

Standaardmethode Schade aan LNC-waarden als gevolg van overstromingen

Standaardmethode Schade aan LNC-waarden als gevolg van overstromingen

Methode voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen voor de aspecten opgaande begroeiing, vegetatie, aquatische ecosystemen en historische bouwkunde

W. Nieuwenhuizen

H.P. Wolfert

L.W.G. Higler

M. Dijkman (Geodan IT)

H.J. Huizinga (HKV LIJN IN WATER)

J. Kopinga

A. Makaske

B.S.J. Nijhof

A.F.M. Olsthoorn

J.H.M. Wösten

Alterra rapport 709

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2003

REFERAAT

Nieuwenhuizen, W., H.P. Wolfert, L.W.G. Higler, M. Dijkman, H.J. Huizinga, J. Kopinga, A. Makaske, B.S.J. Nijhof, A.F.M. Olsthoorn, J.H.M. Wösten 2003. *Standaardmethode Schade aan LNC-waarden als gevolg van overstromingen; methode voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen voor de aspecten opgaande begroeiing, vegetatie, aquatische ecosystemen en historische bouwkunde*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 709. 78 blz. 5 fig.; 13 tab.; 86 ref.

Methode voor het bepalen van schade aan landschaps-, natuur-, en cultuurhistorische waarden door overstroming van dijkkringgebieden, voor het Hoogwater Informatie Systeem van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde. Voor vier aspecten zijn op basis van expert-kennis schadecategorieën onderscheiden, waarvoor schadefuncties zijn opgesteld. De schade is vooral afhankelijk van de waterdiepte, maar ook van het zoutgehalte van het water en van de duur van de overstroming. In een prototype van de HIS-LNC-module zijn de schadefuncties gekoppeld aan ruimtelijke gegevens over de waterdiepte tijdens overstroming en aan databestanden van de aspecten. Voor twee dijkkringgebieden is voor overstroming door zoet en door zout water de schade bepaald. Inzicht in de verschillen tussen gebieden is relevant voor keuze's ten aanzien van dijkonderhoud en veiligheidsniveau's.

Trefwoorden: dijkkring, LNC-waarden, overstroming, veiligheid, Nederland

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door contact op te nemen met S.R. Holterman van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde te Delft: s.r.holterman@dw.w.rws.minvenw.nl

© 2003 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra en de DWV.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Inhoud	5
Woord vooraf	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Probleem en doelstelling	9
1.3 Afbakening	10
1.4 Opzet van het rapport	11
2 LNC-waarden	13
2.1 Aspecten van LNC-waarden	13
2.2 Verkenning van schade en databestanden	14
2.3 Prioritering van aspecten	17
3 Schade en schadefuncties	19
3.1 Systematiek	19
3.2 Opgaande begroeiing	19
3.3 Vegetatie	27
3.4 Zoetwaterecosystemen	34
3.5 Historische bouwkunde	37
4 Prototype HIS-LNC Module	43
4.1 Algemene opzet	43
4.2 Data	44
4.3 Schadeberekening	45
4.4 Aggregatie van schadecategorieën	47
5 Toepassing in overstromingsscenario's	49
5.1 Scenarios en dijkkringgebieden	49
5.2 Schade aan LNC-waarden	49
6 Conclusies en aanbevelingen	53
Literatuur	55

Bijlagen

1. Erosie en sedimentatie bij overstroming van dijkkringgebieden	61
2. Inschatting extra economische landbouwschade bij overstroming van zout in plaats van zoet water	69
3. Technische uitwerking schadefuncties HIS-LNC	77

Woord vooraf

Het in dit rapport beschreven onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) van Rijkswaterstaat, in het kader van het project 'Overstromingsrisico's: de Veiligheid van Nederland in Kaart (VNK)'. Van de zijde van de DWW is het project begeleid door S.R. Holterman en M. Kok.

De opdracht is uitgevoerd door Alterra, in samenwerking met HKV LJN IN WATER en Geodan IT. Projectmedewerkers van Alterra waren: L.W.G. Higler (coördinatie en aquatische ecosystemen), J. Kopinga (opgaande begroeiing), A. Makaske (slibsedimentatie), W. Nieuwenhuizen (coördinatie en technische implementatie), B.S.J. Nijhof (vegetatie), A.F.M. Olsthoorn (opgaande begroeiing) en H.P. Wolfert (projectleiding). Bij HKV LJN IN WATER is de technische implementatie verzorgd door H.J. Huizinga, ondersteund door M. Dijkman van Geodan IT.

Inzicht in de gevolgen van overstroming voor het aspect historische bouwkunde is verkregen door een interview met M.W.J. van Rooden, voorheen werkzaam bij de Rijksdienst voor Monumentenzorg (RDMZ). H. de Groot van de RDMZ was behulpzaam bij het verkrijgen van gegevens over historische monumenten. K. Groen van FLORON heeft de gegevens over vegetatie geleverd. Een eerder geschreven advies van J.H.M. Wösten over economische landbouwschade als gevolg van overstroming met zout water is als bijlage opgenomen.

Als aanvulling op dit rapport zijn ook verschenen:

Dijkman, M., Janssen, P., Huizinga, J., 2003. HIS-LNC module prototype: systeemdokumentatie. Rapport, HKV LJN IN WATER, Lelystad / Geodan IT, Amsterdam.

Huizinga, H.J., Dijkman, M., Meijerink, T.C., Nieuwenhuizen, W., 2003. HIS-LNC module prototype: gebruikershandleiding. Rapport, HKV LJN IN WATER, Lelystad / Geodan IT, Amsterdam / Alterra, Wageningen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Verandering van het klimaat leidt naar verwachting tot een toename van de belasting op de dijken en een grotere kans op overstromingen. Tegelijkertijd zullen de mogelijke gevolgen van overstromingen toenemen, als gevolg van de bevolkingsgroei en economische ontwikkelingen. De overheid is zich ervan bewust dat de samenleving een adequaat optreden bij (dreigende) overstromingen verwacht en heeft er daarom belang bij de overstromingsrisico's te kennen. Het Directoraat Generaal Water laat onder andere een Hoogwater Informatie Systeem (HIS) ontwikkelen dat zowel tijdens als in voorbereiding op hoogwater snel goede informatie kan leveren over de toestand van waterkeringen, de effecten van een doorbraak en de veiligheid van de bevolking (www.hisinfo.nl).

Naar aanleiding van een rapport van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen over een nieuwe methode voor de berekening van overstromingskansen (TAW, 2000), heeft de staatssecretaris van Verkeer & Waterstaat het voornemen uitgesproken om voor alle dijkkringgebieden in Nederland de overstromingskansen te laten bepalen. Het Directoraat Generaal Water heeft vervolgens in 2001 het project 'Overstromingsrisico's: de Veiligheid van Nederland in Kaart' (VNK) gestart. In het VNK-project worden vier sporen gevolgd, met onderzoek naar (1) overstromingskansen van dijken en duinen, (2) de bijdrage van kunstwerken daaraan, (3) de gevolgen van een overstroming en (4) een visie over hoe om te gaan met onzekerheden binnen dit project.

Het VNK-spoor Gevolgen heeft onder andere tot doel het ontwikkelen van methoden voor het bepalen van de maatschappelijke gevolgen van overstroming. Daartoe is reeds een 'Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen' ontwikkeld (Kok et al., 2002), die geïmplementeerd is in de HIS Schade en Slachtoffermodule. Deze schademodule maakt samen met de overstromingsmodule deel uit van het beleidsmatige deel van het Hoogwater Informatie Systeem. Met de Schade en Slachtoffermodule kunnen de economische schade en het aantal slachtoffers als gevolg van overstroming worden bepaald. Een verbreding van de methode wordt nagestreefd, zowel ten aanzien van de inhoud als het draagvlak. Verbreding van de inhoud betreft de beleving, de milieurisico's en de landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden.

1.2 Probleem en doelstelling

Landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden (LNC-waarden) waren reeds onderdeel van een verkennende inventarisatie naar de gevolgen van overstroming, uitgevoerd in het kader van Delft Cluster (Stuyt et al., 2001). Onlangs is, mede op basis van deze kennis, een eerste analyse van de effecten van inrichting en inundatie

van noodoverloopgebieden uitgevoerd, ten behoeve van de werkzaamheden van de Commissie Luteijn (Knol et al., 2002). Een reproduceerbare en geaccepteerde methodiek voor het vaststellen van de gevolgen van overstromingen op LNC-waarden was echter nog niet voorhanden.

In dit project wordt daartoe een aanzet gegeven. Doelen van dit onderzoek waren:

- het ontwikkelen van een reproduceerbare methodologie voor het bepalen van de gevolgen van een overstroming van dijkkringgebieden voor landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden;
- het vervaardigen van een prototype voor implementatie van de methode in de Schade en Slachtoffermodule.

1.3 Afbakening

Belangrijke randvoorwaarde was dat de te ontwikkelen methode zoveel als mogelijk zou aansluiten op de eerder ontwikkelde Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstroming, en zodoende inpasbaar zou zijn in de bestaande HIS Schade en Slachtoffermodule. De nadruk ligt daarbij op maatschappelijk belangrijke effecten. Daarnaast is het de bedoeling binnen afzienbare tijd met een werkbare methode te komen.

In het project wordt daarom uitgegaan van een overstroming met de volgende kenmerken:

- het gaat om een eenmalige gebeurtenis met een jaarlijkse kans van 1/1000 tot 1/10.000, met andere woorden om een ramp;
- het kan zowel gaan om een overstroming met zoet water vanuit de grote rivieren of het IJsselmeer, als om een overstroming met zout water vanuit zee of de estuaria;
- indien de duur en het tijdstip van de overstroming relevant is, is aangenomen dat de overstroming begint in de periode januari-februari en een duur heeft van maximaal 2 maanden.

Voor wat betreft de LNC-waarden gelden de volgende afwegingen:

- centraal staan de fysieke aspecten die de identiteit van gebieden bepalen, en soorten, zodat er geen aandacht besteed wordt aan sociaal-psychologische aspecten, zoals beleving, omdat die van een geheel andere orde zijn en andere methoden van onderzoek vragen.
- aangezien er nog veel kennishiaten zijn om tot een gedegen methodiek te komen (Stuyt et al., 2001), worden aspecten van LNC-waarden waarover nog te weinig kennis aanwezig is, buiten beschouwing gelaten;
- hetzelfde geldt voor aspecten waarvan geen ruimtelijke databestanden voorhanden zijn.

Randvoorwaarden voor de methodiek van effectbepaling zijn:

- uitgegaan wordt van een overstroming van niet meer dan één dijkkringgebied tegelijkertijd; er wordt dus geen rekening gehouden met de cumulatieve effecten van overstroming van meerdere dijkkringgebieden tegelijkertijd;
- in ieder geval worden de negatieve effecten meegenomen; de positieve effecten worden alleen beschreven in kwalitatieve zin, indien deze grootschalig zijn;
- er worden alleen irreversibele effecten meegenomen bij de inschatting van de schade aan LNC waarden; hierbij wordt een tijdsgrens voor herstel van meer dan 20 jaar aangehouden;
- effecten worden niet uitgedrukt in effecten op beleidscategorieën omdat deze aan verandering onderhevig zijn; er wordt dus niet gewerkt met waardecriteria of -beoordelingen;
- de effecten worden niet financieel/economisch vertaald, maar uitgedrukt in termen van voorraad, dat is de aanwezige hoeveelheid van een aspect;
- er worden geen betrouwbaarheidsintervallen van de effecten gegeven;
- er wordt geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

1.4 Opzet van het rapport

In Hoofdstuk 2 zullen de verschillende aspecten van LNC-waarden besproken worden. Een aantal daarvan wordt geprioriteerd voor verder onderzoek en opname in het prototype. In Hoofdstuk 3 worden de schadefuncties voor deze aspecten gepresenteerd. Deze schadefuncties zijn gebaseerd op expertkennis van schade en beschikbare databronnen. In Hoofdstuk 4 wordt de opzet van het prototype voor modellering van de schade beschreven: de HIS-LNC Module. Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van een berekening met de HIS-LNC Module van twee overstromingsscenario's in twee dijkkringgebieden. Tenslotte volgen in Hoofdstuk 6 de conclusies en enkele suggesties voor verder onderzoek.

Systeemdokumentatie van de HIS-LNC Module en een HIS-LNC gebruikershandleiding verschijnen separaat (Dijkman et al., 2003; Huizinga et al., 2003).

2 LNC-waarden

2.1 Aspecten van LNC-waarden

De kwaliteiten van landschap, natuur en cultuurhistorie worden in onderzoek van Rijkswaterstaat meestal samengevat onder de noemer LNC-waarden. Elk van deze termen omvat echter meerdere aspecten, maar er is geen uniformiteit in het gebruik daarvan. Daarom wordt op basis van een korte literatuurstudie eerst aangegeven welke aspecten van landschap, natuur en cultuurhistorie belangrijk zijn in het algemeen, en onder welke noemer deze zijn opgenomen in deze studie.

De ontwikkelingen in de kwaliteit van het landschap worden gemeten met graadmeters, waarbij er een onderscheid gemaakt wordt in fysieke graadmeters en maatschappelijke graadmeters (Dijkstra, 1998). Dit onderscheid sluit aan op het landschapsbeleid uit de Nota Landschap (Ministerie van LNV, 1992). In deze studie gaat het vooral om de fysieke graadmeters (zie Hoofdstuk 1), waarvan er algemeen vijf onderscheiden worden: de aardkundige aspecten, de landschapsecologische aspecten, de cultuurhistorische aspecten, de schaalkenmerken en het landgebruik. Deze aspecten zijn als meetdoel ook opgenomen in het Meetnet Landschap (Dijkstra en Roos-Klein Lankhorst, 1995) en als variabele in het project Monitoring Kwaliteit Groene Ruimte (MKGR; Hoogeveen et al., 2000).

De landschapsecologische aspecten worden bij het MKGR vooral gezien als een graadmeter voor de ruimtelijke condities voor natuur; het gaat daarin immers vooral om de ruimtelijke heterogeniteit. In de Natuurbalans is het echter gebruikelijk om planten- en diersoorten te gebruiken als graadmeter voor de kwaliteit van de natuur (Natuurbalans 2002). Dit sluit goed aan bij de wet- en regelgeving van, onder andere, de Flora- en faunawet en Europese Vogel- en habitatrichtlijn. Naast de plantensoorten ontleen herpetofauna (amfibieën en reptielen), zoogdieren, vogels, vlinders en vissen een status aan deze kaders. Voor het bepalen van de effecten van overstroming op natuur wordt daarom in deze studie het accent gelegd op de soortbenadering. In plaats van vissen wordt hier de macrofauna als betere graadmeter voor de natuur van zoetwaterecosystemen beschouwd.

De graadmeter cultuurhistorie wordt vaak onderverdeeld in drieën: archeologische aspecten, aspecten van historische bouwkunde en historisch geografische aspecten. Deze aspecten zijn de belangrijke peilers van de cultuurhistorische waarden in de Nota Belvedere (Ministerie van OCenW et al., 1999). Vanwege de aansluiting met de LNC-driedeling worden deze drie aspecten in deze studie niet onder Landschap, maar onder Cultuurhistorie geplaatst.

In plaats van schaalkenmerken wordt door Dijkstra (1998) de graadmeter visueel-ruimtelijke aspecten genoemd. Daarmee wordt duidelijk dat de schaal, of mate van openheid van het landschap, sterk samenhangt met elementen die het aanzien van het landschap bepalen. Daarvan zijn bebouwing en opgaande begroeiing de

belangrijkste. Aangezien in de HIS-Schade en Slachtoffermodule al veel aandacht aan de schade door overstroming aan bebouwing is besteed, en de effecten op de schaalkenmerken zich vooral voordoen bij opgaande begroeiing, wordt in deze studie alleen opgaande begroeiing meegenomen. Daarnaast is het landgebruik ook van invloed op het landschapsbeeld.

Samenvattend worden de volgende aspecten in deze studie beschouwd als onderdeel van de LNC-waarden:

- Landschap: aardkundige waarden, opgaande begroeiing, landgebruik;
- Natuur: vegetatie, herpetofauna, vogels, zoogdieren, zoetwaterecosystemen;
- Cultuurhistorie: archeologie, historische geografie, historische bouwkunde.

Samen geven deze een volledige beeld van LNC-waarden, en zouden een compleet beeld kunnen geven van de effecten van overstroming daarop.

2.2 Verkenning van schade en databestanden

Niet alle van de genoemde aspecten konden worden opgenomen in deze studie (zie ook Hoofdstuk 1). Bij de afweging speelde een rol: (1) in welke mate de genoemde aspecten gevolgen zouden ondervinden van een overstroming en in (2) hoeverre die gevolgen voor alle dijkkringgebieden met behulp van databestanden in kaart gebracht konden worden. Voor deze analyse zijn diverse deskundigen geraadpleegd.

Aardkundige waarden

Aardkundige waarden kunnen bij een overstroming verdwijnen onder een laag slib. Dit geldt met name de patronen van terreinvormen met een kleinschalig reliëf. Een positief effect van overstroming is het ontstaan van nieuwe reliëfpatronen door erosie en sedimentatie bij hoge stroomsnelheden in de nabijheid van een bres in de dijk, of bij sterke getijdenwerking.

Voor het ruimtelijk inschatten van de schade aan aardkundige waarden kan gebruikt gemaakt van de Geomorfologische kaart van Nederland 1:50.000, opgenomen in de periode 1967-2003. Deze is digitaal beschikbaar in het Aardkundig GIS (AKIS), ontwikkeld door Alterra.

Opgaande begroeiing

Langdurige overstroming kan een grote sterfte onder opgaande begroeiing (bomen en struiken in bossen en lijnvormige beplantingen) tot gevolg hebben. Hierbij is wel een groot verschil tussen de verschillende boomsoorten. Zo zijn wilgen en populieren veel beter bestand tegen een overstroming dan eiken en beuken.

Voor het bepalen van de ruimtelijk effecten kan gebruik gemaakt worden van de digitale topografische kaart (TOP10Vector) van de Topografische Dienst Nederland (TDN, 1998). Daarin ontbreekt echter informatie over de soortensamenstelling. Voor bossen en bosjes vanaf 0,5 hectare groot is wel landsdekkende informatie beschikbaar over hoofdboomsoorten en leeftijd in de Vierde Bosstatistiek (Clement, 2001). De gegevens dateren uit de jaren 80.

Landgebruik

Landgebruik lijkt geen blijvende schade te ondervinden van overstroming. Zelfs het zout dat bij overstroming met zout water in de bodem terecht komt, blijkt na een periode van 1 tot 4 jaar weer te zijn uitgespoeld door het neerslagoverschot in Nederland (Bijlage 2).

Gegevens over het landgebruik kunnen betrokken worden uit het bestand LandGebruikskartering Nederland (LGN), ontwikkeld door Alterra.

Vegetatie

Er is geen ervaring met de effecten op vegetatie. Er zijn wel experimenten gedaan waarbij plantensoorten korte of lange tijd onder water gezet zijn, maar daar ging het om simulatie van regelmatige overstromingen in uiterwaarden (o.a. Siebel, 1998). Gevreesd wordt dat vooral (matig) voedselarme vegetaties onherstelbare schade ondervinden door verrijking met voedingsstoffen en aanslibbing. Het betreft blauwgraslanden, trilvenen en laagveenmoerassen. Het maakt veel uit in welke periode van het jaar de overstroming plaats vindt en ook of het om zeewater of zoet water gaat.

De Stichting Floron te Leiden heeft de beschikking over de database FLORBASE-2G (Groen, 2003) met daarin per kilometerhok informatie over ecotootypen, gebaseerd op waarnemingen van plantensoorten in het veld.

Herpetofauna

Langdurige overstroming kan de totale populatie van bijvoorbeeld de ringslang in Zuid-Holland doen verdwijnen. Aanvulling later zal niet of nauwelijks op kunnen treden. Dit is een voorbeeld, maar van andere gevolgen is weinig bekend.

Verspreidingsdata over amfibieën en reptielen zijn aanwezig bij de Stichting Reptielen, Amfibieën en Vissen Onderzoek Nederland (RAVON; www.ravon.nl).

Vogels

Overstroming kan onder de vogelpopulatie tot enorme schade leiden, bijvoorbeeld bij grutto's waarvoor het dijkkringgebied Noord-Holland een van de belangrijkste broedgebieden in de wereld is. Bij een overstroming in het broedseizoen kunnen de grutto's niet elders terecht, zodat een groot deel van de populatie verloren zal gaan en ook het herstel niet snel zal plaatsvinden.

Analyses kunnen verricht worden met de databestanden van SOVON.

Zoogdieren

Overstroming kan tot grote sterfte leiden onder de zoogdieren, met name onder de kleine en middelgrote soorten. Populaties kunnen zich weer herstellen door herkolonisatie, maar de kolonisationsnelheid is afhankelijk van de al dan niet geïsoleerde ligging van leefgebieden, en kan al snel meer dan 20 jaar bedragen. Dit zou met bestaande modellen berekend kunnen worden.

Gegevens over zoogdieren kunnen worden ontleend aan Broekhuizen et al. (1992) of aan de zoogdierendatabank van de Vereniging voor Zoogdierkunde en Zoogdierbescherming (www.vzz.nl).

Zoetwaterecosystemen

Zout water vernietigt hele zoetwaterecosystemen. Voedselrijk water heeft dramatische effecten in (matig) voedselarme wateren. Gevoelige soorten, die nu al teruggedrongen zijn tot enkele sloten en petgaten in Noordwest Overijssel en het Vechtplassengebied, bijvoorbeeld, zullen verdwijnen en niet meer terugkomen. Nadere analyse is nodig gezien de complexiteit van deze systemen en de gebrekkige kennis over de verspreiding van sommige soortgroepen.

Er is geen goede database van soorten in zoetwaterecosystemen, maar wel verspreidingskaartjes van zeldzame macrofauna als indicatoren voor bovengenoemde zoetwaterecosystemen. Deze zijn in het bezit van L.W.G. Higler (Alterra).

Archeologie

De effecten op de archeologische waarden in de bodem, ook wel het bodemarchief genoemd, zijn op dit moment door experts van de Rijksdienst voor Oudheidkundig Bodemonderzoek (ROB) niet te benoemen; in deze studie wordt daarom aangenomen dat deze nihil zijn. Een uitzondering is het effect van overstroming in de onmiddellijke nabijheid van een bres in de dijk waar erosie van de ondergrond optreedt door snelstromend water.

Voor een ruimtelijke inschatting van effecten op de archeologische waarden is de Indicatieve Kaart Archeologische Waarden (IKAW) het meest geschikte databestand. Deze geeft aan waar mogelijk nog niet ontdekte archeologische resten aanwezig zijn. De ROB is de bronhouder van het IKAW.

Historische Geografie

Met name uit historische bronnen is bekend dat het overstromen van een landschap een grote invloed kan hebben op met name sloten en verkavelingspatronen. Het belangrijkste effect is het verdwijnen van kleinschalig, antropogeen reliëf en kenmerkende patronen van sloten en greppels door sedimentatie van slib. Juist deze landschapskenmerken vertegenwoordigen hoge historisch geografische waarden omdat ze de visuele dragers zijn van de ontginningsgeschiedenis van het landschap.

Voor het ruimtelijk inschatten van de effecten op de historische geografie kan gebruik gemaakt worden van het landsdekkende HistLand bestand. Dit bestand is ontwikkeld door Alterra en bevat informatie over de ontstaansgeschiedenis van landschappen en hun kenmerkende patronen.

Historische bouwkunde

De effecten op historische gebouwen zijn dramatischer dan die op moderne laagbouw van baksteen (al opgenomen in de Schade en Slachtoffermodule), omdat

muren (metselwerk) en houtconstructies van veel monumenten slecht bestand is tegen verzadiging met water en het effect van golfbeweging.

Voor het ruimtelijk inschatten van de effecten is het Monumentenregister van de RijksDienst voor de MonumentenZorg (RDMZ) beschikbaar. Daarin is zojuist een Voorlopige Monumentenkaart gereed gekomen, met een overzicht van rijksmonumenten. Daarnaast is er nog een Monumenten Inventarisatie Project (MIP) waarin per provincie gegevens over jongere bouwkunst (1850-1940) zijn opgeslagen. De provincies hebben dat echter op verschillende wijze gedaan, zodat deze MIP nog niet bruikbaar is in deze studie.

