

Nieuwe veiligheidsnormen voor
boezemkaden in Fryslân

Nieuwe veiligheidsnormen voor
boezemkaden in Fryslân

INHOUD

SAMENVATTING	1
1 INLEIDING	3
2 METHODIEK	4
2.1 Algemeen	4
2.2 Status methodiek	4
2.3 Toepassingsgebied	4
2.4 Berekeningswijze	5
2.5 Kanttekeningen bij toepassing in Fryslân	6
3 TOEPASSING METHODIEK	7
3.1 Bepaling ligging kaden en (oude) gereguleerde hoogte	7
3.1.1 Het vormen van sluitende kade-ringen	7
3.1.2 Mogelijke verbindingen tussen kade-ringen	8
3.1.3 Mogelijke verdere opdeling van kade-ringen	9
3.2 Bepaling maatgevende boezemwaterstanden	9
3.3 Bepaling inundatiediepten	10
3.4 Bepaling economische gevolgschade per kade-ring	11
3.5 Samenvatting belangrijkste aannamen en keuzen	12
4 RESULTATEN	14
4.1 Kade-ringen	14
4.2 Veiligheidsklassen	14
4.3 Gevoeligheid	15
4.4 Indicatieve vergelijking van de oude en de nieuwe kadehoogte	15
5 ALTERNATIEVEN	17
5.1 Alternatieve indelingen veiligheidsklassen	17
5.1.1 Minimale veiligheid 1/30 per jaar	17
5.1.2 Minimale veiligheid 1/100 per jaar	18
5.2 Indicatieve vergelijking	18
6 ADVIES	20
6.1 Voorstel kade-ringen	20
6.2 Voorstel veiligheidsklassen	20
6.3 Invloed maaltbeperking op kadehoogte	20
6.4 Relatie met keuzes afwatering Fryslân en peilbeheer Friese boezem	21
6.5 Overige aanbevelingen voor vervolg	21
Begrippenlijst	23
Geraadpleegde literatuur	24
BIJLAGEN	
I Samenstelling projectgroep	25
II Gebruikte digitale bestanden	26
III Indeling bodemgebruikscategorieën in de vier bodemgebruiksklassen	27
IV Hoogteverschil tussen nieuwe kadehoogten en oude kadehoogten	29
KAARTEN	
1 Kade-ringen met oude gereguleerde kadehoogten	
2 Maatgevende boezemwaterstanden bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar	
3 Inundatiediepte (op basis van de berekende veiligheidsklassen)	
4 Genormeerde gevolgschade (op basis van de berekende veiligheidsklassen)	
5 Berekende veiligheidsklassen	
6 Veiligheidsklassen bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar	
7 Geschatte kadehoogte minus oude gereguleerde hoogte bij een veiligheid van min. 1/100 per jaar	

SAMENVATTING

Het doel van dit onderzoek was om, op basis van een in IPO-verband ontwikkelde methodiek ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden [2], nieuwe veiligheidsnormen voor boezemkaden in Fryslân te bepalen.

Polders die kunnen inunderen door boezemwater worden in de methodiek omsloten door kade-ringen. Deze kade-ringen bestaan uit werkelijke kaden of uit reserveringsstroken waar het maaiveld even hoog of hoger is dan de oude gereguleerde hoogte of uit arbitraire grenzen. Aan de werkelijke kaden is de oude gereguleerde kadehoogte gekoppeld. Binnen deze kade-ringen wordt op basis van inundatiediepte en grondgebruik, de economische schade als gevolg van overstroming bepaald. Aan de hand van het totale schadebedrag in een kade-ring wordt de veiligheidsklasse van die kade-ring bepaald. Bij elke veiligheidsklasse hoort een overschrijdingsfrequentie met een daarbij behorende maatgevende boezemwaterstand (MBP) en een stabiliteitseis in de vorm van een schadefactor binnentalud. De overschrijdingsfrequenties lopen van 1/10 per jaar bij klasse I tot 1/1000 per jaar bij klasse V. De nieuwe veiligheidsnormen worden door de provincie vastgesteld.

De nieuwe technische normen worden door de waterschappen in de leggers vastgelegd. Dit geschiedt mede op grond van de maatgevende boezemwaterstand en de schadefactor binnentalud. Hiermee is tevens de afkeurgrens van de kade vastgelegd. Bij het ontwerp van nieuwe kaden zou eigenlijk een economische optimalisatie (tussen verbeteringskosten en gevolgschade) uitgevoerd moeten worden. Dit betekent dat een kade altijd zwaarder aangelegd wordt dan de afkeurgrens.

Toepassing van de methodiek heeft voor Fryslân geleid tot 251 kade-ringen. Veruit de meeste daarvan (207) vallen in de laagste veiligheidsklasse (overstromingskans eens in de 10 jaar). In het algemeen zijn dit kleine polders met een hoge maaiveldligging, die bij overstroming slechts gedeeltelijk onder water zullen lopen. In klasse II (eens in de 30 jaar) vallen 23 kade-ringen, in klasse III (eens in de 100 jaar) 18; dit zijn al wat grotere, in het algemeen diepere polders. In de hoogste klasse (IV, eens in de 300 jaar) vallen 3 kade-ringen. Hier gaat het om zeer grote kade-ringen, met diepe gedeelten, gecombineerd met een hoge economische waarde.

De uiteindelijke keuze van de veiligheidsklassen (met daaraan gekoppeld de overstromingskans) moet in samenhang worden bekeken met de kans die wenselijk wordt geacht voor het instellen van een maalbeperking. Voorlopig wordt daarvoor conform het advies van de stuurgroep water eens in de 30 jaar aangehouden [3]. Een maalbeperking wordt ingesteld om te voorkómen dat kaden overstromen. De kans dat een kade-ringgebied overstroomt zal dus kleiner moeten zijn dan de kans dat een maalbeperking wordt ingesteld.

In de studie zijn daarom vervolgens twee alternatieven bekeken:

- 1: de laagste klasse verhogen naar klasse II;
hiermee wordt de laagste veiligheid verhoogd naar eens in de 30 jaar.
- 2: klasse I en klasse II beide verhogen naar klasse III;
hiermee wordt de laagste veiligheid verhoogd naar eens in de 100 jaar.

Uit de indicatieve vergelijking tussen oude gereguleerde kadehoogten en geschatte hoogten die uit de nieuwe norm zouden volgen blijkt het volgende. Ook in het "veiligste" alternatief (2) zullen de kadehoogten gemiddeld genomen niet hoger zijn dan wanneer de

kaden tot de "oude gereguleerde normen" zouden worden versterkt. Alternatief 2 blijft gemiddeld genomen het dichtst bij de veiligheid die bij handhaving van de oude gereguleerde normen zou hebben gegolden en levert dus de geringste trendbreuk op. De projectgroep adviseert dan ook een minimale veiligheid van 1/100 per jaar voor de kade-ringen in Fryslân aan te houden. Voor de drie grote kade-ringen kan een veiligheid van 1/300 per jaar worden aangehouden zoals uit de berekeningen volgt.

Bij de voorbereiding van het IWBP [4] hebben de waterschappen een schatting gemaakt van de kosten die samenhangen met verbetering van de huidige situatie naar de oude gereguleerde hoogten. Deze schatting kwam uit op een bedrag tussen de 80 en 160 miljoen gulden. Uit de indicatieve vergelijking tussen de oude en de nieuwe normen blijkt dat het merendeel van de kaden bij de schatting van de nieuwe kadehoogten op een lagere kadehoogte uitkomt dan de oude gereguleerde hoogte. Hieruit kan worden afgeleid dat de kosten benodigd om de huidige kaden naar de nieuwe normen te verbeteren waarschijnlijk niet hoger, maar wel in dezelfde orde van grootte als de gemaakte schatting uit zullen komen.

De indeling van kade-ringen in veiligheidsklassen zal in het waterhuishoudingsplan en uiteindelijk in de verordening waterkering vastgelegd worden. Deze indeling is echter een momentopname. Als gevolg van wijzigingen in bodemgebruik (met name uitbreiding stedelijk gebied) kunnen kade-ringen in de toekomst van veiligheidsklasse veranderen. Het zal hier slechts om enkele kade-ringen gaan waarvan de gevolgschade dicht bij de grens van een veiligheidsklasse ligt.

Mogelijk zullen in de komende jaren polders met veel natuur als waterbergingspolders aangewezen worden. Deze kunnen dan eventueel door middel van een wijzigingsbesluit van GS in een andere (lagere) veiligheidsklasse ingedeeld worden.

1 INLEIDING

In het verleden waren kadehoogten vastgelegd in de reglementen van de afzonderlijke Friese waterschappen. Na herziening van de reglementen ongeveer tien jaar geleden zijn deze waarden niet opnieuw opgenomen. Momenteel bestaan er dus geen adequate normen voor de veiligheid van de Friese boezemkaden. De oude gereguleerde kadehoogten zijn veelal nog gebaseerd op het boezembeheer uit de tijd voordat het Hooglandgemaal werd gebouwd en voordat van een verbeterde afwatering via het Lauwersmeer sprake was. Recente periodes van wateroverlast in en buiten de provincie hebben de noodzaak van een adequate normstelling onderstreept.

De minister van Verkeer en Waterstaat heeft de verantwoordelijkheid voor het vaststellen van normen voor niet-primaire waterkeringen aan de provincies opgedragen. Bij het vaststellen van de notitie waterkeringen in 1995 hebben provinciale staten de verantwoordelijkheid voor de veiligheid van boezemkaden op zich genomen.

Op 17 juni 1997 hebben gedeputeerde staten van de provincie Fryslân ingestemd met het projectplan normering boezemkaden [1]. Doel van dit project was te komen tot nieuwe normen waaraan de boezemkaden in Fryslân moeten voldoen. Om tot deze nieuwe normering te komen is een projectgroep met vertegenwoordigers van provincie en waterschappen samengesteld (zie bijlage 1).

Als uitgangspunt voor de normering is de methodiek zoals weergegeven in de concept-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden genomen die in Interprovinciaal (IPO) verband ontwikkeld is [2].

In deze rapportage wordt eerst de methodiek en de toepassing daarvan in Fryslân uiteengezet, om vervolgens de resultaten te bespreken. Tevens is een indicatieve vergelijking gemaakt tussen de 'oude' gereguleerde kadehoogten en de hoogten die zouden voortvloeien uit de methodiek. Deze rapportage eindigt met een voorstel voor nieuwe veiligheidsnormen voor boezemkaden.

2 METHODIEK

2.1 Algemeen

De normering is tot stand gekomen door gebruik te maken van de, in interprovinciaal verband ontwikkelde, methodiek zoals weergegeven in de concept-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden [2].

In de methodiek worden drie manieren beschreven om tot normering te komen. In dit project is gekozen voor de verbeterde methode waarbij een verdere detaillering is aangebracht doordat de berekeningen per oppervlakte van 25x25 m ('gridcel') m.b.v. een GIS zijn gemaakt. In de loop van dit project is bij te maken keuzes steeds gekozen voor die optie die zou leiden tot de grootste veiligheid.

De resulterende veiligheidsnormen worden door de waterschappen omgezet in technische normen die de minimale eisen aan een kade (afkeurgrenzen) weergeven. In de praktijk zal de veiligheid van gebieden dus altijd groter zijn, zolang aan de veiligheidsnorm wordt voldaan.

2.2 Status methodiek

Om te bepalen of de methodiek technisch inhoudelijk goed in elkaar zit heeft de IPO-projectgroep, die de methodiek heeft ontwikkeld, deze aan werkgroep E van de Technische Adviescommissie Waterkeringen voorgelegd. Deze werkgroep E heeft in september 1998 ingestemd met de voorgelegde methodiek. Deze werkgroep onderschrijft deze eenvoudige methodiek op hoofdlijnen maar vraagt aandacht voor het feit dat stabiliteitsverlies en menselijke activiteiten de belangrijkste faaloorzaken van boezemkaden zijn.

In 1999 zal de methodiek worden voorgelegd aan TAW-plenair. Verwacht wordt dat kort daarna deze methodiek door het IPO als richtlijn vastgesteld zal worden.

