

Review Risk Assessment Zoutcavernes Nobian

2021 Update



Review Risk Assessment – Zoutcavernes Nobian

2021 Update

Auteur(s)

5.1.2.e

Review Risk Assessment Zoutcavernes Nobian

2021 Update

Opdrachtgever	Nobian - Industrial Chemicals
Contactpersoon	5.1.2.e
Referenties	Referenties
Trefwoorden	Bodemdaling, zoutwinning, caverne, mitigatie, AkzoNobel, Nobian

Documentgegevens

Versie	2.0
Datum	10-12-2021
Projectnummer	11207720-000
Document ID	11207720-000-GEO-0002
Pagina's	37
Classificatie	
Status	Definitief.

Auteur(s)

	5.1.2.e	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
2.0	5.1.2.e	5.1.2.e	5.1.2.e	
	5.1.2.e	5.1.2.e	5.1.2.e	

Samenvatting

Deze rapportage is een update van onze review [9] uit 2017 waarin de in het najaar van 2021 geactualiseerde contouren van bodemdaling en horizontale rek van de cavernes 207, 347 en 399 zijn meegenomen. Voor deze geüpdate contouren is het gecombineerde effect van de bodemdaling en horizontale rek bepaald op de objecten in de omgeving en is geconcludeerd dat al deze cavernes in de laagste severity klasse (S2) vallen.

In de omgeving van Nobian te Hengelo wordt door middel van uitloging van zoutlagen in de ondergrond zout gewonnen. Boven de met pekkel gevulde holruimtes (cavernes) die daardoor ontstaan kan door instorting van de deklaag bodemdaling optreden wat tot schade aan gebouwen en infrastructuur kan leiden. Om de bodemdaling tegen te gaan wordt de slurry die overblijft na de winning van het zout door Nobian weer in de holruimtes teruggebracht. Omdat de snelheid van opvulling van de holruimtes afhankelijk is van het beschikbare volume van het vulmiddel wordt door Nobian een risicoclassificatie gehanteerd om per holruimte de prioriteit binnen de volgorde van opvullen te bepalen.

Op verzoek van Nobian is door Deltares een toetsing uitgevoerd met betrekking tot de functionaliteit van de risicobeoordelingssystematiek van bestaande zoutcavernes.

Omdat er parallellen te trekken zijn met de systematiek die door de overheid wordt gehanteerd voor overstromingsrisico wordt de systematiek die door Nobian gehanteerd hieraan getoetst. De risicobeoordelingssystematiek is een hulpmiddel bij de prioritering van de mitigerende maatregelen. Vastgesteld kan worden dat de risicobeoordelingssystematiek die door Nobian wordt gehanteerd een robuuste methode is om de mitigerende maatregelen om schade door bodemdaling boven zoutcavernes te voorkomen te prioriteren. Hierin is de systematiek van normeren, beoordelen en verbeteren vergelijkbaar met de systematiek die in Nederland voor overstromingsveiligheid wordt gehanteerd.

De oorspronkelijke, door Nobian opgestelde centrale risicoclassificatiematrix bevat een logaritmische indeling in severity. Een nadere nuancering van klassen is in 2017 aanbevolen en de toentertijd aanbevolen adviezen zijn intussen door Nobian geïmplementeerd. In de risicobeoordelingssystematiek wordt de beschikbaarheid van voldoende vulmiddel bij gelijktijdig optreden van instorting voordat stabilisatie heeft plaatsgevonden niet meegenomen. Aangeraden wordt om voor dit geval een afzonderlijk mitigatieplan uit te werken. Aangeraden wordt om de cavernes ingedeeld in de laagste severity klasse (S1) voor zover mogelijk de kans te behouden om te blijven monitoren om indien nodig de indeling van een caverne in deze klasse te kunnen bevestigen.

De prioritering van de opvulling van de cavernes wordt door Nobian bepaald met de indeling van de cavernes in een matrix. Deltares heeft de indeling van de cavernes in deze matrix beoordeeld door een berekening uit te voeren op de in de indeling gehanteerde schadecriteria bij alle cavernes waarbij zonder maatregelen een aanzienlijke bodemdaling of schade zou optreden aan panden en/of infrastructuur. Door de verschillende schadecategorieën te kwantificeren is voor een aantal cavernes de risicoklasse aangepast. Dit heeft in 56% van de gevallen geleid tot een bevestiging van de al gegeven classificatie. In een aantal gevallen is de classificatie bijgesteld. Dit heeft zowel tot hogere als lagere indeling geleid. Geadviseerd wordt om de prioritering van maatregelen hierop aan te passen.

Van de verschillende, in de classificatie beschouwde objecten ontbreekt op dit moment een aantal kenmerken. Indien nadere nuancering van de prioritering gewenst is, kan nader onderzoek naar deze kenmerken tot een heroverweging van de inleiding leiden binnen de nu gehanteerde klassen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding en onderzoeksvraag	6
2	Inzichten vanuit risicoafweging bij overstromingen (waterveiligheid) ten behoeve van risicobeoordeling van zoutcavernes van Nobian	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Schets van risico-aanpak bij waterveiligheid	8
2.3	Parallellen en verschillen in risicoaanpak tussen waterkeringen en zoutcavernes	12
2.3.1	Gebruik uitkomsten van risicoanalyses (risicomatrices, veiligheidsnormen)	12
2.3.2	Adaptatie en mitigatieplan (besluitvorming en prioritering verbeteringsmaatregelen)	13
2.3.3	Inzichten uit andere risicoafwegingen	14
2.3.4	Risico van gelijktijdigheid	14
2.3.5	Monitoring	14
2.3.6	Conclusies	15
3	Beoordeling indeling cavernes in severity	16
3.1	Aannames	17
3.2	Methode	18
3.2.1	Panden	18
3.2.2	Buisleidingen	21
3.2.3	Twence afdichting, aanwezigheid snelweg en hoogspanningsmasten	22
3.3	Resultaten	22
3.3.1	Cavernes met BAG panden	22
3.3.2	Indeling in klassen	23
3.4	Evaluatie van onzekerheden	26
3.5	Conclusies	27
4	Conclusies	28
4.1	Risicobeoordelingssystematiek	28
4.2	Risicoclassificatie individuele cavernes	28
5	Referenties	29
A	Beknopte Risicomatrix	30
B	Uitgebreide risicomatrix	34

1 Inleiding en onderzoeksvraag

In de omgeving van Nobian te Hengelo wordt door middel van uitloging van zoutlagen in de ondergrond zout gewonnen. Boven de met pekkel gevulde holruimtes (cavernes) die daardoor ontstaan kan door instorting van de deklaag bodemdaling optreden wat tot schade aan landerijen, gebouwen en infrastructuur kan leiden. Om de bodemdaling tegen te gaan wordt de slurry die overblijft na de winning van het zout door Nobian weer in de holruimtes teruggebracht. Omdat de snelheid van opvulling van de holruimtes afhankelijk is van het beschikbare volume van het vulmiddel wordt door Nobian een risicoclassificatie gehanteerd om per holruimte de prioriteit binnen de volgorde van opvullen te bepalen.

Onderzoeksvraag

Op verzoek van Nobian is door Deltares een toetsing uitgevoerd met betrekking tot de functionaliteit van de risicobeoordelingssystematiek van bestaande zoutcavernes. Hiertoe heeft Nobian aan Deltares de bij Nobian opgestelde risicosystematiek ter beschikking gesteld. Deze is weergegeven in Bijlagen A en B.

Aanpak

De risicobeoordelingssystematiek bestaat uit een classificatie van het risico in de vorm van een matrix, waarin de kans op schade voor de situatie waarbij geen opvulling van de cavernes zou worden uitgevoerd wordt gekoppeld aan de verwachte ernst van de schade en de termijn waarop deze zou kunnen optreden. Door de cavernes met betrekking tot deze factoren te classificeren vormt de risicomatrix een hulpmiddel om de opvulling van de cavernes te prioriteren en de volgorde van opvulling te bepalen. Omdat het optreden van de migratie van een caveerne richting het maaiveld een langzaam proces is en met monitoring tijdig kan worden gedetecteerd, zal hier geen sprake zijn van persoonlijk letsel, maar wordt het risico geformuleerd als een sommatie van economische schade.

De toetsing valt in twee delen uiteen:

1. Toetsing van de geschiktheid van de systematiek.
2. Beoordelen van de classificatie van de cavernes waarvan door Nobian is bepaald dat er instorting te verwachten is en significante bodemdaling kan worden verwacht als geen mitigerende maatregelen worden genomen.

Bij punt 1 wordt een vergelijking gemaakt met de systematiek die in Nederland wordt gehanteerd om de overstromingsveiligheid van waterkeringen te toetsen en mitigerende maatregelen te nemen.

Bij punt 2 wordt bij cavernes waarvan in eerder onderzoek door Nobian is vastgesteld dat er een kans op schade door bodemdaling bestaat een toetsing uitgevoerd van het door Nobian a priori geschatte risiconiveau. Hierbij zijn de schadecriteria door Deltares nader gekwantificeerd.

Beperking

De beschouwing van de stabiliteit van de cavernes en de kans op het vormen van een instortingskrater valt buiten de toetsing van Deltares. Nobian heeft voor iedere caverne de bodemdalingscontouren en de omgevingskenmerken (gebouwen, infrastructuur, landgebruik) aan Deltares ter beschikking gesteld. De effectiviteit van de opvulling met betrekking tot het stabiliseren van de cavernes wordt door Deltares niet onderzocht. Het risico dat er niet voldoende vulmiddel in de vorm van slurry beschikbaar is om de bodemdaling tijdig te mitigeren is door Deltares niet beschouwd.

2021 Update

Deze rapportage is een update van onze review [9] uit 2017 waarin de in het najaar van 2021 geactualiseerde contouren van bodemdaling en horizontale rek van de cavernes 207, 347 en 399 zijn meegenomen. De reden voor het maken deze update is dat Nobian haar classificatie van de cavernes 207, 347 en 399 heeft geactualiseerd door deze te verhogen van S1F2 naar S2F2. De methodiek is in 2021 gelijk gebleven aan de aanpak gebruikt in 2017, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

Hoofdstuk 2 is integraal overgenomen uit de review van 2017 [9]. De update betreft het uitbreiden van de analyse hoofdstuk 3 met cavernes 207, 347 en 399. Hoofdstuk 4 inhoudelijk gelijk aan [9]. Verder is de voorliggende update de naam AkzoNobel vervangen door Nobian.

2 Inzichten vanuit risicoafweging bij overstromingen (waterveiligheid) ten behoeve van risicobeoordeling van zoutcavernes van Nobian

2.1 Inleiding

Vraagstelling

Door Nobian is de vraag gesteld of de risicobeoordelingssystematiek die door Nobian wordt gehanteerd als hulpmiddel voor het prioriteren van de opvulling beantwoordt aan het gestelde doel.

Omdat er parallellen te trekken zijn met de systematiek die door de overheid wordt gehanteerd voor overstromingsrisico wordt de systematiek die door Nobian wordt gehanteerd hieraan getoetst. Daarbij wordt beoordeeld of de systematiek de risico's op een voldoende wijze in kaart brengt en of deze geschikt is voor een prioritering van mitigerende maatregelen. Verder wordt beoordeeld of de beschreven maatregelen voldoende zijn om de risico's te beheersen.