2.3 Prioritering van aspecten

Op basis van een eerste inschatting van de ernst van effecten en de mogelijkheden om deze op korte termijn in beeld te brengen, zijn in Tabel 1 prioriteiten aangegeven. Vier aspecten zijn opgenomen in deze studie: opgaande begroeiing, vegetatie, zoetwaterecosystemen en historische bouwkunde. Daarmee is van zowel landschap, natuur en cultuurhistorie een aspect vertegenwoordigd. Aardkundige waarden en historische geografie zijn nu niet meegenomen, omdat de schade daar sterk afhankelijk is van de sedimentatie van slib, terwijl daar weinig over bekend is (zie Bijlage 1).

Tabel 1 Prioriteiten voor opname van LNC-aspecten in deze studie op basis van een eerste inschatting van de te verwachten schade en de aanwezigheid van ruimtelijke databestanden (Prioriteiten: 1 = wordt betrokken bij de studie; 2 = komt in aanmerking voor verder onderzoek; 3 = is nog onduidelijk of niet nodig)

Aspect		Verwachte schade	Databestand aanwezig	Prioriteit
Landschap	Aardkundige waarde	+	+	2
	Opgaande begroeiing	++	+	1
	Landgebruik	-	+	3
Natuur	Vegetatie	+	+	1
	Herpetofauna	+/-?	+/-	3
	Vogels	+	+	2
	Zoogdieren	+	+/-	3
	Zoetwaterecosystemen	++	+/-	1
Cultuurhistorie	Archeologie	-	+	3
	Historische geografie	+	+	2
	Historische bouwkunde	++	+	1

3 Schade en schadefuncties

3.1 Systematiek

Informatie over de mogelijke schade die de vier geselecteerde LNC-aspecten oplopen als gevolg van een overstroming, is verzameld met als voorbeeld de methodiek van de Standaardmethode 2002 Schade en Slachtoffers (Vrisou van Eck et al., 2001; Kok et al., 2002). Daarin wordt verondersteld dat de schade aan een bepaald aspect afhankelijk is van een of meerdere overstromingsparameters, te weten: de overstromingsdiepte, de stroomsnelheid, de kritieke stroomsnelheid, de stijgsnelheid, een materiaalfactor, een beschuttingsfactor, en de aanwezigheid van storm(golven). De relatie tussen deze parameters en de schade wordt per parameter vastgelegd in een rekenkundige formule, de zogenaamde schadefunctie. Daarbij zijn verschillende schadecategorieën onderscheiden, met elk een eigen schadefunctie.

Voor het verzamelen van de benodigde informatie zijn voor elk van de geselecteerde LNC-aspecten experts ingeschakeld. Zij zijn gevraagd om per aspect een standaard factsheet in te vullen, zodat er op een uniforme manier kon worden gewerkt. De factsheets zijn omgewerkt tot de hierna volgende tekst, waarin aandacht wordt besteed aan de schade in relatie tot overstromingsparameters en de in beschikbare datasystemen te onderscheiden schadecategorieën. Daarna worden de schadefuncties gepresenteerd. De bijbehorende rekenkundige formules worden gegeven in Bijlage 3. In de toelichting bij de schadefuncties worden alleen de relevante overstromingsparameters genoemd. De diepte van overstroming is een parameter die in alle functies terugkomt, overeenkomstig Vrisou et al. (2001). Boven een diepte van 6m neemt de schade niet meer toe, mogelijk met uitzondering van de historische monumenten met dikke muren. In die categorie is het echter niet aannemelijk dat de schade zal oplopen tot meer dan ca. 70%, hetgeen bereikt wordt bij 6m. Daarnaast is gebleken dat ook de duur van de overstroming en de mate van slibsedimentatie belangrijke overstromingsfactoren zijn. Indien de duur en het tijdstip van de overstroming relevant is, wordt hier aangenomen dat de overstroming begint in de periode januari-februari en een duur heeft van maximaal 2 maanden. Aangezien weinig bekend was over slibsedimentatie is daarnaar een kort literatuuronderzoek gedaan, waarvan de resultaten zijn beschreven in Bijlage 1. Vooralsnog is dit aspect van overstroming niet opgenomen in de schadefuncties.

3.2 Opgaande begroeiing

Omschrijving

Opgaande begroeiing bestaat uit houtige gewassen van boomsoorten en boomvormende struiksoorten die op volwassen leeftijd een hoogte kunnen bereiken van meer dan 4 à 6 meter. Het gaat om bossen, laan- en straatbeplantingen, solitairen en groepen in stad en landschap, ongeacht of de productiefunctie (hout, fruit) of het sierwaarde-aspect (inclusief landschappelijk functie) centraal staat. Afhankelijk van de

soort komt opgaande begroeiing zeer algemeen tot zeer weinig voor, hetgeen mede bepaald wordt door de groeiplaatsgeschiktheid (bodem en klimaat) van een regio. Zodoende is opgaande begroeiing van grote invloed op de verschillen in schaalkenmerken van landschappen.

Schade

De waarde van een boom kan zowel economisch (productie) als esthetisch zijn. In het eerste geval kan de schade worden uitgedrukt in opbrengstverlies, in het tweede geval kan de schade worden berekend aan de hand van de waardebepalingsmethode van Raad (NVTB, 2001) die is gebaseerd op vervangingswaarde c.q. “stichtingskosten”. Overige waarden zoals de ecologische- of natuurwaarde en de cultuurhistorische waarde worden vooralsnog als imponderabel beschouwd. Schade is het plaatselijk verdwijnen van individuen, al dan niet in groepsverband, waardoor er opnieuw bomen en struiken zullen moeten worden geplant of anderszins moeten “ontstaan”. De schade wordt bepaald door de mate waarin beplantingen zich van de gevolgen van een overstroming kunnen herstellen. Dit is voornamelijk afhankelijk van het zoutgehalte van het water, van de tolerantie van de diverse boomsoorten voor overstroming, en van het tijdstip waarop de bodem weer voldoende is ontwaterd. In het geval van schade zal het effect van overstroming langdurig van aard zijn omdat er in de meeste gevallen meer dan 20 jaren overheen gaan voordat een nieuw te stichten beplanting wederom de oorspronkelijke samenstelling en structuur zal hebben bereikt. Daarom wordt de schade in deze studie als irreversibel beschouwd.

Zoutgehalte van het overstromingswater

De schade is vooral afhankelijk van de zoutconcentratie (NaCl) van het water. Bij volledige overstroming van de bodem met zout water moet worden uitgegaan van 100% verlies, ongeacht het tijdstip van het jaar waarin dit plaatsvindt. Er bestaan tussen de diverse boomsoorten substantiële verschillen in de tolerantie voor bodemzout (Van den Burg, 1982). Deze verschillen liggen echter bij zoutconcentraties die beduidend minder hoog zijn dan die van zeewater en zijn bij overstromingen met “puur” zeewater derhalve niet meer van belang. Met andere woorden: overstroming met zeewater is in principe voor alle bomen fataal. Overleving wordt vooral bepaald door de vraag of na overstroming en voor het in blad komen van de boom het zoutgehalte van het bodemvocht in de bewortelde zone heeft kunnen dalen tot beneden het voor die boomsoort toxische niveau. De snelheid waarmee zout uitspoelt blijkt, afhankelijk van het bodemtype te variëren tussen 1 en 4 jaar voor respectievelijk (lichte) zandgronden en (zware) kleigronden (Bijlage 2). Hieruit kan worden afgeleid dat, zeker aan het begin van het groeiseizoen het C-cijfer (dit is het aantal grammen NaCl per liter bodemvocht) nog 2 à 3 maal hoger ligt dan de grens waarbij zelfs bij zouttolerante boomsoorten schade optreedt.

Zowel het inspoelen (onder meer afhankelijk van de aanwezigheid van zoet grondwater en het verdringen daarvan door zout water) als het uitspoelen van zout zijn sterk afhankelijk van hoogteverschillen in het terrein (Wiersma & Glerum, 1955) en bodemkundige factoren die plaatselijk en op korte afstand van elkaar soms sterk kunnen variëren. Over de kans op schade bij de diverse boomsoorten kan derhalve op voorhand geen eenduidige uitspraak worden gedaan. Wél kan in meer algemene

zin een indicatie worden gegeven op basis van in het verleden verrichte inventarisaties (Brett, 1954; Richardson, 1955; Van der Linde & Van der Meiden, 1954; Wiersma & Glerum, 1955), maar deze indicaties zijn globaal en door de diverse auteurs genoemde verschillen in zouttolerantie laten vooralsnog niet toe om boomsoorten in te delen in specifieke tolerantie-klassen.

Boomsoort

Bij overstroming met zoet water wordt de schade vooral bepaald door de (tolerantie van de) boomsoort én het tijdstip waarop de overstroming is beëindigd en de bodem wederom voldoende is ontwaterd. De mate waarin bomen gedurende het groeiseizoen periodieke overstroming kunnen verdragen blijkt onder meer af te hangen van de mogelijkheid om een aantal biochemische processen zodanig te veranderen dat er enerzijds nog voldoende energie beschikbaar komt voor de meest noodzakelijke levensprocessen en tevens de vorming en ophoping van toxische stoffen wordt vermeden. Ook de snelheid en mate van wortelvorming uit bovengrondse delen blijkt daarbij een indicatie te zijn voor de aanpassingsmogelijkheden van een boom aan tijdelijke anaërobe bodemcondities (Gill, 1970; Kozłowski, 1984). Bij een aantal boomsoorten is tevens van belang in hoeverre er via specifieke celstructuren (het zgn. aerenchym) zuurstof inwendig vanuit bovengrondse gedeelten naar de wortels kan worden getransporteerd (Kozłowski, 1984).

Over de mate waarin boomsoorten zich door middel van deze mechanismen en systemen kunnen aanpassen is echter nog veel onbekend. De meeste informatie over de tolerantie van boomsoorten voor wateroverlast is gebaseerd op observaties in zgn. floodplains, bottomlands en stuwmeren (Gill, 1970). Van de in de Vierde Bosstatistiek genoemde boomsoorten is er geen die bestand is tegen een geheel waterverzadigde bodem gedurende een onbeperkte periode. Toch is er een aantal dat, beter dan andere, zonder al te veel problemen de gevolgen van een min of meer langdurige overstroming te boven komt. Binnen de soorten bestaan verschillen op cultivar- c.q. variëteitniveau, maar deze zijn minder substantieel en de informatie daarover is verspreid en onvolledig. De in deze studie gekozen indeling beperkt zich dan ook tot de verschillen per geslacht met een eventuele bijstelling naar opmerkelijke verschillen tussen de soorten.

In het algemeen hebben de geslachten Populier, Wilg en Els in dit opzicht een hoge tolerantie voor wateroverlast gedurende het groeiseizoen en worden in de literatuur herhaaldelijk genoemd (Gill, 1970). Als enigszins tolerant, maar ook minder frequent, worden genoemd Zomereik, Berk en Es en Iep. Van de naaldbhoutsoorten worden als matig tolerant incidenteel genoemd: Thuja, Tsuga, Sitkaspar en Pinus contorta. Opvallend is echter dat in andere observaties de Thuja, Tsuga en Picea zijn ingedeeld in de categorie “intolerant” (White, 1973). Dit betreft echter vooral overstromingen gedurende de zomermaanden en deze hebben een wezenlijk ander karakter c.q. invloed. Boomsoorten waarover in dit opzicht nog twijfel bestaat zijn bij de gekozen indeling vooralsnog ingedeeld in een minder “tolerante” categorie. Na 1970 zijn weliswaar nog aanvullende onderzoeksresultaten gepubliceerd, maar deze hebben vooral betrekking op soorten die ofwel geheel niet in Nederland voorkomen (zoals

tropische soorten) of die niet expliciet staan vermeld in de lijst van de Vierde Bosstatistiek.

Afgaande op bovengenoemde bevindingen lijkt het verantwoord om bij de indeling van de boomsoorten in tolerantieklassen uit te gaan van drie groepen:

- Tolerant: Populier (met uitzondering van de Witte populier), Wilg (alle soorten), Els (alle soorten), Zilveresdoorn, Vederesdoorn en de naaldboomsoorten Watercypres en Moerascypres;
- Matig tolerant: Gewone es, Ruwe berk, Hollandse iep, Zomereik, Wintereik en Plataan;
- Intolerant: overige soorten uit de Vierde Bosstatistiek, inclusief de Witte populier, maar daarnaast in ieder geval de Meidoorn, Appel, Peer, Walnoot en Lijsterbes. Ook alle naaldboomsoorten behalve de reeds hierboven genoemde behoren tot deze categorie.

Over in hoeverre de leeftijd van de bomen bepalend is voor de mate waarin schade valt te verwachten bestaat nog enige onzekerheid. Met uitzondering van bomen in een zaailingstadium (die als regel minder tolerant zijn dan oudere bomen omdat bij overstroming doorgaans ook het blad onder water komt te staan) lijkt er een trend te zijn dat oudere beplantingen een betere overlevingskans hebben dan jongere (Gill, 1970; Palik et al., 1999) maar onduidelijk is in hoeverre dat kan of moet worden toegeschreven aan verschil in fysiologische flexibiliteit of aan bodemkundig factoren c.q. een dieper en meer uitgestrekt wortelstelsel van de oudere bomen ten opzichte van dat van de jongere. Overigens hebben de beschreven bevindingen betrekking op vrij jonge opstanden en het is de vraag of er bij oudere bomen c.q. opstanden ook nog sprake zal zijn van relevante verschillen. De leeftijdsfactor is derhalve hier verder buiten beschouwing gelaten.

Tijdstip en duur van de overstroming

Bomen in winterrust zijn weinig gevoelig voor de op dat moment heersende bodemfysische omstandigheden, omdat de boom, inclusief het wortelstelsel dan fysiologisch nauwelijks actief is. Dit geldt met name in (deels) bevroren bodems. Weliswaar komt in de loop van februari de wortelactiviteit weer enigszins op gang, maar dit blijkt doorgaans de eerste tijd nog geen aanleiding te hoeven geven tot kritieke situaties. Dit wordt mede ondersteund door observaties aan beplantingen in onze uiterwaarden.

Kritieke situaties ontstaan in het algemeen pas vanaf het moment dat de bomen uitlopen en er storingen kunnen ontstaan in onder andere de translocatie van groeistoffen (o.a. auxines) of als gevolg van ophopingen van giftige restproducten bij de stofwisselingsprocessen in de wortels. Zeer globaal (en niet meer dan dat) zou men mogen stellen dat bomen die later in blad komen voorjaarsoverstromingen beter kunnen verdragen dan bomen die een vroeger uitloopstadium hebben. In dit opzicht is dan ook het einde van de overstroming in het voorjaar een meer cruciale factor dan de duur van de overstroming. Zo valt van een overstroming van slechts een week in de periode april-mei een aanzienlijk nadeliger invloed te verwachten dan van een overstroming van een maand in de periode december-januari. Overstromingen

die aan het begin van het groeiseizoen reeds zijn afgelopen en in situaties waarbij nadien de bodemluchthuishouding zich weer betrekkelijk snel kan herstellen, zijn ook voor bomen uit de categorie “matig tolerant” als regel weinig schadelijk. In de beoordeling van de reactie van boomsoorten op een overstroming voor deze categorie is derhalve het tijdstip van uitlopen mede in de beoordeling van wél of geen schade meegenomen. Omdat er weinig gegevens zijn over het tijdstip waarop ná het uitlopen van het blad er irreversibele schade ontstaat, is ervoor gekozen om dit tijdstip gelijk te stellen aan de tijd die nog rest voor een voldoende ontwatering en aeratie van de bodem, waarmee het tijdstip waarop de overstroming moet zijn beëindigd samenvalt met het tijdstip van uitlopen van het blad. Voor bomen uit de categorie “matig tolerant” is, mede op basis van de literatuurgegevens (Gill, 1970), weliswaar enigszins arbitrair, aangenomen dat er tussen het tijdstip van uitlopen en het wederom ontwaterd zijn van de bodem een verschil van ca. een maand mag zijn. Voor de categorie “tolerant” is, minder arbitrair omdat de literatuur daarover wat duidelijkere informatie geeft, aangenomen dat een verschil van ca. 2 maanden overbrugbaar moet zijn. Vanwege de gebrekkige informatie over de tijdsduur van overstromingen in de te berekenen scenario's is deze parameter verwerkt via de parameter diepte. Daarbij is aangenomen dat in gebieden waar de diepte de 3m niet overschrijdt, het water binnen een maand weer weg is. Bij een overstroming in januari-februari (zie Hoofdstuk 1) is dat over het algemeen voor het groeiseizoen.

Overige factoren

Afgaande op de reeds bestaande (en deels nog ongepubliceerde) gegevens uit het zgn. vernattingsonderzoek in Nederland gedurende de afgelopen jaren (Kopinga & Olsthoorn, 2002; Olsthoorn et al., 2002) blijkt dat een aantal boomsoorten een permanente stijging van het grondwater redelijk goed kan verdragen en andere minder of nauwelijks. Globaal komt deze indeling overeen met de reeds hiervoor aangegeven tolerantieklassen. Uit de vernattingsstudies komt naar voren dat voor iedere boomsoort serieuze problemen zullen optreden wanneer de grondwaterspiegel stijgt tot nabij maaiveldhoogte. Boven deze hoogte is de hoogte boven maaiveld niet meer bepalend. Wanneer dit geëxtrapoleerd wordt naar kortdurende overstromingen betekent dat, dat de diepte van het water geen belangrijke overstromingsfactor is voor opgaande begroeiing. Het is echter evident dat bij zeer geringe overstromingshoogten lichte hoogteverschillen in het terrein, waardoor alleen plaatselijk de bodem “blank” komt te staan, een substantiële invloed zullen of kunnen hebben op de overlevingskansen van bomen.

In het overzicht van Gill (1970) wordt herhaaldelijk gemeld dat het herstelvermogen van de bomen tevens afhankelijk is van de bodemgesteldheid. Op de “zwaardere” gronden is gemiddeld genomen eerder c.q. vaker schade te verwachten dan op de lichtere gronden (althoewel op deze regel in de literatuur ook uitzonderingen worden genoemd). De verklaring daarvoor wordt vooral gezocht in het herstel van de bodemluchthuishouding na de overstromingsperiode dat in zandgronden aanmerkelijk sneller kan verlopen dan in onder andere kleigronden. Dit kan worden toegeschreven aan de mate van structuurbederf c.q. verslemping van de bodem waardoor ook na ontwatering de zuurstofdiffusie naar de bewortelde zone slechter is dan voorheen en het herstel van de bodemluchthuishouding trager verloopt. In deze

context kan dan ook van belang zijn in welke mate er na een overstroming afzetting van slib is te verwachten dat tijdens de herstelperiode van de bodem als storende laag de zuurstofdiffusie stagneert. In de praktijk blijkt de laagdikte van het slib, behoudens situaties nabij de instroomopening van het water in de orde van grootte van enkele mm te liggen (Makaske, 2002) en zou in dit opzicht wellicht als verwaarloosbaar mogen worden aangemerkt. De bodemgesteldheid wordt niet verder behandeld in de modellering van de schade.

De bodemtemperatuur is tevens bepalend voor de snelheid en mate waarmee zuurstofvereisende processen in het wortelstelsel plaatsvinden. De gevolgen van een overstroming met (letterlijk) ijskoud water bij een nog betrekkelijk lage buitentemperatuur (ca. 0 graden Celsius) heeft minder en minder snel nadelige gevolgen dan overstromingen met water van een 5 à 10 graden hogere temperatuur bij een hogere omgevingstemperatuur (ca. 10 graden). De temperatuur van het water is tevens bepalend voor de snelheid waarmee (na enige tijd) reductieprocessen in de bodem zich voltrekken en waarbij fytotoxische stoffen (CO₂, sulfiden) worden gevormd.

Vooraf met betrekking tot het tijdstip waarop bodemreductie-processen op gaan treden is het van belang of het overstromingswater stroomt (en daarmee nog enigszins zuurstofrijk is) of dat het langere tijd stil staat. (Overigens is dit ook van invloed op de mate waarin bepaalde boomsoorten zoals Wilg en Els in staat zijn om door de vorming van adventiefwortels -dit vindt plaats in meer zuurstofrijk water- langdurige overstromingen in het groeiseizoen te overleven, maar dit is bij overstromingen tijdens de winterrust in feite niet aan de orde en wordt derhalve buiten beschouwing gelaten). Ervan uitgaande dat de overstromingen plaatsvinden tijdens, of aan het einde van de winterrust van de bomen en het dan gaat om relatief koud water, is aangenomen dat door de lage temperatuur van het water de bodemreductieprocessen in deze periode slechts relatief langzaam zullen verlopen. De invloed hiervan (en de tijd die herstel van een anaerobe bodemsituatie zou vergen) is verder buiten beschouwing gelaten.

Storm en beschutting zijn slechts incidenteel van belang i.v.m. windworp wanneer bij bomen met een overigens minder goed ontwikkeld wortelstelsel de verankering afneemt met een toenemende waterverzadiging van de bodem.

Ruimtelijk databronnen

Voor de opgaande begroeiing is gebruik gemaakt van digitale versie van de Vierde Bosstatistiek (Clement, 2001). Van elk bos groter dan 0,5 hectare zijn in de jaren 1980-1983 gegevens verzameld over onder andere de boomsoorten die aanwezig zijn. Dit bestand is actueel gemaakt door het te combineren met de TOP10Vector kaarten van de Topografische Dienst Nederland (TDN, 1998). Op deze manier zijn verdwenen bossen verwijderd en nieuwe bossen toegevoegd. Bij nieuw ontstane bossen zijn grienden en populierenbossen toegevoegd aan de categorie Tolerant. De overige nieuw ontstane bossen zijn toegevoegd aan de categorie Intolerant. Naast bossen zijn ook lijnvormige opgaande begroeiingen die voorkomen in de

TOP10Vector opgenomen in de klasse intolerant. Voor de conversie van lengtes van opgaande begroeiingen naar oppervlak is een breedte van 5 meter aangehouden.

Indeling in schadecategorieën

Bij de modellering van schade aan bomen is uitgegaan van drie determinerende factoren: (1) zoet of zout water, (2) tolerantie van de boomsoort, en (3) tijdstip waarop de bodem weer is ontwaterd. In dit opzicht kunnen er 3 categorieën c.q. 6 combinaties worden onderscheiden (Tabel 2). Overige, minder determinerende factoren, zoals de hoogte van de overstroming en het zuurstofgehalte en de temperatuur van het overstromingswater zijn daarbij buiten beschouwing gelaten.