2.3 Toepassingsgebied

Voor de normering is uitgegaan van het huidige (peil)beheer van de Friese boezem. Bij de normering is alleen gekeken naar kaden die langs de Friese boezem liggen. Kaden langs de gestuwde delen van de beekdalen, kanalen in Zuidoost-Fryslân, rond polderboezems, zomerkaden en kaden voor buitendijkse gebieden in het Lauwersmeer en het IJsselmeer maken dus geen deel uit van dit normeringsonderzoek. De gebruikte methodiek is namelijk niet of minder geschikt voor deze situaties en deze kaden vallen (mede daarom) ook buiten het kader van dit project. De ligging van de kaden langs de gestuwde delen van de beekdalen en de kanalen in ZO-Fryslân is wel op de kade-ringen kaart aangegeven (zie kaart 1).

Het is overigens wel mogelijk dat een waterschap de methodiek zodanig aanpast dat wel bepaald kan worden of een kade die buiten dit normstellingsonderzoek is gelaten versterkt moet worden.

2.4 Berekeningswijze

De methodiek bepaalt naar analogie van de werkwijze bij primaire waterkeringen een kade-norm die gebaseerd is op de overschrijdingskans (per jaar) van de waterstand die een boezemkade moet kunnen keren. De grootte van deze overschrijdingskans is afhankelijk van de gevolgschade bij inundatie van de achterliggende polder.

Uitgangspunt van de methodiek is dat de trendbreuk met de tot nog toe gehanteerde normen zo gering mogelijk is. Het gevolg van deze keuze is dat de kans op overstroming ten gevolge van doorbraak van een kade veel groter is dan de kans op overstroming ten gevolge van primaire waterkeringen.

Als basis om de methodiek toe te kunnen passen worden kade-ringen vastgesteld die gebieden omsluiten die bij een kadedoorbraak zouden overstromen. Voor elke kade-ring wordt de inundatiediepte en vervolgens de economische gevolgschade als gevolg van een doorbraak bepaald. Aan de hand van de totale gevolgschade in een kade-ring kan de bijbehorende veiligheidsklasse bepaald worden.

Bij elke veiligheidsklasse hoort een overschrijdingsfrequentie van de maatgevende boezemwaterstand en een schadefactor van het binnentalud (landzijde) van de kade (zie tabel 1).

Tabel 1 Indeling veiligheidsklassen volgens methodiek

veiligheidsklasse	gevolgschade [Mf]	overschrijdingsfrequentie MBP [1/jaar]	schadefactor binnentalud [-]
I	< 17,5	1/10	0,80
II	17,5 - 55	1/30	0,85
III	55 - 175	1/100	0,90
IV	175 - 550	1/300	0,95
V	>550	1/1000	1,00

Met behulp van de frequentieverdeling van de waterstanden op de Friese boezem kan de maatgevende waterstand (Maatgevend Boezem Peil, MBP) voor alle locaties op de boezem bepaald worden aan de hand waarvan, in combinatie met de schadefactor binnentalud, de minimale dimensies van de kade bepaald kunnen worden.

De schadefactor binnentalud geeft de verhouding weer tussen de sterkte van de kade en de uitgeoefende belasting op de kade en is daarmee dus een stabiliteitseis. Zoals ook in de methodiek staat aangegeven, kan met de schadefactor binnentalud en met behulp van glijvlakberekeningen worden gecontroleerd of voldaan wordt aan de stabiliteitseis (en zal dus wel een rol spelen bij het vastleggen van de technische normen door de waterschappen). Voor de indeling van de kade-ringen in de veiligheidsklassen is de schadefactor binnentalud niet van belang; er wordt daarom verder niet op ingegaan.

2.5 Kanttekeningen bij toepassing in Fryslân

- De methodiek gaat ervan uit dat elke kade-ring geheel door boezemwater omgeven is. Met vermindering van de inundatiediepte als gevolg van de vertraagde aanvoer van water van elders uit de boezem wordt dus in de methodiek geen rekening gehouden. Daardoor wordt met name voor grote kade-ringen een hogere gevolgschade berekend dan in de praktijk zal voorkomen.
- Er wordt bij een polder met een hogere veiligheidsklasse geen rekening mee gehouden dat een aantal polders van een lagere klasse waarschijnlijk al geïnundeerd is en daarmee de waterstand op de boezem al gedaald is. Dit leidt voor polders die in een hoge veiligheidsklasse komen tot een feitelijk hogere veiligheid, maar ook voor polders in dezelfde veiligheidsklasse geldt, dat per polder de gemiddelde kans op overstroming lager is dan de norm aangeeft.

3 TOEPASSING METHODIEK

3.1 Bepaling kade-ringen en (oude) gereguleerde hoogte

3.1.1 Het vormen van sluitende kade-ringen

Informatie over de ligging van kaden was niet op korte termijn geautomatiseerd bij de waterschappen voorhanden. Op grond van de peilenkaart (1995), die de provincie eerder aan de hand van waterschapsbesluiten vervaardigde, is aangenomen dat op de grens tussen een gebied met polderpeil en een gebied met boezempeil, een kade rond een polder ligt. Een selectie op deze voorwaarde leverde een kaart met de veronderstelde ligging van kaden. Het resultaat is door de waterschappen gecontroleerd. Omdat de peilenkaart een momentopname uit 1995 is, zijn hier en daar enkele aanpassingen gedaan (zoals bijv. in de omgeving van het aquaduct bij Akkrum). Voor alle kade-ringen is waar deze grenst aan de boezem door de waterschappen een kerende hoogte aangegeven gebaseerd op de oude gereguleerde hoogte.

De grenslijnen die op deze manier zijn bepaald kunnen in werkelijkheid verschillende gedaanten hebben (zie ook kaart 1).

Het grootste gedeelte van de gevormde kade-ringen bestaat uit 'groene' kaden, die als zodanig door de waterschappen beheerd en onderhouden worden. Voor deze lijnen staat aangegeven welke oude gereguleerde kadehoogte was vastgesteld.

Er zijn ook delen van kade-ringen die wel langs bemalen gebieden liggen maar waar de percelen zo hoog liggen dat geen kade noodzakelijk is; hier vervult eigenlijk het hogere deel van het perceel de waterkerende functie. Waterschappen maken hier gebruik van zogenaamde 'reserveringsstroken', waar eigenaren of gebruikers geen werken mogen uitvoeren die de waterkerende functie aantasten. Om de ligging van deze reserveringsstroken te bepalen hebben deze lijnen de benodigde kerende hoogte volgens de oude reglementen toegekend gekregen. Vervolgens is m.b.v. de hoogtekaart gekeken waar het maaiveld hoger of gelijk is aan de benodigde kerende hoogte. Aan de gedeelten van de kade-ring waar dit het geval is, is vervolgens de status reserveringsstrook toegekend. Voordeel van deze methode is dat bekeken kan worden waar het als gevolg van de nieuwe normering nog nodig is om nieuwe kaden aan te leggen op plaatsen waar volgens de oude reglementen alleen een reserveringsstrook lag en waar geen kade meer nodig is maar met een reserveringsstrook volstaan kan worden. Het bleek om 560 km reserveringsstrook te gaan, waarmee de totale lengte kaden op 2267 km uitkwam. Deze lengte komt goed overeen met de in de IWBP thema-notitie afwatering [4] genoemde totale lengte van kaden in Fryslân van ca. 2300 km.

Niet overal zijn kade-ringen door de boezem omgeven. Om gesloten kade-ringgebieden te maken zijn soms ook begrenzingen met hoger gelegen gestuwde gebieden (zoals Zuidoost-Fryslân) of vrij voor de boezem liggende gebieden (zoals Gaasterland) als "sluitstuk" nodig. Dit zijn arbitraire grenzen die ook op grond van de peilenkaart bepaald zijn. Voor de berekeningen is van belang dat al het gebied dat door een kade-breuk kan inunderen, door deze eventuele arbitraire grenzen omgeven is. De aldus bepaalde grenzen hebben geen enkele status.

Veel stedelijk gebied ligt geheel of gedeeltelijk vrij voor de boezem, de grens van de kade-ring loopt dan over de grens van het peilgebied meestal voor een groot deel achter het stedelijk gebied langs, dat in de peilenkaart is aangegeven als vrij voor de boezem gelegen.

Gezien de hoge ligging van gebieden die vrij voor de boezem liggen zullen deze gebieden voor de berekening van de gevolgschade niet van belang zijn. De kerende hoogte ligt ergens in het stedelijk gebied tussen de oever van de boezem en de grens van boezempeil met polderpeil. Door het ontbreken van gedetailleerde hoogtegegevens in m.n. stedelijk gebied kon deze grens niet exact worden bepaald.

3.1.2 Mogelijke verbindingen tussen kade-ringen

Bij grote onderleiders kan bij inundatie water door de onderleider van de ene polder naar de andere stromen. Kade-ringen verbonden door grote onderleiders (>1m doorsnee) zijn daarom tot één kade-ring gemaakt. Kleinere onderleiders komen in alle waterschappen voor maar zijn gemakkelijker provisorisch af te sluiten en geven daarom geen aanleiding tot het samenvoegen van kade-ringen. Alleen in Lauwerswâlden en in Boarn en Klif hebben een viertal grote onderleiders tussen enkele kleine kade-ringen aanleiding gegeven tot het samenvoegen van die kade-ringen. In Sevenwolden komt een grote onderleider voor tussen een agrarische polder en Drachten. De agrarische polder ligt echter zo hoog dat hier nauwelijks inundatie plaatsvindt. Deze onderleider heeft dan ook geen consequenties. De relevante onderleiders staan aangegeven op kaart 1.

In het Friese boezemsysteem komt een drietal kruisingen tussen het wegverkeer en de boezem voor waar gebruik is gemaakt van een aquaduct of tunnel. Dit zijn mogelijke zwakke punten in een kade-ring die een verbinding tussen twee kade-ringen kunnen vormen.

Prinses Margrietunnel ten oosten van Sneek

Bij beschadiging van de tunnel zelf heeft de waterkering een minimale overloophoogte naar de westelijk gelegen polder van NAP+0,44m en naar de oostelijk gelegen polder van NAP+0,50m.

Bij het inunderen van één van de twee polders ontstaat pas bij een peil van NAP+0,50m verbinding met de andere polder.

De tunnel zelf kent in de kade-ring een kerende hoogte van NAP+2m.

Aquaduct ten zuidwesten van Grou

Indien het aquaduct een beschadiging zou oplopen dan is er een minimale overloophoogte van NAP+0m naar de zuidelijke polder en een peil van >0m naar de noordelijke polder.

Bij een peil van >0m ontstaat er eveneens een verbinding tussen de genoemde polders ingeval van inundatie van één van de aanliggende polders. Een boezempeil van NAP+0m komt plaatselijk minder vaak dan 1/1000 per jaar voor.

De tunnel zelf kent in de kade-ring een kerende hoogte van NAP+1,5m.

Aquaduct ten oosten van Akkrum

Bij beschadiging van het aquaduct zelf heeft de waterkering een minimale overloophoogte naar de noordelijk gelegen polder van ca. NAP+0,15m en naar de zuidelijk gelegen polder van NAP+0,60m.

Bij een peil van NAP+0,60m ontstaat er pas een verbinding tussen twee aanliggende polders. Een boezempeil van NAP+0,60m komt veel minder vaak dan 1/1000 per jaar voor.

De tunnel zelf kent in de kade-ring een kerende hoogte van NAP+0,60m.

De hierboven beschreven waterstanden zullen bij de in deze methodiek gebruikte overschrijdingsfrequenties niet optreden waardoor in z'n algemeenheid kan worden geconcludeerd dat de tunnel en de aquaducten in Fryslân minstens even veilig zijn als de aansluitende kaden en niet tot verbindingen tussen kade-ringen zullen leiden.

3.1.3 Mogelijke verdere opdeling van kade-ringen

In sommige kade-ringen komen hoge ruggen voor die er feitelijk voor zorgen dat de kade-ring in twee delen verdeeld wordt. Bij kadebreuk in het ene deel van de kade-ring zal het andere deel van de kade-ring niet inunderen. Deze ruggen zijn bij de vorming van de kade-ring niet onderscheiden omdat hier niet speciaal op geselecteerd is.

In die gevallen, dat een dergelijke barrière aanwezig is, is een kade-ring in feite opgedeeld in twee compartimenten. Over deze hoge ruggen zijn compartimenteringen in de kade-ringkaart (kaart 1) opgenomen (die overigens meestal wel langs watersysteemgrenzen lopen) waardoor deze kade-ringen in twee kade-ringen opgedeeld zijn.

