkverhoging en overstromingsgebieden (een gedeelte met behoud van huidige functie of aanpassingen, een gedeelte als GGG) (MKBA, s.d.) Het inzetten van deze gebieden zal een invloed hebben op de terugkeerperiode van overstromingen, en daardoor schade op andere plaatsen vermijden.

7.2.3 Technische oplossingen: het plaatsen van pompen

Pompen kunnen, o.a. in gebieden waar een permanente afwatering bemoeilijkt wordt door waterstandvariaties door het getij een oplossing bieden om het water onder een bepaald peil te houden. In onderstaand hoofdstuk worden 2 voorbeelden uitgewerkt waarbij het gebruik van pompen overwogen werd.

³⁴ 5x5 m grid, GML

³⁵ GGG: Gereduceerd getijgebied

GOG: Gecontroleerd overstromingsgebied

Voortbouwend op de resultaten van Deschamps et al. (2004) werden risicoberekeningen uitgevoerd voor de omgeving van het Denderbellebroek (Deschamps & Vanneuville, 2004). Bijkomende ontwatering tijdens periodes van laag water op de Schelde van het Denderbellebroek is wenselijk omdat anders bij hoge Denderafvoer na enkele getijperiodes het Denderbellebroek vol is en de ringdijk kan overlopen. In eerste instantie werd gedacht aan het gebruik van bijkomende pompen die een regeling zouden krijgen in functie van de waterstand in het Denderbellebroek en de waterstanden in de Dender en de Schelde. Deze extra pompen bleken duur en vragen veel onderhoud. Daarenboven werden vragen gesteld bij de bedrijfszekerheid in perioden van hoge waterstand in het Denderbellebroek. Het alternatief bleek de bouw van uitwateringsschuiven in de overloopdijk van de Dender. Deze vragen een eenmalig grote investering maar zijn relatief goedkoop in onderhoud en bedrijfszeker.

In De Schamps et al. (2004) wordt een optimale dimensionering van deze schuiven uitgewerkt en voor huidige situatie (de toenmalige huidige situatie) en het alternatief werd het model doorgerekend met compositiehydrogrammen met terugkeerperiodes van 1, 2, 5, 10, 25, 50 en 100 jaar. Na de aanmaak van de overstromingskaarten werden schade- en risicoberekeningen uitgevoerd om het effect van de uitwateringsschuiven te bepalen. In figuur 7-1 is het risicoverschil tussen de basissituatie en het alternatief weergegeven. De daling van het risico in het Denderbellebroek is zeer beperkt, wat niet verwonderlijk is aangezien het gebied bedoeld is om water te bergen en het bodemgebruik daarop is ingespeeld. Wel zien we ten noorden van het Denderbellebroek een zone (met enkele woningen) waar het risico significant gedaald is. Het bouwen van de uitwateringsconstructie zorgt voor een daling van het risico met 30 % in dit pand van de Dender.

In bovenstaand voorbeeld bleek waterbouwkundig een uitwateringsschuif interessanter dan pompen. Op gebied van risico is eveneens een duidelijke daling merkbaar in het geval van een uitwateringsschuif.

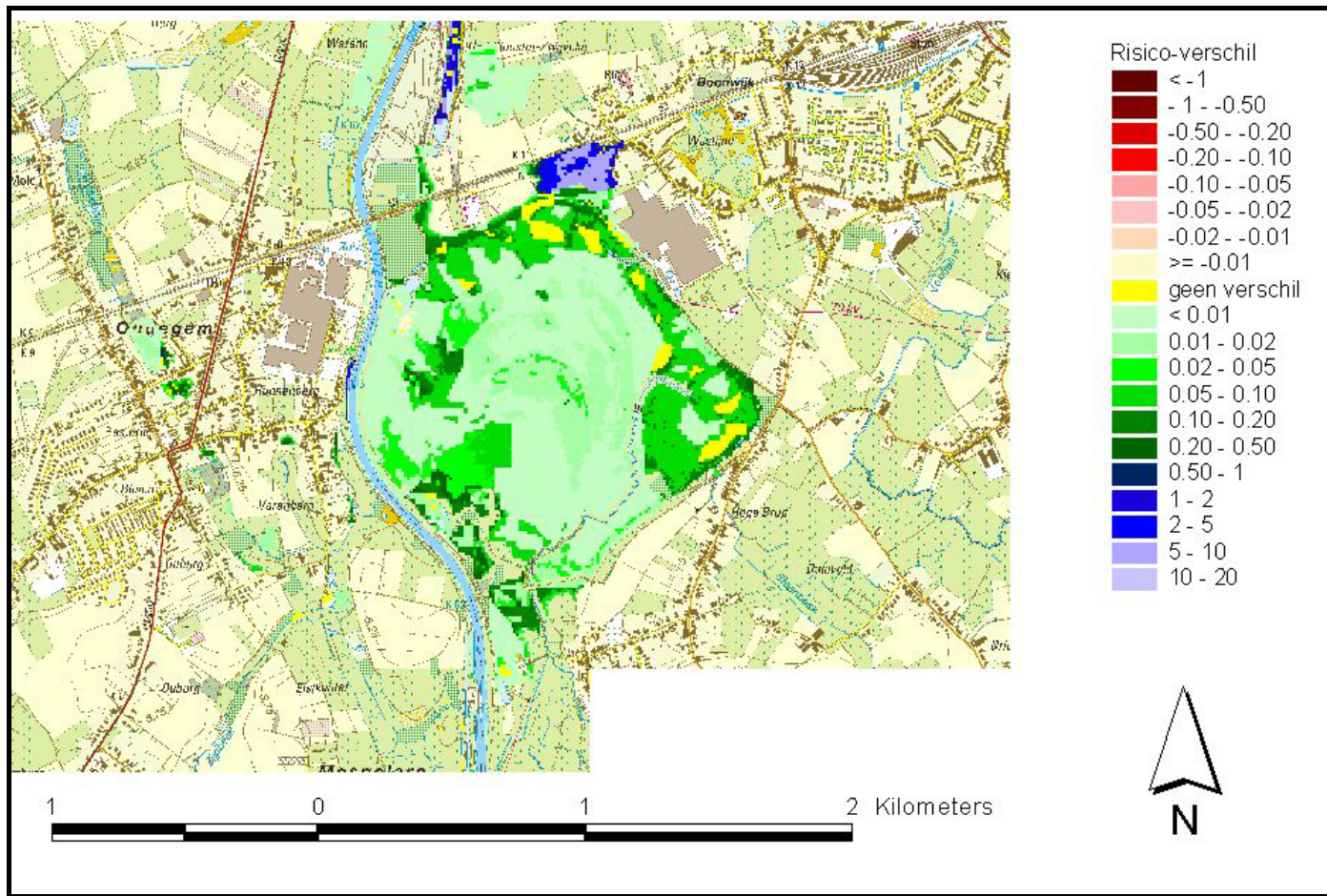


Fig. 7-1: Risicoverschilkaart Denderbellebroek (basissituatie – alternatief) - Achtergrond: Topografische kaart 1:10 000 raster, Nationaal Geografisch Instituut

Anderzijds werd voor de IJzer ook een scenario bekeken waarin het effect van de inzet van pompen bestudeerd wordt samen met andere ingrepen zoals een noodpomp (1 m³/s) in Veurne om water van het kanaalpand Duinkerke-Veurne naar het pand Veurne-Nieuwpoort te pompen en het verhogen van het maximale peil op de Lovaart na oeverversteving (D'Haeseleer & Vanneuville, 2006). Hier was het niet mogelijk een opdeling te maken van het gebied dat door het model bestreken wordt in deelstudiegebieden. Het scenario omvat het plaatsen van een pomp met een capaciteit van 20 m³/s ter hoogte van de Ieperstuw op de IJzer in Nieuwpoort om bij hoogtij water van de IJzer in de Ganzenpoot over te pompen.

In vergelijking met de referentiesituatie levert het in gebruik nemen van de pompen een risicodaling op van 5-7 %. Deze daling kan beschouwd worden als significant maar beperkt. Ze is wel ruimschoots groter dan de effecten van het verhogen van het peil op de Lovaart of de noodpomp in Veurne waarbij er slechts een verschil van 1-2 % wordt berekend wat zeker niet boven de onzekerheidsmarges van de berekeningen uitkomt. Hier blijken pompen wel in het grootste effect te resulteren, zowel naar waterstand als risico toe.

7.3 Geplande maatregelen

Behalve het fysiek ingrijpen in de bestaande toestand door harde en/of zachte maatregelen, kan de overheid ook een beleid voeren dat erop gericht is schade in de toekomst te verminderen door regelgeving voor toekomstige ontwikkelingen aan te passen of in te voeren.

Recentelijk werden twee initiatieven ontwikkeld: de watertoets en de verzekering van natuurrampen toegevoegd aan de brandverzekering. Beide initiatieven worden hieronder kort toegelicht.

7.3.1 Watertoets

De overheid wil een vergunningenbeleid dat erop gericht is de schade ten gevolge van natuurfenomenen onder controle te houden. De Vlaamse Overheid voert daarom een Watertoets in. Bij een aanvraag voor bouwvergunning, wijziging van de topografie of ruwheid van het terrein, ... zal de vergunningverlener een watertoets uitvoeren.

Op dit ogenblik kan de vergunningverlener aan de hand van een aantal kaarten nagaan of de watertoets moet uitgevoerd worden. Dit is niet enkel afhankelijk van het gebied, maar ook van de aard en de omvang van de ingreep. Enkele voorbeelden van de kaarten die gebruikt worden om te beoordelen of er al dan niet een watertoets nodig is, zijn:

- overstromingskaarten met een terugkeerperiode van 100 jaar, ongeveer een kans van voorkomen van 1 % per jaar;
- een winterbedkaart van de bevaarbare waterlopen die aangeeft welk oppervlak zich binnen de winterdijken bevindt (voornamelijk Schelde en Maas), of bij afwezigheid is dit gebied gelijk gesteld met de overstromingskaart met terugkeerperiode 100 jaar³⁶;
- een hellingenkaart;
- een bodemkaart;
- ...

Aan de hand van deze documenten kan de vergunningverlener eveneens bepalen aan welke instanties advies gevraagd moet worden (het uitvoeren van de watertoets zelf). De overstromingskaarten en winterbedkaarten worden kort verder toegelicht.

De overstromingskaarten geven de contouren van een overstroming met een terugkeerperiode van 100 jaar. Deze gebieden zijn in het donkerblauw ingekleurd. Op dezelfde kaart zijn in lichtblauwe kleur de potentiële overstromingsgebieden (POG) langs de Schelde weergegeven en de Mijnverzakkingsgebieden. De POG-gebieden zijn gebieden die mogelijk in de toekomst ingericht te worden als GOG of GGG (zie hoger). Nu belangrijke ingrepen toelaten in deze gebieden, maakt hun inzet als GOG of GGG onmogelijk. Om de veiligheid in het bekken van de Zeeschelde op een aanvaardbaar peil te houden kwam uit verschillende studies (zie hoger; MKBA, PROSES) reeds naar voor dat het aanspreken van POG-gebieden een van de meest efficiënte maatregelen is.

Ook in lichtblauwe kleur weergegeven zijn de Mijnverzakkingsgebieden. Deze gebieden in het mijngebied in de Kempen zijn na de exploitatie verzakt, voornamelijk langs de Maas in de regio Vucht-Mazenhoven. Daardoor is er vanuit deze gebieden geen natuurlijke afwatering meer mogelijk en leidt een overstroming hier enerzijds tot zeer grote waterdieptes en anderzijds tot de noodzaak het water weg te pompen om het gebied opnieuw watervrij te krijgen (Maeghe, 2005; Vanneuville & Maeghe, 2005).

De winterbedkaarten zijn voornamelijk bedoeld om het gebied langs de bevaarbare waterlopen³⁷ waar het water gebruik van maakt bij hoge waterstanden te vrijwaren van obstructies. Deze gebieden kunnen als parallelle tak fungeren om water te bergen en mee te

³⁶ Dit kan namelijk grosso modo gelijk gesteld worden aan het gebied waar het water stroomt

³⁷ Voor de onbevaarbare waterlopen werd beslist geen winterbedkaarten te maken

laten stromen. Hier gelden dan ook beperkingen tegen verruiming die verder opstuwning kan veroorzaken. Langsheen de Schelde en de Maas zijn dit de gebieden binnen de winterdijken die het gebied omsluiten waarbinnen het water zich bij hogere afvoeren mag begeven maar die bij een normaal of zomerregime droog staan. Voor de andere bevaarbare waterlopen zijn er niet altijd duidelijke winterdijken. Hier is geopteerd om deze kaart identiek te maken aan deze van de donkerblauwe zones (T = 100 jaar) uit de overstromingskaart.

Het feit dat de vergunningverlener beslist, op basis van één of meerdere bijlagen, dat een watertoets dient uitgevoerd te worden, betekend niet dat er geen vergunning voor de activiteit mogelijk is. Dit betekent wel dat nader onderzoek vereist is en dat er een advies dient uitgebracht. Voor aspecten die te maken hebben met de overstromingskaarten en de winterbedkaarten is de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeheer (CIW) verantwoordelijk voor het verlenen van de adviezen. Zij kunnen hiervoor beroep doen op de waterwegbeheerders indien nodig.

7.3.2 Verzekering van natuurrampen

Naar aanleiding van een federale wet ter herziening van de verzekering bij natuurrampen besliste de federale regering deze te koppelen aan de brandverzekering. Deze regeling is sinds begin 2006 van kracht. Aan de verzekeringssector werd beloofd een kaart op te maken die de 'risicozones' (in een andere definitie dan gebruikt in de scenarioberekeningen van schade en risico hierboven en in punt 7.4) weergeeft.