De risicoclassificatie vormt de basis voor de prioritering en uitvoeringsplanning van de te nemen adaptieve en mitigerende maatregelen, waaronder in de eerste plaats de opvulling van de cavernes met restmateriaal om de instorting te stoppen. De beschikbaarheid van voldoende opvulmateriaal en de snelheid van opvulling kunnen hierbij een beperkende factor vormen.

Dit hoofdstuk geeft eerst een beknopte schets op hoofdlijnen van de risico-aanpak bij overstromingen (waterveiligheid) in Nederland. Op basis daarvan wordt gekeken naar parallellen en verschillen in risico-aanpak en in opzet van adaptatie en mitigatie maatregelen. Tot slot wordt nog kort aandacht gegeven aan andere risicoafwegingen dan die bij de overstromingsrisico's in Nederland

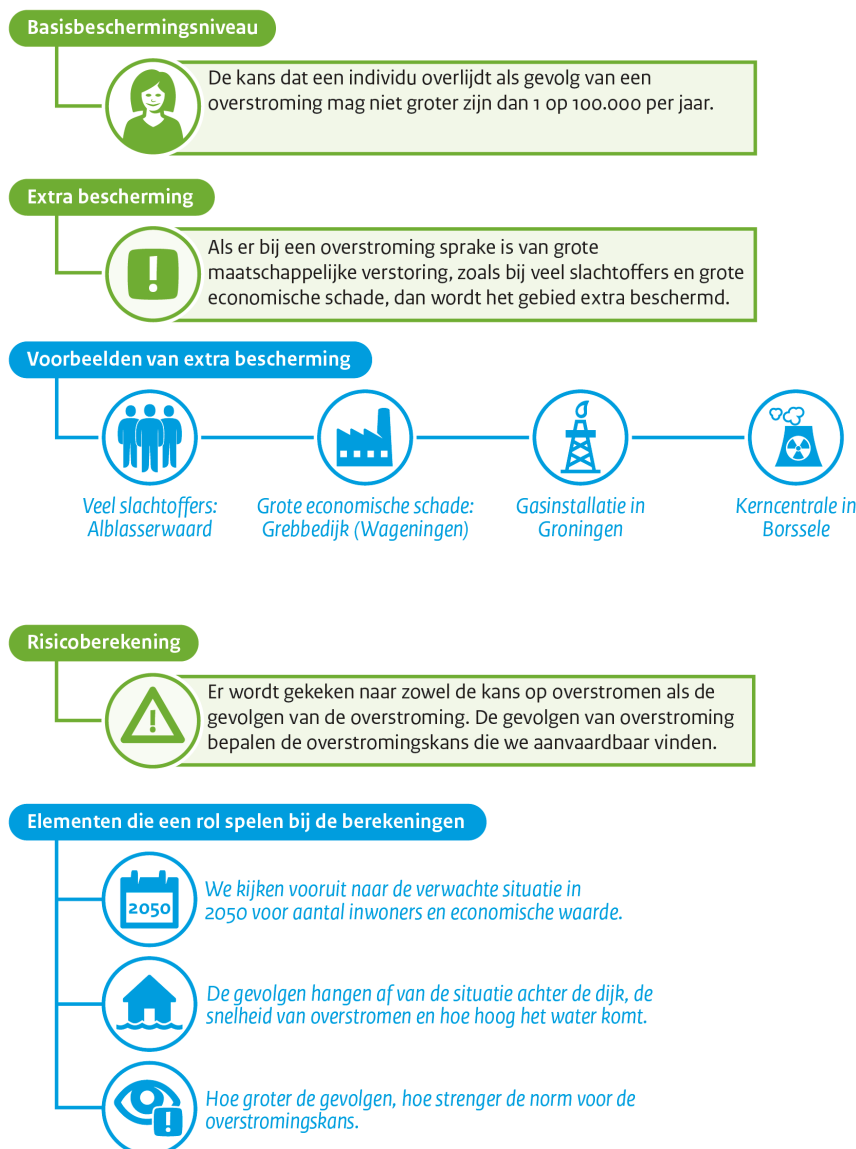
2.2 Schets van risico-aanpak bij waterveiligheid

De risico-aanpak ten aanzien van overstromingsrisico's omvat de stappen **normeren, beoordelen en verbeteren**.

Normeren van waterkeringen

De **normen** (veiligheidseisen) zijn ontwikkeld in het kader van het Deltaprogramma en zijn geformuleerd als maximaal toelaatbare overstromingskansen per dijktraject. Deze normen zijn in de tweede helft van 2016 door het parlement (met algemene stemmen) goedgekeurd en zijn per 1 januari 2017 wettelijk van kracht geworden.

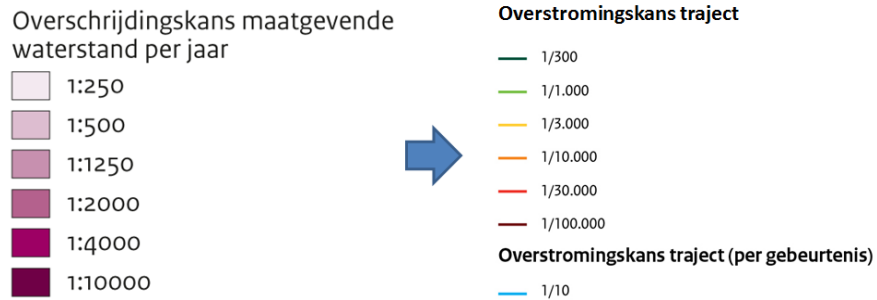
De normen gaan uit van een basisbeschermingsniveau voor elk individu achter de dijk. Daar waar de gevolgen tot grote maatschappelijke ontwrichting kunnen leiden wordt extra bescherming geboden; zie ook de afbeeldingen in Figuur 2-1 hieronder.



Figuur 2-1 Normstelling voor hoogwaterbescherming (bron: Nieuwe Normering Waterveiligheid <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>)

Het gaat om toekomstgerichte normen waaraan in 2050 moet zijn voldaan. Bij de afleiding van de normen is daarom rekening gehouden met de verwachte gevolgen in 2050. De hoogte van de norm wordt overigens niet alleen bepaald door de omvang van de gevolgen, maar ook door de benodigde investeringen om de veiligheid te vergroten. Er is een economisch optimaal beschermingsniveau vastgesteld waarbij de som van schaden en kosten minimaal is.

Bij waterveiligheid komt de risicoafweging tot uitdrukking in verschillen in veiligheidseisen tussen dijktrajecten: (Heel) scherpe normen wanneer de potentiële gevolgen (heel) groot zijn. Bij de ontwikkeling van de nieuwe normen is een overstap gemaakt naar een meer robuuste klassenindeling (zie de klassenindelingen in Figuur 2-2 met links de oude indeling en rechts de nieuwe).



Figuur2-2 Classificatie op basis van overschrijdingskansen van overstroming (bron: Nieuwe Normering Waterveiligheid <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>)

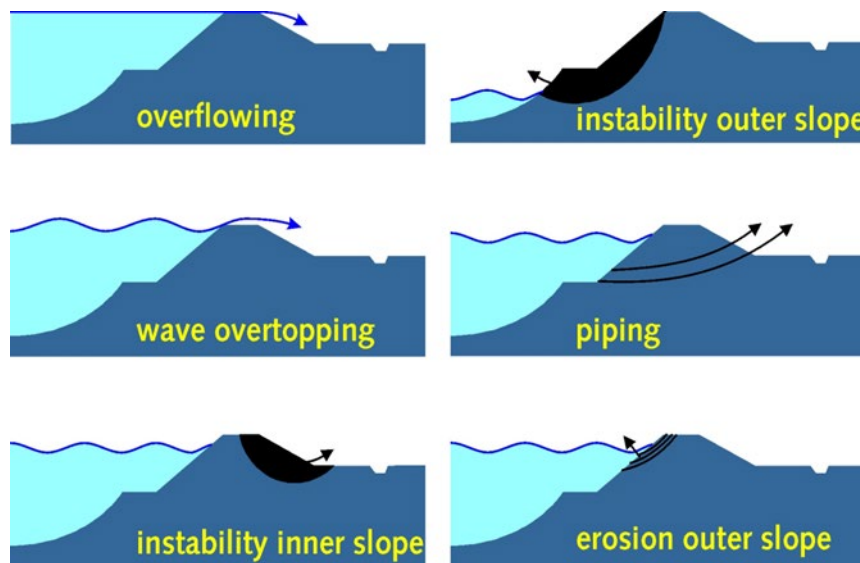
De normering heeft geleid tot een ruimtelijk gedifferentieerd beeld van eisen aan de toelaatbare overstromingskansen van dijktrajecten. De kaart in Figuur2-3 laat zien welke normen gelden voor de onderscheiden trajecten.



Figuur2-3 Signaleringswaarde per dijktraject. (bron: Nieuwe Normering Waterveiligheid <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>)

Beoordelen van waterkeringen

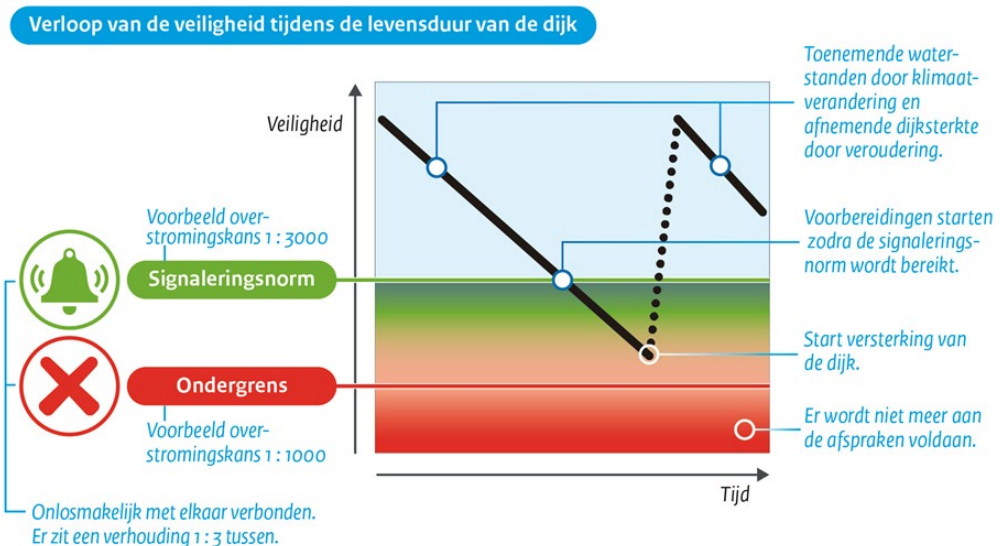
Alle dijktrajecten gaan vanaf 2017 **beoordeeld** worden met behulp van het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI). In die beoordeling wordt per dijktraject een reeks faalmechanismen (zie Figuur2-4) geanalyseerd en wordt beoordeeld of de totale faalkans voldoet aan de gestelde norm. Die beoordeling moet resulteren in een veiligheidsbeeld voor Nederland.