Het gebruik van een polderdijk als compartimentering bijv. in de kade-ring ten westen van Heerenveen bleek bij nadere beschouwing van de compartimentering niet mogelijk.

Het is natuurlijk mogelijk om in het veld zodanige maatregelen te nemen, dat een nieuwe compartimentering ontstaat, waardoor een kade-ring in een lagere klasse kan uitkomen. Dit valt echter buiten het bestek van deze studie.

3.2 Bepaling maatgevende boezemwaterstanden

De frequentieverdeling van de maatgevende waterstanden op verschillende plaatsen langs de Friese boezem is goed te berekenen dankzij de lange meetreeksen die van 37 meetlocaties beschikbaar zijn. Voor de gehele Friese boezem kunnen dan ook de waterstanden (het maatgevend boezempeil, MBP) behorend bij de overschrijdingsfrequenties van gemiddeld eens in de tien jaar (1/10 per jaar), 1/30 en 1/100 per jaar bepaald worden.

De overschrijdingsfrequenties zijn berekend met behulp van het dataverwerkings- en analysepakket HYMOS. Er is gerekend met maximum waarden per dag. Indien aanwezig zijn deze berekend uit kwartier-, halfuur-, uurwaarden; anders zijn de dagwaarden (12-uur waterstanden) gebruikt. Bij de bepaling van de overschrijding wordt gerekend met de hoogste waarde per jaar (uit de maximumwaarden). Gerekend is met gegevens vanaf 1970 t/m 1997. Zo is er per meetpunt een reeks van maximaal 28 waarden waarmee gerekend wordt. De overschrijdingen zijn in HYMOS bepaald met behulp van de log-normaal verdeling.

Van vóór 1970 zijn minder gegevens beschikbaar en zijn de waarnemingen niet representatief, omdat eind jaren 60 het Hooglandgemaal en de afsluiting van de Lauwerszee het beheer op de friese boezem drastisch veranderden.

Impliciet is in de meetgegevens het eventueel sluiten van de sluisen bij Terhorne, waarmee de boezem in twee delen opgedeeld kan worden, meegenomen.

Er zijn 6 hulppunten gebruikt. Deze zijn nodig om de interpolatie van de waterstanden over de boezem beter te laten verlopen. De MBP's bij een overschrijdingsfrequentie van eens in de 100 jaar zijn weergegeven op kaart 2. De geïnterpoleerde waterstanden zijn getoond in het gebied binnen de kade-ringen, omdat dat een beter inzicht geeft in de verdeling van de waarden over de provincie. Feitelijk zijn de waarden alleen van belang ter plaatse van de kade-ring. Tevens zijn op deze kaart de punten aangegeven waarvan meetreeksen bekend zijn, en de punten die als hulppunten zijn toegevoegd.

Door de lange meetreeksen zijn de resultaten op de Friese boezem behoorlijk betrouwbaar. Langs de benedenlopen van de beken in Zuidoost-Fryslân, is de betrouwbaarheid geringer.

Dit komt doordat hier veel minder lang meetgegevens van boezemwaterstanden beschikbaar zijn. Tevens zijn de grotere waterstandsfluctuaties in de benedenlopen mede debet aan de lagere betrouwbaarheid in dit gebied.

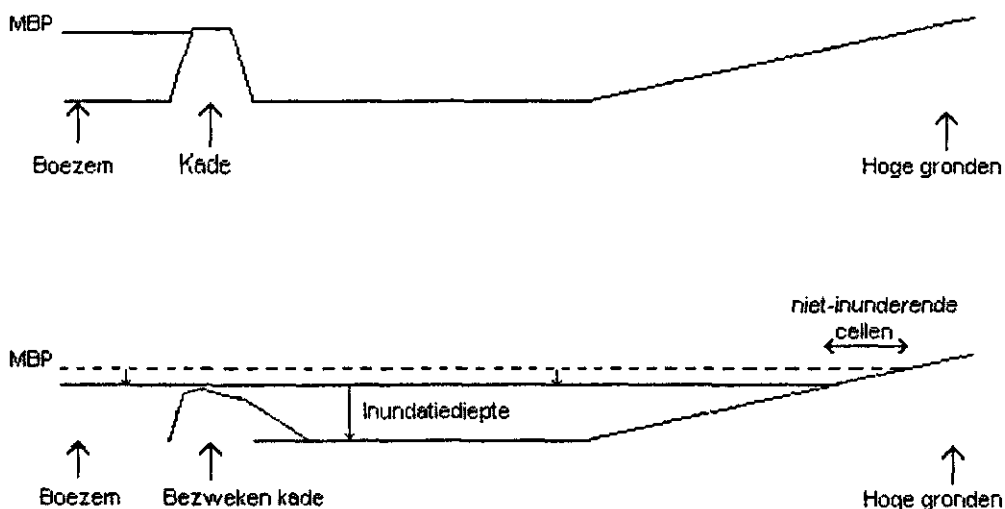
De overschrijdingsfrequenties van 1/300 en 1/1000 per jaar zijn niet meer met voldoende betrouwbaarheid uit de gemeten waarden te bepalen. Voor de waterstanden van 1/300 per jaar en 1/1000 per jaar is resp. 5 en 10 cm bij de waterstanden van 1/100 per jaar opgeteld. Gezien het eerder in 2.4 gesignaleerde feit dat bij deze lage overschrijdingsfrequenties reeds polders met een lagere norm zullen zijn geïnundeerd, is deze aanname aan de veilige kant.

Op dit moment wordt bij een overschrijding van een boezemwaterstand van ca. NAP-0,32 m een maalbeperking ingesteld. Dit komt overeen met een maalbeperking met een frequentie van ongeveer 1/7 per jaar. In het advies van de stuurgroep water [3] wordt uitgegaan van een maalbeperking met een frequentie van 1/30 per jaar.

3.3 Bepaling inundatiediepten

Bij de bepaling van de inundatiediepte in een kade-ring wordt ervan uitgegaan dat de boezem een bak water is die de kade-ring omsluit. Als een kade-ring inundeert zal de waterstand in de boezem dalen doordat een deel van het water van de boezem de polder instroomt. Om hiervoor te corrigeren is de berekening in twee stappen uitgevoerd:

Eerst is de beginwaterstand bepaald door het gemiddelde van de maatgevende boezemwaterstanden op de kade-ring te bepalen. Aan de hand van deze waterstand wordt het volume bepaald dat de kade-ring zou inlopen wanneer de boezem onbeperkt groot zou zijn. Vervolgens is één nieuwe schatting van het boezempeil na inundatie gedaan op grond van de verhouding van het totale watervolume van de Friese boezem en het volume van de polder+boezem (als de boezem 'leegloopt' in de polder wordt de uiteindelijke inundatiediepte in de polder kleiner)(zie fig. 1).



Figuur 1. De waterstandsval op de boezem als gevolg van het inunderen van een polder.

De inundatiediepte wordt uiteindelijk bepaald door per cel van 25 bij 25 m het verschil te berekenen tussen de hoogte van de hoogtekaart en de berekende boezemwaterstand na

inundatie, zoals hiervoor uiteengezet.

Voor de bepaling van de hoogte per cel is gebruik gemaakt van de digitale hoogtekartaart (verbeterd voor maaiveldsdaling in veengebieden). Een probleem met deze hoogtekartaart is dat hoogtegegevens in het stedelijk gebied veelal ontbreken of niet meer correct zijn omdat veel na-oorlogse nieuwbouwwijken zijn opgehoogd. Voor zover het stedelijk gebied binnen een kade-ring ligt, zijn deze gegevens door de waterschappen zo goed mogelijk verzameld bijv. aan de hand van de hoogte van putdeksels van rioleringen. Voor stedelijk gebied waarvan de actuele hoogtes niet achterhaald konden worden, zijn de oude hoogtegegevens verhoogd met een geschatte ophoging van 0,5 m.

Ook in natte natuurgebieden zijn vaak geen hoogtegegevens beschikbaar. Omdat deze in de bepaling van de economische gevolgschade nauwelijks meetellen is besloten deze buiten beschouwing te laten.

Cellen waarvan ook na de hiervoor genoemde aanvullingen geen hoogte bekend was zijn berekend uit de hoogtewaarden van de omliggende cellen. Hierdoor zijn voor elke cel van 25x25 m in Fryslân hoogtegegevens bekend.

Op de gebruikte hoogtekartaart zijn de hoogtes van spoorwegen en autowegen gelijk aan het omliggende maaiveld. In werkelijkheid liggen spoorwegen vaak op een zandlichaam en autowegen liggen vanwege de ongelijkvloerse kruisingen ook hoger. Om beter recht te doen aan de werkelijke situatie is aangenomen dat spoorlijnen altijd boven NAP + 0.50 m liggen (dit is gecontroleerd aan de hand van hoogte-aanduidingen op de topografische kaart) en als gevolg daarvan niet zullen overstromen. Voor de berekening is de hoogteligging van alle grote wegen met 0.5 m verhoogd.

Voor de bepaling van de gemiddelde maatgevende waterstand langs de kade wordt gebruik gemaakt van maatgevende boezemwaterstanden bij de verschillende overschrijdingsfrequenties. Omdat bij de eerste berekening nog niet bekend is in welke veiligheidsklasse met bijbehorende overschrijdingsfrequentie de kade-ring terecht zal komen, is eerst met een overschrijdingsfrequentie 1/100 per jaar gerekend om vervolgens via iteratie met die maatgevende waterstanden te rekenen die overeenkomen met de resulterende veiligheidsklasse. De inundatiediepten behorend bij de berekende veiligheidsklasse staan weergegeven op kaart 3.

3.4 Bepaling economische gevolgschade per kade-ring

Voor de indeling van de vier onderscheiden bodemgebruiksklassen (veeteelt, akkerbouw, glastuinbouw, stedelijk gebied) is conform de methodiek gebruik gemaakt van het CBS-bodemgebruiksbestand (1993). Voor het onderscheid tussen veeteelt en akkerbouw is uitgeweken naar het LGN3-bestand (1995). CBS/LGN3 bevatten geen losstaande boerderijen, maar de aanwezigheid van losstaande boerderijen in het landelijk gebied is meegenomen in de schadefactor waarmee het aantal ha grasland of akkerbouw wordt vermenigvuldigd.

Niet voor alle bodemgebruikscategorieën van het CBS/LGN3 is in de methodiek aangegeven in welke bodemgebruiksklasse van de schadefunctie deze thuishoort. In bijlage I is aangegeven volgens welke sleutel de legenda-eenheden zijn omgewerkt naar de bovengenoemde 4 klassen. De belangrijkste keuzes die moesten worden gemaakt zijn hieronder toegelicht.

Spoor-, tram- en metrowegen (CBS-categorie)

In Fryslân komen alleen spoorwegen voor. Deze spoorwegen zijn echter meestal op een verhoging gebouwd en zullen dus niet overstromen. De spoorwegen leveren dus geen bijdrage aan de schade terwijl die wel wordt berekend omdat de hoogtekaart de dijkhoogte van de spoorweg niet kent. Om deze reden zijn spoorwegen niet in de berekening meegenomen.

Delfstoffenwinning (CBS-categorie)

Dit is een diverse categorie die daarom moeilijk in te delen bleek. Aan boorlocaties van zout en gas treedt door overstroming behoorlijke schade op, terwijl zandwinputten vrijwel geen schade ondervinden. Om deze reden is onderscheid gemaakt tussen zandwinputten en de overige delfstoffenwinning: zandwinputten zijn gelijk gesteld aan nat natuurlijk terrein dat niet meetelt in de schade-functie en de overige delfstoffenwinning is ingedeeld bij stedelijk gebied.

Dagrecreatieve objecten/terreinen (CBS-categorie)

In Fryslân bleek het hier meer te gaan om dagrecreatieve terreinen dan om dagrecreatieve objecten. Het gaat bijv. om het bos rond de Kleine Wielen (ten oosten van Leeuwarden). Aangezien bos in z'n algemeenheid ingedeeld is bij akkerbouw, kunnen dagrecreatieve terreinen beter ook ingedeeld worden bij akkerbouw. Het gedeelte van de Kleine Wielen waar wel recreatieve bebouwing staat en waar de schade dus ook hoger zal zijn, is ingedeeld in de categorie verblijfsrecreatie waardoor dit wel meetelt als stedelijk gebied in de schadefunctie.