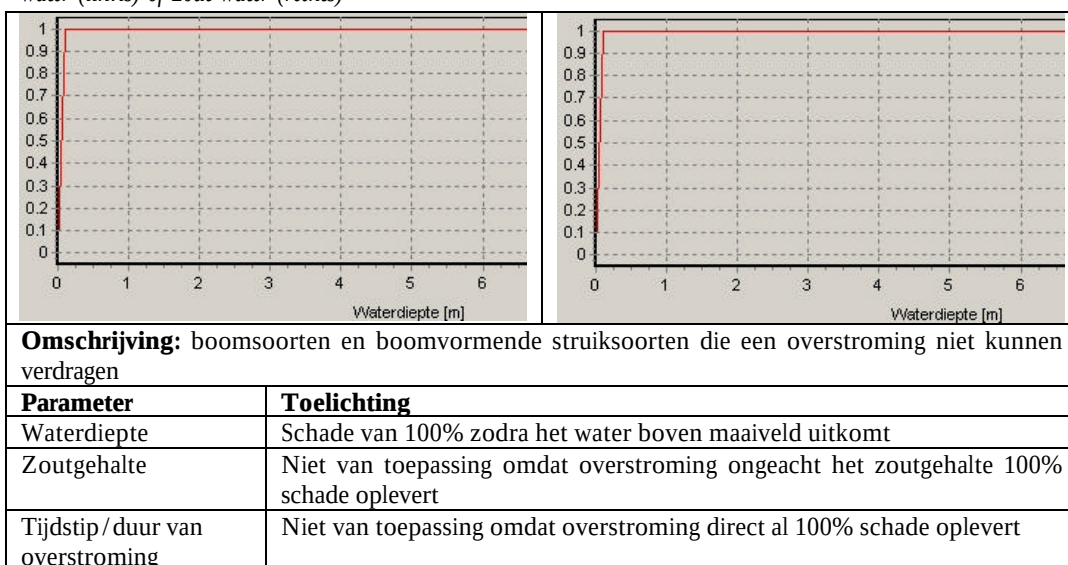
Tabel 2. *Schadecategorieën voor opgaande begroeiing en indeling van soorten uit de Vierde Bosstatistiek (* = soorten waarvan nog weinig bekend is zijn ingedeeld in de categorie intolerant; de groepen naaldbomen overige, overige inheemse loofboomsoorten en overige uitheemse zijn niet aan een categorie toegeedeeld)*

Boomsoort	Schadecategorie
Jeneverbes, Populier, Wilg, Zwarte els	Tolerant
Inlandse eik, Eik overige*, Berk, Es, Iep	Matig tolerant
Grove den, Corsicaanse den, Oostenrijkse den, Weymouth den, Pinus concorta, Rigida den, Zeeden, Den overige*, Douglas*, Japanse lariks*, Europese lariks*, Fijnspar, Sitkaspar*, Omorikaspar*, Spar overige*, Tsuga, Thuja, Abies grandis*, Abies alba*, Chamaecyparis, Amerikaanse eik, Beuk*, Gewone esdoorn, Spaanse aak, Acacia, Zoete kers, Haagbeuk*	Intolerant

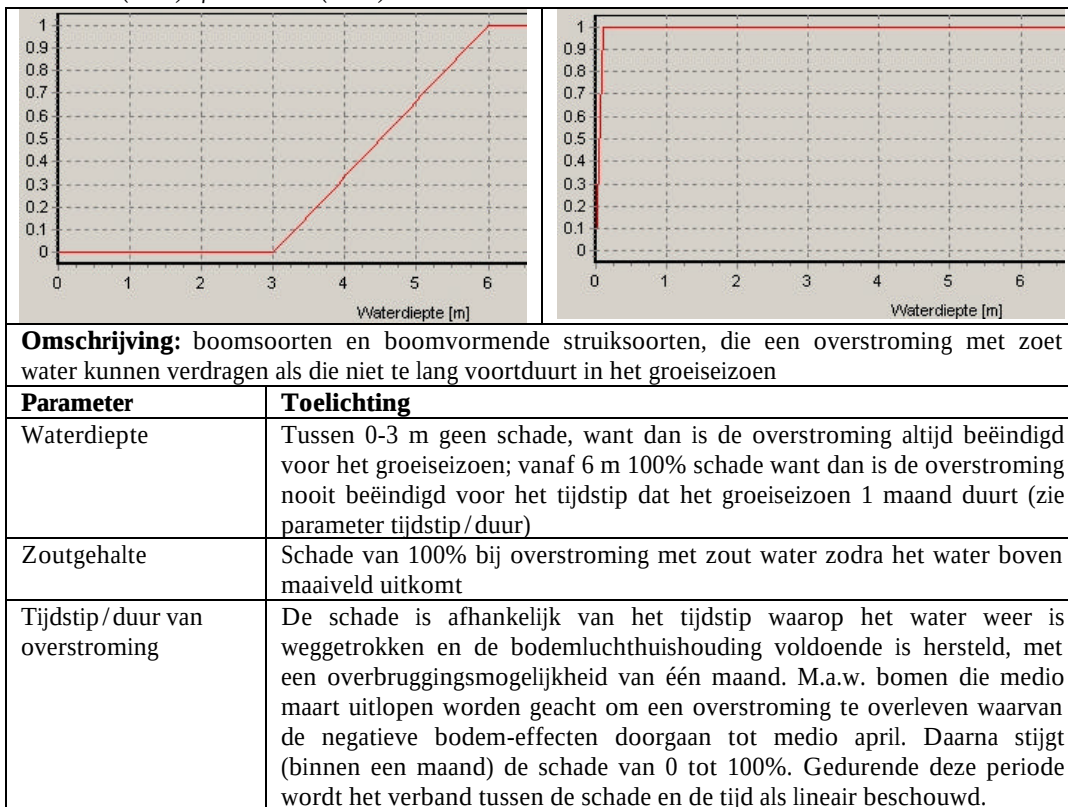
Schadefuncties per categorie

De data van opgaande begroeiing geven het aantal hectares in een cel weer. De schade wordt uitgedrukt in het aantal hectares bos dat afsterft als gevolg van de overstroming. De schadefunctie geeft de schade fractie tussen 0 en 1 voor een overstroming met zoet water (linker grafiek) of zout water (rechter grafiek).

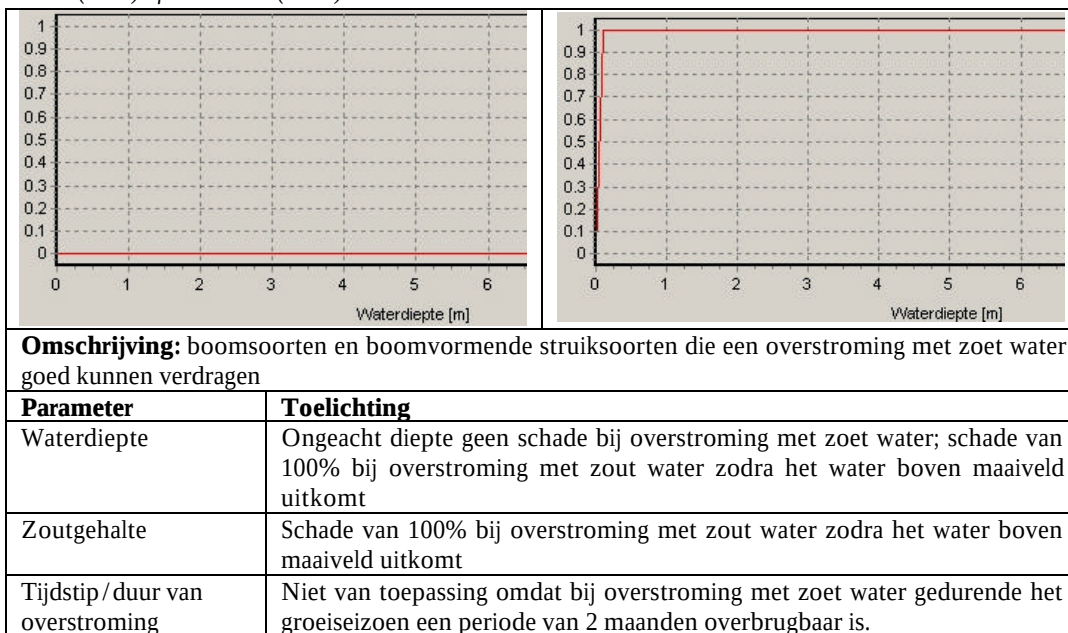
Schadefuncties voor de categorie Intolerante soorten van het aspect Opgaande begroeiing bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



Schadefuncties voor de categorie *Matig tolerante soorten* van het aspect *Opgaande begroeiing bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)*



Schadefuncties voor de categorie *Tolerante soorten* van het aspect *Opgaande begroeiing bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)*



3.3 Vegetatie

Omschrijving

Vegetatie is een van de aspecten die de natuurkwaliteit van het landelijk gebied bepaalt, samen met verschillende faunagemeenschappen. Een vegetatietype bestaat uit meerdere plantensoorten, die in een bepaalde samenstelling bij elkaar voorkomen omdat zij afhankelijk zijn van onder meer hetzelfde type bodem, dezelfde hoeveelheid en aard van beschikbaar grond- en oppervlaktewater en van hetzelfde terreinbeheer. Op basis van deze factoren is Nederland onder te verdelen in ecotopen. Ecotopen zijn ruimtelijke eenheden die homogeen zijn ten aanzien van vegetatiestructuur, successiestadium van de vegetatie en abiotische factoren die voor de plantengroei bepalend zijn (Runhaar et al., 1987). Belangrijke abiotische factoren zijn zoutgehalte, vochttoestand, voedselrijkdom en zuurgraad (Witte, 1998). Combinaties van deze factoren worden gekenmerkt door karakteristieke plantensoorten. Zeldzame vegetaties zijn vaak gebonden aan hele specifieke (combinaties van) factoren. Veranderingen in factoren brengen aanpassingen in de vegetatie teweeg, waarbij achteruitgang van de ene vegetatie gepaard gaat met uitbreiding van de andere.

Schade

Schade aan vegetaties kan ontstaan door fysieke en chemische effecten van overstroming (Delft Cluster, 2001).

Fysieke schade

Het ontstaan van fysieke schade aan vegetatie hangt vooral samen met de diepte en de duur van de overstroming (Wienk et al., 2000; De Graaf et al., 1990). De meeste planten overleven een overstroming niet zodra ze geheel ondergedompeld raken (Leemans, 1985; Knaapen en Rademakers, 1990). Algemeen kan gezegd worden dat het aantal soorten afneemt naarmate de overstroming langer duurt (Verlinden, 1985; Van den Brink et al., 1993) en dat de uitgangssituatie van de vegetatie mede bepalend is voor de mate van schade. Zo is de vegetatie van natte milieu's is beter aangepast aan een beperkte periode van zuurstofloosheid dan de vegetatie van droge milieu's. Daarnaast kunnen planten weggeslagen of beschadigd worden door de kracht van de waterstroming, het laatste zeker wanneer er transport van zand optreedt. Dit doet zich echter vooral voor nabij een bres in de dijk. Kleine hoeveelheden slib kunnen een fysiologische invloed hebben op planten omdat dit kan resulteren in een reductie van de fotosynthese (Knaapen en Rademakers, 1990). Al deze schade ontstaat dus op korte termijn.

Op de lange termijn kunnen zich problemen voordoen met de hervestiging van soorten omdat door overstroming de abiotische factoren gewijzigd zijn. Een lange waterverzadiging van de bodem en sedimentatie kunnen de reproductie- en kiemingskansen negatief beïnvloeden. (Leemans, 1985) stelt dat de invloed van slib- en zandafzettingen op de vegetatie vaak tijdelijk is (lokaal afsterven gevolgd door vorming van uitlopers). Wel geldt dat op plaatsen waar een grofkorrelig substraat wordt afgezet, planten zich moeilijker kunnen vestigen. De veranderingen die

plaatsvinden in de bodem en vegetatie zijn groter naarmate de uitgangssituatie droger is (Wienk et al., 2000).

Chemische schade

Chemische schade ontstaat door de andere chemische samenstelling (waaronder zoutgehalte, trofiegraad en contaminanten) van het overstromingswater en sediment (Aubroeck et al., 1998). Een andere chemische samenstelling werkt niet alleen in op vochthuishouding van planten maar ook op de mineralisatie en redox-processen in de bodem, die op hun beurt weer de vegetatie beïnvloeden. Langdurige overstroming met zout water zal op korte termijn schade veroorzaken (Maenen, 1989) omdat het zoutgehalte van het overstromingswater vrijwel altijd aanzienlijk hoger is dan dat op de locatie. Naarmate de afstand tot de bron (de zee) groter wordt zal door vermenging het zoutgehalte afnemen en daarmee deze schade.

Vaak is het overstromingswater voedselrijker en kent het een groter gehalte aan contaminanten dan het water in de omgeving van de vegetatie. Tevens worden voedingsstoffen en contaminanten aangevoerd doordat deze gebonden zijn aan slibdeeltjes welke bij overstroming bezinken (Delft Cluster, 2001). Daarmee kan er een verandering in abiotische factoren optreden, en problemen met hervestiging van soorten. Daarbij geldt dat bij een langere retentie de veranderingen groter zijn dan wanneer het water zeer kort in het systeem verblijft (Wienk et al., 2000; Van Oorschot, 1996; Scheffer, 1998; Meuleman, 1999). Als gevolg van overstroming komen nutriënten vrij en bij een langere overstromingstijd zullen meer nutriënten vrijkomen. Naarmate de vegetatie het gewoon is vaker onder water te staan zal het verschil in trofiegraad en contaminatengehalte minder groot zijn en de schade dus kleiner. Voor vegetaties in laagveengebieden geldt bijvoorbeeld dat ze vaak N-gelimiteerd zijn en dat P-limitatie alleen optreedt onder speciale omstandigheden, bijvoorbeeld kalkrijk, bij hoge ijzerconcentraties of als gevolg van drainage of langdurig hooien (Van Duren en Pegtel, 2000). Laagveenvegetaties hebben een bepaalde overstroming nodig om de veenontwikkeling in stand te houden, maar eutroof en troebel water zal vegetaties doen verdwijnen (Delft Cluster, 2001). Anders is dat voor uiterwaarden. Deze staan vaak al onder invloed van rivierwater en zullen minder chemische schade ondervinden. Dat geldt echter niet voor de zelden overstroomde vegetaties als bijvoorbeeld de zeldzame stroomdalgraslanden (De Graaf et al., 1990).

Ernst van de schade

In hoeverre schade aan vegetatie door overstroming irreversibel is, is vooral afhankelijk van de duur en het tijdstip van de overstroming, maar ook van de abiotische uitgangssituatie (voedselrijkdom, vochttoestand), de kwaliteit van het overstromingswater en de mogelijkheden van plantensoorten zich opnieuw te vestigen. De kans op irreversibele schade aan de vegetatie is groter wanneer het tijdstip van de overstroming overlapt met het groeiseizoen. (Brock et al., 1987) geven aan dat de periode waarin de overstroming plaatsvindt in grote mate het voorkomen van vegetaties bepaalt. Volgens (Knaapen en Rademakers, 1990) hebben overstromingen die plaatsvinden in de periode mei tot en met augustus de grootste invloed op de vegetaties omdat in de winterperiode de planten niet fysiologisch actief

zijn, in de maanden maart en april door de lage temperatuur van het overstromingswater de fysiologische schade beperkt blijft, en overstromingen in de maanden september en oktober niet leiden tot handhavingsproblemen omdat het groei- en voortplantingsseizoen dan al voorbij is.

De grens tussen langdurige en irreversibele schade is echter vaag en ook afhankelijk van andere factoren als bijvoorbeeld de aanwezige zaadvoorraad en kiemingsomstandigheden in het volgende groeiseizoen. Of een soort wel of niet vertegenwoordigd is in de zaadvoorraad hangt af van de levensduur van de zaden (Grime et al., 1988; Thompson et al., 1997) en de resistentie van de zaden tegen langdurige natte omstandigheden (Runhaar et al., 2000). Soorten van dynamische milieu's zijn vaak goed vertegenwoordigd in de zaadvoorraad; het zijn vooral de zaden van soorten uit vochtige en droge milieu's die niet resistent zijn tegen langere natte omstandigheden, voor zaden van natte soorten is dit onzeker (mond. med. K. Groen, Stichting Floron Leiden). Zaden kunnen aangevoerd worden door waterstroming, wind of door dieren. De meeste soorten missen echter bijzondere aanpassingen om dit mogelijk te maken en kunnen zich slecht over korte afstand verspreiden (Runhaar et al., 2000). Sommige soorten kunnen zich ook vegetatief verspreiden; dit zijn echter voornamelijk water- en moerasplanten. Als de zaden van de soort in de zaadvoorraad aanwezig zijn is het nog maar de vraag of de abiotische factoren na de overstroming nog voldoen aan de eisen van de soort. Het zout dat bij overstroming met zout water in de bodem terecht komt blijkt na een periode van 1 tot 4 jaar weer te zijn uitgespoeld door het neerslagoverschot in Nederland (Bijlage 2).

Ruimtelijke databronnen

De Stichting Floron te Leiden heeft de beschikking over de database FLORBASE-2G (Groen, 2003) met daarin per kilometerhok informatie over ecotooptypen (Stevens et al., 1987; Witte, 1998). De typologie is gebaseerd op het CML-ecotopensysteem (Stevens et al., 1987) dat ecotopen onderscheidt op basis van een aantal abiotische kenmerken, waaronder saliniteit, vochttoestand, voedselrijkdom en zuurgraad. De informatie per kilometerhok is gebaseerd op waarnemingen van plantensoorten in het veld.

Indeling in schadecategorieën

Voor het bepalen van de overstromingsschade is het ecotopensysteem vereenvoudigd tot zeven ecotoopgroepen welke onderscheiden worden op basis van saliniteit, vochttoestand en voedselrijkdom. Er zijn twee categorieën van vochttoestand onderscheiden en drie van voedselrijkdom (Tabel 3). Elk van de zeven ecotoopgroepen heeft een grote set van karakteristieke plantensoorten. Deze kunnen elkaar overlappen. Ambassadeursoorten zijn zeer kenmerkende soorten die alleen in het betreffende type ecotoop voorkomen (Groen, 2003).

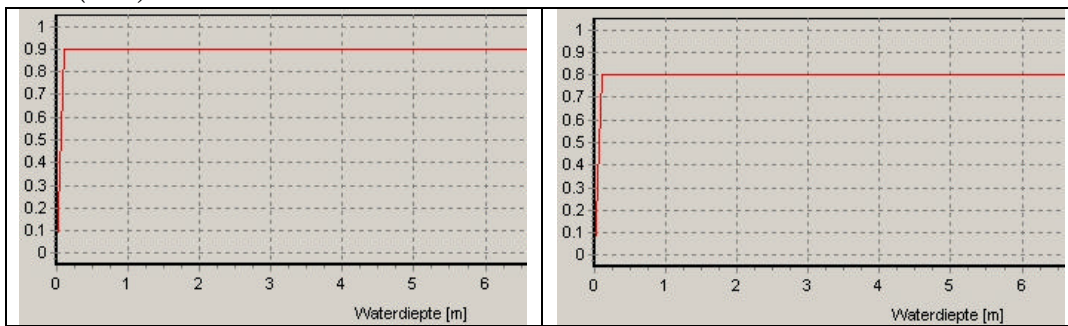
Tabel 3. Ecotoopgroepen als schadecategorieën voor vegetatie

Ambassadeurssoorten	Schadecategorie	Aantal km-hokken (totaal 41514)
Echte heemst (<i>Althaea officinalis</i>), Engels gras (<i>America maritima</i>), Melkkruid (<i>Glaux maritima</i>)	Brak en zilt	2595
Spaanse ruiter (<i>Cirsium dissectum</i>), Ronde zonnedaauw (<i>Drosera rotundifolia</i>), Moeraswespenorchis (<i>Epipactis palustris</i>), Groenknolorchis (<i>Liparis loeselii</i>), Parnassia (<i>Parnassia palustris</i>), Moeraskartelblad (<i>Pedicularis palustris</i>)	Aquatisch-nat en voedselarm	3711
Waterviolier (<i>Hottonia palustris</i>), Moeraslathyrus (<i>Lathyrus palustris</i>), Grote boterbloem (<i>Ranunculus lingua</i>)	Aquatisch-nat en matig voedselrijk	7238
Engelse alant (<i>Inula britannica</i>), Pijptorkruid (<i>Oenanthe fistulosa</i>), Moerasandijvie (<i>Tephrosia palustris</i>)	Aquatisch-nat en zeer voedselrijk	14939
Geelhartje (<i>Linum catharticum</i>), Rond wintergroen (<i>Pyrola rotundifolia</i>), Grote muur (<i>Stellaria holostea</i>), Gestreepte klaver (<i>Trifolium striatum</i>)	Vochtig-droog en voedselarm	9320
Daslook (<i>Allium ursinum</i>), Korenbloem (<i>Centaurea cyanus</i>), Aardaker (<i>Lathyrus tuberosus</i>), Kattedoorn (<i>Ononis repens subsp. spinosa</i>)	Vochtig-droog en matig voedselrijk	16491
Donzige klit (<i>Arctium tomentosum</i>), Besanjelier (<i>Cucubalus baccifer</i>), Veldgerst (<i>Hordeum secalinum</i>), Gladde ereprijs (<i>Veronica polita</i>)	Vochtig-droog en zeer voedselrijk	22969

Schadefuncties per categorie

De vegetatiedata bevatten per cel de aan- of afwezigheid van een ecotoopklasse. Het percentage schade heeft geen betekenis in de zin van de oppervlakte, maar heeft betrekking op de samenstelling van de soorten in de ecotoopklasse. Een schade van 80% in een cel betekent dat 80% van de soortensamenstelling niet meer als zodanig terug komt na de overstroming. De schadefunctie geeft de schade fractie tussen 0 en 1 voor een overstroming met zoet water (linker grafiek) of zout water (rechter grafiek).

Schadefuncties voor de categorie Brak-zilt van het aspect Vegetatie bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)

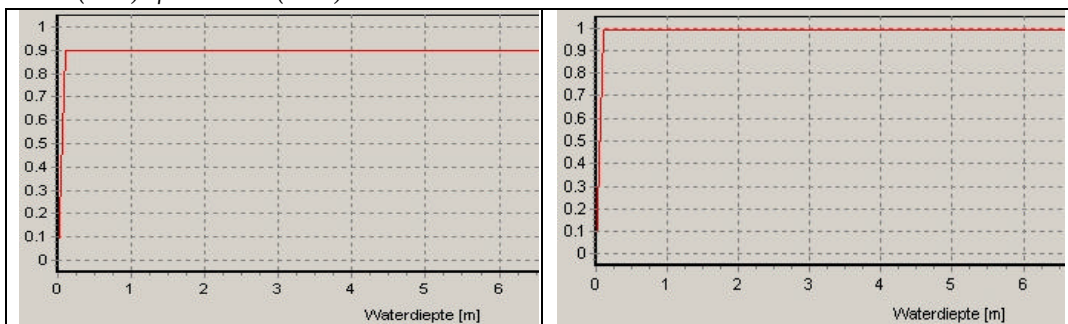


Omschrijving:

Terrestrische systemen die in contact zijn met zoet en zout water, of onder invloed staan van zout-inwaai

Parameter	Toelichting
Waterdiepte	Schade van 80% vanaf het moment dat de vegetatie ondergedompeld is.
Zoet/zout	Extra schade van 10% in geval van overstroming door zoet water.

Schadefuncties voor de categorie Aquatisch-nat en voedselarm van het aspect Vegetatie bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)

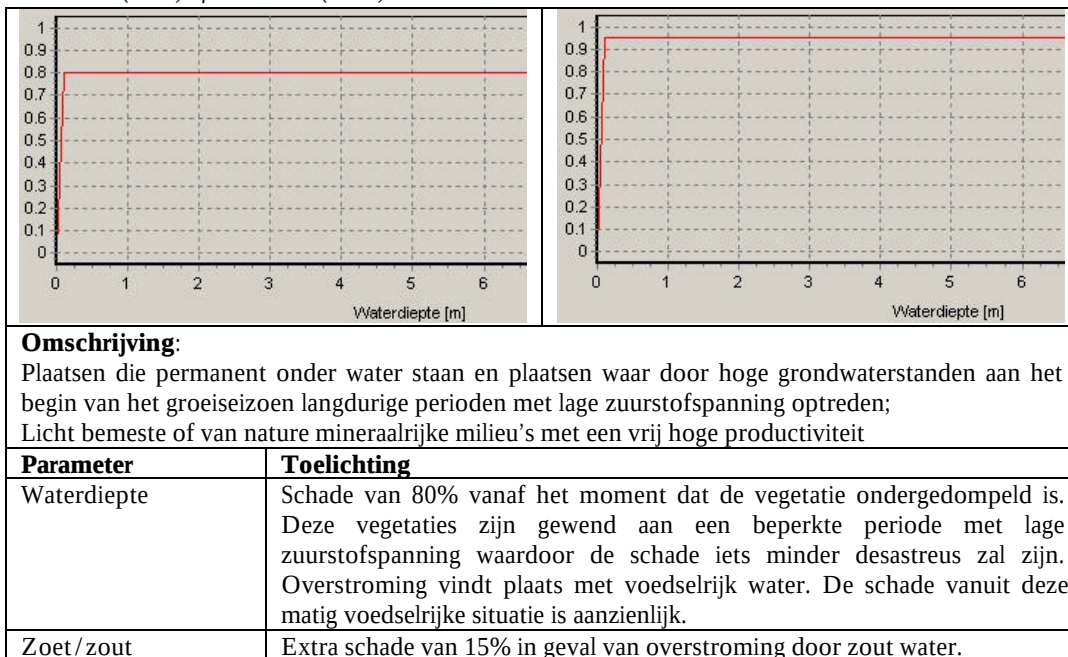


Omschrijving:

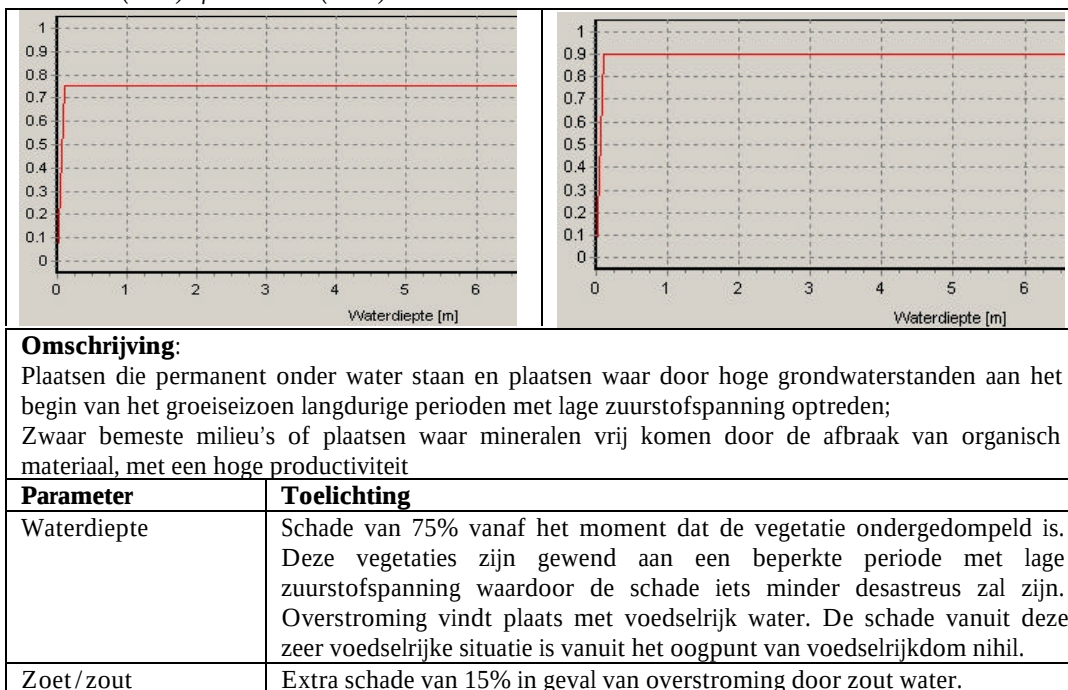
Plaatsen die permanent onder water staan en plaatsen waar door hoge grondwaterstanden aan het begin van het groeiseizoen langdurige perioden met lage zuurstofspanning optreden;
Niet bemeste, mineraalarme milieu's met een lage productiviteit

Parameter	Toelichting
Waterdiepte	Schade van 90% vanaf het moment dat de vegetatie ondergedompeld is. Deze vegetaties zijn gewend aan een beperkte periode met lage zuurstofspanning waardoor de schade iets minder desastreus zal zijn. Overstroming vindt plaats met voedselrijk water. De schade vanuit deze voedselarme situatie is zeer aanzienlijk.
Zoet/zout	Extra schade van 9% in geval van overstroming door zout water.