Figuur2-4 Faalmechanismen bij dijken. (bron: Nieuwe Normering Waterveiligheid <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>)

Verbeteren van waterkeringen

Wanneer uit de beoordeling volgt dat een bepaald dijktraject niet aan de norm voldoet, dan wordt het traject aangemeld bij het HoogwaterBeschermingsPlan (HWBP) voor (financiering van) de verbetering. Omdat de voorbereiding en uitvoering van verbeteringswerken veel tijd kan vergen, wordt gewerkt met een signaleringsnorm en een ondergrens, zie Figuur2-5. Wanneer de signaleringsnorm wordt overschreden kan het proces van verbeteren tijdig in gang worden gezet om ervoor te zorgen dat de ondergrens niet wordt overschreden.



Figuur2-5 Cyclus normeren, beoordelen en verbeteren. (bron: Nieuwe Normering Waterveiligheid <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>)

Veelal zal de waterkering hoger en/of sterker worden gemaakt om aan de norm te voldoen. Een andere optie kan zijn de belasting op de kering te verminderen door rivierverruiming.

2.3 Parallellen en verschillen in risicoaanpak tussen waterkeringen en zoutcavernes

De risicosystematiek van waterkeringen en zoutcavernes kent parallellen en verschillen, zowel ten aanzien van het presenteren van de uitkomsten van uitgevoerde risicoanalyses alsook hoe deze uitkomsten benut worden ter onderbouwing van een adaptatie- en mitigatieplan. Het grootste verschil is dat het bij de risicobeoordeling van de cavernes gaat om een risico dat na uitvoering van de mitigerende maatregelen moet zijn weggenomen. De classificatie ten behoeve van de prioritering gaat uit van de fictieve situatie dat geen maatregelen zijn genomen.

2.3.1 Gebruik uitkomsten van risicoanalyses (risicomatrices, veiligheidsnormen)

Er zijn vanuit Nobian twee risico matrices aangereikt: een centrale (Bijlage A: S1-S4; F2-F5) en een uitgebreide (Bijlage B: S1-S5; F0-F6). Beide matrices roepen vragen op.

De uitgebreide risicomatrix ziet er op hoofdlijnen consistent uit. De severity en frequency assen hebben een logische opbouw. De omschrijvingen van de onderscheiden klassen en de verschillen ertussen maken een logische indruk. Wat opvalt, is dat bij S4 en S5 een categorie 'medium risk' wordt onderscheiden; bij S1 – S3 is dat niet het geval. Daar wordt meteen van Low Alarp naar High Alarp gesprongen; daardoor komt ook de categorie 'low risk' vaker voor. Het valt op dat de S-as een logaritmische opbouw heeft, hierdoor is het verschil tussen de onderste S-klassen relatief klein en tussen de bovenste S-klassen relatief groot.

In de centrale matrix is de indeling in de gevolgen van bodemdaling S gecombineerd met de mate van bodemdaling. Nobian heeft berekend op welke termijn cavernes richting het maaiveld zouden kunnen migreren als geen maatregelen worden genomen. In plaats van frequentie wordt in de centrale matrix deze termijn in plaats van frequentie als criterium gebruikt. De centrale matrix volgt qua indeling in S-klasse de uitgebreide matrix. De opmerkingen betreffende de uitgebreide matrix (zie hierboven) zijn daarom ook van toepassing op de centrale matrix.:

- Aan de impact kant is de classificatie ook logaritmisch: twee klassen met nauwelijks of geen schade, een klasse met enige schade aan één van de onderscheiden categorieën en een klasse met ernstige schade aan meerdere categorieën. De grote sprong in impact tussen S3, S4 en S5 zou pleiten voor een nadere onderverdeling van klasse S4 (bijv. een deel in een nieuwe klasse S5?). Aan de andere kant zitten maar 8 (5 + 3) cavernes in deze klasse. Je kunt dan ook stellen dat de klassenindeling is afgestemd op de verdeling van de verwachte impacts. Een optie zou nog kunnen zijn om binnen S3 iets meer nuance aan te brengen; het gaat daarbij om meer dan 20 cavernes. De combinatie van S1 met F2 t/ F5 is te begrijpen als een meer of minder grote kans op niet significante bodemdaling zonder enige schade. Is het onderscheid van F2 t/m F5 dan nog relevant, wanneer de cavernes in deze klasse als inherent veilig worden beschouwd? Het is wellicht helderder om deze cavernes buiten de matrix te houden of niet onder te verdelen.
- De klassenindeling van de frequency wordt uitgedrukt in de condities van het cavernedak (meer of minder zout/anhidriet) en daardoor bepaalde termijn waarop bodemdaling zich voordoet. Er wordt gesproken over 'bodemdaling mogelijk', de mate van bodemdaling is blijkbaar niet relevant (of betekent bodemdaling hetzelfde als instortingsgevaar?). En er worden verschillende termijnen genoemd. De uitgebreide risicomatrix onderscheidt verschillende frequenties van 1/10 jaar tot 1/1.000.000 jaar. Dat maakt de risicomatrix voor derden een stuk inzichtelijker. Nu geldt dat bodemdaling een geleidelijk proces is, waardoor het handig kan zijn te werken met termijnen waarop zich verschijnselen kunnen

voordoen. De classificatie zou ook al aan duidelijkheid winnen wanneer de relatie tussen de conditie van het cavernedak en de termijn van bodemdaling explicieter wordt uitgelegd. Ook is te overwegen om niet eenvoudigweg te spreken over bodemdaling, maar over 'ernstige bodemdaling' of een andere kwalificatie die duidelijk maakt dat het systeem dan eigenlijk faalt. Dan wordt een klasse: ernstige (of significante) bodemdaling mogelijk op middellange termijn. Het ontbreken van de termijn 0-5 jaar ontbreekt en dient volledigheidshalve te worden toegelicht.

In geval van waterveiligheid is de risico-informatie geïntegreerd binnen de werkwijze van het afleiden van normen. Verschillende vormen van economische schade worden gecombineerd/ gesommeerd; dat kan omdat alle economische schade in geld wordt uitgedrukt. Het schaderisico wordt gecombineerd met informatie over de kosten van het vergroten van de veiligheid en resulteert in een economisch optimaal beschermingsniveau.

2.3.2 Adaptatie en mitigatieplan (besluitvorming en prioritering verbeteringsmaatregelen)

Elementen in een 'adaptatie- / mitigatieplan'

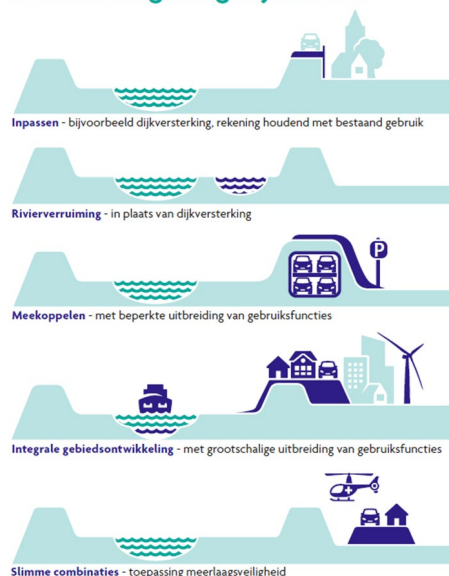
De risicoanalyse moet onderbouwing geven aan de opstelling van een adaptatie/mitigatie plan.

Bij waterveiligheid zijn normen vastgesteld waaraan in 2050 moet zijn voldaan. Het gaat om vele km's waterkering die niet in een paar jaar tijd kunnen worden verbeterd. Normen geven ook een stip op de horizon en vormen een richtsnoer voor de aanpassing van het waterkeringsysteem in komende jaren/decennia.

Volgorde van verbetering zal doorgaans bepaald worden door de mate van risicoreductie. HWBP is hierin de leidende partij. Andere overwegingen: verdeling over het land, timing van beschikbaar komen van beoordelingen e.d. kunnen ook een rol spelen bij de volgorde van uitvoering.

Verbeteren wordt waar mogelijk gecombineerd met versterking van de kwaliteit van de leefomgeving: verbeteren van de kering ingebed in gebiedsontwikkeling (zie Figuur2-6). Hier ligt voor de zoutcavernes mogelijk een parallel bij lange termijn oplossingen zoals het verplaatsen van bovengrondse voorzieningen.

Verbeteringsmogelijkheden



Figuur2-6 Voorbeelden van het combineren van verbeteringen in de leefomgeving met mitigerende maatregelen. (bron: Nieuwe Normering Waterveiligheid <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/nieuwe-normering/>)

In het Deltaprogramma is het concept van adaptief delta management ontwikkeld voor beslissingen onder grote onzekerheid. Korte termijn beslissingen in licht van onzekere langere termijn ontwikkelingen. Een aanpak gericht op het minimaliseren van toekomstige pijn. Bij aanpak van zoutcavernes zijn ook veel onzekerheden (kennis, beschikbaarheid opvulmateriaal). Het valt te overwegen om een aanpak van adaptief management uit te werken.

2.3.3 Inzichten uit andere risicoafwegingen

Het Nederlands waterveiligheidsbeleid gaat uit van basisveiligheid. Dit is een leidend perspectief geweest bij het afleiden van de normen.

De oude waterveiligheidsnormen waren uitsluitend gebaseerd op een economische kosten-batenanalyse. Bij de nieuwe normen is er expliciet aandacht gekomen voor het slachtoffer risico, in spelend op het gegeven dat effecten op slachtoffers maatschappelijk als het belangrijkste effect wordt gezien.

In de uitgebreide matrix wordt de indeling in frequentie eveneens gekoppeld met slachtoffer risico (People). Nobian gaat ervan uit dat het bodemdalingsproces zo langzaam gaat dat er geen gevaar is op direct letsel. Wanneer bij de zoutcavernes het slachtoffer risico helemaal geen rol speelt, dan valt dit criterium buiten beeld in de centrale matrix.

2.3.4 Risico van gelijktijdigheid

Wanneer (het invloedsgebied van) zoutcavernes deels overlapt of er meerdere tegelijk dreigen in te storten kan dat aanleiding zijn de prioriteit anders te beoordelen. Maar dat zal sterk afhangen van hoe gevolgen beoordeeld worden: is drie keer één even erg als één keer drie?

Een mogelijke analogie bij waterveiligheid is het groepsrisico, dat zich richt op de kans dat bij één gebeurtenis grote aantallen slachtoffers vallen. Dat bleek in de praktijk moeilijk te modelleren en beoordelen. Wel kon worden vastgesteld welke trajecten een (heel) grote bijdrage hadden aan het nationale groepsrisico. Voor zo'n zes trajecten is dat aanleiding geweest voor een beleidsmatige aanpassing van de eisen volgend uit basisveiligheid en economische doelmatigheid. Voor die trajecten is de norm een klasse scherper geworden.

Bij waterveiligheid is de maatregel dus een aanscherping van de eisen voor een beperkt aantal trajecten die een grote bijdrage leveren aan het groepsrisico. Een aanscherping van eisen zou je bij zoutcavernes ook kunnen interpreteren als een hogere prioriteitsstelling, uitmondend in een extra klasse met verhoogde prioriteit. De mogelijkheid van gelijktijdigheid van het optreden van bodemdaling is in de kwantificering van de classificatie door Deltares in dit rapport meegewogen door de effecten in overlappende bodemdalingskommen te sommeren, waardoor cavernes in een hogere klasse kunnen vallen.