Deze kaarten dienen aangemaakt te worden door de gewesten en geven de contouren van de gebieden die gemiddelde genomen een jaarlijkse kans van 4 % hebben om te overstromen (dit is gelijk aan een veronderstelde terugkeerperiode van 25 jaar) met een minimale waterdiepte van 30 centimeter.³⁸ Voor Vlaanderen zijn deze kaarten aangemaakt door de Afdeling Water en het Waterbouwkundig Laboratorium voor respectievelijk de gebieden langs onbevaarbare en bevaarbare waterlopen.

Niet enkel overstromingen vanuit rivieren zijn begrepen onder natuurrampen. Ook overstromingen van rioleringsystemen en vanuit de zee, aardbevingen en grondverschuivingen zijn mee opgenomen. De verzekeringsmaatschappijen dienen de schade aan particulieren die bij hun verzekerd zijn te vergoeden tot een maximumbedrag van € 280 miljoen (€ 560 miljoen voor aardbevingen). Is de totale schade van een enkele gebeurtenis groter, dan past de schatkist € 280 miljoen respectievelijk € 560 miljoen bij.

Hoewel er door de gewesten een kaart is opgemaakt met de 'risicozones', zijn het de verzekeraars zelf die beslissen welke extrapremie zij hiervoor vragen³⁹. Gemiddeld voor Vlaanderen gaat dit om ongeveer 4 % van de premie voor de brandverzekering. Sommige maatschappijen vragen in een eerste jaar zelfs geen bijkomende premie.

Het solidariteitsbeginsel waarbij iedereen een premie betaald, die kan gebruikt worden om de schade aan betrokkenen te vergoeden is niet absoluut. Dit is bijvoorbeeld ook niet het geval voor autoverzekeringen waar een individueel risicoprofiel de hoogte van de premie mee bepaald. Ook voor de verzekering tegen natuurrampen kan aan mensen in risicogebieden een

³⁸ Deze waterdiepte is door de wetgever bepaald als drempel voor een ernstige overstroming

³⁹ Voor verzekeraars is deze kaart een aanduiding van plaatsen met een verhoogd risico, maar zij hebben ook hun eigen gegevens en er kan ook een andere logica spelen, waarbij men niet enkel kijkt naar het risico op schade door een natuurramp maar bijvoorbeeld ook naar andere polissen die iemand bij dezelfde maatschappij heeft.

veel hogere premie gevraagd worden. Als mensen met een bestaande brandverzekering meer dan 90% extra moeten betalen voor de verzekering tegen natuurrampen, kunnen zij zich wenden tot een tarrificatiebureau van de overheid waar de premie voor verzekering tegen natuurrampen vastgelegd wordt op 90 % van de premie voor de brandverzekering.

In dit geval neemt de overheid dus geen fysische maatregelen, maar probeert ze sturend op te treden door de regelgeving. Men is nu meer zelf verantwoordelijk voor de risico's via een verzekering daar waar vroeger een ramp door de overheid erkend werd en een vergoeding vanuit de Directie Rampenschade kon uitbetaald worden. Zeker naar nieuwe constructies toe hoopt men met deze regelgeving sturend op te kunnen treden.

7.4 Praktische voorbeelden

7.4.1 Concept

Voor het doorrekenen van een aantal mogelijke toekomstige situaties werd het Sigmabekken als werkgebied gekozen. Deze keuze had vooral te maken met de beschikbaarheid van de benodigde gegevens. Talloze studies rond klimaatwijziging geven een overzicht van de veranderingen in temperatuur en neerslaghoeveelheid die ons te wachten staan. Maar over de daaruit volgende verandering in rivierdebieten en -hoogtes is opvallend weinig terug te vinden.

Voor de Schelde en meer bepaald de hoogwaterstanden in Antwerpen kunnen we echter gebruik maken van de curve voor de overschrijdingsfrequentie van de hoogwaterstanden (Van Damme et al., 2003; mondelinge communicatie).

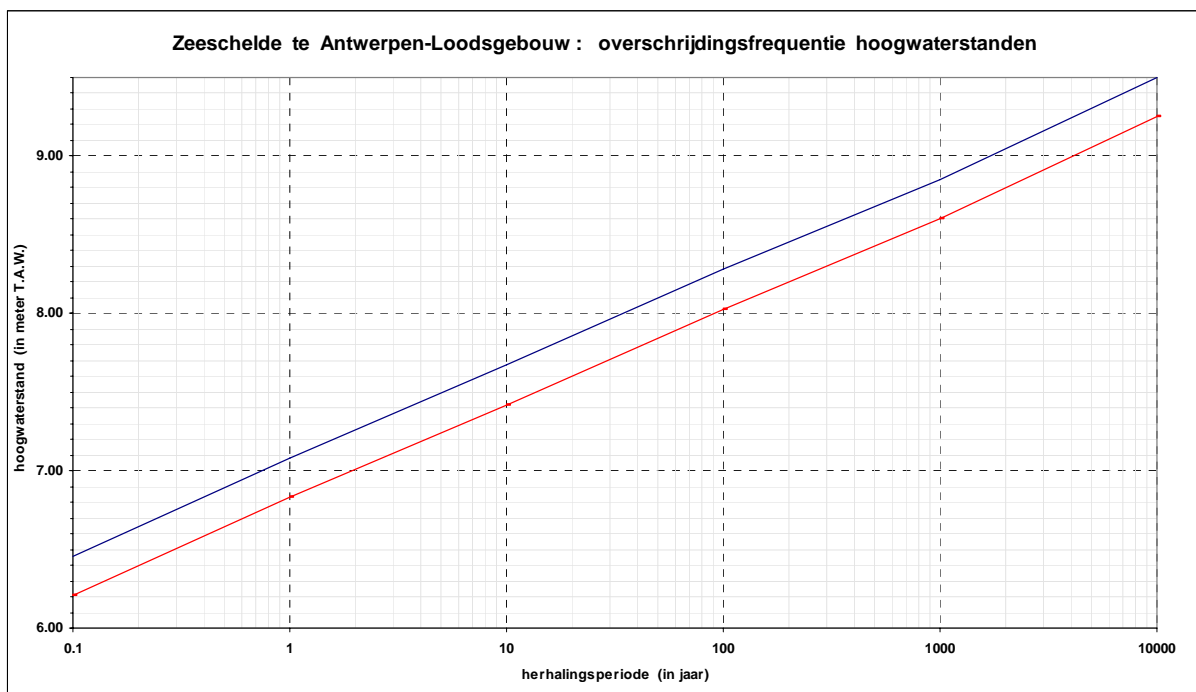


Fig. 7-2: Overschrijdingsfrequentie hoogwaterstanden (Antwerpen)

Vertrekkend van deze waarden werd een regressielijn voor de terugkeerperioden en bijhorende waterstanden bepaald (rode curve in figuur 7-2):

waterstand (m) = $0,2621 \ln(\text{terugkeerperiode}) + 6,8182 + a$ met formule 7-1
 - a hoogte van de hoogwaterstand (in m)

Aan de hand van deze regressie kan op een eenvoudige manier de nieuwe terugkeerperiode van een bepaalde waterstand worden berekend. Als we voor een punt dus de stijging van de waterhoogte kennen voor een bepaald scenario, dan kunnen we dit gebruiken om de nieuwe terugkeerperiode voor overschrijding te berekenen.

Een fictief voorbeeld verduidelijkt dit: we vertrekken van een stijging in de waterhoogte met 25 cm ($a = 0,25$). Dit resulteert in een nieuwe curve (blauwe curve in figuur 7-2). Daaruit kunnen we afleiden dat een waterhoogte van 7 m vandaag de dag (rode curve) een terugkeerperiode heeft van 1,1 jaar, terwijl dat in de toekomstige situatie (blauwe curve) nog slechts 0,75 jaar zou zijn.

Op basis van deze methode en met een stijgingsscenario voor ogen kan de formule 6-4 voor het berekenen van risico herwerkt worden. Voor een bestaande terugkeerperiode T wordt de overschrijdingshoogte bepaald, deze hoogte wordt uitgezet op de curve voor de aangepaste situatie en dit resulteert in een aangepaste terugkeerperiode. Deze terugkeerperiodes worden dan verrekend in de coëfficiënten in formule 6-4 zodat die de nieuwe situatie weergeven. Met deze bijgewerkte formule kan dan de risico-berekening opnieuw gestart worden.

7.4.2 Uitwerking

Voor de selectie van de toekomstscenario's werd vooral gesteund op het rapport Strategische MER – Ontwikkelingsschets 2010 – Schelde-estuarium (Consortium ARCADIS – Technum, 2004). Dit is zowat het enige document waarin concrete stijgingen of dalingen van de hoogwaterstand in Antwerpen (het referentiepunt dat we kunnen combineren met de curve Taverniers) naar voor worden geschoven.

Bij de uitwerking van de verschillende scenario's werd voor de zeespiegelrijzing uitgegaan van een scenario dat overeenstemt met het meest aannemelijke midden van de bestaande voorspellingen: 30 cm in 2050. Voor de periode van 2001 – 2010 is een stijging van 3 cm aangehouden (dit is een extrapolatie van de gemeten stijgingen voor de jaren 1975 – 1990: 3,6 cm in 15 jaar). Voor de periode van 2010 tot 2030 is een stijging van 12 cm gehanteerd.

Voor de stijging van de bovenafvoeren (los van de menselijke ingrepen beschreven in de scenario's) werd een extrapolatie gemaakt van de evolutie van de waterstanden tijdens de voorbije 110 jaar omdat er zoals reeds aangehaald geen modellen bestaan die voorspellingen doen over de bovenafvoer, rekening houdend met evoluties in neerslag, verdamping en andere klimatologische effecten.

Om de rekentijd enigszins te beperken werden geen scenario's voor de verdere toekomst doorgerekend. Deze scenario's kunnen onvoldoende wetenschappelijk onderbouwd worden en kunnen gemakkelijk aanleiding geven tot stemmingmakerij. Om de foutenmarge op dergelijke berekeningen binnen aanvaardbare perken te houden is vooral nood aan modellering van de variatie in de bovenafvoeren. Voor de stijging van de zeespiegel en de stijging in de hoeveelheid neerslag zijn voldoende studies voorhanden, maar hoe dat verschil in hoeveelheid neerslag de bestaande modellen voor het regime van de Vlaamse rivieren zal beïnvloeden is niet duidelijk. En die modellen zijn nodig voor het berekenen van de terugkeerperiode van een bepaalde situatie en dat is dan weer een essentieel onderdeel van de risicoberekening (cfr. hoofdstuk 6)

Uit de scenario's die in bovenvermeld rapport werden uitgewerkt, werden de 6 meest relevante geselecteerd (duidelijk verschil in waterhoogte, ook onderling):

0. Als referentiesituatie werd hier de huidige situatie opnieuw opgenomen.

1. Autonome ontwikkeling 2010: Simulatie voor de autonome ontwikkeling van de Westerschelde tot 2010 bij handhaving van het vigerende beleid. Hierin zijn de effecten van zeespiegelrijzing en stijging bovenafvoer tot 2010 meegenomen.

2. Ontpoldering Braakman 2010: Simulatie voor de situatie in 2010 waarbij de Braakman polder is ontpolderd in 2001, daarnaast vigerend beleid buiten deze polders. Hierin zijn de effecten van zeespiegelrijzing en stijging bovenafvoer tot 2010 meegenomen.

3. Ontpolderingen Doel 2010: Simulatie voor de situatie in 2010 waarbij een aantal polders dicht bij de Nederlands Belgische grens zijn ontpolderd. Het betreft de gehele Hertogin Hedwige polder en grote delen van de Prosperpolder en de Doelpolder (totaal 1024 ha), daarnaast vigerend beleid buiten deze polders. Hierin zijn de effecten van zeespiegelrijzing en stijging bovenafvoer tot 2010 meegenomen.

4. Verdieping/verruiming 12,5 m 2010: Simulatie voor de situatie in 2010 waarbij een verdieping en verruiming van de Westerschelde heeft plaatsgevonden voor het toelaten van schepen met een tij onafhankelijke diepgang tot 12,5 m. Hierin zijn de effecten van zeespiegelrijzing en stijging bovenafvoer tot 2010 meegenomen.

5. Verdieping/verruiming 13,1 m 2030: Simulatie voor de situatie in 2030 waarbij een verdieping en verruiming van de Westerschelde heeft plaatsgevonden voor het toelaten van schepen met een tijonafhankelijke diepgang tot 13,1 m. Hierin zijn de effecten van zeespiegelrijzing en stijging bovenafvoer tot 2030 meegenomen.