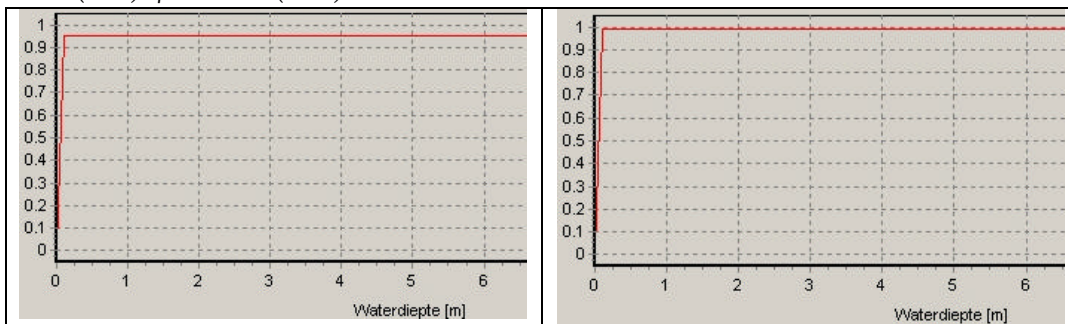
Schadefuncties voor de categorie *Aquatisch-nat en matig voedselrijk* van het aspect *Vegetatie bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)*



Schadefuncties voor de categorie *Aquatisch-nat en zeer voedselrijk* van het aspect *Vegetatie bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)*



Schadefuncties voor de categorie *Vochtig-droog* en voedselarm van het aspect *Vegetatie* bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



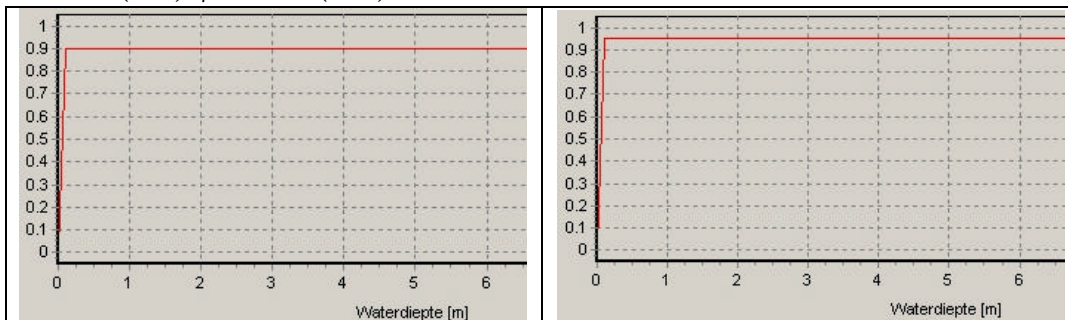
Omschrijving:

Plaatsen waar geen langdurige perioden met lage zuurstofspanning optreden, en waar in de zomer voldoende water voor de plantengroei beschikbaar is en plaatsen waar 's zomers onvoldoende water voor de vegetatie beschikbaar is;

Niet bemeste, mineraalarme milieu's met een lage productiviteit

Parameter	Toelichting
Waterdiepte	Schade van 95% vanaf het moment dat de vegetatie ondergedompeld is. Overstroming van een droog milieu levert meer blijvende schade dan overstroming van een nat milieu. Overstroming vindt plaats met voedselrijk water. De schade vanuit deze voedselarme situatie is zeer aanzienlijk.
Zoet/zout	Extra schade van 4% in geval van overstroming door zout water.

Schadefuncties voor de categorie *Vochtig-droog* en matig voedselrijk van het aspect *Vegetatie* bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



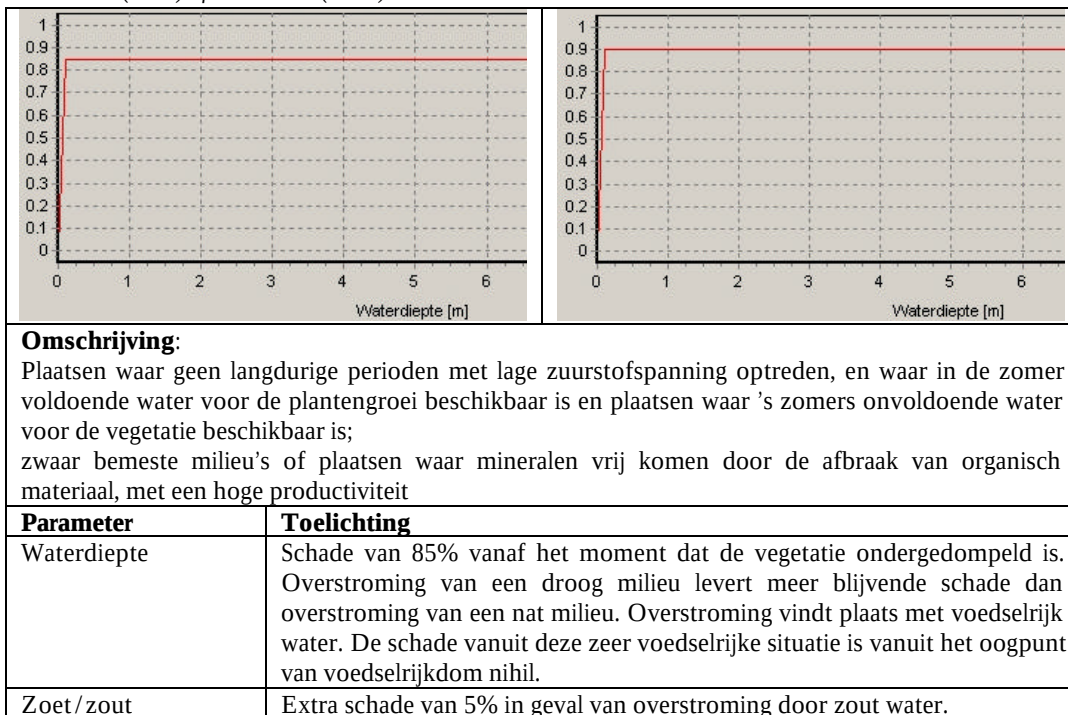
Omschrijving:

Plaatsen waar geen langdurige perioden met lage zuurstofspanning optreden, en waar in de zomer voldoende water voor de plantengroei beschikbaar is en plaatsen waar 's zomers onvoldoende water voor de vegetatie beschikbaar is;

licht bemeste of van nature mineraalrijke milieu's met een vrij hoge productiviteit

Parameter	Toelichting
Waterdiepte	Schade van 90% vanaf het moment dat de vegetatie ondergedompeld is. Overstroming van een droog milieu levert meer blijvende schade dan overstroming van een nat milieu. Overstroming vindt plaats met voedselrijk water. De schade vanuit deze matig voedselrijke situatie is aanzienlijk.
Zoet/zout	Extra schade van 5% in geval van overstroming door zout water.

Schadefuncties voor de categorie Vochtig-droog en zeer voedselrijk van het aspect Vegetatie bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



3.4 Zoetwaterecosystemen

Omschrijving

Tot de zoetwaterecosystemen worden alle zoete wateren gerekend. Deze ecosystemen worden gekenmerkt door een groot aantal planten en dieren die afhankelijk zijn van factoren als diepte, waterkwaliteit, pH, stroomsnelheid, zoutgraad en dergelijke. Ieder type ecosysteem heeft een karakteristieke soortensamenstelling, waarin enkele soorten specifiek voor een enkel type zijn. In het algemeen zijn deze soorten zeldzaam (geworden), omdat de meeste watertypen niet meer in de oorspronkelijke toestand zijn en de grote massa van soorten bestaat uit sterke organismen, die onder heel verschillende omstandigheden kunnen overleven. De aanwezigheid van de zeldzame kensoorten beschrijft het type in zijn meest oorspronkelijke vorm. Het uitgangspunt van deze studie is, dat bij overstroming de mogelijkheid tot totale verzilting (door zeewater) of eutrofiëring (door rivierwater) op zal treden, waardoor de levensgemeenschap van de inmiddels zeer zeldzame voedselarme zoetwaterecosystemen volledig zal verdwijnen. Voorbeelden van dergelijke ecosystemen zijn (diepe) meren, laagveenplassen, petgaten, sloten, vennen en hoogvenen.

Schade

Schade is het verdwijnen van soorten en zeer zeldzame voedselarme zoetwaterecosystemen en ontstaat door verslechtering van de waterkwaliteit bij overstroming met zout of (te) eutroof of verontreinigd water. Het duurt tientallen jaren voordat de waterkwaliteit weer de kenmerken van de originele situatie kan

vertonen. Dit kan alleen in het geval dat er kwel aanwezig is die langzaam voldoende tegendruk kan opbouwen tegen het binnengedrongen overstromingswater.

De specifieke soorten van voedselarme zoetwaterecosystemen moeten na herstel van de waterkwaliteit de mogelijkheid hebben om terug te keren. Voorwaarde daarvoor is dat er schuilplaatsen zijn waar deze organismen konden overleven, of dat ze van ver kunnen komen om rekolonisatie tot stand te brengen. Helaas is het zo dat de genoemde organismen zeldzaam zijn, niet alleen in Nederland maar ook in de ons omringende landen. Dat komt omdat de vroeger algemene condities van voedselarme wateren nergens meer te vinden zijn. Een uitzondering zijn zure vennen en hoogvenen, maar die zijn te hoog gelegen om te kunnen overstroomd. Bij de andere typen zoetwaterecosystemen is het uitgesloten dat de genoemde organismen in staat zullen zijn om de afstanden te overbruggen die zullen bestaan na een overstroming van complete dijkkringgebieden. De conclusie is dat de unieke plekken waar deze ecosystemen nog voorkomen na overstroming met zout of te voedselrijk water voor altijd verloren zullen zijn.

Vissen en andere waterorganismen worden verspreid door het hele dijkkringgebied en de meeste zullen sterven als het water weer terugkeert naar diepere delen. In de oude (en mogelijk nieuwe) wateren zullen weinig soorten terugkeren: alleen snelle kolonisatoren en soorten die onder benarde omstandigheden in leven kunnen blijven. Herstel van oorspronkelijke levensgemeenschappen treedt pas op na tientallen jaren en de gevoeligste komen nooit meer terug.

De schade is een gevolg van het zoutgehalte, de mate van verontreiniging en de mate van voedselrijkdom. Als de voor overstroming gevoelige zoetwaterecosystemen (meer, laagveenplas of sloot) gerepresenteerd worden aan de specifieke kensoorten, is het effect in alle gevallen gelijk, namelijk dat de kensoorten verdwijnen en niet meer terugkomen.

Als (vliegende) insecten buiten het stijgende water een schuilplaats kunnen vinden, heeft overstroming effect op de populatie nadat er eieren afgezet zijn. Als aquatische larve zijn ze direct kwetsbaar. Het effect is derhalve niet of nauwelijks afhankelijk van het tijdstip van overstroming, omdat de kwetsbare soorten direct sterven of na een half jaar geen geschikt habitat meer vinden.

Afzetting van organisch, toxisch of mineraal slib kan ook een negatieve invloed uitoefenen. Als het water weer weg is blijft slib achter dat zuurstofloze bodems oplevert waarin waterplanten niet kunnen wortelen. Ongeacht het slib snel neerslaat of lang in oplossing blijft, heeft het verschillende negatieve effecten, die voor de specifieke soorten dramatisch zijn.

Diepe wateren worden minder sterk beïnvloed door overstromingen dan ondiepe wateren, omdat het aandeel rivierwater t.o.v. het “eigen” water naar verhouding veel kleiner is in diepe wateren. Zo is het te verwachten dat een meter water nog niet desastreus is op een meer van 20 meter diepte. Menging zal optreden via het epilimnion en bij storm wellicht dieper. Het gaat dan om de bovenste 6 tot 9 meter.

Aangezien de genoemde meren voornamelijk door kwelwater gevoed worden kan herstel weer optreden.

Ruimtelijke databronnen

Aangezien er geen ruimtelijke database van zoetwaterecosystemen bestaat, is er in deze studie gewerkt met verspreidingskaartjes op basis van Amersfoort coördinaten (en EIS-coördinaten) van enkele macrofaunasoorten die specifiek zijn voor zeer zeldzame voedselarme zoetwaterecosystemen: de slak *Myxas glutinosa* (Gittenberger & Janssen, 1998), de bloedzuiger *Haementeria costata*, de platwormen *Bdellocephala punctata* en *Planaria torva* (Mol, 1980) en de kokerjuffers *Erotesis baltica*, *Paroecetis struckii*, *Tricholeiochiton fagesii* en *Limnephilus binotatus* (Higler, 2002). De gegevens berusten voor een deel op oudere waarnemingen (zeventiger jaren). Het is bijvoorbeeld gebleken, dat in Noordwest Overijssel na verbeterd waterregime weliswaar helder water terugkwam, maar dat de platwormen, bloedzuigers en kokerjuffers die opgevoerd zijn als kensoorten, nog niet terug zijn gekomen (Sybenga, 2001).

Indeling in categorieën

Drie typen zoetwaterecosystemen zijn van belang voor het opstellen van schadefuncties (Tabel 4). Echte diepe meren komen in Nederland niet voor. Wel wingaten. Goede voorbeelden zijn de Grote Maarsseveense Plas en de Waterwinplas van GWA in Loenen a/d Vecht. Van andere diepe meren zijn geen soortgegevens, zodat voor dit zoetwaterecosysteem geen schadefunctie is uitgewerkt.

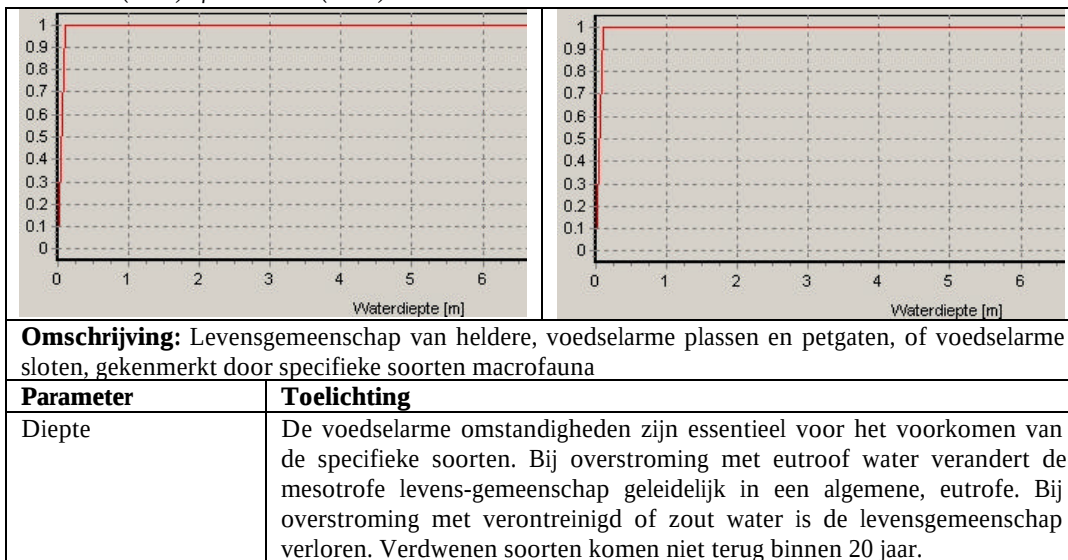
Tabel 4. Schadecategorieën voor zoetwaterecosystemen en bijbehorende soorten

Soorten	Schadecategorie
<i>Haementeria costata</i> , <i>Myxas glutinosa</i> , <i>Planaria torva</i> , <i>Bdellocephala punctata</i> , <i>Tricholeiochiton fagesii</i> , <i>Caenis lactea</i> , <i>Paroecetis struckii</i> , <i>Erotesis baltica</i> , <i>Limnephilus binotatus</i> , <i>Planaria torva</i>	Laagveengemeenschap
<i>Bdellocephala punctata</i> , <i>Ephemera vulgata</i> , <i>Theodoxus fluviatilis</i> , <i>Planaria torva</i> , <i>Caenis luctuosa</i> , <i>Dero dorsalis</i> , <i>Hydroptila pulchricornis</i>	(Diepe) merengemeenschap

Schadefuncties per categorie

De data voor zoetwaterecosystemen geven per cel de aan- of afwezigheid. Een schade van 1 betekent dat het betreffende zoetwaterecosysteem verdwenen is in een cel. De schadefunctie geeft de schade fractie tussen 0 en 1 voor een overstroming met zoet water (linker grafiek) of zout water (rechter grafiek).

Schadefuncties voor de categorie *Laagveengemeenschap* van het aspect *Zoetwaterecosystemen* bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



3.5 Historische bouwkunde

Omschrijving

Historische bouwkunde is een van de aspecten die de cultuurhistorische kwaliteit van het landelijke gebied bepalen, samen met de historisch geografische en de archeologische aspecten (Nota Belvedere). De meest waardevolle historisch bouwkundige objecten worden beschermd door de Monumentenwet. In deze wet worden onder beschermde monumenten verstaan alle vòòr ten minste vijftig jaar vervaardigde zaken, welke van algemeen belang zijn wegens hun schoonheid, hun betekenis voor de wetenschap of hun cultuurhistorische waarde (Monumentenwet, 1988). Daarnaast zijn er ook historische monumenten die worden beschermd door provinciale of gemeentelijke verordeningen. Deze blijven hier buiten beschouwing (zie Ruimtelijke databronnen). In al deze gevallen gaat het om monumenten van uiteenlopende aard, zoals gebouwen (kerken, kastelen, molens, boerderijen, woonhuizen), verdedigingswerken en weg- en waterwerken (Voorlopige Monumentenkaart Nederland, 2002).

Schade

Schade aan historische bebouwing door overstroming kan variëren van het volledig verloren gaan van een gebouw door instorting tot waterschade aan muren, vloeren en ander onroerend goed. Aangenomen mag worden dat daarmee de monumentenwaarde volledig verloren gaat, ook wanneer er sprake is van herstel na de overstroming. Het kan voorkomen dat, bijvoorbeeld, een opnieuw opgetrokken gebouw na verloop van tijd weer historische betekenis krijgt, maar die heeft dan nagenoeg uitsluitend betrekking op de periode van herbouw in plaats van op de oorspronkelijke situatie. In ieder geval dient er dan altijd een periode van minstens 50 jaar verstreken te zijn om als monument volgens de Monumentenwet in aanmerking

te kunnen komen. Schade wordt daarom in deze studie beschouwd als irreversibele schade.

Verzakking en instorting

Het al dan niet instorten van een historisch gebouw hangt af van de constructieve sterkte van de muren, vloeren en daken, en van de kwaliteit van het betrokken materiaal. Vele 17^e en 18^e eeuwse woningen en boerderijen hebben een vollwandconstructie (een steensmuur) die in kalk gemetseld is. Bij contact met water en volledige verzadiging zal deze specie ontbinden en zal de muur in elkaar zakken, zeker wanneer de kalkspecie nog niet volledig is gecarbonateerd. Agrarische gebouwen zijn hiervoor extra gevoelig omdat de vollwandconstructie vaak al aangetast is door stoffen die vrijkomen uit de mest van het vee. Muren van woningen en boerderijen uit de tweede helft van de 19^e eeuw zijn naar verwachting gemetseld in een basterdmortel (kalk en cement), en zijn daarom beter bestand tegen overstroming. Ook de 20^e eeuwse gebouwen zullen beter bestand zijn tegen een overstroming omdat het gebruik van cement als metselspecie toen al algemeen was. Massieve, dikke muren, zoals bij kastelen, molens en kerken zullen een overstroming goed doorstaan, zeker wanneer zij in kalk zijn gemetseld zijn en de kalkspecie volledig is gecarbonateerd, of zij in een basterdmortel (kalk en cement) zijn gemetseld.

Het instortingsgevaar wordt groter wanneer de houtconstructie van vloeren en/of de kap met water verzadigd raakt, met name bij gebouwen met een vollwandconstructie, maar ook bij gebouwen met dikke muren waarvan de kalkspecie vaak niet volledig is gecarbonateerd. Het gevaar van instorting is zeer groot wanneer de houtconstructie van slechte kwaliteit is, wat meestal het geval is bij de balkconstructies van boerderijen. Waterverzadiging treedt op bij direct contact met water of, door capillaire werking, bij indirect contact. De stijghoogte van het water in het materiaal is afhankelijk van de soort baksteen. Naar verwachting komt een houten draagconstructie in gevaar als de waterspiegel zich ca. 1 m daaronder bevindt. Het risico van instorten wordt groter naarmate de overstroming langer duurt. De kans op instorten van vollwandconstructies neemt aanzienlijk toe als er sprake is van golfbeweging omdat de stabiliteit van die gebouwen beperkt van omvang is. Schade door verzakking van de fundering kan al optreden als de bodem met water verzadigd is. Daarbij speelt ook de verminderde draagkracht van de bodem een rol. Ook de soort grond is op dit proces van invloed. Dat proces treedt niet alleen op tijdens de overstroming, maar ook als het water (te) snel zakt wanneer de polder leeggepompt wordt.

Zoutschade

Ook bij minder ernstige waterschade kan de schade zich lang manifesteren; zeker in het geval van overstroming door zout water. In Zeeland wordt waterschade opgelopen bij de overstroming van 1953 nog steeds als een verborgen gebrek beschouwd bij verkoop van gebouwen. In deze zogenoemde 'waterhuizen' is gedurende de overstroming alle baksteen met water verzadigd geraakt en zoutbelast. Bij drogen en verdamping treedt er dan expansie van zoutkristallen op, waardoor degradatie van materiaal optreedt, waaronder afbladderen. Het zouttransport kan

meerdere decennia in beslag nemen. Een normale afwerking van de muur (behangen, betegelen, bepleisteren) is zolang nauwelijks mogelijk omdat de aanwezigheid van zouten dit verhindert. Door deze vermindering van de gebruiksmogelijkheden is er sprake van een waardevermindering. De zoutbelasting neemt toe naarmate een overstroming langer duurt, maar na 1-2 maanden is naar verwachting alle baksteen verzadigd. In het geval van boerderijen doet zoutbelasting zich ook bij overstroming met zoet water voor, vanwege het wegvloeien van de inhoud van beerputten/gierkelders.

Overige waterschade

Naast schade aan het casco, wand- en vloerconstructies kan er bij overstroming door zoet of zout water schade ontstaan aan houten constructies, wandbekledingen en -versieringen. Bij houten constructies valt te denken aan vloeren, trappen, deuren, kozijnen en lambrizeringen. Bij wandbekleding aan pleisterwerk, betegelingen, muurschilderingen, gobelins, goudleerbehang, papierbehang en overige afwerkingen. De schade aan houten constructies bestaat voornamelijk uit het onherstelbaar kromtrekken waardoor vervanging noodzakelijk wordt. Bij vervanging gaat de historische waarde verloren. Wandbekledingen en muurschilderingen zullen bij overstroming meestal onherstelbare schade oplopen, zeker wanneer het water slibrijk is waardoor verkleuring optreedt. Door de capillaire werking van muren zal deze schade zeker tot 1 m boven de waterspiegel kunnen optreden.

Ruimtelijke databronnen

In deze studie wordt gebruik gemaakt van de Voorlopige Monumentenkaart van Nederland versie 1.0 van de Rijksdienst voor Monumentenzorg, die formeel alle vervaardigde zaken bevat (waarop de Monumentenwet 1988 onherroepelijk van toepassing is. Versie 1.0 is een tussentijds product, waarin bijvoorbeeld ca. 1% van de meer dan 50.000 objecten nog niet is opgenomen omdat de x- en y-coördinaten onbekend waren, en waarin van ca. 12% de betrouwbaarheid daarvan zeer gering is. Voor deze studie is van belang dat ook gegevens over ouderdom van de monumenten nog ontbreken. Naar verwachting wordt het bestand binnen enkele jaren gecompleteerd. Het is vooralsnog niet mogelijk om schade aan provinciale en gemeentelijke monumenten in kaart te brengen, omdat er geen databestanden zijn die alle dijkkringgebieden omvatten.

Indeling in schadecategorieën

De monumenten in het bestand van de RDMZ zijn geclassificeerd op basis van hun historische functie in 13 groepen, de zogenaamde CBS indeling. Elk van deze groepen is ondergebracht in een voor deze studie relevante schadecategorieën (Tabel 5). De schadecategorieën zijn gerelateerd aan de dikte van de muren, waarbij de categorie agrarische gebouwen apart is genomen. Een indeling naar ouderdom is vooralsnog niet mogelijk (zie Ruimtelijke databronnen). Delen van gebouwen en losse objecten zijn buiten beschouwing gelaten; voorbeelden van deze categorie zijn een kerktoeren, een doopvont, een bedsteewand, een tuinhuis, een gedenksteen en een grenspaaltje.

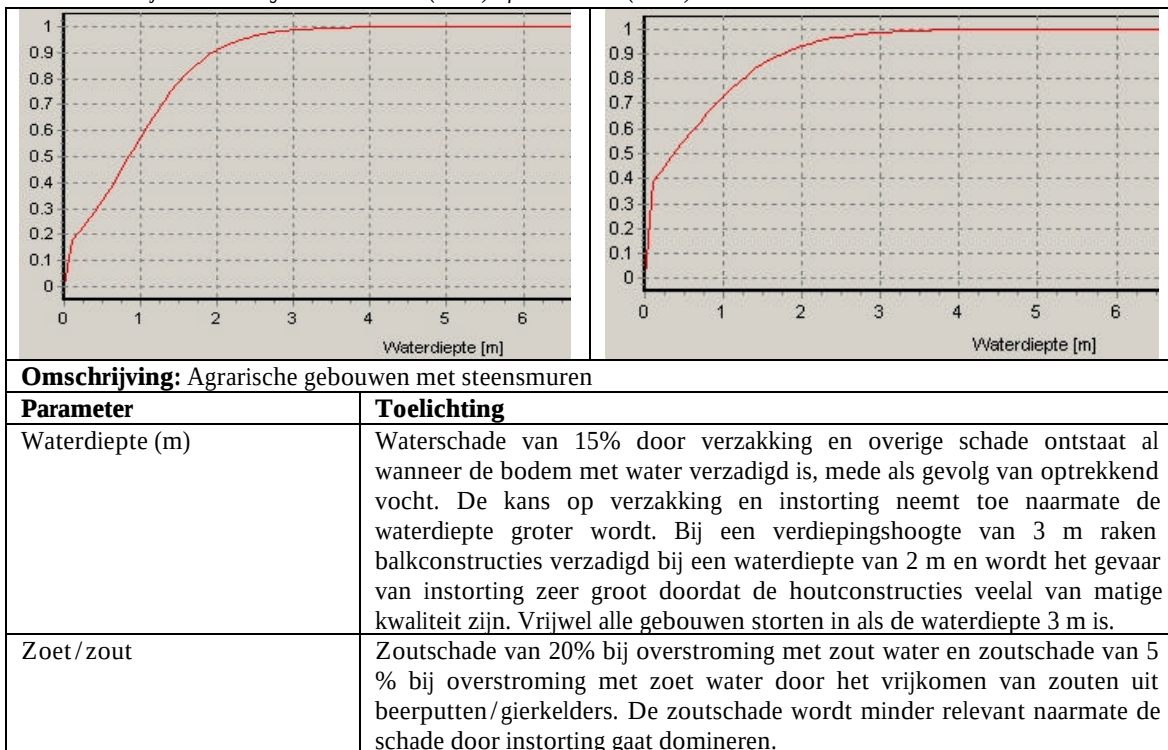
Tabel 5. Indeling van monumenten: de CBS indeling van de Voorlopige Monumentenkaart van de RDMZ en de daaruit afgeleide schadecategorieën

Monumentencategorie	Schadecategorie	Aantal objecten
Agrarische gebouwen	Vollewandconstructie, agrarisch	6473
Openbare gebouwen	Vollewandconstructie	1195
Gebouwen en woonhuizen	Vollewandconstructie	32932
Liefdadige instellingen	Vollewandconstructie	395
Horeca-instellingen	Vollewandconstructie	139
Verdedigingswerken	Dikke muren	853
Kerkelijke gebouwen	Dikke muren	3380
Molens	Dikke muren	1135
Weg- en waterwerken	Dikke muren	738
Kastelen	Dikke muren	806
Objecten in/delen van kerkelijke gebouwen	Nvt	197
Delen van gebouwen en woonhuizen	Nvt	328
Losse objecten	Nvt	2904

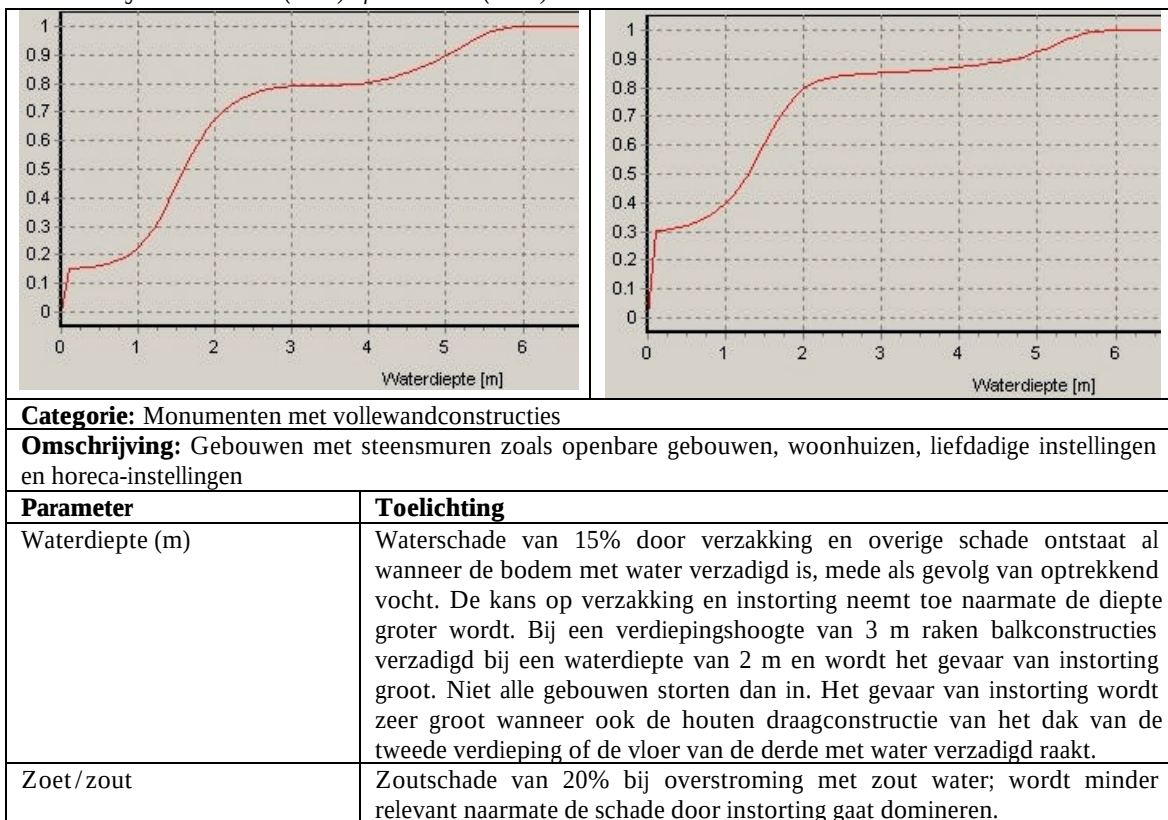
Schadefuncties per categorie

De data omvatten het aantal monumenten per cel. De schade wordt uitgedrukt in de fractie van een gebouw dat schade oploopt. Zolang het gebouw niet instort, en dus volledig verloren gaat, is de schade kleiner dan 1. Een schade van 4 monumenten in een cel hoeft niet te betekenen dat er 4 monumenten verloren gegaan zijn. Het kan ook betekenen dat 8 monumenten 50% schade opgelopen hebben. De schadefunctie geeft de schade fractie tussen 0 en 1 voor een overstroming met zoet water (linker grafiek) of zout water (rechter grafiek).

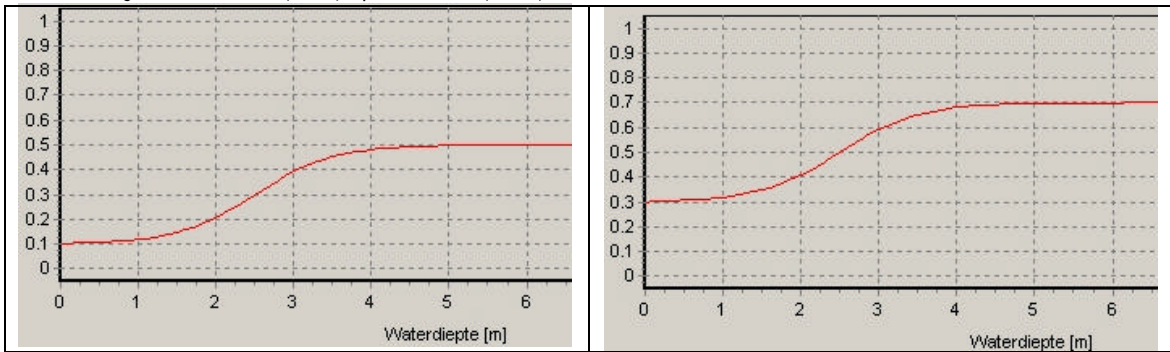
Schadefuncties voor de categorie Monumenten met vollewandsconstructie, agrarisch van het aspect Historische bouwkunde bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



Schadefuncties voor de categorie Monumenten met vollewandsconstructie van het aspect Historische bouwkunde bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



Schadefuncties voor de categorie Monumenten met dikke muren van het aspect Historische bouwkunde bij overstroming met zoet water (links) of zout water (rechts)



Categorie: Monumenten met dikke muren

Omschrijving: Muren van ca. 60 cm dikte of meer zoals voorkomen in verdedigingswerken, kerkelijke gebouwen, molens, weg- en waterwerken en kastelen

Parameter	Toelichting
Waterdiepte (m)	Door de capillaire werking in het materiaal zal er zelfs bij water op maaiveldniveau al 10% schade aan houten constructies en wandbekledingen op kunnen treden, toenemend tot 20% bij grotere waterdiepte. Er ontstaat gevaar voor verzakking en instorting naarmate de waterdiepte groter wordt. Bij een verdiepingshoogte van 4-5 m raken balkconstructies verzadigd bij een waterdiepte van 3-4 m en wordt het gevaar van instorting vrij groot. Niet alle gebouwen storten dan in.
Zoet/zout	Zoutschade van 20% bij overstroming met zout water; wordt minder relevant naarmate de schade door instorting gaat domineren.

4 Prototype HIS-LNC Module

4.1 Algemene opzet

Voor de berekening van de schade aan de landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden ten gevolge van een overstroming in een dijkkringgebied is de HIS-LNC Module ontwikkeld. Het gaat hierbij vooralsnog om een prototype dat is geïmplementeerd op basis van de bestaande Schade en Slachtoffermodule HIS-SSM 2.0. Bij het berekenen van de schade wordt gebruik gemaakt van de bestanden met geografisch georiënteerde gegevens over landschap, natuur en cultuurhistorie (zie Hoofdstuk 3). Het programma combineert deze informatie met informatie over overstromingsscenario's. Bij het combineren van de gegevens wordt gebruik gemaakt van de schadefuncties (zie Hoofdstuk 3) en berekeningsprocedures. De uitvoer van HIS-LNC bestaat uit tabellen en kaarten. Deze laatste kunnen als geografische gridbestanden geëxporteerd worden. Voor uitgebreide systeemdokumentatie van de HIS-LNC Module en een gebruikershandleiding wordt verwezen naar Dijkman et al. (2003) en Huizinga et al. (2003).

De methode waarmee de HIS-LNC Module standaard de schade berekent bouwt voort op de in Hoofdstuk 2 aangegeven prioriteiten en de in Hoofdstuk 3 beschreven databronnen en schadefuncties. Deze 'LNC-Standaardmethode 2002' kan niet worden aangepast; wel kunnen door de gebruiker alternatieve methoden worden gemaakt (eventueel afgeleid van de 'LNC-Standaardmethode 2002'), bijvoorbeeld in het geval er nieuwe databronnen gereedkomen of wanneer er meer of ander inzicht in schaderelaties is ontstaan. De HIS-LNC Module is zo opgezet dat het mogelijk is om later de nieuwe categorieën en aspecten in het systeem op te nemen, zonder dat daar aanpassingen in de software voor nodig zijn. Indien nodig, kunnen dan ook weer gegevens over overstromingsscenario's betrokken worden uit het tweedimensionale overstromingsmodel Delft 1D2D van het Waterloopkundig Laboratorium, zoals nu gebeurt in de Schade en Slachtoffermodule.

De kern van de HIS-LNC Module is het koppelen van gegevens over waterstand bij een overstromingsscenario aan de te verwachten schade bij die waterstand. Naast de waterstand wordt voor de schade aan LNC-waarden ook de parameter zoet/zout meegenomen. Een groot aantal dijkringen in Nederland kan immers zowel met zoet als met zout water overstromen en het blijkt dat zout water een grote invloed op de schade aan LNC-waarden kan hebben (zie Hoofdstuk 3). In tegenstelling tot de HIS Schade en Slachtoffermodule wordt er in de HIS-LNC Module gerekend met niet-monetaire eenheden en relatieve schades. Het is mogelijk om de schadecategorieën te aggregeren tot aspecten, waardoor een hiërarchische classificatie ontstaat. Vooralsnog is het echter niet mogelijk aspecten te aggregeren. De 'LNC-Standaardmethode 2002' wordt in dit hoofdstuk verder uitgewerkt, waarbij de verwerking van data, het berekenen van de schade, en de aggregatie van categorie- naar aspectniveau stapsgewijs worden beschreven, met als voorbeeld het aspect opgaande begroeiing.

In het voorbeeld wordt gewerkt met fictieve schadefuncties, zodat het eenvoudig is de berekeningen te volgen.

4.2 Data

Categoriedata

Elke schadecategorie van een aspect (zie Hoofdstuk 3) heeft zijn eigen ruimtelijke bronbestand waarin de voorraad per cel is opgenomen. De voorraad is de totaal aanwezige hoeveelheid van een categorie in een cel. Voor elke schadecategorie en daarmee voor elke schaderelatie moet een apart gridbestand geïmporteerd worden in de HIS-LNC Module. Voor deze bestanden is als basis een grid met cellen van 500 meter x 500 meter gekozen, omdat de betrouwbaarheid van de LNC-data geen gedetailleerder grid toelaten, maar ook omdat bij afname van de gridgrootte de omvang van gridbestanden snel toeneemt waardoor de bestanden onhandelbaar worden. De module converteert de bestanden in een eigen formaat. In het voorbeeld van opgaande begroeiing zijn er dus drie datasets voor de schadeklassen Intolerant, Matig tolerant en Tolerant, met per cel de hoeveelheid aanwezige eenheden (Tabel 6), in dit geval uitgedrukt in hectares (ha):

Tabel 6. Dataset van 6 cellen, voor het aspect opgaande begroeiing voor de schadecategorieën Intolerant, Matig tolerant en Tolerant van het aspect Opgaande begroeiing.

Cel	A	B	C
1	3 ha Intolerant 2 ha Matig tolerant 1 ha Tolerant	0 ha Intolerant 10 ha Matig tolerant 10 ha Tolerant	2 ha Intolerant 5 ha Matig tolerant 1 ha Tolerant
2	10 ha Intolerant 0 ha Matig tolerant 1 ha Tolerant	10 ha Intolerant 10 ha Matig tolerant 20 ha Tolerant	5 ha Intolerant 5 ha Matig tolerant 1 ha Tolerant

Scenariodata

Voor het berekenen van de schade aan LNC-waarden is een dataset met gegevens over waterdiepte per cel nodig (Tabel 7), eventueel te berekenen uit twee datasets met informatie over waterstand en bodemhoogte. Verder is informatie nodig over het overstromen met zoet of zout water; deze varieert echter niet per cel en is dus niet als dataset opgenomen.

Tabel 7. Dataset voor 6 cellen, voor de overstromingsparameter waterdiepte.

Cel	A	B	C
1	1 meter	0 meter	5 meter
2	3 meter	2 meter	6 meter

4.3 Schadeberekening

Schadefuncties

Schadefuncties voor elk van de schadecategorieën worden gegeven in Bijlage 3. In het hier gegeven voorbeeld wordt gewerkt met fictieve schadefuncties voor de drie schadecategorieën van het aspect historische bouwkunde:

Intolerant:	$\text{schadefunctie} = \text{Min}(1, (d/2))$
Matig tolerant:	$\text{schadefunctie} = \text{Min}(1, (d/3))$
Tolerant:	$\text{schadefunctie} = \text{Min}(1, (d/5))$

Absolute schade per cel

In de HIS-LNC Module kan van elke categorie een kaart opgevraagd worden met daarin de absolute schade. De berekening van deze schade vindt op dezelfde wijze plaats als in de HIS-SSM 2.0. Per categorie wordt de schade voor elke cel berekend volgens de schaderelatie:

$$\text{Schade}_c = \text{Maxschade} * n * f(\text{schadefunctie}_c)$$

waarin:

c	=	cel
Maxsschade	=	constant = 1 (zie uitleg onder Maxsschade).
n	=	het aantal natte eenheden
f(schadefunctie _c)	=	schadefractie (tussen 0 en 1)

De Maxsschade wordt in de HIS-SSM gebruikt om de categorie-eenheid om te rekenen naar een schade-eenheid. Omdat in de methode voor LNC waarden de categorie-eenheid gelijk is aan de schade-eenheid, heeft de Maxsschade geen functie, en is voor alle schaderelaties op 1 gezet. Als er in de toekomst informatie komt over financiële schade per eenheid dan, kan de Maxsschade ook gebruikt gaan worden. Hiermee zou dan de dimensie van de absolute maten veranderen, van bijvoorbeeld hectare naar Euro's.

Het aantal natte eenheden is het aantal cellen waarvoor de schaderelatie geldt. In het voorbeeld zijn dat het aantal hectares Intolerant, Matig tolerant en Tolerant dat onder water komt te staan in het betreffende scenario. In dezelfde berekeningslag wordt ook het aantal natte eenheden bepaald (weer per cel, per schaderelatie).

De schade in cel 2A voor de categorie Intolerant wordt dan als volgt berekend:

Maxsschade	=	1
N	=	10 ha
schadefunctie	=	$\text{min}(1, (d/2))$
waterdiepte d	=	3

$$\text{Schade}_{2A} = 1 * 10 * (\text{Min}(1, \frac{3}{2})) = 10 \text{ ha}$$

Uitgewerkt voor het gehele voorbeeld levert dit de volgende dataset op (Tabel 8):

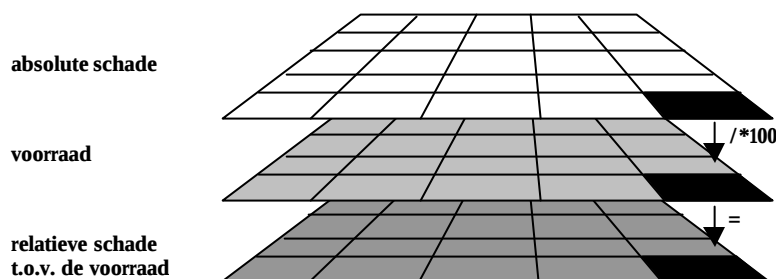
Tabel 8. Absolute schade in 6 cellen voor de schadecategorieën Intolerant, Matig tolerant en Tolerant van het aspect Opgaande begroeiing

Cel	A	B	C
1	1.5 (Intolerant)	0.0 (Intolerant)	2.0 (Intolerant)
	0.7 (Matig tolerant)	0.0 (Matig tolerant)	5.0 (Matig tolerant)
	0.2 (Tolerant)	0.0 (Tolerant)	1.0 (Tolerant)
2	10 (Intolerant)	10 (Intolerant)	5.0 (Intolerant)
	0.0 (Matig tolerant)	6.7 (Matig tolerant)	5.0 (Matig tolerant)
	0.6 (Tolerant)	8.0 (Tolerant)	1.0 (Tolerant)

Relatieve schade

Naast de absolute schade is het ook mogelijk om relatieve schade in een cel te berekenen. Dit is de geleden schade uitgedrukt in een percentage ten opzichte van de totale voorraad in een cel (Figuur 1):

$$\text{Relatief schadepercentage}_c = (\text{Schade}_c / \text{Totale voorraad}) * 100$$



Figuur 1. Berekening van de relatieve schade

In het voorbeeld wordt dit (Tabel 9):

Tabel 9. Relatieve schade in 6 cellen, per schaderelaties (nd = NoData)

Cel	A	B	C
1	50% (Intolerant)	nd (Intolerant)	100% (Intolerant)
	35% (Matig tolerant)	0% (Matig tolerant)	100% (Matig tolerant)
	20% (Tolerant)	0% (Tolerant)	100% (Tolerant)
2	100% (Intolerant)	100% (Intolerant)	100% (Intolerant)
	nd (Matig tolerant)	67% (Matig tolerant)	100% (Matig tolerant)
	60% (Tolerant)	40% (Tolerant)	100% (Tolerant)

Bij de berekening van de relatieve schade per cel wordt rekening gehouden wordt met NoData cellen. Dit zijn cellen waarin de waarde voor een categorie 0 is, omdat die daar niet voorkomt. Dit betekent dat geen schade mogelijk is. In de rapportage dienen deze NoData cellen als zodanig gepresenteerd te worden, omdat er anders geen onderscheid mogelijk is

met cellen waarin de schade (na berekening) 0 is. Deze cellen worden in de rapportage als NoData opgenomen en in de kaart als -9999.

Schade per scenario

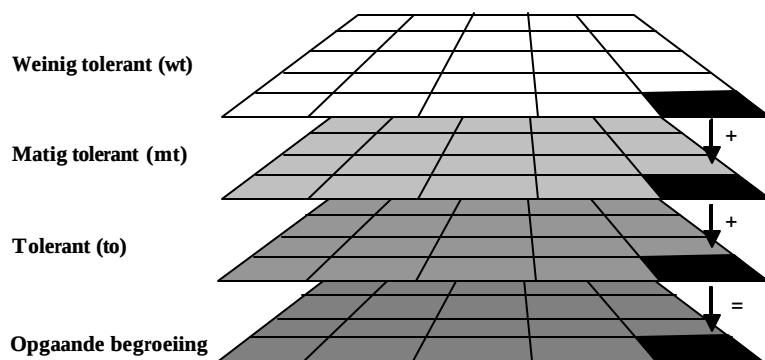
De gebruiker kan een (dijkring)gebied aangeven waarover de schade gesommeerd moet worden. De uitvoer bestaat uit een tabel waarin voor elke schaderelatie getallen voor het (dijkring)gebied worden getoond:

Voorraad:	$\Sigma(\text{Totale hoeveelheid, cel})$
Natte eenheden:	$\Sigma(\text{Hoeveelheid natte eenheden, cel})$
Relatieve schade t.o.v. voorraad:	$\Sigma(\text{Schade, cel}) / \Sigma(\text{Totale hoeveelheid, cel}) * 100$
Relatieve schade t.o.v. natte eenheden:	$\Sigma(\text{Schade, cel}) / \Sigma(\text{Natte eenheden, cel}) * 100$

De voorraad geeft de totale hoeveelheid van een categorie in een scenario weer. Het aantal natte eenheden is de hoeveelheid van een categorie die onder water komt te staan in het betreffende scenario. De relatieve schade ten opzichte van de voorraad geeft een indruk van de omvang van de schade ten opzichte van de totaal aanwezige hoeveelheid in een scenario. De relatieve voorraad ten opzichte van het aantal natte eenheden geeft de ernst van de schade weer van die cellen die ook werkelijk onder water zijn gekomen. De absolute schade wordt niet getoond in de uitvoertabel omdat deze tot verkeerde interpretaties kan leiden. Een schade van 40 voor monumenten, bijvoorbeeld, betekent niet dat er 40 monumenten verloren gegaan zijn, maar dat de gesommeerde schade 40 is. Die schade kan zich voordoen bij meer dan 40 monumenten.