Het risico dat er bij gelijktijdigheid niet voldoende vulmiddel in de vorm van slurry beschikbaar is om de bodemdaling tijdig te mitigeren is door Deltares niet beschouwd. Aangeraden wordt om voor dit geval een afzonderlijk mitigatieplan uit te werken.

2.3.5 Monitoring

De gehele klasse S1 wordt nu als inherent veilig beschouwd en monitoring wordt gestopt. Zijn de onzekerheden dusdanig klein dat dit geen risico meer oplevert? Aangeraden wordt om de monitoring zo in te richten dat een eventuele aanvang van migratie continu gemonitord wordt, waar mogelijk aangevuld met nadere metingen ter plaatse van de caverne wanneer daar aanleiding toe is. Hiermee kan op elk gewenst moment de indeling van een caverne in klasse S1 opnieuw worden bevestigd.

2.3.6 Conclusies

De prioritering van mitigerende maatregelen, bestaand uit het opvullen van de cavernes met slurry, is van toepassing op cavernes waarbij zonder maatregelen een aanzienlijke bodemdaling of schade zou optreden. Vastgesteld kan worden dat de risicobeoordelingssystematiek die door Nobian wordt gehanteerd een robuuste methode is om de mitigerende maatregelen om schade door bodemdaling boven zoutcavernes te voorkomen te prioriteren. Hierin is de systematiek van normeren, beoordelen en verbeteren vergelijkbaar met de systematiek die in Nederland voor overstromingsveiligheid wordt gehanteerd.

Zowel de uitgebreide als de centrale matrix bevatten een logaritmische indeling in severity, waardoor de hogere klassen een groter interval beschrijven. Een nadere nuancering van klasse S3 wordt aanbevolen. Dit kan bijvoorbeeld door de kans op gelijktijdigheid mee te wegen of de potentiële economische schade nader in te schatten.

De klasse F5 heeft als ondergrens een termijn van 5 jaar. Het niet voorkomen van de termijn 0-5 jaar dient te worden toegelicht.

Ten behoeve van transparantie wordt aanbevolen de klasse S1 te vereenvoudigen.

Het is aan te bevelen om bij de prioritering de mogelijkheid en kosten van herinrichting van gebouwen en infrastructuur mee te wegen.

In de risicobeoordelingssystematiek wordt de beschikbaarheid van voldoende vulmiddel bij gelijktijdig optreden van instorting voordat stabilisatie heeft plaatsgevonden niet meegenomen. Aangeraden wordt om voor dit geval een afzonderlijk mitigatieplan uit te werken.

Aangeraden wordt om de monitoring zo in te richten dat eventuele migratie bij een cave in klasse S1 kan worden opgemerkt en wanneer nodig kan worden bevestigd.

3 Beoordeling indeling cavernes in severity

De prioritering van de opvulling van de cavernes wordt door Nobian bepaald met de indeling van de cavernes in de centrale matrix zie Figuur3-2 en Bijlage A. Nobian heeft de door hen gemaakte a priori classificatie ter beschikking gesteld. Tevens heeft Nobian de GIS-bestanden van de bodemdalingskommen geleverd van alle cavernes waar zonder maatregelen significante bodemdaling is te verwachten. Deltares heeft de indeling van de cavernes in deze matrix beoordeeld door een schaduwberekening uit te voeren op de in de indeling gehanteerde schadecriteria. In opdracht van Nobian zijn door GeoControl in het najaar van 2021 geactualiseerde contouren van bodemdaling en horizontale rek van de cavernes voor cavernes 207, 347 en 399 bepaald welke in de beoordeling van 2021 worden meegenomen.

Op dit moment hanteert Nobian een risico classificatie uitgedrukt in prioriteit van te nemen maatregelen in 4 categorieën. Deze vertegenwoordigen combinaties in een tweedimensionale matrix met op een as de klassen S1 tot S4 die ingedeeld zijn op basis van mate van potentiële bodemdaling en de gevolgschade als geen maatregelen worden genomen. De andere as is een indeling op basis van de verwachting op welke termijn een caveerne zou kunnen instorten. De mogelijke gevolgschade schade betreft een van de volgende object categorieën:

1. Huizen.
2. Bedrijfspannen/voorzieningen.
3. Onderafdichting van de stort van Twence (milieuschade).
4. Vitale infrastructuur (hoogspanningsnet, hoofdgasleidingen, snelweg).

S1 is de categorie met de laagste severity, waarbij vrijwel geen bodemdaling plaatsvindt en er dus ook geen schade optreedt. Severity categorie S4 is de zwaarste categorie en vindt er ernstige schade plaats aan een van bovenstaande categorieën of minimaal matige schade aan meerdere categorieën (Figuur3-1). Voor elke schade categorie wordt een ander beleid toegepast.

1. Bepalen 'severity' (ernst) van impact bij optreden daling wanneer geen maatregelen kunnen worden genomen:

Schade aan: 1) huizen, 2) bedrijfspannen/voorzieningen, 3) de onderafdichting van de stort van Twence (milieuschade) en 4) vitale infrastructuur (hoogspanningsnet, hoofdgasleidingen, snelweg)

Inherent veilig:

S1: geen significante bodemdaling (maximaal enkele centimeters), geen schade

Niet inherent veilig:

S2: wel significante bodemdaling, geen schade aan bovenstaande categorieën (wel weiland/zandweg)

S3: wel significante bodemdaling, wel schade aan één van bovenstaande categorieën

S4: wel significante bodemdaling, ernstige schade aan meerdere bovenstaande categorieën

2. Bepalen 'frequency' (tijdsperiode) waarbinnen de bodemdaling te verwachten is wanneer geen maatregelen kunnen worden genomen.

Stabiel:

F2: Cavernedak >5 meter zout, migratie niet te verwachten

Potentieel instabiel:

F3: Cavernedak 0-5 meter zout: bodemdaling mogelijk op lange termijn (100-1000 jaar)

F4: Cavernedak >5 meter anhydriet: bodemdaling mogelijk op middellange termijn (40-100 jaar)

F5: Cavernedak <5 meter anhydriet: bodemdaling mogelijk op relatief korte termijn (5-40 jaar)

Figuur3-1 Criteria waarop de huidige caveerne-indeling is gebaseerd. (bron: Nobian)

S4	0	118, 138, 140	81, 90, 130, 132, 136	0
S3	156, 209, 211, 213, 239, 242, 245	80, 84, 120, 124, 126, 134, 159, 184, 201, 204	51, 57, 60, 67, 86, 110, 114, 128, 144, 162, 173	55
S2	207*, 218, 228, 248, 253, 347*, 399*	151, 176, 187, 194, 215, 223, 225, 234, 259	116, 190	0
S1	63, 66, 88, 92, 93, 96, 142, 146, 170, 182, 196, 198, 220, 231, 237, 251, 256, Z1	77, 98, 100, 102, 112, 122, 148, 178, 180	52, 72, 73, 78, 94, 104, 108, 149, 153, 165, 192	0
	F2	F3	F4	F5

*Figuur3-2 De door Nobian (AkzoNobel) a priori bepaalde indeling van de cavernes (genummerd) op basis van criteria in Figuur 3.1. S1-cavernes zijn inherent veilig en kunnen bij volledige migratie geen trog of sinkhole veroorzaken. De rode nummers zijn inherent veilig geworden als gevolg van afdoende opvulling. Caverne 55 is in groen aangegeven omdat deze recent is gevuld en dat dit nog de classificatie zonder opvulling betreft. Nummers met een * (207, 347 en 399) zijn op basis van sonarmetingen uit 2021 in deze categorie terecht gekomen.*

3.1 Aannames

Voor de schaduwberekening van de risicocategorie zijn door Deltares een aantal aannames gedaan. Het betreft situaties waarbij momenteel geen informatie bekend is om een onderverdeling op te baseren. Daarbij is steeds voor een situatie gekozen die tot een conservatieve uitkomst (lees: hogere risicoklasse) leidt:

- De klasse S1 (geen significante schade) is niet beschouwd.
- Bij de schaduwberekening is de termijn waarop op migratie/instorting van het cavernedak plaats zou kunnen vinden (F2-F5) niet heroverwogen.
- De door Nobian bepaalde bodemdalingscontouren zijn als gegeven aangenomen. Het betreft de mogelijk optredende bodemdaling als geen mitigerende maatregelen zouden worden genomen ("worst case" aanname). De in dat geval potentieel optredende schade is beschouwd.
 - Het is onbekend wat de verwachte tijd is voor het optreden van de daling en of deze bij overlappende contouren ook simultaan kan optreden. Indien tijdens het monitoren blijkt dat dit het geval is, dient de prioritering van maatregelen te worden heroverwogen. Wanneer overlappende contouren behoren bij met elkaar verbonden cavernes zijn de effecten gesommeerd.
 - De hoekverdraaiing contouren zijn met de Topo to raster ArcGis tool geïnterpoleerd. Deze tool gaat uit van een continu systeem. Er is geen rekening gehouden met lokale afschuiving.
- Er is geen onderscheid gemaakt tussen woningen en bedrijfspanden omdat dit niet te herleiden valt uit de BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) gegevens. Dit heeft echter geen invloed op de klasseindeling omdat schade aan metselwerk in beide gevallen gelijk mag worden gesteld.
- Er zijn geen gegevens bekend over kritieke waarden onder afdichting van Twence (milieuschade), hoogspanningsmasten en de snelweg. Deze zijn conservatief meegenomen. Indien deze binnen de bodemdalingscontouren vallen zijn ze gemarkeerd als schade.

- Deltares heeft aangenomen dat de gebouwen bestaan uit twee gelijke sectoren voor de verschilzakking. Lange wanden kunnen gedilateerd zijn en uit meerdere delen bestaan, maar daar zou een visuele inspectie uitsluitend kunnen geven (dit wordt voor het prioriteringsdoel niet nodig geacht).

3.2 Methode

De schaduwberekening van de classificatie is uitgevoerd door het potentiële optreden van schade aan de object categorieën te sommeren. Huizen en bedrijfspanden zijn daarbij samengenomen in een categorie Panden.

Per caverne is met de door Nobian bepaalde contouren van bodemdaling en horizontale rek bekeken of een object categorie binnen de contouren aanwezig is. In dat geval wordt de waarde 1 toegekend.

Bij de panden is de schade daartoe nog verder onderverdeeld in schadeklassen. Wanneer panden ernstige tot zeer ernstige schade oplopen is de waarde 1 toegekend, bij zeer lichte tot matige schade de waarde 0.5.

Na sommatie is bepaald in welke klasse S2-S4 de caverne moet worden geplaatst, volgens onderstaande criteria:

S2 - geen schade (Behalve weiland/zandweg).

S3- schade in 1 categorie.

S4- schade in 2 of meer categorieën of ernstige schade aan panden.