Voor de verdere berekening zijn deze bodemgebruiksklassen omgerekend naar cellen van 25 bij 25 m. Hierbij is het meest in de cel voorkomende bodemgebruik toegekend aan de totale cel.

De economische gevolgschade per cel is vervolgens bepaald door het bodemgebruik te vermenigvuldigen met de in de methodiek aangegeven weegfactoren (gebaseerd op de verschillen in schade die bij inundatie optreedt) en deze te combineren met de inundatiediepte (zie kaart 4).

De gevolgschade per kade-ring is bepaald door alle per cel berekende gevolgschades in een kade-ring op te tellen. Deze schadeberekening is genormeerd (op basis van alle in Nederland voorkomende kaden) zodat een zo gering mogelijke trendbreuk tussen de tot nog toe gehanteerde normen en de uitkomsten van de schadeberekening op zal treden.

3.5 Samenvatting belangrijkste aannamen en keuzen

Aangenomen is dat op de grens van polderpeil en boezempeil een kade zou moeten liggen. Deze kade-ringen zijn gesloten door gebruik te maken van arbitraire grenzen met hogere gronden. De grens van de kade-ring ligt vaak achter het stedelijk gebied langs maar de kerende hoogte wordt ergens tussen de oever en deze grens gevonden. Daar waar een kade-ring grenst aan de boezem is een kerende hoogte toegekend op basis van de oude gereguleerde hoogtes.

Door vergelijking met de hoogtekaart is vervolgens de ligging van reserveringsstroken bepaald.

Waar grote onderleiders twee kade-ringen verbinden kan bij inundatie van de ene kade-ring ook inundatie van de andere kade-ring optreden. In het gebied van wetterskip Lauwerswâlden en van wetterskip Boarn en Klif zijn hierdoor enkele kleine kade-ringen samengevoegd. In de overige gebieden zijn de onderleiders tussen kade-ringen zo klein dat deze in geval van inundatie gemakkelijk provisorisch afgesloten kunnen worden. Ook de aquaducten en tunnels in Fryslân geven geen aanleiding tot het totstandkomen van een verbinding tussen twee kade-ringen.

Enkele kade-ringen die door een hoge rug doorsneden worden zijn langs deze hoge rug in

twee kade-ringen opgesplitst omdat dat als het ene deel overstroomt het water niet in het andere deel kan komen.

Voor de gehele Friese boezem is de maatgevende boezemwaterstand (MBP) behorend bij de overschrijdingsfrequenties van 1/10, 1/30 en 1/100 per jaar berekend op basis van de gemeten waterstanden. De waterstanden behorend bij een overschrijdingsfrequentie van 1/300 en 1/1000 per jaar kunnen niet met voldoende betrouwbaarheid uit de gemeten gegevens bepaald worden. Daarom is resp. 5 en 10 cm bij de waterstand van 1/100 per jaar opgeteld.

Om de inundatiediepte van een kade-ring goed te bepalen zijn de waterstanden langs de kade-ring gemiddeld en is vervolgens gecorrigeerd voor de leegstroom van de boezem in de polder.

De hoogtekaart is aangevuld met hoogtes in stedelijk gebied. Voor het berekenen van de gevolgschade is aangenomen dat spoorwegen altijd zo hoog op een zandlichaam gelegen zijn dat deze niet zullen overstroomen, en de hoogteligging van alle wegen is met 0,5 m verhoogd.

De bodemgebruiksklassen zijn bepaald op grond van de CBS-bodemgebruiksindex en aangevuld voor wat het onderscheid tussen akkerbouw en grasland betreft met gegevens uit het LGN3-satellietbestand. Bij de categorie delfstoffen is onderscheid gemaakt tussen zandwinputten en zout- of gaswinlocaties omdat de winningslocaties bij overstrooming behoorlijke schade ondervinden terwijl dat bij zandwinputten niet het geval is. Dagrecreatieve terreinen zijn ingedeeld bij akkerbouw omdat het hierbij in Fryslân gaat om aangelegd bos voor recreatie.

4 RESULTATEN

4.1 Kade-ringen

De in hoofdstuk 3 beschreven methodiek heeft geleid tot een indeling van Fryslân in 251 kade-ringen. Deze zijn weergegeven op kaart 1. De kade-ringen waar wel een polderbe-
maling is maar waar feitelijk geen kade of reserveringsstrook omheen lag of waar geen
inundatie zou optreden zijn verwijderd. Dit betreft 23 gebieden met een gezamenlijke
oppervlakte van 282 ha.

Daarnaast is er een groot aantal kade-ringen waar slechts enkele cellen inunderen (op kaart
5 hebben deze kade-ringen afgerond een schade van nul miljoen gulden, de werkelijke
schade ligt dan dus tussen 47 en 500.000 gulden). Bij deze gebieden rijst de vraag of het
wel realistisch is aan deze gebieden een status als kade-ring mee te geven (zie 6.1).

4.2 Veiligheidsklassen

Afhankelijk van de berekende gevolgschade (een combinatie van de inundatiediepte en de
economische waarde) komt de kade-ring in een veiligheidsklasse terecht. In de methodiek
worden vijf veiligheidsklassen onderscheiden.

De uitkomsten van de berekeningen staan weergegeven in kaart 5 en hieronder in tabel 2.

Tabel 2 Indeling kade-ringen in veiligheidsklassen in Fryslân (volgens methodiek)

veiligheids klasse	gevolgschade [Mfl]	overschrijdingsfrequentie MBP [1/jaar]	aantal kade-ringen	totale oppervlakte (ha)	geinundeerde oppervlakte (ha)
I	< 17.5	1/10	207	99.821	27.962
II	17.5 - 55	1/30	23	23.223	19.529
III	55 - 175	1/100	18	64.695	44.580
IV	175 - 550	1/300	3	29.641	25.644
V	>550	1/1000	0	0	0

Alleen de klassen I tot en met IV komen in Fryslân voor. De polders in het noordelijk
zeekleigebied vallen hoofdzakelijk in klasse I. In lagere delen van de provincie, met name de
veenpolders, komen door een combinatie van oppervlak, inundatiediepte en bebouwd
oppervlak, een drietal kade-ringen in klasse IV.

De kaden moeten minstens de maatgevende waterstand horend bij de veiligheidsklasse
kunnen keren. Bovendien moet de kade voldoende stabiel zijn.

De Noordelijke Lindedijk is (samen met de Grietenij- en de Statendijk) door het rijk
aangewezen als primaire waterkering. Dit is een dijkkringscheidingsdijk die moet voorkomen
dat bij overstroming van de dijkkring water van Overijssel naar Fryslân of omgekeerd kan
stromen. In de wet op de waterkering is voor dijkkringscheidingsdijken geen veiligheidsnorm
vastgelegd. Wel is bepaald dat de dijklichamen gehandhaafd moeten blijven zoals deze er
in 1996 voorlagen, toen de wet in werking trad.

4.3 Gevoeligheid

De gevoeligheid van de indeling in veiligheidsklassen voor de maatgevende boezemwaterstand en de aanname van de waterstands daling als gevolg van het inunderen van een polder is bepaald door bij de gebruikte boezemwaterstand een extra waterstandsverhoging van 10 cm op te tellen.

De gevoeligheid voor de waterstand bleek niet zo groot te zijn. Slechts enkele kade-ringen waarvan de economische waarde dicht in de buurt van een klassegrens lag zouden van klasse veranderen.

4.4 Indicatieve vergelijking van de oude en de nieuwe kadehoogte

Om de verschillen te bepalen tussen de oude gereguleerde hoogtes en de kadehoogtes die uit de nieuwe normering volgen, is een schatting van de benodigde waakhoogte van de kaden gemaakt. Met waakhoogte wordt bedoeld: de extra waakhoogte die nodig wordt geacht i.v.m. golfwerking, onzekerheden bóvenop de hoogte van de maatgevende boezemwaterstand die bij de overschrijdingsfrequentie van de gekozen veiligheidsklasse hoort.

Nadrukkelijk wordt hier gesteld dat het schatten van de waakhoogte alleen voor deze studie is geschied om een vergelijking tussen oude en nieuwe kadehoogtes te kunnen maken. De resultaten zijn dus zeer indicatief van aard. Uiteindelijk zullen de waterschappen per kade-vak op basis van de plaatselijke omstandigheden de technische normen (het minimale profiel) moeten bepalen.

In de IPO-methodiek wordt een standaard waakhoogte van 10 cm aangehouden om onzekerheden in de berekening te compenseren. Dit is voor alle wateren in Fryslân als uitgangspunt gebruikt. Daarnaast moet in de waakhoogte voor de optredende golfoploop gecompenseerd worden.

De golfoploophoogte op een kade is geschat door aan te nemen dat een golf door de oever, oeververdediging/begroeiing, voorland of talud zodanig afgeremd wordt dat de golfoploop gelijk is aan de geschatte golfhoogte op open water. Om een betere schatting van de golfoploophoogte te maken is een compleet overzicht van alle oevers en oeververdedigingen noodzakelijk hetgeen echter ontbreekt.

Voor de wateren waar golfoploop als gevolg van beroepsvaart optreedt, is de aanduiding grootscheepsvaarwater in het concept PVVP (provinciaal verkeer- en vervoerplan)[5] als uitgangspunt genomen. Voor de golfoploop langs grootscheepsvaarwater is uitgegaan van een golfoploophoogte 30 cm. Bij de schatting van de golf veroorzaakt door een schip is er van uitgegaan dat deze in het midden van de vaargeul vaart en er geen tegenliggers zijn.

Aan de oevers van grote meren ontstaan golven als gevolg van de grotere strijklengte van de wind over het wateroppervlak. Om een schatting van de golfhoogte te maken is bepaald welke golven bij windkracht 8 kunnen ontstaan. De golfgroei is berekend volgens Bretnschneider [6] waarbij uit is gegaan van de grootste strijklengte van de wind dwars op de kade en van de gemiddelde waterdiepte. Het resultaat was afhankelijk van de locatie een golfoploophoogte tussen de 10 en 70 cm.

Voor de overige boezemwateren is een extra hoogte van 10 cm voor golfoploop aangehouden. Dit lijkt een redelijke schatting alhoewel op specifieke locaties langs deze boezemwateren (bijvoorbeeld in bochten) ook hogere golfoploophoogtes kunnen voorkomen.

Samengevat betekent dit, bij de schatting van de nieuwe kadehoogte voor het grootscheepsvaarwater van MBP + 40 cm is uitgegaan, bij de meren van MBP + 20 tot 80 cm, en voor de overige wateren van MBP + 20 cm.

Langs delen van de grote meren wordt de uiteindelijk benodigde kadehoogte sterker beïnvloed door de gekozen waakhoogte dan door de maatgevende waterstand die hoort bij de veiligheidsklasse waarin deze terecht is gekomen. Voor het ontwerpen van de dimensies van de kaden en met name kaden langs vaarwegen en grote meren zal door het waterschap een nauwkeuriger uitwerking van de voorkomende golven en golfoploophoogtes moeten plaatsvinden.

De resultaten van de indicatieve vergelijking van oude kadehoogten en nieuwe (geschatte) kadehoogte op grond van de berekeningsresultaten staan weergegeven in bijlage IV, kolom 2. De geschatte hoogte van 91 % van circa 2300 km kade is bij de rekenresultaten lager dan de oude geregementeerde hoogte. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de oude geregementeerde hoogten bij het huidig beheer in het algemeen met grotere veiligheid dan 1/10 per jaar overeen kwamen.

Bekend is dat de oude geregementeerde kadehoogte bij het instellen van een maalbeperking de waterstand van 1/70 per jaar kon keren. De oude geregementeerde hoogte was dus veiliger dan 1/70 per jaar.

Omdat deze indicatieve vergelijking met veel aannamen gepaard gaat is ook een indicatieve vergelijking gemaakt met een voor alle kaden nog 10 cm hogere waakhoogte. In dat geval blijkt uit de rekenresultaten dat de geschatte hoogte van 75 % van de kaden hoger is dan de oude geregementeerde hoogte.

Voor de feitelijke kosten van kade-herstel is het vaak meer bepalend dat op een bepaald traject werk verzet moet worden dan hoevéél grond er op een kade gebracht moet worden om deze aan een bepaalde veiligheidsklasse te laten voldoen. Ook kan het meeliften met andere werkzaamheden resulteren in lagere kosten.

5 ALTERNATIEVEN

5.1 Alternatieve indelingen veiligheidsklassen

De uiteindelijke keuze van de veiligheidsklassen moet in samenhang worden bekeken met de kans die wenselijk wordt geacht voor het instellen van een maalbeperking. Voorlopig wordt daarvoor een maat van eens in de 30 jaar aangehouden zoals door de Stuurgroep water wordt geadviseerd [3]. Een maalbeperking wordt ingesteld om te voorkómen dat kaden overstromen. De kans dat een kade-ringgebied overstroomt zal dus kleiner moeten zijn dan de kans dat een maalbeperking wordt ingesteld.

Uitgangspunt van de methodiek is dat er geen trendbreuk optreedt. Met andere woorden: de veiligheid die uit de methodiek voortvloeit zou ongeveer gelijk moeten zijn aan de veiligheid die hoort bij de oude normen. De oude normen konden de waterstand die optreedt bij een maalbeperking van 1/70 per jaar keren en gaven dus een grotere veiligheid dan 1/70 per jaar.

Om deze reden worden twee alternatieven bekeken:

- 1: de laagste klasse verhogen naar klasse II;
hiermee wordt de laagste veiligheid verhoogd naar eens in de 30 jaar
- 2: klasse I en klasse II verhogen naar klasse III
hiermee wordt de laagste veiligheid verhoogd naar eens in de 100 jaar

De verschuivingen in aantal kade-ringen en oppervlakte in een bepaalde klasse staan weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Indeling kade-ringen in veiligheidsklassen volgens methodiek en twee alternatieven:

Veiligheids klasse	Overschr. freq. MBP	Berekening (par.4.4)		Minimaal 1/30 per jaar		Minimaal 1/100 per jaar	
		aantal kade-ringen	geïndeerde oppervlakte (ha)	aantal kade-ringen	geïndeerde oppervlakte (ha)	aantal kade-ringen	geïndeerde oppervlakte (ha)
I	1/10	207	27.962	-	-	-	-
II	1/30	23	19.529	230	47.491	-	-
III	1/100	18	44.580	18	44.580	248	92.071
IV	1/300	3	25.644	3	25.644	3	25.644
V	1/1000	0	0	0	0	0	0

5.1.1 Minimale veiligheid 1/30 per jaar

Een minimale veiligheid van 1/30 per jaar betekent voor de kade-ringen die oorspronkelijk in klasse 1 vielen, een gemiddeld 5,1 cm hogere maatgevende waterstand dan bij 1/10 per jaar.

Ook voor dit alternatief is een indicatieve vergelijking gemaakt tussen oude gereguleerde hoogten en de geschatte kadehoogten (zie bijlage IV, kolom 4). De geschatte hoogte van 90 % van de totale kadelengte is bij een minimale veiligheid van 1/30 per jaar lager dan de oude gereguleerde hoogte (uitgaande van de aannames uit 4.4). Bij een extra 10 cm waakhoogte (zie 4.4) is de geschatte hoogte van 71 % van de totale kadelengte lager dan de oude gereguleerde hoogte.

5.1.2 Minimale veiligheid 1/100 per jaar

Bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar is de veiligheidsklasse indeling weergegeven in kaart 6.

Een minimale veiligheid van 1/100 per jaar betekent voor de kade-ringen die oorspronkelijk in klasse 1 vielen, een gemiddeld 10,0 cm hogere maatgevende waterstand dan bij 1/10 per jaar. Voor kade-ringen die oorspronkelijk in klasse 2 vielen betekent dit een 4,9 cm hogere maatgevende boezemwaterstand.

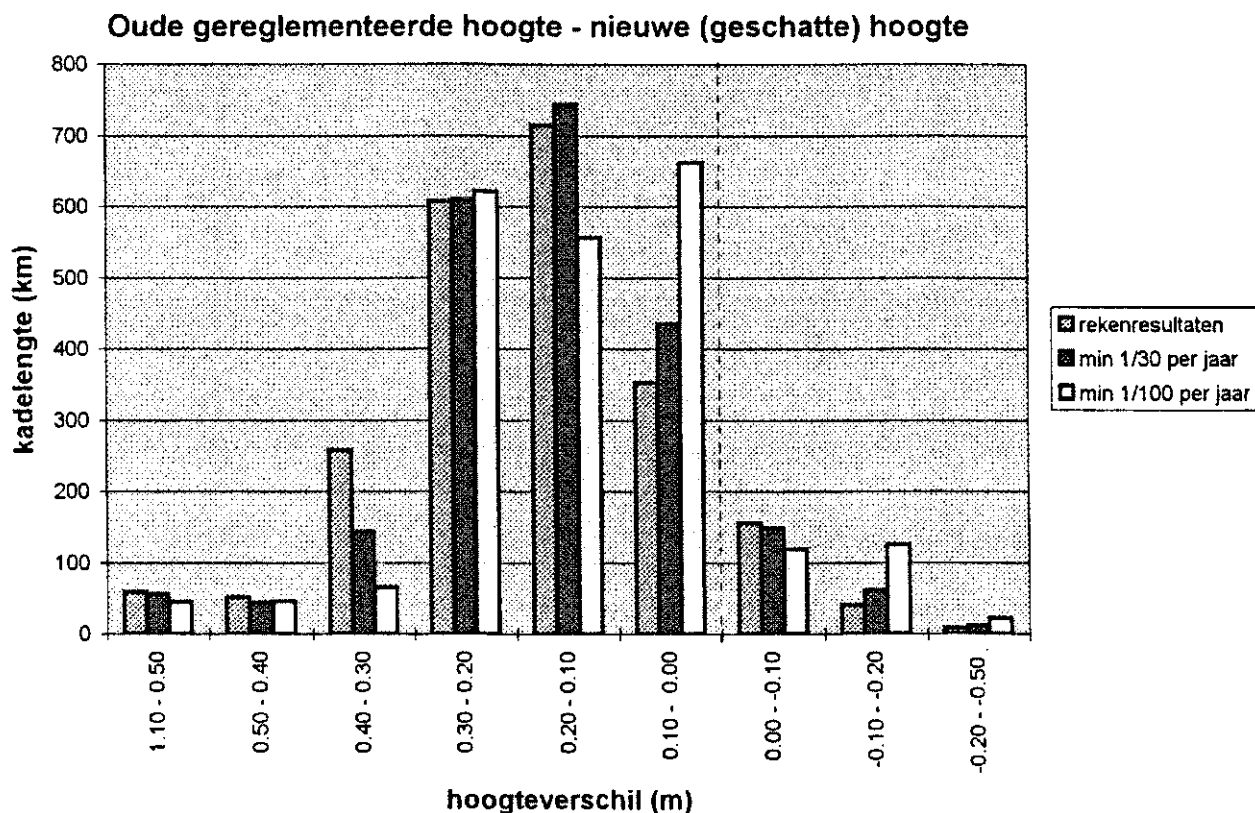
Uit de indicatieve vergelijking met de oude normen (zie bijlage IV, kolom 6) blijkt dat de geschatte hoogte van 88 % van de totale kadelengte is bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar lager dan de oude gereguleerde hoogte.

Dit alternatief blijft gemiddeld genomen het dichtst bij de veiligheid die bij handhaving van de oude gereguleerde normen zou hebben gegolden (geringste trendbreuk).

Zelfs bij de indicatieve vergelijking met 10 cm extra waakhoogte blijkt nog 59 % van de geschatte kadehoogten iets lager te zijn dan de oude gereguleerde normen.

5.2 Indicatieve vergelijking

In figuur 2 worden de verschillen tussen de oude gereguleerde hoogte en de nieuwe (geschatte) hoogte van de berekening, alternatief 1 (min. 1/30 per jaar) en alternatief 2 (min. 1/100 per jaar) weergegeven. Hierin valt op dat voor alle alternatieven de meeste geschatte nieuwe kadehoogten lager zijn dan de oude normen.



Figuur 2. Kadehoogteverschil tussen de geschatte kadehoogte en de oude gereguleerde hoogte (positief is overhoogte, negatief is hoogte tekort t.o.v. de nieuwe normen).

Uit de verschilkaart bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar (kaart 7) blijken vooral de oude gereguleerde normen langs grootscheepswater en meren lager te zijn dan de schattingen van de kadehoogte bij 1/100 per jaar.

Daarnaast blijken de oude normen langs de benedenlopen van de beken wat aan de lage kant te zijn. Wel moet hierbij worden opgemerkt, dat de onzekerheid in de optredende waterstanden wat groter is langs de beken omdat daar minder lang gegevens bekend zijn en omdat er grotere waterstandsfluctuaties voorkomen.

Ook bij het Hooglandgemaal zijn de oude normen lager dan de nieuwe. Hier speelt een rol dat door opwaaiing de waterstanden in dat gebied kunnen oplopen zonder dat het noodzakelijk is het gemaal in te schakelen.

In de praktijk is het nu al zo dat veel kaden langs meren en grootscheepswater hoger dan de oude gereguleerde normen aangelegd zijn: zo zijn bij de verbreding van het Prinses Margrietkanaal de kaden op minstens +44 cm aangelegd. Ten oosten van de Dokkummer Ee zijn de oude normen te laag, maar feitelijk is hier geen probleem, omdat aan beide zijden relatief hoge oude zeedijken aanwezig zijn.

Het feit dat vooral de kaden langs grootscheepswater en meren hoger uitkomen dan de oude reglementen duidt erop, dat de keuzes die gemaakt worden bij de bepaling van de waakhoogte een grote invloed hebben op de benodigde kadehoogten. Om deze reden is bekeken wat de invloed van 10 cm extra waakhoogte betekent voor het percentage kilometers dat lager kan zijn dan de oude gereguleerde hoogte. De in de voorgaande paragrafen genoemde waarden zijn samengevat in tabel 4.

Tabel 4. Invloed van gekozen waakhoogte op percentage kilometers kade met overhoogte

	Rekenresultaten	Min 1/30 per jaar	Min 1/100 per jaar
Gekozen waakhoogte (MBP + 20 cm)	91%	90%	88%
Gek. Waakhoogte + 10 cm	75%	71%	59%

Hieruit blijkt dat de keuze voor het ene of het ander alternatief minder invloed heeft op de benodigde kadehoogte dan de keuze die er voor het schatten van de waakhoogte gemaakt is.

6 ADVIES

6.1 Voorstel kade-ringen

Aan alle kade-ringen wordt een veiligheidsklasse toegekend, zelfs als slechts enkele cellen (van 25 bij 25 m) in een kade-ring inunderen. Bij de nadere uitwerking door de waterschappen kan bepaald worden of voor deze kade-ringen (met een zeer geringe economische gevolgschade) volstaan kan worden met het vastleggen van reserveringsstroken of dat er ergens nog daadwerkelijk een kade noodzakelijk is.

6.2 Voorstel veiligheidsklassen

De geschatte kadehoogten bij een veiligheid van minimaal 1/100 per jaar (kaart 6) blijven het dichtst bij de veiligheid die bij handhaving van de oude gereguleerde normen zou hebben gegolden. De kosten van kade-onderhoud en -verbetering zullen dan ook gemiddeld niet hoger uitkomen dan wanneer de oude normen zouden worden gehanteerd.

De projectgroep adviseert dan ook een minimale veiligheid van 1/100 per jaar voor de kade-ringen in Fryslân aan te houden. Daarnaast zal voor 3 kade-ringen met een grotere gevolgschade een veiligheid van 1/300 per jaar moeten worden aangehouden.

Bij de voorbereiding van het IWBP hebben de waterschappen een schatting gemaakt van de kosten die samenhangen met verbetering van de huidige situatie naar de oude gereguleerde hoogten. Deze schatting kwam uit op een bedrag tussen de 80 en 160 miljoen gulden. Uit het feit dat naar schatting 88 % van de kaden lager kan zijn dan de oude gereguleerde hoogte kan worden afgeleid dat de kosten benodigd om de huidige kaden naar de nieuwe normen te verbeteren waarschijnlijk niet hoger, maar wel in dezelfde orde van grootte uit zullen komen.

Mogelijk kunnen kade-ringen die geheel uit natuurgebieden bestaan in een lagere klasse ingedeeld worden, waar het belang van de natuur zich hier niet tegen verzet, zeker wanneer deze als inundatiegebied zouden worden ingericht. Dit kan mogelijk een tiental gebiedjes met een totaal oppervlak van ongeveer 1.000 ha betreffen waardoor ongeveer 45 km kade op een lagere maatgevende boezemwaterstand kan worden gedimensioneerd.

Indien duidelijk is om welke gebieden het hier daadwerkelijk zal gaan, kan de kaart met veiligheidsklassen die vastgesteld zal worden, aan de nieuwe situatie aangepast worden. Het kan nodig zijn om ter bescherming van niet-natuurbelangen in deze gebieden beschermende maatregelen te treffen.

6.3 Invloed maalbeperking op kade-hoogte

Vanaf het moment waarop een maalbeperking wordt ingesteld wordt het verloop van de waterstanden sterk beïnvloed. Door het hanteren van maalbeperkingen zullen de waterstanden die met een frequentie voorkomen, die lager is dan die welke door de stuurgroep water voor de maalbeperking is vastgesteld, lager uitkomen. Dit betekent dat de veiligheid van bijv. 1/100 per jaar bij een lagere kadehoogte kan worden bereikt. De waterstanden die gebruikt zijn om de veiligheidsklassen te bepalen zijn daardoor waarschijnlijk iets aan de veilige kant. Immers, de resultaten van de methodiek zijn bepaald op grond van de frequentieverdeling die is afgeleid uit de metingen in de periode 1970-1997. In die periode heeft zich geen maalbeperking voorgedaan. Deze reeks is echter ook de basis geweest voor de schatting van

de maatgevende boezemwaterstanden bij 1/300 per jaar en 1/1000 per jaar.

6.4 Relatie met keuzes afwatering Fryslân en peilbeheer Friese boezem

De mogelijke keuzes voor de afwatering van Fryslân zoals genoemd in het advies van de stuurgroep water (bijvoorbeeld meer berging voor boezemwater of een gemaal) hebben alle invloed op de waterstanden die bij een bepaalde frequentie horen. Deze maatregelen moeten een toekomstige stijging van de waterstanden als gevolg van zeespiegelstijging, bodemdaling en klimaatverandering tegengaan.

Er valt niet te verwachten, dat de maatregelen die op de korte termijn zullen worden genomen, grote wijzigingen in de MBP's teweeg zullen brengen. Voorlopig vormt de historische verdeling van MBP's een goede basis voor de kadeverbeteringen die op korte termijn uitgevoerd moeten worden.

Een gewijzigd peilbeheer op de Friese boezem heeft invloed op de inundatiediepte en kan daardoor invloed op de indeling in de veiligheidsklassen hebben. Uit de doorrekening met een 10 cm hogere maatgevende boezemwaterstand bleek dat het hier slechts om enkele kade-ringen zal gaan die een gevolgschade hebben die dicht bij een klassegrens ligt.

6.5 Overige aanbevelingen voor vervolg

De provincie legt de globale ligging van de kade-ringen en de veiligheidsklasse met bijbehorende overschrijdingsfrequentie van de maatgevende boezemwaterstand en bijbehorende schadefactor binnentalud van het door de kade-ring omsloten gebied vast in het waterhuishoudingsplan en uiteindelijk in de verordening waterkering Noord-Nederland. Vervolgens is het de verantwoordelijkheid van de gezamenlijke waterschappen om de veiligheidsklasse op uniforme wijze te vertalen naar de technische normen (de minimale afmetingen van kaden die voldoende stabiel zijn) en deze in een legger vast te leggen.

Het verdient aanbeveling dat de waterschappen gezamenlijk op zeer korte termijn uniforme criteria voor de vertaling naar de technische normen (kade-profiel) afspreken. Hierbij zal nader aandacht besteed worden aan:

- grotere onzekerheden in de maatgevende boezemwaterstanden in Zuidoost-Fryslân;
- dimensionering van de kaden bij de stuwen in de beekdalen in Zuidoost-Fryslân;
- wijze van berekening van voldoende stabiliteit van het minimale kadeprofiel;
- nadere detaillering en uniformering van de bepaling van de waakhogte;
- de wijze waarop de technische normen in een legger vastgelegd kunnen worden;
- nadere uniformering en detaillering van de bepaling van de ligging van reserveringsstroken (bijv. in stedelijk gebied);
- aanwijzen en onder de keur brengen van reserveringsstroken zodat gesloten kade-ringen ontstaan;
- vervolgens dienen de leggers binnen een redelijke termijn opgesteld en vastgesteld te worden;
- het (provisorisch) afsluiten van kleine onderleiders opnemen in calamiteitenplan zodat inundatie van de ene kade-ring niet tot overlast in de andere kade-ring leidt.

Gebleken is dat de indeling in veiligheidsklassen vooral gevoelig is voor verandering van infrastructuur en bebouwd oppervlak in een kade-ring. Het is daarom aan te raden om bebouwing van de diepste delen van polders te voorkomen. En om als bebouwing op die locatie toch noodzakelijk is, maatregelen te nemen om de gevolgschade bij inundatie te beperken.

BEGRIPPENLIJST

(Friese) Boezem	stelsel van wateren waarop poldergemalen uitmalen, dat zorgt voor het transport van water naar lozingspunten/gemalen die uitwateren op buitenwater (Lauwers-, IJsselmeer en Waddenzee)
Boezemkade	waterkering die de scheiding tussen polder en boezem vormt
Gestuwde gebieden	gebieden waar met behulp van stuwen het waterpeil geregeld wordt, dit peil is hoger dan het boezempeil
Kade-ring	gesloten ring van kaden, reserveringsstroken of hogere gronden rond een poldergebied
Inundatie	overstroming van een polder door overlopen of doorbreken van een boezemkade
Inundatiediepte	waterdiepte boven het maaiveld na overstroming
Overschrijdingsfrequentie boezemwaterstand	(de methodiek spreek over boezempeil afgekort tot MBP) het gemiddeld aantal keren per jaar dat een bepaalde waterstand op een bepaalde plaats op de boezem voorkomt, meestal een breuk kleiner dan één zodat de optredende waterstand gemiddeld slechts één keer in een aantal jaar voorkomt.
Peilgebieden	gebieden met éénzelfde oppervlaktewaterpeil zoals vastgelegd door het waterschap
Technische norm	Minimale afmetingen van kade waarmee de afkeurgrens van een kade bepaald is. Deze worden door de waterschappen bepaald en vastgelegd in de legger.
Veiligheidsnorm	De veiligheidsklasse die hoort bij een kade-ring wordt door de provincie in het waterhuishoudingsplan en de verordening waterkering Noord-Nederland vastgelegd. Bij elke veiligheidsklasse hoort een overschrijdingsfrequentie van de maatgevende boezemwaterstand en een schadefactor binnentalud.
Vrij afwaterende gebieden	gebieden waarvan het water zonder tussenkomst van stuwen of gemalen vrij afstroomt naar de boezem

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

1. Projectplan normering boezemkaden. Provincie Fryslân (Leeuwarden, 1997)
2. Concept-richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden. Interprovinciaal Overleg (Den Haag, 1998).
3. Advies over de afwatering van Fryslân en de peilen in het veenwiedegebied. Advies stuurgroep water (Leeuwarden, 1998).
4. IWBP-thema-notitie afwatering. Gezamenlijke Friese waterschappen (Leeuwarden, 1998)
5. Provinciaal Verkeer- en Vervoersplan (ontwerp voorstel GS). Provincie Fryslân (Leeuwarden, 1998)
6. TAW-Leidraad beneden rivieren - deel 2. Technische Adviescommissie Waterkering (Delft, 1989)

BIJLAGE I Samenstelling projectgroep

Provincie Fryslân	dhr. H.S. Nieuwenhuis	(voorzitter)
Provincie Fryslân	mw. E. Reincke	(secretaris)
Wetterskip Boarn en Klif	dhr. F. Sijsma	(lid)
Wetterskip De Waadkant	dhr. J.W. Rodenburg	(lid)
Wetterskip Fryslân	dhr. A. Kuypers	(lid)
Wetterskip Lauwerswâlden	mw. R.E.L.M. van Zon	(lid, tot 1 jan. 98)
	mw. M. Wille	(lid, vanaf 1 mrt. 98)
Wetterskip Marne-Middelsee	dhr. W. Sikma	(lid)
Waterschap Sevenwolden	dhr. T. Osinga	(lid)
Provincie Fryslân	dhr. C.P. de Wit	(GIS-expert)

BIJLAGE II Gebruikte digitale bestanden

Peilenkaart

Op de digitale peilenkaart staan gebieden met peilen die in de peilbesluiten van de waterschappen in Fryslân zijn vastgelegd (na goedkeuring door de provincie). Op het moment dat de berekeningen uitgevoerd werden was de peilenkaart bijgewerkt tot medio 1995.

Hoogtekaart

De digitale hoogtekaart (tophoogte Meetkundige Dienst) is opgebouwd met gegevens van ca. 1950-1980. Vanwege de veroudering is de kaart in de veenweidegebieden gecorrigeerd voor bodemdaling die sinds de hoogtemeting heeft plaats gehad. Daarnaast waren van stedelijk gebied vaak geen gegevens bekend. De hoogtes van putdeksels van rioleringen zijn gebruikt om de hoogte gegevens in stedelijk gebied aan te vullen en ook de hoogtekaart te actualiseren daar waar nieuwe woonwijken gebouwd zijn.

Waterstandsgegevens bij 1/10, 1/30 en 1/100 per jaar

Al geruime tijd worden de waterstanden op 37 punten op de Friese boezem geregistreerd. De waterstanden vanaf 1970 zijn gebruikt voor de bepaling van de frequentieverdeling van de waterstanden.

CBS-bodemgebruik

De CBS-bodemgebruikkaart is van 1993. De methodiek geeft aan hoe een aantal CBS-categorieën ingedeeld moet worden in de klassen grasland, akkerbouw, glastuinbouw en stedelijk gebied. De overige CBS-categorieën zijn ook in deze klassen ingedeeld. Deze indeling staat aangegeven in bijlage III, Tabel 1. In de CBS-gegevens wordt alleen overig agrarisch gebruik onderscheiden waarin geen onderscheid bestaat tussen veeteelt en akkerbouw. Om dit onderscheid te maken is het LGN3-bodemgebruik gebruikt.

LGN3-bodemgebruik

Het LGN3-satellietbestand uit 1995 is gebruikt om het onderscheid tussen de klassen grasland en akkerbouw te maken. Daarnaast zijn de voorkomende categorieën bodemgebruik volledig verdeeld over de bodemgebruiksklassen uit de methodiek omdat op die manier ook de categorie overige gronden uit het CBS ingevuld kan worden met gegevens uit het LGN3-bestand.

BIJLAGE III Indeling bodemgebruikscategorieën in de vier bodemgebruiksklassen.

Tabel III.1. Indeling van CBS-bodemgebruik (1993).