4.4 Aggregatie van schadecategorieën

De schade per categorie kan gesommeerd worden om de schade aan een aspect te bepalen (Figuur 2). Voor de berekening van de relatieve schade wordt hetzelfde principe toegepast. De absolute schade van een aspect wordt gedeeld door het gesommeerde aantal natte eenheden c.q. de voorraad van een aspect. Vervolgens wordt het resultaat met 100 vermenigvuldigd om tot percentages te komen.



Figuur 2. Berekening van de schade per aspect

5 Toepassing in overstromingsscenario's

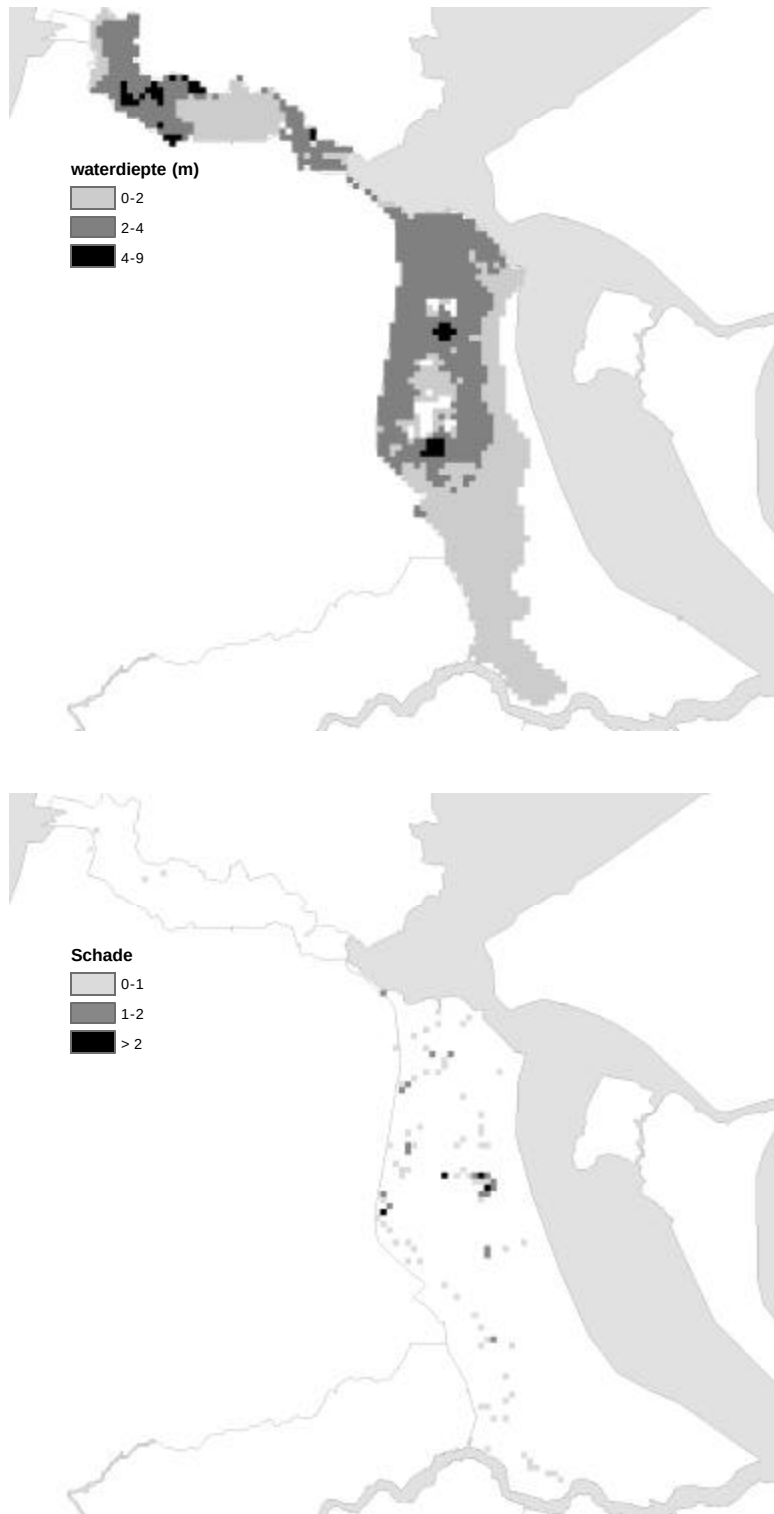
5.1 Scenarios en dijkkringgebieden

De schadefuncties en de HIS-LNC Module zijn toegepast in een berekening van de schade aan landschaps-, natuur- en cultuurhistorische waarden door overstroming van dijkkringgebieden, door een koppeling aan overstromingsscenario's. Als voorbeeld voor de werking van de methode en het prototype, is er gekozen voor een berekening van schade in de dijkkringgebieden 14 (Centraal Holland) en 44 (Kromme Rijn), omdat daarmee zowel verschillen door wel of geen overstroming, door een kleine of grote overstromingsdiepte, alsook door overstroming met zoet of zout water in beeld gebracht konden worden. Deze aspecten zijn immers sterk bepalend voor de mate van schade. Kenmerk van beide scenario's is dat de waterspiegel tijdens de overstroming gelijk genomen is met de laagste kruinhoogte van de dijkkring. Daardoor wordt in deze scenario's de maximale schade berekend, omdat het aannemelijk is dat er in werkelijkheid lagere waterstanden optreden, bijvoorbeeld door een beperking van de toevoer van water door de bres in de dijk of door de aanwezigheid van secundaire waterkeringen. De waterdiepte is berekend op basis van gegevens over de bodemhoogte uit het bestand TOPhoogteMD (<http://www.minvenw.nl/rws/mdi/geoloket/tophoogtemd.html>). De plassen binnen de dijkkringen 14 en 44, zoals de Kaag en de Loosdrechtse Plassen, hebben geen waarde gekregen. Het verschil tussen overstroming met zoet of zout water is opgenomen als scenarioekenmerk, zodat de twee scenario's hierin van elkaar verschillen.

5.2 Schade aan LNC-waarden

De uitvoer van HIS-LNC bestaat uit tabellen en kaarten, die samen inzicht geven in de aard en ernst van de schade aan de LNC-aspecten. Een analyse van de gevolgen van overstroming voor alle dijkkringgebieden valt buiten het kader van deze studie. Hier wordt volstaan met enkele voorbeelden, die duidelijk maken hoe de rapportages uit de HIS-LNC Module geïnterpreteerd kunnen worden.

Uit een vergelijking van de twee kaartjes in Figuur 3 wordt bijvoorbeeld duidelijk hoe de schade aan een LNC-aspect samenhangt met de aard van het dijkkringgebied. Dijkkringgebied 44 omvat drie verschillende landschapstypen: een rivierenlandschap in het zuidoosten, een veenplassegebied in het midden en een zeekleigebied in het noordwesten. Het terrein helt dan ook in deze richting af, met als gevolg dat in het zuidoosten van het gebied de waterdiepte ondiep is en er relatief weinig schade aan historische bebouwing wordt geleden. De schade is relatief hoog in de zeekleipolders in het noordwesten, omdat daar de waterdiepte oploopt tot meer dan 3 m.



Figuur 3. De waterdiepte bij een overstroming met zoet water in dijkkringgebied 44 (boven) en de absolute schade aan de categorie agrarische monumenten van het aspect historische bouwkunde (onder)



Figuur 4. De absolute schade aan de categorie matig tolerante soorten van het aspect opgaande begroeiing in dijkkringgebied 14 bij een overstroming met zoet water (boven) en een overstroming met zout water (onder)

Dijkringgebied 14 is een typisch voorbeeld van een dijkringgebied dat zowel door zoet als door zout water kan overstroomd. Het ligt immers aan zee en aan de grote rivieren. Uit een vergelijking van de kaartjes in Figuur 4 blijkt dat de schade aan opgaande begroeiing zeer veel groter is in het geval van een overstroming door zout water.

Bij vergelijking van de twee dijkringgebieden 14 en 44 (zie Tabellen 10 en 11) valt op dat de schade aan opgaande begroeiing, vegetatie en historische bebouwing in dijkringgebied 14 veel groter is dan in dijkringgebied 44. Belangrijke reden hiervoor is dat door de grotere omvang van dijkringgebied 14 de 'voorraad', dat is het totaal aan waarden, veel groter is. Opvallend is echter dat de schade aan de schadecategorieën Brak en Aquatisch-nat en voedselarm van het aspect Vegetatie en aan het aspect Veengemeenschappen in dijkringgebied 44 groter is, terwijl juist daar de aquatisch-nat en voedselarm categorie van zeer goede kwaliteit is (Groen, 2003). In tegenstelling tot dijkringgebied 14 sterven in dijkringgebied 44 alle veengemeenschappen uit, waardoor er ook geen mogelijkheden meer zijn voor herkolonisatie.

Groep	Schadedetail	% Schade tov. 'natte' eenheden	Aantal 'natte' eenheden	% Schade tov. voorraad	Voorraad	Dimensie
14	Historische bebouwing		7077		11172	
	Monumenten - volwaardigconstructie	71	8854	64	9855	stukke
	Monumenten - dikke muren	15	586	22	621	stukke
	Monumenten - volwaardigconstructie agrarisch	76	560	82	586	stukke
	Opgaande begroeiing		10657		17943	
	Opgaande begroeiing - Intolerante soorten	100	10240	77	13297	ha
	Opgaande begroeiing - Matig tolerante soorten	18	2254	11	962	ha
	Opgaande begroeiing - Tolerante soorten	0	892	0	994	ha
	Vegetatie		10071		23287	
	Vegetatie - Brak-silt	90	464	60	612	fractie
	Vegetatie - Aquatisch-nat voedselarm	30	270	51	474	fractie
	Vegetatie - Aquatisch-nat matig voedselrijk	30	3007	77	3207	fractie
	Vegetatie - Aquatisch-nat zeer voedselrijk	73	6792	73	7025	fractie
	Vegetatie - Vochtig-droog voedselarm	84	878	56	1478	fractie
	Vegetatie - Vochtig-droog matig voedselrijk	90	4221	79	4822	fractie
	Vegetatie - Vochtig-droog zeer voedselrijk	85	7090	70	7668	fractie
	Zoetwaterecosystemen		7		8	
	Aquatische ecosystemen - Veengemeenschap	100	7	88	8	voorkomen

Tabel 10. Overzicht van de schade aan LNC-aspecten in dijkringgebied 14 bij een overstroming met zoet water, zoals gerapporteerd in de HIS-LNC Module

Groep	Schadedetail	% Schade tov. 'natte' eenheden	Aantal 'natte' eenheden	% Schade tov. voorraad	Voorraad	Dimensie
44	Historische bebouwing		2175		4555	
	Monumenten - volwaardigconstructie	54	3918	50	3895	stukke
	Monumenten - dikke muren	26	252	20	223	stukke
	Monumenten - volwaardigconstructie agrarisch	78	136	47	127	stukke
	Opgaande begroeiing		3403		10413	
	Opgaande begroeiing - Intolerante soorten	100	3406	47	7173	ha
	Opgaande begroeiing - Matig tolerante soorten	4	431	1	1716	ha
	Opgaande begroeiing - Tolerante soorten	0	1202	0	1518	ha
	Vegetatie		5161		9114	
	Vegetatie - Brak-silt	90	225	67	223	fractie
	Vegetatie - Aquatisch-nat voedselarm	30	240	66	256	fractie
	Vegetatie - Aquatisch-nat matig voedselrijk	80	1001	58	1345	fractie
	Vegetatie - Aquatisch-nat zeer voedselrijk	75	1417	51	2091	fractie
	Vegetatie - Vochtig-droog voedselarm	96	258	46	622	fractie
	Vegetatie - Vochtig-droog matig voedselrijk	30	1337	57	2333	fractie
	Vegetatie - Vochtig-droog zeer voedselrijk	85	1563	55	2424	fractie
	Zoetwaterecosystemen		13		13	
	Aquatische ecosystemen - Veengemeenschap	100	13	100	13	voorkomen

Tabel 11. Overzicht van de schade aan LNC-aspecten in dijkringgebied 44 bij een overstroming met zoet water, zoals gerapporteerd in de HIS-LNC Module

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit project is een methode ontworpen voor het op reproduceerbare wijze bepalen van schade aan landschaps-, natuur- en cultuurhistorische aspecten als gevolg van een overstroming van dijkkringgebieden. Tevens is een prototype van een HIS-LNC Module ontwikkeld en geïmplementeerd in de HIS Schade en Slachtoffersmodule. Daarmee is het mogelijk geworden LNC-aspecten op systematische wijze op te nemen in een analyse van overstromingsrisico's.

Vooralsnog is de methode alleen uitgewerkt voor 4 prioritaire LNC-aspecten, te weten opgaande begroeiing, vegetatie, zoetwaterecosystemen en historische bouwkunde. In een analyse van overstromingsrisico's kan er dus nog geen uitspraak gedaan worden over de schade aan de totale LNC-waarde, zoals omschreven hoofdstuk 2. Het verdient daarom aanbeveling om ook voor de andere LNC-aspecten schadefuncties (zie Tabel 1) te ontwerpen en deze in de HIS-LNC Module te implementeren.

In deze studie zijn twee overstromingsparameters naar voren gekomen, die in belangrijke mate bijdrage aan de schade, namelijk het zoutgehalte van het water en de tijdsduur van de overstroming. Het al dan niet zout zijn van water is als scenarioekenmerk opgenomen in de HIS-LNC Module, maar de tijdsduur is gekoppeld aan de waterdiepte van overstroming. Voor een betere analyse van de overstromingsrisico's verdient het sterke aanbeveling het aspect van tijdsduur verder uit te werken tot een volwaardige overstromingsparameter. Daarnaast lijkt het nodig de gevolgen van sedimentafzetting bij overstromingen te onderzoeken, voor een scenario waarin sprake is van getijdenbeweging.

In dit project is de HIS-LNC Module voorbeeldsgewijs gebruikt voor een analyse van de schade in twee dijkkringgebieden. Daaruit bleek al dat er ook voor wat betreft LNC-waarden duidelijke verschillen optreden in de gevolgen van een overstroming. In welke mate schade ondervonden wordt hangt af van het type gebied, het type water (zoet of zout), en de gevoeligheid van de daar aanwezige LNC-waarden. Het is dus de moeite waard de verschillen tussen dijkkringgebieden te analyseren. Inzicht in deze verschillen kan gebruikt worden voor een analyse van prioriteiten in dijkonderhoud- en versterking, of een heroverweging van veiligheidsniveau's voor dijkkringgebieden.

Literatuur

Algemeen

- Broekhuizen, S., Hoekstra, B., Laar, V. van, 1992. Atlas van de Nederlandse zoogdieren. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.
- Dijkman, M., Janssen, P., Huizinga, J., 2003. HIS-LNC module prototype: systeemdokumentatie. Rapport, HKV LIJN IN WATER, Lelystad / Geodan IT, Amsterdam.
- Dijkstra, H., 1998. Graadmeters voor landschapskwaliteit: raamwerk en bouwstenen voor een kwaliteitsindex 2000+. Werkdocument 1998/04, DLO Natuurplanbureau, Wageningen.
- Farjon, J.M.J., Dirks, G.H.P., Koomen, A.J.M., Vervloet, J.A.J., Lammers, G.W., 2001. Neder-landschap Internationaal: bouwstenen voor een selectie. Rapport 358, Alterra, Wageningen.
- Groen, K., 2003. Toelichting bij de floristische verspreidingsgegevens ten behoeve van de modellering van de gevolgen van overstromingen op de flora. Rapport 2002.67, Stichting FLORON, Leiden.
- Hoogeveen, Y., Beek, H. van der, Berg, A. van der, Eupen, M. van, Farjon, H., Goossen, M., Langers, F., Os, J. van, Steenvoorden, J., Vreke, J., 2000. Proef op de zon: indicatoren voor de kwaliteit van de groene ruimte. Rapport 59, Alterra, Wageningen.
- Huizinga, H.J., Dijkman, M., Meijerink, T.C., Nieuwenhuizen, W., 2003. HIS- LNC module prototype: gebruikershandleiding. Rapport, HKV LIJN IN WATER, Lelystad / Geodan IT, Amsterdam / Alterra, Wageningen.
- Knol, W.C., Jokovi, E.M., Blankena, A., Meulenkamp, W.J.H., Naeff, H.S.D., Weijsschede, T.J., 2002. Een vergelijking van potentiële noodoverloopgebieden op aspecten van natuur, landschap en cultuurhistorie, landbouw en recreatie. Rapport 522, Alterra, Wageningen.
- Kok, M., Huizinga, H.J., Meijerink, T.C., Vrouwenfelder, A.C.W.M., Vrisou van Eck, N., 2002. Standaardmethode 2002 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. Rapport PR582.10, HKV LIJN IN WATER, Lelystad.
- Milieu- en natuurplanbureau, 2002. Natuurbalans 2002. RIVM, Bilthoven / Stichting DLO, Wageningen.
- Ministerie van LNV, 1992. Nota Landschap: regeringsbeslissing Visie Landschap. Ministerie van LNV, Den Haag.
- Ministerie van OCenW, Ministerie van LNV, Ministerie van VROM, Ministerie van VenW, 1999. Belvedere: beleidsnota over de relatie cultuurhistorie en ruimtelijke inrichting. VNG uitgeverij, Den Haag.
- Siebel, H.N. 1998. Floodplain forest restoration: tree seedling establishment and tall herb interference in relation to flooding and shading. Scientific Contribution 9, IBN, Wageningen.

- Stuyt, L.C.P.M., Bolt, F.J.E. van der, Bont, C.H.M. de, et al., 2001. Effecten van overstromingen op LNC-waarden, landbouw, natuur en milieu: een globale verkenning van effecten en schade ten gevolge van overstroming van landbouw- en natuurgebieden. In: Heijer, F. den, Veen, A. van der, Stuyt, L., et al., Wat als we nat gaan: een beschouwing van de stand van zaken. Syllabus, Delft Cluster, Delft.
- TAW, 2000. Van overschrijdingskans naar overstromingskans. Publicatie P00.04, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.
- TDN, 1998. Productbeschrijving TOP10Vector. Topgrafische Dienst Nederland, Emmen.
- Vrisou van Eck, N., Kok, M., 2001. Standaardmethode Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. Publicatie W-DWW-2001-028, Dienst Weg- en waterbouwkunde, Delft / HKV LIJN IN WATER, Lelystad.

Opgaande begroeiing

- Brett, I., 1954. Observations on the Damage Caused by Sea Water to Plantations in Norfolk and Suffolk. Quarterly Journal of Forestry 48, 217-218.
- Burg, J. van den, 1982. De betekenis van chloride voor bomen: toxische gehalten in blad, naalden en grond, een literatuuroverzicht. Rapport 323, RBL De Dorschkamp, Wageningen.
- Clement, J. 2001. J. GISBOS Vierde Bosstatistiek: documentatie van bestanden. Alterra, Wageningen.
- Gill, 1970. The flooding tolerance of woody species: a review. Forestry Abstracts 31, 671-688.
- Kopinga, J., Olsthoorn, A.F.M., (In voorbereiding). Tolerantie van bomen voor vernatting: inschatting van de mogelijke effecten van de grondwaterstijging in Zuid-Kennemerland. Verslag van een studie, uitgevoerd in opdracht van de N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. Alterra, Wageningen. 25p.
- Kozlowski, T.T., 1984. Plant Responses to Flooding of Soil. Bioscience 34, 162-167.
- Linde, R.J. van der, Meiden, H.A. van der, 1954. Enkele voorlopige resultaten van een onderzoek naar de invloed van de inundatie 1953 op houtsoorten.
- CBS, 1985. De Nederlandse Bosstatistiek. Deel 1: de oppervlakte van het Nederlandse bos. Publicatie, Centraal Bureau voor de Statistiek, 's Gavenhage.
- DRYADE, 1977. Dendrologische databank. CD-Rom, BLW / PUDOC-DLO, Wageningen. 1997. (<http://www.bib.wau.nl/boombank/>)
- NVTB, 2001. Richtlijnen 2001. Technische commissie Uitwerking van boomwaarden- en boomschadebeoordelingsmethoden. Nederlandse Vereniging van Taxateurs van Bomen, Apeldoorn.
- Olsthoorn, A.F.M., Kopinga, J., Tolkamp, G.W., Berg, C.A. van den, Ter Braak, C.J.F., 2002. Effecten van vernatting in bossen. OBN Nieuwsbrief 02(16), 1-4. Verschenen in Vakblad Natuurbeheer jrg. 41 nr. 5.
- Palik, B.J., Michener, W.K., Mitchell, R.J., Edwards, D., 1999. The effects of landform and plant size on mortality and recovery of long leaf pine during a 100-year flood. Ecoscience 6, 255-263.
- Richardson, S.D., 1955. Effects of sea-water flooding on tree growth in The Netherlands. Quarterly Journal of Forestry 49, 22-28.

- Wiersma, J.H., Glerum, B.C., 1955. Verslag 1954: zoutschade aan houtsoorten. In 1954 voortgezet onderzoek naar de invloed van de inundatie 1953 op houtsoorten. Bericht van het Instituut voor Bosbouwkundig Onderzoek (IBO), Afdeling Houtteelt te Wageningen, in samenwerking met het Laboratorium voor Plantenfysiologisch Onderzoek te Wageningen en met het Instituut voor Toegepast Biologisch Onderzoek in de Natuur (ITBON) te Arnhem. 45p. (manuscript).
- White, P.M., 1973. Plant tolerance for standing water: an assessment. *Arborist News* 38, 41-42.

Vegetatie

- Aubroeck, B., Huybrechts, W., Becker, P. de., 1998. Verkennend ecohydrologisch onderzoek van de Demervallei tussen Diest en Werchter. Rapport 98.05, Instituut voor Natuurbehoud.
- Brock, T. C. M., Velde, G. van der, Steeg, H.M. van der, 1987. The effects of extreme water level fluctuations on the wetland vegetation of a nymphaeid-dominated oxbow lake in the Netherlands. *Arch. Hydrobiol. Beih./Ergebn. Limnol.* 27, 57-73.
- De Graaf, M. C. C., Steeg, H.M. van der, Voesenek, L.A.C.J., Blom, C.W.P.M., 1990. Vegetatie in de uiterwaarden: de invloed van hydrologie, beheer en substraat. Publikaties en rapporten van het project 'Ecologisch Herstel Rijn' no.16, RIZA, Lelystad.
- Delft Cluster., 2001. Wat als we nat gaan: een beschouwing van de stand van zaken. Syllabus, WL Delft Hydraulics, Delft.
- Duel, H. 1991. Natuurontwikkeling in uiterwaarden: perspectieven voor het vergroten van rivierdynamiek en het ontwikkelen van ooibossen in de uiterwaarden van de Rijn. EHS-publicatie no. 29, RIZA, Lelystad.
- Grime, J. P., Hodgson, J.G., Hunt, R., 1988. Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. Unwin Hyman, London.
- Groen, K., 2003. Toelichting bij de floristische verspreidingsgegevens ten behoeve van de modellering van de gevolgen van overstromingen op de flora. Rapport 2002.67, Stichting FLORON, Leiden.
- Knaapen, J. P., Rademakers, J.G.M., 1990. Rivierdynamiek en vegetatieontwikkeling. Rapport 82, SC-DLO, Wageningen.
- Leemans, J. A. A. M., 1985. Onderzoek naar de relatie tussen vegetatie, ontgronding en rivierregime in de Gelderse uiterwaarden. Provincie Gelderland, Arnhem.
- Maenen, M. M. J., 1989. Water- en oeverplanten in het zomerbed van de Nederlandse grote rivieren in 1988. Hun voorkomen en relatie met algemene fysisch-chemische parameters. EHR-rapport 13, RIZA, Lelystad.
- Meuleman, A. F. M., 1999. Performance of treatment wetlands: de zuiveringsfunctie van moerassen. Rijksuniversiteit Utrecht.
- Runhaar, J., Groen, C.L.G., Meijden, R. van der, 1987. Een nieuwe indeling in ecologische groepen binnen de Nederlandse flora. Rijksherbarium, Leiden.
- Runhaar, J., Maas, C., Meuleman, A.F.M., Zonneveld, L.M.L., 2000. Herstel van natte en vochtige ecosystemen. Handboek, NOV-rapport 9-2, RIZA, Lelystad.
- Scheffer, M., 1998. Ecology of shallow lakes. Chapman and Hall.

- Spink, A., Sparks, R.E., Oorschot, M. van, Verhoeven, J.T.A., 1998. Nutrient dynamics of large river floodplains. *Regulated Rivers: Research and Management* 14, 203-216.
- Stevens, R. A. M., Runhaar, J., Groen, C.L.G., 1987. Het CML-ecotopensysteem: uitwerking voor noord-, west- en zuidwest-Nederland. Mededeling 34, Centrum voor Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden, Leiden.
- Thompson, K., Bakker, J.P., Bekker, R.M., 1997. *Seedbanks of Northwest Europe*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Van den Brink, F., Klink, A., Velde, G. van der, 1993. Natuurontwikkeling in uiterwaarden door verhoging rivierdynamiek? *De Levende Natuur* 94, 59-64.
- Van Duren, I. C., Pegtel, D.M., 2000. Nutrient limitations in wet, drains and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results. *Plant and Soil* 220, 35-47.
- Van Oorschot, M., 1996. Effects of vegetation on carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in English and French riverine grasslands. Rijksuniversiteit Utrecht.
- Verlinden, A., 1985. De dynamiek van kruidachtige vegetaties in functie van waterhuishouding en beheer van natuurgebieden. Rijksuniversiteit Gent.
- Wienk, L. D., Verhoeven, J.T.A., Coops, H., Portielje, R., 2000. Peilbeheer en nutriënten: literatuurstudie naar de effecten van peildynamiek op de nutriëntenhuishouding van watersystemen. Rapport 2000.012, RIZA, Lelystad.
- Witte, J. P. M., 1998 . National water management and the value of nature. Witte, [S.l.] .

Zoetwaterecosystemen

- Gittenberger, E., Janssen, A.W., (Eds.), 1998. *De Nederlandse zoetwatermollusken*. KNNV uitgeverij.
- Higler, L.W.G., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 7: laagveenwateren. Rapport AS-07 EC-LNV.
- Higler, L.W.G., 2002. Gegevens over de verspreiding van kokerjuffers. In prep.
- Mol, A.W.M., 1980. Verspreidingskaarten van platwormen en bloedzuigers. Ongepublic. mededel.
- Mol, A.W.M., Schreijer, M., Vertegaal, P., 1982. De makrofauna van de Maarsseveense Plassen. Bijlagen. RIN-rapport.
- Nijboer, R., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel. Rapport AS-0.
- Sybenga, D.S., 2001. Waterkwaliteitsbepaling m.b.v. macroinvertebraten. Rapport Natuurmonumenten.
- Van de Velde, G. 2002. Persoonlijke mededeling over platwormen en bloedzuigers.

Historische bouwkunde

- Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen, 1999. Nota Belvedere: beleidsnota over de relatie cultuurhistorie en ruimtelijke inrichting. VNG uitgeverij, Den Haag.
- Monumentenwet, 1988. http://www.rdmz.nl/wetreg/monumentenwet_body.html
- Oorzaken van schade aan baksteenmetselwerk en herstel. Info restauratie en beheer 4 en 5, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist.

Schimmels in hout: oorzaken en oplossingen. Info restauratie en beheer 21, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist.

Tammens, E., Vos, B.H., 1980. Warmte- en vochttransport in bouwconstructies. Kluwer Technische Boeken B.V., Deventer.

Vocht en zouten in metselwerk. Info restauratie en beheer 8, Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist.

Bijlage 1 Erosie en sedimentatie bij overstroming van dijkkringgebieden

Door Bart Makaske

Inleiding

Voor het inschatten van de effecten van overstroming op de aardkundige waarden, cultuurhistorische waarden en de vegetatie is het van belang om kennis te hebben over de slibsedimentatie. Hierbij valt te denken aan aantasting van aardkundige en historische waarden door reliëfveranderingen en schade aan voedselarme vegetaties door verrijking met voedselrijk slib (zie paragrafen 2.2 en 3.3). Tot nu toe is er echter weinig aandacht besteed aan deze overstromingsparameter en is die ook niet opgenomen in de HIS Schade en Slachtoffersmodule.

In deze bijlage wordt geprobeerd een inschatting te maken van de hoeveelheid sediment die afgezet wordt bij overstroming van een dijkkringgebied. Uitgegaan wordt van een overstroming in januari-februari met een duur van twee maanden. Hierbij zijn twee scenario's onderzocht: een overstroming door zoet rivierwater en een overstroming met zout water vanuit zee. Verwacht wordt dat er fundamentele verschillen in sedimentatie zullen zijn tussen deze twee scenario's. Deze verschillen bestaan op twee belangrijke punten: (1) bij overstroming vanuit zee zullen getijdenstromingen zorgen voor een voortdurende uitwisseling van water en sediment tussen de zee en het overstroomde dijkkringgebied, bij een overstroming vanuit een rivier is uitwisseling na het volledig vollopen van het dijkkringgebied meestal gering; (2) bij een overstroming met zout water speelt slibafzetting door vlokvorming een veel belangrijker rol dan bij een overstroming met zoet water.

Binnen deze beperkte studie is het onmogelijk om de complexe sedimentatieprocessen binnen een dijkkringgebied te modelleren. Daarom wordt hier volstaan met een schatting op basis van overstromingsdiepte en sedimentconcentratie in het overstromingswater. Daarnaast is gebruik gemaakt van (sedimentatie)gegevens over historische overstromingen.

Sedimentatie bij overstroming met rivierwater

Sediment komt hoofdzakelijk gesuspendeerd in water het geïnundeerde dijkkringgebied binnen. Volgens Asselman (1997, p. 103) is de gemiddelde concentratie van suspensiemateriaal in rivierwater van de Rijn bij Lobith 30 mg/l. Tijdens perioden van hoogwater variëren de maximumconcentraties tussen 120 en 180 mg/l. Voor de Maas bij Eysden geldt een zelfde gemiddelde. Maxima tijdens hoogwater echter, zijn hoger en variëren tussen 150 en 300 mg/l. Een andere belangrijke variabele is de waterdiepte in het overstromingsgebied. Historische gegevens voor de goed gedocumenteerde overstroming van het Land van Maas en Waal in 1805 wijzen op waterdieptes tussen de 0,8 en 2,0 m (Hesselink, 2001). De

snelheid van bezinking van deeltjes in een vloeistof kan worden berekend met de formule van Stokes:

$$w_s = (1,65 \text{ g d}^2) / 18?$$

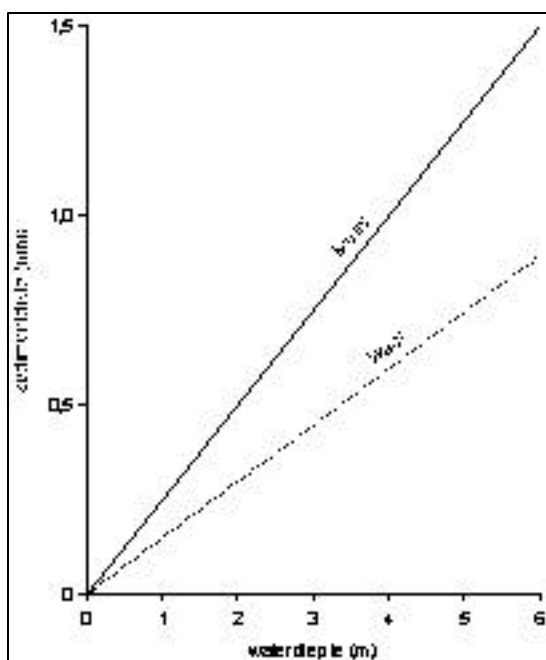
waarin:

w_s	=	(terminale) valsnelheid (m/s)
g	=	zwaartekrachtversnelling (9.8 m/s^2)
d	=	(zeef)diameter deeltje (m)
η	=	kinematische viscositeitscoëfficiënt ($1.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bij 10° C)

Uit deze formule blijkt dat een kleideeltje van $1 \mu\text{m}$ een valsnelheid heeft van $0,000674 \text{ mm/s}$. Het deeltje heeft dus 824 uur (ruim 34 dagen) nodig om door een kolom van 2 m water te vallen. De aanname daarbij is dat er geen sprake is van turbulente stroming. Gezien deze cijfers kan ervan uit worden gegaan dat in 2 à 3 maanden nagenoeg al het in het water aanwezige sediment zal zijn bezonken. In feite zal dit al (veel) eerder zijn omdat ook in zoet water enige vlokvorming van kleideeltjes op zal treden.

Deze gegevens leiden tot de volgende schattingen van de sedimentdiktes in de polder ten gevolge van neerslag uit suspensie. Bij overstroming vanuit de Waal wordt uitgegaan van een maximum sedimentconcentratie van 180 mg/l , aangezien de scenario's uitgaan van een extreem hoogwater met een jaarlijkse kans van $1/1000$ tot $1/10.000$. Bij volledige neerslag van het suspensiemateriaal gaat het om 0.15 mm droog sediment per meter waterdiepte (aangenomen sedimentdichtheid 1200 kg/m^3). Rekenend met de historische waterdieptes van $0,8$ tot $2,0 \text{ m}$ voor de overstroming van het land van Maas en Waal resulteert dit in sedimentdiktes van $0,12$ tot $0,3 \text{ mm}$ (Figuur). Bij een overstroming vanuit de Maas geldt 300 mg/l , wat leidt tot $0,25 \text{ mm}$ droog sediment per meter waterdiepte. Sedimentdiktes bij $0,8$ tot $2,0 \text{ m}$ waterdiepte zijn dan $0,2$ tot $0,5 \text{ mm}$ (Figuur). Net na afzetting, als het slib nog niet geconsolideerd is, zullen de diktes aanmerkelijk groter zijn.

Nabij het doorbraakgat in de dijk is de situatie totaal anders. In de opening vindt sterke erosie plaats, waarbij een diep gat (een wiel) ontstaat. Het grootste wiel van Nederland is het Wiel van Bassa bij Schoonrewoerd, dat is ontstaan bij een doorbraak van de Diefdijk in de 16^e eeuw. Het wiel is ruim 13 ha groot en 10 m diep. Er moet rond de 400.000 m^3 materiaal uitgespoeld zijn dat als een waaier achter het wiel is afgezet (Verbraeck, 1970). Een dergelijke sedimentwaaier wordt een overslag genoemd. Overslagen kenmerken zich door een heterogene samenstelling. Omdat bij de vorming van wielen meestal erosie van de grofzandige pleistocene ondergrond plaatsvindt is er veel grof materiaal beschikbaar dat gemengd met klei wordt afgezet als zavel. De overslag bij het Wiel van Bassa is bij het wiel 130 cm dik en neemt geleidelijk in dikte af met toenemende afstand tot het wiel. De overslag heeft een radius van één tot anderhalve kilometer (Hesselink, 2001, pp. 96-97).



Figuur. Sedimentdiktes als functie van waterdiepte bij neerslag van suspensiemateriaal uit rivierwater van Maas en Waal

Sedimentatie bij overstroming met zeewater

Sedimentconcentraties in zee en in estuaria bij springvloed en storm zijn veel hoger dan bij hoogwater in een rivier. De sterke golfslag zorgt voor veel turbulentie waarbij vooral slib wordt opgewerveld. Dankers et al. (1984) maten in de Dollard 800 mg/l onder normale vloedomstandigheden en maximale waarden van 3600 mg/l tijdens stormtij. De sedimentconcentraties lijken wel sterk variabel. Metingen van Alterra bij de Slufter op Texel leverden stormtijwaarden tussen 54 en 298 mg/l op (gemiddeld 100 mg/l). Metingen in de Peazemerlannen (een buitendijks gebied in Friesland) leverden stormtijwaarden van respectievelijk 91 en 1243 mg/l op (gemiddeld 435 mg/l). De verschillen tussen de waarden voor de Slufter enerzijds en die voor de Peazemerlannen en de Dollard anderzijds, geven al aan dat er voor wat betreft de slibconcentraties waarschijnlijk een groot verschil is tussen een overstroming direct vanuit de Noordzee, en een overstroming vanuit de Waddenzee of een estuarium. Slibconcentraties in estuaria en de Waddenzee zijn veel hoger. Een uitzondering geldt voor de Oosterschelde. Door de gedeeltelijke afsluiting is het getijdendebiet door de geulen sterk afgenomen en zijn de schuifspanningen aan de bodem te laag om veel slib in beweging te brengen (W.B.M. ten Brinke, mondelinge mededeling).

Wanneer wordt uitgegaan van een dijkdoorbraak langs de Waddenzee of een estuarium, moet rekening gehouden worden met overstromingswater met een sedimentlast van rond de 1000 mg/l. Dit betekent 0,83 mm droog sediment per meter waterdiepte. Door relatief sterke vlokvorming in zout water zal het sediment snel bezinken wanneer de condities eenmaal rustig zijn. Volgens Van Rijn (1993, Fig.

11.4.2) ligt de bezinkingssnelheid van slib in zout water bij dood tij in de orde van 1 mm/s bij een concentratie van 1000 mg/l. Dit betekent dat de slibdeeltjes in ruim 17 minuten door een meter water vallen. Bij waterdieptes van niet meer dan enkele meters zal daarom rond dood tij al het aanwezige slib tot bezinking kunnen komen. Bij een waterdiepte van twee meter resulteert dit uiteindelijk in een 1,66 mm dikke sliblaag.

Door getijdenwerking zal echter tweemaal daags sedimentrijk water het gebied binnenstromen door het doorbraakgat. Door snelle bezinking rond de getijkentering zal relatief schoon water het gebied uitstromen. Het overstromingsgebied gaat dus als sedimentvanger functioneren. Wanneer dit proces twee tot drie maanden voortduurt, zoals in de scenario's wordt verondersteld, zal een aanzienlijke extra sedimentatie optreden. Wel zullen de sedimentconcentraties van het binnenstromende water aanzienlijk lager zijn dan de bovengenoemde stormtijwaarden, zodat de opslibbing niet in hetzelfde tempo door zal gaan. Veel hangt verder af van de grootte van het doorbraakgat die immers de grootte van het getijvolume en daarmee het sedimentvolume bepaalt. Ook de hoeveelheid stormen in de overstromingsperiode is uiteraard van groot belang. Door deze factoren is geen simpel verband tussen waterdiepte en uiteindelijke sedimentdikte te leggen, zoals wel het geval was bij overstroming vanuit een rivier (zie Figuur). Sedimentatiemetingen op kwelders en achter zomerkades langs de Friese en Groningse kust wijzen op een sedimentatiesnelheid van ruim 1 cm/jr (Van Duin et al., 1997), hetgeen zou betekenen dat in twee tot drie maanden 2 tot 3 mm sediment onder invloed van getijdenwerking zou kunnen worden afgezet.

Interessante historische gegevens zijn beschikbaar van de overstroming van Walcheren in 1944. Met name van de Zuid Watering (een gebied van ca. 3 bij 6 km ten oosten van Vlissingen) zijn gedetailleerde gegevens over opslibbing gepubliceerd (Bennema & Van der Meer, 1952). Kwantitatieve gegevens over de inundatie zijn beschreven door Westerhof (1947). In de Zuid Watering was de opslibbing groter dan in andere delen van Walcheren door langduriger inundatie en een relatief groot doorbraakgat. In 7 oktober 1944 werd de dijk bij Fort Rammekens even ten oosten van Vlissingen door de geallieerden gebombardeerd bij hoog water. In de Zuid Watering kwam hierdoor een gebied van 1800 ha permanent onder water te staan, terwijl 200 ha onder invloed van eb en vloed periodiek onder water kwam te staan. De waterdiepte in de lagere delen van het gebied varieerde van ongeveer 2,5 m bij vloed tot iets minder dan 1,5 m bij eb. Op 5 februari 1946 werd de dijk, na een eerste mislukte poging, definitief gedicht. Tijdens de 16 maanden durende inundatie vonden belangrijke morfologische veranderingen plaats in de Zuid Watering. Er ontwikkelde zich een diep wiel met hieraan verbonden kreken (momenteel het natuureservaat Rammekenshoek) nabij het doorbraakgat. De kreken reikten ongeveer 600 m landinwaarts. Het doorbraakgat was in eerste instantie ongeveer 300 m breed, maar door erosie nam de breedte in de loop der tijd toe tot 750 m. Ongeveer halverwege de inundatieperiode was het doorbraakgat ca. 5 m diep. Ook in het overige deel van het gebied vond hier en daar erosie plaats. Met name hoger gelegen geploegde bouwlanden spoelden tot 50 cm af. Ook vormden zich door erosie tot 1 m diepe geulen. In het overgrote deel van het gebied overheerste echter sedimentatie. Vooral

dicht bij het doorbraakgat slibden watergangen (tot 5 à 6 m breed) volledig dicht. In het algemeen is er een ruimtelijk verloop in de sedimentatie te herkennen van grote hoeveelheden zandig sediment (> 50 cm) nabij het doorbraakgat tot dunne kleilagen (1-5 cm) of geen afzetting in de verst van het gat verwijderde uithoek. Het patroon is echter grillig met erosiezones en zandrijke banen die de ligging van stroomdraden in het getijdensysteem markeren. De genoemde diktes betreffen overigens ongeconsolideerd sediment dat snel na droogvallen van de Zuid Watering is gekarteerd. De kleilagen zijn ongeveer 30% ingeklonken na indroging. De historische gegevens van de Zuid Watering illustreren hoe groot de effecten van sedimentatie en erosie op het landschap kunnen zijn, bij overstroming door zout getijdenwater

Samenvatting en conclusies

Uit deze eerste verkenning blijkt dat er grote verschillen in sedimentatie zullen zijn tussen een overstroming met zoet water enerzijds en een overstroming met zout water anderzijds. In het overgrote deel van het geïnundeerde gebied kan de sedimentatie ten gevolge van een zoute overstroming makkelijk een factor 10 groter zijn dan de sedimentatie door een zoete overstroming. Ook zullen er verschillen in sedimentatiepatronen zijn die te maken hebben met de aan- vs. de afwezigheid van getijdenstromingen. Duidelijk is dat in beide gevallen de sedimentatie gezoneerd zal zijn met een enigszins radiale zandige zone direct achter het doorbraakgat in de dijk (sedimentatiezone 1) en een kleige zone die de rest van het gebied omvat (sedimentatiezone 2). Erosieverschijnselen bij een overstroming met zoet water zijn naar verwachting beperkt tot de vorming van het wiel ter plaatse van het doorbraakgat in de dijk. Door getijdenstromingen valt bij een overstroming met zout water meer en in een groter gebied erosie te verwachten. Deze erosie is uiteraard het meest intens nabij het doorbraakgat, maar is niet exclusief gebonden aan een bepaalde zone. Door lokale factoren, met name de interactie tussen de getijdenstromingen en reliëfelementen bij schaarse begroeiing, kan in een groot deel van het overstroomde gebied plaatselijk erosie plaatsvinden. In de onderstaande Tabel zijn de belangrijkste feiten uit deze studie samengevat.

In de Tabel is voor overstroming vanuit zee uitgegaan van een overstroming vanuit de Waddenzee of een estuarium. Wanneer de overstroming rechtstreeks vanuit de Noordzee plaats zou vinden (doorbraak van de duinen of de Hondsbossche Zeewering) zullen de sedimentdiktes met name in zone 2 wat kleiner zijn (wellicht in de orde van 1 mm) door lagere sedimentconcentraties in het Noordzeewater. Ook valt in dat geval relatief meer zandig materiaal te verwachten, waardoor sedimentatiezone 1 wel goed ontwikkeld zal zijn.

In de scenario's in de onderstaande Tabel is gerekend met waterdieptes van maximaal 2 tot 2,5 m, gebaseerd op historische gegevens. Bij grotere waterdieptes zal voor de overstroming vanuit de rivier, de sedimentdikte in sedimentatiezone 2 evenredig toenemen. Voor de overstroming vanuit zee, wordt betwijfeld of met een evenredige toename van de sedimentatiedikte kan worden gerekend, omdat bij veel grotere waterdieptes niet meer al het suspensiemateriaal tijdens de getijkentering tot

bezinking kan komen. Bovendien wordt het door getijdenbewegingen aangevoerde volume sediment bepaald door het getijvolume, en daarmee door de dimensies van het doorbraakgat, en niet door de uiteindelijke waterdiepte in het dijkringgebied.

De slibdiktes in sedimentatiezone 2 zijn gebaseerd op een sedimentdichtheid van 1200 kg/m³. Net na afzetting, als het slib nog niet geconsolideerd is, zullen de diktes aanmerkelijk groter zijn.

Tabel. Overzicht van erosie- en sedimentatieverschijnselen bij overstroming van een dijkringgebied

Verschuif	Overstroming vanuit een rivier	Overstroming vanuit zee
Erosie (voornamelijk in zone 1)	waarschijnlijk alleen in het dijkdoorbraakgat tot 10 m diep	in het dijkdoorbraakgat tot 10 m diep ontwikkeling van krekken door getijdenwerking (tot ca. 3 km achter het doorbraakgat); vlaksgewijze erosie van bouwvoor mogelijk (dicht bij het doorbraakgat tot enkele decimeters diep), met lokaal tot ca. 1 m diepe erosiegeulen
Sedimentatie van zandig materiaal (voornamelijk in zone 1)	afzetting van waaivormige overslag van heterogeen zandig sediment; dikte overslag ruim 1 m bij het wiel, geleidelijk afnemend tot 0 op 1 à 1,5 km afstand van het wiel	afzetting van een 'overslag' die zeer grillig van vorm is door ontwikkeling van getijdenstroomdraden en geulsystemen; lintvormige afzettingen van zandig materiaal (o.a. als oeverwallen) tot 1 m dikte; sedimentatiezone 1 reikt tot 2 km vanaf het doorbraakgat, met uitlopers tot 5 km
Sedimentatie van kleiig materiaal (voornamelijk in zone 2)	Zeet kleine sedimentdiktes in de orde van enkele tienden mm's kleiig materiaal	sedimentdiktes in de orde van enkele mm's tot ruim een cm

Literatuur

- Asselman, N.E.M., 1997. Suspended sediment in the river Rhine: the impact of climate change on erosion, transport and deposition. Nederlandse Geografische Studies 234.
- Bennema, J., Meer, K. van der, 1952. De bodemkartering van Nederland, deel XII: de bodemkartering van Walcheren. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoeken 58.4.
- Dankers, N., Binsbergen, M., Zegers, K., Laane, R., Rutgers van der Loeff, M., 1984. Transportation of water, particulate and dissolved organic and inorganic matter between a salt marsh and the Ems-Dollard estuary, The Netherlands. Estuarine, Coastal and Shelf Science 19, 143-165.
- Hesslink, A.W., 2002. History makes a river: morphological changes and human interference in the river Rhine, The Netherlands. Nederlandse Geografische Studies 292.

- Van Duin, W.E., Dijkema, K.S., Zegers, J., 1997. Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen. Rapport 326, IBN, Texel.
- Van Rijn, L.C., 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Aqua Publications, Amsterdam.
- Verbraeck, A., 1970. Gorinchem Oost (38 O): toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Westerhof, J.J., 1947. De inundaties van 1944 en 1945 in Nederland, deel 1: overzicht van de uitvoering en verloop van de zout-en brakwaterinundaties tijdens de Duitse bezetting als militaire maatregel uitgevoerd. Wetenschappelijke Afdeling van de Rijksdienst voor Landbouwherstel, Goes.

Bijlage 2 Inschatting extra economische landbouwschade bij overstroming van zout in plaats van zoet water

Door J.H.M. Wösten

Aanleiding en doel

De hoogwaterproblematiek van de grote rivieren en de verwachte klimaatveranderingen zorgen voor een grote belangstelling voor de gevolgen van overstromingen. Voor de bepaling van de schade en het aantal slachtoffers van overstromingen zijn de volgende twee documenten van belang:

- Standaardmethode Schade en Slachtoffers en
- Concept-eindrapport: financiële onderbouwing kengetallen hoogwaterschade.

In deze documenten wordt aangegeven wat de economische landbouwschade is van een éénmalige overstroming veroorzaakt door dijkdoorbraak. De schade door een éénmalige overstroming met zoet water is hierbij gelijk gesteld aan één jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen. In de documenten wordt verondersteld dat een overstroming met zout water tot eenzelfde schade leidt als een overstroming met zoet water. De aanname dat beide schades hetzelfde zijn, is echter niet onderbouwd en vormt daarmee het onderwerp van deze studie. Bovendien wordt in deze studie nagegaan wat de mogelijkheden zijn om maatregelen te treffen die deze zoutschade reduceren, en wat de kosten van deze maatregelen zijn (bijvoorbeeld door het zoutgehalte sneller te verlagen middels irrigatie of de bodemstructuur te verbeteren middels gipstoediening).

Achtergrond

Als laaggelegen land aan de Noordzee heeft Nederland altijd te maken gehad met rampen veroorzaakt door overstromingen. Al in de kronieken van de abdij Bloemhof wordt vermeld dat bij overstromingen in de jaren 1221 en 1249 niet alleen mensen, vee en bezittingen verloren gingen, maar dat deze overstromingen werden gevolgd door jaren van misoogsten, hongersnood en armoede. De vele overstromingen die sindsdien zijn gevolgd en ook de gerenommeerde Zuiderzeewerken hebben veel literatuur opgeleverd over de gevolgen van overstromingen. Overzichten hiervan zijn geschreven door Rowaan (1951) en Hissink (1954). Hieruit komt naar voren dat met name twee factoren bepalend zijn voor de slechte oogsten op gronden die overspoeld worden met zeewater. De eerste factor is de hoge concentratie opgeloste zouten in het bodemvocht die direct de gewasgroei remt. Het mechanisme hierbij is dat ten gevolge van de hoge osmotische potentiaal van het zoute bodemvocht, gewassen onvoldoende water uit de bodem kunnen opnemen en daardoor verwelken en uiteindelijk verdrogen. Al spoedig was echter duidelijk dat onder Nederlandse omstandigheden met een neerslagoverschot deze zouten binnen enkele jaren uit de goed-gedraineerde gronden worden uitgespoeld (Smeding, 1921, Zuur, 1938). De overdosis zout in het bodemvocht is dus niet de enige reden voor de waargenomen

langdurige negatieve effecten van een overstroming met zout water. Als belangrijke tweede factor wordt al vroeg melding gemaakt van het structuurbederf dat optreedt in kleigronden nadat deze met zout water zijn overspoeld. In dit proces worden de Ca^{2+} kationen die normaal aan de kleimineralen zijn geadsorbeerd, vervangen door Na^{+} kationen waardoor structuurbederf van de kleigrond optreedt met als gevolg ongunstige omstandigheden (te nat, te weinig zuurstof) voor gewasgroei (Van der Molen, 1957). In het navolgende wordt allereerst verder ingegaan op de verblijftijd van zout bodemvocht en vervolgens op het veroorzaakte structuurbederf.

Verblijftijd

Bij een dijkdoorbraak wordt het land met zout water overstroomd. Na een dergelijke doorbraak kan worden berekend hoelang het duurt voordat het zoute water is uitgespoeld uit de onverzadigde zone van de bodem. In dit verband is de verblijftijd de tijd die aangeeft hoe lang het duurt voordat een opgeloste stof vanaf het maaiveld het grondwater bereikt, mits deze stof niet wordt geabsorbeerd, niet wordt afgebroken en geen chemische reacties aangaat. Het is dus in feite de reistijd van water in de onverzadigde zone van het bodemprofiel. Deze verblijftijd kan worden berekend volgens:

$$T = \frac{D \cdot ?}{I}$$

waarin:

T	=	gemiddelde verblijftijd (dagen)
D	=	dikte van de onverzadigde zone (m)
?	=	gemiddeld vochtgehalte over de gehele diepte van de onverzadigde zone (m^3 water / m^3 grond)
I	=	gemiddelde neerwaartse infiltratiesnelheid (m/dag)

De gemiddelde neerwaartse infiltratiesnelheid (I) voor Nederland is af te leiden uit de gemiddelde neerslag (775 mm) verminderd met de gemiddelde potentiële verdamping van gras ($0,8 \times E_0 = 525$ mm, hierin is E_0 de verdamping van een open water oppervlak en 0,8 de gewasfactor voor gras). Hieruit volgt dat het gemiddeld neerslagoverschot voor Nederland 250 mm per jaar bedraagt. Dit betekent 250 mm in 360 dagen oftewel een gemiddelde neerwaartse infiltratiesnelheid (I) van 7×10^{-4} m/dag. Aan de hand van de bodemfysische karakteristieken waterretentie (?-h relatie, dit is de relatie tussen het vochtgehalte ? en de drukhoogte h) en verzadigde en onverzadigde doorlatendheid (K-h relatie, dit is de relatie tussen de doorlatendheid K en de drukhoogte h) en de gemiddelde infiltratiesnelheid (I) is het mogelijk het gemiddeld vochtgehalte (?) over de gehele diepte van de onverzadigde zone te berekenen. De gemiddelde dikte van de onverzadigde zone (D) is af te leiden uit bestaande kaarten die de gemiddelde grondwaterstand weergeven. Aan de hand van deze basisgegevens kan de gemiddelde verblijftijd (T) worden berekend. Boumans et al. (1987) hebben volgens deze systematiek verblijftijden voor Nederland berekend en zij hebben hun resultaten weergegeven op landsdekkende kaarten. Deze kaarten

laten zien dat in West Nederland in die gebieden die na dijkdoorbraak onder zout water komen te staan, de verblijftijden variëren van 1 tot maximaal 4 jaar. De kortste verblijftijden worden berekend voor de kustzones bestaande uit duinen waar de grondwaterstand weliswaar diep is, maar waar tegelijkertijd het gemiddeld vochtgehalte laag is. De langste verblijftijden worden berekend voor laaggelegen klei- en veengebieden waar de grondwaterstand weliswaar ondiep is, maar waar tegelijkertijd het gemiddeld vochtgehalte hoog is. Deze resultaten komen overeen met de bevindingen van Van der Molen (1957) als hij concludeert dat “zout in de bodem weliswaar één van redenen is voor een slechte landbouwkundige productie van gronden die met zout water zijn overspoeld, maar dat op goed gedraineerde Nederlandse gronden dit effect beperkt is tot 1 tot 2 jaar na de overstroming”. Concluderend kan worden gesteld dat onder Nederlandse omstandigheden het neerslagoverschot ervoor zorgt dat al na een relatief korte periode (1 tot 4 jaar, afhankelijk van grondsoort en dikte van de onverzadigde zone) het zout uit het bodemprofiel is uitgespoeld en dus geen remmende werking meer heeft op de gewasgroei.

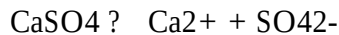
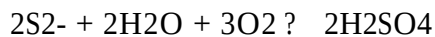
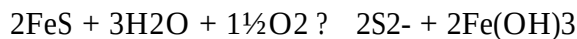
Structuurbederf

Het tweede belangrijke aspect van overstroming met zout water is het structuurbederf van de grond. Om dit te begrijpen wordt kort ingegaan op de belangrijkste processen die hierbij een rol spelen (Locher en de Bakker, 1990). De lutumfractie (fractie $< 2 \mu\text{m}$) in kleigronden bestaat hoofdzakelijk uit plaatvormige minerale deeltjes de zogenaamde kleimineralen. Deze deeltjes bezitten van nature vaak een positieve elektrische lading aan de randen van de platen en een negatieve lading aan de plaatzijde. Losse kleideeltjes in een grondsuspensie worden door zogenaamde London- van der Waalskrachten naar elkaar toegetrokken. De overwegend negatieve ladingen drijven de deeltjes echter uit elkaar. De positieve randlading toont neiging contact te maken met de negatieve valenties van de platen. Wanneer de negatieve ladingen voldoende geneutraliseerd worden door kationen, dan kunnen ook de platen elkaar dicht naderen. Opgeloste zouten in de bodemoplossing hebben de neiging te ioniseren, dwz te splitsen in positieve en negatieve ionen, respectievelijk kationen en anionen. Voor keukenzout kan dit proces als volgt voorgesteld worden:



De mate van uiteenvallen in ionen, dissociatie- of ionisatiegraad genoemd, is voor verschillende zouten verschillend. Natriumzouten ioniseren sterk, calciumzouten zoals koolzure kalk en calciumsulfaat of gips, zwak. Per eenheid van lading bezit het positieve natriumion een dikkere watermantel dan de tweewaardige calcium- en magnesiumionen. De positieve kationen worden aangetrokken door de overwegend negatief geladen kleideeltjes van het adsorptiecomplex en vormen daarmee de zogenaamde elektrische dubbellaag (van kationen met hun water- of hydratatiemantel). Hoe dikker de dubbellaag des te minder de aantrekking tussen de kleideeltjes. Bij een dikke dubbellaag zweven de kleideeltjes los van elkaar (peptisatie);

bij een dunne dubbellaag worden vlokken of aggregaten gevormd (coagulatie). Een hoge zoutconcentratie in het bodemvocht en een hoge waardigheid van de kationen in de dubbellaag hebben een relatief dunne dubbellaag tot gevolg. Een lage zoutconcentratie in de bodemoplossing daarentegen en een lage waardigheid van de kationen geven een dikke dubbellaag (peptisatie). In een kleigrond die na overstroming met zout water droogvalt, zijn de Ca^{2+} ionen aan het adsorptiecomplex voornamelijk vervangen door Na^{+} -ionen. Wanneer nu door regenval de zoutconcentratie in het bodemvocht daalt, dan zal peptisatie en zwelling (uitzetting van de dubbellaag) optreden. De grond zal slempgevoelig zijn en zwel- en krimpverschijnselen vertonen. Indien zwavel-ijzerverbindingen (FeS) en koolzure kalk (CaCO_3) aanwezig zijn dan zal bij droogvallen gips (CaSO_4) worden gevormd. De volgende chemische reacties zijn hierbij van belang:



Door de uitwisseling van geadsorbeerde Na^{+} tegen Ca^{2+} vormt zich Na_2SO_4 , welk zout uitspoelt. Dankzij deze ‘natuurlijke begipsing’ treedt geen structuurverval op. Deze situatie doet zich voor in nieuw ontgonnen zoute, kalkhoudende gronden in Nederlanden (IJsselmeerpolders) en hier treedt dus geen structuurbederf op.

In gebieden waar genoemde stoffen (FeS , CaCO_3) niet of onvoldoende aanwezig zijn, zal wel structuurverval optreden met als gevolg verslemping, zwel en krimp. Deze toestand wordt in ons land in pikklei- of knikkleigronden aangetroffen. Bij aanwezigheid van FeS , maar ontbreken van CaCO_3 vormt zich vrij zwavelzuur, waardoor de pH bij oxidatie aan de lucht sterk daalt en zogenaamde katteklei (zeer zure klei) ontstaat. In katteklei treft men gele vlekken aan van jarosiet, $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, die kenmerkend zijn voor dit soort gronden. Men treft ze overwegend in droogmakerijen in het westen van het land aan.

In oudere, goed ontzilte kleigronden zullen, althans in de goed geaëreerde bouwvoor geen gereduceerde zwavel-ijzerverbindingen meer voorkomen. Wanneer een dergelijke grond wordt overspoeld met zeewater ontstaat een natriumklei. Structuurverval kan dan slechts vermeden en hersteld worden door een kunstmatige toediening van gips zoals na de overstromingsramp in 1953 op grote schaal is gebeurd. De slechte bodemstructuur die vooral optreedt nadat het meeste zout is uitgespoeld door de neerslag, kan tot meer dan 8 jaar een negatief effect hebben op de landbouwproductie door peptisatie van de kleideeltjes (Van der Molen, 1957). Koolzure kalk (CaCO_3), wat vaak in Nederlandse polders aanwezig is, is vanwege de geringe oplosbaarheid slecht instaat tot een snelle uitwisseling van natrium door calcium. Alleen toepassing van beter oplosbare calcium verbindingen zoals gips kan de bodemstructuur verbeteren.

In de periode 1939-1953 zijn grote gebieden in het zuidwesten van Nederland met zout water overspoeld. Ten dele kwam dit door militaire inundaties gedurende de Tweede Wereldoorlog en ten dele door natuurlijke oorzaken (dijkvallen, stormvloed van 1 februari 1953). In deze gebieden is veel onderzoek verricht naar zoutuitspoeling en naar structuurbederf. Concluderen kan worden gezegd dat het

zout weliswaar na ongeveer 1 tot 4 jaar is uitgespoeld, maar dat het structuurherstel in de oudere, kalkloze kleigronden vervolgens meer dan 8 jaar in beslag kan nemen. In de praktijk blijkt dat dit herstel sterk wordt bespoedigd door toediening van gips hetgeen op grote schaal is gebeurd. Hierbij wordt aanbevolen ongeveer 7 ton gips per ha per jaar toe te dienen. Een dergelijke toediening kost ongeveer € 500 per ha (Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1996-1997) en is daarmee een investering die zichzelf snel terugverdient. Toepassing van extra irrigatie om het zoute bodemvocht versneld uit te spoelen, is praktisch onmogelijk omdat in een met zout water overstroomd gebied zoet water schaars zal zijn. Bovendien is uitspoeling van zout water niet het grootste probleem. Indien toch aan extra irrigatie wordt gedacht dan zal dit onder deze omstandigheden uiterst kostbaar en daarmee economisch niet verantwoord zijn.

Zoutgevoeligheid van gewassen

In het kader van de ontziltingsproblematiek heeft Van den Berg (1950) uitgebreid onderzoek verricht naar de reactie van verschillende landbouwgewassen op het zoutgehalte in de bodem. Hieruit komt naar voren dat verschillende gewassen een verschillende zoutgevoeligheid kennen. De belangrijkste resultaten uit een groot aantal gewasproefvelden zijn in de volgende tabel samengevat.

Zomergerst Bieten Koolzaad	Goed zoutresistent
Tarwe Haver	Behoorlijk zoutresistent
Aardappelen Peulvruchten	Matig zoutresistent

Conclusies

Op grond van deze literatuurstudie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Overstroming met zout water leidt tot een grotere economische landbouwschade dan een overstroming met zoet water.
- Bij een overstroming met zout water is het nuttig een onderscheid te maken tussen het negatieve effect op de gewasgroei ten gevolge van hoge zoutconcentraties in het bodemvocht enerzijds en het optredend structuurbederf anderzijds.
- Onder Nederlandse omstandigheden zal ten gevolge van het neerslagoverschot na ongeveer 1 tot 4 jaar (afhankelijk van grondsoort en dikte van de onverzadigde zone) het zoute bodemvocht uit de grond zijn uitgespoeld.

- Structuurbederf door peptisatie van kleideeltjes kan op oudere, kalkloze kleigronden gedurende een periode van 8 jaar leiden tot reducties in de gewasgroei. Echter in andere gebieden met kalkhoudende gronden zoals bijvoorbeeld de IJsselmeerpolders zal zich weinig extra schade voordoen.
- Met als referentie dat de schade door een éénmalige overstroming met zoet water gelijk gesteld wordt aan één jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen, wordt de schade veroorzaakt door een combinatie van verblijftijd en structuurbederf, van een éénmalige overstroming met zout water gelijk gesteld aan twee jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen. In vergelijking tot een overstroming met zoet water, geeft een overstroming met zout water dus een verdubbeling van de economische landbouwschade.
- Uitsplitsing van de bovenstaande conclusie naar de kalkhoudendheid van de bodem is mogelijk. Er geldt dan dat de schade voor kalkhoudende gronden 1 jaar en voor kalkloze gronden 3 jaar geen productie-opbrengst van landbouwgewassen bedraagt.
- Herstel van de structuur wordt sterk bevorderd door toediening van gips. Globaal kan worden gesteld dat het herstel van een kalkloze grond die normaal 3 jaar vergt, door gipstoediening wordt bekort tot een herstelperiode van 2 jaar.
- De kosten van gipstoediening zijn klein (ongeveer € 500 per ha) in vergelijking tot de winst die wordt geboekt in de vorm van een halvering van de herstelperiode van de bodem.
- Extra irrigatie om het zoute bodemvocht versneld uit te spoelen is niet aan te bevelen omdat dit niet het grootste probleem is en omdat het omslachtig en kostbaar is.
- Verschillende gewassen hebben een verschillende zoutresistentie en hiervan kan gebruik gemaakt worden bij het weer in gebruik nemen van overstroomde gebieden.

Omdat de praktijk vaak de beste leermeester is, laat ik tenslotte een boer aan het woord die de inundatie van Walcheren in 1944 heeft meegemaakt. Hij vertelde het volgende:

“Zodra het water weg was (naar ik meen binnen een jaar) werd met de wederopbouw begonnen. Ook werd indien mogelijk het land bewerkt en ingezaaid met gerst. Dit kon alleen op de hogere delen omdat het in de laagtes langer drassig bleef en daar bovendien op veel plaatsen een laag slib was afgezet die eerst moest rijpen. Na de gerstoogst werd het land bedekt met een laag gips. Het volgende jaar werd alweer begonnen met de teelt van de reguliere gewassen: tarwe, bieten, zelfs erwten en bruinen bonen. De opbrengsten vielen niet tegen. Met 2 à 3 jaar was de situatie reeds weer genormaliseerd. De gebieden waar een laag slib was afgezet gingen er zelfs op vooruit. Eerst was het slecht grasland met een vilten en ziltige toplaag, daarna behoorden ze tot de betere akkers”.

Referenties

- Berg, C. van den. 1950. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel VI: de reactie van landbouwgewassen op het zoutgehalte van de bodem. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 56.16.
- Boumans, L., A. Breeuwsma, W. van Duijvenbooden, D.J. Groot Obbink, S. Jelgersma, H. van Straten, J.H.M. Wösten. 1987. Kwetsbaarheid van het grondwater: kartering van kenmerken van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van het grondwater voor verontreiniging. RIVM rapport 840387003.
- Hissink, D.J. 1954. De voorgeschiedenis van de verbetering van door zeewater bedorven gronden door een bemesting met gips (zwavelzure kalk). Langs gewonnen velden, 53-64.
- Kronieken van de Abdy Bloemhof te Wittewierum, uit het Latijn vertaald door W. Zuidema en J. Douma.
- Locher, W.P. en H. de Bakker. 1990. Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg, Den Bosch.
- Molen, W.H. van der. 1957. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel IX: the exchangeable cations in soils flooded with sea water. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 63.17.
- Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR). 1996. Kwantitatieve Informatie Veehouderij 1996-1997.
- Rowaan, P.A. 1951. De inundaties gedurende 1944-1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel III: Overzicht van inundatie-onderzoek in Nederland tot 1944. Versl. Landbouwk. Onderz. No. 57.3.
- Smeding, S. 1921. De overstrooming van den Anna-Paulownapolder in Januari 1916 en haar gevolgen voor den landbouw. Versl. en Meded. Dir. v.d. Landbouw. 1: 52-139.
- Zuur, A.J. 1938. Trans. Second Comm. And Alkali-Subcomm. Int. Congr. Of Soil Sci. Helsinki, B 66-67.

Bijlage 3 Technische uitwerking schadefuncties HIS-LNC

Overzicht van de schadefuncties zoals die opgenomen zijn in de HIS-LNC-module.

d = waterdiepte in meters

s = zoet/zout: 0 = zoet en 1 = zout

De formules zijn opgesteld conform de technische specificaties van de HIS-LNC-module (Dijkman et al., 2003)

Monumenten: agrarische gebouwen (LNC_Mon_agr)

$$= (1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * (\text{POWER}(\text{EXP}(1), (-1.7+2*d))) / (1 + \text{POWER}(\text{EXP}(1), (-1.7+2*d)))) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * (\text{POWER}(\text{EXP}(1), (-0.6+1.6*d))) / (1 + \text{POWER}(\text{EXP}(1), (-0.6+1.6*d))))$$

Monumenten: vollwandconstructie (LNC_Mon_dun)

Function LNC_dun (d,u,w,r,s,ukr: Double):Double;

```
var rs :Double;
begin
rs := 0;
if d <= 0 then
  rs := 0
else if d >= 6 then
  rs := 1
else begin
  if (s=0){storm} then // geen storm = zoet water
  begin
    if d < 0.75 then
      rs := 0.15 + (1.8041124150E-16*d) + (5.8222190551E-02*d*d)
    else if d < 1.50 then
      rs := 3.1301993389E-01 + (-4.3471982370E-01*d) + (3.4803540635E-01*d*d)
    else if d < 2.25 then
      rs := -1.1493412960E+00 + (1.5150951495E+00*d) + (-3.0190291806E-01*d*d)
    else if d < 3.00 then
      rs := -1.4925333503E-01 + (6.2612807308E-01*d) + (-1.0435467885E-01*d*d)
    else if d < 3.75 then
      rs := 8.9240441771E-01 + (-6.8310428744E-02 *d) + (1.1385071457E-02*d*d)
    else if d < 4.50 then
      rs := 1.4529518339E+00 + (-3.6726905069E-01 *d) + (5.1246221051E-02*d*d)
    else if d < 5.25 then
      rs := 1.4292028562E+00 + (-3.5671394950E-01 *d) + (5.0073432029E-02*d*d)
    else if d < 6.00 then
      rs := -3.0573700428E+00 + (1.3524566787E+00*d) + (-1.1270472303E-01*d*d);
    end;
  if (s<>0){storm} then // wel storm = zout water
  begin
    if d < 0.75 then
      rs := 3.0000000000E-01 + (4.1633363423E-16 *d) + (8.7343295861E-02 *d*d)
    else if d < 1.50 then
      rs := 4.0837066170E-01 + (-2.8898843119E-01 *d) + (2.8000224999E-01 *d*d)
    else if d < 2.25 then
      rs := -9.7566768038E-01 + (1.5563960249E+00 *d) + (-3.3512590205E-01 *d*d)
    else if d < 3.00 then
      rs := 5.9099281178E-01 + (1.6380892077E-01 *d) + (-2.5662101125E-02*d*d)
    else if d < 3.75 then
      rs := 9.0624200186E-01 + (-4.6357205953E-02 *d) + (9.3655866616E-03 *d*d)
    else if d < 4.50 then
```

```

rs := 9.4640196680E-01 + (-6.7775853921E-02 *d) + (1.2221406391E-02 *d*d)
else if d < 5.25 then
rs := 1.8439343389E+00 + (-4.6667913041E-01 *d) + (5.6543992667E-02 *d*d)
else if d < 6.00 then
rs := -2.0487869918E+00 + (1.0162623289E+00*d) + (-8.4688527268E-02*d*d)
end;
end;
if rs > 1.0 then
rs := 1.0 ;
Result := rs;
end;

```

Monumenten: dikke muren (LNC_Mon_dik)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * ((\text{POWER}(\text{EXP}(1), (-5+2*d))) / (1+\text{POWER}(\text{EXP}(1), (-5+2*d)))) * 0.4 + 0.1) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * ((\text{POWER}(\text{EXP}(1), (-5+2*d))) / (1+\text{POWER}(\text{EXP}(1), (-5+2*d)))) * 0.4 + 0.3)$$

Vegetatie: Brak en zilt (LNC_Veg_Brak)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.9) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.8)$$

Vegetatie: Aquatisch-nat en voedselarm (LNC_Veg_NatVa)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.9) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.99)$$

Vegetatie: Aquatisch-nat en matig voedselrijk (LNC_Veg_Natmvr)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.8) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.95)$$

Vegetatie: Aquatisch-nat en zeer voedselrijk (LNC_Veg_Natzvr)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.75) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.9)$$

Vegetatie: Vochtig-droog en voedselarm (LNC_Veg_VoVa)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.95) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.99)$$

Vegetatie: Vochtig-droog en matig voedselrijk (LNC_Veg_Vomvr)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.9) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.95)$$

Vegetatie: Vochtig-droog en zeer voedselrijk (LNC_Veg_Vozvr)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.85) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 0.90)$$

Opgaande begroeiing: Weinig tolerant (LNC_OB_Weinig_Tol)

$$=\text{HEAV}(d-0.01)$$

Opgaande begroeiing: Matig tolerant (LNC_OB_Matig_Tol)

$$=(1-s) * (\text{HEAV}(d-3)) * \max(\min((2/6) * (d-3)), 1), 0) + s * (\text{HEAV}(d-0.01) * 1)$$

Opgaande begroeiing: Tolerant (LNC_OB_Tolerant)

$$=s * \text{HEAV}(d-0.01)$$

Zoetwaterecosystemen: Laagveengemeenschap (LNC_ZW_LaagVeen)

$$=\text{HEAV}(d-0.01)$$