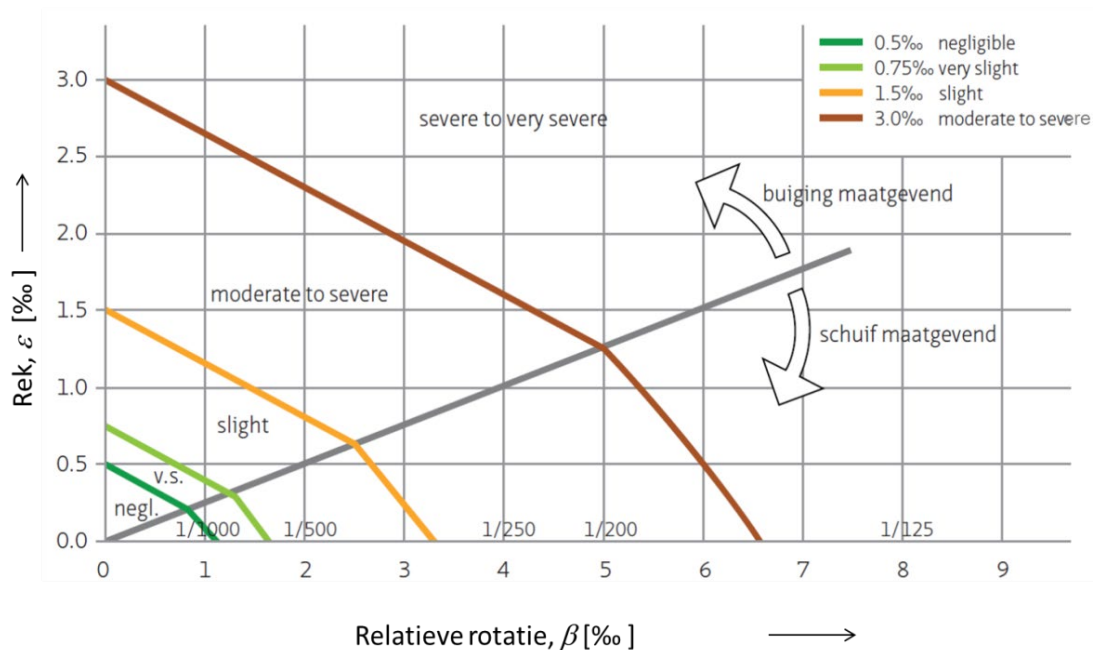
Na sommatie geldt 1,5 als 2 categorieën.

Het eindresultaat van de indeling met deze schaduwberekening is vergeleken met de a priori indeling.

De contouren van bodemdaling en horizontale rek van de cavernes zijn geïnterpoleerd op een resolutie van 1 meter. Alleen de contour van caverne nummer 190 was niet beschikbaar en daarom is gebruik gemaakt van een door Nobian geleverd *.GRD file met een resolutie van 4 meter.

3.2.1 Panden

Voor de analyse van de panden hebben we gebruik gemaakt van het Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). Deze bevat gegevens van alle adressen en gebouwen in Nederland.



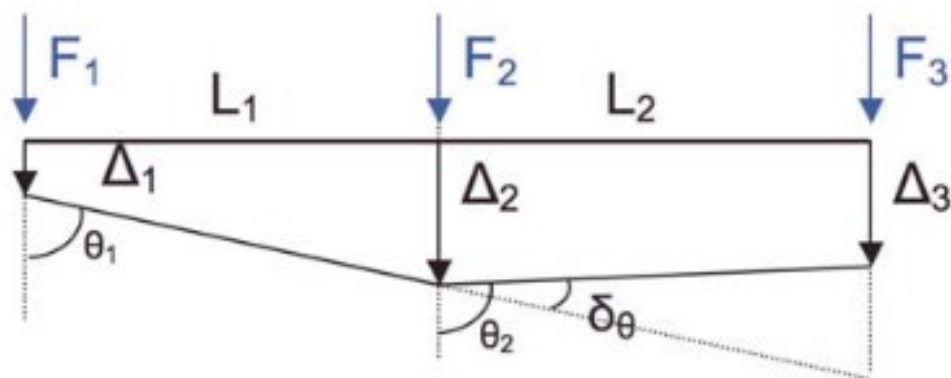
Figuur3-3 Relatieve rotatie, horizontale rek en schadebeeld naar Son & Cording (2011).

De internationaal meest toegepaste en breed geaccepteerde methode voor het berekenen van de schade op uit metselwerk bestaande gebouwen is de door Boscardin (1989) en Son (2011) beschreven methode, waarbij het schade criterium is gebaseerd op een combinatie van relatieve hoekverdraaiing en horizontale rek (Figuur3-3).

Voor de buitenwanden van elk gebouw zijn de hoekverdraaiingsverschillen en horizontale rek bepaald. Hoekverdraaiingsverschillen $\delta\theta$ zijn berekend volgens vergelijking 1.

$$\delta\theta = (-\Delta_1 + 2\Delta_2 - \Delta_3)/L \quad (\text{Vergelijking 1})$$

Waarbij $\delta\theta$ het relatieve hoekverdraaiingsverschil is, Δ_1 de bodemdaling op het ene uiteinde van de buitenwand, Δ_2 de bodemdaling, halverwege de buitenmuur en Δ_3 de bodemdaling op het andere uiteinde van de buitenmuur, zie Figuur3-4.



Figuur3-4 Een buitenmuur van een gebouw met twee secties en verschilzakking. Figuur gekopieerd uit Bijlage, 2011

Voor het bepalen van de omvang van de eventuele schade is uitgegaan van de criteria van Son (2011), zie Tabel 3.1, op basis van de hoekverdraaiingsverschillen en horizontale rek van het gebouw. Waarbij voor het verkrijgen van de horizontale rek in gebouw de horizontale rek van de bodem aan het maaiveld is vermenigvuldigd met een factor 0,06 conform referentie [3] en de hoekverdraaiingsverschillen van het gebouw zijn gelijk gesteld aan die van de bodem aan het maaiveld. Hierbij was de schadeklasse bepaald volgens Figuur3-3, waarbij een combinatie van rek en relatieve rotatie in beschouwing is genomen.

Tabel 3-1 Ease of repair tabel met bijbehorend indicatief schadebeeld (Vertaling naar BRE (1995)), hoekverdraaiingsverschillen (Son, 2001) en horizontale rek (Son, 2001).

Schade klasse	Omschrijving	Karakterisering schadebeeld	Beïnvloeding op:	Hoekverdraaiing- verschil (langs x-as Figuur 3.3)	Horizontale rek (langs y-as Figuur 3.3)
cat0	Verwaarloosbaar	Haarscheurtjes kleiner dan circa 0,1 m	Esthetica	$\delta\theta < 1/1000$	$< 0,5$
cat1	Zeer licht	Kleine scheuren, meestal beperkt tot pleisterwerk, die eenvoudig kunnen worden weggewerkt. Enige scheurvorming in metselwerk. Scheurwijdten tot 1 mm	Esthetica Gebruiks- waarde	$1/1000 < \delta\theta < 1/600$	0,5-0,75
cat2	Licht	Geringe scheurvorming, kan eenvoudig hersteld worden. Scheuren kunnen aan de buitenzijde zichtbaar zijn en kunnen tot vochtdoorslag leiden. Deuren en ramen kunnen licht klemmen. Scheurwijdte tot 5 mm.	Esthetica Gebruiks- waarde / levensduur	$1/600 < \delta\theta < 1/300$	0,75-1,5
cat3	Matig tot ernstig	Scheuren zijn zodanig, dat metselwerk dient te worden hersteld. Deuren en ramen klemmen. Mogelijke schade aan nutsaansluitingen. Vochtdoorslag mogelijk. Scheurwijdten van 5 tot 15 mm.	Gebruiks- waarde Gebruiks- waarde / levensduur	$1/300 < \delta\theta < 1/150$	1,5-3
cat4	Ernstig tot zeer ernstig	Herstel vergt vervanging van muurdelen en andere constructieve elementen. Bruikbaarheid en toegankelijkheid ernstig aangetast. Voelbare scheefstand. Scheurwijdten van 15 tot 25 mm.	Veiligheid Gebruiks- waarde / levensduur	$1/150 < \delta\theta$	> 3

3.2.2 Buisleidingen

Door het gebied lopen meerdere typen leidingen, waaronder buisleidingen met gevaarlijke inhoud, hoogspanningskabels en gasleidingen. Alle aanwezige infra is door Nobian in de GIS-bestanden opgenomen en aangeleverd. De toelaatbare grenzen van leidingen zijn afhankelijk van:

1. Type leiding (gesegmenteerd/continue).
2. Diameter leiding (continue leidingen).
3. Lengte segmenten (gesegmenteerde leiding).
4. Materiaal (Beton, Kunststof, Staal, Gietijzer).

Van deze leidingen is wel bekend wie de beheerder is maar niet wat de specificaties (materiaal, diameter, type) zijn. Dat maakt het niet mogelijk om te bepalen of de kabels en leidingen binnen de toelaatbare grenzen van hoekverdraaiingen blijven.

De enige toets die we kunnen doen is uitsluiten of bij de caverne met de sterkste hoekverdraaiing een leiding zou falen of niet. De caverne met de steilste bodemdaling contouren is nummer 173 (Bijlage C).

De volgende scenario's zijn getoetst:

- Als een gesegmenteerde leiding 2 m of 6 m lang is, zou de maximale hoekverdraaiing overschreden worden? De maximale hoekverdraaiing is 2 graden, waarvan al 1 graad onzekerheid wordt geïntroduceerd tijdens de aanleg.
 - Voor zowel 2 m als 6 m gesegmenteerde leidingen wordt bij caverne 173 meer dan een graad relatieve hoekverdraaiing waargenomen. Daarom kan niet worden verworpen dat gesegmenteerde leidingen geen schade ondervinden. De verwachting van Deltares is dat bij gegeven contouren van caverne 173 de maximale hoekverdraaiing wordt overschreden ter plaatse van de daar liggende leiding en er schade optreedt indien zich op deze locatie een gesegmenteerde leiding bevindt. Totdat meer gegevens zijn, moet de conservatieve aanname worden gedaan dat leidingen schade ondervinden.
- Voor continue leidingen moet de kleinste bochtstraal berekend worden. Omdat de gedetailleerde informatie (diameter en materiaal) over de leidingen niet beschikbaar is hebben we twee veel gebruikte typen onderzocht.
 - De bochtstraal voor caverne 173 op basis van een 2 meter stuk buis is 183 meter. Dit is meer dan de kritieke boogstralen (Tabel 3-2), dus deze twee typen continue leidingen zouden schadeloos blijven.

Ondanks dat continue leidingen niet allemaal de limieten overschrijden, wil niet zeggen dat we dat algemeen kunnen concluderen, omdat de exacte specificaties van de leidingen niet bekend zijn. Daarom zullen de cavernes met aanwezigheid van leidingen/buizen in hun invloedssfeer aan worden gemerkt als cavernes met schade.

Tabel 3-2 Twee veel gebruikte continue buizen, met hun doorsnede en kritieke bochtstralen.

Materiaal	Veelgebruikte buis	Doorsnede (mm)	Bochtstraal limiet	Kritiek bochtstraal (m)
PE	PE315 SDR 11	315	100xD	31,5
PVC	PVC160SDR21	160	300xD	48

3.2.3 Twence afdichting, aanwezigheid snelweg en hoogspanningsmasten

De maximaal toelaatbare criteria voor de onderafdichting van Twence (vuilstort) en hoogspanningsmasten zijn niet bekend. Deze categorieën zijn conservatief ingedeeld, waarbij indien aanwezig binnen de bodemdalingskom aangenomen wordt dat er schade kan optreden.