CBS-bodemgebruikscategorieën	categorie gewogen polderoppervlak				
	gras	akkerbouw	glastuinbouw	stedelijk gebied	geen
1 spoor-, tram- en metrowegen				X	
2 verharde wegen				X	
3 on- en halfverharde wegen		X			
4 spaarbekkens			X		
5 overig water breder dan 6 m					X
6 begraafplaatsen				X	
7 sportterreinen		X			
8 vliegvelden				X	
9 volkstuinten		X			
10 stortplaatsen				X	
11 wrakkenopslagplaatsen				X	
12 delfstoffenwinning				X	
13 parken en plantsoenen		X			
14 verblijfsrecreatie				X	
15 dagrecreatieve objecten/terreinen				X	
16 sociaal-culturele voorzieningen				X	
17 overige openbare voorzieningen				X	
18 bedrijfsterreinen				X	
19 water met recreatieve hoofdfunctie					X
20 dienstverlenende sector				X	
21 woongebied				X	
23 bouwterrein voor bedrijfsterreinen				X	
24 bouwterrein overige bestemmingen				X	
25 bos		X			
27 glastuinbouw			X		
28 overig agrarisch gebruik	witte vlek: in te vullen met LGN3-bestand				
29 droog natuurlijk terrein					X
30 nat natuurlijk terrein					X
31 overige gronden	witte vlek: in te vullen met LGN3-bestand				

Tabel III.2. Indeling van LGN3-bodemgebruik (ter invulling van de witte vlekken uit het CBS-bestand)

LGN3-categorieën	categorie gewogen polderoppervlak				
	gras	akkerbouw	glastuinbouw	stedelijk gebied	geen
1 gras	X				
2 mais	X				
3 aardappelen		X			
4 bieten		X			
5 graan		X			
6 overige landbouwgewassen		X			
8 glastuinbouw			X		
9 boomgaard		X			
10 bollen		X			
11 loofbos		X			
12 naaldbos		X			
13 droge heide					X
14 overig open begroeid natuurgebied					X
15 kale grond in natuurgebied					X
16 zoet water					X
17 zout water					X
18 stedelijk bebouwd gebied				X	
19 bebouwing in buitengebied				X	
20 loofbos in bebouwd gebied		X			
21 naaldbos in bebouwd gebied		X			
22 bos met dichte bebouwing				X	
23 gras in bebouwd gebied		X			
24 kale grond in bebouwd buitengebied				X	
25 hoofdwegen en spoorwegen				X	

BIJLAGE IV Hoogteverschil tussen oude gereguleerde en nieuwe geschatte kadehoogten

Kadehoogte verschil (m)	Rekenresultaten		Min 1/30 per jaar		Min 1/100 per jaar	
	Kadelengte (km)	Cumulatief percentage	Kadelengte (km)	Cumulatief percentage	Kadelengte (km)	Cumulatief percentage
1,10 - 1,00	1,4	0,1	1,4	0,1	1,4	0,1
1,00 - 0,90	2,2	0,2	2,2	0,2	2,2	0,2
0,90 - 0,80	1,1	0,2	1,1	0,2	1,1	0,2
0,80 - 0,70	12,4	0,8	12,4	0,8	12,1	0,7
0,70 - 0,60	1,7	0,8	0,2	0,8	0,5	0,8
0,60 - 0,50	40,4	2,6	38,9	2,5	27,5	2,0
0,50 - 0,40	51,7	4,9	44,1	4,5	46,0	4,0
0,40 - 0,30	257,9	16,4	143,4	10,8	65,3	6,9
0,30 - 0,20	607,1	43,4	609,9	37,8	620,8	34,4
0,20 - 0,10	714,0	75,2	743,4	70,8	555,6	58,9
0,10 - 0,00	352,0	90,9	435,0	90,1	662,1	88,2
0,00 --0,10	156,2	97,8	149,6	96,7	118,6	93,5
-0,10 --0,20	40,9	99,6	62,2	99,0	125,3	99,0
-0,20 --0,30	8,2	100	8,5	99,9	12,0	99,5
-0,30 --0,40	0	-	3,3	100	8,9	99,9
-0,40 --0,50	0	-	0	-	1,5	100

positief is overhoogte
negatief is hoogte tekort

Kaderingen met oude gereguleerde kadehoogten

op basis van meetgegevens

Cluster Beleidsinformatie & Cartografie
Provincie Fryslân
verwerkt met GIS



Kaart 1

Lijnen waar zich een kerende hoogte bevindt tegen overstroming vanuit de boezem:

- kade +24/25 cm t.o.v. NAP
- kade +44 cm t.o.v. NAP
- kade +64 cm t.o.v. NAP
- kade overige hoogte
- reserveringsstrook

Lijnen om kaderingen sluitend te maken:

- arbitraire grens
- primaire waterkering
- compartimentering

■ stedelijk gebied buiten kadering

- onderleider die tot samenvoeging van kaderingen geleid heeft



Maatgevende boezemwaterstanden bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar

op basis van meetgegevens over de periode 1970-1997

Cluster Beleidsinformatie & Cartografie

Provincie Fryslân

verwerkt met GIS



Kaart 2

Waterstand in m t.o.v. NAP:

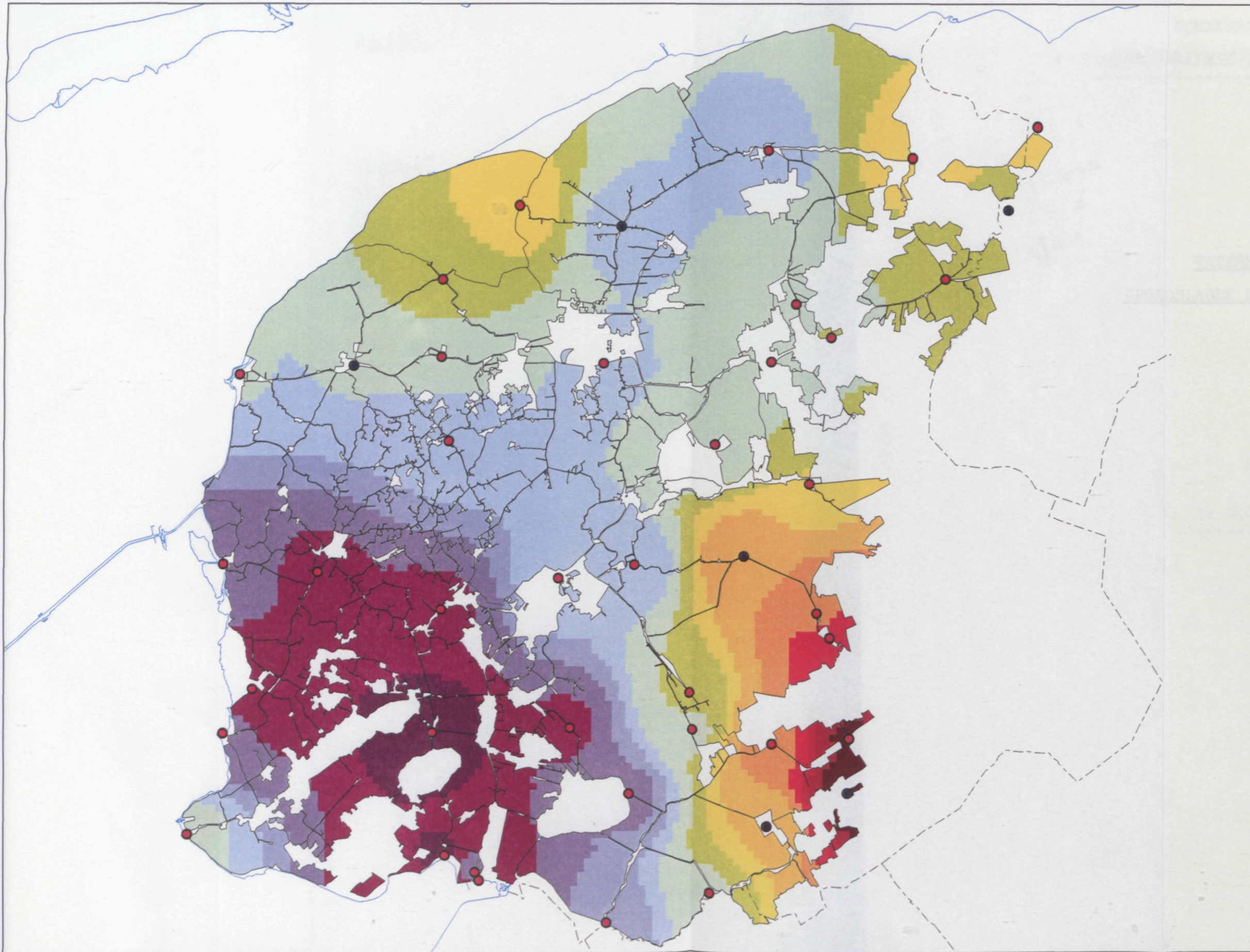


● meetstation

● hulppunt

bron: Wetterskip Fryslân

0 5 10 km



Inundatiediepte op basis van de berekende veiligheidsklassen

inclusief waterstandsaling als gevolg van inundatie

Cluster Beleidsinformatie & Cartografie

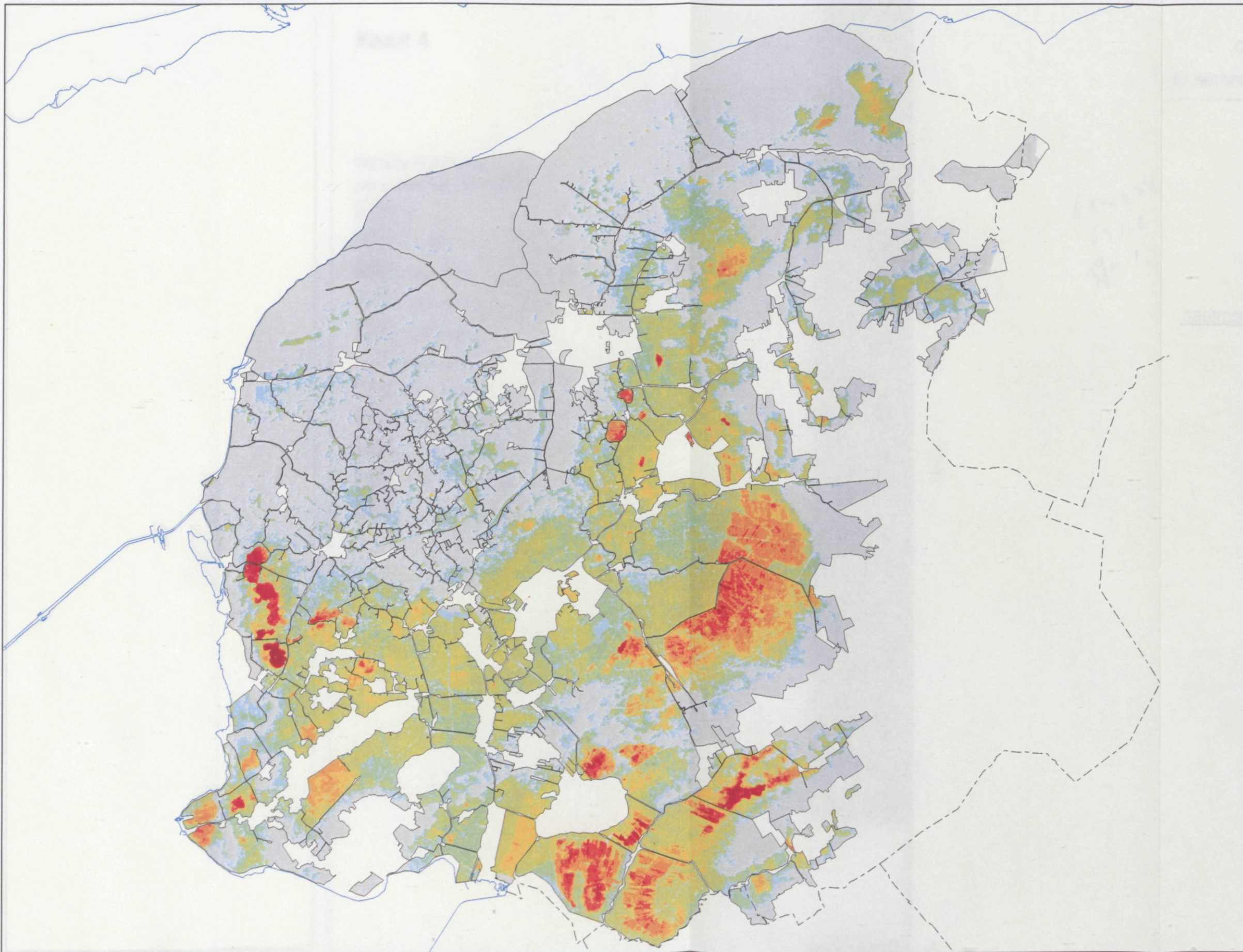
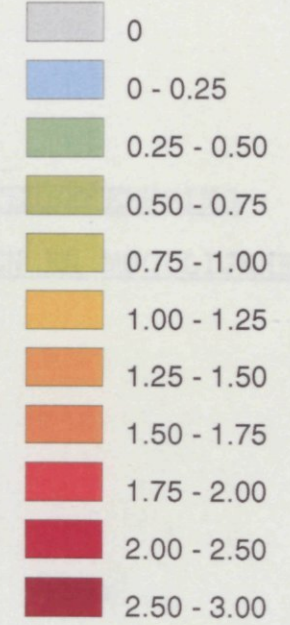
Provincie Fryslân