6. Verdieping/verruiming 13,1 m 2010 + kleine ontpolderingen in combinatie met het scenario GOG T4000 - Planalternatief 3A voor de actualisatie van het Sigmaplan voor de Zeeschelde: Simulatie voor de situatie in 2010 waarbij een verdieping en verruiming van de Westerschelde heeft plaatsgevonden voor het toelaten van schepen met een tij onafhankelijke diepgang tot 13,1 m. Tegelijkertijd zijn de kleine ontpolderingen gerealiseerd zoals die zijn aangegeven onder 3. Voor de Zeeschelde zijn aanvullend aan deze veranderingen een aantal GOG's meegenomen. Het betreft een totale oppervlakte van 2790 ha aan GOG's. De belangrijkste zijn:

- GOG's in de beneden Zeeschelde bij Hedwigepolder, Prosperhaven en Doelpolder, totaal 1024 ha.
- GOG's in de bovenschelde Zeeschelde tussen de mondingen van de Rupel en de Durme, totaal 1379 ha.
- GOG's nabij de monding van de Durme, totaal 176 ha.
- GOG's nabij de monding van de Zenne in de Rupel, totaal 210 ha.

scenario	stijging/daling waterstand (cm)	omschrijving
0	0	huidige situatie
1	+4	autonome ontwikkeling van de Westerschelde tot 2010 bij handhaving van het vigerende beleid
2	-4	ontpoldering Braakman 2010: Braakmanpolder ontpolderd in 2001, daarnaast vigerend beleid buiten de deze polders
3	-16	ontpolderingen Doel 2001: aantal polders dicht bij de Nederlands Belgische grens ontpolderd (Hertogin Hedwigepolder, delen van Prosperpolder en Doelpolder)
4	+4	verd/verr 12,5 m 2010: verdieping en verruiming van de Westerschelde voor het toelaten van schepen met een tij-onafhankelijke diepgang tot 12,5 m
5	+15	verd/verr 13,1 m 2030: verdieping en verruiming van de Westerschelde voor het toelaten van schepen met een tij onafhankelijke diepgang tot 13,1 m + effect extra zeespiegelstijging
6	-60	verd/verr 13,1 m 2010 + kleine ontpolderingen in combinatie met het scenario GOG T4000 - Planalternatief 3A voor de actualisatie van het Sigmaplan voor de Zeeschelde

Tabel 7-1 Overzicht van de scenario's en bijhorende veranderingen in de hoogwaterstand in Antwerpen

Op basis van deze 6 scenario's werd telkens de volledige procedure voor het berekenen van het risico zoals beschreven in hoofdstuk 3 opnieuw doorlopen. Het resultaat hiervan zijn de risicokaartjes die u op de volgende pagina's terugvindt. Een globale samenvatting van de daarin weergegeven resultaten zijn ook opgenomen in Tabel 7-2.

Scenario	Verandering waterstand (cm)	Gemiddelde per getroffen gridcel	Maximum	Totaal
0	0	1 287 436	129 397 267	966 864 469
1	+4	1 290 078	133 787 265	968 848 668
2	-4	1 284 009	123 803 740	964 291 352
3	-16	917 394	75 507 462	688 963 618
4	+4	1 286 968	132 509 700	966 513 662
5	+15	2 589 929	257 355 468	1 945 036 940
6	-60	331 843	17 091 876	249 214 549

Tabel 7-2 Overzicht van het risico (€/km²/jaar) voor de 6 scenario's

Daaruit blijkt onmiddellijk dat de geplande ontpolderingen een grote invloed hebben op de waterstand en dus op het berekende risico. Zonder die ontpolderingen (scenario 1) krijgen we tegen 2010 een lichte stijging van het risico van ca. 1% t.o.v. de huidige situatie. Ontpoldering van de Braakmanpolder (scenario 2) zorgt echter voor een daling van het voorspelde risico met ca. 1%. Bij verdere ontpolderingen (scenario 3) wordt het belang hiervan duidelijk: hier stellen we een daling van het risico vast met bijna 30%.

Uit scenario 4 blijkt dat de verdieping en verruiming van de Westerschelde veel minder invloed heeft op de berekende risicowaarden.

Beide maatregelen (ontpolderingen en verdieping en verruiming) gecombineerd met bestaande plannen voor waterbeheersmaatregelen in het Sigmabekken zouden leiden tot een aanzienlijke daling van het risico (scenario 6). Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat dit scenario het minst betrouwbare is: het extrapoleren van de extreme waterstand in Antwerpen over het hele Sigmabekken leidt hier tot een onderschatting van het risico.

Uit de vergelijking tussen scenario's 3 en 5 kunnen we afleiden dat het effect op het risico van een stijging in de waterstand veel groter is dan bij een gelijkaardige daling. De stijging tegen 2030 zorgt bijna voor een verdubbeling van het risico.