3.3 Resultaten

3.3.1 Cavernes met BAG panden

Voor alle BAG panden is de maximale ease of repair schadeklasse bepaald (zoals beschreven in 3.2.1 en Tabel 3-1). De Son & Cording (2011) classificatie past niet naadloos op de huidige Nobian classificatie. Als parallellen worden getrokken dan komt cat0 (Verwaarloosbaar) overeen met Nobian categorie S2 (Tabel 2.1). Van schade in cat1 (zeer lichte schade) tot en met cat. 3 (matige schade) komt overeen met Nobian categorie S3, waarbij er wel schade is maar geen ernstige schade. En cat. 4 (Ernstige tot zeer ernstige schade) komt overeenkomst met S4 (Ernstige schade).

De Son & Cording (2011) classificatie is alleen op basis van de aanwezige panden, terwijl de Nobian classificatie ook al leidingen en kabels, de afdichting van Twence en de aanwezigheid van snelwegen en elektriciteitspalen in acht neemt.

In Tabel 3-2 staat een selectie van de cavernes waarin panden aanwezig zijn in de invloedssfeer. Per caverne is het aantal panden inclusief de schade categorie van Son &

Cording (2011) op basis van de relatieve hoekverdraaiingen en maximale horizontale rek (Tabel 3.1) weergegeven. In de laatste twee kolommen staat de indeling als we parallellen trekken tussen Son & Cording schade categorieën en de huidige Nobian classificatie (uitgelegd in Tabel 3-3). Deze vergelijking is niet helemaal eerlijk omdat Son & Cording (2011) alleen de panden in acht neemt en Nobian ook al leidingen en kabels, snelwegen, onderafdeling van Twence en elektriciteitspalen. Desalniettemin zijn 9 cavernes een of twee schadecategorieën omhooggeschoven op basis van de Son & Cording indeling.

Tabel 3-3 Parallellen tussen de huidige Nobian schadeclassificatie S2-S4 en de Son & Cording (2011).classificatie (Tabel 3.1)

Huidige Nobian classificatie	Son & Cording categorie (Tabel 3.1)
S2: wel significante bodemdaling, geen schade (Behalve weiland/zandweg)	Verwaarloosbaar (cat0)
S3: wel significante bodemdaling, wel schade	Zeer licht (cat1)
	Licht (cat2)
	Matig (cat3)
S4: wel significante bodemdaling, ernstige schade.	Ernstig tot zeer ernstig (cat4)

Tabel 3-4 Indeling van de cavernes in schadecriteria S2-S4 op basis van de parallellen getrokken in Tabel 3.3. Dit is een selectie van cavernes waarbij panden aanwezig zijn. Caverne 190 is conservatief op cat. 4 gezet, omdat de aangeleverde gegevens op 4m resolutie zijn

Cavernenummer*	Cat0	Cat1+2	Cat3+4	Son&Cording	Nobian
	3	3	5		
90	1	0	2		
132	1	0	2		
138	0	0	3		
114	8	2	0		
173	1	3	1		
67	0	2	1		
204	2	0	3		
215	0	0	1		
223	2	2	3		
118	6	1	0		
61+62 combi (60)	0	1	0		
81	3	0	0		
144	2	0	0		
184	1	0	0		
151	2	0	0		
190	0	0	13	Conservatief	
207 (2021 update)	1	0	0		

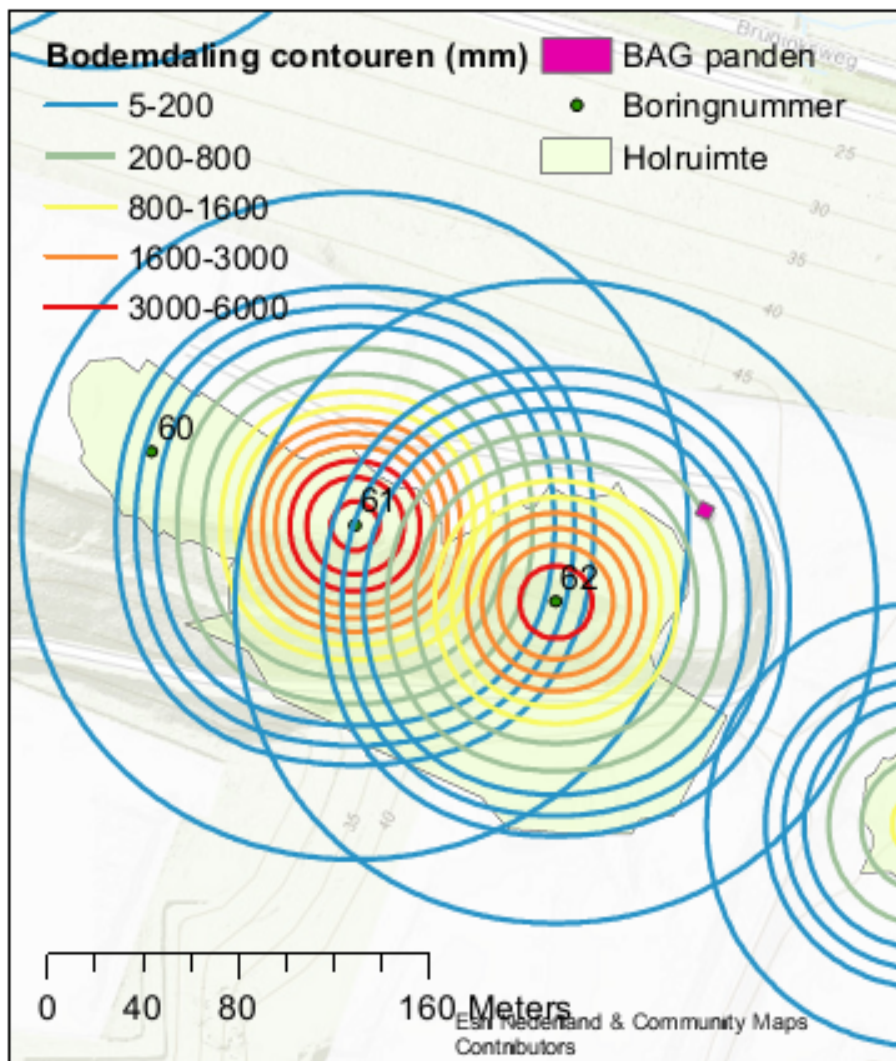
3.3.2 Indeling in klassen

Met inachtneming van de aanwezigheid van vitale infrastructuur (kabels en leidingen, snelweg, en elektriciteitspalen) en onder afdichting van de stort van Twence is het mogelijk om de cavernes opnieuw te verdelen over S2-S4, waarbij de indeling op F3-F5 gelijk is gebleven (Figuur3-6). In Figuur3-4 missen S1 (subset die voldoet aan criterium inherent

veilig) en F2 (subset die voldoet aan toetsingscriterium stabiele caverne). Caverne 190 is conservatief in een hogere categorie geplaatst omdat door de resolutie van het aangeleverde grid het niet mogelijk was om de panden goed te beoordelen. Bij cavernes 60, 61 en 62 is sprake van een gezamenlijke holte (Figuur3-5). Bij deze caverne zijn de effecten bij elkaar opgeteld. De volledige classificatie is gegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.1 Sommatie van effecten per caverne. Links de a priori indeling van Nobian

Caverne (Nobian classificatie)	DELTAES						
	Totaal Cat0	Totaal, Cat1+2+3	Totaal>Cat3	Som (Deltaes classificatie)	Panden	Twence	Vitale Infra
51	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	1	0	1	0
67	0	2	1	1	1	0	0
80	0	0	0	1	0	1	0
81	3	0	0	1	0	0	1
84	0	0	0	0	0	0	0
90	1	0	2	2	1	1	0
110	0	0	0	1	0	0	1
114	8	2	0	1.5	0.5	0	1
116	0	0	0	1	0	0	1
118	6	1	0	1.5	0.5	0	1
124	1	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0
128	0	0	0	0	0	0	0
130	3	3	5	2	1	0	1
132	1	0	2	2	1	0	1
134	0	0	0	1	0	0	1
136	0	0	0	1	0	0	1
138	0	0	3	3	1	1	1
140	0	0	0	2	0	1	1
144	2	0	0	1	0	0	1
151	2	0	0	1	0	0	1
173	1	3	1	2	1	0	1
184	1	0	0	0	0	0	0
204	2	0	3	1	1	0	0
215	0	0	1	1	1	0	0
223	2	2	3	2	1	0	1
225	0	0	0	1	0	0	1
234	0	0	0	0	0	0	0
259	0	0	0	0	0	0	0
121 (120)	0	0	0	1	0	0	1
159 (indien samen met 160 en 161, leidingen ook+1)	0	0	0	1	0	0	1
164 (162)	0	0	0	1	0	0	1
177 (176)	0	0	0	0	0	0	0
188 (187)	0	0	0	0	0	0	0
190 (GRD 4x4 m resolutie)	0	0	13	Niet te beoordelen	1	0	0
195 (194)	0	0	0	0	0	0	0
203 (201)	0	0	0	1	0	0	1
58 (57)	0	0	0	1	0	1	0
59 (57)	0	0	0	1	0	1	0
combi 58+59 (57)	0	0	0	1	0	1	0
61 (60)	0	0	0	1	0	1	0
62 (60)	0	1	0	1.5	0.5	1	0
61+62 combi (60)	0	1	0	1.5	0.5	1	0
87 (86)	0	0	0	1	0	1	0
207 (2021 update)	1	0	0	0	0	0	0
347 (2021 update)	0	0	0	0	0	0	0
399 (2021 update)	0	0	0	0	0	0	0



Figuur3-5 Bodemdalingscontouren bij cavernes 60, 61 en 62 (Bron Nobian)