verwerkt met GIS



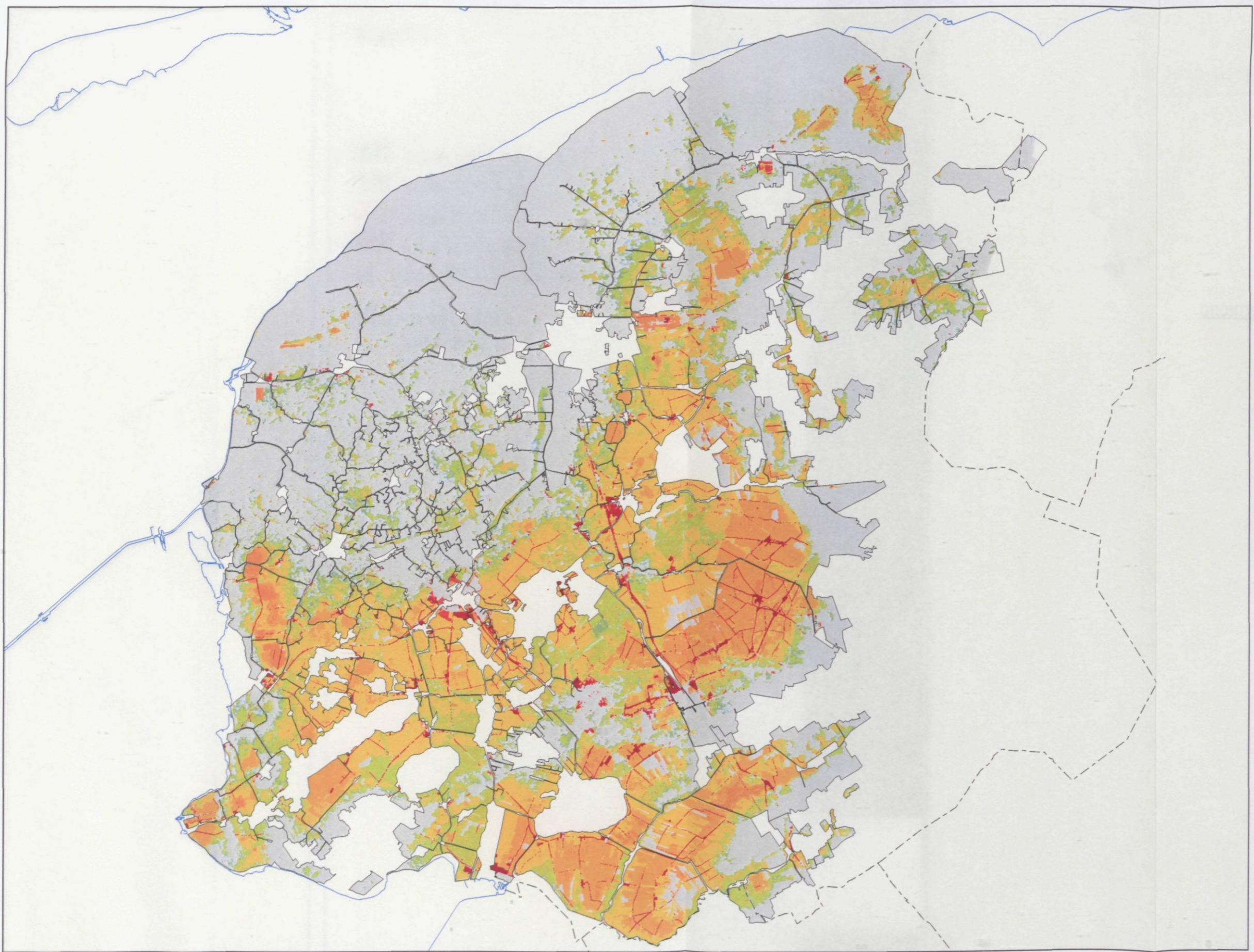
Kaart 3

Diepte in m:














Genormeerde gevolgschade op basis van de berekende veiligheidsklassen

Cluster Beleidsinformatie & Cartografie
Provincie Fryslân
verwerkt met GIS



Kaart 4

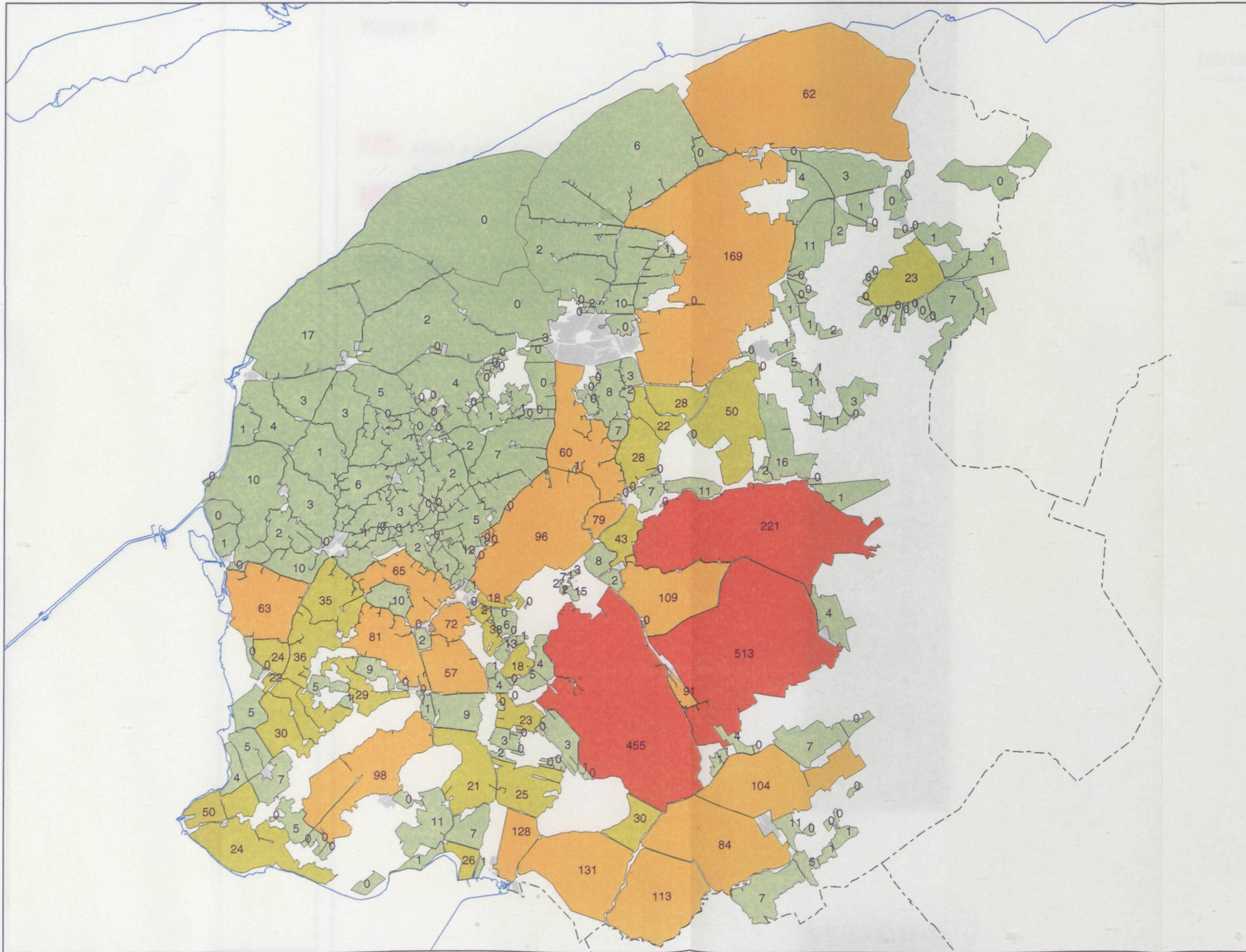
Schade in guldens,
per gridcel van 25 x 25 m:

-  0
-  0 - 160
-  160 - 310
-  310 - 470
-  470 - 630
-  630 - 940
-  940 - 1.250
-  1.250 - 6.250
-  6.250 - 31.250
-  31.250 - 62.500
-  62.500 - 125.000

Berekende veiligheidsklassen en genormeerde gevolgschade



Kaart 5




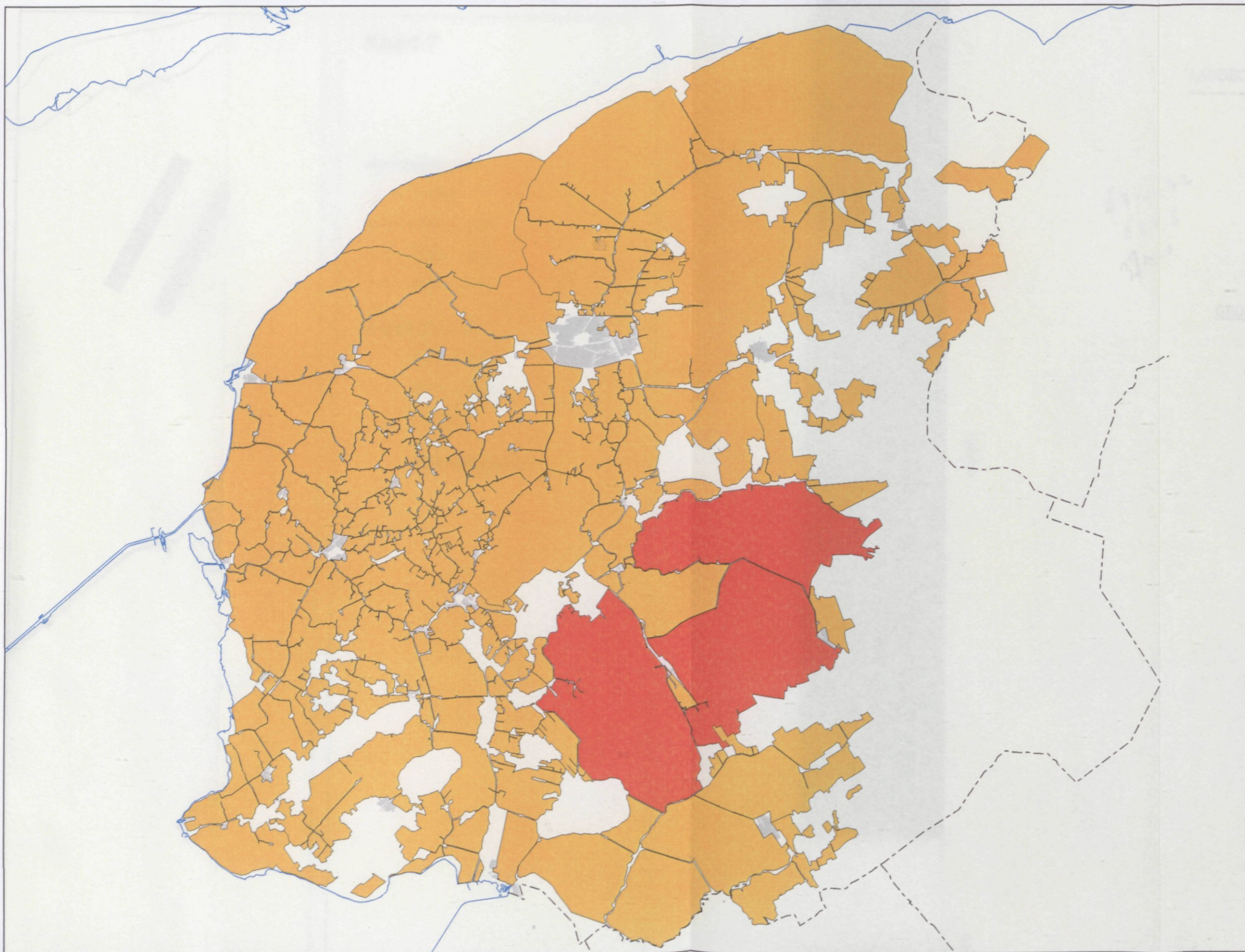
-  klasse 1 (<17.5 milj. gld.)
-  klasse 2 (17.5 - 55)
-  klasse 3 (55 - 175)
-  klasse 4 (175 - 550)
- 169 schade in miljoenen guldens
-  stedelijk gebied buiten kadering

Advies veiligheidsklassen (minimale veiligheid 1/100 per jaar)



Kaart 6

-  klasse 3 (overschrijdingsfrequentie 1/100 per jaar)
-  klasse 4 (overschrijdingsfrequentie 1/300 per jaar)
-  stedelijk gebied buiten kadering



Oude gereguleerde kadehoogten minus nieuwe geschatte kadehoogten

bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar

Cluster Beleidsinformatie & Cartografie

Provincie Fryslân

verwerkt met GIS



Kaart 7

overhoogte in m:

— > 0.50

— 0.50 - 0.20

— 0.20 - 0.10

— 0.10 - 0.00

hoogtetekort in m:

— 0.00 - -0.10

— -0.10 - -0.20

— < -0.20

— reserveringsstrook