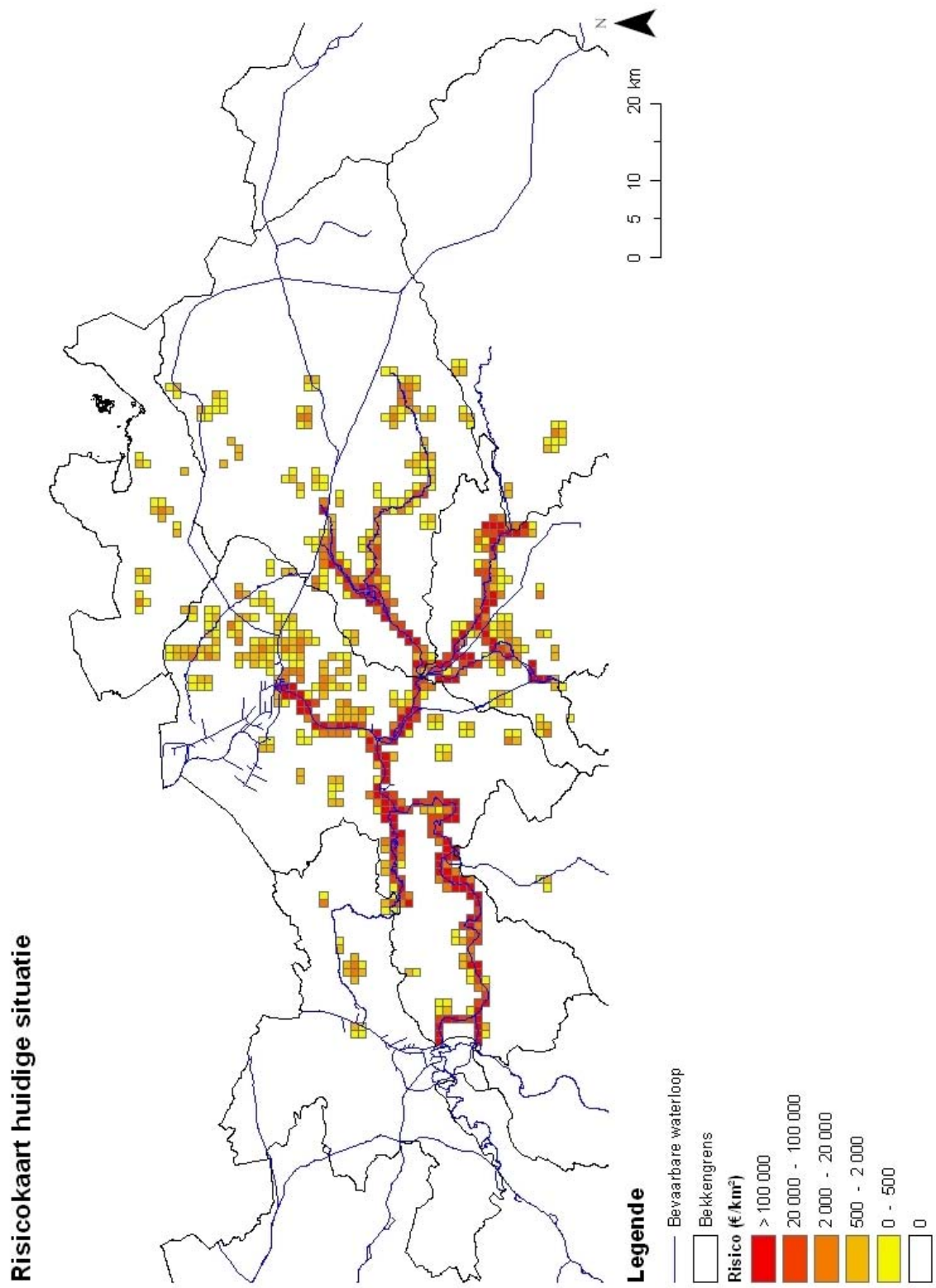


Fig. 7-3: Risicokaart huidige situatie

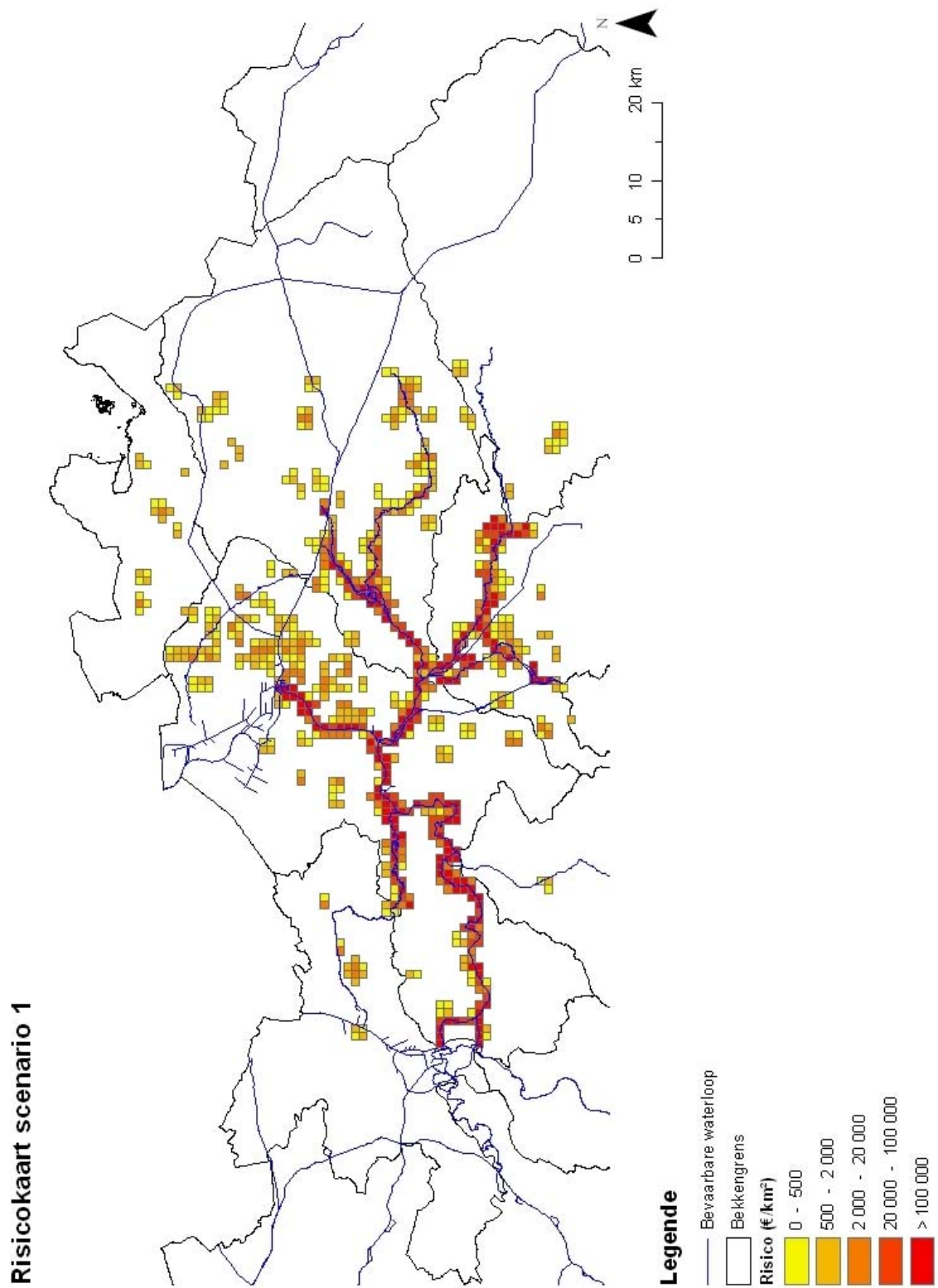


Fig. 7-4: Risicokaart scenario 1

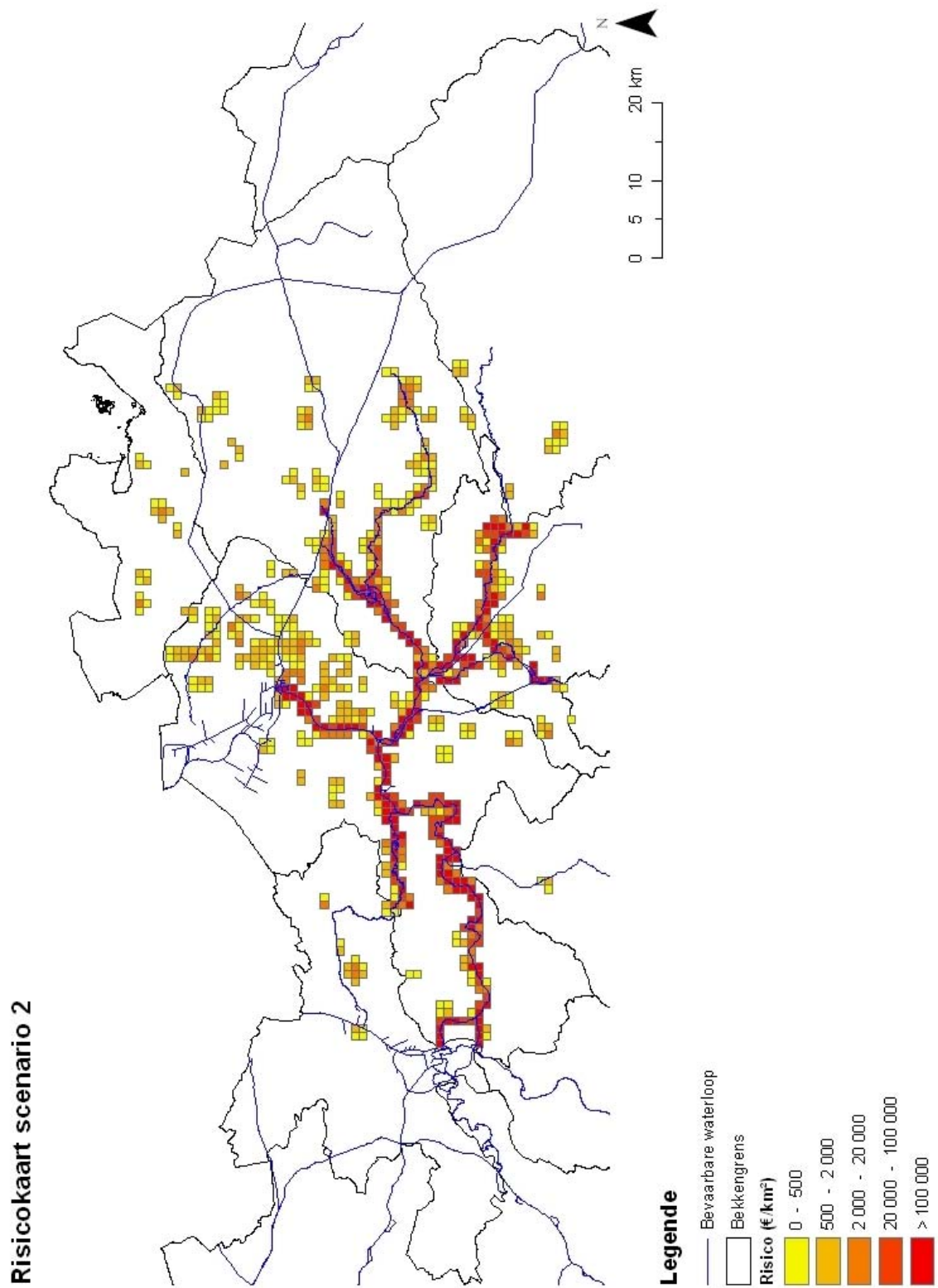


Fig. 7-5: Risicokaart scenario 2

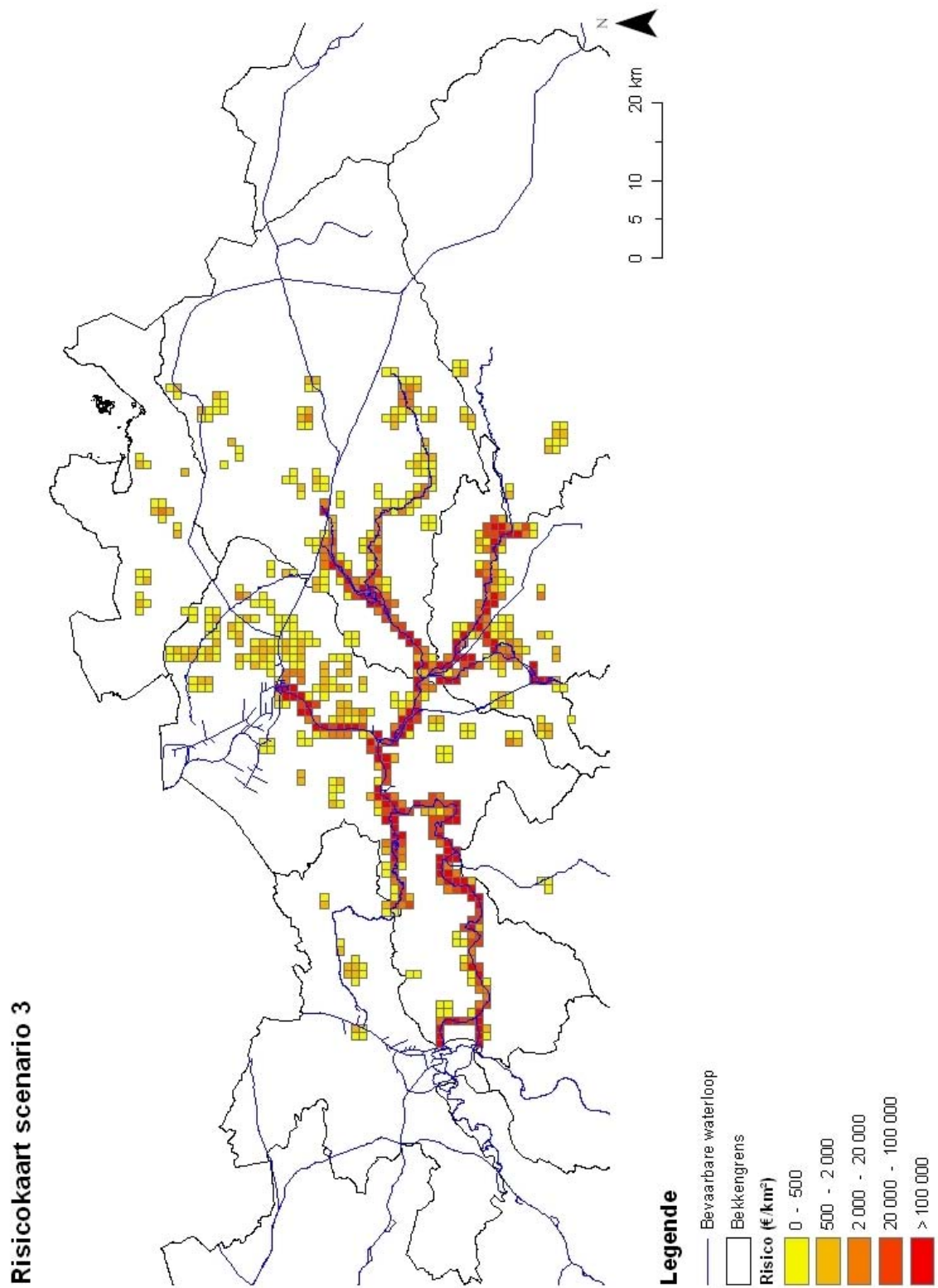


Fig. 7-6: Risicokaart scenario 3

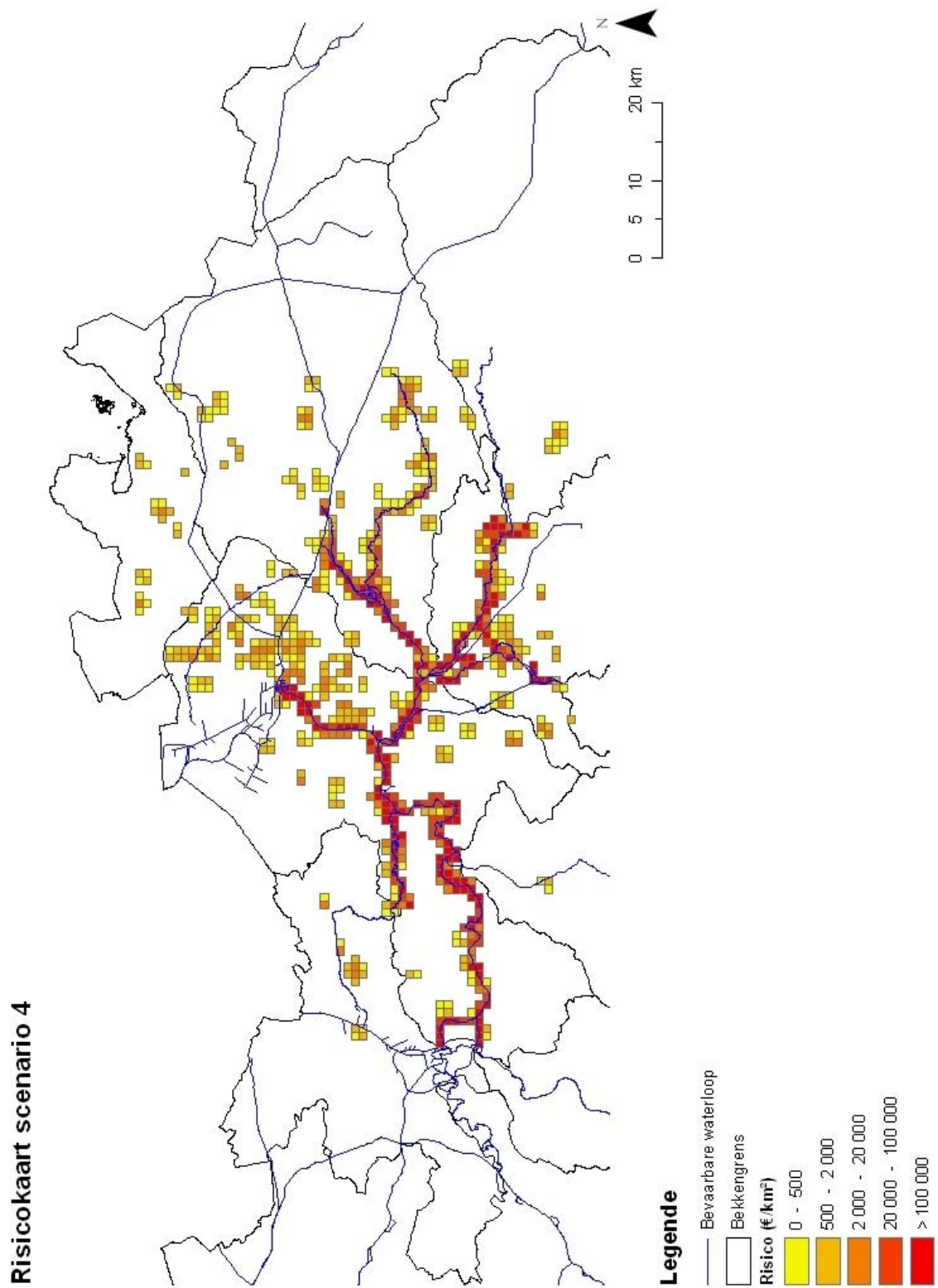


Fig. 7-7: Risicokaart scenario 4

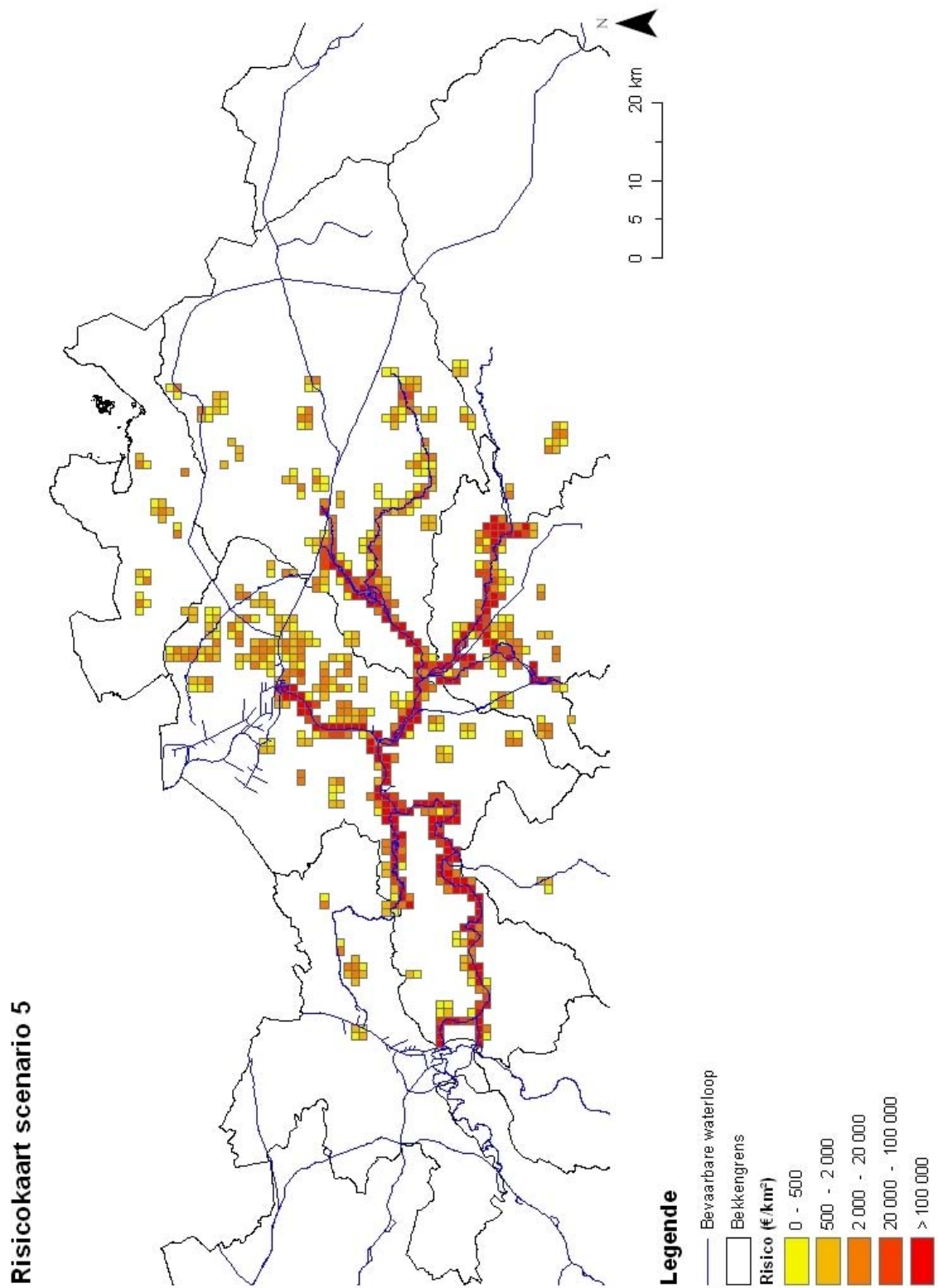


Fig. 7-8: Risicokaart scenario 5

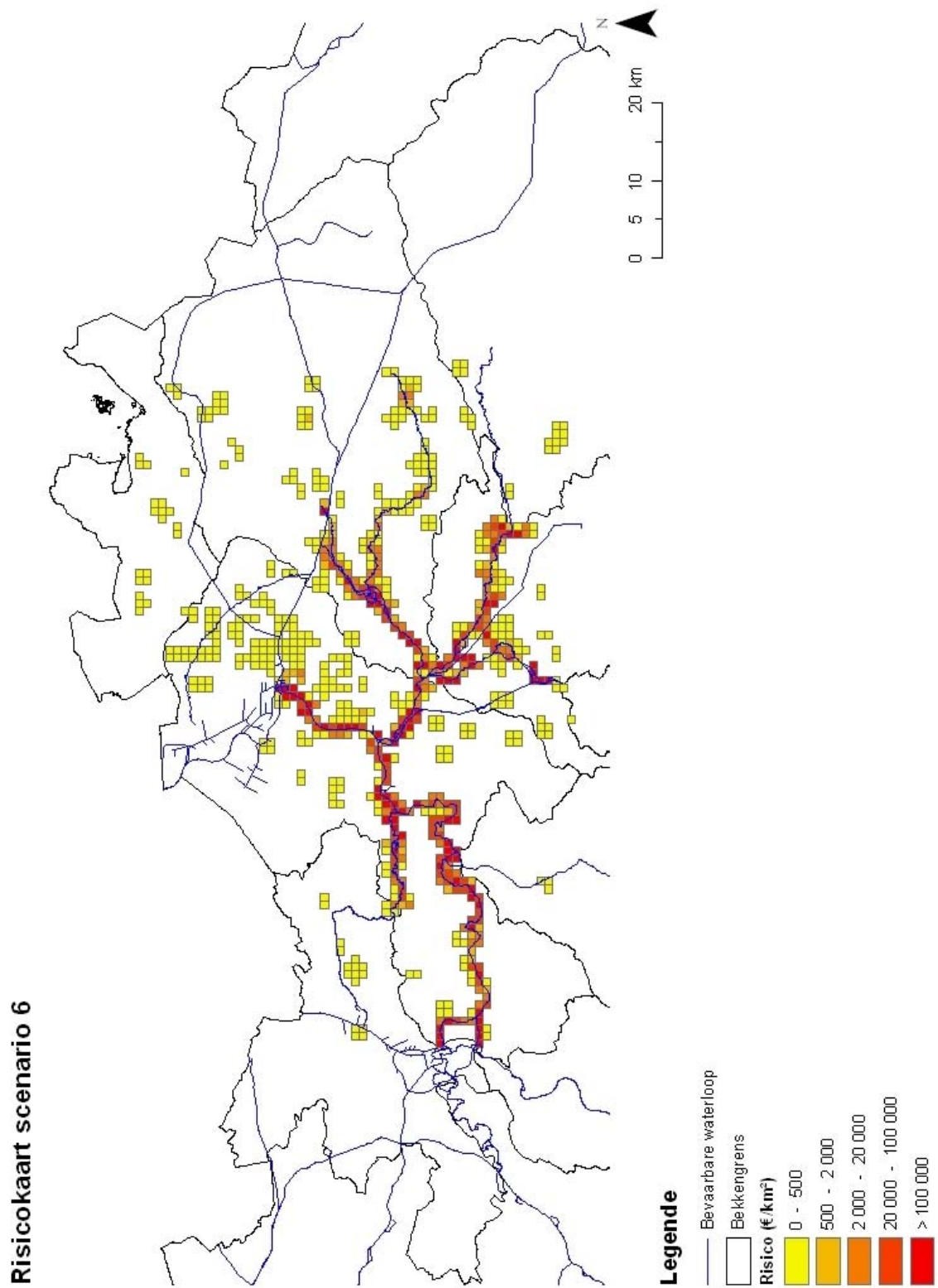


Fig. 7-9: Risicokaart scenario 6

8 Lopend en toekomstig onderzoek

Dit rapport is gedeeltelijk bedoeld als insteek voor MIRA-T 2006 (hoofdstuk verstoring van de waterhuishouding – deel overstromingen en hoofdstuk klimaat), gedeeltelijk ook als basis voor het scenariorapport MIRA-S 2009. Zoals ook in vorige hoofdstukken reeds vermeld, zijn er belangrijke linken tussen dit onderzoek en lopend onderzoek in een nationale en internationale context. Alvorens de scenarioberekeningen voor MIRA-S 2009 aan te vatten, is het interessant te kijken naar enkele resultaten van lopende onderzoeken om ervoor te zorgen dat het scenariorapport kan vertrekken met de meest recente kennis, inzichten en gegevens.

Een eerste belangrijke bron van onderzoeksresultaten, wat betreft de methode voor het berekenen van schade (en slachtoffers) is er het project SAFECoast (afgerond in de eerste helft van 2008). Hierin is het mogelijk dat volgende punten van de huidige methodologie kritisch herbekeken worden en eventueel aangepast:

1. in rekening brengen van industrie is niet enkel voor Vlaanderen maar voor alle landen in West-Europa een probleem wanneer globale risicokaarten gemaakt worden voor een gebied in het kader van overstromingen. Vele gegevens omtrent waarde van goederen en materialen zijn onbekend en/of sterk variabel en er zijn grote verschillen tussen de individuele bedrijven, zelfs binnen dezelfde bedrijfstak. In de loop van 2006 zal het Flood Hazard Research Centre (FHRC) een nieuwe ‘multi-coloured manual’ uitgeven waarin speciale aandacht geschonken wordt aan schade aan industrie en infrastructuur.
2. voor landbouw zal gekeken worden naar de resultaten van de studie uitbesteed door Afdeling Water (De Nocker et al., 2006). Bemerkingen op tussentijdse versies van dit rapport geven reeds aan dat dit een moeilijke afweging blijft aangezien de schade niet begint op te treden op het ogenblik dat er water over het landoppervlak stroomt maar reeds vroeger wanneer de grondwatertafel te ondiep (in het kader van deze studie maar ook te diepe grondwatertafel leidt tot schade) onder het maaiveld komt te zitten. Een ander aspect hierbij is de periode waarin de wateroverlast optreedt in ons landbouwsysteem. In dezelfde TWOL studie wordt reeds aangehaald dat graslanden relatief weinig leiden onder wateroverlast in de winterperiode (en dat eventuele vermindering van de eerste snede gecompenseerd wordt door de tweede snede). Ook voor schade aan akkerbouwgewassen is er een groot verschil in schade in functie van de periode in het jaar. Voor het aanpassen van de methode om deze tijdsafhankelijke component beter in rekening te brengen zal o.a. gebruik gemaakt worden van de resultaten uit COMRisk (Deense Case Studie) (Piontkowitz, 2004).
3. voor landbouw wordt op dit ogenblik enkel gekeken naar weiland en akkerbouw. Landbouwdieren worden op dit ogenblik niet in rekening gebracht. Voor het uitwerken van deze methodologie zal gebruik gemaakt worden van de methode zoals beschreven in MERK (Reese et al., 2003) en aangepast in COMRisk (Blum & Thorenz, 2005). Dezelfde problemen als bij de locatie van voertuigen kunnen hierbij verwacht worden. De dieren zullen soms op stal staan, soms op verschillende graaslanden en een exacte locatie opgeven is moeilijk. Buitenlandse voorbeelden veronderstellen de dieren op de locatie van de boerderij en deze assumptie zal ook hier overgenomen worden.

4. de economische waarde van bos en natuur wordt op dit ogenblik als niet bestaande beschouwd in de methodologie. Hierbij wensen we te herhalen dat dit niet betekent dat natuur en bos geen waarde hebben. De effecten op verlies van deze landschappen kunnen aanzienlijk zijn, maar dienen (op dit ogenblik) beschouwd te worden in een maatschappelijke kostenbaten analyse (waar een risicocalculatie een belangrijk doch zeker niet het enige onderdeel van uit maakt). Of dit in de toekomst zal aangepast kunnen worden, wordt afgewacht. Dit is o.a. afhankelijk van de resultaten die bekomen worden in De Nocker et al. (2006).
5. De huidige methodologie houdt enkel rekening met overloop van dijken en niet met geotechnisch falen. Probleem bij geotechnisch falen is de moeilijkheid van het inschatten van de kans van voorkomen. Geotechnisch falen is verschillend van overloop in die zin dat de snelheden van het water in de omgeving van de bres groter zijn. De huidige methodologie voor schade gebruikt de maximale waterdiepte in een punt als sleutel voor het berekenen van de schade. In het huidige model wordt daardoor geen rekening gehouden met instorting ten gevolge van grote horizontale snelheden. Deze beperking vraagt verder onderzoek dat buiten het kader van dit project valt en tegen 2008 zal uitgevoerd worden in het kader van SAFECOast (Interreg IIIB). Momenteel lopen enkele studies die bresgevoeligheid van dijken bestuderen en de gevolgen (schade) inschatten.

9 Conclusies

In voorbereiding van MIRA-S 2009 zal een update nodig zijn van de meeste gegevens. Idealiter zou een dataset samengesteld moeten worden met eenzelfde referentiejaar of verschillende referentiejaar. In praktijk zal dit niet mogelijk zijn doordat de gegevens afkomstig zijn van veel verschillende instellingen en organisaties.

In tegenstelling tot oorspronkelijk aangehaald (zie aanvraagdocument ondersteunend onderzoek) werd in deze studie gewerkt met een vaste dataset. De monetaire bedragen veranderen niet zo veel doorheen een korte periode en aanpassingen leveren op dit ogenblik een grotere bijdrage tot de stijging van de onzekerheid dan aan informatie. De interne variatie van de waarde van akkergewassen is veel groter dan de trend van de gemiddelde prijs doorheen de jaren (zelfs indien rekening gehouden wordt met de beplante oppervlakte per gewas).

De berekeningen zijn dan ook uitgevoerd met vaste monetaire waarden per object of bodemgebruikklasse. Voor de aantallen van de objecten (zoals voertuigen, woningen, ...) is gebruik gemaakt van de meest recente gegevens die ter beschikking kunnen gesteld worden door de Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium. Zoals vermeld in het tussentijds rapport werden de modellen opnieuw doorgerekend met aangepaste data wat betreft socio-economische gegevens (SEE 2001) en bodemgebruik (CORINE Land Cover 2000).

Wat betreft het doorrekenen van historische wassen kan gesteld worden dat het globale beeld dat verkregen wordt voor Vlaanderen goed aansluit bij de gegevens van o.a. de Directie Rampenschade wat betreft de ernst van de gebeurtenis t.o.v. andere gebeurtenissen in dat bekken en t.o.v. andere bekkens tijdens eenzelfde gebeurtenis. Het feit dat uiteindelijk gewerkt werd met een vaste referentie voor de socio-economische data maakt de conclusies niet minder duidelijk en verkleint de onzekerheid doordat voor teveel elementen geen tijdsevolutie kan gegeven worden. Hierdoor kon het gedeelte rond puntelementen mee in rekening gebracht worden.

Voor de risicokaart huidige situatie dient vooral gewezen te worden op het feit dat sommige waarden toevallig hoog of laag kunnen zijn omwille van de keuze van de positionering van het grid. Een klein oppervlak met toevallig enkele grote waarden leidt tot een beeld waarbij de gemiddelde schade opvallend groot is in vergelijking met de omgeving. Wanneer een grid zou gekozen zijn dat 250 of 500 meter verschoven is, is het mogelijk dat deze situatie niet meer naar voor springt. Tenslotte wil het niet zeggen dat een cel met een risico gelijk aan 0 nooit kan overstromen. Statistisch gezien kan men niet oneindig interpoleren en de hydrologische meetreeksen zijn beperkt in lengte waardoor composiethydrogrammen maken met een zeer grote terugkeerperiode (bv. $T = 1000, 4000$ of zelfs $10\ 000$) weinig betekenis heeft.

Door de keuze van de data (bv. beschikbaarheid voor heel Vlaanderen) is het mogelijk dat lokale variaties niet allemaal naar voor komen. De kaart kan dus niet gebruikt worden om lokaal een exacte waarde van het risico te definiëren.

Verder is het aangewezen om in publicaties naar een breder publiek de getallen te veranderen door descriptieve termen. Dit vermijdt interpretatie op een niveau waarvoor de kaart niet werd gemaakt. Het zorgt er ook voor dat de relatie met de waterwegbeheerders in orde blijft. Er zijn momenteel geen normen voor de veiligheid van de Vlaamse dijken, zoals wel bestaat in Nederland, naar terugkeerperiode noch naar schade / risico.

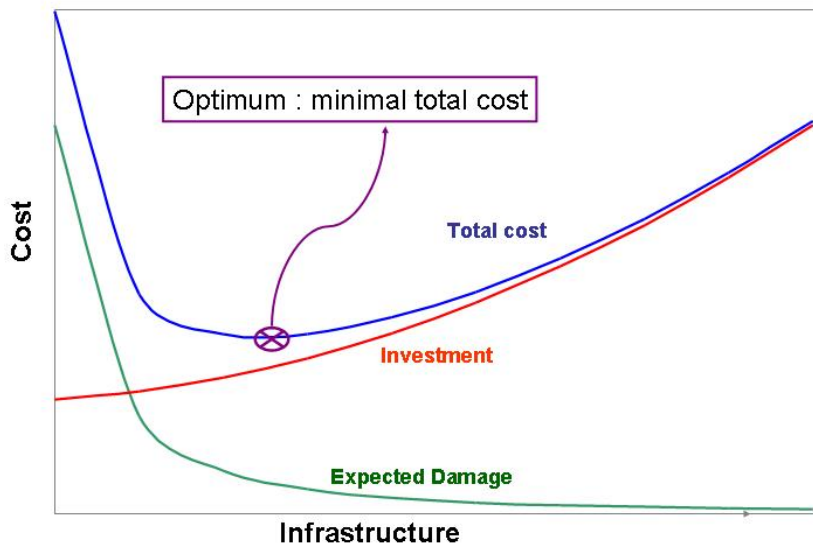


Fig. 9-1 Economisch optimum tussen investeringskost en vermeden schade

Een bepaling van het risico zoals gedefinieerd in deze studie is ook niet de enige parameter die bekeken moet worden wanneer ingrepen voorgesteld worden of maatregelen net niet genomen worden. Er zijn voor de bevaarbare waterlopen ook eisen qua toegankelijkheid en ook het behouden of herstellen van het natuurlijke karakter dient in overweging genomen te worden. Een uitgebreide kosten batenanalyse, waarvan deze risicobenadering een belangrijk, doch zeker niet het enige, deel van uitmaakt, moet meer inzicht verschaffen in de optimale set van maatregelen. Dit maatschappelijke optimum dient niet noodzakelijkerwijs gelijk te liggen met het optimum zoals aangegeven in figuur 9-1 waar enkel een afweging gemaakt wordt tussen risicodaling en de gemiddelde jaarlijkse kosten die de ingreep met zich mee brengt (bouw en onderhoud) bekeken over de verwachte levensduur van de constructie of ingreep.

Wat betreft de scenario's was het al eerder duidelijk dat er niet één type ingreep de beste oplossing is. Afhankelijk van de lokale situatie zullen bepaalde ingrepen meer of minder effect hebben op het risico. Wat de voorbije jaren meer en meer ingang vond, namelijk dat dijkverhogingen alleen ons risico niet sterk gingen reduceren, blijkt ook. Dijkverlagingen en ruimte voor de rivier kunnen het risico doen dalen door overstromingen gecontroleerd aan te pakken, precies zoals de intenties beschreven in de beleidsbrieven van de bevoegde ministers.

De scenario's die werden weerhouden zijn gefundeerd op realistische inschattingen qua zeespiegelrijzing, stijging in de bovenafvoeren en ontpoldering. Veel studies maken gebruik van arbitraire waarden voor stijging van de zeespiegel, ... In deze studie werd gekozen om geen overdreven situaties door te rekenen, maar de rekentijd te spenderen aan situaties met enige relevantie. Maar ook hier is en blijft het moeilijk om de onzekerheden rond het klimaat en de ontwikkeling van nieuwe waterbeheersingscapaciteit te kwantificeren in een exact percentage of bedrag van gestegen risico. De resultaten geven zeker een indicatie en kunnen onderling vergeleken worden, maar bij het gebruik van absolute cijfers blijft voorzichtigheid geboden.

Elementen waaraan bij verdere studie van toekomstige risico's zeker aandacht moet besteed worden zijn: aangepaste composiethydrogrammen, veranderingen in bodemgebruik, bresgevoeligheid, ...

In het licht van wijzigende randvoorwaarden, veranderingen in bodemgebruik en klimaatveranderingen (en hun invloed op topdebieten en debietvariatie over het jaar) zal nog duidelijker naar voor komen dat enkel harde maatregelen geen blijvend soelaas zullen brengen. Zeker niet iedere harde ingreep is overbodig of contraproductief, maar op bepaalde plaatsen zal dit gecombineerd moeten worden met andere maatregelen, zelfs met dijkverlagingen.

Ook niet-fysische maatregelen zoals bewustwording en waarschuwingssystemen zullen in de toekomst moeten bijdragen aan een vermindering van risico (en slachtoffers). Er zijn steeds meer mogelijkheden en alleen al omwille van communicatie kan de storm van 1953 of 1976 slechts beperkt gebruikt worden voor het kalibreren van waterstand-schade functies. Gelukkig maar zijn referentiegegevens voor Vlaanderen schaars: er zijn weinig echt grote gebeurtenissen om dergelijke data te verzamelen en in het verleden zijn er hoe dan ook weinig relevante gegevens verzameld voor een schade- en risicomethodologie. Dit achteraf reconstrueren is moeilijk. Als we kijken naar de inventarisatie van de ROG waarbij enkel moest aangegeven worden waar er water stond en waar niet, dan bleken achteraf grondige correcties noodzakelijk (bijvoorbeeld aan de hand van het hydrologisch gecorrigeerde DHM zoals gebeurd in 2005).

En dan is er ten slotte nog de rol van de verzekeringsmaatschappijen. Onze benadering overkoepelt ook publieke goederen, werkt met gemiddelde waarden voor een gebied of voor Vlaanderen, ... Er zijn dus redelijk wat verschillen tussen de uitbetaalde bedragen en het berekende risico. De vraag of overstromingen verplicht verzekeraar moeten zijn en op welke manier leeft al lang (Callebaut, 1996) en is sinds 1 maart 2006 dan ook verplicht opgenomen in elke woningverzekering. Welke invloed kleinschalige lokale maatregelen genomen door individuele burgers zullen hebben op het risico is niet volledig duidelijk. Wel blijkt dat in het Verenigd Koninkrijk, waar de private verzekeringen een veel grotere rol spelen bij tussenkomsten na overstromingen, de bewustwording groter is dan bij ons en dat veel meer mensen hun risico beperken door eenvoudige maatregelen.

De mate waarop deze laatste elementen meespelen, zijn niet vervat in de berekeningen in deze studie. Ze zijn ook uitermate moeilijk in te schatten en geven eens te meer aan dat de waarden relatief t.o.v. elkaar moeten beschouwd worden en minder aandacht gegeven moet worden aan het exacte getal. Alleen blijkt dat in de praktijk zeer moeilijk te worden als de gebruikte eenheid op een of andere manier gelinkt is aan euro's ...

10 Bibliografie

Avondtstondt J. & Avondtstondt W. (2003). *Handboek Schatten van Onroerende Goederen*, Academia Press.

Berlamont J., Willems P., Qvick A., Vaes G., Feyen J. & Christiaens K. (2000). *Algemene methodologie voor het modelleren van de waterafvoer in bevaarbare waterlopen in Vlaanderen*, KULeuven Laboratorium voor Hydraulica i.o.v. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Blum H. & Thorenz F. (2005) *COMRisk Subproject 9: Pilot Study Langeoog*, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Norden-Norderney, Interreg IIIB COMRisk: Common Strategies for Storm Flood Risk.

Boey I. (2003). *Wijzigingen doorgevoerd in versie WLH-okt2003 t.o.v. versie KUL-feb2003*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek

Briene M., Koppert S., Koopman A. & Verkennis A. (2002). *Financiële onderbouwing kengetallen hoogwaterschade*, NEI B.V. in opdracht van RWS-DWW.

Callebaut W. (1996). *Economische impact van wateroverlast door overstromingen*, Eindwerk tot het behalen van het diploma van Licentiaat in de Toegepaste Economische Wetenschappen, VUB, promotor: prof. dr. M. Grinwis.

De Nocker L. (2006). Multifunctionaliteit van overstromingsgebieden: wetenschappelijke bepaling van de impact van waterberging op natuur, bos en landbouw, Tussentijds rapport N°3 Opbouw van de kennistabellen ecologische & economische waardering, VITO, IBW, UA en UGent in opdracht van Aminal. (beperkte verspreiding)

De Rouck K. (2005). *Schade aan waterwingebieden*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

De Rouck K. & D'Haeseleer E. (s.d.). *Nota scenarioberekening overstromingsgebied Overboelare (LO)*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek. (in voorbereiding)

De Rouck K., Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph. & Mostaert F. (2004). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie: Aanvulling 3 Puntelementen*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/03/15.

De Rouck K., Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph. & Mostaert F. (2005). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen: Optimaliseren van de risicomethodologie – Actualiseren van waterbeheersingsplannen*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/04/20. (niet gepubliceerd)

Deschamps M., Michiels S., Van Eerdenbrugh K. & Viaene P. (2004). *Optimalisatie van de dimensionering van een uitwateringssluis ter hoogte van het Dederbellebroek*, VUB

Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde i.s.m. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Deschamps M. & Vanneuville W. (2004). *Risicoberekening van de invoering van een uitwateringsschuif ter hoogte van het Denderbellebroek*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

D'Haeseleer E., Deschamps M. & Maeghe K. (2004). *Rapport IJzermodel*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

D'Haeseleer E. & Vanneuville W. (2006). *Effecten van pompen op IJzer in Nieuwpoort en scenario's Lokanaal*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek in opdracht van W&Z Afdeling Bovenschelde. (Voorlopige versie)

D'Haeseleer E., Vereecken H., Maeghe K. & Mostaert F. (2002). *Onderzoek naar de effecten van het project "levende Grensmaas"*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

d'Ieteren E., Hecq W., De Sutter R. & Leroy D. (2004). *Effecten van klimaatverandering in België – Potentiële gevolgen in de stroombeekken en aan de kust*. Studie uitgevoerd door CESE-ULB en ECOLAS i.o.v. KINT/IRGT. 28pp. www.irgt-kint.be

Fobe F. & Van Looveren R. (2004). *Opmaak van hydrologische en hydraulische modellen voor de Bovenschelde, het kanaal Gent-Terneuzen en het kanaal Gent-Oostende*, IMDC i.s.m. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Fobe F., Hansen F. & Van Looveren R. (2004). *Opmaak van numeriek hydrologische en hydraulische modellen van het Leiebekken*, IMDC i.s.m. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Gellens D. & Roulin E. (1996). *Global climate change. Possible evolution of the hydrological cycle and water resources in Belgium. Sensitivity study of the hydrological cycle – Impact of the climate change induced by the doubling of the CO₂ atmospheric concentration. Final report of the "Global Change" project GC/34/022, KMI, Brussel.*

Gellens D. & Roulin E. (1998). *Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios*. *Journal of Hydrology*, 210, p.242-258.

Gellens D. (2002). *Combining regional approach and data extension procedure for assessing GEV distribution of extreme precipitation in Belgium*. *Journal of Hydrology*, 268, p.113-126.

Gomez M.F.V. (2005). *Comparison of river hydrodynamic models in a quasi two-dimensional approach*, Master dissertation in partial fulfilment for the requirements for the degree of Master of Science in Water Resources Engineering, KULeuven, promotor prof. P. Willems.

Grigg N.S., Botham L.H., Rice L., Shoemaker W.J. & Tucker L.S. (1976). *Urban drainage and flood control projects – economic, legal and financial aspects*, In: *Hydrology Papers*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, nr. 85.

GWEA (2004). *Wind Energy 2004*, German Wind Energy Association.

- Hadley Centre (2005). *Climate change, rivers and rainfall*. Met Office, UK. 16pp.
- IPCC (2001a). Third Assessment Report – Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers. 34pp. www.ipcc.ch
- IPCC (2001b). Third Assessment Report – Climate Change 2001: The Scientific Basis. 881pp. www.ipcc.ch
- IPCC (2001c). Third Assessment Report – Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. 1032pp. www.ipcc.ch
- Jonkman B. & Cappendijk P. (2006). *Veiligheid Nederland in Kaart – Inschatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat DWW.
- KINT (1999). *Hoogwaterstanden en overstromingen in België – Een socio-economische benadering: evaluatie van de tastbare kosten veroorzaakt door de overstromingen van januari 1995*, Koninklijk Instituut voor het Duurzame Beheer van de Natuurlijke Rijkdommen en de Bevordering van Schone Technologie.
- KINT (2001). *Hoogwaterstanden en overstromingen in België – Een evaluatie van de niet-tastbare kosten*, Koninklijk Instituut voor het Duurzame Beheer van de Natuurlijke Rijkdommen en de Bevordering van Schone Technologie.
- Kok M., Huizinga H.J., Meijerink T.C., Vrouwenvelder A.C.W.M. & Vrisou van Eck N. (2002). *Standaardmethode 2002 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen*, HKV LIJN IN WATER en TNO Bouw, Opdrachtgever: Dienst Weg- en Waterbouwkunde.
- Maeghe K. (2005). *Overstromingen ten gevolge van bresvorming in de winterdijk van de Gemeenschappelijke Maas ter hoogte van het Mijnverzakkingsgebied*, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek in opdracht van NV De Scheepvaart.
- Meyvis L, Graré W. & Dauwe W. (2003). *Actualisatie van het Sigmaphan*, *Tijdschrift Water*, september 2003.
- MIRA (2000). *Baten van milieumaatregelen en milieubeleid*, MIRA-S2000 Gevolgen voor economie, met medewerking van SERV, VITO, K.U.Leuven Centrum voor economische studieën.
- MIRA (2005) *Milieurapport Vlaanderen - Achtergronddocument 2005 – Klimaatverandering*. Vlaamse Milieumaatschappij. www.milieurapport.be
- MKBA (s.d.). *Maatschappelijke Kosten Batenanalyse voor de actualisatie van het Sigmaphan: Conclusies op hoofdlijnen*, Tijdelijke vereniging Resource Analysis, IMDC, Grontmij en Ecolas en Vito in opdracht van Afdeling Zeeschelde.
- NGI (s.d.). *Structuur en codering van de gegevens top10v-gis en top50v-gis*, Nationaal Geografisch Instituut.

N.N. (1993). *CORINE Land Cover – Guide Technique*, Commissions des communautés européennes - Direction Générale – Environnement, sécurité nucléaire et protection civile, EUR 12585.

Piontkowitz T. (2004). *COMRisk Subproject 7: Risk Assessment for the Wadden Sea*, Kystdirektoratet (Danish Coastal Authority), Interreg IIIB COMRisk: Common Strategies for Storm Flood Risk.

Reese S., Markau H.-J. & Sterr, H. (2003). *MERK: Mikroskalige Evaluation der Risiken in überflutungsgefährdeten Küstenniederungen*, Forschungsprojekt im Auftrag des BMBF und MLR (unveröffentlichter Endbericht).

Schoeters K. & Vanhaecke P. (1999). *Studie “Kader voor rapportering van “Climate Change” effecten in België: uitwerking en toepassing”*. Eindverslag in opdracht van de Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden.

Smets S. (2001). Leveren van numerieke hydrologische en hydraulische modelleringssoftware, met de implementatie van het Demerbekken - Deel III: hydrologische modellering, IMDC i.s.m. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Van Damme, M., Uitdewilligen, D., Cauwenberghs, K., Leemans, I., Peeters, B., Van Daele, T., Vandeveld, D., Vanneuville, W., Van Eerdenbrugh, K., Taverniers, E. en Degans, H., 2003, Verstoring van de waterhuishouding, In: MIRA, Milieu- en Natuurrapport Vlaanderen| thema's, Lannoo nv, p.229-239.

Van der Doef M.R., Verbruggen R. & van Manen S. (2001). *Pilot Case Overstromingsrisico – Deel V: Berekening van schade en aantal slachtoffers*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst.

Van der Sande C. (2001). *River Flood Damage Assessment using IKONOS Imagery*, i.s.m. European Commission, JRC, Space Applications Institute, EGEO Unit, Natural Hazards Project, Flood Damage and Flood Hazard Assessment, Ispra (Italy).

Van Looveren R., Smets S. & Pereira F. (2003). Actualisatie van het Sigmaplan – deelopdracht 3: Hydrodynamisch model volume 2a – Hydrodynamisch model Scheldebekken, IMDC i.o.v. W&Z Afdeling Zeeschelde.

Van Manen S. (2001). *Pilot Case Overstromingsrisico – Deel VI: Eindrapport*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Bouwdienst.

Vanneuville W. (2003). *Maximale schade aan akkerbouwpercelen*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Vanneuville W. & Maeghe K. (2005). Overstromingen ten gevolge van bresvorming in de winterdijk van de Gemeenschappelijke Maas ter hoogte van het Mijnverzakkingsgebied: Effecten van een ontwateringsbres en de aanleg van een geul van de ontwateringsbres naar de vallei van de Genootsbeek, Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek in opdracht van NV De Scheepvaart.

Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph., Mostaert F. & Bogaert P. (2002). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/01/15.

Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph. & Mostaert F. (2003a). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie: Aanvullig 1 Slachtoffers*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/01/15.

Vanneuville W., Maeghe K., De Maeyer Ph. & Mostaert F. (2003b). *Risicobenadering bij Waterbeheersingsplannen – Methodologie en case studie: Aanvullig 2 Lijnelementen*, UGent Vakgroep Geografie in samenwerking met Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek, Eindrapport inschrijving op bestek 16EB/01/15.

Van Ypersele J. & Marbaix P. (2004). *Impact van de klimaatverandering in België*. Greenpeace, Brussel, 44pp.

Vrisou van Eck N., Kok M. & Vrouwenvelder A.C.W.M. (1999). *Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen – deel 2: Achtergronden*, HKV LIJN IN WATER en TNO Bouw in opdracht van RWS-DWW.

Vrouwenvelder A.C.W.M. & Vrijling J.K. (1995). *Normstelling acceptabel risico*, TNO Bouw.

Willems P. & Timbe L. (2004). *Overzicht van aanpassingen aan MIKE11-Dendermodel sinds versie december 2002*, KULeuven Laboratorium voor Hydraulica i.o.v. Afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch Onderzoek.

Willems P., Timbe L., Popa D. & Berlamont J. (2002). *MIKE11 Dender Model*, KULeuven Laboratorium voor Hydraulica.

Bijlage A - Definitie klassen bodemgebruik

Water

Alle wateroppervlakken; zowel de natuurlijke als de kunstmatige, alsook de gebieden langsheen tijrivieren die bij normale hoogwaterstanden onderlopen (slikken).

Bebouwing

- Bebouwing I

Kernstad bebouwing, ruimte gestructureerd door gebouwen. Artificiële oppervlakken bedekken de volledige ondergrond, naakte bodem en oppervlakken met vegetatie komen niet voor. Sporadisch voorkomen van lineaire vegetatie mogelijk.

- Bebouwing II

De ruimte wordt gestructureerd door gebouwen en artificiële oppervlakken nemen het overgrote deel van de oppervlakte in. Verspreid voorkomen van kleine oppervlakken naakte bodem en vegetatie. De oppervlakken in deze klasse vormen een overgangsgebied tussen de kernstad bebouwing (Bebouwing I) en de discontinue bebouwing (Bebouwing III).

- Bebouwing III

Lintbebouwing en discontinue bebouwing. Gebouwen en artificiële oppervlakken samen met hun aanhorigheden (tuinen, autostaanplaatsen ...) nemen het grootste deel van de oppervlakte in. Daarnaast nemen vegetatie en naakte oppervlakken een niet onbelangrijk deel van de oppervlakte in, maar is hun voorkomen versnipperd over vele kleine tot zeer kleine oppervlakken.

Industrie

- Industrie I

Deze zones worden gekenmerkt door de aanwezigheid van bedrijfsgebouwen en installaties. De bodem is volledig kunstmatig bedekt. Niet-lineaire vegetatie komt niet voor.

- Industrie II

Deze zone wordt gekenmerkt door zijn ligging nabij bedrijven (Industrie I), maar bestaat uit weinig bebouwde verharde delen (parkings, waterreservoirs ...). Ook niet verharde delen, omgeven door industrie (Industrie I) worden hier toe gerekend. Kleine oppervlakken met vegetatie kunnen voorkomen.

Luchthaven

- Luchthaven I

Alle gebouwen en infrastructuur die horen bij een vliegveld. De drie grootste Vlaamse luchthavens (Zaventem, Deurne en Oostende) zijn hierin niet begrepen, maar zijn meegenomen als discrete puntelementen.

- Luchthaven II

De oppervlakken behorend bij de vliegvelden die geen gebouwen, installaties of vliegend materieel bevatten en / of onverhard zijn.

Infrastructuur

Allerhande gebouwen en installaties niet begrepen onder een van de voorgaande klassen. Het gaat hierbij steeds om oppervlakken en niet om lijninfrastructuren. Ook de installaties die zich bevinden op recreatie (zie verder) worden hierin begrepen.

Recreatie

Gebieden bestemd voor allerlei vormen van recreatie. De gebouwen en grotere installaties die zich op deze terreinen bevinden behoren niet tot deze klasse, maar zitten in de klasse Infrastructuur. Parken vallen wel onder de klasse recreatie.

Akkerland

Gecultiveerde oppervlakken, regelmatig bewerkt en in regel (maar dit is geen determinerend kenmerk) niet het hele jaar door begroeid. Het gaat hier om graangewassen, knolgewassen, groeten, fruit en veevoedergewassen. Ook bloemenvelden en boomkwekerijen zijn hieronder begrepen. De vegetatie staat in volle grond.

Weiland

Oppervlakken met een dichte begroeiing van gras en eventueel verschillende bloemplanten, niet behorend tot de wisselbouw. De functie kan zowel grasland als hooiland zijn.

Natuur

Natuurlijke, semi-natuurlijke tot verwilderde vegetatie zonder specifiek gebruik (nooit een economische functie). Het gaat hierbij om heide, struwelen, ruigtes, moerassen ... In regel zijn het gebieden met een lage productiviteit en vaak verstoorde gebieden. De vegetatie is hoofdzakelijk gesloten en laag met verspreid voorkomen van bomen. De afbakening gebeurt op basis van de bodembezetting en bij het toekennen van een gebied aan de klasse Natuur wordt dus geen rekening gehouden met een juridische status zoals VEN-gebied, habitat gebied, vogelrichtlijngebieden enz.

Bos

Oppervlakken waarvan de vegetatie hoofdzakelijk bestaat uit bomen, maar verder ook uit kreupelhout en struiken. Het gaat hierbij om alle bossen die publiek eigendom zijn, die voor het publiek toegankelijk zijn of een economische functie vervullen.

Bijlage B - Gemiddelde verkoopswaarde woningen 2004

Benaming	Gemiddelde waarde woningen 2004 (verkoopprijs, in €)
AARTSELAAR	105 400
ANTWERPEN	102 700
BOECHOUT	151 200
BOOM	105 400
BORSBEEK	151 200
BRASSCHAAT	164 800
BRECHT	177 600
EDEGEM	151 200
ESSEN	177 600
HEMIKSEM	105 400
HOVE	151 200
KALMTHOUT	177 600
KAPELLEN	164 800
KONTICH	151 200
LINT	151 200
MORTSEL	151 200
NIEL	105 400
RANST	177 600
RUMST	105 400
SCHELLE	105 400
SCHILDE	164 800
SCHOTEN	164 800
STABROEK	164 800
WIJNEGEM	164 800
WOMMELGEM	151 200
WUUSTWEZEL	177 600
ZANDHOVEN	177 600
ZOERSEL	177 600
ZWIJNDRECHT	105 400
MALLE	177 600
BERLAAR	112 300
BONHEIDEN	133 000
BORNEM	110 900
DUFFEL	112 300
HEIST-OP-DEN-BERG	133 000
LIER	93 700
MECHELEN	112 300
NIJLEN	112 300
PUTTE	133 000
PUURS	110 900
SINT-AMANDS	110 900
SINT-KATELIJNE-WAVER	133 000
WILLEBROEK	110 900
ARENDONK	156 000
BAARLE-HERTOG	156 000
BALEN	134 000

BEERSE	156 000
DESSEL	134 000
GEEL	134 000
GROBBENDONK	127 600
HERENTALS	127 600
HERENTHOUT	127 600
HERSELT	127 600
HOOGSTRATEN	156 000
HULSHOUT	127 600
KASTERLEE	134 000
LILLE	156 000
MEERHOUT	134 000
MERKSPLAS	156 000
MOL	134 000
OLEN	127 600
OUD-TURNHOUT	156 000
RAVELS	156 000
RETIE	134 000
RIJKEVORSEL	156 000
TURNHOUT	156 000
VORSELAAR	127 600
VOSELAAR	156 000
WESTERLO	127 600
LAAKDAL	134 000
ASSE	133 900
BEERSEL	203 800
BEVER	126 400
DILBEEK	154 400
GALMAARDEN	126 400
GOOIK	126 400
GRIMBERGEN	155 200
HALLE	126 400
HERNE	126 400
HOEILAART	203 800
KAMPENHOUT	155 200
KAPELLE-OP-DEN-BOS	155 200
LIEDEKERKE	133 900
LONDERZEEL	155 200
MACHELEN	147 300
MEISE	155 200
MERCHTEM	133 900
OPWIJK	133 900
OVERIJSE	203 800
PEPINGEN	126 400
SINT-PIETERS-LEEUV	154 400
STEENOKKERZEEL	155 200
TERNAT	133 900
VILVOORDE	147 300
ZAVENTEM	147 300
ZEMST	155 200
ROOSDAAL	126 400
DROGENBOS	154 400
KRAAINEM	147 300
LINKEBEEK	203 800

SINT-GENESIUS-RODE	203 800
WEMMEL	133 900
WEZEMBEEK-OPPEM	147 300
LENNIK	126 400
AFFLIGEM	133 900
AARSCHOT	116 600
BEGIJNENDIJK	160 300
BEKKEVOORT	116 600
BERTEM	175 000
BIERBEEK	160 300
BOORTMEERBEEK	175 000
BOUTERSEM	94 200
DIEST	116 600
GEETBETS	94 200
HAACHT	175 000
HERENT	175 000
HOEGAARDEN	94 200
HOLSBEEK	160 300
HULDENBERG	160 300
KEERBERGEN	175 000
KORTENAKEN	116 600
KORTENBERG	175 000
LANDEN	94 200
LEUVEN	139 400
LUBBEEK	160 300
OUD-HEVERLEE	160 300
ROTSELAAR	160 300
TERVUREN	175 000
TIENEN	94 200
TREMELO	160 300
ZOUTLEEUEW	94 200
LINTER	94 200
SCHERPENHEUVEL- ZICHEM	116 600
TIELT-WINGE	116 600
GLABBEEK	116 600
BEERNEM	133 200
BLANKENBERGE	103 800
BRUGGE	122 700
DAMME	133 200
JABBEKE	133 200
OOSTKAMP	133 200
TORHOUT	133 200
ZEDELGEM	133 200
ZUIENKERKE	133 200
KNOKKE-HEIST	232 900
DIKSMUIDE	90 700
HOUTHULST	90 700
KOEKELARE	90 700
KORTEMARK	90 700
LO-RENINGE	90 700
IEPER	87 600
MESEN	87 600
POPERINGE	87 600
WERVIK	87 600

ZONNEBEKE	87 600
HEUVELLAND	87 600
LANGEMARK- POELKAPELLE	87 600
VLETEREN	87 600
ANZEGEM	104 400
AVELGEM	104 400
DEERLIJK	104 800
HARELBEKE	104 800
KORTRIJK	94 100
KUURNE	104 800
LENDELEDE	104 800
MENEN	85 500
WAREGEM	104 800
WEVELGEM	85 500
ZWEVEGEM	104 400
SPIERE-HELKIJN	104 400
BREDENE	116 400
GISTEL	111 700
ICHTEGEM	111 700
MIDDELKERKE	107 900
OOSTENDE	100 500
OUDENBURG	111 700
DE HAAN	116 400
HOOGLEDE	94 600
INGELMUNSTER	94 600
IZEGEM	94 600
LEDEGEM	94 600
LICHTERVELDE	94 600
MOORSLEDE	94 600
ROESELARE	100 500
STADEN	94 600
DENTERGEM	101 500
MEULEBEKE	101 500
OOSTROZEBEKE	101 500
PITTEM	101 500
RUISELEDE	101 500
TIELT	101 500
WIELSBEKE	101 500
WINGENE	101 500
ARDOOIE	101 500
ALVERINGEM	86 900
DE PANNE	151 600
KOKSIJDE	151 600
NIEUWPOORT	124 300
VEURNE	86 900
AALST	89 000
DENDERLEEUV	99 300
GERAARDSBERGEN	94 800
HAALTERT	109 600
HERZELE	94 800
LEDE	109 600
NINOVE	99 300
SINT-LIEVENS-HOUTEM	109 600
ZOTTEGEM	94 800

ERPE-MERE	109 600
BERLARE	103 100
BUGGENHOUT	103 400
DENDERMONDE	103 400
HAMME	103 100
LAARNE	103 100
LEBBEKE	103 400
WAASMUNSTER	103 100
WETTEREN	103 100
WICHELEN	103 100
ZELE	103 100
ASSENEDE	97 200
EKLO	97 200
KAPRIJKE	97 200
MALDEGEM	97 200
SINT-LAUREINS	97 200
ZELZATE	97 200
AALTER	130 400
DEINZE	124 400
DE PINTE	136 100
DESTELBERGEN	136 100
EVERGEM	122 600
GAVERE	124 400
GENT	94 800
KNESSELARE	130 400
LOCHRISTI	122 600
LOVENDEGEM	130 400
MELLE	136 100
MERELBEKE	136 100
MOERBEKE	122 600
NAZARETH	124 400
NEVELE	130 400
OOSTERZELE	124 400
SINT-MARTENS-LATEM	136 100
WAARSCHOOT	130 400
WACHTEBEKE	122 600
ZOMERGEM	130 400
ZULTE	124 400
KRUISSHOUTEM	115 000
OUDENAARDE	115 000
RONSE	79 000
ZINGEM	115 000
BRAKEL	79 000
KLUISBERGEN	79 000
WORTEGEM-PETEGEM	115 000
HOREBEKE	115 000
LIERDE	79 000
MAARKEDAL	79 000
ZWALM	115 000
BEVEREN	107 700
KRUIBEKE	107 700
LOKEREN	107 800
SINT-GILLIS-WAAS	107 800
SINT-NIKLAAS	101 200

STEKENE	107 800
TEMSE	107 700
AS	125 900
BERINGEN	114 000
DIEPENBEEK	125 900
GENK	125 900
GINGELOM	99 100
HALEN	99 100
HASSELT	123 500
HERK-DE-STAD	99 100
LEOPOLDSBURG	114 000
LUMMEN	99 100
NIEUWERKERKEN	99 100
OPGLABBEEK	125 900
SINT-TRUIDEN	99 100
TESSENDERLO	114 000
ZONHOVEN	125 900
ZUTENDAAL	125 900
HAM	114 000
HEUSDEN-ZOLDER	114 000
BOCHOLT	145 300
BREE	145 300
KINROOI	145 300
LOMMEL	156 500
MAASEIK	128 800
NEERPELT	156 500
OVERPELT	156 500
PEER	145 300
HAMONT-ACHEL	145 300
HECHTEL-EKSEL	156 500
HOUTHALEN- HELCHTEREN	128 800
MEEUWEN-GRUITRODE	128 800
DILSEN-STOKKEM	128 800
ALKEN	100 500
BILZEN	124 000
BORGLOON	100 500
HEERS	100 500
HERSTAPPE	100 500
HOESELT	124 000
KORTESSEM	100 500
LANAKEN	124 000
RIEMST	100 500
TONGEREN	100 500
WELLEN	100 500
MAASMECHELEN	124 000
VOEREN	100 500

Bijlage C - Maximale schade aan akkerbouwpercelen

De inschatting van deze waarden is op basis van gegevens van VLM en CLECEA. Er wordt vertrokken van de gegevens:

- prijs per opbrengst voor verschillende gewassen;
- totale opbrengst in Vlaanderen voor verschillende gewassen;
- totale oppervlakte in Vlaanderen ingenomen door verschillende gewassen;
- oppervlakte voor verschillende gewassen in een bepaald gebied (op basis van
- Landbouwgebruikspercelen VLM).

Uit deze gegevens wordt een prijs per oppervlakte afgeleid. Aangezien de schade- en risicokaarten opgemaakt worden per hydrografisch bekken is een maximale schade per bekken en per landbouwgebruikszone⁴⁰. In het Denderbekken liggen bijvoorbeeld 3 landbouwzones: leemstreek, zandleemstreek en Vlaamse Zandstreek.

In totaal worden voor Vlaanderen 39 zones onderscheiden. Enkel teelten waarvoor alle gegevens die hierboven opgesomd zijn voorhanden zijn, zijn weerhouden voor het berekenen van de gemiddelde prijs in een gebied. De maximale schade (bij overstroming met zoet water) per hectare is weergegeven in tabel B-1, de ligging van de zones in Figuur B-1.

Gebied	prijs/oppervlakte (€/ha)	Gebied	prijs/oppervlakte (€/ha)
012	2036	065	2728
013	2272	066	2915
014	5882	074	10567
015	4465	075	3579
022	1969	076	2027
023	1826	081	12 764
024	5863	084	8841
025	14 003	085	2490
032	2590	086	2226
034	4592	091	6276
035	6108	094	3200
041	6939	095	3615
042	2666	096	3876
044	12 629	101	7925
045	6675	104	19 054
054	9728	111	8277
055	8274	115	5645
056	3153	116	3164
057	2444	117	4772
064	2839	gemiddelde voor Vlaanderen	4702

⁴⁰ Aangezien gewerkt is met de gegevens uit Vanneuville (2003) is in deze waarden nog geen rekening gehouden met de nieuwe grens tussen de bekkens van Bovenschelde en Benedenschelde.

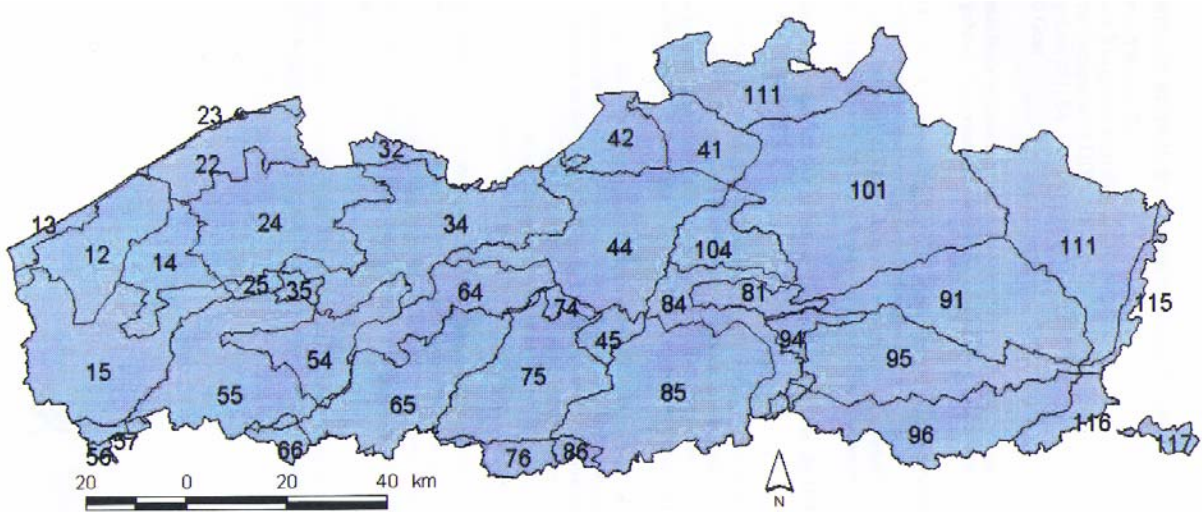


Fig. B-1: Weergave van de verschillende deelgebieden waarvoor een gemiddelde waarde per hectare landbouwgewassen bepaald is.

Bijlage D - Combineren van gegevens NGI tot bodembezettingsklassen

	attribuut	code	Omschrijving	
wegen	Type (ro)		Type van de weg	
		RO111	Wegas (voor voertuigen)	
		RO120	Aardeweg (voor voertuigen)	
		RO210	Pad (voor fietsers en voetgangers)	
		RO230	Voetveer (voor fietsers en voetgangers)	
		RO240	Voetgangerstunnel (voor fietsers en voetgangers)	
	Bank (bnk)			Aanwezigheid van taluds of wallen langsheen de weg (2 karakters waarvan het eerste het talud links van de as en het tweede het talud rechts van de as beschrijft)
		1		Ophoging
		2		Afgraving
		3		Dijk, wal
		4		Geen talud
		-8		Niet van toepassing
		-9		Onbekend
	Bridge category (brc)			Soort brug
		-8		onbekend
		10		Toegankelijk voor voertuigen
		20		Enkel Toegankelijk voor voetgangers
	Lane Track Number (ltn)			Aantal rijstroken
				Werkelijke nummer
		-8		Niet van toepassing
		-9		Onbekend

	attribuut	code	Omschrijving	
	Median Category (med)		Al dan niet voorkomen van een middenberm	
		-9	onbekend	
		1	Met middenberm	
		2	Zonder middenberm	
	Use (use)			Soort weg
		10		Autosnelweg
		11		Verkeerswisselaar
		21		Primair nationale weg
		22		Secondair nationale weg
		31		Verbindingsweg
		32		Plaatselijke weg
		50		Plattelandsweg
	Width (wid)			Breedte van de weg
		10		0 – 3,5 meter breed
		20		3,5 – 5 meter breed
		30		5 – 7 meter breed
		40		Meer dan 7 meter breed
		-9		Onbekend
	Spoorwegen	Lane Track Number (ltn)		Aantal sporen
			1	Enkelspoor
			9	Meervoudig spoor
Railroad Power Source (rps)				Geeft aan of de sporen al dan niet geëlectrificeerd zijn
		1		geëlectrificeerd
		2		Niet-geëlectrificeer0064
Use (use)				Type spoorlijn of kabelspoor

	attribuut	code	Omschrijving
		10	Hogesnelheidslijn
		21	Spoor NMBS
		22	Garagespoor
		23	Toeristisch of industrieel spoor
		30	Smalspoor

Bijlage E - Codering bodemgebruikkaarten

Code	Klasse	Subklasse
0	Achtergrond	
1	Water	
10	Bebouwing	
11		Bebouwing I
12		Bebouwing II
13		Bebouwing III
20	Industrie	
21		Industrie I
22		Industrie II
30	Infrastructuur	
40	Luchthaven / Vliegveld	
41		Luchthaven I
42		Luchthaven II
50	Recreatie	
61	Landbouw	
71	Weiland	
80	Natuur	
90	Bos	
	Voor de lijnelementen wordt verwezen naar de volgende tabel	
210	Ziekenhuis	
211	Stadhuis / gemeentehuis	
212	Brandweerkazerne	

Code	Klasse	Subklasse
213	Politiekazerne	
214	Gevangenis	
220	Benzinestation	
221	Treinstation	
2211		Groot treinstation
2212		Middelgroot treinstation
2213		Klein treinstation / Opstapplaats
222	Winkelcentrum	
223	Museum	
224	Zoo	
225	Pretpark	
230	Kerk	
231	Abdij	
233	Klooster	
240	Molen	
241	Windturbine	
250	Schoolgebouw	
251	Rusthuis	
252	Kasteel	
260	Elektriciteitscentrale	
261	Zendinstallatie	
270	Waterwingebied	
280	Metrostation	
281	Ondergrondse parkeergarage	

	attribuut	Originele code	Nieuwe waarde	Opmerkingen
Wegen: eerste cijfer	med	-9	2	
		1	1	
		2	2	
Wegen: tweede cijfer	brc	-8	3	
		10	1	
		20	2	
Wegen: derde cijfer	ltn	-9	1	Idem -8
		2	2	Werkelijke nummer
		4	4	Werkelijke nummer
Wegen: vierde cijfer	use	-8	5	
		10	1	Idem 11
		20	2	Idem 21 en 22
		30	3	Idem 31 en 32
		50	5	
Wegen: vijfde cijfer	wid	-9	1	
		11	2	
		21	3	
		31	4	
Wegen: zesde cijfer	ro	10	1	RO111
		12	2	RO120
		21	3	RO210
		23	4	RO230
		24	5	RO240
Wegen: zevende cijfer	Bnk	-8	1	

	attribuut	Originele code	Nieuwe waarde	Opmerkingen
		11	3	
		12	3	
		13	4	
		14	2	
		21	3	
		22	3	
		23	4	
		24	2	
		31	4	
		32	4	
		33	5	
		34	3	
		41	2	
		42	2	
		43	3	
		44	1	
Spoorwegen: eerste cijfer	use	10	1	
		andere	2	21, 22, 23, 30
Spoorwegen: tweede cijfer	rps	1	1	
		2	2	
Spoorwegen: derde cijfer	ltn	1	1	
		9	2	