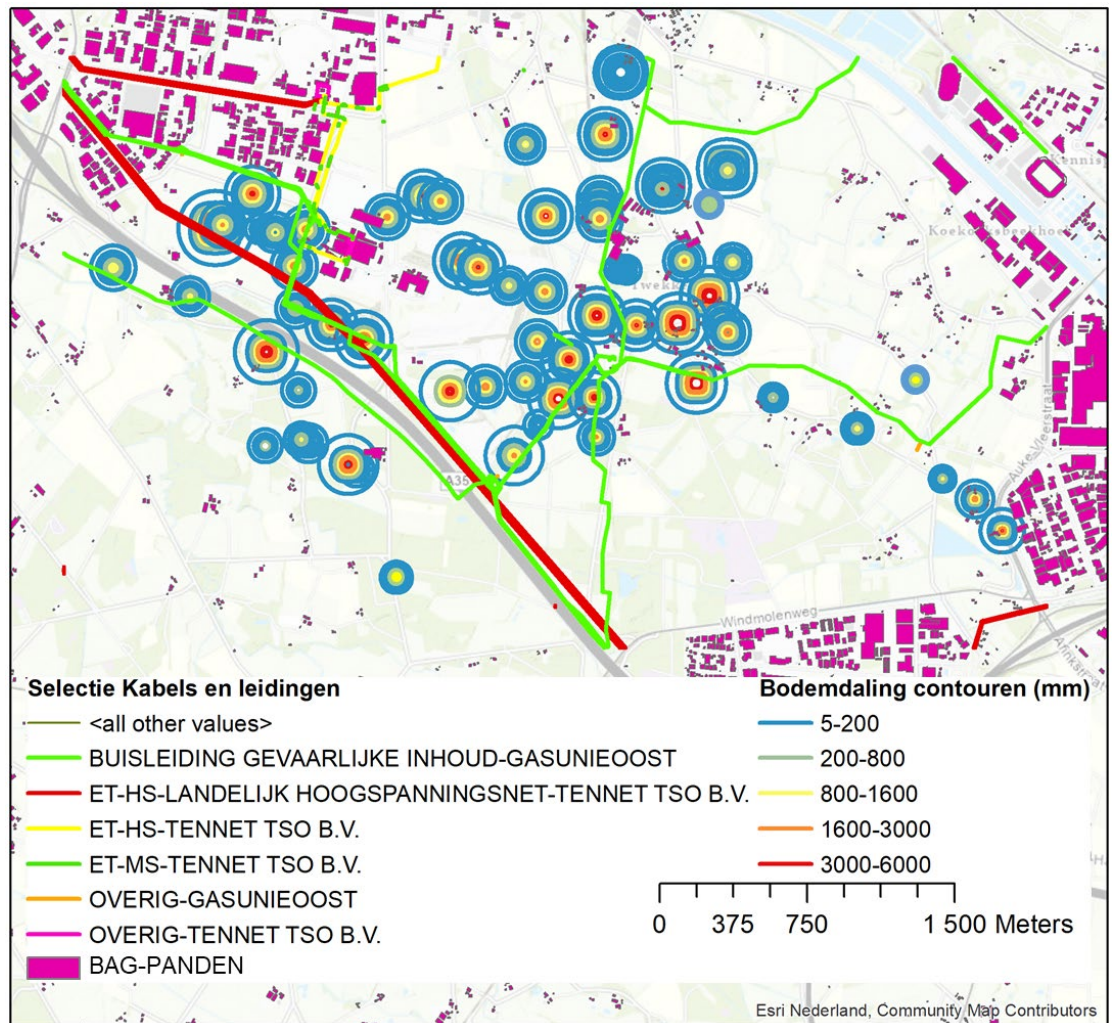
S4 (Schade in 2 categorieën of ernstige schade panden)	118, 138, 140 223, 204, 215	90,130,132, 114, 173, 67,60	0
S3 (Schade in 1 categorie)	120, 134, 201, 80, 159 225, 151	86 110,162, 57,144 136,81 116, 190	55
S2 (Geen schade*)	176, 187, 194, 234, 259 84, 124, 126, 184	51, 128	0
*wel kans op weiland/zandweg	F3	F4	F5

Figuur3-6 De nieuwe indeling van de cavernes op basis van Son & Cording voor panden en aanwezigheid van vitale infrastructuur en onderafdichting van de stort van Twence. Blauwe nummers horen bij cavernes die in een hogere categorie geplaatst zijn dan initieel. Groene nummers zijn cavernes die lager zijn geplaatst.

3.4 Evaluatie van onzekerheden

Bij de bepaling van de risicoklasse zijn enkele aannames gedaan en keuzes gemaakt. Daarbij zijn conservatieve keuzes gemaakt. Nader onderzoek kan aanleiding geven om de risicoclassificatie van de cavernes te herzien of nader te nuanceren en de prioritering van maatregelen aan te passen. Hieronder worden de verschillende variabelen opgesomd die bij het beschikbaar komen van nadere informatie tot een herziening aanleiding geven.

- Rek en bodemdalingscontouren
 - Bij de prioritering van de cavernes wordt rekening gehouden met de tijdseenheid dat de cavernes stabiel zijn (F2-F5). Met uitzondering van de cavernes die direct met elkaar in verbinding staan, gaat Nobian ervan uit dat de instorting van cavernes ongecorrleerd is in tijd. Mocht uit monitoring blijken dat cavernes gelijktijdig migreren, wordt geadviseerd de bodemdalingscontouren opnieuw te berekenen rekening houdend met deze superpositie van bodemdaling.
NB dit heeft alleen effect als deze caverne nog niet in de hoogste prioriterings-categorie zit.
- Wegen
 - Alleen snelwegen zijn meegenomen in de analyse. Regionale wegen zijn niet meegenomen
- Kabels en leidingen
 - De leidingen zijn nu conservatief ingedeeld: Een gedetailleerde analyse inclusief informatie over materiaal, type en diameter van de leidingen is noodzakelijk om gekwantificeerde uitspraken over mogelijke schade aan kabels en leidingen te kunnen doen.
- Panden
 - Er is geen splitsing in woningen/bedrijfspannen. Door dit wel mee te nemen kan dit andere financiële gevolgen hebben.
 - De wanden van de panden zijn aangenomen alsof uit één deel bestaan. Er zijn echter ook wanden die >25 meter zijn. Wellicht zijn deze wanden gedilateerd. Op dit moment zijn deze panden conservatief ingedeeld.
 - De staat van de bebouwing is niet meegenomen. Door de staat van de gebouwen mee te nemen kan nader worden genuanceerd.



Figuur 3-7 Selectie van BAG-panden, kabels en leidingen en bodemdalingcontouren (2021) van de cavernes in het gebied.

3.5 Conclusies

Bij alle cavernes waarbij zonder maatregelen een aanzienlijke bodemdaling of schade zou optreden zijn de schadecategorieën gekwantificeerd. Uit de schaduwberekening van de potentiële effecten van bodemdaling blijkt dat dit in 56% van de gevallen geleid heeft tot een bevestiging van de al gegeven classificatie. In een aantal gevallen is de classificatie bijgesteld. Dit heeft zowel tot hogere als lagere indeling geleid. In 2021 zijn hierbij aanvullend 3 nieuwe cavernes beoordeeld en ingedeeld. Geadviseerd wordt om de prioritering van maatregelen hierop aan te passen.

Van de verschillende objecten ontbreken op dit moment een aantal kenmerken. Indien nadere nuancering van de prioritering gewenst is, kan nader onderzoek naar deze kenmerken tot een heroverweging van de inleiding leiden, binnen de nu gehanteerde klassen.

4 Conclusies

4.1 Risicobeoordelingssystematiek

De prioritering van mitigerende maatregelen, bestaand uit het opvullen van de cavernes met slurry, is van toepassing op cavernes waarbij zonder maatregelen een aanzienlijke bodemdaling of schade zou optreden. Vastgesteld kan worden dat de risicobeoordelingssystematiek die door Nobian wordt gehanteerd een robuuste methode is om de mitigerende maatregelen om schade door bodemdaling boven zoutcavernes te voorkomen te prioriteren. Hierin is de systematiek van normeren, beoordelen en verbeteren vergelijkbaar met de systematiek die in Nederland voor overstromingsveiligheid wordt gehanteerd.

Zowel de uitgebreide als de centrale matrix bevatten een logaritmische indeling in severity. Een nadere nuancering van klasse S3 in de centrale matrix wordt aanbevolen. Dit kan bijvoorbeeld door de kans op gelijktijdigheid mee te wegen of de potentiële economische schade nader in te schatten.

De klasse F5 heeft als ondergrens een termijn van 5 jaar. Het niet voorkomen van de termijn 0-5 jaar dient te worden toegelicht of aangevuld.

Ten behoeve van transparantie wordt aanbevolen de klasse S1 te vereenvoudigen.

Het is aan te bevelen om bij de prioritering de mogelijkheid en kosten van herinrichting van gebouwen en infrastructuur mee te wegen.

In de risicobeoordelingssystematiek wordt de beschikbaarheid van voldoende vulmiddel bij gelijktijdig optreden van instorting voordat stabilisatie heeft plaatsgevonden niet meegenomen. Aangeraden wordt om voor dit geval een afzonderlijk mitigatieplan uit te werken.

Aangeraden wordt om de monitoring zo in te richten dat eventuele migratie bij een caveerne in klasse S1 kan worden opgemerkt en wanneer nodig kan worden bevestigd.

4.2 Risicoclassificatie individuele cavernes

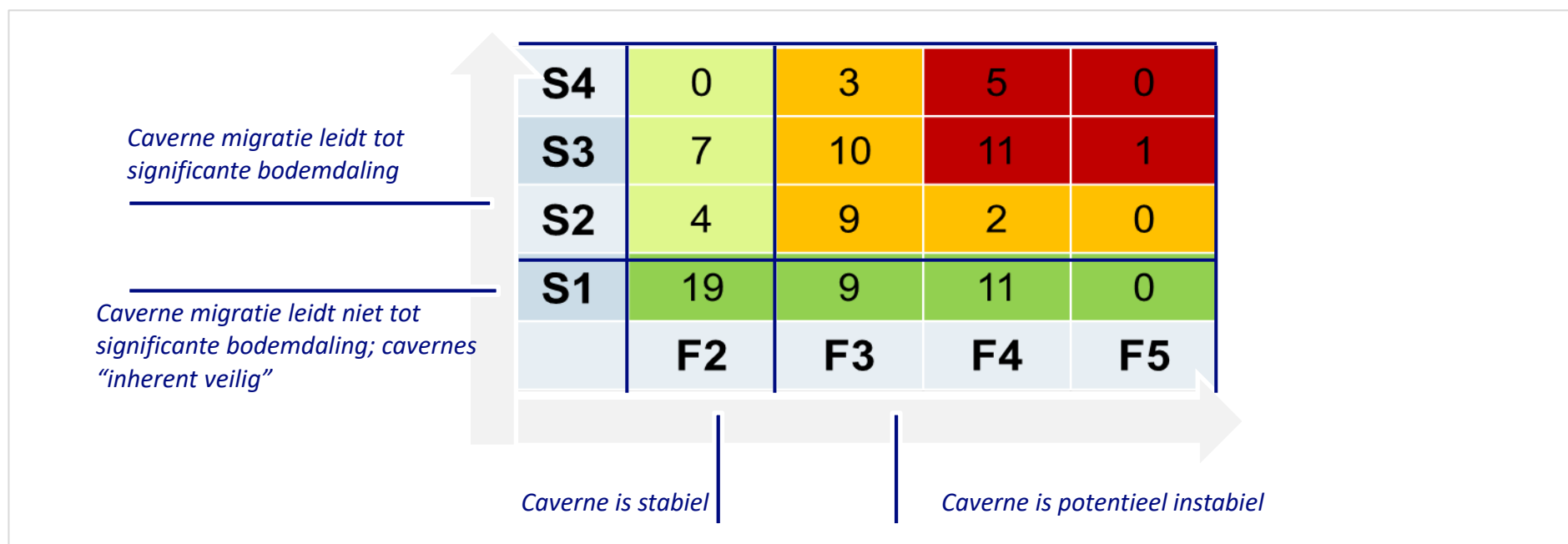
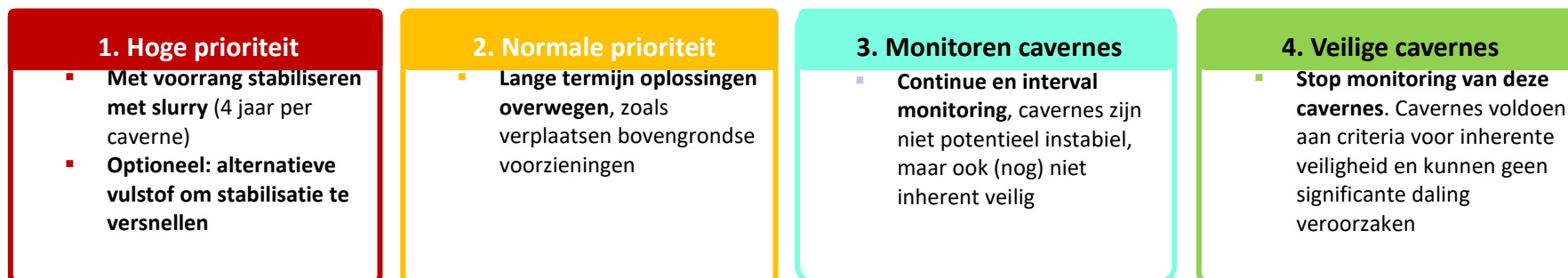
Bij alle cavernes waarbij zonder maatregelen een aanzienlijke bodemdaling of schade zou optreden zijn de schadecategorieën gekwantificeerd. Dit heeft in 56% van de gevallen geleid tot een bevestiging van de al gegeven classificatie. In een aantal gevallen is de classificatie bijgesteld. Dit heeft zowel tot hogere als lagere indeling geleid. Geadviseerd wordt om de prioritering van maatregelen hierop aan te passen.

Van de verschillende objecten ontbreken op dit moment een aantal kenmerken. Indien nadere nuancering van de prioritering gewenst is, kan nader onderzoek naar deze kenmerken tot een heroverweging van de indeling leiden, binnen de nu gehanteerde klassen.

5 Referenties

- [1] Bijnagte, J.L., Luger, H.J. Het bepalen van schadekansen ten gevolge van meerdere zettingsbijdragen, Geotechniek, 2011
- [2] Boscardin, M.D., Cording E.J., Building response to excavation-induced settlement, J. Geotech. Eng., Vol. 115, No. 1, January 1989
- [3] Brinkman, J. Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing, Rapport Deltares december 2016
- [4] Son, M., Cording, E.J., Tunnelling, building response and damage estimation, Tunnelling Underground Space Technology, 2001
- [5] Assessments of damage in low-rise buildings, BRE digest 251 Building Research Establishment 1995
- [6] Helpdesk Water, Waterveiligheid, Feiten over ons water, binnenzakbrochure 2017
- [7] Normering waterveiligheid, Presentatie van IenM, 2015
- [8] Most, H. van der, Nieuwe normering waterveiligheid, Masterclass provincies, 2 november 2016
- [9] Review Risk Assessment Zoutcavernes AKZO-Nobel, Rapport Deltares referentie 11201230-000-BGS-0004 van september 2017

A Beknopte Risicomatrix



Source: Project Team AkzoNobel

Risicoanalyse cavernes - criteria

1. Bepalen 'severity' (ernst) van impact bij optreden daling wanneer geen maatregelen kunnen worden genomen:

Schade aan: 1) huizen, 2) bedrijfspanden/voorzieningen, 3) de onderafdichting van de stort van Twence (milieuschade) en 4) vitale infrastructuur (hoogspanningsnet, hoofdgasleidingen, snelweg)

Inherent veilig:

S1: geen significante bodemdaling (maximaal enkele centimeters), geen schade

Niet inherent veilig:

S2: wel significante bodemdaling, geen schade aan bovenstaande categorieën (wel weiland/zandweg)

S3: wel significante bodemdaling, wel schade aan één van bovenstaande categorieën

S4: wel significante bodemdaling, ernstige schade aan meerdere bovenstaande categorieën

2. Bepalen 'frequency' (tijdsperiode) waarbinnen de bodemdaling te verwachten is wanneer geen maatregelen kunnen worden genomen.

Stabiel:

F2: Cavernedak >5 meter zout, migratie niet te verwachten

Potentieel instabiel:

F3: Cavernedak 0-5 meter zout: bodemdaling mogelijk op lange termijn (100-1000 jaar)

F4: Cavernedak >5 meter anhydriet: bodemdaling mogelijk op middellange termijn (40-100 jaar)

F5: Cavernedak <5 meter anhydriet: bodemdaling mogelijk op relatief korte termijn (5-40 jaar)

Risicoanalyse – 94 cavernes aangeboord 1958-1975

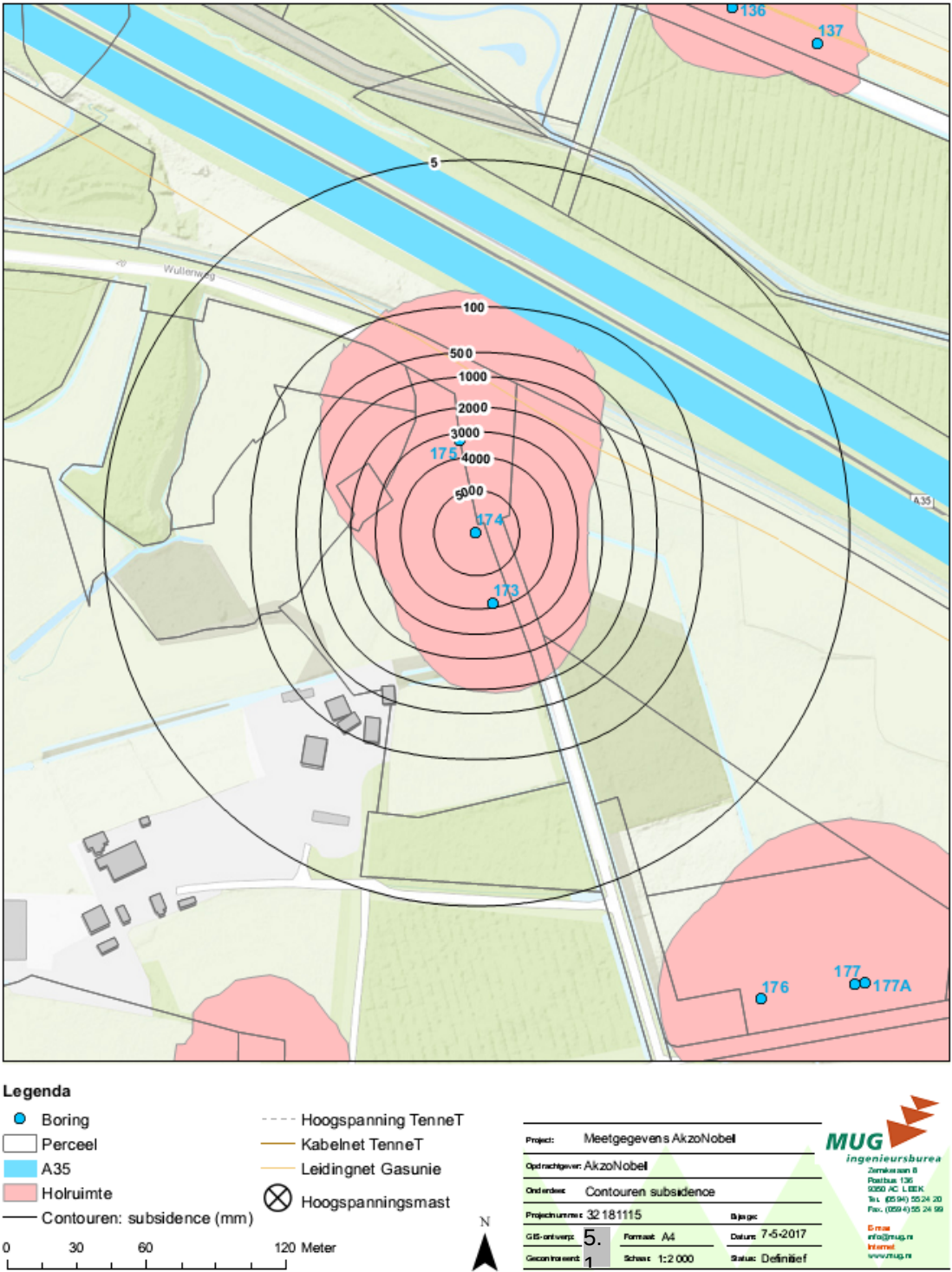
S4	0	118, 138, 140	81, 90, 130, 132, 136	0
S3	156, 209, 211, 213, 239, 242, 245	80, 84, 120, 124, 126, 134, 159, 184, 201, 204	51, 57, 60, 67, 86, 110, 114, 128, 144, 162, 173	55
S2	207*, 218, 228, 248, 253, 347*, 399*	151, 176, 187, 194, 215, 223, 225, 234, 259	116, 190	0
S1	63, 66, 88, 92, 93, 96, 142, 146, 170, 182, 196, 198, 220, 231, 237, 251, 256, Z1	77, 98, 100, 102, 112, 122, 148, 178, 180	52, 72, 73, 78, 94, 104, 108, 149, 153, 165, 192	0
	F2	F3	F4	F5

B Uitgebreide risicomatrix

Uitgebreide risicomatrix

Severity	Assets	People	Environment	Reputation	Frequency							F	Frequency	Description
					F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6			
S5	> 25 M€	Fext: One or more off-site fatalities, or several fatalities on site, or several severe injuries off-site	>LoCD catastrophic escape with major off site damage and international media attention (like Seveso or Sandoz accidents)	Damage to AkzoNobel stakeholders, International media attention	Low Alarp	Medium Alarp	High Alarp	Very High	Very High	Very High	Very High	F0	≤ 1x per 1 000 000 year	Extremely unlikely; Very unlikely event in area with low occupancy
S4	< 25 M€	Fon site: Fatality; One fatality, or several severe injuries on site, or one severe injury off-site	LoCD significant escape which has to be reported to the authorities; with off-site impact and that gives rise to public concern and media attention	Damage (including financial and quality of life) to BU stakeholders. National media attention	Low	Low Alarp	Medium Alarp	High Alarp	Very High	Very High	Very High	F1	≤ 1x 100 000 year	Very unlikely; Credible to occur, but requires the failure of several layers of protection
S3	< 5 M€	SI: Severe Injury; On-site injury to employees, contractors or members of the general public which leads to in-patient hospital treatment	LoCC escape that is observable or has impact off-site and can give rise to public concern and media attention; permit violation	Damage (including financial and quality of life) to local stakeholders (such as local suppliers or neighbors). Local media attention	Low	Low	Low	Low Alarp	High Alarp	Very High	Very High	F2	≤ 1 per 10 000 year	Improbable; Foreseeable to occur, but requires the failure of more than one layer of protection
S2	< 1 M€	RI: reportable injury; Medical treatment Injury, Restricted Work Injury, or Lost Time Injury not requiring in-patient hospital treatment	LoCB escape almost certain contained on site, not readily controlled, with no observable impact off-site	External complaint, affects company reputation for some employees	Low	Low	Low	Low	Low Alarp	High Alarp	Very High	F3	≤ 1 per 1 000 year	Remote; A Singular Incident in industry on similar technology has occurred
S1	< 100 k€	FA: First Aid Treatment injury	LoCA escape readily controlled, contained on site with no off-site impacts	No damage to company reputation	Low	Low	Low	Low	Low	Low Alarp	High Alarp	F4	≤ 1 per 100 year	Occasional; Not expected to occur during remaining plant lifetime
												F5	≤ 1 per 10 year	Probable; Could occur during remaining lifetime of plant
												F6	> 1 per 10 year	Frequent; Has occurred during lifetime of plant

Meetgegevens zoutcavernes AkzoNobel
XYZ_B173_175_Subst_Phase_II_III_C



Bodemdaling bij caverne 173

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl