



Kwalitatieve risicoanalyse infrastructuur Groningen

Rapportage

projectnummer 412684
eindconcept versie 1.3
31 juli 2017

Kwalitatieve risicoanalyse infrastructuur Groningen

Rapportage

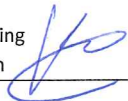

projectnummer 412684
eindconcept versie 1.3
31 juli 2017

Auteurs

ir. Jeroen Koot
ir. Theus van den Broek
ir. Bouke van Meekeren
ing. Eric Waltje

Opdrachtgever

Nationaal Coördinator Groningen

datum vrijgave	beschrijving revisie	goedkeuring	vrijgave
31-07-'17	eindconcept versie 1.3	H. Otten 	L. Pepping 

Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Bewustwording effect bevingen op infrastructuur	1
1.2	Meerjarenprogramma Nationaal Coördinator Groningen (NCG)	1
1.3	Plan van aanpak Platform Aardbevingsbestendige Infrastructuur (PAI)	2
1.4	Kwalitatieve risicoanalyse: prioriteiten als handvat voor vervolg	2
1.5	Scope van de risicoanalyse infrastructuur	3
1.6	Aanpak van de beoordeling op aardbevingsbestendigheid	3
2	Onderzoeksopzet	5
2.1	Aanpak: draagvlak en bruikbaarheid	5
2.2	Risicoframe	6
2.3	Onderzoekstappen	8
2.4	Welke begrippen hanteren wij?	8
2.5	Nationale Veiligheid en Vitale Infrastructuur	10
2.6	Belang van de veiligheidsrisico voor de gebiedsgerichte aanpak	11
3	Afbakening en beperkingen	12
3.1	Kwalitatieve risicoanalyse	12
3.2	Publieke risico's → effecten	12
3.3	Infrastructuur → indeling categorieën en effecten	13
3.3.1	Categorieën	13
3.3.2	Gevolgklassen (Consequence classes, CC) en IPO klassen	14
4	Maatschappelijke effect	15
4.1	Hoe is het 'effect' bepaald?	15
4.1.1	Verzamelen en berekenen van de scores	15
4.1.2	Fysieke veiligheid	16
4.1.3	Cascade-effect	16
4.1.4	Ontwrichting (verstoring van het dagelijks leven)	16
4.1.5	Bepalen verzamel-score effect	17
4.2	Aspect Veiligheid	18
4.3	Aspect Cascade	20
4.4	Aspect Maatschappelijke Ontwrichting	22
4.5	Totaalscore 'effect'	23
5	Kwetsbaarheid voor aardbevingen	25
5.1	Algemeen	25
5.2	Definitie van de score op kwetsbaarheid	26
5.3	De zwaarte van de aardbeving en gebiedsindeling	27
5.4	Gevolgklassen en herhalingstijden	29
5.4.1	Herhalingstijd voor constructies	29
5.4.2	Herhalingstijd voor waterkeringen	31

5.4.3	Herhalingstijd voor kades en taluds	31
5.5	Het gedrag van objecten onder aardbevingsbelastingen	32
5.5.1	Effecten in de grond	32
5.5.2	Effecten bij bovengrondse constructies	32
5.6	Scoretabellen kwetsbaarheid per object	34
5.6.1	Locatie gebonden objecten score op basis van bijlage 7	34
5.6.2	Niet-locatie gebonden objecten score op basis van bijlage 7	34
5.6.3	Scoretabel op basis van de objecttypen beoordeling kwetsbaarheid	37
6	Kritikaliteit van infrastructuur	39
6.1	Hoe is de 'kritikaliteit' bepaald?	39
6.2	Combinatie effect en kwetsbaarheid	40
7	Prioriteiten infrastructuur	42
7.1	Bepaling prioriteiten infrastructuur	42
7.2	Prioriteiten per objecttype locatie gebonden objecten	43
7.3	Prioriteiten per objecttype niet-locatie gebonden objecten	44
8	Aanbevelingen gedragslijn	45
8.1	Handreiking programma beheerder	45
8.2	Verfijning beoordeling kritikaliteit	46
8.3	Gedragen gedragslijn risicobeheersing	46
9	Signalering kennishiaten	48
Bijlage 1 Samenstelling PAI		
Bijlage 2 Factsheet vitale infrastructuur 2016		
Bijlage 3 Infrastructuur & beheerders		
Bijlage 4 Speciale objecttypen aandachtspunt		
Bijlage 5 Detailscores op effect-aspecten		
Bijlage 6 Deelnemers expertsessie 12-01-2017		
Bijlage 7 Toelichtende rapportage - Inhoudelijke onderbouwing kwetsbaarheid infrastructurele objecten		

1 Inleiding

1.1 Bewustwording effect bevingen op infrastructuur

De afgelopen jaren is Nederland zich meer bewust geworden van de mogelijke gevolgen van gaswinning in Groningen voor mens en maatschappij. Op 16 augustus 2012 vond er een aardbeving plaats bij het Groningse dorp Huizinge (ten oosten van Middelstum). De aardbeving had een geschatte magnitude van 3,6 (piekgrondversnelling PGA = 0,085 g). Daarmee is dit de krachtigste aardbeving die is gemeten in de provincie Groningen.

1.2 Meerjarenprogramma Nationaal Coördinator Groningen (NCG)

Tot op heden is de aandacht daarbij vooral uitgegaan naar de gevolgen voor gebouwen en voor haar bewoners. In het meerjarenprogramma 'Aardbevingsbestendig en Kansrijk Groningen 2017 – 2021' van de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) is nu ook de gehele Infrastructuur als een belangrijk thema voor onderzoek opgenomen. De NCG constateert in het Meerjarenplan dat er grote stappen voorwaarts zijn gezet in de opbouw van kennis over de seismische dreiging en de bepaling van weerstand van bouwwerken daartegen. Volgens het KNMI is het seismische meetnetwerk in Groningen inmiddels het op één na beste ter wereld, na dat in Californië. Toch blijven er voorlopig nog onzekerheden bij het bepalen van de seismische belasting, de grondversnellingen, het verwekingsrisico en het bepalen van de sterkte van constructies tegen deze belasting. Aangezien de kennisontwikkeling doorgaat, zullen deze risico's voor zowel gebouwen, infrastructuur als industrie steeds beter geduid kunnen worden.

Bij infrastructurele projecten worden tot nu toe per project beslissingen genomen over het omgaan met het aardbevingsrisico. Bij deze projecten zijn onder meer KNMI, SodM, ministerie van IenM, TNO, TU Delft, provincie, gemeenten, beheerders van objecten en externe (internationale) experts geconsulteerd. Gezamenlijk wordt ervaring opgedaan met de vraag hoe dit risico van geïnduceerde aardbevingen zich verhoudt tot de bestaande veiligheidskaders voor constructieve en waterveiligheid. Zo geldt voor bruggen en tunnels het Bouwbesluit. Conform de opvatting van het kabinet dat het bestaande veiligheidsniveau niet mag worden aangetast door de aardbevingen in Groningen, wordt gewerkt aan beleidsmatige inpassing van dit relatief nieuwe risico in de bestaande toetsingskaders.

Aangezien eigenaren en beheerders van infrastructuur de kans op aardbevingen niet kunnen beïnvloeden, ligt de focus voor de risicoanalyse op de beoordeling van de bestendigheid van de objecten tegen aardbevingen dan wel de identificatie van kwetsbaarheden daarbij, alsmede hoe die kwetsbaarheden door het treffen van maatregelen kunnen worden beperkt om aan het gekozen veiligheidsniveau te voldoen. Om aan het veiligheidsniveau te voldoen, worden de mogelijke effecten van aardbevingen dus (op pragmatische wijze) geïncorporeerd in de technische bouwnormen. Deze bouwnormen kunnen per type object (sterk) verschillen. Naar verwachting is er een aantal generieke uitgangspunten (inhoudelijk en procedureel) vast te stellen waarmee een geografisch consistente invulling van het gewenste veiligheidsniveau wordt bereikt.

Meer inzicht verwacht het NCG uit de uitkomsten van deze onderhavige kwalitatieve risicoanalyse.

1.3 Plan van aanpak Platform Aardbevingsbestendige Infrastructuur (PAI)

In haar Meerjarenprogramma stelt de NCG dat aardbevingen geen extra risico mogen vormen voor infrastructuur. Vanwege reguliere grote belastingen is infrastructuur in het algemeen robuust ontworpen. Daarom wordt in zijn algemeenheid verwacht dat aardbevingen een beperkte impact hebben en moet dit per specifiek infrastructureel project aantoonbaar zijn. Maar direct toepasbare technische uitgangspunten om te bepalen of infrastructuur hieraan voldoet zijn er niet.

Op initiatief van de provincie is het Platform Aardbevingsbestendige Infrastructuur (PAI) opgericht, zie bijlage 1. Doel van dit platform is om de kennisdeling tussen en informatievoorziening aan beheerders van infrastructuur te verbeteren. NCG faciliteert dit platform.

In overleg met de beheerders van infrastructurele objecten en het ministerie van IenM is in 2016 een 'Plan van Aanpak, Inventarisatie versterkingsopgave Infrastructuur' opgesteld. Een belangrijk onderdeel van dit plan is een kwalitatieve risico-inventarisatie van de infrastructuur in het gebied. Op basis daarvan kunnen kwetsbare objecten met voorrang worden aangepakt. Het plan van aanpak kent 5 stappen:

1. Voorbereiding
2. Inventarisatie
3. Prioritering en gebiedsgerichte aanpak
4. Uitvoeringsfase
5. Evaluatiefase.

Deze kwalitatieve risicoanalyse met prioritering maken deel uit van de stappen 2 en 3.

1.4 Kwalitatieve risicoanalyse: prioriteiten als handvat voor vervolg

Dit onderzoek betreft een essentiële stap om invulling te geven aan het genoemde dit plan van aanpak van de NCG en het PAI.

Het gaat om een inventarisatie van de publieke risico's bij het falen van infrastructuur als gevolg van aardbevingen en een rangschikking hierbinnen. Het gaat hier in eerste instantie om publieke veiligheidsrisico's.

Het doel is, met in het achterhoofd de huidige geldende vigerende veiligheidsnormen en de mogelijkheid van belasting door bevingen, tot een kwalitatieve risico-inventarisatie te komen per categorie infrastructuur en een rangschikking tussen de risicovolle objecten te maken. Dit dient in zeer nauwe afstemming met infrabeheerders te geschieden.

De kennis die door verschillende infrabeheerders inmiddels is opgedaan – zoals door bijvoorbeeld de waterschappen - zal hierin meegenomen worden. De NCG beseft zich dat de kennis van het infra areaal sterk per beheerder kan verschillen. Daarom zal de inventarisatie ook in gezamenlijkheid worden uitgevoerd en gedeeld met andere infrabeheerders – via het PAI - die een zelfde typologie infrastructuur beheren. Dit proces vindt binnen het PAI plaats. Hierbij zijn de faalmechanismen per objectcategorie leidend. In dit proces zal duidelijk worden waar de voornaamste kennisleemtes zitten.

De focus in dit onderzoek ligt op het thema 'veiligheid', maar ook de thema's 'cascade effecten' en 'maatschappelijke ontwrichting' worden behandeld. De kwalitatieve risicoanalyse maakt een integrale afweging van aardbevingsgevoelige infrastructuur binnen het risicogebied Groningen, zodat:

- infrabeheerders (en bestuurders) in gezamenlijkheid de risico's kunnen rangschikken;
- beheerders op basis daarvan individueel kunnen prioriteren in hun uitvoeringsprogramma's;
- de NCG de voortgang kan volgen op integraal niveau en daarover kan rapporteren;
- waar mogelijk kennisleemtes worden geïdentificeerd;
- een koppeling naar de gebiedsgerichte aanpak kan worden gelegd.

De resultaten van dit onderzoek vormen niet het eindpunt, maar zijn de handvatten voor het vervolg van het plan van aanpak.

1.5 Scope van de risicoanalyse infrastructuur

In het verlengde van het Plan van aanpak wordt gekeken naar bestaande infrastructuur, waarbij versterking mogelijk (ernstige) schade voorkomt, die tot een publieke (veiligheids-) risico kan leiden. Dit onderzoek heeft dan ook specifiek betrekking op de infrastructuur die nodig is om een gebied, de inwoners of organisatie, zoals een bedrijf of een instelling, veilig en goed te laten functioneren. In de kern zal deze betrekking hebben op: het wegennet en de spoorwegen, waterwegen en watergangen, havens, dijken, kades, bekabeling, data verbindingen, data communicatie, riolering, drinkwaterleidingnet, en kunstwerken als bruggen, tunnels, sluizen, gemalen en waterzuiveringsinstallaties, zie verder hoofdstuk 3 en bijlage 3.

De aanpak van bedrijven en installaties die vallen onder het Besluit risico's zware ongevallen (BRZO) en andere bedrijven die werken met gevaarlijke stoffen wordt gecoördineerd door de Industrietafel (werkgroep en stuurgroep Industrie). De onderlinge afbakening met bijvoorbeeld buisleidingen zal nader met hen bepaald worden.

1.6 Aanpak van de beoordeling op aardbevingsbestendigheid

Naar verwachting zal versterking in het kader van aardbevingen als gevolg van gaswinning primair nodig zijn binnen de contouren van de KNMI contourenkaart 2015 die is overgenomen in de witte versie van de Nederlandse Praktijk Richtlijn voor aardbevingsbestendig bouwen van gebouwen (NPR 9998). Deze kaart (in dit rapport, figuur 5-1) wordt dan ook als richtlijn gehanteerd bij de beoordeling van de objecten.

Deze NPR is opgesteld voor gebouwen, maar geeft in algemene zin een goed beeld van de zwaarte van de bevingen in het gebied en in combinatie met de responspectra kan voor een grote verscheidenheid aan objecten de respons van de constructie op een beving bepaald worden.

In de Nederlandse bouwpraktijk is in het verleden niet op aardbevingen gedimensioneerd. Uitsluitend op basis van de kennis die in de afgelopen jaren is vergaard ontstaat er een beeld van de aard en impact van de bevingen. Hierbij is met name aandacht besteed aan de beoordeling van de primaire waterkeringen en gebouwen van metselwerk.

Bij aardbevingen spelen er effecten die in het reguliere ontwerpproces (o.a. Bouwbesluit) niet zijn meegenomen. In de ondergrond betreft dit bodemverweking en verdichting en bovengronds de dynamische respons op de beweging in de ondergrond.

Antea Group is betrokken bij de beoordeling van primaire en secundaire waterkeringen in het aardbevingsgebied. De ervaring en nieuwe kennis is, dat de inzichten in het gedrag van de ondergrond nog wijzigen en dat de kans op effecten door bodemverweking in de recente studies naar beneden kan worden bijgesteld. Deze inzichten worden in deze KRA gebruikt bij de beoordelingen van waterkeringen en verwerkt in de interpretatie van het gedrag van de ondergrond voor andere objecttypes.

Bij de beoordeling van bouwwerken uit staal, beton en metselwerk, is bekend dat de aardbevingsbestendigheid sterk afhankelijk is van de eigenfrequenties van de constructie en de detaillering van verbindingen tussen constructie onderdelen. Zonder een concrete analyse van de constructie met kennis van de massa's en stijfheid, is het niet mogelijk om een uitspraak te doen over de dynamische respons en daarmee de mogelijke overbelasting van een constructie.

Om toch tot een rangschikking van het grote aantal objecten in het aardbevingsgevoelige gebied te komen, is er op basis van concrete kenmerken van (veel voorkomende) constructies en op basis van 'Engineering judgement' een globale beoordeling uitgevoerd naar de kwetsbaarheid. Bij de beoordeling wordt ook gebruik gemaakt van eerdere studies van infra-objecten zoals deze door TNO en Deltares zijn uitgevoerd. Ook gegevens van projecten waarbij Antea Group direct betrokken is bij het beoordelen op aardbevingen, zijn meegenomen in de beoordeling.

Omdat de kwetsbaarheid afhangt van specifieke eigenschappen van de constructie, zijn naast de beoordeling van de basisvorm van de constructie, ook kenmerken genoemd die invloed hebben op de kwetsbaarheid ten gevolge van aardbevingen.

Omdat de kans op bezwijken gecorreleerd is aan de zwaarte van de aardbeving, kan gesteld worden dat de relatieve kwetsbaarheid gekoppeld kan worden aan de verwachte zwaarte van de beving, zoals deze op contouren op de kaart in de NPR (hier figuur 5-1) zijn aangegeven.

Aan de hand van de algemene beoordeling van het object, de mogelijke kritische kenmerken én de locatie, kan de beheerder zelf dus een inschatting maken van de kwetsbaarheid van de objecten. Hiervoor is een stappenplan opgenomen in Hoofdstuk 8.

Deze systematiek en resultaten, zie hoofdstuk 5 en op objectniveau in detail is uitgewerkt in bijlage 7, is tevens door Adviesbureau ir. J. G. Hageman beoordeeld op aanpak en op beoordeling van representatieve objecten.

2 Onderzoeksopzet

2.1 Aanpak: draagvlak en bruikbaarheid

Aangezien de resultaten van dit onderzoek als handvatten voor vervolgacties moeten dienen, zijn draagvlak en bruikbaarheid van essentieel belang. Naast de ingebrachte kennis door de beheerders, is er een intensief proces gevolgd met de verschillende beheerders die vertegenwoordigd zijn in het PAI.

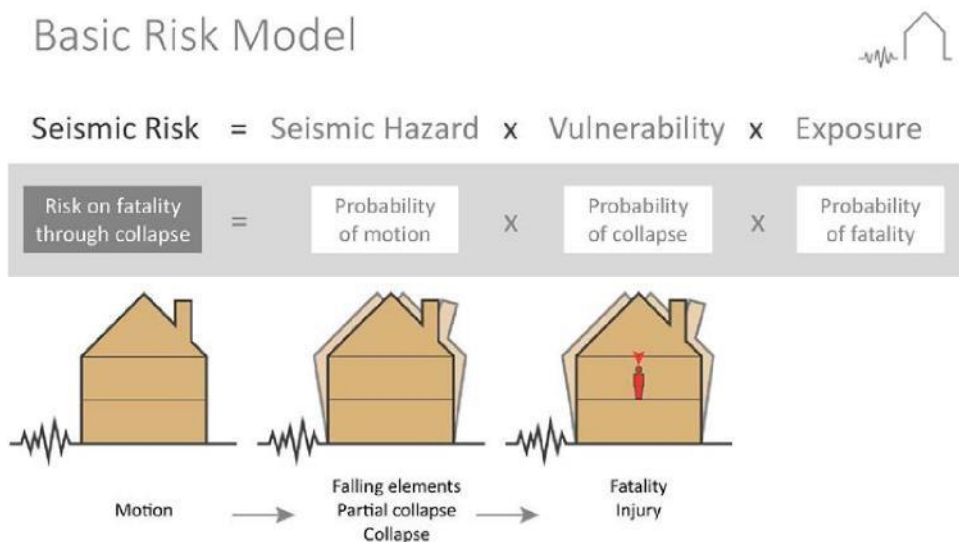


Figuur 2-1: Processtappen kwalitatieve risicoanalyse infrastructuur Groningen

Bij het bouwen en invullen van het risicoframe, zie §3.2 is de kennis benut van de infrabeheerders uit de regio, materie-deskundigen uit de wetenschap en senior adviseurs van Antea Group.

2.2 Risicoframe

Voor het ontrafelen van seismische risico's voor woningen hanteert de TU Delft het volgende basis risicomodel:



Figuur 2-2: Model seismic risk TU Delft

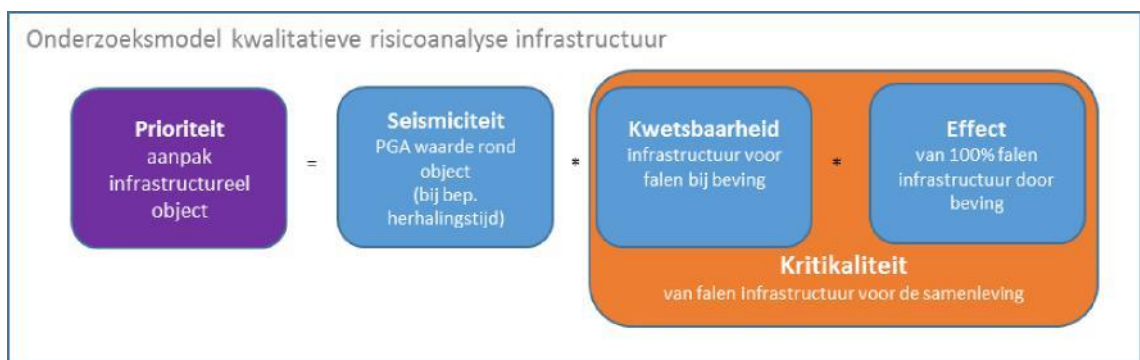
Het risico op (dodelijke) slachtoffers is een combinatie van de waarschijnlijk van het optreden van een beving ter plaatse, de waarschijnlijkheid dat het gebouw als gevolg daarvan ernstige schade oploopt en de waarschijnlijkheid dat hierdoor één of meer slachtoffers vallen. Voor dit onderzoek hebben we dit model vertaalt naar een basis risicomodel voor het risico op ongewenste maatschappelijke effecten op infrastructuur. Het seismische risico is dan de kans op een trilling ter plaatse van ene infraobject, gecombineerd met de waarschijnlijkheid dat het object daardoor ernstig beschadigd raakt en zijn functie niet meer kan uitoefenen, gecombineerd met de verwachte maatschappelijke ongewenste effecten.



Figuur 2-3: Model seismisch risico infrastructuur

Vervolgens is dit basismodel vertaald naar het onderzoeksmodel voor de onderhavige kwalitatieve risicoanalyse van de infrastructuur. De elementen zijn geconcretiseerd naar bouwstenen om de gewenste rangschikking en prioritering te kunnen maken. Om de formule in het model duidelijk te compartimenteren wordt het resultaat van de combinatie van het effect van falen en de kwetsbaarheid van infraobjecten 'kritikaliteit' genoemd. Hiermee wordt per objecttype de maat voor de relatieve gevoeligheid van de samenleving voor falen van bepaalde typen infrastructuur door een beving als zelfstandig kenmerk bekend.

De seismiciteit in dit onderzoek is wordt uitgedrukt middels een bepaalde verwachte maximale grondversnelling bij het optreden van een beving. Hoe hoger de binnen een bepaalde herhalings-tijd verwachte grondversnelling, uitgedrukt in PGA^1 , hoe hoger de score hierop. Samen met de seismiciteit bepaalt de kritikaliteit de uiteindelijke prioriteit van een infraobject voor de aanpak in het kader van risicomangement. Deze prioriteit is een maat voor het relatieve seismische risico van het ene infraobject ten opzichte van een ander object.



Figuur 2-4: Model seismisch risico infrastructuur

Om de onderzoekstappen te identificeren en onderling te relateren is het onderzoeksmodel gevisualiseerd naar onderstaand risicoframe. Op basis van de huidige stand van de kennis en ervaring, zie hoofdstuk 4, worden scores gegeven en uiteindelijk prioriteiten gesteld.



Figuur 2-5: Risicoframe kwalitatieve risicoanalyse infrastructuur Groningen

¹ De PGA is de peak ground acceleration ofwel de maximum versnelling van de grond tijdens een aardbeving

2.3 Onderzoekstappen

Het onderzoek doorloopt de volgende stappen, waarbij het frame steeds verder gebouwd en gevuld wordt.

1. Met de beheerders bepalen welke objecttypen (categorieën) infrastructuur binnen de scope liggen en worden daarnaast eventuele 'specials' geïdentificeerd.
2. Vervolgens wordt het (maatschappelijke) effect bepaald, als deze infrastructuur 100% zijn functie verliest als gevolg van een aardbeving. Het effect kan opgebouwd zijn uit meerdere aspecten.
3. Met experts en deskundigen wordt de kwetsbaarheid (vatbaarheid) van deze infra-categorieën bepaald voor schade en functieverlies door aardbevingen, uitgaande van een normale onderhoudstoestand en gemiddelde, gebruikelijke constructie.
4. De combinatie van effect en kwetsbaarheid bepaalt de kritikaliteit van de verschillende categorieën infrastructuur. Met andere woorden: hoe kritisch (gevoelig) is de samenleving voor het falen van bepaalde infrastructuur.
5. Er zijn meerdere grondversnellingskaarten te vervaardigen. Bijvoorbeeld door te variëren in de herhalingstijd. Op basis van argumenten en bestaande richtlijnen moet worden bepaald welke KNMI-grondversnellingskaart het meest van toepassing is.
6. Door per objecttype de kritikaliteit en de verwachte zwaarte van de beving op de KNMI-kaart te combineren creëert het onderzoek een handvat waarmee elke beheerder de relatieve prioriteit van zijn eigen objecten kan bepalen.
7. De exacte invulling van de acties vormen geen deel van het onderzoek en maken deel uit van de vervolgstappen, waarvoor dit onderzoek een eerste screeningshandvat kan bieden.

Deze methode biedt:

- de best mogelijke afweging met de publiekelijk toegankelijke kennis van nu;
- ruimte voor inbreng van beheerders en experts;
- te schuiven bij wijzigende inzichten in maatschappelijke effecten;
- kan uitgebreid of aangevuld worden bij voortschrijdend inzicht kwetsbaarheid en gedrag van infrastructuur bij bevingen;
- flexibiliteit om andere inzichten rond het bepalen van de maximaal verwachte PGA-waarden toe te passen.

2.4 Welke begrippen hanteren wij?

In deze paragraaf wordt een aantal algemene begrippen gedefinieerd die in het onderzoek de revue passeren. Meer specifieke definities worden meegenomen in de beschrijvende paragrafen.

Objectcategorie

Een grove indeling van **INFRASTRUCTURELE OBJECTEN NAAR OVEREENKOMSTEN IN FUNCTIE**.

Bijvoorbeeld wegen, (natte) kunstwerken, kades etc.

Objecttype

Onderverdeling van de categorieën in groepen **INFRASTRUCTURELE OBJECTEN MET OVEREENKOMSTIGE KENMERKEN** qua functie, voorkomen en dimensionering deels in beheer bij een specifieke organisatie. Bijvoorbeeld autosnelweg, stroomweg etc.

In hoofdstuk 5 en bijlage 7 is een aanvullende verfijning van objecten gemaakt om een betere beoordeling op de respons op aardbevingen te maken. Voorbeelden van de verfijning zijn basculebrug en ophaalbrug. Ook bij objecttypes als RWZI is een verfijning doorgevoerd in gebouwen, leidingen en bassins. Bij de bepaling van de kritikaliteit in hoofdstuk 6 is deze verfijning niet doorgevoerd. De betreffende infrabeheerder kan deze verfijning echter gebruiken als uiteindelijk selectie van de relevante objecten voor een nadere analyse.

Verwachte effect

Hierbij gaat het om: **HET VERWACHTE MAATSCHAPPELIJKE EFFECT VAN FUNCTIEVERLIES ALS GEVOLG VAN EEN BEVING**. Het is de combinatie van:

- fysieke veiligheid;
- cascade-effect;
- maatschappelijke stabiliteit.

De inschatting en de scores zijn in interviews bij de betrokken beheerders opgehaald. Om een uniform beeld te krijgen, is als referentiebeeld de impact van 100% functieverlies gehanteerd. Onder 100% functieverlies wordt verstaan dat het object zijn functie(s) niet meer kan uitvoeren: het object is niet meer bruikbaar. Voor wegen betekent dit dat het object niet meer in staat is om verkeer af te wikkelen. Voor waterkeringen betekent dit dat het object niet meer in staat is water te keren ter verdediging van het achterland en/of oever.

De maatschappelijke thema's zijn gebaseerd op de thema's uit de "Handreiking Regionaal Risicoprofiel (2009 ²". Deze handreiking dient als hulpmiddel voor veiligheidsregio's voor het opstellen van een risicoprofiel. Onderdeel hiervan is het maken van een impactanalyse, waarin vitale belangen zijn onderscheiden om inzicht te geven in de verwachte aard, de omvang en de schaal van de gevolgen van de aanwezige risico's. Een aantal belangen voor dit onderzoek zijn hierop gebaseerd.

Mate van kwetsbaarheid

Hierbij gaat het om: **DE KWETSBAARHEID VAN EEN OBJECTTYPE VOOR FUNCTIEVERLIES ALS GEVOLG VAN EEN AARDBEVING**.

Een aantal aspecten hebben invloed op de faalmodi van een object. Tezamen bepalen ze de kwetsbaarheid:

- de respons op de aardbevingsbelasting;
- de interactie met de fundering en gevoeligheid voor bodemverweking;
- de robuustheid van de constructie, dit wordt met name bepaald door vervormingscapaciteit en redundantie in het ontwerp;
- de gevolgen van het bezwijken. Een vervorming van enige decimeters is voor de ene constructie fataal terwijl bij een ander type geen functie verlies optreedt.

² Opdrachtgevers Handreiking: GHOR Nederland, Landelijk Overleg van Coördinerend Gemeentesecretarissen, Nederlandse Vereniging voor Brandweerzorg en Rampenbestrijding, Raad van Hoofdcommissarissen.

Op basis van deze aspecten kan een score bepaald worden voor het aspect kwetsbaarheid.

Kritikaliteit per objecttype

Hierbij gaat het om: **DE MATE WAARIN DE SAMENLEVING GEVOELIG IS VOOR HET FALEN VAN EEN OBJECTTYPE DOOR EEN BEVING.**

Dit '**KRIKALITEITSGETAL**' is het resultaat van het combineren van het verwachte maatschappelijk effect bij 100% functieverlies en de mate van kwetsbaarheid van infra-objecten voor falen door aardbevingen.

Seismiciteit

Hierbij gaat het om: **DE VERWACHTE MAXIMALE GRONDVERSNELLING (ZWAARTE VAN DE BEVING) OP EEN BEPAALDE PLAATS GEGEVEN EEN BEPAALDE HERHALINGSTIJD.**

Voor de beoordeling bij deze risicoanalyse is gebruik gemaakt van de kaart met de seismische activiteit in de NPR 9998^x, afbeelding 3.1 Deze kaart geeft middels contouren (vergelijkbaar met hoogtelijnen) de waarde van de Peak Ground Acceleration (PGA) aan. Hierbij wordt een herhalingsstijd van 475 jaar gehanteerd.

Locatie gebonden object

Dit betreft de objecten/objectcategorieën die uitsluitend op een bepaalde locatie, in elk geval pas vanaf een gebied met een lagere PGA t.o.v. de kern van het gebied voorkomen. De betreffende objecten zijn de primaire waterkeringen en het hoofdtrainnet. Deze objecten zijn beoordeeld op basis van de specifieke waarde van de PGA op de betreffende locatie.

Niet locatie gebonden object

Dit zijn objectencategorieën die overal in het gebied voorkomen. Het betreffende object is beoordeeld op basis van de PGA in de kern van het aardbevingsgebied. Voor de score van een concreet object moet een correctie voor de PGA op de locatie uitgevoerd worden.

2.5 Nationale Veiligheid en Vitale Infrastructuur

Belangrijke context van deze risicoanalyse vormen de landelijke thema's:

- herziening Strategie Nationale Veiligheid;³
- herijking vitale infrastructuur.⁴

De Strategie Nationale Veiligheid krijgt vorm in het Nationale Veiligheidsprofiel dat een overkoepelende analyse biedt van de belangrijkste (all hazard) risico's en dreigingen voor de nationale veiligheid, alsmede een overzicht van relevante technologische en maatschappelijke ontwikkelingen. De Strategie stoelt op drie pijlers: het analyseren van dreigingen en risico's, het sturen op te versterken capaciteiten en het waarborgen van de continuïteit van de vitale infrastructuur.

Onder vitale infrastructuur wordt verstaan producten, diensten en de onderliggende processen die van essentieel belang zijn voor het dagelijkse leven van de meeste mensen in Nederland. Als deze infrastructuur uitvalt, kan dat grootschalige maatschappelijke ontwrichting veroorzaken. Categorie A vitale processen hebben grotere gevolgen bij uitval dan categorie B vitale processen. Zie ook bijlage 2.

³ www.ifv.nl/kennisplein/cbrn/publicaties/voortgangsbrief-nationale-veiligheid-mei-2015

⁴ www.nctv.nl/organisatie/nationale_veiligheid/vitale_infrastructuur

De veiligheidsregio neemt deel in het PAI en delen hun inzichten rond deze materie. Bij de in de kwalitatieve risicoanalyse gehanteerde indeling en beoordelingscriteria is aangesloten bij de indelingen en criteria uit de Strategie Nationale Veiligheid en de Herijking Vitale Infrastructuur.

2.6 Belang van de veiligheidsrisico voor de gebiedsgerichte aanpak

In haar Meerjarenplan stelt de NCG dat onze leefbaarheid in belangrijke mate wordt bepaald door de mate waarin we ons veilig voelen in ons huis en onze omgeving. Het is daarom gewenst dat alle partijen zich gezamenlijk inzetten voor de leefbaarheid in Groningen. Niet alleen door de inzet van de leefbaarheidsgelden die door NAM beschikbaar zijn gesteld, maar ook door inzet en middelen van gemeenten, provincie en Rijk daarmee te combineren. De kans dat rekening gehouden moet worden met een omvangrijke versterkingsoperatie komt naar voren uit de eerste resultaten van beoordelingen. De gebiedsgerichte aanpak wordt daarmee nog meer van belang. De kwaliteit van de leefomgeving moet dan hoger op de agenda. Niet alleen naar individuele objecten kijken, maar ook naar de samenhang daarvan.

De NCG neemt vervolgens de regie in een gezamenlijk proces dat - op basis van de stand van de kennis, bezien vanuit het veiligheidsperspectief en afgestemd met relevante gebiedsopgaves - leidt tot prioritering van risico's over alle categorieën van infrastructuur heen. Belangrijk is hierbij dat ook de koppelkansen met niet-infrastructurele objecten zijn beschouwd. Zo is het op regionaal niveau wenselijk dat bij werkzaamheden andere routes toegankelijk blijven en is het op straatniveau wenselijk dat bijvoorbeeld een aanvoer of afvoerleiding gelijktijdig wordt aangepakt met andere werkzaamheden in diezelfde straat.

Voor deze onderhavige kwalitatieve risicoanalyse is het van groot belang voor het gehele gebied de risico's tussen categorieën infrastructuur zo accuraat mogelijk vergelijkbaar te maken. Zodat de NCG en het PAI hiermee een brede, integrale en consistente gebiedsgerichte versterkingsopgave kunnen uitrollen.

3 Afbakening en beperkingen

In dit hoofdstuk worden een aantal aspecten uit de opgave nader beschouwd. De gekozen methodiek van de kwalitatieve risicoanalyse, de noodzakelijke afbakening en de huidige stand van kennis en inzicht in de faalmodi van infraobjecten maken een eerste prioritering voor de infraabeheerder mogelijk, maar een aantal 'disclaimers' zijn op zijn plaats.

3.1 Kwalitatieve risicoanalyse

Bij een risicoanalyse worden bedreigingen benoemd en systematisch beoordeeld. Hierbij wordt het effect als gevolg van het optreden van een bedreiging gecombineerd met de waarschijnlijkheid dat een dergelijke bedreiging zich voordoet. In de praktijk worden twee vormen van risicoanalyse onderscheiden, namelijk de kwalitatieve en de kwantitatieve risicoanalyse. Bij een kwalitatieve risicoanalyse wordt op basis van 'engineering judgement' en de beschikbaar (literatuur)onderzoek, een inschattingen van de mogelijke risico's gemaakt voor de te analyseren objecten. Er worden relatieve aanduidingen als 'groter' en 'kleiner' gebruikt dan wel met klasse-indelingen gewerkt. Dit onderzoek sluit aan bij de gangbare praktijk om met indeling in 5 schalen te werken met een vaste kleurenschaal:

	1	Zeer laag / zeer gering
	2	Laag / gering
	3	Matig, middel
	4	Hoog / groot
	5	Zeer hoog / zeer groot

Tabel 3-1: schalen en kleuren risicoklassen

Belangrijk is te vermelden, dat de getallen en scores geen absolute waarden weergeven, maar alleen de onderlinge relatie tussen de aspecten.

3.2 Publieke risico's → effecten

Onder publieke risico's worden in dit verband risico's met een effect op de inwoners van het gebied bedoeld. Veiligheid is het primaire thema, maar ook aspecten als bereikbaarheid en maatschappelijk functioneren worden behandeld.

Daarnaast is rekening gehouden met de herijking vitale infrastructuur. In 2014 is op basis van de economische, fysieke en sociaal-maatschappelijke impact en cascadegevolgen beoordeeld (herijkt) wat de vitale infrastructuur is voor onze samenleving.

In overleg met NCG en PAI is gekozen voor de analyse van een compacte combinatie van drie effecten:

- Veiligheid: mate van aantal en ernst van slachtoffers;
- Cascade: mate waarin 100% functieverlies van de ene infrastructuur leidt tot functieverlies van andere infrastructuur of buiten de sector Infrastructuur;
- Ontwrichting: mate waarin 100% functieverlies, zorgt voor allerlei ongewenste maatschappelijke effecten.

Belangrijk om te vermelden is dat het optreden van genoemde effecten op basis van inschatting is door infrabeheerders, en niet uit ervaring van infrabeheerders is verzameld. Daarnaast zijn financiële en economische effecten niet meegenomen.

De volgende infrabeheerders zijn betrokken bij het PAI:

1. Provincie Groningen
2. Waterschap Noorderzijlvest
3. Waterschap Hunze en Aa's
4. Gemeente Groningen (vertegenwoordigt ook Ten Boer)
5. Gemeente Appingedam
6. Gemeente Bedum
7. Gemeente Winsum
8. Gemeente Delfzijl
9. Gemeente Slochteren, Hoogezand-Sappemeer en Menterwolde
10. Gemeente Loppersum
11. Gemeente De Marne
12. Gemeente Eemsum
13. Rijkswaterstaat
14. ProRail
15. Groningen Seaports (GSP)
16. Waterbedrijf Groningen
17. Gasunie
18. Enexis
19. TenneT
20. KPN (mede namens andere telecombedrijven)

3.3 Infrastructuur → indeling categorieën en effecten

3.3.1 Categorieën

De infrastructuur is onderverdeeld in aan aantal categorieën (wegen, spoorwegen). Binnen elke categorie zijn objecttypen benoemd die onderscheidend zijn wat betreft effect en functie. Een zekere veralgemenisering moet voor lief genomen worden. Detaillering naar individuele objecten vindt in een later stadium plaats, dit zou het onderzoek in dit stadium onhanteerbaar maken. De categorieën en objecttypen zijn in samenspraak met NCG en infrabeheerders (PAI) vastgesteld. In bijlage 3 is een overzicht opgenomen van de objecttypen en de verschillende beheerders die in het onderzoek zijn meegenomen. Detail is dat voor autowegen in de effectbepaling de kunstwerken separaat zijn beoordeeld. Voor spoorwegen is dat niet gedaan, in bijlage 7 is dat onderscheid wel gemaakt, daarmee ook voor het eindresultaat.

Belangrijk te vermelden is, dat er door beheerders een aanvullende diversiteit aan speciale objecttypen is genoemd. Deze zogenaamde specials vallen niet direct binnen de scope van het onderzoek. Ze verdienen wel aandacht in het aardbevingsbestendig beheren van de desbetreffende assets. De specials zijn vermeld in bijlage 4.

Groningen Seaports (GSP): De beoordeling van de damwanden (bijlage 7, 4.2) zijn buiten beschouwing gelaten net als de dijken en onderwatertaluds (buitendijks) van de Eemshaven en

Delfzijl. Voor de havens van GSP valt de openbare infrastructuur wel binnen de reikwijdte van deze KRA. De specifieke haveninfrastructuur echter, wordt door het NCG en GSP in samenwerking met de NAM geanalyseerd. De beoordeling van chloorleidingen van beheerder GSP is ook buiten beschouwing gelaten en valt binnen het reeds uitgevoerde onderzoek naar kwetsbaarheid van de industrie.

Conform het risicoframe (§ 3.2) van deze risicoanalyse verloopt de prioritering de beoordeling van de risico's van de infrastructuur zijn een aantal rangschikkingen gemaakt:

1. Maatschappelijke impact Allereerst is er gekeken naar de grootste maatschappelijke impact. Dat verschaft ons inzicht in welke categorieën het grootste effect sorteren bij 100% functieverlies. Deze kunnen afzonderlijk nog worden gerangschikt naar veiligheid, cascade of maatschappelijke ontwrichting. Zie hiervoor hoofdstuk 5.
2. Kwetsbaarheid Wij kunnen wel een uitspraak doen over de kwetsbaarheid van de constructie voor aardbevingen überhaupt. Dit op basis van een aantal kenmerken. Dit is de tweede rangschikking die wij kunnen maken. Dit verschaft inzicht in de waarschijnlijkheid dat een constructie faalt.
3. Kritikaliteit Tezamen vormen effect en kwetsbaarheid een maat voor de kritikaliteit. Voor welke categorieën infrastructuur zijn wij het meest kwetsbaar als maatschappij?

Belangrijk te vermelden is, dat de link naar de prioritering voor een individueel object door de beheerder zelf gelegd moet worden aan de hand van de kritikaliteit en de seismiteit ter plaatse in het gebied (KNMI kaart, figuur 5-1).

Hiermee wordt een relatieve prioriteit van het ene object ten opzichte van het andere bepaald. Er is dus geen sprake van een absolute (getalsmatige) prioriteit.

3.3.2 Gevolgklassen (Consequence classes, CC) en IPO klassen

In de recente constructieve normen wordt met hogere belastingen gerekend, als de gevolgen van falen groot zijn. Het effect is dat de kans op falen kleiner wordt.

Voor bouwwerken wordt hierbij onderscheid gemaakt in gevolgklasse CC1 t/m CC3. Een nadere toelichting is gepresenteerd in paragraaf 5.4.1.

Voor waterkeringen is een indeling in IPO klassen I t/m V gemaakt, waarbij klasse V de zwaarste klasse betreft. Een toelichting is gepresenteerd in paragraaf 5.4.2.

Met betrekking tot aardbevingen wordt de 'gevolg-IPO-klasse' meegenomen als een belastingfactor op de grondversnellingen (een constructie in een hogere klasse bv CC3 moet voldoen aan een hogere aardbevingsbelasting).

De beoordeling van de constructies is gebaseerd op de meest voorkomende 'gevolg-IPO-klasse', die van toepassing is op de beschouwde objectcategorie.

Bijvoorbeeld, viaducten zijn beoordeeld in CC2, kade constructies zijn beoordeeld in CC1.

In paragraaf 5.4.2. is aangegeven, hoe de invloed van de gevolgklasse verwerkt kan worden, als deze bij een specifiek object afwijkend is t.o.v. de gebruikelijke klasse.

4 Maatschappelijke effect

In dit hoofdstuk staat het effect van het falen van de diverse typen infrastructuur bij een aardbeving centraal. De scores zijn door de infrabeheerders op basis van hun kennis en inschatting opgesteld. Om alle objecttypen onderling te kunnen vergelijken en uniforme scores te krijgen, zijn de effecten duidelijk gedefinieerd en helder criteria opgesteld en gehanteerd. Deze worden hier ook beschreven.

Wij presenteren en bespreken de scores en rangschikking op de drie afzonderlijke aspecten. Tot slot combineren wij dit tot een totaal-score voor 'effect'.

NB: Dit hoofdstuk schetst alleen het effect en niet hoe groot de kans op falen is.

4.1 Hoe is het 'effect' bepaald?

4.1.1 Verzamelen en berekenen van de scores

De maatschappelijke thema's zijn aangevuld en aangescherpt voor dit onderzoek op basis van een kick-off meeting met de NCG en beheerders uit de PAI. Voor ieder maatschappelijk thema wordt een getal gescoord tussen 1 (zeer klein) en 5 (zeer groot). De scores zijn in interviews met alle beheerders uit het PAI verzameld en ingevuld. Uit de interviews bleek dat de beheerders in deze regio zich goed bewust waren van het belang van het anticiperen op aardbevingen.

Er wordt vanuit het regulier beheer diverse acties uitgevoerd. Dit betreft onder andere het monitoren en uitvoeren van inspecties en toepassen van beheersmaatregelen om de mogelijke kwetsbaarheid te verminderen. Hierbij wordt zowel naar versterking van objecten gekeken, als naar redundantie van systemen in het geval van aardbevingschade.

Wel bleken er tempoverschillen te zijn in welke mate men zich daar inhoudelijk in verdiept had. 'Grotere' organisaties als Rijkswaterstaat, ProRail en de nutsbedrijven hebben zelf al studies uitgevoerd.

De beheerders concentreerden zich op een score van hun 'eigen' objecttypen en het effect bij 100% functieverlies door een beving. Hierbij zijn maatregelen voor risicobeheersing en redundantie van het systeem positief meegewogen in een verlaging van de score. Redundantie wil zeggen dat het netwerk zodanig is ingericht dat bij falen van een buisleiding of weg er via een andere route geleverd kan worden. Met name de vitale nutsvoorzieningen (elektriciteit, water) zijn hierop ingericht.

De 'eigen' scores zijn gebruikt voor de berekening van het effect per aspect. Voor objecttypen die zij niet in beheer heeft, mochten een meedenk-score worden gegeven. Alleen waar deze sterk afwijkt, zou deze worden betrokken in de berekening. Dit bleek in de praktijk niet het geval. De score per aspect (3) is een rekenkundig gemiddelde. De scoring wijzigt indien andere wegingsfactoren worden toegekend. De totaalscore is een sommatie van de drie scores.

In bijlage 5 zijn de detailscores per aspect opgenomen.

4.1.2 Fysieke veiligheid

Voor fysieke veiligheid wordt onderscheid gemaakt tussen de criteria lichtgewonden, zwaargewonden en doden. Als indicatoren voor het meten van de impact worden gehanteerd:

- het aantal slachtoffers als gevolg van het incident.
- Ingeval meerdere categorieën van toepassing zijn, geldt de score voor de hoogste impact klasse.

Aantal slachtoffers	1	2-4	4-40	40-400	> 400
Lichtgewonden	1	2	3	4	5
Zwaargewonden	2	3	4	5	5
Direct overlijden (binnen 1 jaar)	3	4	5	5	5

Tabel 4-1: Criteria score veiligheid

4.1.3 Cascade-effect

De verschillende infrastructuurnetwerken zijn nauw met elkaar verweven: ze kruisen elkaar, sluiten op elkaar aan of lopen parallel aan elkaar. In geval er sprake is van uitval van een object kan dit gevolgen hebben voor andere infra-objecten of daarbuiten zoals bijvoorbeeld openbare gebouwen, bedrijven en voorzieningen.

Uitval leidt tot:				
Geen directe uitval van andere objecten	uitval van minstens 1 object uit hetzelfde type	uitval van object(en) binnen de categorie	uitval van object(en) in meerdere categorieën	uitvallen van meerdere objecten in meerdere categorieën en buiten de sector infrastructuur
	2	3	4	5

Tabel 4-2: Criteria score cascade-effect

Als indicator voor het meten van de impact wordt als maat het aantal en de aard van de objecten die ook uitvallen als gevolg van het uitvallen van een object van dit type gebruikt.

4.1.4 Ontwrichting (verstoring van het dagelijks leven)

Onder dit criterium wordt verstaan: “de aantasting van de mogelijkheid zich te verplaatsen en samen te komen op publieke plaatsen en in openbare ruimten, waardoor de deelname aan het normale maatschappelijk verkeer wordt belemmerd.” De deelname aan het maatschappelijke verkeer wordt in de context van dit criterium belemmerd door externe factoren, zoals sluiting van winkels of voorzieningen, een verbod zich op straat te begeven, blokkades, aantasting van de vitale infrastructuur zoals uitval van gas of elektriciteit, of een dijkdoorbraak. Als indicatoren voor het meten van de impact worden de volgende 5 gehanteerd:

1. geen onderwijs kunnen volgen;
2. niet naar het werk kunnen gaan;
3. geen gebruik kunnen maken van maatschappelijke voorzieningen zoals die voor sport, cultuur of gezondheidszorg;

4. verminderde bereikbaarheid door blokkades van wegen en uitval van openbaar vervoer;⁶
5. niet kunnen doen van noodzakelijke aankopen wegens winkelsluiting.

De genoemde indicatoren worden gewaardeerd op basis van:

- aantal getroffen en;
- tijdsduur (met inachtneming van redundantie en bestaande beheersmaatregelen van het systeem);
- indien er aantoonbare alternatieven zijn binnen het netwerk of alternatieve netwerken (fijnmazigheid, redundantie van het netwerk) kan de tijdsduur van het falen van de infrastructuur naar beneden worden bijgesteld;
- aantal indicatoren van toepassing.

Tijdsduur	Aantal	<400 getroffen en	<4.000 getroffen en	<40.000 getroffen en	>40.000 getroffen en
1-2 dagen		1	1	2	3
3 dagen tot 1 week		1	2	3	4
1 week tot 1 maand		2	3	4	5
1 maand of langer		3	4	5	5

Aantal indicatoren van toepassing:
------------------------------------	-------

Tabel 4-3: Criteria score ontwrichting samenleving

Het resultaat van de impactscore wordt gecorrigeerd op basis van het aantal indicatoren dat van toepassing is:

- ingeval maximaal 1 indicator van toepassing is, gaat de score met 1 omlaag (bijvoorbeeld 2 wordt 1);
- ingeval tenminste 3 indicatoren van toepassing zijn, gaat de score met 1 omhoog (bijvoorbeeld 3 wordt 4).

4.1.5 Bepalen verzamelscore effect

Voor de verzamelscore op effect worden de gemiddelde scores op veiligheid (1-5), cascade (1-5) en ontwrichting (1-5) opgeteld en als volgt gerangschikt:

van	tot	Scoretabel effect
13	15	zeer hoog
10	12	hoog
7	9	middel
4	6	gering
1	3	zeer gering

Tabel 4-4: Vertaling optelling effectscores

⁶ Hierin is ook de economische schade van het tot stilstand komen meegewogen.

4.2 Aspect Veiligheid

De beheerders hebben vanuit de interviews voor het aspect veiligheid met de volgende objecttypen gescoord, zie tabel 4-5. De hoogste categorieën worden in de overwegingen toegelicht.

Objecttype	Veiligheid
Hoofdrioolpersleiding door stad Groningen	5,0
Primaire waterkeringen	5,0
Productie pompstation (put, onnen groeve)	5,0
Regionale waterkeringen	4,3
Hoofdgasleiding <1964	4,0
Hoofdrailnet	4,0
Regionale/overige lijnen	4,0
Viaduct 1 hoofdroute	4,0
Primaire sluizen (spui/schut)	3,7
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)	3,5
Vaste bruggen hoofdroutes	3,3
Goederenlijnen	3,0
Autosnelwegen	3,0
Beweegbare bruggen hoofdroutes	3,0
Overwegen	3,0
Overige oeverconstructies	2,7

Tabel 4-5: Hoogste scores aspect Veiligheid

Hoofdrioolpersleiding Noorderzijvest door stad Groningen (5)

Het functieverlies van de hoofdrioolpersleiding in de stad Groningen (1500/1800 mm.) heeft een behoorlijke impact op veiligheid, met name op het gebied van de volksgezondheid. Op het moment dat de hoofdrioolpersleiding haar functie verliest, bereikt het rioolwater de zuiveringsinstallatie niet meer. Het afvalwater gaat niet meer schoon de natuur in. Vijvers raken vervuild. Er kan niet meer geloosd worden op het riool. Tankauto's moeten worden ingezet om het vervuilde water per wegtransport naar de RWZI te brengen. Deze reguliere beheersmaatregel volstaat geenszins door de zeer grote hoeveelheid afvalwater uit de hoofdrioolpersleiding (1500mm./1800mm.) in de stad Groningen, is het niet mogelijk om met vrachtwagens het afvalwater naar de RWZI te brengen.

Primaire waterkeringen (5)

Het functieverlies van een primaire waterkering kan leiden tot desastreuze gevolgen voor de veiligheid in het binnendijkse gebied. Dit komt ook tot uiting in de normstelling voor primaire waterkeringen en regionale waterkeringen ⁷.

⁷ De Waterwet geeft de veiligheidsnormen voor primaire waterkeringen. De vermelde overstromingskans in het studiegebied is 1:3000 (Waddenzee) en 1:10000 (Eems-Dollard).

De aanwezigheid in Groningen van (chemische) industrie in de nabijheid van de primaire kering is een extra aandachtspunt. Inmiddels analyseert waterschap Noorderzijlvest de aardbevingsbestendigheid van de versterking zeedijk Delfzijl-Eemshaven.

Bij het falen is het keren van water niet meer mogelijk. Het is afhankelijk van de locatie van het optreden van het functieverlies hoe groot de gevolgen kunnen zijn, waarbij in het stedelijk gebied rond Delfzijl en Appingedam de gevolgen groter zijn dan in het landelijk gebied. Bij het falen van een primaire kering is 3 meter water op het binnendijkse gebied een scenario, met mogelijk tientallen dodelijke slachtoffers en zwaargewonden tot gevolg.

Productie pompstations (5)

Bij uitval van de productie pompstations bij Onnen kan niet gegarandeerd worden dat aan de leveringszekerheid van water voor onder andere de stad Groningen kan worden voldaan. De noodwatervoorziening is dan, gelet op het grote inwoneraantal van het leefgebied, niet toereikend. Wanneer niet aan de levering wordt voldaan, heeft dit consequenties voor de veiligheid van de inwoners, met in het slechtste geval mogelijk meerdere dodelijke slachtoffers tot gevolg.

Regionale waterkeringen (4)

Met name bij het Eemskanaal en het Winschoterdiep heeft het verliezen van de kerende functie aanzienlijke gevolgen voor de veiligheid van het binnendijkse gebied. Juist op deze locaties heeft dit gevolgen, omdat het land hier tot circa 3,5 meter lager ligt dan het waterpeil.

Hoofdrailnet/regionale lijnen (4)

Wanneer het hoofdrailnet haar functie verliest, zijn er gevolgen ten aanzien van de veiligheid. Op het traject vanaf de stad Groningen richting het zuiden worden circa 60.000 reizigers per dag vervoerd. De manier waarop het hoofdrailnet haar functie verliest, speelt hierbij een grote rol. Bij 100% functieverlies van het hoofdrailnet in een plotselinge situatie, is de aanname dat de treinstellen gecontroleerd tot stilstand worden gebracht. Ontsporen van een trein is mogelijk. Of er (dodelijke) slachtoffers mee gemoeid zijn, wordt relatief klein beschouwd. Regionale lijnen, bv lijn Groningen-Roodeschool of Groningen-Bad Nieuweschans liggen relatief vaak op een hoger gelegen spoor- en aardebanen. Deze tracés zijn daardoor gevoeliger voor afschuiving van delen van het dijklichaam, alsmede zijn door overgangen tussen aardenbaanconstructies/dijklichamen en de overgang naar kunstwerken relatief gevoelig voor functieverlies. Ondanks de lagere aantallen personenvervoer geeft de ligging van deze trajecten op dijklichamen wel voor een hogere score.

Viaduct hoofdroutes (4)

Bij viaducten is de hoeveelheid passanten cruciaal voor de impact op veiligheid. Dichtbij, of in de stad Groningen is de hoeveelheid passanten groter dan op een locatie in het landelijk gebied. Ook zijn er in de stad Groningen viaducten waaronder opstelstroken voor fietsers zijn gesitueerd. In deze gevallen is – afhankelijk van de wijze van falen van het viaduct – de impact op veiligheid groot. Het kleine verschil in de twee viaduct-groepen zit in de uiteenlopende scores van meerdere beheerders, zie bijlage 5.

Voor aangewezen niet-primaire waterkeringen moeten ook veiligheidsnormen worden opgesteld vergelijkbaar met de normen voor primaire waterkeringen. Die aanwijzing vindt voor keringen in beheer bij het rijk plaats via ministeriële regeling. Voor keringen in beheer bij een waterschap vindt aanwijzing plaats via provinciale verordening. Zie hiervoor ook 'Veiligheidsklassen regionale waterkeringen' uit 2013 van de provincies Groningen en Drenthe.

4.3 Aspect Cascade

Het effect van uitval op andere objecten is gemeten op een schaal van 1 (geen directe uitval van andere objecten) tot 5 (uitvallen van meerdere objecten in meerdere categorieën en buiten de sector infrastructuur). De beheerders scoren de volgende objecten als volgt, zie tabel 4-6.

Objecttype	Cascade-effect
Hoofdrioolpersleiding door stad Groningen	5,0
Primaire waterkeringen	5,0
Regionale waterkeringen	5,0
Overige sluizen	4,2
VKA-leiding	4,0
Overige oeverconstructies	3,9
Primaire sluizen (spui/schut)	3,7
Rioolpersleiding	3,6
Viaduct overig/lokaal	3,3
lokaal (ondergronds)net	3,0
Overwegen	3,0
Perrons	3,0
Portalen	3,0
Primaire sluizen (schut)	3,0
Vaste bruggen hoofdroutes	3,0
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)	3,0
Waterleiding Transport (400-700 mm)	3,0
Overige riolering	2,8
Vaste bruggen overig	2,8
Beweegbare bruggen hoofdroutes	2,5
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)	2,5
Duikers	2,3
Overige groene oevers	2,1
Beweegbare brug overig	2,1
Datakabels	2,1

Tabel 4-6: Hoogste scores aspect Cascade

Hoofdrioolpersleiding Noorderzijvest door stad Groningen (5)

Dit geldt voor de specifieke situatie in de stad Groningen. Door het falen van de hoofdrioolpersleiding worden retentievijvers gevuld met afvalwater. Het functieverlies van de leiding kan er daarnaast voor zorgen dat regenwater niet afgevoerd kan worden. Bedrijven en woningen kunnen hun afvalwater niet kwijt. Door schade aan nabij-liggende leidingen worden storingen voor elektriciteit en drinkwater verwacht.

Met name bij kruisende infrastructuur leidt het falen van een rioolpersleiding tot het falen van andere objecten. Een breuk ter hoogte van een kering kan bijvoorbeeld leiden tot functieverlies van de kering.

Primaire waterkeringen (5)

Het binnendijkse gebied komt onder water te staan. Hierdoor vallen zowel binnen als buiten de sector infrastructuur objecten uit, bijvoorbeeld wegen en nutsvoorzieningen. Voor landelijk gebied gaat het hier om bijvoorbeeld boerenbedrijven, woningen en straten. In stedelijk gebied zullen ook ziekenhuizen en verzorgingstehuizen geëvacueerd moeten worden en zodoende hun functie verliezen.

Regionale waterkeringen (5)

Ook regionale waterkeringen die hun functie verliezen hebben een aanzienlijk cascade-effect. Ondanks de kleinere omvang van het achterliggende buitendijkse gebied in vergelijking met primaire keringen, zijn de gevolgen enorm. Meerdere objecten binnen en buiten de sector infrastructuur vallen uit.

Overige sluisen (4/5)

Bij het verliezen van de kerende functie van een sluis kan het binnendijkse gebied onder water komen te staan. Wanneer dit gebeurt, geldt net als bij de primaire en regionale keringen, dat objecten zowel binnen als buiten de sector infrastructuur uitvallen.

Daarnaast zijn specifieke objecten besproken die niet binnen de scope van dit onderzoek vallen, maar wel een hoog cascade-effect hebben.

Leidingnetten (4)

Het uitvallen van leidingnetten van bijvoorbeeld stikstof, waterstof en pekelleidingen van AKZO.

4.4 Aspect Maatschappelijke Ontwrichting

De mate van ontwrichting van het dagelijks leven is gescoord van 1 (<400 getroffen, 1-2 dagen) tot 5 (>40.000 getroffen, >7 dagen).

De beheerders van de infrastructuur scoren de volgende objecten als volgt, zie tabel 4-7.

Objecttype	Ontwrichting
Distributie pompstation Appingedam	5,0
Primaire waterkeringen	5,0
Productie pompstation (put, onnen groeve)	5,0
Regionale waterkeringen	5,0
Waterleiding Transport (400-700 mm)	5,0
Regionale lijnen	4,0
Hoofdgasleiding <1964	3,0
Hoofdrailnet	3,0
Primaire sluizen (schut)	3,0
Beweegbare bruggen hoofdroutes	2,7
Vaste bruggen hoofdroutes	2,7
Primaire sluizen (spui/schut)	2,3
Goederen (GSP)	2,0
Overwegen	2,0
Perrons	2,0
Portalen	2,0

Tabel 4-7: Hoogste scores aspect Ontwrichting

Waterleidingen en bijbehorende distributie en productie pompstations (5)

Het functieverlies van een waterleiding of bijbehorende distributie en productie pompstations leidt in principe niet tot problemen, omdat de reguliere beheersmaatregelen tot op zekere hoogte toereikend zijn. Echter, wanneer er functieverlies op meerdere locaties optreedt, moeten er beheersmaatregelen (nooddrinkwatervoorzieningen) getroffen worden. Ondanks de beheersmaatregelen leidt dit tot een groot aantal getroffen en levert dit minimaal een maand vertraging op.

Primaire waterkeringen (5)

Bij een daadwerkelijke dijkdoorbraak van een primaire waterkering is de maatschappelijke impact enorm. Het getroffen gebied is vier tot zes maanden niet bereikbaar. Het aantal getroffen is (afhankelijk van de locatie van de breuk) maximaal 40.000. De aanwezigheid in Groningen van (chemische) industrie en het nationale belang van de gaswinning zelf in de nabijheid van de primaire kering is een extra aandachtspunt.

Voor het bezoeken van voorzieningen moet worden uitgeweken naar andere locaties. In stedelijk gebied zijn de gevolgen voor de maatschappelijke stabiliteit groter dan in landelijk gebied, door de aanwezigheid van ziekenhuizen, verzorgingstehuizen, etc. Desalniettemin wordt zowel in landelijk als in stedelijk gebied een 5 gescoord. In landelijk gebied gaat het om het functieverlies van bijvoorbeeld boerenbedrijven, woningen en straten.

Regionale waterkeringen (5)

Bij functieverlies van regionale waterkeringen staat het binnendijkse gebied binnen twee uur onder water. Het aantal getroffen is maximaal 4000. Er moet worden uitgeweken naar andere locaties voor voorzieningen als school, werk of het doen van dagelijkse boodschappen. Ook hier geldt dat de gevolgen in stedelijk gebied groter zijn dan in landelijk gebied door de grotere hoeveelheid voorzieningen en de grotere hoeveelheid getroffen. Desalniettemin scoren beide gebieden een 5.

Regionale lijnen (4)

De regionale lijnen vervoeren lagere hoeveelheden passagiers, echter de impact bij het uitvallen is gelet op de regionale spreiding en het dunbevolkte gebied relatief groot.

4.5 Totaalscore 'effect'

Voor de verzamel score op effect worden de gemiddelde scores op veiligheid (1-5), cascade (1-5) en ontwrichting (1-5) opgeteld. Tabel 4-8 geeft de hoogste klassen weer.

Objecttype	Veiligheid	Cascade	Ontwrichting	Totaal Effect (som)	Effectklasse
Primaire waterkeringen	5,0	5,0	5,0	15,0	zeer hoog
Regionale waterkeringen	4,3	5,0	5,0	14,3	zeer hoog
Hoofdrioolpersleiding door stad Groningen	5,0	5,0	1,0	11,0	hoog
Productie pompstation (put, onnen groeve)	5,0	1,0	5,0	11,0	hoog
Primaire sluisen (spui/schut)	3,7	3,7	2,3	9,7	hoog
Regionale lijnen	4,0	1,0	4,0	9,0	middel
Vaste bruggen hoofdroutes	3,3	3,0	2,7	9,0	middel
Waterleiding Transport (400-700 mm)	1,0	3,0	5,0	9,0	middel
Beweegbare bruggen hoofdroutes	3,0	2,5	2,7	8,2	middel
Overige oeverconstructies	2,7	3,9	1,5	8,1	middel
Hoofdgasleiding <1964	4,0	1,0	3,0	8,0	middel
Hoofdrailnet	4,0	1,0	3,0	8,0	middel
Overwegen	3,0	3,0	2,0	8,0	middel
Primaire sluisen (schut)	1,5	3,0	3,0	7,5	middel
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)	3,5	2,5	1,5	7,5	middel
Overige sluisen	1,6	4,2	1,4	7,2	middel
Perrons	2,0	3,0	2,0	7,0	middel
Distributie pompstation Appingedam	1,0	1,0	5,0	7,0	middel
Rioolpersleiding	1,5	3,6	1,3	6,4	middel
Viaduct overig/lokaal	1,6	3,3	1,4	6,3	middel
Goederenlijnen (GSP)	3,0	1,0	2,0	6,0	gering
Portalen	1,0	3,0	2,0	6,0	gering
Autosnelwegen	3,0	1,0	2,0	6,0	gering
Viaduct 1 hoofdroute	4,0	1,0	1,0	6,0	gering
VKA-leiding	1,0	4,0	1,0	6,0	gering
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)	1,0	3,0	2,0	6,0	gering
Vaste bruggen overig	1,6	2,8	1,3	5,7	gering
lokaal (ondergronds)net	1,2	3,0	1,5	5,7	gering
Beweegbare brug overig	1,6	2,1	1,3	5,0	gering
Monumentale bruggen	2,0	2,0	1,0	5,0	gering
Overige riolering	1,2	2,8	1,0	5,0	gering

Tabel 4-8: Hoogste scores voor het totale onderdeel Effect

De volgende conclusies zijn te trekken:

Waterkeringen (zeer hoog)

De primaire en secundaire waterkeringen scoren het hoogst. Het falen van de deze voorzieningen zorgen op alle aspecten voor grote schade en raakt nagenoeg alle facetten van de samenleving, zowel burgers, overheid en bedrijven, zoals al in de voorgaande paragrafen beschreven.

Hoofdpersleiding Groningen (hoog)

Zoals beschreven leidt het falen van de deze persleiding tot een domino-effect naar andere voorzieningen. Ongecontroleerd vrijkomen van afvalwater is een bedreiging voor de volksgezondheid.

Waterleiding en productie (middel – hoog)

Functieverlies van de drinkwatervoorziening op meerdere locaties in- en rond de stad Groningen, vraagt beheersmaatregelen (nooddrinkwatervoorzieningen). Ondanks de beheersmaatregelen leidt dit tot een groot aantal getroffen en levert dit minimaal een maand vertraging op. Dat geldt tevens voor transportleidingen.

Primaire sluisen (hoog)

Primaire sluisen met een dubbele functie; spuien en schutten, scoren ook hoog. Op de afzonderlijke aspecten hebben zij geen uitschieters, maar de combinatie zorgt toch voor het nodige effect.

Spoornet en vaste bruggen hoofdroutes (middel)

Het regionale railnet met combi gebruik personen/ goederen scoort relatief hoog in de categorie 'middel'. Dat geldt tevens voor de vaste bruggen in de hoofdroutes over spoor en ook weg. Falen en uitval van deze voorzieningen zorgen voor een risico op ongelukken en een ontwrichting van de mobiliteit per spoor en weg.

Vervangend vervoer en routes voor personen en goederen of per schip (goederen) is een alternatief. Het vormt een zwaardere belasting op de bestaande infrastructuur.

Gevoeligheidsanalyse uitkomst

Via een gevoeligheidsanalyse keken wij of de uitslag niet te veel wordt scheefgetrokken door één bepaald aspect. Bestudering van de scores, zie ook bijlage 5, laat zien dat:

- **Veiligheid** werd vooraf aangeduid als het doorslaggevende aspect. Zij keert op de juiste wijze terug in de verzamel-score. Alle objecttypen die op veiligheid hoog scoren, staan ook boven in rangschikking van het totaal-effect.
- **Cascade** laat een diffuser beeld zien en de scores zijn eerder ondersteunend dan doorslaggevend voor het totaal-effect. Bijvoorbeeld overige sluisen en het pompstation Appingedam scoren zeer hoog op Cascade, maar bij effect gemiddeld. Hierachter zit vaak een hoge score van één beheerder.
- **Ontwrichting** kent opvallend genoeg relatief weinig scores in de categorie hoog. De scores komen verklaarbaar terug in het totaal.
- **Objecttypen** een aantal objecttypen is slechts door één beheerder gescoord. Voorbeeld daarvan is het railnet. Dit kan een bias in de beoordeling inhouden. Check op de inhoudelijke argumenten en discussie in het PAI billijken vooralsnog de scores.

5 Kwetsbaarheid voor aardbevingen

In het kader van deze risicoanalyse betekent kwetsbaarheid de score uit de beoordeling van het risico op schade bij een bepaald object. De feitelijke analyse is gepresenteerd in bijlage 7. In dit hoofdstuk wordt de toelichting van de algemene principes die gehanteerd zijn om deze score te bepalen, beschreven. De resultaten zijn aan het einde van dit hoofdstuk in tabelvorm samengevat.

5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk is de beoordeling van de kwetsbaarheid van de beoordeelde objecten voor aardbevingen gepresenteerd. De kwetsbaarheid is de score op basis van een combinatie van de diverse aspecten die het gedrag en mogelijk (gedeeltelijk) falen van de constructie bij aardbevingen bepalen.

De aspecten die hierbij beschouwd worden zijn:

- de respons op de aardbevingsbelasting;
- de interactie met de fundering en de gevoeligheid voor bodemverweking;
- de robuustheid van de constructie, dit wordt met name bepaald door vervormingscapaciteit en redundantie in het ontwerp;
- de gevolgen van het bezwijken. Een vervorming van enige decimeters is voor het ene type constructie fataal terwijl bij een ander type geen functieverlies optreedt.

Een analyse van de kwetsbaarheid van objecten is alleen praktisch uitvoerbaar als wordt uitgegaan van daadwerkelijk gebouwde objecten met relevante constructieve en dynamische kenmerken. De reden is, dat er in zijn algemeenheid zeer veel kenmerken te noemen zijn die de kwetsbaarheid voor aardbevingen bepalen. Als echter een gebouw object wordt geanalyseerd, blijkt meestal sprake te zijn van slechts enkele significante kenmerken, die de kwetsbaarheid bij aardbevingen bepalen. Daarom is voor de beoordeling van de kwetsbaarheid voor aardbevingen gekozen voor de volgende methodiek. Binnen de objectcategorieën zijn representatieve objecten gekozen, waarvoor het gedrag van het object bij seismische belasting wordt geanalyseerd. De beoordeling van de kwetsbaarheid voor aardbevingen van een objectcategorie is vervolgens gebaseerd op de analyse van deze concrete objecten.

In het kader van de kwalitatieve analyse t.b.v. de prioritering worden geen berekeningen gemaakt, maar wordt op basis van “engineering judgement” een beschrijving van de optredende mechanismen en een inschatting van de kans op falen gemaakt.

Indien al kennis uit literatuur beschikbaar is, wordt deze meegenomen in de beschouwing. Naast het feit dat berekeningen buiten de scope van de opdracht vallen, zijn berekeningen alleen maar zinvol als gedetailleerde informatie over een object beschikbaar is. De reden hiervoor is dat kleine verschillen in uitgangspunten tot grote verschillen in uitkomsten kunnen leiden. Aangezien gedetailleerde informatie niet aanwezig is, moet worden gerekend met aangenomen eigenschappen. Het presenteren van uitkomsten van een berekening die is gebaseerd op aangenomen eigenschappen, leidt tot een schijnnaauwkeurig. Dit is niet gewenst. Ondanks dat een relatief klein verschil in het ontwerp van een object een aanzienlijke invloed kan hebben op

de aardbevingsbestendigheid, is het wel mogelijk om de punten die het verschil bepalen te benoemen en hier een handvat te bieden voor de selectie van kritische objecten.

De enige berekening die voor deze risicoanalyse toch gemaakt is, is een berekening van de taludstabiliteit, zie bijlage 7, paragraaf 2.1.

In de beoordeling worden ook de onderstaande invloeden meegenomen:

- de zwaarte van de bevingen op basis van de locatie in het gebied;
- de aan te houden herhalingstijd op basis van de gevolgklasse van de constructie en de invloed van het bezwijken door een aardbeving.

Dit is in paragraaf 5.2 t/m 5.4 nader uitgewerkt.

Door de grote verscheidenheid aan objecten, ontbrekende kennis en ontwerpgegevens, en de relatieve onvoorspelbaarheid van dynamische effecten kunnen voor objectcategorieën geen harde grenswaarden voor toelaatbare grondversnellingen vastgesteld worden. In plaats daarvan wordt bij de beoordeling van de kwetsbaarheid de grondpiekversnelling (PGA) meegenomen en wordt een rangorde bepaald.

Naast de analyse op basis van algemene kenmerken worden, indien van toepassing, voor diverse objectcategorieën kenmerken genoemd met een (on)gunstige invloed op de kwetsbaarheid. Hierdoor kunnen de beheerders op basis een combinatie van de locatie binnen het aardbevingsgebied en de specifieke kwetsbaarheden een selectie maken van objecten met een prioriteit voor een nadere beoordeling.

5.2 Definitie van de score op kwetsbaarheid

Uit de analyse van de kwetsbaarheid volgt een score in 5 klassen. In de beschrijving van de objecten wordt in eerste instantie gesproken in termen van kansen en kwetsbaarheid in “absolute” zin. In de uiteindelijk beoordeling en de bepaling van de kritikaliteit, de combinatie van kwetsbaarheid en effect, wordt een relatieve ordening aangehouden.

In de onderstaande tabel zijn de definities van de tabelscores voor het combineren met de gevolgen, benaming van de kwetsbaarheid en de kans op schade weergegeven.

Tabelscore kwetsbaarheid	Benaming relatieve score	Beschrijving in kans op falen	Beschrijving in termen van kwetsbaarheid
--	Zeer laag	Zeer onwaarschijnlijk	Hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar
-	Laag	Zeer klein	Waarschijnlijk niet kwetsbaar
0	Middel	Klein	Mogelijk kwetsbaar
+	Hoog	Redelijk groot	Waarschijnlijk kwetsbaar
++	Zeer hoog	Groot	Kwetsbaar

Tabel 5-1: definities van benaming van de kwetsbaarheid

Bij objecten die in het hele gebied voorkomen, is de kans op schade gerelateerd aan de zwaarte van de beving in de kern van het gebied en de gevolgklasse/herhalingstijd die in het algemeen voor het betreffende object van toepassing is.

Bij specifieke objecten, die gekoppeld kunnen worden aan de locatie in het gebied, wordt de kans beschreven op basis van de aardbevingsbelasting op de betreffende locatie. In dit geval wordt dit expliciet genoemd in de beoordeling van het object.

In bepaalde gevallen is het door gebrek aan informatie of in het geval van afwijkende constructievormen niet goed in te schatten wat de kwetsbaarheid zal zijn. In dat geval wordt de beoordeling conservatief benaderd en zal de score voor kwetsbaarheid door nader onderzoek waarschijnlijk lager uitvallen, dan wat blijkt uit de risicoanalyse in dit rapport.

Bij het bepalen van de (gevolg) schade is uitgegaan van het volledig bezwijken van de constructie. In veel gevallen zal er sprake zijn van partieel bezwijken, waarbij een constructie wel (tijdelijk) onbruikbaar wordt, maar waarbij de schade snel hersteld kan worden. De aard van de schade is daarom meegewogen in de beoordeling van de kwetsbaarheid. Bij 'beperkte' relatief snel te herstellen schade wordt de beoordeling in gunstige zin bijgesteld. De toetsing wordt, in lijn met de NPR 9998, gebaseerd op het Near Collapse (NC) criterium. Dat wil zeggen dat de constructie niet mag instorten maar dat wel lokale schade kan ontstaan. Zie ook paragraaf 6.2.

5.3 De zwaarte van de aardbeving en gebiedsindeling

De aardbevingen door gaswinning vinden plaats op een diepte van 2,5 tot 3,5 km onder maaiveld. Het aardbevings signaal plant zich voort door de ondergrond en resulteert aan het maaiveld in horizontale en verticale versnellingen. De grootte van de versnellingen nabij het maaiveld zijn afhankelijk van de karakteristieken van de beving, de afstand tot het centrum van de beving en van de bodemopbouw.

Aan de oppervlakte beslaat het invloedgebied van een beving globaal een cirkel met een diameter van 6 km. In het algemeen is het kenmerk van de door gaswinning geïnduceerde bevingen ten opzichte van tektonische bevingen, dat de geïnduceerde bevingen relatief ondiep zijn en een korte tijdsduur hebben. De predictie van de aard en zwaarte van de bevingen en de effecten op maaiveld zijn nog steeds onderwerp van onderzoek.

Hoewel NPR 9998 is opgesteld voor gebouwen, is Antea Group van mening dat het seismische gedeelte in hoofdstuk 3 van de NPR 9998 op dit moment, binnen het dossier aardbevingen, het meest bruikbaar is voor deze kwalitatieve risicobeoordeling van infrastructuur objecten.

Het KNMI heeft in 2016 een nieuwe kaart met PGA-waardes gepubliceerd op basis van het winningsplan 2016. De PGA-waardes op deze kaart zijn lager dan op de kaart uit de NPR. Omdat deze kaart echter niet gekoppeld is aan responspectra, zoals deze wel in de NPR zijn opgenomen, is de nieuwe kaart vooralsnog niet toegepast.

Zeer recent, na het opstellen van de inhoudelijke delen van deze rapportage, is een nieuwe contourenkaart gepubliceerd. Daarnaast zijn er via een webtool bij NEN responspectra per locatie te downloaden. In het algemeen is de PGA lager dan op basis van de gehanteerde waardes in deze rapportage. Ook de elastische responspectra lijken bij een eerste globale beoordeling gunstiger dan de gehanteerde waardes. Naar verwachting hebben deze wijzigingen geen significante invloed op de relatieve prioritering in deze kwalitatieve risicobeoordeling.

Verfijndere methoden voor de toetsing op aardbeving zijn voor een kwalitatieve risicoanalyse niet toepasbaar, omdat deze weliswaar meer nauwkeurig zijn, echter rekentechnisch veel complexer zijn.

Voor de risicoanalyse, is daarom uitgegaan van de contourplot in figuur 3.1 van NPR 9998 (zie figuur 5-1). De figuur geeft de piekgrondversnelling (PGA) contouren met een referentietijd van 475 jaar. De versnelling is uitgedrukt in de gravitatie constante g (circa 10 m/s^2).



Figuur 5-1: PGA-contouren conform de NPR 9998 rev. 2015.

Als er in de ondergrond in de bovenste 10 meter sprake is van een pakket met slappe veenlagen van meer dan 1 meter diep, zijn de versnellingen globaal een factor 1,5 groter dan een “normale” bodemopbouw waar de PGA-contouren in figuur 5-1 betrekking op hebben.

In de beoordeling op kwetsbaarheid is deze specifieke aanvulling van de PGA contouren niet meegenomen.

Voor het gebied buiten de 0,04 G contour behoeft volgens de NPR 9998 geen controle op aardbevingen plaats te vinden. Een verfijning van de aardbevingskarakteristieken naar locatie, herhalingstijd en frequenties kan/moet bij een concrete controle van een object uiteraard wel doorgevoerd worden.

5.4 Gevolgklassen en herhalingstijden

De PGA-contouren conform figuur 5-1 zijn gebaseerd op een herhalingstijd van 475 jaar. Bij de feitelijke beoordeling hoort de herhalingstijd afgestemd te worden op de gevolgklasse van het object. Hierbij wordt voor constructies als bruggen, leidingen etc. een andere methodiek gevolgd dan voor waterkeringen.

De reden voor dit onderscheid is het feit dat “constructies” zijn gedimensioneerd op basis van belastingen die veel dichter bij de gemiddelde, in de dagelijkse praktijk aanwezige belastingen liggen, dan dat bij waterkeringen het geval is.

Waterkeringen zijn veelal ontworpen op basis van een maatgevend hoogwater dat maar zelden optreedt. Naar alle waarschijnlijkheid is bij een waterkering de bij een aardbeving aanwezige belasting veel lager dan de maatgevende ontwerpbelasting. Daarom is er voor waterkeringen een afwijkende systematiek gehanteerd voor het bepalen van de herhalingstijd ten opzichte van “constructies”.

5.4.1 Herhalingstijd voor constructies

De herhalingstijdperiode voor constructies wordt gekoppeld aan de gevolgklasse die voor een object van toepassing is. De gevolgklassen zijn gedefinieerd in de NEN-EN 1990, tabel B1 (hier tabel 5-2).

Gevolgklasse CC	Omschrijving
CC3	Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of zeer grote economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.
CC2	Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, aanzienlijke economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.
CC1	Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of kleine of verwaarloosbare economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

Tabel 5-2: Gevolgklassen zoals gedefinieerd in de NEN-EN 1990, tabel B1

In tabel 2.2 van de NPR 9998 (opgenomen als tabel 5-3 in dit rapport) is de herhalingstijd, en de daaraan gerelateerd belasting- en veiligheidsfactoren voor gebouwen weergegeven. Voor de beoordeling van de bestaande infra wordt voor deze risicoanalyse van dezelfde waardes uitgegaan als voor gebouwen in de betreffende gevolgklasse.

De betreffende methodiek is van toepassing op constructies van staal, beton, metselwerk en heeft betrekking op het constructief gedrag in het betreffende materiaal. Voor waterkeringen, geotechnische constructies etc. worden andere definities en daaraan gekoppelde herhalingsstijd toegepast.

Tabel 2.2 — Minimumwaarden voor de betrouwbaarheidsindex β , herhalingsstijd $T_{LS,ref}$ en factoren k_{ag} en γ_M horende bij de rekenwaarde van de piekgrondversnelling op maaiveldniveau ($a_{g,d}$) voor verbouw en afkeuren bij grenstoestanden NC, SD en DL

Gevolgklasse	Nadere aanduiding ^a	Betrouwbaarheidsindex β^b [-]	Referentieperiode ^c T_{ref} [jaar]	Herhalingsstijd $T_{LS,ref}$ en factoren k_{ag} en γ_M per grenstoestand								
				NC		SD		DL				
				$T_{LS,ref}$ [jaar]	k_{ag} [-]	γ_M [-]	$T_{LS,ref}$ [jaar]	k_{ag} [-]	γ_M [-]	$T_{LS,ref}$ [jaar]	k_{ag} [-]	γ_M [-]
CC3	A gebouwen met vitale processen als geduid in tabel NB.21 van de nationale bijlage van NEN-EN 1990 onder CC3, en alle ziekenhuizen	3,3	15	3 000	1,8	1,3	f	f	f	f	f	f
	B andere gebouwen die volgens tabel NB.21 van de nationale bijlage van NEN-EN 1990 in CC3 vallen	3,3	15	3 000	1,8	1,3	f	f	f	f	f	f
CC2	A gebouwen als geduid in tabel NB.21 van de nationale bijlage van NEN-EN 1990 vallend onder CC2 met vitale functies, met uitzondering van ziekenhuizen tot en met 3 bouwlagen ^d	3,1	15	1 500	1,5	1,2	f	f	f	f	f	f
	B gebouwen niet vallend onder A of C	3,1	15	1 500	1,5	1,2	f	f	f	f	f	f
	C gebouwen of delen daarvan, die binnen twee weken na een aardbeving te herstellen zijn	3,1	15	1 500	1,5	1,2	f	f	f	f	f	f
CC1B	A gebouwen niet vallend onder B en C	2,8	15	800	1,2	1,1	f	f	f	f	f	f
	B gebouwen of delen daarvan, die binnen twee weken na een aardbeving te herstellen zijn	2,8	15	800	1,2	1,1	f	f	f	f	f	f
CC1A	A gebouwen niet bestemd voor het verblijf van mensen ^e	*	*	*	*	*	f	f	f	f	f	f

^a In beginsel geldt de indeling van de gevolgklassen volgens tabel NB.20 van de nationale bijlage van NEN-EN 1990, die identiek is aan die in NEN 8700:2011, waarbij de voorbeelden daarvan zoals gegeven in tabel NB.21 van die nationale bijlage doch gewijzigd, zoals aangevuld in de tweede kolom, kunnen worden gehanteerd. De betrouwbaarheidsindex β is samengesteld uit een streefwaarde voor het individueel risico, gecombineerd met een kans op overlijden gegeven de kans op voortschrijdende instorting van de bouwconstructie (zie het rapport TNO-2015-R12071A [36]). Wanneer aanloonaanbaar wordt gemaakt dat deze kans voor dit specifieke gebouw anders is dan aangenomen in dat rapport, dan kan dit leiden tot andere getalwaarden voor dit specifieke gebouw.

^b De betrouwbaarheidsindex β geeft een betrouwbaarheid van de seismische elementen voor de restlevensduur van 15 jaar, vergelijkbaar met tabel B.2 van NEN 8700.

^c De basisreferentieperiode is 15 jaar op grond van NEN 8700, in de gevallen waarbij op grond van tabel NB 1 – 2.1 van de nationale bijlage van NEN-EN 1990, of overeenkomstige tabel in NEN 8700:2011, de referentieperiode is gesteld op andere waarden, gelden dezelfde herhalingsstijden $T_{LS,ref}$ en factoren voor k_{ag} en γ_M als in deze tabel gegeven.

^d Alle ziekenhuizen worden in deze NPR ingedeeld in de hoogste gevolgklasse (CC3) vanwege hun maatschappelijke belang.

^e Voor deze categorie gebouwen wordt ontwerp op aardbevingsbelastingen niet noodzakelijk geacht, omdat het verlies van mensenlevens nagenoeg is uitgesloten, en/of zeer kleine of nagenoeg verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving aan de orde zijn. Desgewenst kan privaatrechtelijk voor verbouw en/of afkeur worden uitgegaan van 2,8 voor β , 1 jaar voor de referentieperiode, 200 jaar voor de herhalingsstijd $T_{LS,ref}$ bij grenstoestand NC, 1,2 voor k_{ag} en 1,1 voor γ_M .

^f Niet van toepassing, er is geen waarde gegeven. Privaatrechtelijk kunnen hier tussen opdrachtgever en opdrachtnemer dan wel door de eigenaar nadere criteria worden vastgesteld.

Tabel 5-3: Herhalingsstijd en de daaruit voorkomende belastingfactoren conform de NPR 9998.

Bij de beoordeling van de objecten wordt aangegeven wat de gevolgklasse is die wordt geadviseerd voor de betreffende constructie. De gevolgklasse wordt niet meegewogen in de beoordeling van de objecten maar uiteindelijk meegenomen in de bepaling van de prioriteit. Bij constructies die afhankelijk van hun locatie in verschillende gevolgklasse vallen (bijvoorbeeld viaducten die zowel in het hoofdwegennet als wel in het secundaire wegennet voorkomen) wordt uitgegaan van CC2. Constructies in CC3 kunnen door de beheerder bij de bepaling van de prioriteit 1 klasse hoger geclassificeerd worden dan constructies in CC2. Constructies in CC1 worden niet expliciet beschouwd in deze risicoanalyse, omdat de gevolgen relatief klein zijn komen deze objecten nooit hoog uit in de totaalscore op kritikaliteit.

5.4.2 Herhalingstijd voor waterkeringen

Bij waterkeringen is er een kleine kans op het samenvallen van de maatgevende waterstand en een (extreme) aardbeving. In de veiligheidsfilosofie voor regionale keringen wordt hier op ingegaan. Deze veiligheidsfilosofie is opgenomen in het document: R. Jongejan (2016) - Beoordeling aardbevingsbestendigheid van regionale waterkeringen; versie concept; blz. 22. In de veiligheidsfilosofie voor primaire keringen wordt hier tevens op ingegaan. Deze is opgenomen in het document Jongejan, R., Chacko, J., Giannakou, A., Vasileios, D., Tasiopoulou, P. (2017) Code calibration for coupled, effective stress FEM-assessments of the primary flood defenses at Eemshaven – Delfzijl; versie: final.

Het veiligheidsniveau van regionale keringen wordt uitgedrukt in IPO-klassen, waarmee kan worden bepaald met welke waterstand en met welke zekerheid een regionale kering moet worden ontworpen. Voorbeeld: De keringen langs het Eemskanaal zijn een IPO-klasse V kering. De primaire keringen kennen een vereist veiligheidsniveau per dijktraject. Dit heeft een zekere relatie met het veiligheidsniveau van de regionale keringen, maar is niet geheel vergelijkbaar⁸. Hieronder zijn voor regionale en primaire keringen de herhalingstijden van de waterstand die zonder falen gekeerd moet worden, of de aardbeving die zonder falen moet worden doorstaan, weergegeven:

- IPO-klasse I: hoogwater 1x per 10 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 25 jaar;
- IPO-klasse II: hoogwater 1x per 30 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 60 jaar;
- IPO-klasse III: hoogwater 1x per 100 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 165 jaar;
- IPO-klasse IV: hoogwater 1x per 300 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 400 jaar;
- IPO-klasse V: hoogwater 1x per 1.000 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 1.100 jaar;
- Dijktraject 6-6: hoogwater 1x per 1.000 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 1.056 jaar;
- Dijktraject 6-7: hoogwater 1x per 3.000 jaar, of aardbevingsbelasting 1x per 2.290 jaar.

Bovenstaande waarden wijken af van NPR 9998. Omdat genoemde studies specifiek zijn uitgevoerd voor dit gebied kan gesteld worden, dat dit een bewuste keuze is die gerelateerd is aan de verschillen in de objecteigenschappen van dijken en NPR 2015 versus NPR 2017. Bij de primaire keringen is namelijk in eerste instantie (tot en met 2016) gerekend met herhalingstijd van 3057 en 6531 jaar. Deze waarden zijn in 2017 na een uitvoerige analyse met ongeveer een factor 3 aangepast⁹, naar boven genoemde waarden voor beide dijktrajecten. Indien de literatuur uitgevoerd is bij herhalingstijden extremer dan 1x per 1000 jaar, zijn in de analyses geen aanvullende correcties meegenomen in de beoordeling.

5.4.3 Herhalingstijd voor kades en taluds

De gevolgen van falen van een talud dat lokaal afschuift of een kade die (deels) bezwijkt (maar zonder de functie van waterkering) zijn beperkt. Op basis van de definitie van de gevolgklasse als beschreven in tabel 5-2 vallen deze objecten onder CC1. Tenzij anders aangegeven, is voor de beoordeling in bijlage 7 op deze gevolgklasse gebaseerd.

⁸ Bij regionale keringen wordt gewerkt met een overschrijdingskans benadering en bij primaire keringen wordt gewerkt met een overstromingskans benadering.

⁹ Jongejan, R. Chacko, J., Giannakou, A., Vasileios, D., Tasiopoulou, P. (2017) Code calibration for coupled, effective stress FEM-assessments of the primary flood defenses at Eemshaven – Delfzijl; versie: final.

5.5 Het gedrag van objecten onder aardbevingsbelastingen

Er is een verschil tussen het gedrag van grondconstructies en constructies in de grond ten opzichte van bovengrondse constructies. Ondergronds worden grondlichamen en funderingen “aangestoten” door de beweging van het onderliggende grondpakket. Er is maar in beperkte mate sprake van opslinging als de eigenfrequenties van het object samenvallen met de frequenties in het aardbevingspectrum. Bij bovengrondse constructies speelt de mate waarin de aardbeving tot opslinging leidt wel een belangrijke rol.

5.5.1 Effecten in de grond

Door de versnellingen in de grond kunnen de onderstaande effecten optreden:

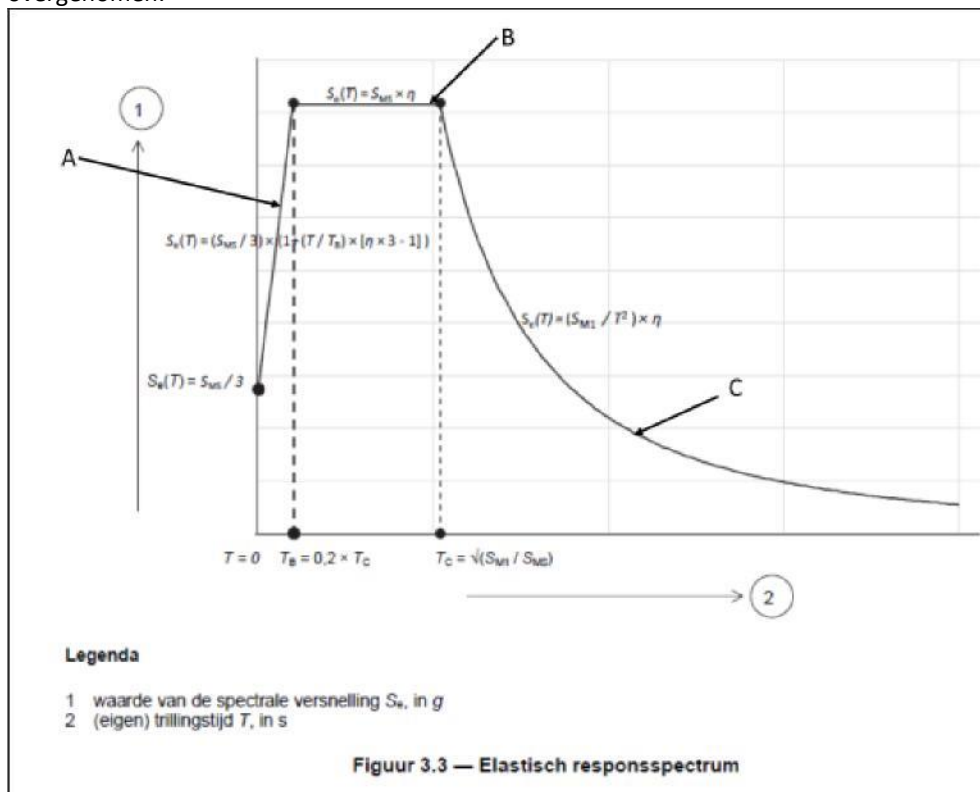
- a) het afschuiven van hellingen door horizontale krachten;
- b) verdichting van zand;
- c) verweking van de ondergrond door wateroverspanning;
- d) extra belastingen tegen grondkeringen.

In bijlage 7, hoofdstuk 2.1 is een nadere uitwerking van deze effecten gepresenteerd.

5.5.2 Effecten bij bovengrondse constructies

Bij bovengrondse constructies is de impact van een aardbeving sterk afhankelijk van de eigenfrequenties van de constructie. Als deze samenvallen met frequenties in de het aardbevingspectrum treedt opslinging op en is de effectieve belasting uit de aardbeving veel groter dan bij een constructie waarbij de eigenfrequenties buiten het aardbevingspectrum vallen.

In de onderstaande grafiek is het horizontaal elastisch responspectrum uit de NPR overgenomen.



Figuur 5-2: Elastisch respons spectrum voor horizontale versnellingen van bovengrondse constructies conform NPR 9998

In deze figuur is op de horizontale as de trillingstijd uitgezet. Op de verticale as is de verhouding tussen de versnellingen in de constructie t.o.v. de versnellingen van de ondergrond weergegeven. Het “plateau” dat met B is aangegeven is het kritische gebied voor de trillingstijd bij de eigenfrequenties van de constructie met betrekking tot aardbevingen.

Binnen dit kritische gebied is de rekenwaarde van de extra belasting door een beving tot een orde 4 hoger dan de PGA van de ondergrond. Het kritische gebied met betrekking tot de eigenfrequenties ligt voor de horizontale beweging in het gebied met een trillingstijd tussen de 0,15 en 0,75 seconde.

In bijlage 7 hoofdstuk 2 is de dynamische respons nader omschreven en volgt op basis van paragraaf 5.2 t/m 5.4 een diepere en gedetailleerde onderbouwing van de objecten.

5.6 Scoretabellen kwetsbaarheid per object

De feitelijke beschrijving en gedetailleerde beoordeling van de kwetsbaarheid van objecten is gepresenteerd in bijlage 7.

Voor de presentatie van de beoordeling is een onderscheid gemaakt tussen de locatie gebonden en de niet locatie gebonden objecten.

Bij de niet locatie gebonden objecten is de kwetsbaarheid gebaseerd op de maximale PGA van het gebied. Op basis van de zonering als beschreven in paragraaf 7.1 kan de infrabeheerder de kwetsbaarheid op een specifieke locatie bepalen.

Om de kwetsbaarheid te beoordelen zijn concrete objecten beschreven. Deze objecten komen niet 1:1 overeen met de beschrijving van de objecttypes zoals deze benoemd zijn voor het bepalen van de effecten. Daarom is een extra kolom aan de tabel toegevoegd om aan te geven of deze expliciet is meegenomen in de overall score van het objecttype. In paragraaf 5.6.1. en 5.6.2. zijn de samenvattingen op basis van de objectbeschrijvingen conform bijlage 7 opgenomen. In paragraaf 5.6.3. op basis van de objecttype zoals deze benoemd zijn voor de beoordeling van de kritikaliteit en prioriteit.

5.6.1 Locatie gebonden objecten score op basis van bijlage 7

Bij een beperkt aantal objecten is beoordeling op de kwetsbaarheid gebaseerd op *de PGA, zoals deze voor het concrete object van toepassing is, op de contourenkaart.*

Voor deze objecten hoeft voor de bepaling van de prioriteit geen correctie voor de locatie in het gebied plaats te vinden. Daarom is de score van deze objecten apart in tabel 5-7 gepresenteerd.

Objecttypen	Kwetsbaarheid	Meegenomen in kritikaliteit
Primaire keringen		
dijken en dammen	Zeer laag	x
kunstwerken (gemalen)	Laag	x
kunstwerken (leidingkruisingen)	Zeer laag	
zeesluizen	Laag	x
Spoorwegen		
baan zonder kunstwerken - hoofdrailnet	Laag	x
goederenlijnen (GSP)	Hoog	x

Tabel 5-7 Score kwetsbaarheid van locatie gebonden objecten

5.6.2 Niet-locatie gebonden objecten score op basis van bijlage 7

Voor de meeste objecten geldt dat deze op meerdere locaties in het gebied voorkomen. *De kwetsbaarheid is bepaald alsof het object in de kern van het gebied ligt (worst case benadering).* De score van deze objecten is in tabel 5-8 gepresenteerd.

In hoofdstuk 7 – Prioritering KRA - wordt vanuit hier een vertaalslag naar de locatie binnen de PGA contouren toegevoegd.

Objecttypen	Kwetsbaarheid	Meegenomen in kritikaliteit
Viaduct/brug met hooggelegen landhoofden/tussenpijlers		
bruggen en viaducten met een doorgaand (ongedilatteerd) betonnen dek	Laag	x
boogbruggen metselwerk/monumentale bruggen	Zeer hoog	
Onderdoorgangen		
volledig gefundeerd op palen/ankers	Zeer laag	
met verschillende funderingswijzen (deel moten op palen, deel op staal)	Middel	
Beweegbare bruggen		
basculebruggen	Hoog	
moderne ophaalbruggen	Hoog	x
overige beweegbare bruggen	Hoog	x
Spoorbruggen		
kleine spoorbruggen met metselwerk landhoofden	Hoog	x
kleine spoorbruggen met betonnen landhoofden	Laag	
overige spoorbruggen	Laag	
Duikers	Zeer laag	
Regionale keringen		
dijken en dammen	Zeer laag	x
gemalen	Laag	x
sluizen (robuust, klein verval)	Zeer laag	
sluizen (robuust, groot verval)	Middel	x
Vaarwegen en oevers		
groene taluds steil	Laag	x
groene taluds flauw	Zeer laag	
Stalen damwand		
verankerde damwanden	Middel	x
Kademuren		
metselwerk kades	Hoog	x
Wegen		
hooggelegen (> 4 m boven teen talud, steil talud < 1:1,5)	Middel	
laaggelegen (< 4 m boven teen talud)	Zeer laag	x
Wegmeubilair		
asymmetrisch (mast één zijde)	Middel	
overig	Laag	x
Spoorwegen		
regionale lijnen	Hoog	x
perrons	Zeer laag	x
portalen	Laag	x
overwegen	Laag	x
schakelkasten op knik talud	Hoog	
schakelkasten op vlak maaiveld	Laag	
Ondergrondse infra		
hoofdgasleiding > 1964	Zeer laag	x
hoofdgasleiding < 1964	Middel	x
GOS-locaties*	Zeer hoog	x
Chloorleidingen	Zeer laag	x
Datakabels	Zeer laag	x
Elektriciteit		
hoogspanningsmast	Hoog	x
transformatoren	Zeer laag	x
hoogspanningsstations**	Hoog	x
Ondergrondse kabels	Zeer laag	x
Water-/afvalwatervoorziening		
Drinkwaterleiding	Zeer laag	x
Afvalwaterleidingen	Zeer laag	x
RWZI	Middel	x
Pompstations	Zeer laag	x
Overige constructies		
Windturbines	Zeer laag	x
Zendmasten / C2000	Zeer laag	x

Tabel 5-8 Score kwetsbaarheid niet-locatie gebonden objecten

- * Bij de beoordeling van het gasnet is de hoge score van de metselwerk gebouwen van de GOS niet meegenomen in de eindscore. Het eventueel (gedeeltelijk) bezwijken van een enkel kwetsbaar gebouw zal maar een beperkte invloed hebben op de gaslevering.

- ** Bij de beoordeling van hoogspanningsstations is zwaar meegewogen dat de kans op falen van een kritieke component relatief groot is omdat er bij een station erg veel componenten zijn.

- *** Bij de beoordeling van RWZI's is uitgegaan van een gewogen gemiddelde van de verschillende objecten die voorkomen. De risico van het falen van een metselwerk gebouw met een belangrijke functie is daarin relatief zwaar meegewogen.

5.6.3 Scoretabel op basis van de objecttypen beoordeling kwetsbaarheid

In de tabel 5-9 is de beoordeling op kwetsbaarheid voor de objecttypes zoals deze gebruikt wordt voor de bepaling van de kritikaliteit gepresenteerd, vanuit tabellen 5-7 en 5-8 via de aangekruiste objecten.

Objecttype	Kwetsbaarheid
Autosnelwegen	Zeer laag
Stroomwegen	Zeer laag
Gebiedsontsluitingswegen	Zeer laag
Erftoegangswegen	Zeer laag
Overig binnen bebouwde kom	Zeer laag
Overig buiten bebouwde kom	Zeer laag
Baan zonder kunstwerken - Hoofdrailnet (locatie gebonden)	Laag
Regionale lijnen	Hoog
Goederenlijnen (GSP)	Hoog
Perrons	Zeer laag
Portalen	Laag
Overwegen	Laag
Schakelkasten op knik talud	Hoog
Schakelkasten op vlak maaiveld	Laag
Primaire waterkeringen (locatie gebonden)	Zeer laag
Regionale waterkeringen	Zeer laag
Overige oeverconstructies	Middel
Overige groene oevers	Laag
Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal)	Hoog
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)	Laag
Viaduct 1 hoofdroute	Laag
Viaduct overig/lokaal	Laag
Vaste bruggen hoofdroutes	Laag
Beweegbare bruggen hoofdroutes	Hoog
Vaste bruggen overig	Laag
Beweegbare brug overig	Hoog
Primaire sluisen (spui/schut) (locatie gebonden)	Laag
Primaire sluisen (schut) (locatie gebonden)	Laag
Overige sluisen (spui/schut)	Middel
Overige sluisen	Middel
Gemalen	Laag
380 kV-net (landelijk)	Hoog
220 kV-net (Noord-Nederland)	Hoog
110 kV-net (regionaal)	Hoog
lokaal (ondergronds)net	Zeer laag
Hoofdgasleiding > 1964	Zeer laag
Hoofdgasleiding < 1964	Zeer laag
Datakabels	Zeer laag

Waterleiding Transport (400-700 mm)	Zeer laag
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)	Zeer laag
Rioolpersleiding	Zeer laag
Overige riolering	Zeer laag
Windmolens	Zeer laag
Distributie pompstation Appingedam	Zeer laag
Distributie pompstations Usquert	Zeer laag
Zendmasten	Zeer laag
(Grijze) verdeelkasten	Laag
Duikers	Zeer laag
Warmtenet	Zeer laag
Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.)	Laag
Monumentale bruggen	Zeer hoog
RWZI (riool water zuiver installatie)	Middel
VKA-leiding	Zeer laag
Hoofdrioolpersleiding door stad Groningen (locatie gebonden)	Zeer laag

Tabel 5-9 Scoretabel op basis van objecttypen voor bepaling kritikaliteit

In de tabel 5-9 is zowel de *locatie gebonden* objecten als de *niet locatie gebonden* objecten weergegeven.

Bij de locatie gebonden objecten, naar de rand van het gebied resulteert dat in een relatief gunstige score. Bij de bepaling van de prioriteit worden deze weer separaat gerapporteerd.

6 Kritikaliteit van infrastructuur

In dit hoofdstuk combineren wij het effect en de kwetsbaarheid van de diverse typen infrastructuur voor een aardbeving. Tezamen leidt dit tot een score voor de kritikaliteit.

6.1 Hoe is de 'kritikaliteit' bepaald?

Uiteindelijk leiden de scores op effect en kwetsbaarheid samen tot een maat voor de kritikaliteit. De combinatie-score is in tabel 6-1 uitgezet.

Effect	Kwetsbaarheid	Zeer hoog	Hoog	Middel	Laag	Zeer laag
Zeer hoog		V	V	IV	III	II
Hoog		V	IV	III	II	I
Middel		IV	III	II	II	I
Gering		III	II	II	I	I
Zeer gering		II	I	I	I	I

Kritikaliteit klasse	
V	zeer hoog
VI	hoog
III	middel
II	gering
I	zeer gering

Tabel 6-1 Bepaling kritikaliteit uit effect en kwetsbaarheid

6.2 Combinatie effect en kwetsbaarheid

Objecttype	Effect	Kwetsbaarheid	Kritikaliteit	
Autosnelwegen	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Stroomwegen	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Gebiedsontsluitingswegen	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Erftoegangswegen	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Overig binnen bebouwde kom	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Overig buiten bebouwde kom	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Baan zonder kunstwerken - Hoofdrailnet	middel	Laag	II	gering
Regionale lijnen	middel	Hoog	III	middel
Goederenlijnen (GSP)	gering	Hoog	II	gering
Perrons	middel	Zeer laag	I	zeer gering
Portalen	gering	Laag	I	zeer gering
Overwegen	middel	Laag	II	gering
Primaire waterkeringen	zeer hoog	Zeer laag	II	gering
Regionale waterkeringen	zeer hoog	Zeer laag	II	gering
Overige oeverconstructies	middel	Middel	II	gering
Overige groene oevers	gering	Laag	I	zeer gering
Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal)	gering	Hoog	II	gering
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)	middel	Laag	II	gering
Viaduct 1 hoofdroute	gering	Laag	I	zeer gering
Viaduct overig/lokaal	middel	Laag	III	middel
Vaste bruggen hoofdroutes	middel	Laag	II	gering
Beweegbare bruggen hoofdroutes	middel	Hoog	III	middel
Vaste bruggen overig	gering	Laag	I	zeer gering
Beweegbare brug overig	gering	Hoog	II	gering
Primaire sluisen (spui/schut)	hoog	Laag	II	gering
Primaire sluisen (schut)	middel	Laag	II	gering
Overige sluisen (spui/schut)	zeer gering	Middel	I	zeer gering
Overige sluisen	middel	Middel	II	gering
Gemalen	zeer gering	Laag	I	zeer gering
380 kV-net (landelijk)	gering	Hoog	II	gering
220 kV-net (Noord-Nederland)	gering	Hoog	II	gering
110 kV-net (regionaal)	gering	Hoog	II	gering
lokaal (ondergronds)net	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Hoofdgasleiding < 1964	middel	Zeer laag	I	zeer gering
Hoofdgasleiding > 1964	zeer gering	Zeer laag	I	zeer gering
Lokale gasleidingen	zeer gering	Zeer laag	I	zeer gering
Datakabels	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Waterleiding Transport (400-700 mm)	middel	Zeer laag	I	zeer gering
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Rioolpersleiding	middel	Zeer laag	I	zeer gering
Overige riolering	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Windmolens	zeer gering	Zeer laag	I	zeer gering
Distributie pompstation Appingedam	middel	Zeer laag	I	zeer gering
Distributie pompstations Usquert	zeer gering	Zeer laag	I	zeer gering
Zendmasten	zeer gering	Zeer laag	I	zeer gering
(Grijze) verdeelkasten	zeer gering	Laag	I	zeer gering
Duikers	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Warmtenet	zeer gering	Zeer laag	I	zeer gering
Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.)	zeer gering	Laag	I	zeer gering
Monumentale bruggen	gering	Zeer hoog	III	middel
RWZI (riool water zuiver installatie)	zeer gering	Middel	I	zeer gering
VKA-leiding	gering	Zeer laag	I	zeer gering
Hoofdrioolpersleiding door stad Groningen	hoog	Zeer laag	I	zeer gering

Tabel 6-2: Kritikaliteit als combinatie van effect en kwetsbaarheid

In tabel 6-2 zijn zowel de *locatie gebonden* objecten als de *niet locatie gebonden* objecten weergegeven.

Bij de locatie gebonden objecten, naar de rand van het gebied resulteert dat in een relatief gunstige score. Bij de bepaling van de prioriteit worden deze weer separaat gerapporteerd.

Resultaten laten zien, dat de categorie 'zeer hoog' en 'hoog' ontbreekt. Blijkbaar is er geen objecttype, dat in de combinatie op effect en kwetsbaarheid hoog tot zeer hoog scoort. In veel gevallen zien wij juist dat objecttypen die op effect zeer hoog scoren, juist op kwetsbaarheid veel lager uitkomen.

Een voorbeelden daarvan is: primaire en regionale waterkeringen. Omgekeerd is dit ook het geval, zoals bij monumentale bruggen en het elektriciteitsnet.

De termen 'near collapse' en 'total failure', is als kader gebruikt voor de KRA. De weging op basis van respons vanuit de beheerder en door engineering judgement, is bij de beoordeling van de kwetsbaarheid genuanceerd meegenomen.

De resultaten in tabel 6-2 zijn op basis van de effecten bij een totale uitval (total collapse). Dit is een reflectie uit de interviews met de beheerders. De beoordeling van de kwetsbaarheid op basis van het near collapse echter is het criterium van objecten, zoals die gehanteerd wordt in de NPR en de Eurocodes voor aardbevingen.

In veel gevallen zijn er "tussenvormen" bij zowel het effect als de kwetsbaarheid. De scores zijn wel nader bekeken en indien nodig genuanceerd op ongewenste combinaties van hoge scores op kritikaliteit met een vrij kleine kans van optreden. Op basis van een eigen analyse en opmerkingen van de beheerders op de conceptrapportages, zijn eerdere uitkomsten van de KRA doorlopen en bij een aantal beheerders zijn de scores aangepast.

Een volledige analyse met een foutenboom met kansen en gevolgen, waarbij dit nader is beschouwd valt buiten de scope van de KRA.

7 Prioriteiten infrastructuur

Met de kritikaliteitstabel en de juiste KNMI-kaart hebben wij een instrumentarium in handen, waarmee het PAI en ook de individuele beheerder kan bepalen wat er met zijn assetportfolio moet gebeuren en waar de prioriteit ligt.

7.1 Bepaling prioriteiten infrastructuur

Voor bepaling van de prioriteiten in de aanpak van kritische infrastructuur, wordt een rangschikking voor de objecttypen, tabel 7-1, op kritikaliteit en de (verwachte) PGA-contouren naar een 1 tot 5 schaal, deze schaal en indeling is relatief.

Prioriteit klasse	
Hoogste prioriteit	Nader onderzoek
Hogere prioriteit	
Gemiddelde prioriteit	
Geringere prioriteit	
Geringste prioriteit	Geen onderzoek of monitoring

Tabel 7-1: Gehanteerde indeling prioriteit

PGA-zones

Voor de indeling van het aardbevingsgebied zijn 5 zones (gebieden) aangehouden. Met dit aantal wordt een goed onderscheid bereikt in de prioriteiten tussen de objecttypen en in de lokalisering van de objecten in het gebied. De ligging van de zones is afhankelijk van de PGA-waarden op de KNMI-kaart die gehanteerd wordt. In de vertaaltabel zijn de PGA-waarden ingedeeld in regelmatige intervallen. Zone 1 anticipeert op de zwaarst verwachte bevingen. Zone 5 staat voor het gebied aan de rand en buiten het aardbevingsgebied.

In tabel 7-2 is de kritikaliteit en de PGA-zones gecombineerd tot MoSCoW-score.

	PGA-zone	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Kritikaliteit	Intervallen KNMI v1	> 0,30 g	0,20 - 0,30 g	0,10 – 0,20 g	0,05 – 0,10 g	< 0,05 g
V	Zeer hoog	Hoogste	Hoogste	Hogere	Gemiddelde	Geringe
IV	Hoog	Hoogste	Hogere	Gemiddelde	Geringe	Geringste
III	Middel	Hogere	Gemiddelde	Geringe	Geringe	Geringste
II	Gering	Gemiddelde	Geringe	Geringe	Geringste	Geringste
I	Zeer gering	Geringe	Geringste	Geringste	Geringste	Geringste

Tabel 7-2: Bepaling prioriteit per object/zone uit kritikaliteit en PGA-contour

7.2 Prioriteiten per objecttype locatie gebonden objecten

Kritikaliteit	Objecttype
II	Primaire waterkering (inclusief sluizen, gemalen) en hoofdrijsnet

Tabel 7-3: Prioriteit locatie gebonden objecten

7.3 Prioriteiten per objecttype niet-locatie gebonden objecten

Kritikaliteit	Objecttype	PGA zone				
		Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
V	Geen	Hoogste	Hoogste	Hogere	Gemiddeld	Gering
IV	Geen	Hoogste	Hogere	Gemiddeld	Gering	Geringste
III	Beweegbare bruggen hoofdroutes Monumentale bruggen Regionale lijnen	Hogere	Gemiddeld	Gering	Gering	Geringste
II	Overige oeverconstructies Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom) Vaste bruggen hoofdroutes Beweegbare brug overig Viaduct overig/lokaal Viaduct 1 of 2 hoofdroutes 380 kV-net (landelijk) 220 kV-net (Noord-Nederland) 110 kV-net (regionaal) Goederenlijnen (GSP) Regionale waterkeringen Overige oeverconstructies Overwegen Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal) Primaire sluisen	Gemiddeld	Gering	Gering	Geringste	Geringste
I	Perrons Autosnelwegen Stroomwegen Gebiedsontsluitingswegen Erftoegangswegen Vaste bruggen overig Datakabels Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm) Overige riolering Portalen Duikers Pompstations RWZI Overige groene oevers Lokaal (ondergronds)net Zendmasten (Grijze) verdeelkasten Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.) Hoofdgasleidingen Lokale gasleidingen/net Waterleiding Transport (400-700 mm) Rioolpersleiding VKA-leiding Gemalen Warmtenet Windmolens Overige sluisen	Gering	Geringste	Geringste	Geringste	Geringste

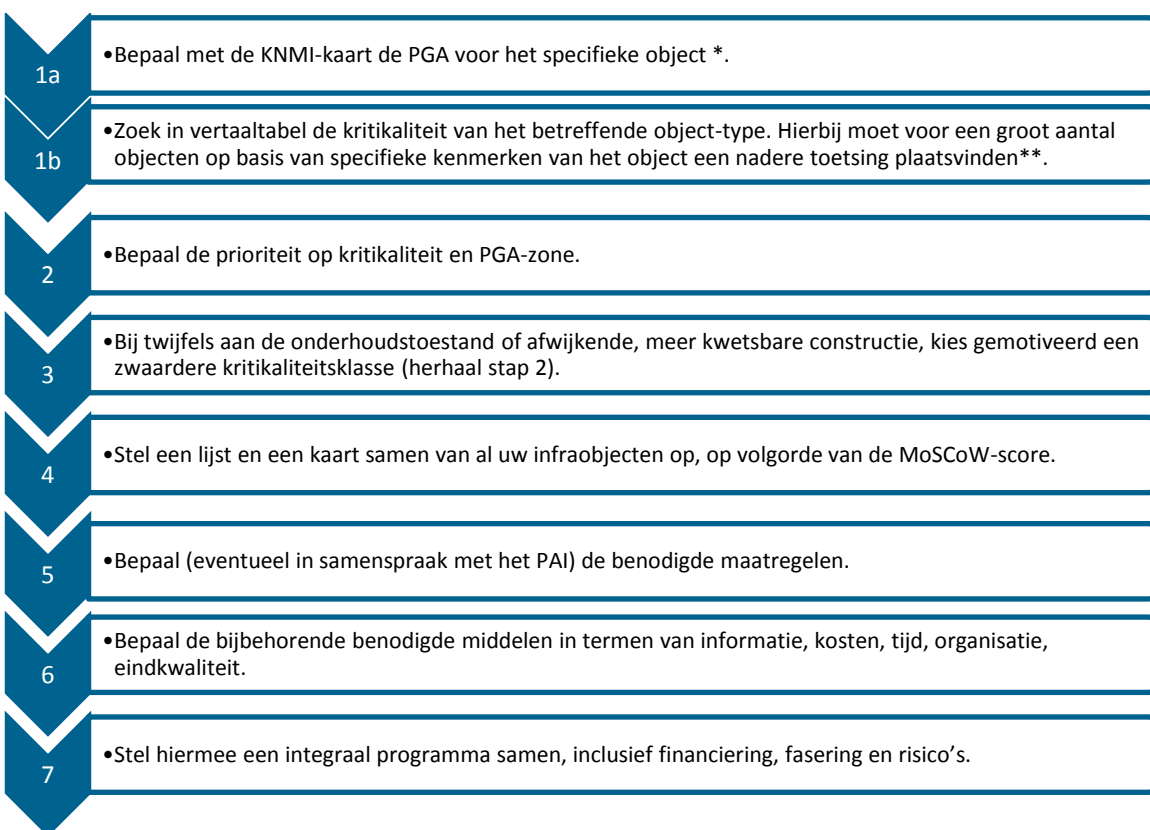
Tabel 7-4: Bepaling prioriteit per objecttype op basis van kritikaliteit en PGA-zone

8 Aanbevelingen gedragslijn

8.1 Handreiking programma beheerder

Maar wat betekent dat nu voor de individuele beheerder en zijn assetportfolio? Risicobeheersing is de eigenstandige verantwoordelijkheid van de infrabeheerder. Deze beheerder zal de hem toevertrouwde individuele assets moeten toetsen op hun kritikaliteit en op hun ligging op de contour-kaarten van het KNMI. Op basis van hun prioriteit bepaalt de beheerder zijn gedragslijn. Om de individuele infrabeheerders een handvat te geven om deze kwalitatieve risicoanalyse te kunnen toepassen op 'hun' objecten, is onderstaand stappenplan opgesteld.

STAPPENPLAN BEHEERDER AARDBEVINGSGEVOELIGE INFRASTRUCTUUR



* Voor locatie gebonden objecten is de PGA al verwerkt in de bepaling van de kritikaliteit.

** De prioritering in hoofdstuk 7 is gebaseerd op een algemene verschijningsvorm. In bijlage 7 zijn relevante, specifieke kenmerken benoemd die aanvullend meegewogen moeten worden voor de definitieve beoordeling.

Op basis van de prioritering per object of objecttype bepaalt de beheerder een gedragslijn hoe om te gaan met de risico's.

8.2 Verfijning beoordeling kritikaliteit

Zoals al eerder benoemd kunnen specifieke kenmerken een relatief grote impact hebben op de kwetsbaarheid. De beoordeling in hoofdstuk 7 is pas de eerste stap. Op basis van de aanvullende kenmerken als benoemd in bijlage 7 kan en moet de beheerder zelf voor een specifiek object de definitieve scores bepalen.

Hierbij moeten de onderstaande stappen doorlopen worden:

1) Toets op gevolgklasse:

1. Bij kunstwerken als bruggen, viaducten, RWZI's etc. is de beoordeling uitgevoerd voor CC2. Voor objecten in CC3 moet de kritikaliteit één trede verhoogd worden.
2. Voor taluds, beschoeiingen etc., zijn standaard ingedeeld in CC1. Als in het voorkomende geval de gevolgen van falen hoger worden beoordeeld dan moet de beoordeling 1 of 2 treden worden verhoogd voor CC2 respectievelijk CC3.
3. Bij waterkeringen is geen aanpassing van de gevolgklasse noodzakelijk. Bij waterkeringen moet de gevolgklasse meegewogen worden.

2) Aanpassing op basis van de specifieke kenmerken zoals benoemd in bijlage 7 bij het betreffende objecttype. Voorbeelden zijn: de helling van een talud, dilatatievoegen bij viaducten met meerdere velden, metselwerk gebouwen bij RWZI's.

Ook onderhoudstoestand wordt meegewogen bij de beoordeling van de kritikaliteit. Dit is echter als specifieke stap 3 benoemd in het stappenplan.

8.3 Gedragen gedragslijn risicobeheersing

Het PAI is een platform waarin kennis wordt gedeeld en van waaruit gezamenlijk kennis wordt ontwikkeld. Om als individuele infrabeheerder enige leidraad te hebben, zou het goed zijn om vanuit dit platform een gezamenlijke gedragslijn te ontwikkelen. Dit is de vervolgstap na deze kwalitatieve risicoanalyse. Ze bestaat uit 2 onderdelen:

- Beoordelen het vaststellen van de risicoacceptatiegraad
- Beheersen het bepalen van de maatregelen en de reacties.

Aanbeveling 1: Het vaststellen van de acceptatiegraad zal in samenspraak van NCG, PAI en de betrokken bestuurders moeten plaatsvinden.

Op basis van de prioritering is per object of objecttype een gedragslijn aangegeven. Deze gedragslijn geeft een prioriteit aan voor de risicobeheersing. De vraag hierin is vooral in hoeverre bestuurders, beheerders én omgeving het gevoel en de overtuiging krijgen dat afdoende maatregelen worden getroffen.

Aanbeveling 2: Realistische en conservatieve koers voor de invulling van de gedragslijnen in samenspraak met NCG en PAI.

Wij adviseren wat betreft de aardbevingsgevoelige infrastructuur een realistische en conservatieve koers te varen. Hieronder geven wij een globale schets.

Objecten	Hoogste prioriteit	Hoge prioriteit	Gemiddelde prioriteit	Geringe/geringst
Bestaand in goede staat	Inspecteren & preventief risico-beperkende maatregelen		Monitoren	Calamiteitenplan
Bestaand in slechte staat	Versneld aardbevingsbestendig aanpassen en/of vervangen conform richtlijnen	Monitoren tot aardbevingsbestendig aanpassen en/of vervangen conform richtlijnen	Inspecteren & Risico-beperkende maatregelen treffen	
Bestaand gepland groot onderhoud				
Nieuw aan te leggen objecten	Aardbevingsbestendig aanleggen conform richtlijnen		Risico-beperkende maatregelen	

Tabel 8-1: Aanbeveling gedragslijnen

Het oordeel van de toepassing van tabel 8-2 dient te zijn gebaseerd op nadere object specifieke risicoanalyses en/of onderzoeken.

Het nemen van maatregelen op basis van nadere object specifieke risicoanalyses en/of onderzoeken kan ook anders worden gepleegd. Bijvoorbeeld door een mix van maatregelen te treffen (versterken en/of te monitoren en/of beheersmaatregelen), en/of dat deze mix van maatregelen wordt uitgevoerd na een nadere monitoring en fasering in de tijd.

Aanbeveling 3: Best-practices database aanleggen door PAI-leden

Vanzelfsprekend zullen per objecttype en zelfs per object diverse oplossingen bedacht en uitgevoerd worden. In het gebied zijn allerlei verschillende beheerders actief van kleine gemeenten tot grote organisaties als Rijkswaterstaat en ProRail. Om te voorkomen dat het wiel op diverse plaatsen opnieuw wordt uitgevonden of dat kennis en ervaring onbenut blijft, adviseren wij de goede voorbeelden en oplossingen te verzamelen en (voor PAI-leden) beschikbaar te maken.

9 Signalering kennishiaten

In de loop van dit onderzoek bleek op een aantal onderdelen onvoldoende kennis aanwezig te zijn. Mede op basis van een expertsessie, zie bijlage 6, moeten wij constateren dat er onvoldoende kennis is om zinvol en onderbouwd uitspraken te kunnen doen over de gevolgen van lichte en zwaardere bevingen voor bepaalde objecttypen. Hierbij is ook het fenomeen van het effect van één (forse) beving ten opzichte van kort opeenvolgende (lichtere) trillingen een punt van discussie.

Extra complicatie is, dat deze risicoanalyse een veelheid aan objecttypes vergelijkt. Het scala aan verschillende individuele objecten binnen één type is te breed om gedetailleerd uitspraken te doen over de mate van functieverlies bij een bepaalde beving. Dit zou op individueel niveau wellicht wél kunnen, maar dat vergt intensief en specialistisch onderzoek.

De rol van verweking en de kwetsbaarheid van een object hangt af van de bodemtoestand (i.c.m. pakking van het zand) ter plaatse. In hoeverre en waar dit in Groningen exact een rol speelt, is nog punt van onderzoek. Resultaten voor primaire en regionale keringen zijn inmiddels verwerkt in deze KRA.

Ook de invloed van het aspect fundering zou nader bekeken moeten worden, aangezien de meningen van de experts hierover uiteen blijken te lopen.

Deze en andere punten zijn verzameld in onderstaande tabel met aanbevelingen hoe om te gaan met het betreffende hiaat. NB deze lijst is dynamisch en niet uitputtend.

Kennishiaat		Aanbeveling	
1	Gedrag van objecten bij trillingen rond PGA waarden 0,1 tot 0,3 g	A	Regelmatig nauwkeurig monitoren exemplarische objecten (bijvoorbeeld via continue sensing).
		B	Regelmatig globaal monitoren alle kritische infrastructuur (bijvoorbeeld door visuele inspecties).
		C	Nader technisch-wetenschappelijke studie naar het gedrag van exemplarische objecten.
2	Gedrag van objecten bij kort opeenvolgende (lichte) trillingen	A	Zie 1
		B	Nader technisch-wetenschappelijk onderzoek naar het gedrag van (delen) van kritische constructies.
3	Rol van verweking van de ondergrond in de kwetsbaarheid	A	Nader analyse technisch-wetenschappelijk onderzoek naar het gedrag van (delen) van kritische constructies.
4	Invloed fundering op de kwetsbaarheid	A	Nader technisch-wetenschappelijke studie naar het gedrag van (delen) van kritische constructies.

Tabel 9-1: Kennishiaten en aanbevelingen

Bijlagen

Bijlage 1 Samenstelling PAI

De volgende infrabeheerders zijn betrokken bij het PAI:

1. Provincie Groningen
2. Waterschap Noorderzijlvest
3. Waterschap Hunze en Aa's
4. Gemeente Groningen (vertegenwoordigt ook Ten Boer)
5. Gemeente Appingedam
6. Gemeente Bedum
7. Gemeente Winsum
8. Gemeente Delfzijl
9. Gemeente Slochteren, Hoogezand-Sappemeer en Menterwolde
10. Gemeente Loppersum
11. Gemeente De Marne
12. Gemeente Eemsmond
13. Rijkswaterstaat
14. ProRail
15. Groningen Seaports
16. Waterbedrijf Groningen
17. Gasunie
18. Enexis
19. TenneT
20. KPN (mede namens andere telecombedrijven).

Bijlage 2 Factsheet vitale infrastructuur 2016



 **Nationaal Coördinator
Terrorismebestrijding en Veiligheid
Ministerie van Veiligheid en Justitie**

Weerbare vitale infrastructuur

Bepaalde processen zijn zo vitaal voor de Nederlandse samenleving dat uitval of verstoring tot ernstige maatschappelijke ontwrichting leidt en een bedreiging vormt voor de nationale veiligheid. Deze processen vormen de Nederlandse vitale infrastructuur.

De impact van incidenten in de vitale infrastructuur, de snelheid van technologische ontwikkelingen, de verandering van (cyber)dreigingen en de toenemende onderlinge verwevenheid van vitale infrastructuur maakt dat blijvende aandacht voor het verhogen en borgen van de weerbaarheid van de vitale infrastructuur noodzakelijk is.

Zo'n 80% van de vitale processen is in handen van private partijen. Publiek-private samenwerking is noodzakelijk om tot gedragen beleid te komen. Het beleid vitale infrastructuur wordt zoveel mogelijk vormgegeven in samenwerking tussen de vitale aanbieders, kennisinstellingen en de overheid.

Vitale processen en vitale aanbieders
Vitale processen zijn processen die bij uitval of verstoring tot ernstige maatschappelijke ontwrichting kunnen leiden. Voorheen werd ook wel gesproken van vitale sectoren. Omdat niet alle processen binnen een sector vitaal zijn, ligt de focus nu op de vitale processen in plaats van sectoren als geheel. Het identificeren van

vitale processen maakt het mogelijk om instrumenten en schaarse middelen meer efficiënt en gericht in te zetten.

Binnen deze processen zijn één of meerdere organisaties zoals (private) bedrijven, zelfstandige bestuursorganen en waterschappen belangrijk voor de continuïteit en weerbaarheid van het proces. Deze organisaties worden aangeduid als de vitale aanbieders.

Vitaliteitsbeoordeling
De beoordeling of een proces vitaal is, wordt gemaakt wanneer maatschappelijke ontwikkelingen (bijvoorbeeld veranderende dreigingen of risico's en evaluaties van incidenten) daar aanleiding toe geven. De vitaliteitsbeoordeling wordt gemaakt op basis van de opgestelde impactcriteria, zoals economische schade en fysieke gevolgen.

Bij de vitaliteitsbeoordeling wordt onderscheid gemaakt tussen twee categorieën vitaal, A en B. Uitval van A-vitale processen heeft grotere potentiële gevolgen dan uitval van B-vitale processen. Het onderscheid tussen A- en B-vitaal kan behulpzaam zijn om bij incidenten of bij de ontwikkeling van weerbaarheidverhogende capaciteiten te prioriteren. Elk ministerie is zelf verantwoordelijk voor het uitvoeren van de vitaliteitsbeoordeling op de vitale processen die onder haar ministerie vallen. Het coördinerend ministerie van Veiligheid en Justitie zal regelmatig de methodiek bekijken op actualiteit en signaleren of er aanwijzingen zijn dat een proces wellicht vitaal is.

Stakeholders vitale infrastructuur

Er zijn vele actoren betrokken bij de weerbaarheid van vitale infrastructuur.

- De primaire verantwoordelijkheid voor de continuïteit en weerbaarheid van vitale processen ligt bij de vitale aanbieders zelf. Daarbij hoort het verkrijgen van inzicht in dreigingen en kwetsbaarheden, risico's en het ontwikkelen en onderhouden van capaciteiten waarmee de weerbaarheid van vitale processen wordt verhoogd en geborgd.
- Het verantwoordelijke vakdepartement stelt algemene kaders vast voor de sectoren die onder haar verantwoordelijkheid vallen (in beleid of in wet- en regelgeving). In samenwerking met de vitale aanbieders zorgen de vakdepartementen voor borging en controle op de capaciteiten op het gebied van vitale infrastructuur.
- Veiligheidsregio's bieden ondersteuning aan vitale aanbieders bij (dreigende) verstoring of uitval wanneer de capaciteit en ontoereikend zijn en openbare orde en veiligheid in gevaar komen. Dit gebeurt in afstemming met de aanbieders en de vakdepartementen.
- De vele en diverse stakeholders maken afstemming en regie noodzakelijk. De Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid (NCTV) van het ministerie van Veiligheid en Justitie voert deze regie en let daarbij met en voor alle betrokkenen op samenhang, efficiëntie en effectiviteit van weerbaarheidverhogende maatregelen.

Vitale Processen ¹	Categorie ²	Sector	Ministerie
Landelijk transport en distributie elektriciteit	A	Energie	EZ
Regionale distributie elektriciteit	B		
Gasproductie Landelijk transport en distributie gas	A		
Regionale distributie gas	B		
Olievoorziening	A		
Internet en datadiensten	B	ICT/ Tel	EZ
Internettoegang en dataverkeer	B		
Spraakdiensten en SMS ³	B		
Drinkwatervoorziening	A	Drinkwater	IenM
Keren en beheren waterkwantiteit	A	Water	IenM
Vlucht- en vliegtuigafhandeling	B	Transport	IenM
Scheepvaartafwikkeling	B		
Grootschalige productie/verwerking en/of opslag (petro)chemische stoffen	B	Chemie	IenM
Opslag, productie en verwerking nucleair materiaal	A	Nucleair	IenM
Toonbankbetalingsverkeer	B	Financieel	FIN
Massaal giraal betalingsverkeer	B		
Hoogwaardig betalingsverkeer tussen banken	B		
Effectenverkeer	B		
Communicatie met en tussen hulpdiensten middels 112 en C2000	B	OOV	VenJ
Inzet politie	B		
Beschikbaarheid van betrouwbare basisinformatie over personen en organisaties, informatie-uitwisseling van basisinformatie en beschikbaarheid van datasystemen waarvan meerdere overheidsorganisaties voor hun functioneren afhankelijk zijn.	B	Openbaar Bestuur	BZK
Inzet defensie	B	Defensie	DEF

- 1 Voor de sector satelliet en het proces diplomatieke communicatie wordt de vitaliteitsbeoordeling nog uitgevoerd.
- 2 Op basis van de economische, fysieke, sociaal-maatschappelijke en eventuele cascade gevolgen bij uitval van het proces wordt bepaald of het proces A-vitaal of B-vitaal is.
- 3 Voor alle ICT/Telecom processen geldt dat deze zowel via vaste als mobiele aansluitingen en infrastructuur worden verzorgd, met uitzondering van SMS, hier geldt alleen dat deze via mobiele aansluitingen en infrastructuur worden verzorgd.

Uitgave

Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid (NCTV)
Postbus 20301, 2500 EH Den Haag | Turfmarkt 147, 2511 DP Den Haag
070 751 5050

Meer informatie

www.nctv.nl | info@nctv.minvenj.nl | @nctv_nl

december 2016

Bijlage 4 Speciale objecttypen aandachtspunt

De volgende categorieën en objecten zijn in de interviews met infrabeheerder genoemd, maar om praktische redenen (te specifiek en/of buiten de scope) verder niet meegenomen in het onderzoek. Wel zijn dit objecttypen die in de beleving van de infrabeheerders bijzondere aandacht verdienen.

- RWZI Garmerwolde
- GOS (gas ontvangst stations) Computercentrum Veiligheidsregio Appingedam
- Loze persleiding
- AMCO-duiker
- Oude brandweermast
- Oude vuilstort/vuildepots
- Tankstations
- Chloortanks Waterbedrijf
- Vaarweg ten behoeve van beroepsvaart
- Leidingnetten (Utilities; Stikstof en Waterstofleidingen); Pekelleiding AKZO
- Radarposten
- Havens/pieren
- Industrieel spoor
- Steunpunten
- Bediengebouwen
- Sifon onder Eemskanaal
- Beveiligingskasten
- Stuw
- iba
- Gasfabriek Garmerwolde
- Converterstations
- Netstations
- Glasvezelkabels/Eigen communicatienetwerk
- FEDA (Noorwegen) → converterstation.

Bijlage 5 Detailscores op effect-aspecten

Objecttype	Veiligheid	Cascade	Ontwrichting	Totaal Effect (som)	Effectklasse
Autosnelwegen	3,0	1,0	2,0	6,0	gering
Stroomwegen	1,5	1,0	2,0	4,5	gering
Gebiedsontsluitingswegen	1,8	1,0	1,5	4,3	gering
Erftoegangswegen	1,3	1,0	1,1	3,4	gering
Overig binnen bebouwde kom	1,0	1,0	1,1	3,1	gering
Overig buiten bebouwde kom	1,1	1,0	1,1	3,3	gering
Baan zonder kunstwerken - Hoofdrailnet	4,0	1,0	3,0	8,0	middel
Regionale lijnen	4,0	1,0	4,0	9,0	middel
Goederenlijnen (GSP)	3,0	1,0	2,0	6,0	gering
Perrons	2,0	3,0	2,0	7,0	middel
Portalen	1,0	3,0	2,0	6,0	gering
Overwegen	3,0	3,0	2,0	8,0	middel
Primaire waterkeringen	5,0	5,0	5,0	15,0	zeer hoog
Regionale waterkeringen	4,3	5,0	5,0	14,3	zeer hoog
Overige oeverconstructies	2,7	3,9	1,5	8,1	middel
Overige groene oevers	1,0	2,1	1,3	4,5	gering
Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal)	1,0	1,5	1,2	3,7	gering
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)	3,5	2,5	1,5	7,5	middel
Viaduct 1 hoofdroute	4,0	1,0	1,0	6,0	gering
Viaduct overig/lokaal	1,6	3,3	1,4	6,3	middel
Vaste bruggen hoofdroutes	3,3	3,0	2,7	9,0	middel
Beweegbare bruggen hoofdroutes	3,0	2,5	2,7	8,2	middel
Vaste bruggen overig	1,6	2,8	1,3	5,7	gering
Beweegbare brug overig	1,6	2,1	1,3	5,0	gering
Primaire sluisen (spui/schut)	3,7	3,7	2,3	9,7	hoog
Primaire sluisen (schut)	1,5	3,0	3,0	7,5	middel
Overige sluisen (spui/schut)	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Overige sluisen	1,6	4,2	1,4	7,2	middel
Gemalen	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
380 kV-net (landelijk)	2,0	1,0	1,0	4,0	gering
220 kV-net (Noord-Nederland)	2,0	1,0	1,0	4,0	gering
110 kV-net (regionaal)	2,0	1,0	1,0	4,0	gering
lokaal (ondergronds)net	1,2	3,0	1,5	5,7	gering
Hoofdgasleiding < 1964	4,0	1,0	3,0	8,0	middel
Hoofdgasleiding > 1964	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Lokale gasleidingen	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Datakabels	1,1	2,1	1,6	4,8	gering
Waterleiding Transport (400-700 mm)	1,0	3,0	5,0	9,0	middel
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)	1,0	3,0	2,0	6,0	gering
Rioolpersleiding	1,5	3,6	1,3	6,4	middel
Overige riolering	1,2	2,8	1,0	5,0	gering
Windmolens	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Distributie pompstation Appingedam	1,0	1,0	5,0	7,0	middel
Distributie pompstations Usquert	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Productie pompstation (put Onnen, De Groeve)	5,0	1,0	5,0	11,0	hoog
Telefooncentrales (gebouwen in iedere kern)	1,0	1,0	2,0	4,0	gering
Zendmasten	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
(Grijze) verdeelkasten	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Duikers	1,0	2,3	1,5	4,8	gering
Warmtenet	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.)	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
Monumentale bruggen	2,0	2,0	1,0	5,0	gering
RWZI (riool water zuiver installatie)	1,0	1,0	1,0	3,0	zeer gering
VKA-leiding	1,0	4,0	1,0	6,0	gering
Hoofdrrioolpersleiding door stad Groningen	5,0	5,0	1,0	11,0	hoog

Tabel: Effecten indeling per objecttype (zie ook voor een link, paragraaf 4.5).

Onderstaande drie tabellen zijn direct vertaald vanuit de interviews.

Veiligheid	Gemeente Appingedam	Gemeente Delfzijl / Groningen-Seaports	Gasunie	RWS	Waterbedrijf Groningen	Veiligheidsregio KPN	Gemeente Loppersum	Gemeente BMWE	Gemeente HSSM	ProRail	Provincie Groningen	Hunze & Aa's	Gemeente Groningen / Ten Boer	Enexis	Tennet	Noorderzijlvest	VEILIGHEID Gemiddelde score
Autosnelwegen				3													3,0
Stroomwegen				2							1						1,5
Gebiedsontsluitingswegen	1	2		2			2	3	1		1		2				1,8
Erftoegangswegen	1	2					2	1	1		1	1	1				1,3
Overig binnen bebouwde kom	1	1					1	1	1		1		1				1,0
Overig buiten bebouwde kom	1	1					2	1	1		1		1			1	1,1
Hoofdrailnet										4							4,0
Regionale/overige lijnen										4							4,0
Goederenlijnen (GSP)										3							3,0
Perrons										2							2,0
Portalen										1							1,0
Overwegen										3							3,0
Primaire waterkeringen				5								5				5	5,0
Regionale waterkeringen				4								4				5	4,3
Overige oeverconstructies	1	5		1			4	3	3		3	1	3				2,7
Overige groene oevers	1	1		1			1	1	1		1	1	1				1,0
Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal)	1	1		1			1	1	1		1	1	1				1,0
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)				4							3						3,5
Viaduct 1 hoofdroute				4													4,0
Viaduct overig/lokaal	1	1		3				1	2		1		2				1,6
Vaste bruggen hoofdroutes				4						5	1						3,3
Beweegbare bruggen hoofdroutes				3						5	1						3,0
Vaste bruggen overig	1	1		3			1	1	1	5	1		1			1	1,6
Beweegbare brug overig	1	1		2			2	1	1	5	1		1			1	1,6
Primaire sluisen (spui/schut)				5								1				5	3,7
Primaire sluisen (schut)				2							1						1,5
Overige sluisen (spui/schut)		1									1						1,0
Overige sluisen		1		1					3				2			1	1,6
Gemalen		1										1	1			1	1,0
380 kV-net (landelijk)															2		2,0
220 kV-net (noord-nederland)															2		2,0
110 kV-net (regionaal)															2		2,0
lokaal (ondergronds)net	1	2					1		1				1	1			1,2
Hoofdgasleiding < 1964				4													4,0
Hoofdgasleiding > 1964				1													1,0
Lokale gasleidingen														1			1,0
Datakabels	1	2		1			1	1		1	1		1			1	1,1
Waterleiding Transport (400-700 mm)					1												1,0
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)					1												1,0
Rioolpersleiding	1	2					2	1	2			1	2			1	1,5
Overige riolering	1	1					2	1	1								1,2
Windmolens																1	1,0
Distributie pompstation Appingedam					1												1,0
Distributie pompstations Usquert					1												1,0
Productie pompstation (put Onnen, De					5												5,0
Telefooncentrales (gebouwen in iedere kern)							1										1,0
Zendmasten							1										1,0
(Grijze) verdeelkasten							1										1,0
Duikers							1	1			1					1	1,0
Warmtenet									1								1,0
Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.)											1						1,0
Monumentale bruggen											2						2,0
RWZI (riool water zuiver installatie)												1				1	1,0
VKA-leiding												1					1,0
Hoofdruijpersleiding door stad Groningen													5				5,0

Cascade	Gemeente Appingedam	Gemeente Delfzijl / Groningen Seaports	Gasunie	RWS	Waterbedrijf Groningen	Veiligheidsregio	KPN	Gemeente Loppersum	Gemeente BMWE	Gemeente HSSM	ProRail	Provincie Groningen	Hunze & Aa's	Gemeente Groningen / Ten Boer	Enexis	Tennet	Noorderzijvest	CASCADE-EFFECT gemiddelde score
Autosnelwegen				1														1,0
Stroomwegen				1								1						1,0
Gebiedsontsluitingswegen	1	1		1				1	1	1		1		1				1,0
Erftoegangswegen	1	1						1	1	1		1	1	1				1,0
Overig binnen bebouwde kom	1	1						1	1	1		1		1				1,0
Overig buiten bebouwde kom	1	1						1	1	1		1		1			1	1,0
Hoofdrailnet											1							1,0
Regionale/overige lijnen											1							1,0
Goederenlijnen											1							1,0
Perrons											3							3,0
Portalen											3							3,0
Overwegen											3							3,0
Primaire waterkeringen				5									5				5	5,0
Regionale waterkeringen				5									5				5	5,0
Overige oeverconstructies	5	4		1				5	5	5		4	1	5				3,9
Overige groene oevers	4	4		1				1	4	1			1	1				2,1
Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal)	1	4		1				2	1	1			1	1				1,5
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)				1								4						2,5
Viaduct 1 hoofdroute				1														1,0
Viaduct overig/lokaal	4	2		1				4	4			4		4				3,3
Vaste bruggen hoofdroutes				1							4	4						3,0
Beweegbare bruggen hoofdroutes				1							4							2,5
Vaste bruggen overig	4	2		1				4	4	4	4			1			1	2,8
Beweegbare brug overig	2	1		1				1	1	4	4			4			1	2,1
Primaire sluisen (spui/schut)				5									1				5	3,7
Primaire sluisen (schut)				5								1						3,0
Overige sluisen (spui/schut)		1																1,0
Overige sluisen		1		5						5				5			5	4,2
Gemalen		1										1	1				1	1,0
380 kV-net (landelijk)																1		1,0
220 kV-net (noord-nederland)																1		1,0
110 kV-net (regionaal)																1		1,0
lokaal (ondergronds)net	4	4						4		1				4	1			3,0
Hoofdgasleiding < 1964				1														1,0
Hoofdgasleiding > 1964				1														1,0
Lokale gasleidingen															1			1,0
Datakabels	2	2		1			1	1		1	4	4		4			1	2,1
Waterleiding Transport (400-700 mm)					3													3,0
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)					3													3,0
Rioolpersleiding	5	2						4	1	5			4	5			3	3,6
Overige riolering	2	2						4	1	5								2,8
Windmolens																	1	1,0
Distributie pompstation Appingedam					1													1,0
Distributie pompstations Usquert					1													1,0
Productie pompstation (put Onnen, De Groeve)					1													1,0
Telefooncentrales (gebouwen in iedere kern)							1											1,0
Zendmasten							1											1,0
(Grijze) verdeelkasten							1											1,0
Duikers								1	1			4					3	2,3
Warmtenet										1								1,0
Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.)												1						1,0
Monumentale bruggen																		2,0
RWZI (riool water zuiver installatie)													1				1	1,0
VKA-leiding													4					4,0
Hoofdruijpersleiding door stad Groningen														5			5	5,0

Ontwrichting	Gemeente Appingedam	Gemeente Delfzijl / Groningen Seaports	Gasunie	RWS	Waterbedrijf Groningen	Veiligheidsregio	KPN	Gemeente Loppersum	Gemeente BMWE	Gemeente HSSM	ProRail	Provincie Groningen	Hunze & Aa's	Gemeente Groningen / Ten Boer	Enexis	Tennet	Noorderijvest	ONTWICHTINGEN gemiddelde score
Autosnelwegen				2														2,0
Stroomwegen				2								2						2,0
Gebiedsontsluitingswegen	1	2		2				1	2	1		1		2				1,5
Erftoegangswegen	1	2						1	1	1		1	1	1				1,1
Overig binnen bebouwde kom	1	2						1	1	1		1		1				1,1
Overig buiten bebouwde kom	1	2						1	1	1		1		1			1	1,1
Hoofdrailnet											3							3,0
Regionale/overige lijnen											4							4,0
Goederenlijnen (GSP)											2							2,0
Perrons											2							2,0
Portalen											2							2,0
Overwegen											2							2,0
Primaire waterkeringen				5									5				5	5,0
Regionale waterkeringen				5									5				5	5,0
Overige oeverconstructies	1	5		1					1	1		1	1	1				1,5
Overige groene oevers	1	2		1				3	1	1		1	1	1				1,3
Aanlegkades/-plaatsen/-keringen (lokaal)	1	2		1				2	1	1		1	1	1				1,2
Viaduct 1 of 2 hoofdroutes (autosnel/stroom)				1								2						1,5
Viaduct 1 hoofdroute				1								?						1,0
Viaduct overig/lokaal	1	2		1					1	2		1		2				1,4
Vaste bruggen hoofdroutes				5							2	1						2,7
Beweegbare bruggen hoofdroutes				5							2	1						2,7
Vaste bruggen overig	1	2		1				1	1	2	2	1		1			1	1,3
Beweegbare brug overig	1	2		1				1	1	2	2	1		1			1	1,3
Primaire sluizen (spui/schut)				5									1				1	2,3
Primaire sluizen (schut)				5								1						3,0
Overige sluizen (spui/schut)		1										1						1,0
Overige sluizen		1		1						3				1			1	1,4
Gemalen		1											1	1			1	1,0
380 kV-net (landelijk)																1		1,0
220 kV-net (noord-nederland)																1		1,0
110 kV-net (regionaal)																1		1,0
lokaal (ondergronds)net	1	1						1		2				2	2			1,5
Hoofdgasleiding < 1964			3															3,0
Hoofdgasleiding > 1964			1															1,0
Lokale gasleidingen															1			1,0
Datakabels	1	5		1			1	1		2	1	2		1			1	1,6
Waterleiding Transport (400-700 mm)					5													5,0
Waterleiding Distributienetwerk (<300 mm)					2													2,0
Rioolpersleiding	1	2						1	1	2			1	1			1	1,3
Overige riolering	1	1						1	1	1								1,0
Windmolens																	1	1,0
Distributie pompstation Appingedam					5													5,0
Distributie pompstations Usquert					1													1,0
Productie pompstation (put Onnen, De Groeve)					5													5,0
Telefooncentrales (gebouwen in iedere kern)							2											2,0
Zendmasten							1											1,0
(Grijze) verdeelkasten							1											1,0
Duikers								1	1			2					2	1,5
Warmtenet										1								1,0
Wegmeubilair (lichtmasten, VRI, etc.)												1						1,0
Monumentale bruggen												1						1,0
RWZI (riool water zuiver installatie)													1				1	1,0
VKA-leiding													1					1,0
Hoofdrioolpersleiding door stad Groningen														1				1,0

Bijlage 6 Deelnemers expertsessie 12-01-2017

Aanwezig:

Ilse de Vent (TU Delft)
Matthijs de Mooij (NCG)
Vincent Muris (NCG)
Gerwin Klomp (NCG)
Ton Vrouwenvelder (TNO/TU-Delft)
Bernard Dost (KNMI)
Dick Schaafsma (RWS)
Ruben Jongejan (JongejanRMC)
Jaap van der Heide (RWS)
Henk Otten (Antea Group)
Theus van den Broek (Antea Group)
Rudi van Rooij (Antea Group)
Sierd van Westen (Antea Group)
Aad Kant (Antea Group)
Eric Waltje (Antea Group)
Arjen Blacquièrè (Antea Group)
Sjoerd Bakker (Antea Group).

Bijlage 7 Toelichtende rapportage - Inhoudelijke onderbouwing kwetsbaarheid infrastructurele objecten

Inhoudsopgave bijlage 7:

- 1 Inleiding**
- 2 Het gedrag van objecten onder aardbevingsbelastingen**
 - 2.1 Effecten in de grond
 - 2.2 Effecten bij bovengrondse constructies
- 3 Primaire keringen**
 - 3.1 Object: primaire keringen – dijken en dammen
 - 3.2 Object: primaire keringen – kunstwerken (gemalen)
 - 3.3 Object: primaire keringen – kunstwerken (leidingkruisingen)
 - 3.4 Object: primaire keringen – kunstwerken (zeesluizen)
 - 3.5 Object: primaire keringen – kunstwerken (overig)
- 4 Regionale keringen**
 - 4.1 Object: regionale keringen – dijken en dammen
 - 4.2 Object: regionale keringen – kunstwerken (gemalen)
 - 4.3 Object: regionale keringen – kunstwerken (sluizen)
- 5 Vaarwegen en oeverconstructies**
 - 5.1 Groene taluds
 - 5.2 Stalen damwand
 - 5.3 Kademuren – metselwerkwanden
- 6 Wegen**
 - 6.1 Wegmeubilair van wegen
- 7 Spoorwegen**
 - 7.1 Baan zonder kunstwerken – Hoofdrailnet
 - 7.2 Perrons
 - 7.3 Bovenleiding
 - 7.4 Overwegen
 - 7.5 Schakelkasten
- 8 Kunstwerken (spoor)wegen**
 - 8.1 Viaducten en vaste bruggen voor wegverkeer
 - 8.1.1 Viaduct/brug met hooggelegen landhoofden en eventueel een aantal tussenpijlers
 - 8.1.2 Afwijkende vaste bruggen en viaducten
 - 8.2 Onderdoorgangen
 - 8.3 Beweegbare bruggen
 - 8.3.1 Basculebruggen
 - 8.3.2 Ophaalbruggen
 - 8.3.3 Overige beweegbare bruggen
 - 8.4 Spoorbruggen
 - 8.4.1 Kleine spoorbruggen
 - 8.4.2 Overige spoorbruggen
 - 8.5 Duikers

9 Ondergrondse infrastructuur

9.1 Gasnetwerk

9.2 Chloorleidingen

9.3 Datakabels

10 Elektriciteit

10.1 Hoogspanningsmasten

10.2 Hoogspanningsstations

10.3 Ondergrondse kabels

11 Watervoorziening / afvalwatervoorziening

11.1 Afvalwaterleidingen

11.2 Drinkwaterleidingen

11.3 RWZI

11.3.1 Gebouwen

11.3.2 Leidingen

11.3.3 Bassins en tanks

11.4 Pompstations

12 Overige constructies

12.1 Windturbines

12.2 Zendmasten / C2000

1 Inleiding

Deze bijlage omvat de inhoudelijke onderbouwing van de kwetsbaarheid voor aardbevingsbelasting van infrastructurele objecten. Deze inhoudelijke onderbouwing is onderdeel van het rapport Antea Group (2017) Kwalitatieve risicoanalyse infrastructuur Groningen; kenmerk: 412684. In het specifiek is deze bijlage de nadere uitwerking van het onderdeel van het hoofdstuk 5: Kwetsbaarheid voor aardbevingen.

Werkwijze

De werkwijze voor het bepalen van de kwetsbaarheid van objecten is in algemene zin beschreven in het hoofdrapport. Deze memo beschrijft per infrastructureel object hoe tot een oordeel is gekomen betreffende de kwetsbaarheid van dit object voor aardbevingsbelastingen.

Bij de literatuurverwijzingen betreft het rapportages buiten de scope van deze opdracht. Als hier rapporten van de Antea Group worden vermeld dan zijn dit documenten die voor andere projecten zijn opgesteld.

Kwaliteitsborging

Dit document bevindt zich in een spanningsveld tussen algemeen en specifiek. Daarnaast is er sprake van oude kennis en nieuwe inzichten. De inhoudelijke overwegingen zijn daarom gebaseerd op bestaande literatuur. Waar deze niet toereikend is, is expert judgement toegepast. Daarbij zijn de inhoudelijke overwegingen weergegeven. Omdat dit subjectiviteit kent, is binnen Antea Group een review proces opgesteld conform NEN-ISO-ISO 9001. Inhoudelijke delen zijn aanvullend gereviewd door Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.

Leeswijzer

Deze bijlage beschrijft in hoofdstuk 2 de effecten van aardbeving zowel in de grond als bij bovengrondse constructies. In hoofdstukken 3 tot en met 12 worden onderstaande objecten beoordeeld:

- Primaire keringen
- Regionale keringen
- Vaarwegen en oeverconstructies
- Wegen
- Spoorwegen
- Kunstwerken (spoor)wegen
- Ondergrondse infrastructuur
- Elektriciteit
- Watervoorziening / afvalwatervoorziening
- Overige constructies.

2 *Het gedrag van objecten onder aardbevingsbelastingen*

2.1 *Effecten in de grond*

Ad a) Afschuiven van hellingen door horizontale krachten

Een veelgebruikte methode voor de bepaling van deformatie van taluds bij aardbevingsbelasting is Newmark's sliding block. Daarbij is de gedachte, dat de bodem vervormt wanneer een beving een intensiteit hoger heeft dan een bepaalde drempelwaarde (PGA-yield). Hierbij zijn vooral de horizontale trillingen van belang. Bij een talud zijn vooral de amplitudes van belang die een taluddeel in de ongunstige richting opslingeren (naar beneden en haaks op het talud). De delen van de beving waarbij de drempelwaarde wordt overschreden, leiden tot deformatie. Gezien de (zeer) korte duur van een beving leidt een lichte overschrijding van de drempelwaarde tot een beperkte deformatie. Bij een lage drempelwaarde (kwetsbare taluds) of een extremere beving zal de deformatie extremer zijn.

Om bovenstaande concrete handvatten te geven, zijn door Antea Group, in het kader van deze risicoanalyse, verkennende berekeningen uitgevoerd. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten toegepast:

- Er is sprake van een talud met een specifieke helling.
Deze zijn doorgerekend met een helling van 1:1 tot 1:2,5.
- Deze helling bestaat uit grond.
Specifiek is gewerkt met matig vast zand; met een volumegewicht van 18 kN/m³ en een representatieve waarde voor de hoek van inwendige wrijving conform tabel 2.b uit NEN9997-1 ($\phi' = 32,5^\circ$). Deze parameter is associatief toegepast.
- De helling is droog.
Dit is een reële situatie voor taluds van wegen, viaducten, of groene onderdoorgangen. Voor verzadigde taluds geldt dat deze minder sterk zijn, maar deze worden in de regel ook minder steil uitgevoerd dan droge taluds.
- Er is geen sprake van bovenbelasting.
Dit sluit aan bij het gedachtegoed dat een extreme aardbevingsbelasting ongecorrleerd is met andere belastingsscenario's. Voor primaire keringen wordt in de nieuwe normering (WBI2017) tegenwoordig de maatgevende situatie (hoogwater) getoetst geheel zonder bovenbelasting.
- Het talud heeft een zekere hoogte en er is een zekere minimale afschuiving nodig voor bezwijken.
In de berekening is gesteld dat het talud 4 m hoog is en dat er een minimum circle depth geldt van 50% van de hoogte van het talud. Aangezien alle gekozen sterkte eigenschappen homogeen lineaire eigenschappen hebben (geen cohesie), gelden de conclusies daardoor per definitie ook voor taluds met een grotere of kleinere hoogte.
- Berekeningen zijn uitgevoerd met vigerende rekenmethodes.
Specifiek is dit D-geostability versie 16.1 met glijvlakken conform methode Bishop.
- Falen heeft een zekere definitie.
- Hier is falen gedefinieerd als deformatie berekend met Newmark's sliding block methode. De acceptabele deformatie hangt daarbij af van het gebruik van de grond rondom het talud. De vervormingen met de methode Newmark's sliding block zijn reeds berekend door Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; kenmerk: 1208149-000-GEO-0006; versie 2; blz. A9. Uit deze literatuur blijkt dat de deformatie afhankelijk is van de PGA-yield, het moment dat het talud start met deformeren en de PGA. De PGA-yield is bepaald door met D-geostability de taludstabiliteit te berekenen bij geen aardbevingsbelasting en een horizontale aardbevingsbelasting van PGA = 0,1 g en 0,3 g. Er is geen wateroverspanning meegenomen. Hoewel dit een afwijking is van de bestaande veiligheidsfilosofie, is dit reëel voor locaties boven de grondwaterstand. Hier is de PGA-yield gedefinieerd als het moment dat de safety factor onder een zekere waarde komt. Er is gekozen voor SF < 1,05.

- Bovenstaande sluit op pragmatische wijze aan bij de vigerende veiligheidsfilosofie. De veiligheidsfilosofie is voor regionale keringen uitgewerkt. Daarbij wordt niet gewerkt met representatieve waarden van de grondeigenschappen, maar met rekenwaarden. Deze liggen voor zand een factor 1,15 hoger dan de representatieve waarde. Bij regionale keringen (IPO-klasse V) moet getoetst worden met een schadefactor van $\gamma_n = 1,00$; echter bij aardbevingen mag getoetst worden met een lagere waarde ($\gamma_n = 0,85$). Deze wordt echter weer verhoogd op basis van het rekenmodel (1,00 bij Bishop¹⁰) en op basis van de schematiseringsfactor (γ_b , waarde tussen 1,0 en 1,2). Hier is getoetst met een factor $\gamma_n = 1,05$, dit ligt ca. 20% hoger dan de waarde bij regionale keringen. Bij de toetsing van regionale keringen wordt op het ene vlak strenger getoetst (ca. 15%) en op het andere vlak lichter getoetst (bij $\gamma_b = 1,07$ precies 15% lichter). Deze twee zaken heffen elkaar op.

In de onderstaande tabel zijn de resultaten van de verkennende berekeningen weergegeven. Te zien is dat hoe flauwer het talud is hoe groter de stabiliteit is (hogere SF-waarde). De PGA waarbij de stabiliteit lager ligt dan SF = 1,05 is gelijk gesteld aan de PGA-yield. Voor taluds met een helling van 1:1 is zeer weinig reserve aanwezig. Daarbij is de PGA-yield dan ook zeer gering. Een talud van 1:1,5 heeft een grotere stabiliteit. Bij een PGA = 0,1 g is deze volgens de berekeningen voldoende stabiel, maar bij een PGA = 0,3 g onvoldoende stabiel. Op basis daarvan is geconcludeerd dat de PGA-yield van deze taluds hoger ligt dan 0,1 g en lager ligt dan 0,3 g en is een PGA-yield = 0,15 g bepaald. Op deze wijze zijn voor alle taluds PGA-yield waarden bepaald. De methode van Newmark's sliding block leidt er toe dat bij lichte aardbevingen en bevingen gelijk aan de PGA-yield er sprake is van verwaarloosbare deformatie. Bij zwaardere bevingen is sprake van grotere deformaties. Op deze wijze zijn deformaties bepaald bij PGA = 0,1 en 0,3 g. Dit leidt er toe dat een talud van 1:1,5 vermoedelijk geen deformatie geeft bij een beving met een intensiteit van PGA = 0,1 g en een deformatie geeft van 0,01 m bij een beving van PGA = 0,3 g. Of dit kritisch is, ligt aan het gebruik van de grond boven en naast het talud.

Talud	Stabiliteit van droge taluds bij een constante trilling/belasting			PGA-yield [* g]	Deformatie o.b.v. Newmark's sliding block		
	PGA = 0,0g	PGA = 0,1g	PGA = 0,3g		PGA = 0,1g	PGA = 0,3g	PGA = 0,5g
1:	SF	SF	SF		[m]	[m]	[m]
1,0	1,01	< 1,00	< 1,00	0,00	0,10	0,30	> 0,50
1,5	1,34	1,09	< 1,00	0,15	nihil	0,01	0,05
2,0	1,68	1,33	1,04	0,30	nihil	nihil	< 0,01
2,5	1,98	1,52	1,09	0,35	nihil	nihil	< 0,01

Tabel 2-1: Bepaling van de deformatie van taluds onder een aardbevingsbelasting.

¹⁰ Merk op dat onder specifieke omstandigheden ook wel een modelfactor van 1,10 wordt toegepast voor de methode Bishop. Dit betreft o.a. glijvlakken die worden berekend voor situaties waar verweking een rol speelt. Dit wordt ook gedaan voor situaties waar opdrijven en opbarsten een rol spelen. Dit is onder andere beschreven in Rijkswaterstaat (2016) Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014 - Behorende bij Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen (OI2014v4); blz. 55. Voor beide toepassingen van de hoge waarde geldt eenzelfde onderbouwing. Dit is dat de verhoogde waterspanningen leiden tot aanvullende onzekerheden over de vorm en ligging van het glijvlak. Daardoor is er aanvullende zekerheid benodigd. Aangezien in droge taluds per definitie geen verweking kan optreden, is deze aanvullende zekerheid hier niet benodigd.

Ad b) Verdichting van zand

Door een aardbevingsbelasting kunnen losgepakte zandlagen gaan verdichten. De mate waarin dit optreedt, is afhankelijk van de ondergrond en de aardbeving. Deze verdichting leidt tot (lokale) zettingen. Voor diverse objecten (zoals muren) zijn absolute zettingen niet van belang, wel zijn verschilzettingen en hoekverdraaiingen kritisch.

De precieze mate van verdichting van de ondergrond als gevolg van een aardbeving is niet bekend. Antea Group hanteert hiervoor een pragmatische aanpak. Vast gepakte zandlagen verdichten niet. Los gepakte zandlagen verdichten mogelijk. Funderingen op palen, met name drukpalen, zijn geplaatst in vastgepakte lagen ($q_c > 10$ MPa). Daarom worden verdichtingen bij dergelijke paalfunderingen op voorhand uitgesloten.

Voor het traject van de Eemskanaaldijk (Oostersluis-Bronssluis¹¹) zijn gedetailleerde aardbevingsberekeningen gemaakt van de losgepakte zandlagen. Daarbij is de kruindaling berekend onder maatgevende omstandigheden. Opgemerkt wordt dat kruindaling een combinatie is van verdichting en het afschuiven van de hellingen (methode Newmark's sliding block). Deze waarden zijn dus een overschatting. De berekende kruindalingen zijn afhankelijk van het type signaal en de ondergrond. Deze berekende dalingen liggen tussen de 56 en 107 mm afhankelijk van het type aardbevings signaal, met een gemiddelde van 82 mm. Bij deze kruindalingen worden ook horizontale verplaatsingen berekend als gevolg van de beving (gemiddeld 38 mm). Wanneer deze horizontale verplaatsing uitgesloten kan worden, zal de verticale vervorming kleiner zijn. Voor de dijktrajecten tussen Eemshaven en Delfzijl zijn door Antea Group recentere berekeningen gemaakt¹² met recentere inzichten gebaseerd op complexere modellen. Deze berekeningen geven een verticale vervorming van 30 tot 150 mm.

Bij deze kruindalingen worden ook horizontale verplaatsingen berekend als gevolg van de beving (gemiddeld 80 tot 200 mm). Wanneer deze horizontale verplaatsing uitgesloten kan worden, zal de verticale vervorming kleiner zijn.

Aangezien bovengenoemde waarden conservatief zijn (dubbeltelling met methode Newmark's sliding block), hanteert Antea Group voor deze studie een waarde van 50 mm voor de verdichting als gevolg van een aardbeving. Voor kritische locaties (funderingen van grote objecten o.i.d.) adviseert NEN9997-1 grondonderzoek uit te voeren om de 25 m. Binnen deze afstand is de meeste variatie in de ondergrond afgedekt. Antea Group neemt aan dat de maximale variatie binnen deze afstand van 25 m ongeveer 50% van de maximale zetting/verdichting is. Dit leidt tot een hoekverdraaiing van 1 promille (25 mm over een afstand van 25 m).

¹¹ Antea Group (2017) *Aardbevingsbestendig ontwerp Eemskanaaldijk; Voorlopig Ontwerp traject Oostersluis - Bronssluis; kenmerk: 406959; revisie definitief v1.0; blz. 48.*

¹² Fugro (2017) *Evaluation of dynamic stability using code calibrated design parameters Eemshaven-Delfzijl levee the Netherlands; kenmerk: 1016-0459-000.*

Ad c) Verweking van de ondergrond door wateroverspanning

In algemeenheid kunnen cohesieve lagen, zoals klei en veen, niet verweken. In theorie kan zand wel verweken. Dit komt doordat de zandkorrels door de beving gaan verdichten. Daarbij moet het aanwezige grondwater uitstromen voordat de verdichting optreedt. Door de korte duur van een beving is dit niet mogelijk en ontstaat een drijfzand-achtige situatie, beter bekend als verweking. De verwekingsgevoeligheid van zand is afhankelijk van de verdichtingsgraad van het zand. Omdat de aanwezigheid van grondwater een vereiste is, kan verweking worden uitgesloten voor delen boven de grondwaterstand. Daarom kan verweking van taluds, ophogingen, cunetzand, e.d. op voorhand worden uitgesloten.

Precieze verweking van alle gronden in Groningen is niet bekend. Antea Group hanteert hiervoor een pragmatische aanpak. Verweking kan voor bovengenoemde grondlagen (cohesieve lagen en boven de grondwaterstand) op voorhand worden uitgesloten. Vast gepakte zandlagen verweken niet. Los gepakte zandlagen verweken mogelijk wel.

Funderingen op palen, met name drukpalen, zijn geplaatst in vastgepakte lagen ($q_c > 10$ MPa). Daarom worden verwekingen bij paalfunderingen op voorhand uitgesloten.

In een vroege fase (2013) zijn analyses gedaan waarbij de verwekingsgevoeligheid van de ondergrond is bepaald. Daarbij zijn diverse keuzes worst-case gemaakt. Zo is de sterkte van de grond tegen aardbevingen conform Idriss & Boulanger 2014 afhankelijk gesteld van de fijne fractie (fractie fijner dan $75 \mu\text{m}$). In 2013 zijn eerste berekeningen gemaakt voor grondlagen die een fijne fractie hebben van 0%. Nieuwe inzichten, onder andere vanuit projecten langs de Eemskanaaldijk geven aan dat losgepakte lagen vaak een hogere fijne fractie kennen (15 tot 25%). De sterkte van de bodem tegen verweking is daardoor fors hoger dan in 2013 werd aangenomen. Gedetailleerde (laboratorium)analyses zijn gemaakt van verwekingsgevoeligheid van losgepakte wadzandlagen, deze blijken frequent sterker uit te vallen dan wat blijkt uit correlaties¹³. Berekeningen van de regionale kering (Eemskanaaldijk) en de primaire kering (Eemshaven – Delfzijl) geven aan dat verweking op diverse punten van de dijk op voorhand uitgesloten kan worden. Daarnaast is er een aantal locaties waar verweking binnen een dijkprofiel niet uitgesloten kan worden. Echter blijkt dat deze verweking bij de primaire kering een verwaarloosbare rol speelt (verticale deformatie 0,03 tot 0,15 m bij een beving van $PGA = 0,3$ tot $0,65$ g).

Omdat de referentieperiode van de aardbevingsbelasting voor de waterkeringen overeenkomstig zijn met objecten in de hogere gevolgklassen CC2 en CC3, alle objecten kennen een referentie periode extremer dan 1x per 1000 jaar, kunnen de conclusies uit de studies van de waterkeringen worden doorgezet worden voor andere objecten. Echter kunnen er verschillen zijn tussen de kwetsbaarheid per object voor een zekere vervorming en kunnen dezelfde vervormingen bij verschillende objecten dus leiden tot andere conclusies bij andere objecten.

Koppeling verweking naar kunstwerken

Verweking wordt, ongeachte de bodemopbouw, niet kritisch geacht voor waterkeringen. Voor kunstwerken met een ontwerpwaarde van de $PGA > 0,2$ G is verweking van los gepakte zandlagen niet uit te sluiten. Echter de meeste kunstwerken zullen gefundeerd zijn op palen in vastgepakte lagen. De fundering van kunstwerken is in het laatste geval dan ook beoordeeld als standvastig. Enige vervorming van ondiepe lagen rondom kunstwerken is echter niet uit te sluiten.

¹³ Deltares (2017) LPI screening for the Eemshaven-Delfzijl levee; kenmerk: 1220173-024-GEO-0067; blz. 37.

Ad d) extra belastingen tegen grondkeringen

Door een aardbeving komt een extra belasting op grondkeringen, zoals damwanden. Dit kan berekend worden o.a. met D-sheetpiling aangevuld met Mononobe Okabe. Huidige inzichten zijn dat deze rekenwijze voor PGA's groter dan 0,1 g onnodig conservatief zijn. Een meer passende rekenwijze omvat het gebruik van dynamische berekeningen in PLAXIS 1D en 2D.

De grootte van de extra belasting ten gevolge van aardbevingen is niet bekend. Antea Group hanteert hiervoor een pragmatische aanpak. Er is gekeken naar de ervaringen vanuit het onderzoek voor versterking dijklichaam Eemskanaal. Daarbij zijn berekeningen met en zonder aardbevingsbelasting uitgevoerd. Op basis van de verschillen zijn hier uitspraken op hoofdlijnen gedaan.

Bovenstaande analyse leidt tot de volgende conclusies:

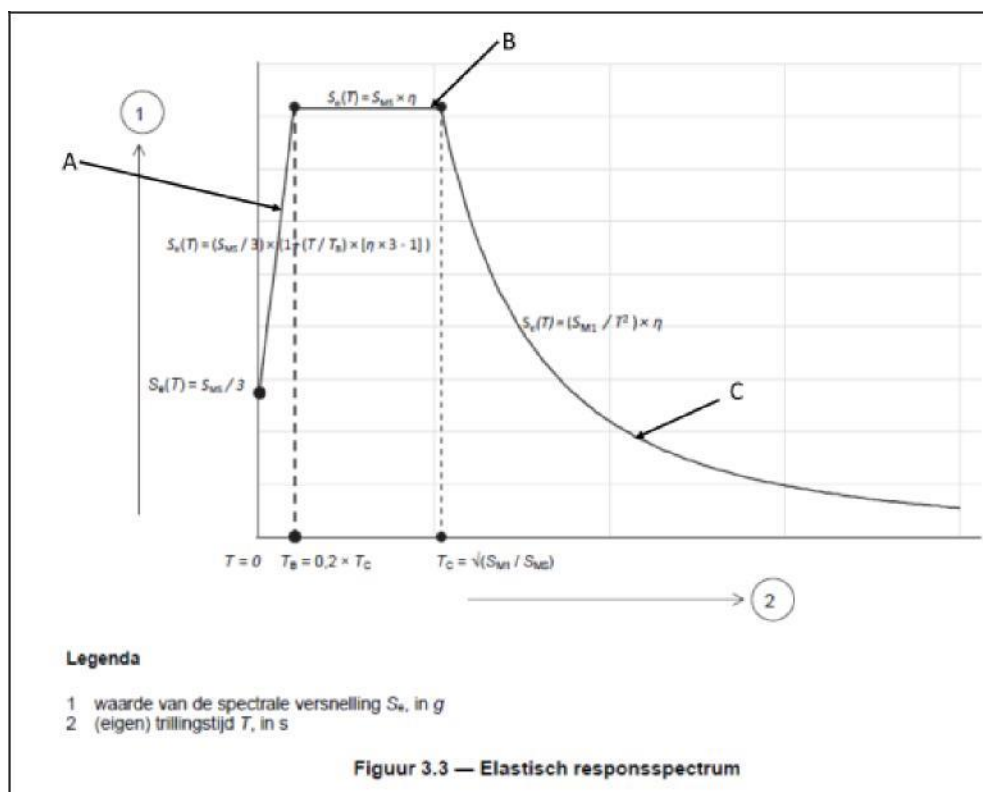
- Ankerkrachten:
 - ca. 15% minder tijdens de beving,
 - ca. 50% minder direct na de beving.
- Buigende momenten:
 - ca. 20% minder tijdens de beving,
 - ca. 50% minder direct na de beving.
- Vervorming:
 - ca. 80 mm extra tijdens de beving,
 - ca. 5 mm minder vervorming direct na de beving.

De lagere krachten zijn het gevolg van gunstigere (materiaal)factoren in de aardbevingsanalyse t.o.v. factoren voor de normale situatie.

Het feit dat de krachten lager zijn ondanks de grotere vervormingen komt (deels) door het scheef trekken van de damwand en verplaatsen van het ankerlichaam. Dit soort vervormingen geven minder inwendige krachten dan het uitbuiken van een damwand en een star anker.

2.2 Effecten bij bovengrondse constructies

Afhankelijk van de eigenfrequenties van de constructie t.o.v. de frequenties van de trillingen in de ondergrond door een aardbeving zullen de effecten in de constructie groter of kleiner zijn dan de effecten in de grond. Dit is te vergelijken met het aanduwen van een schommel. Als het duwen samenvalt met de frequentie van de slinger van de schommel dan gaat deze steeds sneller bewegen. Als er op het verkeerde moment geduwd wordt, dan heeft het duwen niet veel effect of kan het een beweging verminderen of stoppen. Dit effect is in NPR 9998 meegenomen middels het elastisch respons spectrum. Onderstaande figuur 2-1 geeft het spectrum weer voor de horizontale versnellingen.



Figuur 2-1: Elastisch respons spectrum voor horizontale versnellingen van bovengrondse constructies conform NPR 9998

In het spectrum is de versnelling van de constructie als functie van de trillingstijd T weergegeven. De trillingstijd is de reciproke van de frequentie f : $f = 1/T$.

In de grafiek zijn de volgende zaken te zien:

- een stijgende tak. Dit is een gebied met relatief hoge eigenfrequenties. De mate van opslinging neemt toe met het toenemen van de trillingstijd.
- een plateau waarbinnen een maximale opslinging wordt bereikt omdat de eigenfrequentie van de constructie samenvalt met frequenties binnen het aardbevingspectrum. De waarde van de versnelling wordt beperkt door demping in de constructie en het feit dat de duur van de beving en daarmee het aantal trillingen in de beving beperkt is.
- een dalende tak, de respons van de constructie wordt minder met het langer worden van de trillingstijd.

De punten op deze grafiek zijn een functie van de referentieperiode. Om een beeld te geven van de waarden in de grafiek, zijn op de contour met een PGA van $0,2 \text{ g}$ ($= 2 \text{ m/s}^2$) en een demping van 5% de punten op het responspectrum bepaald.

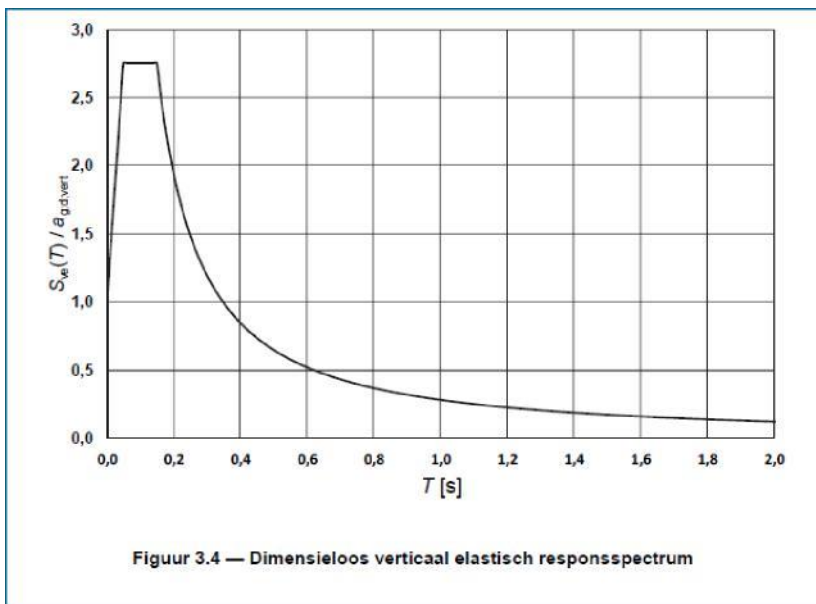
gevolgklasse	K_{ag}	T_B (s)	T_c (s)	$S(T=0)$ (g)	$S_e(T)$ (g)	$S(T=1)$ (g)
CC1	1,2	0,14	0,70	0,23	0,72	0,35
CC2	1,5	0,14	0,72	0,28	0,83	0,43
CC3	1,8	0,15	0,74	0,31	0,92	0,50

Tabel 2-2: Knikpunten horizontale responstabel per CC-klasse.

Als de eigenfrequenties van constructie en beving samenvallen, in het interval tussen $T = 0,15$ en $T = 0,7$ sec, is de rekenwaarde van de versnelling van de constructie in CC2 dus ruim 4 maal zo groot als de PGA-waarde op de contourenkaart (figuur 5-1 uit het rapport). Bij een trillingstijd van 1,5 sec is de versnelling van het bouwwerk globaal gelijk aan de PGA conform de contourwaarde van de PGA kaart.

Het effect van de lagere seismische respons door het slapper maken van de constructie wordt soms gebruikt om kwetsbare monumentale gebouwen aardbevingsbestendig te maken. Het bouwwerk wordt dan op een relatief slap verenpakket geplaatst. Door de slappe veren wordt de eigenfrequentie van het systeem laag of anders gezegd, de trillingstijd wordt hoog. De massa van de constructie komt (bijna) niet in beweging doordat de kracht uit de grond nog niet in staat is versnelling van het bouwwerk in gang te zetten voordat de beweging in de ondergrond alweer van richting is veranderd. Het bouwwerk bevindt zich dan meer naar rechts, in de dalende tak van het elastisch responspectrum.

Het elastisch responspectrum zie figuur 2-2 voor de verticale versnelling heeft globaal dezelfde vorm als het elastisch responspectrum voor de horizontale versnelling.



Figuur 2-2: Elastisch respons spectrum voor verticale versnellingen van bovengrondse constructies conform NPR

Op de contour met een PGA van 0,2 g (2 m/s^2) en een demping van 5% krijgen de punten op de responsfunctie de volgende waarden, tabel 2-3.

gevolgklasse	K_{ag}	T_B (s)	T_c (s)	$S(T=0)$ (g)	$S_e(T)$ (g)	$S(T=1)$ (g)
CC1	1,2	0,05	0,015	0,24	0,66	0,04
CC2	1,5	0,05	0,015	0,30	0,83	0,08
CC3	1,8	0,05	0,015	0,36	0,99	0,10

Tabel 2-3: Knikpunten verticale responstabel per CC-klasse.

Als het horizontale en verticale elastisch responspectrum met elkaar vergeleken worden dan vallen de onderstaande punten op:

- De maximale versnelling bij het samenvallen van de eigenfrequentie van de constructie en de aardbeving zijn globaal even groot (het plateau dat in figuur 2-1 met B is aangegeven).
- De trillingstijden waarbij de maximale versnellingen optreden zijn voor de verticale versnellingen veel korter. Waarbij voor het horizontale spectrum de maximale versnellingen ontstaan bij een trillingstijd van 0,15 tot 0,70 seconde is dit bij de verticale versnellingen tussen 0,05 en 0,15 seconde. Voor de meeste civiele constructies (infra) ligt laagste trillingstijd boven de 0,2 seconde.
- Bij $T = 1,0$ seconde zijn de verticale versnellingen maar 20% van de horizontale versnellingen.

Als er in een constructie plastische knopen kunnen ontstaan, zal er in deze knopen energie worden gedissipeerd. De opslingering wordt dan veel minder dan bij op basis van een elastisch responspectrum. In Eurocode 8 en NPR 9998 worden er voor bepaalde constructievormen waarden voor het in rekening brengen van dit effect genoemd (de zogenaamde gedragsfactor). In gunstige gevallen is de reductiefactor t.o.v. het elastisch responspectrum voor een analyse op Near Collapse een factor 3. De mate waarin een constructie plastisch energie kan absorberen, is echter sterk afhankelijk van de detaillering en vaak niet aan de buitenzijde van de constructie te zien.

Ook voor kenmerken als symmetrie van de constructie worden in de NPR 9998 en Eurocode 8 invloedsfactoren voor de modificatie van de versnellingen in de constructie t.o.v. het elastisch responspectrum gegeven. Bij gebouwen gaat het hier met name om de wand-vloer aansluitingen en de regelmaat van de plattegrond. Bij betonconstructies is de modificatie afhankelijk van de detaillering van de wapening in de knopen. Bij staalconstructies hangt de modificatie met name af van het ontwerp van de verbindingen.

Omdat alle constructies al ontworpen zijn op basis van het eigengewicht, en neerwaartse opgelegde belastingen, inclusief een belastingfactoren, is er meestal voldoende marge voor het opnemen van de extra verticale belasting door aardbevingen. Daarnaast is de verticale respons bij de veelal langere trillingstijden bij de beschouwde constructies veel lager dan de horizontale respons. Daarom wordt in deze beoordeling van de constructie met name gekeken naar de horizontale krachten uit de aardbeving.

De krachten uit de aardbevingsbelasting resulteren ook in extra belastingen op de paalfunderingen. Zeker als deze horizontale belastingen groter zijn dan de bij het oorspronkelijk ontwerp beschouwde belastingen, dan kan een aardbeving, aanvullend t.o.v. de in paragraaf 5.5.2 beschreven effecten, een overbelasting van de fundering geven.

3 Primaire keringen

3.1 Object: primaire keringen – dijken en dammen

In de provincie Groningen zijn primaire keringen aanwezig. Dit omvat dijkkring 6 en dijktraject 6-5, 6-6 en 6-7. Deze primaire keringen beschermen het achterland tegen de zee. Er zijn geen primaire keringen aanwezig die beschermen tegen rivieren. Ook zijn er geen duinen aanwezig. De aanwezige primaire keringen betreffen hoofdzakelijk de zeedijken.

De primaire keringen zijn globaal in drie delen op te delen; ligging van deze delen is weergegeven in figuur 3-1.

- Traject Lauwersmeerdijk (dijktraject 6-5)
- Traject Lauwersmeer tot Eemshaven (dijktraject 6-6)
- Traject Eemshaven – Delfzijl (deels dijktraject 6-6 en 6-7).



Figuur 3-1: Locatie van primaire keringen, indeling naar dijktrajecten.

Het laatste deel, Traject Eemshaven – Delfzijl, is onderdeel van het project Dijkversterking Eemshaven-Delfzijl. Binnen dit project wordt de impact van aardbevingen gedetailleerd bepaald. Dit traject heeft de hoogste seismische risico's. Hier worden (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,2 g of meer.

Het middelste deel, Lauwersmeer tot Eemshaven, heeft lagere seismische risico's. Volgens de kaart van het KNMI worden hier (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,12 g of minder.

Het meest westelijke deel, de Lauwersmeerdijk, heeft de laagste seismische risico's. Volgens de kaart van het KNMI worden hier (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,04 g of minder.

Literatuur

Betreffende de primaire keringen is literatuur beschikbaar, in het specifiek:

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006
- Jongejan, R. Chacko, J., Giannakou, A., Vasileios, D., Tasiopoulou, P. (2017) Code calibration for coupled, effective stress FEM-assessments of the primary flood defenses at Eemshaven – Delfzijl; versie: final.
- Fugro (2017) Evaluation of dynamic stability using code calibrated design parameters Eemshaven-Delfzijl levee the Netherlands; kenmerk: 1016-0459-000.

Analyse

Deze documentatie geeft het beeld dat de effecten van lichte aardbevingen ($PGA < 0,2 \text{ g}$) op primaire keringen op voorhand uit te sluiten zijn. Bij zwaardere aardbevingen is het beeld gecompliceerder. Bij het project Dijkversterking Eemshaven Delfzijl speelt een proces waarbij nationale en internationale experts betrokken zijn. Binnen dit proces vindt gedurende de tijd een verfijning van de inzichten plaats. Deze zijn continu in ontwikkeling. De huidige stand van zaken betreft de bovengenoemde literatuur uit 2017.

Uit bovengenoemde werkwijze blijkt dat op het traject van Dijkversterking Eemshaven-Delfzijl de aardbevingsrisico's verwaarloosbaar zijn. Dit komt doordat het risico op verweking van de ondergrond niet nul is, maar dat de effecten marginaal zijn. Na een correctie voor de norm van deze keringen is voor het traject Eemshaven-Delfzijl gerekend met aardbevingen met een herhalingsperiode van 1x per 1056 jaar en 1x per 2290 jaar. De analyses betreffen aardbevingen met een $PGA = 0,30 \text{ g}$ tot $0,65 \text{ g}$. Daarbij is de berekende verticale deformatie van de dijken (exclusief modelfactor) tussen de 0,03 tot 0,15 m. De acceptabele verticale deformatie bij deze belastingen is 3,0 m. De berekende verticale deformatie ligt dan ook een factor 20 tot 100 lager dan de acceptabele verticale deformatie.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- Binnen de 0,3 g contour liggen geen primaire keringen. Deze zijn dan ook hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering bij dijktraject Eemshaven – Delfzijl is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering bij dijktraject Lauwersmeer - Eemshaven is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --). Argumenten zijn: de gevoeligheid vanuit de ondergrond is naar verwachting vergelijkbaar als bovenstaande. De PGA van dit dijktraject is even hoog of lager dan bovenstaande.
- De kwetsbaarheid van de primaire kering bij dijktraject Lauwersmeerdijk is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --). Argumenten zijn: de gevoeligheid vanuit de ondergrond is naar verwachting vergelijkbaar als bovenstaande. De PGA van dit dijktraject is fors lager dan bovenstaande.

3.2 Object: primaire keringen – kunstwerken (gemalen)

In de provincie Groningen zijn primaire keringen aanwezig en zijn in deze keringen kunstwerken aanwezig. Een specifieke vorm daarvan zijn gemalen.

De primaire keringen zijn globaal in drie delen op te delen:

- Traject Lauwersmeerdijk (dijktraject 6-5)
- Traject Lauwersmeer tot Eemshaven (dijktraject 6-6)
 - o Omvat onder andere Gemaal Noordpolderzijk
- Traject Eemshaven – Delfzijk (deels dijktraject 6-6 en 6-7).
 - o Omvat onder andere gemaal Spijksterpompen, gemaal de Drie Delfzijlen en gemaal Rozema.

Literatuur

- Deltares (2014) Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen Samenvatting resultaten onderzoek Deltares; kenmerk; 1208624-002-GEO-0004.

Analyse

In algemene zin hebben gemalen in primaire keringen de volgende eigenschappen:

- Er is sprake van een pomp en een pompgebouw. Deze objecten staan aan de binnendijkse zijde. Beschadiging van deze objecten heeft geen impact op de dijkveiligheid.
- Er is sprake van een afvoerleiding door de dijk heen. Dit object is gedimensioneerd op ten minste maatgevend hoog water.
- Er zijn diverse veiligheidsmaatregelen aanwezig.
In de regel zijn deze objecten dubbelkerend. Daarbij zijn twee afsluitmiddelen aanwezig die individueel zijn ontworpen op hoogwater.
- Deltares (2014) stelt op blz. 11 het volgende:
“Voor het gemaal de Drie Delfzijlen leidt zelfs een eventueel bezwijken niet tot overstromen en zijn geen preventieve maatregelen nodig. Nader onderzoek naar de impact van trillingen wordt aanbevolen in het kader van het operationeel beheer van het gemaal”.

Het volgende beoordelingskader is toegepast:

- Bij het onderwerp primaire keringen geldt de veiligheid van de primaire kering. Hier is alleen het risico beschouwd van het falen van de primaire kering, in het specifiek als gevolg van het falen van een gemaal.
- De impact van het falen van een gemaal voor de waterbeheersing is hier niet meegenomen. Dit is opgenomen in paragraaf 10.4.

De meest extreme bevingen zijn aanwezig in het deel van Eemshaven – Delfzijk. Binnen het onderzoek van Dijkversterking Eemshaven-Delfzijk is gemaal Spijksterpompen onderzocht op het risico van een aardbeving. Conclusie is dat grootschalige risico's niet worden verwacht. Exacte aardbevingsbestendigheid is afhankelijk van gedetailleerde gegevens en analyses. Deze gegevens en analyses zijn niet altijd voorhanden. Wanneer deze conservatief worden ingestoken, dan leidt dit tot vermoedelijk afkeuren van de sterkte van een deel van het gemaal. Aangezien de effecten van een beving op de dijk en dam zeer gering zijn (verticale deformatie 0,03 tot 0,15 m), is het beeld dat zelfs wanneer een object faalt (bv. scheurvorming in de afvoerbuis), de effecten voor de hoogwaterveiligheid beperkt zijn. Preventieve maatregelen worden op dit vlak dan ook niet gezien als doelmatig. Daarom wordt in het kader van DED ingezet op reactieve maatregelen (monitoring en kleidepots als noodvoorziening).

Gemaal Rozema en gemaal de Drie Delfzijlen liggen buiten de scope van DED en zijn niet onderzocht.

De algemene analyse stelt de volgende zaken:

- Bevingen hebben invloed op gemalen.
- Kritische onderdelen voor de dijkveiligheid zijn daarbij de sterkte van de doorvoerleiding en de fundatiewijze ervan.
- Falen van de pomp en/of het pompgebouw worden niet als kritisch beschouwd voor de primaire kering.

- De toets of deze elementen afdoende robuust zijn tegen een aardbeving heeft te maken met enerzijds de aardbevingsbelasting en anderzijds de sterkte van de elementen.
- Er zijn onvoldoende gegevens beschikbaar voor een volledige toetsing van de elementen (wapening van de funderingspalen onder de afvoerleiding).
- Bij de toetsing op reële uitgangspunten is geen aardbevingsrisico berekend. Bij het toetsen op volledig conservatieve uitgangspunten wordt wel enig aardbevingsrisico berekend. Aangezien de deformatie van de dijk bij een maatgevende aardbeving gering is (verticale deformatie 0,03 tot 0,15 m) is de vervolgschade en het risico voor de hoogwaterveiligheid gering.
- Het aardbevingsrisico is daarmee niet significant.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- Binnen de 0,3 g contour liggen geen primaire keringen en dus ook geen gemalen die deze keringen doorkruisen. Deze zijn dan ook hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (gemalen) bij dijktraject Eemshaven – Delfzijl is waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (gemalen) bij dijktraject Lauwersmeer - Eemshaven zijn waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -). Argumenten zijn: de gevoeligheid vanuit de ondergrond is naar verwachting vergelijkbaar als bovenstaande. De PGA van dit dijktraject is even hoog of lager dan bovenstaande.
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (gemalen) bij dijktraject Lauwersmeerdijk is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --). Argumenten zijn: de gevoeligheid vanuit de ondergrond is naar verwachting vergelijkbaar als bovenstaande. De PGA van dit dijktraject is fors lager dan bovenstaande.

3.3 Object: primaire keringen – kunstwerken (leidingkruisingen)

In de provincie Groningen zijn primaire keringen aanwezig (zie eerdere paragraaf). In deze keringen zijn kunstwerken aanwezig. Een specifieke vorm daarvan zijn leidingkruisingen.

Het deel leidingkruisingen is analoog aan het onderdeel gemalen. Ook in het kader van Dijkversterking Eemshaven Delfzijl zijn leidingkruisingen onder de kering beschouwd. Daaruit komen dezelfde conclusies als voor de doorvoerleiding van gemalen.

Aanvullend stelt deze notitie het volgende:

- Leidingkruisingen ter plaatse van primaire keringen bestaan altijd uit doorgelaste stalenbuizen of kunststofbuizen (bv. HDPE).
- Deze zijn sterker en meer aardbevingsbestendig dan betonnen doorvoerleidingen van gemalen.
- Deze leidingen hebben een hogere zekerheid over de sterkte eigenschappen dan betonnen doorvoerleidingen van gemalen.
- Daarom liggen de risico's van deze leidingkruisingen, lager dan die van gemalen.

Daarom zijn de conclusies herhaald van primaire kering – kunstwerken (gemalen), maar zijn bijgesteld naar beneden.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- Binnen de 0,3 g contour liggen geen primaire keringen en dus ook geen kunstwerken die deze keringen doorkruisen. Deze zijn dan ook hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (leidingkruisingen) bij dijktraject Eemshaven – Delfzijl is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (leidingkruisingen) bij dijktraject Lauwersmeer - Eemshaven is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).

- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (leidingkruisingen) bij dijktraject Lauwersmeerdijk is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).

3.4 Object: primaire keringen – kunstwerken (zeesluizen)

In de provincie Groningen zijn primaire keringen aanwezig (zie eerdere paragraaf). In deze keringen zijn kunstwerken aanwezig. Een specifieke vorm daarvan zijn zeesluizen.

De primaire keringen zijn globaal in drie delen op te delen.

- Traject Lauwersmeerdijk (dijktraject 6-5, o.a. R.J. Cleveringsluizen)
- Traject Lauwersmeer tot Eemshaven (dijktraject 6-6; geen sluisen bekend).
- Traject Eemshaven – Delfzijl (deels dijktraject 6-6 en 6-7 onder andere Zeesluizen bij Farmsum en de spuisluis bij Delfzijl).

Het laatste deel, Traject Eemshaven – Delfzijl, is onderdeel van het project Dijkversterking Eemshaven-Delfzijl. Binnen dit project wordt de impact van aardbevingen gedetailleerd bepaald. De sluisen bij Delfzijl en Farmsum vallen echter buiten de scope van dit project.

Dit traject heeft de hoogste seismische risico's, hier worden (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,2 g of meer.

Het middelste deel, Lauwersmeer tot Eemshaven, heeft lagere seismische risico's. Volgens de kaart van het KNMI worden hier (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,12 g of minder.

Het meest westelijke deel, de Lauwersmeerdijk, heeft de laagste seismische risico's. Volgens de kaart van het KNMI worden hier (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,04 g of minder.

Literatuur

- Deltares (2014) Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen Samenvatting resultaten onderzoek Deltares; kenmerk; 1208624-002-GEO-0004.

Geotechnische risico's

- Door een beving kan de ondergrond gaan verdichten. Daardoor kan lokaal "zetting" optreden. Dit kan leiden tot ongelijke zettingen of het ontstaan van holle ruimten onder een sluis.
- Door een beving kan de ondergrond gaan verweken. Recente inzichten geven aan dat de kans hierop nagenoeg nihil is. Dit fenomeen is dan ook niet verder beschouwd, anders dan het verdichten.
- Door een beving ondervindt een grondlichaam een belasting. Daardoor kan taludinstabiliteit ontstaan. Taludinstabiliteit is niet kritisch bij sluisen, deze zijn hoofdzakelijk kunstmatig ingericht (beton-, metselwerk en/of damwand).
- Door een beving kunnen objecten beschadigen waardoor de sluitzekerheid van de sluis afneemt. In Deltares (2014) wordt op bladzijde 11 het volgende gesteld: "Voor de zeesluis Farmsum geldt dat de betrouwbaarheid van sluiting een maatgevend risico is, maar dat de mogelijkheid van handmatige sluiting voor een voldoende kleine faalkans zorgt. Een beperkte constructieve beoordeling geeft aan dat een versnelling van circa 0,3 g opneembaar is".

Constructieve risico's

- Door een beving ondervindt een object een grotere of afwijkende belasting tegen de wanden. Het risico op bezwijken wordt klein geacht.
- Door zettingsverschillen tussen beide sluiswandtussen waardoor de deuren niet meer goed kunnen sluiten. Het beeld is dat puntdeuren kwetsbaarder zijn bij verschilzettingen, omdat deze precies op elkaar moeten aansluiten. Het beeld is dat roldeuren minder gevoelig zijn voor kleine deformaties.
- Verticale scheuren in de wanden door zettingsverschillen in de lengterichting. Dit heeft geen directe gevolgen voor de hoofdkrachtswerking en kerende functie van de sluis.

- Het bezwijken van de aansluiting van kwelschermen door zetting direct onder de sluis met negatieve kleef op het scherm terwijl de kolk niet of minder vervormt. Dit kan piping langs de sluis geven.

Analyse

Op hoofdlijnen kunnen sluisen worden ingedeeld in de volgende delen (basis verdeling voor het hele gebied, niet specifiek voor de zeesluisen):

- Robuuste objecten met beperkt verval.
- Robuuste objecten met groot verval.
- Kwetsbare objecten met beperkt verval.
- Kwetsbare objecten met groot verval.

De beschrijving van een robuuste en kwetsbare sluis zijn in paragraaf 3.3 gepresenteerd. Delen met een klein of een groot verval kennen formeel een vergelijkbare faalkans bij een beving. Maar omdat onder- en achterloopsheid afhankelijk is van het verval, is het falen weer wel afhankelijk van het verval. Begrippen zoals groot en beperkt zijn subjectief. De interpretatie hier is dat alle zeesluisen de zee dienen te keren. Onder maatgevende omstandigheden geeft deze een verval van meerdere meters over een sluis (> 3 m) ongeacht het achterland. Daarom zijn alle zeesluisen geplaatst in de categorie groot verval.

In algemene zin wordt gesteld dat nieuwe objecten robuust zijn en oude objecten kwetsbaar. Het beeld is dat alle zeesluisen voldoen aan de nieuwste normering voor primaire keringen. Er bestaan nog wel oude zeesluisen, bijvoorbeeld de monumentale zeesluis bij Farmsum. Echter is hier de primaire kering verlegd. Daardoor heeft deze oude sluis geen formele functie meer als onderdeel van de zeekering. Meer inhoudelijk gelden de volgende overwegingen:

- Er worden geen risico's verwacht betreffende de funderingswijze. Dit omdat geen van de funderingen (op staal of op palen) significant verlies van draagkracht zal vertonen.
- Er worden wel risico's verwacht bij objecten waar verschilzettingen plausibel zijn. Het beeld is dat alle zeesluisen bestaan uit een U-bak. Daarmee kunnen verschilzettingen tussen de sluiswanden op voorhand worden uitgesloten.
- Er worden wel risico's verwacht bij objecten met puntdeuren als de deuren aan weerszijden onafhankelijk van elkaar gefundeerd zijn. Uit een scan van de aanwezige sluisen lijkt dat niet het geval te zijn.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (sluisen) bij dijktraject Eemshaven – Delfzijl is waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -).
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (sluisen) bij dijktraject Lauwersmeer - Eemshaven is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --). Hier zijn namelijk geen sluisen bekend.
- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (sluisen) bij dijktraject Lauwersmeerdijk is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --). De aardbevingsbelasting op de aanwezige sluisen is namelijk zeer laag ($PGA < 0,04 g$). Voor het definitief vaststellen van deze beoordeling moet nog gekeken worden of er toch niet een aantal afwijkende sluisen voorkomen die niet als robuust zijn te kwalificeren.

3.5 Object: primaire keringen – kunstwerken (overig)

In de provincie Groningen zijn primaire keringen aanwezig (zie eerdere paragraaf). In deze keringen zijn kunstwerken aanwezig. Naast eerder genoemde objecten (gemalen, leidingkruisingen, en zeesluizen) zijn er ook overige objecten.

Literatuur

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006.

Analyse

Bovengenoemde literatuur stelt over coupures het volgende: *“Van de Coupure West in Delfzijl blijken de betrouwbaarheid van sluiting en onder- en achterloopsheid beïnvloed te worden door een aardbeving. Aanbevolen wordt hier na een zware aardbevingsbelasting inspecties uit te voeren naar onder- en achterloopsheid en sluitingsmogelijkheden en zo nodig tijdelijke of herstelmaatregelen te nemen (bv bigbags bij niet sluiten of herstel schermen bij onder- en achterloopsheid). Preventieve versterkingsmaatregelen worden in dit stadium niet zinvol of noodzakelijk geacht.”*

De overige objecten zijn niet in detail geanalyseerd. Echter wordt de redentatie van Deltares overgenomen. Het algemene beeld is dat de kwetsbaarheid van alle overige objecten, ondanks dat dit een breed begrip is, niet een afwijkende kwetsbaarheid kennen ten opzichte van coupures, gemalen, leidingkruisingen, of zeesluizen. Alle objecten binnen het traject van Dijkversterking Eemshaven – Delfzijl voldoen aan de aardbevingsbelasting, of deze worden bewust niet preventief versterkt. Daarom is de redentatie dat dit ook op gaat voor alle overige objecten.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- De kwetsbaarheid van de primaire kering – kunstwerken (overig) is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).

4 Regionale keringen

4.1 Object: regionale keringen – dijken en dammen

In de provincie Groningen zijn regionale keringen aanwezig. Deze beschermen het achterland tegen hoge waterstanden in de regionale wateren. Het verschil tussen regionale keringen en primaire keringen betreft de volgende zaken:

- Normen voor regionale keringen zijn in de regel lager.
Een exacte vergelijking hierbij is niet te maken aangezien de ene norm op overstromingskansen is gebaseerd en de ander op overschrijdingskansen.
- Regionale keringen kennen een veel kleiner verschil tussen maatgevende omstandigheden en gemiddelde omstandigheden dan primaire keringen. Bij het Eemskanaal ligt het verschil in waterstand op ca. 0,70 m, bij de primaire kering is dit verschil ca. 5 tot 8 m (afhankelijk van keuze tussen eb of vloed).
- Regionale keringen omvatten een compartimenteringssysteem binnen Groningen. Dit is onder andere het schillen systeem. Het verschil in waterstand tussen twee schillen is in de regel beperkt (ca. 0,2 m).

Literatuur

Betreffende de regionale keringen is literatuur beschikbaar, in het specifiek:

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006.
- Deltares (2014) Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; samenvatting resultaten onderzoek Deltares; kenmerk: 1208624-002-GEO-004.
- Diverse literatuur gerelateerd aan watersysteem en regionale keringen.
- Antea Group (2017) Dijkversterkingen Groningen, Oostersluis – Bronssluis; kenmerk 406959.

Analyse

Op hoofdlijnen kunnen regionale keringen worden ingedeeld in de volgende delen.

- Robuuste keringen binnen / buiten aardbevingsgebied met beperkt verval.
- Robuuste keringen binnen / buiten aardbevingsgebied met groot verval.
- (Mogelijk) Kwetsbare keringen binnen / buiten aardbevingsgebied met beperkt verval.
- (Mogelijk) Kwetsbare keringen binnen / buiten aardbevingsgebied met groot verval.

De literatuur omvat reeds diverse analyses van regionale keringen:

- In de quickscan van Deltares (2013) is een globale analyse gemaakt van de Eemskanaaldijk. Daarbij wordt gesteld dat het risico op falen van de kering, als gevolg van grote vervormingen (dat de kruin met meer dan 70 cm zakt) ook bij een piekversnelling van 0,5 g nog beperkt is. Schade aan de dijk wordt door Deltares bij versnellingen groter dan 0,2 g niet uitgesloten.
- In het samenvattend onderzoek van Deltares (2014) worden specifieke delen van de regionale keringen benoemd die niet voldoen aan aardbevingsbelastingen. In het specifiek zijn dit:
 - o Eemskanaal; circa 3+6 kilometer onvoldoende sterk.
 - o Kades tussen Stedum en Bedum; circa 2 kilometer onvoldoende sterk.
 - o Kades rondom het Schildmeer, Hondhalstermeer en het Slochterdiep; circa 1+2+6 kilometer onvoldoende sterk.
 - o Kades langs en ten zuiden van het Winschoterdiep tot aan Winschoten (westzijde) en het Oldambtmeer; circa 10+17+5 kilometer onvoldoende sterk.
- Antea Group kan bovenstaande analyses niet staven aangezien de uitgangspunten niet uitvoerig zijn beschreven. Aardbevingen en hoogwater zijn ongecorrleerd aan elkaar. Vigerende toetsvoorschriften voor regionale keringen met bevingen gaan nu uit van frequente waterstanden. Dit zijn of streefpeilen of waterstanden die circa 1x per jaar voorkomen. Of bovengenoemde analyse deze zaken ook heeft gedaan, of uitgaan van ongunstige buitenwaterstanden en grondwaterstanden in de dijk is niet te stellen. Het beeld is dat bovenstaande analyses uitgevoerd zijn met het software pakket DAM. Dit pakket rekent in algemene zin met een globale conservatieve benadering. Inzichten vanuit peilbuizen over de grondwaterstanden in een dijk zijn vaak niet meegenomen. Dergelijke

detailinformatie is echter wel van doorslaggevend belang in het oordeel van een dijk. Bovenstaande is daarom aangevuld met ervaringen van geavanceerde toetsing van het dijktraject Oostersluis – Bronsluis langs het Eemskanaal. Deze analyse geeft een meer gedegen beeld van de impact van een aardbeving op een regionale kering waar veel detailinformatie bekend is.

- In dit onderzoek is een pragmatische analyse gedaan op basis van streefpeilen¹⁴. Op basis daarvan is een eerste analyse gedaan. Deze sluit aan bij de inzichten van Deltares (2013) waarbij is gesteld dat de dijken langs het Eemskanaal (groot verval) het meest kritisch zijn.
- Keringen die onder dagelijkse omstandigheden veel water keren, hebben een groter bevingsrisico dan keringen die weinig of geen water keren onder dagelijkse omstandigheden.
- In het volgende rapport zijn analyses gemaakt per regionale kering van de eventuele breslocaties. Daarbij is beschouwd wat de onderzijde is van een bres. Op basis hiervan is een onderverdeling gemaakt naar keringen met veel en weinig risico. Bron: HKV (2013) Veiligheidsklassen Regionale Waterkeringen; Actualiseren normering regionale waterkeringen; kenmerk: PR2329.10.
 - o Duurswoldboezem: streefpeil NAP -1,07 meter, breshoogte NAP -2,1 tot -2,7 meter. Bron streefpeilen: Hunze en Aa's (2013) Peilbesluit Duurswold. Zomerpeil in 2013, voorgenomen aanpassingen zijn niet meegenomen.
 - o Oldambtboezem: streefpeil NAP -1,46 meter, breshoogte NAP -0,6 tot -2,6 meter. Bron streefpeilen: Hunze en Aa's (2015) Peilbesluit Oldambtboezem. Streefpeil na aanpassing bodemdaling.
 - o Eemskanaal: streefpeil NAP +0,70 meter, breshoogte NAP +2,0 tot -2,1 meter.
 - o Fiveringoboezem: streefpeil NAP -1,24 meter, breshoogte NAP -0,3 tot -1,1 meter.
 - o Electraboezem 1^e schil: streefpeil NAP -1,16 meter, breshoogte NAP -0,35 tot -1,05 meter.
 - o Electraboezem 2^e schil: streefpeil NAP -1,07 meter, breshoogte NAP -0,00 tot -1,00 meter.
 - o Electraboezem 3^e schil: streefpeil NAP -0,93 meter, breshoogte NAP +0,60 tot -1,50 meter.
 - o Overige boezemsystemen zijn niet meegenomen. Dit omdat deze of ver verwijderd zijn van het bevingsgebied (bv. Lauwersmeer) of omdat de keringen hier niet aangemerkt zijn als regionale waterkering (bv. Spijksterpompen of Noordpolderzijk).

Conclusie

De onderstaande tabel is toegepast om de kans op falen van de regionale keringen kwalitatief te bepalen.

	Robuuste keringen, Beperkt verval	Robuuste keringen, Groot verval	(Mogelijk) Kwetsbare keringen, Beperkt verval	(Mogelijk) Kwetsbare keringen, Groot verval
Binnen kern aardbevingsgebied*	Niet verkend	Eemskanaaldijk	Fiveringoboezem Electraboezem 1 ^e schil Electraboezem 2 ^e schil	Duurswoldboezem Oldambtboezem
Kans op falen door aardbeving	Zeer onwaarschijnlijk	Zeer onwaarschijnlijk	Zeer onwaarschijnlijk	klein
Buiten kern aardbevingsgebied*	Niet verkend	Niet verkend	Electraboezem 3 ^e schil Overige systemen	Niet verkend
Kans op falen door aardbeving	Zeer onwaarschijnlijk	Zeer onwaarschijnlijk	Zeer onwaarschijnlijk	Zeer onwaarschijnlijk

* PGA > 0,2

¹⁴ De gehanteerde streefpeilen gegevens zijn geraadpleegd in mei 2017 en zijn afkomstig van <https://waterdata.noorderzijlvest.nl/waterstanden/>

Hieronder is een meer gedetailleerde onderbouwing van de conclusie per boezemsysteem gegeven.

- Bij keringen waarbij het streefpeil lager ligt dan het niveau van de breslocaties is de kans op schade beoordeeld als zeer onwaarschijnlijk risico (score --). Van deze systemen is niet bekend of er sprake is van kwetsbare of robuuste keringen. Gezien het zeer beperkte verval is dit niet kritisch voor de conclusies. Daarom is gesteld dat deze vallen in de categorie (mogelijk) kwetsbare keringen. Dit betreft de volgende systemen:
 - o Fivelingboezem: streefpeil NAP -1,24 meter, breshoogte NAP -0,3 tot -1,1 meter. HKV adviseert voor dit gebied lage IPO-classes voor de keringen (klasse I en II).
 - o Electraboezem 1^e schil: streefpeil NAP -1,16 meter, breshoogte NAP -0,35 tot -1,05 meter. HKV adviseert voor dit gebied lage IPO-classes voor de keringen (klasse I).
 - o Electraboezem 2^e schil: streefpeil NAP -1,07 meter, breshoogte NAP -0,00 tot -1,00 meter. HKV adviseert voor dit gebied lage IPO-classes voor de keringen (klasse I).
- Bij keringen die liggen in een gebied waar weinig of geen bevingsrisico is, is de kans op schade beoordeeld als zeer onwaarschijnlijk (score --). Dit betreft de volgende systemen:
 - o Electraboezem 3^e schil: streefpeil NAP -0,93 meter, breshoogte NAP +0,60 tot -1,50 meter. De kwetsbare delen van de keringen liggen ten westen van Groningen stad. Dit deel heeft lage seismische risico's, hier worden (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar) PGA's verwacht van 0,06 g of minder. HKV adviseert voor dit gebied een breed spectrum aan IPO-classes voor de keringen (klasse I tot IV). Het beeld is dat de kritische laaggelegen delen die kunnen inunderen bij streefpeil, zoals Tolberter Petten en Kuzumer een lage IPO-klasse kennen (klasse II).
 - o Overige boezemsystemen zijn niet meegenomen. Dit omdat deze of ver verwijderd zijn van het bevingsgebied (bv. Lauwersmeer) of omdat de keringen hier niet aangemerkt zijn als regionale waterkering (bv. Spijksterpompen of Noordpolderzijl).
- Keringen die nu worden onderzocht, zijn beoordeeld op basis van dit onderzoek. In het specifiek is Antea Group bezig met onderzoek naar de Eemskanaaldijk op het traject Oostersluis – Bronsluis (kenmerk: 406959). Voor het deel van de kering dat nu wordt onderzocht geldt dat deze IPO-klasse V is, dus een hoge norm heeft. HKV adviseert voor dit gebied een breed spectrum aan IPO-classes voor de keringen (klasse I tot V). Een deel van de keringen langs deze boezem heeft dus een lagere norm dan het onderzochte deel.

Voorlopige resultaten geven aan dat het risico op verweken van de ondergrond als gevolg van een beving mogelijk verschilt van enige verweking tot het uitsluiten ervan. De effecten van het verweken van de ondergrond zouden daarmee nauwelijks kritisch zijn. De conclusie voor het gedeelte Oostersluis-Bronssluis, is dat een dijk die voldoet aan de normen voor hoogwaterveiligheid tevens afdoende robuust is voor de effecten van een aardbeving.

Eerdere analyses van Deltares geven aan dat er delen van het Eemskanaal, of meer specifiek langs het Winschoterdiep, kritisch zijn. Aangezien het Winschoterdiep in vergelijking tot het Eemskanaal eenzelfde aardbevingsbelasting of lager kent, is het beeld dat voor dit deel eenzelfde of lager aardbevingsrisico geldt dan voor het Eemskanaal. Daarom is het gehele systeem van het Eemskanaal beoordeeld als niet-kwetsbaar (score --).

- Op basis van bovenstaande analyse is een uitspraak gedaan over de meeste regionale keringen in de provincie Groningen. Uitzondering zijn de onderstaande systemen. Hiervan zijn ten tijde van schrijven geen uitgewerkte berekeningen bekend. Bij deze systemen geldt over de regionale keringen op meerdere plekken een niet verwaarloosbaar verval. Gezien de analyses die bekend zijn van andere waterkeringen, is het niet reëel om aan deze keringen een hoog bevingsrisico toe te kennen. Ook geldt dat voor deze keringen een lage IPO-klasse en dus een lage norm wordt geadviseerd. Echter is van wege de informatieleemte het risico ook niet geheel nihil te stellen.

Daarom is gesteld dat de kans op falen van deze delen is beoordeeld als zeer klein (score -).

- Duurswoldboezem: streefpeil NAP -1,07 meter, breshoogte NAP -2,1 tot -2,7 meter.
Bron streefpeilen: Hunze en Aa's (2013) Peilbesluit Duurswold. Zomerpeil in 2013, voorgenomen aanpassingen zijn niet meegenomen.
HKV adviseert voor dit gebied lage IPO-classes voor de keringen (klasse I tot III).
- Oldambtboezem: streefpeil NAP -1,46 meter, breshoogte NAP -0,6 tot -2,6 meter.
Bron streefpeilen: Hunze en Aa's (2015) Peilbesluit Oldambtboezem. Streefpeil na aanpassing bodemdaling.
HKV adviseert voor dit gebied lage IPO-classes voor de keringen (klasse I en II).

4.2 **Object: regionale keringen – kunstwerken (gemalen)**

In de provincie Groningen zijn regionale keringen aanwezig. In deze keringen zijn kunstwerken aanwezig. Een specifieke vorm daarvan zijn gemalen.

Analyse

Er is geen literatuur specifiek gerelateerd aan gemalen in regionale keringen en de aardbevingsbelasting daarop. Er wordt door Deltares wel een opmerking gemaakt over gemaal de Drie Delfzijlen welke in een primaire kering ligt: *“Voor het gemaal Drie Delfzijlen leidt zelfs een eventueel bezwijken niet tot overstromen en zijn geen preventieve maatregelen nodig”*.

Hier is gesteld, zonder inhoudelijke uitwerking, dat bij regionale keringen de normen, kwetsbaarheid en risico's naar verwachting lager zijn dan bij primaire keringen. Daarbij is het uitgangspunt dat de huidige staat van deze objecten goed is en dat bij een groot verval de leidingen van gemalen dubbelkerend zijn uitgevoerd. Een van de keringen met het grootste verval, de Eemskanaaldijken, kennen vanaf de zijde van Noorderzijlvest geen gemalen, maar wel enkele inlaten en onderleiders. De exacte sterkte van deze objecten is niet bekend, maar de verwachting is dat deze afdoende robuust zijn. Derhalve zijn de risico's beoordeeld als hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar.

Impact van niet functioneren van een gemaal op het waterbeheer wordt als niet kritisch beschouwd. In paragraaf 2.2 is dit nader onderbouwd.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- De kwetsbaarheid van de regionale kering – kunstwerken (gemalen) is beoordeeld als hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).

4.3 **Object: regionale keringen – kunstwerken (sluizen)**

In de provincie Groningen zijn regionale keringen aanwezig. In deze keringen zijn kunstwerken aanwezig. Een specifieke vorm daarvan zijn sluizen.

Tussen de sluizen in regionale en primaire keringen zitten meerdere verschillen. Deze betreffen vooral de veiligheid en robuustheid. Primaire keringen zijn robuuster en worden met enige regelmaat getoetst aan de normering (toetsing bij VTV2006 1x per 7 jaar). Bij regionale keringen is het beoordelen van kunstwerken geen onderdeel van het toetsproces na oplevering. Ook gelden voor kunstwerken in regionale keringen lichtere normen dan voor kunstwerken in primaire keringen.

Het is niet zondermeer mogelijk om een uitspraak te doen over de herhalingsijd die voor deze objecten aangehouden moet worden. In afwijking van het naastliggende dijklichaam kan schade aan de sluis ook bij normale waterstanden tot falen leiden. Dit betreft zowel de functie van het schutten van schepen, wateroverlast aan de zijden van het onderpand, als verlies van water uit het bovenpand.

Geotechnische risico's

- Door een beving kan de ondergrond gaan verdichten. Daardoor kan lokaal “zetting” optreden. Dit kan leiden tot ongelijke zettingen of het ontstaan van holle ruimten onder een sluis.
- Door een beving kan de ondergrond gaan verweken. Recente inzichten geven aan dat de kans hierop bij de PGA waarden voor dijken nagenoeg nihil is. Omdat bij sluizen mogelijk een langere herhalingsijd gehanteerd moet worden (verschillen tussen NPR9998 en normen voor keringen), moet verweking dus op basis van hogere versnellingen dan bij de dijken getoetst worden en kunnen de bevindingen bij dijken niet één op één voor sluizen worden overgenomen. Als de sluis op palen is gefundeerd, dan zal geen zetting optreden. Bij sluizen op staal is zetting door verweking niet uit te sluiten.
- Door een beving ondervindt een grondlichaam een belasting. Daardoor kan taludinstabiliteit ontstaan. Taludinstabiliteit is niet kritisch bij sluizen, deze zijn hoofdzakelijk kunstmatig ingericht (beton-, metselwerk en/of damwand).

Constructieve risico's

- Dynamisch (opslinging) effecten zullen bij sluizen geen rol spelen.
- Door een beving ondervindt een object een grotere of afwijkende belasting tegen de wanden.
- Door een beving kunnen deformaties, zowel door verticale zetting als door verhoogde horizontale gronddruk, ontstaan waardoor de beide sluiswanden ten opzichte van elkaar verplaatsen. Door het verschil in vervorming bestaat er een kans dat de deuren niet meer goed kunnen sluiten. Het beeld is dat puntdeuren kwetsbaarder zijn bij verschilzettingen, omdat deze precies op elkaar moeten aansluiten. Het beeld is dat roldeuren hier minder gevoelig voor zijn.
- Verticale scheuren in de wanden door zettingsverschillen in de lengterichting. Dit heeft geen directe gevolgen voor de hoofdkrachtenwerking en kerende functie van de sluis.
- Het bezwijken van de aansluiting van kwelschermen door zetting direct onder de sluis met negatieve kleef op het scherm terwijl de kolk niet of minder vervormt. Dit kan piping langs de sluis geven.

Analyse

Bij sluizen met een betonnen U-bak constructie zal de bak met de naastliggende grond via de ondergrond gaan bewegen. Er zal echter een verschil zijn tussen het gedrag van de sluis kolk en de naastliggende grond, waardoor ook de gronddrukken tegen de wand zullen veranderen ten opzichte van de normale ontwerpsituaties. De verwachting is dat deze extra gronddrukken beperkt zullen blijven en niet tot bezwijken van de betonnen wanden zullen leiden.

Bij onafhankelijk gefundeerde wanden, waarbij geen gesloten vloer aanwezig is, is er meer kans op overbelasting van de wanden. Deze situatie zal met name voorkomen bij metselwerk wanden. De constructie van de sluis kolk is in dat geval dus gelijk aan een metselwerk kademuur.

Op hoofdlijnen kunnen sluizen worden ingedeeld in de volgende categorieën:

- Robuuste objecten met beperkt verval.
- Robuuste objecten met groot verval.
- Kwetsbare objecten met beperkt verval.
- Kwetsbare objecten met groot verval.

Sluizen uitgevoerd als betonnen U-bak kunnen beschouwd worden als robuuste constructie, sluizen met twee losse metselwerk wanden als kwetsbare constructie. Naar verwachting komt deze tweede vorm met name voor bij oudere sluizen. Delen met een klein of een groot verval kennen formeel een vergelijkbare faalkans bij een beving. Maar omdat onder- en achterloopsheid afhankelijk is van het verval, is het falen weer wel afhankelijk van het verval. Begrippen zoals groot en beperkt zijn subjectief. De interpretatie hier is dat alle sluizen in het Eemskanaal een groot verval kennen en alle overige (niet-zeesluizen) een beperkt verval.

Meer inhoudelijk gelden de volgende overwegingen:

- Bij robuuste objecten worden geen risico's verwacht betreffende de funderingswijze. Dit omdat geen van de funderingen (op staal of op palen) significant verlies van draagkracht zal vertonen.
- Er worden wel risico's verwacht bij objecten waar verschilzettingen plausibel zijn. Dit is het geval wanneer de sluiswanden onafhankelijk van elkaar gefundeerd zijn. Een voorbeeld hiervan is de sluis in het Reitdiep bij Zernike en de 3- wegsuis tussen het Eemskanaal en het Damsterdiep. Hier (lijken) de bestaande sluiswanden te bestaan uit twee losse gemetselde wanden.

Conclusie

In de onderstaande tabel zijn de conclusies van de analyse opgenomen.

	Robuuste objecten, Beperkt verval	Robuuste objecten, Groot verval	Kwetsbare objecten, Beperkt verval	Kwetsbare objecten, Groot verval
Object beschrijving	Betonnen U-bakken met punt-, roldeuren.	Betonnen U-bakken met punt- of roldeuren.	Metselwerk sluisen. Extra kwetsbaar bij punt ten opzichte van roldeuren	Metselwerk sluis. Voor zover alleen in combinatie bekend alleen met roldeur
Kans op schade door aardbeving	zeer onwaarschijnlijk (score --)	Piping risico's kans op falen klein (score 0)*	Klein. Het risico is groter dan bij robuuste objecten. Dit neemt af door het geringe afval (Score 0)	Groot. Score (++)

* bij het optreden van piping effecten is er enige tijd beschikbaar om maatregelen te treffen voordat er veel schade ontstaat. Daarom is de beoordeling van de score relatief lager dan de score van het faalmechanisme zelf.

5 Vaarwegen en oeverconstructies

5.1 Groene taluds

Langs een groot deel van alle watergangen liggen groene taluds. Dit geldt voor watergangen in de stad en platteland. Deze taluds zijn vergelijkbaar met keringen. Verschil is dat keringen een functie hebben voor het achterland en dat groene taluds alleen een functie hebben als overgang tussen water en land.

Literatuur

- Er is geen literatuur op dit onderdeel beschikbaar.

Analyse

- Door een beving worden groene taluds aanvullend belast. Daardoor kunnen deze falen. Belangrijke vraag is wat hierbij de definitie is van falen. Een vorm van falen is wanneer een talud bezwijkt en een waterweg daardoor ontoegankelijk wordt. Een andere vorm van falen is wanneer een talud bezwijkt en functies op het land daardoor worden bedreigd. Voorbeelden daarvan zijn wegen die kunnen afschuiven, kabels en leidingen die bloot komen te liggen. Enige deformatie van de ondergrond ($< 0,1$ m) wordt echter niet gezien als kritisch falen.
- Kritische belastingsituaties voor groene taluds zijn locaties waar deze steil zijn en er sprake is van een hoge grondwaterstand, eventueel gecombineerd met een val van het buitenwater.
- Bovenstaande komt overeen met buitenwaartse stabiliteit van keringen. De meeste keringen hebben flauwe taluds (1:2 of flauwer). De meeste groene taluds zijn vaak steiler.
- Omdat neerslag en aardbevingen ongecorrleerd zijn, is het reëel om uit te gaan van een aardbeving bij gemiddelde omstandigheden.
- Er zijn verkennende berekeningen gemaakt van (droge) taluds. Deze zijn beschreven in hoofdstuk 5 van het hoofdrapport. Daarbij zijn analyses gemaakt voor droog zand. Hier is aangenomen dat taluds van klei een vergelijkbare sterkte hebben. Dit laatste komt vooral door zaken zoals cohesie die maatgevend zijn bij taluds met een beperkt hoogteverschil. Anderzijds geldt voor cohesieve gronden dat boven de grondwaterstand nog enige zuigspanningen aanwezig zijn die voor extra sterkte zorgen. Deze zuigspanningen zijn niet waarschijnlijk in natte omstandigheden (hoogwater, extreme neerslag), maar wel bij gemiddelde omstandigheden. Daarom lijkt de aanname dat kleitaluds vergelijkbaar reageren als droge zandtaluds verdedigbaar.
- De verkennende analyses geven aan dat (droge) taluds met een helling van 1:1 kritisch lijken bij $PGA = 0,1$ g. Droge taluds met een helling van 1:1,5 lijken niet kritisch bij $PGA = 0,3$ g of extremer. Taluds flauwer dan 1:1,5 lijken in het algemeen niet-kritisch.
- Groene taluds zijn in de regel uitgevoerd met een helling van 1:1,5 en hebben een lage risicoklasse. Daarom worden deze objecten niet streng beoordeeld en is het oordeel dat deze objecten voldoen.
- In bovenstaande analyse zijn bewust geen uitspraken gedaan over groene taluds in veengebieden. De verwachting is dat dergelijke gebieden een hogere grondwaterstand kennen en dan ook gevoeliger zijn voor instabiliteit. Echter is ook de verwachting dat dergelijke taluds minder steil zijn en dat objecten op een grotere afstand uit de groene taluds liggen.

Conclusie

De onderstaande methode is toegepast om de kans op falen van de groene taluds kwalitatief te bepalen.

- Taluds steiler dan 1:1 lijken niet reëel, deze zijn dan ook niet beoordeeld.
- Taluds met een helling tot 1:1,5 zijn waarschijnlijk niet kwetsbaar (score -) voor aardbevingen binnen de $PGA = 0,3$ g contour.
- Taluds flauwer dan 1:1,5 zijn hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar (score --) voor aardbevingen.

5.2 Stalen damwand

Langs een aanzienlijk deel van de watergangen/kanalen in Groningen bestaat de oeverconstructie uit stalen damwanden. Deze is soms voorzien van ankers. Dit is ten minste het geval langs het Eemskanaal. Het is plausibel dat stalen damwanden ook een voorname rol spelen bij havens. Dit is echter niet geïnventariseerd.

De analyse in deze paragraaf heeft uitsluitend betrekking op damwanden bij waterkeringen/ oeverconstructies langs kanalen en watergangen waarbij hoogwater de zwaarste “normale” ontwerpcondities betreft.

De beschouwing is niet van toepassing op kadeconstructies waarbij er sprake is van een hooggelegen maaiveld met zware bovenbelasting zoals bij Groningen Seaports en grondkeringen bij hooggelegen wegconstructies met stalen damwand als grondkering.

Literatuur

- Antea Group (2017) Aardbevingsbestendig ontwerp Eemskanaaldijk; Voorlopig Ontwerp traject Oostersluis - Bronssluis; kenmerk: 406959; revisie definitief 1.0;

Analyse

- Bovenstaande analyse betreft een specifieke case. De uitgevoerde berekeningen zijn uitgevoerd voor een damwand met en zonder aardbevingsbelasting. Uit deze analyses kwam naar voren dat de belastingssituatie met een beving niet maatgevend was. Daarbij zijn systematisch lagere belastingen berekend dan bij andere belastinggevallen, zoals val van hoogwater. Hierbij is ontworpen op een aardbeving met een intensiteit van circa $PGA = 0,15 g$.
- Er wordt als gevolg van een aardbeving een beperkte extra belasting verwacht op de damwand. Wanneer deze een extremere aardbeving betreft, dan kan dit mogelijk maatgevend zijn. De ankers kunnen daarbij mogelijk bezwijken / knappen. Daardoor kan de oeverconstructie onwenselijk veel vervormen. In een extreme situatie is geheel functieverlies van de oeverconstructie ook mogelijk.
- Binnen een standaard ontwerp is reeds enige veiligheid aanwezig rondom de ankers. Binnen damwanden en verankeringen is nog enige extra veiligheid aanwezig. Normaliter wordt gerekend met een veilige sterkte van trekankers. Wanneer deze zwaarder worden belast, kan het staal van deze ankers gaan vloeien. Aangezien een beving kortdurend is, kan het vloeien van het staal leiden tot energie dissipatie tijdens de beving. Daardoor hoeft er geen sprake te zijn van falen. Echter is er ook geen sprake van een veilige situatie, omdat (veel) reserves binnen het ontwerp worden aangesproken. Ankers worden bevestigd in de grond. Vaak zit tussen de representatieve sterkte en de gemiddelde sterkte van de grond een (nog) grotere reserve dan in de sterkte van het staal. De risico's op dit vlak worden dan ook kleiner geschat dan van het knappen van de ankers.
- Op basis van bovenstaande stelt Antea Group dat de kans op falen van stalen damwanden als gevolg van aardbevingsbelastingen binnen de $PGA = 0,1 g$ contour, dus lager dan de doorgerekende case, zeer onwaarschijnlijk is. Op basis van bovenstaande stelt Antea Group dat de kans op falen van stalen damwanden als gevolg van aardbevingsbelastingen binnen de $PGA = 0,2 g$ contour, dus iets zwaarder dan de doorgerekende case, ook zeer onwaarschijnlijk is.
- Bij aardbevingsbelastingen extremer dan $PGA = 0,2$ of $0,3 g$, dus boven de getoetste situatie, wordt de standvastigheid van damwanden als niet zeker beschouwd. Omdat het falen van damwanden niet direct gerelateerd is aan schade aan de omgeving (dit is vooral gerelateerd aan te grote vervormingen), worden de effecten van het functieverlies van de damwand gezien als beperkt.

Conclusie

De bovenstaande methode is toegepast om de kans op falen van de stalen damwanden kwalitatief te bepalen.

- Alle damwanden binnen de $PGA = 0,3 g$ contour worden gezien als mogelijk kwetsbaar (score 0) voor aardbevingen.

5.3 Kademuren - metselwerkwallen

Langs een aanzienlijk deel van de grachten/kanalen in Groningen stad bestaat de oeverconstructie uit gemetselde kademuren. Een snelle verkenning laat zien dat dergelijke kademuren ook elders in Groningen zijn toegepast (bijvoorbeeld in Loppersum en Appingedam).



Figuur 5-1: Gemetselde kademuren in Groningen (Winschoterkade-Oosterkade).

Bij dit object gaat Antea Group ervan uit dat een gemetselde wand een constructieve functie vervuld. Er zijn ook locaties waarbij vanuit esthetisch oogpunt een gemetselde bekleding aanwezig is. Daarbij wordt echter de sterkte geleverd door een niet zichtbare constructie, bijvoorbeeld een damwand. Voor dergelijke situaties geldt de object beschrijving “stalen damwand”.

Literatuur

- Er is geen specifieke literatuur gerelateerd aan aardbevingen voor dit onderdeel beschikbaar.
Wel zijn diverse versterkingsprojecten van dergelijke muren elders uitgevoerd. De toelaatbare versnellingen voor metselwerk wanden van gebouwen uit de literatuur zijn niet bruikbaar voor keermuren. De dynamische effecten zijn bij keermuren veel kleiner en de dikte is veel groter zodat de stabiliteitseffecten als bij (half)steens wanden bij kademuren niet aan de orde zijn.

Analyse

- Door een beving worden gemetselde wanden aanvullend belast. Dit heeft invloed op meerdere zaken die kunnen leiden tot falen van het object. De onderstaande faalmechanismen worden als kritisch beschouwd. Faalmechanismen zoals verticale stabiliteit en horizontale stabiliteit van het grondmassief worden als niet kritisch gezien, omdat deze een grote reserve kennen ten opzichte van de te verwachten belastingen.
 - Kantel stabiliteit; risico op omvallen kademuur.
 - Sterkte metselwerk; risico op scheurvorming in metselwerk en afschuiving van het deel boven de scheur.
- Vaak worden kademuren van metselwerk toegepast op locaties waar weinig ruimte beschikbaar is. Daardoor is bijna altijd sprake van een weg die op korte afstand ligt van de kademuur. Daarnaast is het (zeer) plausibel dat achter een dergelijke kademuur ondergrondse infra, zoals kabels en leidingen, aanwezig is. Het falen van de kademuur leidt tot cascade effect / progressive failure waarbij deze objecten ook bedreigd worden.
- De toelaatbare versnellingen voor metselwerk wanden van gebouwen uit de literatuur zijn niet bruikbaar voor keermuren. De dynamische effecten zijn bij keermuren veel kleiner en de dikte is veel groter zodat de stabiliteitseffecten als bij (half)steens wanden bij kademuren niet aan de orde zijn.
- Dikke gemetselde muren kennen vaak extra sterkte ten opzichte van (half)steens gemetselde muren van gebouwen. Door het verband in twee richtingen is de sterkte minder afhankelijk van de sterkte van de voegmortel. Door de massa en het directe contact met de grond treedt ook geen

opslingering op. Echter muren van gebouwen ontlenen sterkte aan de bovenbelasting, deze bovenbelasting en sterkte ontbreekt bij gemetselde kademuren.

- De kantelstabiliteit van kademuren komt naar verwachting op hoofdlijnen overeen met de stabiliteit van groene taluds. Beide kennen kantelstabiliteit. Bij groene keringen heet dit macrostabiliteit wat in feite een momentvergelijking is. Beide objecten kennen een bepaalde sterkte en basis stabiliteit. Pas bij een bepaalde aardbevingsbelasting wordt de stabiliteit van een object kritisch. Bij een groen talud kan hiervoor een PGA-yield worden bepaald. Samen met het aardbevings signaal leidt dit tot een deformatie conform de methode Newmark sliding block. Waarschijnlijk kan voor een kademuur ook een PGA-yield worden bepaald. De bepalingswijze daarvan is echter onbekend. De exacte waarde daarvan is sterk afhankelijk van hoe de grondbelasting wordt meegenomen. Het is namelijk logisch dat als een kademuur tegen de grond aan staat, dat de grond op de muur een kracht uitoefent op de kademuur. Echter wanneer een kademuur te veel wordt belast, zal deze (enigszins) deformeren en staat er geen/weinig grond meer tegenaan. De gronddruk is dan ook niet constant maar is vervormingsgestuurd. Daarnaast geldt dat wanneer een kademuur een maal zo ver verplaatst is dat deze door het kantelpunt heen is, de kademuur onder de zwaartekracht zal omvallen. Daardoor is niet alleen de druk vervormingsgestuurd, maar ook het gevolg. Daarom wordt logischerwijs het volgende gesteld: kademuren die initieel een lage kantelstabiliteit hebben, hebben een groot risico op kantelinstabiliteit gedurende een beving.
- Ervaringen laten ook zien dat kademuren met een slechte onderhoudstoestand vaak voorover hellen, en daarmee een lage kantelstabiliteit kennen, of dat het metselwerk in een slechte staat is (scheurvorming). Daardoor speelt de onderhoudstoestand een grote rol bij de beoordeling van de impact van aardbevingen op kademuren.

Conclusie

Een precies beoordelingskader voor dit soort muren voor aardbevingsbelastingen ontbreekt. Ook is het beeld dat het bestaande beoordelingskader voor dit soort objecten niet geheel recht doet aan de bewezen standzekerheid ervan. Er is dus sprake van een kennisleemte op dit vlak. Dit is pragmatisch ingevuld op de volgende wijze:

- De kans op falen van gemetselde kademuren zijn is als redelijk groot beoordeeld. Daarom wordt binnen de $PGA = 0,3$ g contour worden gezien als waarschijnlijk kwetsbaar (score +) voor aardbevingen.
- Risico's binnen lagere aardbevingscontouren zijn logischerwijs lager.
- Risico's bij gemetselde kademuren met een slechte onderhoudstoestand zijn logischerwijs hoger. Volgens de methodiek is gesteld dat dit een trede hoger is (score ++). Dit volgt ook uit stap 4 van handreiking programma beheer in hoofdstuk 8 van het hoofd rapport. Deze "bijtelling" hoeft maar eenmalig. Het is toch op dit punt aanvullend benoemd, omdat bij dit type constructie relatief vaak sprake is van een relatief kwetsbaar ontwerp of een slechte onderhoudstoestand.

6 Wegen

Alle wegen in Nederland liggen verhoogd, zij het soms in beperkte mate. Naast deze wegen is dan ook altijd een talud aanwezig, zij het soms op een (grote) afstand. Deze taluds zijn vergelijkbaar met een groen talud langs een waterweg.

Voorbeelden van wegen met een talud zijn:

- Snelwegen en lokale wegen (bv. A7 met een naastgelegen sloot).
- Verhoogde wegen (o.a. N7 ter hoogte van Groningen stad).
- Wegen nabij een kunstwerk (o.a. toerit bij een viaduct, toerit bij een brug, e.d.).

Literatuur

- Er is geen literatuur over dit onderdeel in relatie tot aardbevingsbelastingen beschikbaar.
Hier is voortgebouwd op de analyses voor groene taluds.

Analyse

- Door een beving worden groene taluds aanvullend belast. Daardoor kunnen deze falen. Tevens is mogelijk sprake van verdichten van de ondergrond. Dit leidt tot deformaties aan het maaiveld. Dit leidt tot langs(on)vlakheid. Bij overgangen naar kunstwerken kan dit kritisch zijn.
- Het falen van een groen talud leidt tot risico's wanneer de kniklijn van dit talud onacceptabel dicht bij de weg ligt. De meeste laaggelegen wegen kennen een profiel van vrije ruimte. Indien een talud bezwijkt, tast dit het profiel van vrije ruimte aan en niet de weg of de functie van de weg. In algemeenheid geldt dat hoe hoger een weg is gelegen, hoe smaller het profiel van vrije ruimte is. Met name in situaties waarbij bij de oorspronkelijk aanleg weinig ruimte beschikbaar was, of bij wegverbreding is de afstand van de rijweg tot het talud klein. De N7 in Groningen kent tussen de weg en het talud nagenoeg geen vrije ruimte, terwijl bij een snelweg dit meestal meerdere meters is.
- Voor het falen van taluds is aangehouden dat beperkte deformatie van de ondergrond (< 0,15 m) niet is gezien als kritisch falen. Dit bouwt voort op de waarde vanuit de veiligheidsfilosofie voor macrostabiliteit van regionale keringen.
- Langs(on)vlakheid is acceptabel tot een zeker niveau.
Hier wordt voortgebouwd op CUR162 (1993) Construeren met grond; paragraaf 8.4. Deze stelt dat bij op staal gefundeerde objecten een zetting tot 0,15 m en een zettingsverhang tot 1:300 aanvaardbaar zijn. Deze waarden zijn ook toegepast voor wegen en aansluitconstructies. Opgemerkt wordt dat ondanks dat deze waarden aanvaardbaar zijn, minder deformatie beter is. Het is namelijk plausibel dat na deformatie een herstelactie gewenst is.
- Antea Group stelt aan dat alle taluds lager dan 2 m voldoende profiel van vrije ruimte hebben rondom de taluds. Daardoor kan schade van instabiele taluds aan de functie van de weg bij dergelijke locaties op voorhand uitgesloten worden.
Deze waarde is gebaseerd op het standaard ontwerp van wegen, deze gaan normaliter uit van een minimale drooglegging van 1 tot 1,5 meter. Daarmee heeft het standaard ontwerp van wegen reeds een talud van 1,5 meter hoog bij alle watergangen. Een tweede reden is dat na bezwijken van een dergelijk talud een deel van de grond afschuift. Bij een talud van 2 meter is dit beperkt. Een talud na afschuiven (indien droog) zal een helling hebben van ca. 1:2. Indien het talud voorafgaand aan de instabiliteit een helling heeft van 1:1,5, dan is de extra benodigde ruimte ca. 1 meter. Deze ruimte is meestal aanwezig.
- De beoordeling van de stabiliteit betreft wegen met verhoogde ligging, met een talud. In dergelijke gevallen is er altijd sprake van een relatief grote drooglegging. Wegen met een talud naar een naastgelegen waterbodem, waarbij de waterkant vrijwel direct naast de verharding ligt, zijn niet beschouwd.
- Antea Group stelt dat alle taluds hoger dan 2 m weinig profiel van vrije ruimte hebben. Hier is dit risico van instabiliteit groter. Daarbij wordt de mate van stabiliteit en vervorming als gevolg van een aardbeving bepaald door de methode van Newmark sliding Block. Deze is reeds eerder uitgewerkt in hoofdstuk 6 van de hoofd rapportage. Daaruit volgt dat een talud met een helling van 1:1 een

- grote deformatie geeft bij aardbevingen met $PGA = 0,1$ en $0,3$ g. Een talud van 1:1,5 leidt tot een verwaarloosbare deformatie bij een $PGA = 0,3$ g. (verticale vervorming circa 0,01 meter).
- Antea Group stelt dat de langsonvlakheid door verdichting op kan lopen tot een helling van 1:1000 (25 mm over 25 m). Dit bevindt zich binnen de acceptabele kaders van 1:300. De verwachte verticale deformatie bedraagt 0,05 m; dit is lager dan de acceptabele kaders van 0,15 m.

Conclusie

De onderstaande methode is toegepast om de kans op falen van de groene taluds kwalitatief te bepalen.

- Gezien het bovenstaande is de kans op falen: redelijk groot, score (+) voor de stabiliteit van hoge taluds (hoger dan 2 m) waarbij de helling gelijk of steiler is dan 1:1,5.
- Gezien het bovenstaande is de kans op falen: zeer onwaarschijnlijk, score (--) voor de stabiliteit van lage taluds (lager dan 2 m).
- Gezien het bovenstaande is de kans op falen: zeer onwaarschijnlijk score (--) voor de stabiliteit van flauwe taluds (flauwer dan 1:1,5).

Voor de beoordeling van wegen is uitgegaan van een laaggelegen weg. Het is aan de infra beheerder om te beoordelen of de kwetsbaarheid verhoogd moet worden in het geval van de combinatie van een hoge ligging en een steil talud.

6.1 Wegmeubilair van wegen

Het wegmeubilair betreft alle objecten direct naast de weg ten behoeve van de verkeersafwikkeling, zoals portalen met matrixborden, wegbewijzing, verkeersborden en VRI's.

In het algemeen zijn dit stalen objecten en met uitzondering van portalen voor matrixborden op staal gefundeerd.

Analyse

- Het is niet bekend wat de kwetsbaarheid van het wegmeubilair voor aardbevingen is. Omdat het veelal staalconstructies betreft is er vervormingscapaciteit (ductiliteit) aanwezig. Ook zijn de constructie vaak gedimensioneerd op basis van stijfheid en niet op sterkte.
- De bovengrondse delen van het wegmeubilair zijn waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -).
- Het maatgevende mechanisme is waarschijnlijk het omvallen van de constructie door het bezwijken van de fundering. Met name bij VRI's met een grote horizontale uitkraging en een paal aan één zijde kunnen de krachten op de fundering waarschijnlijk relatief hoog oplopen.



Figuur 6-1: Een VRI portaal met een enkele paal en grote uitkraging

Conclusie

- Asymmetrische constructies met een mast aan één zijde van de weg en een arm boven de weg worden als mogelijk kwetsbaar beoordeeld (score 0).
- De overige constructies worden als waarschijnlijk niet kwetsbaar beoordeeld (score -).

7 Spoorwegen

7.1 Baan zonder kunstwerken

Het hoofdrailnet zonder kunstwerken is analoog aan wegen zonder kunstwerken. Deze kent echter meer specifieke eigenschappen.

Literatuur

- Er is geen literatuur op dit onderdeel gerelateerd aan aardbevingen beschikbaar. Hier is voortgebouwd op de analyses voor droge groene taluds.
- Specifieke literatuur over (op)bouw van en langs het spoor is gegeven in: (2002) Het Witte boekje; Technische Voorschriften bij vergunningen voor kabels en leidingen langs, onder en boven de spoorweg; kenmerk: 395/2001; revisie 4; inclusief toelichting.

Analyse

- Door een beving worden taluds aanvullend belast. Daardoor kunnen deze falen. Tevens is mogelijk sprake van verdichten van de ondergrond. Dit leidt tot deformaties aan het maaiveld. Dit leidt tot langs(on)vlakheid. Bij aansluitconstructies kan dit kritisch zijn.
- Conform bovenstaande literatuur hebben taluds bij spoorwegen een helling van 1:2 of flauwer (bladzijde 10 tot 12 van de toelichting).
- Conform bovenstaande literatuur is de maximale acceptabele langs(on)vlakheid 10 millimeter per 6 meter (bladzijde 2 van de toelichting). De spoorligging heeft een standaardafwijking¹⁵ van circa 4 à 5 millimeter. Er resteert nog ca. 50% van het acceptabele verschil van 10 millimeter per 6 meter. Dit komt overeen met een acceptabel verhang van 5 millimeter per 6 meter (circa 1 op 1000).
- Analyses van taluds met een helling van 1:2 geven nihil aardbevingsrisico.
- Analyses van de langs(on)vlakheid geven mogelijk (iets) meer onvlakheid dan de acceptabele waarde.
- Bovenstaand onderdeel is daardoor mogelijk een risico. Dit is afhankelijk van de mate van verdichting die tijdens een aardbeving optreedt onder de spoorbaan. Deze verdichting is afhankelijk van de bodemopbouw (aanwezigheid los zand) en de aardbevingsversnelling. De gegeven verdichting is geldig voor de situatie nabij de regionale keringen langs het Eemskanaal (circa 50 millimeter verticale deformatie; dit is vertaald naar een hoekverdraaiing van 25 millimeter per 25 meter). Hier is getoetst met PGA = 0,15 g. Daardoor kunnen risico's bij lagere intensiteiten (vermoedelijke) worden uitgesloten, maar bij hogere intensiteiten juist niet.

Conclusie

De bovenstaande methode is toegepast om de kans op het falen van de baansecties van het spoor te bepalen. Het hoofdrailnet vanuit Haren naar Groningen is beschouwd als een locatie gebonden object. De PGA is hier aanzienlijk lager. Het hoofdrailnet wordt daarom beoordeeld als waarschijnlijk niet kwetsbaar (score -).

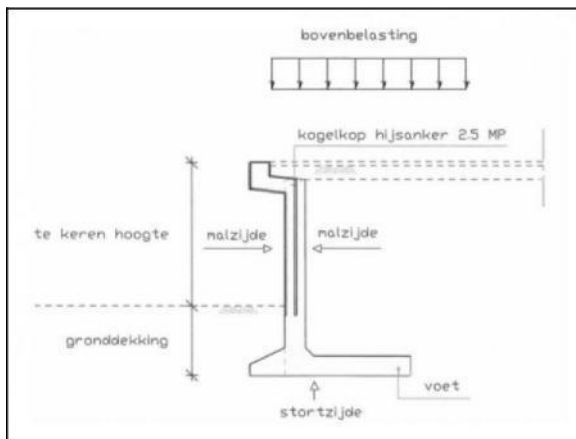
¹⁵ Conform: Het Witte boekje (2002); Technische Voorschriften bij vergunningen voor kabels en leidingen langs, onder en boven de spoorweg; kenmerk 395/2001; revisie 4; toelichting; blz. 3.

7.2 Perrons

Beschrijving

Voor de perrons zijn in het algemeen lage keerwanden toegepast.

Omdat het falen door het omvallen en blokkeren van de baan groter gevolgen heeft, worden perrons ingedeeld in CC3.



Figuur 7-1: doorsnede perronwand conform de OVS

Analyse

Aspecten als bodemverwekingen zijn voor deze relatief lichte constructies relatief minder kritisch. Aan de spoorzijde is per definitie geen sprake van een talud. Ook het bezwijken van de wand is op basis van de afmetingen van de betonconstructie niet aan de orde.

Conclusie

Gezien de belastinggraad wordt de kwetsbaarheid van perrons als hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar beoordeeld (score --).

7.3 Bovenleiding

Beschrijving

Uitsluitend in de baan vanuit Haren-Groningen is het spoor van bovenleiding voorzien.

In het interview met ProRail is aangegeven dat de beheersing van de gevolgen van aardbevingen op dit aspect vooral wordt gestuurd op de inzet op snel herstel bij eventuele schade.

Analyse

De robuustheid van de bovenleiding kan binnen de scope van deze studie niet bepaald worden.

Conclusie

Bij gebrek aan informatie en de vorm van de constructie zou deze (als er ook in het hart van het gebied bovenleiding zou zijn) als "waarschijnlijk kwetsbaar" geclassificeerd worden. Omdat het een object op een specifieke locatie met een relatief lage PGA betreft, wordt de beoordeling van het object: "waarschijnlijk niet kwetsbaar" (score -).

7.4 Overwegen

Beschrijving

Bij overwegen wordt de baan lokaal verstijfd door het toepassen van een plaat onder de spoorconstructie. Bij een kruising van een weg zal er ook nooit sprake zijn van een steil talud.

Analyse

Ten opzicht van het normale baanlichaam is er minder kans op afschuiving, omdat er geen sprake is van kwetsbare taluds. Verder zal het gedrag niet veel afwijken van de baan.

Conclusie

De kwetsbaarheid wordt beoordeeld als niet significant hoger ten opzichte van de effecten die ook al in de baan zijn beschreven. De overweg is wel een potentieel punt voor het ontstaan van langsonvlakheid door zettingsverschillen, maar deze zijn in paragraaf 6.1 al als hoog beschreven. Voor overwegen geldt dezelfde score laag (-).

7.5 Schakelkasten

Beschrijving

Volgens opgave van ProRail bij het interview voor de inventarisatie zijn schakelkasten van de overwegen gevoelig voor scheefstand. Omdat deze vaak naast de baan zijn geplaatst, staan deze vaak aan de rand van een talud.

Analyse

Bij deze kasten zal de dynamische invloed van bevingen waarschijnlijk beperkt zijn. De absolute waarde voor de gevoeligheid voor scheefstand is niet bekend bij Antea Group.

Conclusie

Als een geringe scheefstand van enkele graden al tot uitval kan leiden, wordt de kwetsbaarheid van deze kasten als deze in de nabijheid van een talud steiler dan 1:2 staand als waarschijnlijk kwetsbaar beoordeeld (score +).

Als de kasten op een horizontaal maaiveld zijn geplaatst, wordt de kwetsbaarheid als waarschijnlijk niet kwetsbaar beoordeeld (score -).

De hoge score wordt veroorzaakt door het feit dat de grenswaarde voor de scheefstand niet bekend is en een conservatieve benadering is aangehouden.

8 Kunstwerken (spoor)wegen

Deze objectcategorie omvat een zeer grote verscheidenheid aan constructies. Daarom is eerst een onderverdeling gemaakt in een aantal hoofdgroepen:

- Viaduct/vaste brug wegverkeer
- Onderdoorgang
- Beweegbare bruggen
- Spoorbruggen
- Duikers.

8.1 Viaducten en vaste bruggen voor wegverkeer

8.1.1 Viaduct/brug met hooggelegen landhoofden en eventueel een aantal tussenpijlers

Dit is een zeer veel voorkomende vorm van een vaste brug of viaduct. Dit type wordt gebruikt als basis voor de beschrijving van het effect van aardbevingen.



Figuur 8-1: Viaduct in de A7 met een betonnen dek, hooggelegen landhoofden en één tussensteunpunt

Beschrijving

Een groot deel van de viaducten en vaste bruggen bestaat uit een betonnen dek op hooggelegen landhoofden en eventueel een aantal tussensteunpunten op pijlers. Het kunstwerk is gefundeerd op (beton) palen. Onder de landhoofden staan de palen in schoorstand. Onder de pijlers staan de palen (bijna) te lood. Het dek is opgelegd op rubber oplegblokken.

Bij veel relatief korte en middellange dekken zijn er geen dilataties met voegen toegepast. Ook bij de toepassing van buigslappe of bitumineuze voegen zal het dek zich als één doorgaande plaat gedragen.

Analyse

De opbouw van het dek, bijvoorbeeld toepassing van prefab-liggers, in situ beton of het al dan niet voorgespannen zijn, zal een beperkte invloed hebben op het gedrag van de brug bij horizontale versnellingen. De massa is geconcentreerd in het dek en de eigenfrequenties van het dek worden bepaald door de horizontale stijfheid van de blokken en de steunpunten, waarbij het dek als een één massaveersysteem met de dekmassa op de gesommeerde stijfheid van de opleggingen beweegt. Op basis van een globale inschatting met ervaringsgetallen voor de massa van het dek en de stijfheid van de blokken en onderbouw kan gesteld worden dat de trillingstijd boven de 1 seconde zal liggen en is de dynamische respons beperkt. Juist als de onderbouw relatief slap, en daardoor schijnbaar kwetsbaar is, neemt de eigen frequentie en daarmee de respons af. Naar verwachting ligt de

rekenwaarde van de horizontale versnelling van het dek in de orde van de grondversnelling conform de PGA contour of lager.

Bij relatief kleine viaducten voor langzaam verkeer zal de horizontale belasting uit bevingen qua orde grootte niet hoger zijn dan de aanrijdbelasting (als er op aanrijding ontworpen is). Bij grote viaducten wordt de horizontale belasting in absolute zin wel groter, maar is de aanrijdbelasting in de praktijk niet maatgevend. Bij trilling langs de wegas zullen de dekken de frontwand van de landhoofden raken. Een dergelijk belasting zal geen direct bezwijken van het hoofd draagsysteem opleveren.

Dekken met dilataties boven de tussensteunpunten zijn kritischer. Bij een middenveld moet de horizontale aardbevingsbelasting via de pijlers afgedragen worden. Ook bij de eindvelden moet dit aan één zijde naar een pijler worden afgedragen en als dat niet gaat geeft de horizontale belasting een groot excentriciteitsmoment ten opzichte van de landhoofden. In combinatie met slanke kolommen als tussensteunpunt die niet geschikt zijn om een aanrijdbelasting op te nemen, wordt de kwetsbaarheid nog groter. Dit betreft tussensteunpunten bestaande uit relatief slanke kolommen (kleiner dan 800 millimeter).

De eigenfrequenties bij vervorming in het vlak van het dek zullen bij aardbevingen geen rol spelen. Volgens de NEN-EN 1998-2 is dit nodig om dit te beschouwen bij een breedte-lengte verhouding 1:4. Ook als deze slankheid groter is, dan worden geen effecten door trillingen in het vlak van het dek verwacht.

De kans op het verschuiven van het dek waarbij dit zover verplaatst dat dit van de blokken valt, is zeer onwaarschijnlijk. Een beving is te kort om een grote verschuiving te genereren.

De landhoofden en pijlers zijn vrijwel altijd op palen gefundeerd. Het effect van verdichting op het kunstwerk is nihil. Als bij het aansluitende grondlichaam een kleine zetting optreedt dan zal dat door de normaliter aanwezige stootplaten worden opgevangen.

Bij veel landhoofden wordt een aanzienlijk deel van de horizontale belasting via horizontale gronddrukken van de paal tegen het grondpakket overgedragen. Zeker als de taluds bij de landhoofden steil zijn, heeft dit twee kritieke aspecten:

- de stabiliteit van het talud zelf onder de aardbevingsbelasting
- de extra horizontale druk vanuit de palen door de horizontale traagheidskrachten uit het dek

Afschuiven van het talud valt niet uit te sluiten, al zal de verwachte vervorming beperkt zijn. Door de belasting uit de palen zijn de verwachte zettingen wel groter bij gewone taluds als beschreven in paragraaf 4.1.

Conclusie

Bij constructies die ontworpen zijn op aanrijdbelastingen is de kans op bezwijken zeer klein. Er kan wel schade ontstaan bij de landhoofden en voegen maar dit heeft geen invloed op het hoofd draagsysteem.

Bij landhoofden met een steil talud (steiler dan 2:3) is er een redelijk grote kans op afschuiving/zetting van dit talud. De grond rond de palen van het landhoofd is bij de huidige ontwerpen vaak een onderdeel van het hoofd draagsysteem. Naar verwachting zal de capaciteit van de bedding in het totale draagsysteem niet zover afnemen dat het kunstwerk niet meer gebruikt kan worden.

In de kern van het gebied wordt de kans op schade waarbij het kunstwerk niet meer bruikbaar is, als zeer klein (score -).

Varianten binnen dit subtype met een verhoogd risico

- Meervelds dekken met dilataties met zware pijlers (> 800 millimeter) of schijven als tussensteunpunt. De kans op schade is als zeer klein beoordeeld (score -).
- Meervelds dekken met dilataties in het dek waarbij aanrijding niet is meegenomen in het ontwerp. In dit geval moeten de slanke pijlers de horizontale aardbevingsbelasting opnemen. De kans op bezwijken is redelijk groot (score +).
- Kunstwerken met een doorgaand dek waarbij het talud (veelal tussentijds) steiler is opgezet (1:1). Bij ruimtegebrek staat er soms een keerwand of damwand aan de voet van het talud. De kans op bezwijken is klein (score 0).
- Kunstwerken met een meerveldsdek met dilataties waarbij het talud (veelal tussentijds) steiler is opgezet (1:1). Bij ruimtegebrek staat er soms een keerwand of damwand aan de voet van het talud. De kans op bezwijken is redelijk groot (score +).

8.1.2 Afwijkende vaste bruggen en viaducten

- *Bruggen en viaducten met een laaggefundeed landhoofd*
De kwetsbaarheid wordt soortgelijk ingeschat als bij viaducten met een hooggelegen landhoofd. Verschuiven van het talud is niet aan de orde. Instabiliteit van de landhoofden is uit te sluiten, omdat het dek als stempel kan werken.
- *Springwerken*
Dit zijn bruggen waarbij de overspanning is verkleind door scheef staande kolommen nabij de landhoofden. De kans op significante schade is redelijk groot, omdat de traagheidskrachten excentrisch op het steunpunt werken (score +).
- *Boogbruggen van metselwerk*
Al door geringe vervormingen wordt de boogwerking aangetast, waardoor de sterkte snel afnemen. In combinatie met het materiaal metselwerk wordt de kans op falen groot ingeschat (score ++).



Figuur 8-2: Metselwerk boogbrug

- *Secondaire bruggen buitengebied*
Er is een groot aantal kleine bruggen in het buitengebied, vaak niet meer dan een spreekwoordelijk "plank over de sloot". In het algemeen is niet mogelijk om een uitspraak te doen over de kans op schade bij dit type brug. In het kader van deze risico analyse is deze groep niet meer beschouwd, omdat de gevolgen van falen beperkt zijn.

8.2 Onderdoorgangen

Beschrijving

De meest voorkomende vorm van een onderdoorgang is een betonnen U- bak, met op het diepste deel een verkeersdek waardoor een gesloten doosconstructie ontstaat. Onderstaand is een onderdoorgang in het Julianaplein te Groningen afgebeeld.



Figuur 8-3: onderdoorgang voor wegverkeer

Omdat de onderdoorgang veelal onder de grondwaterstand ligt, is er in het algemeen maar een beperkte neerwaartse belasting. De open moten van de toeritten hebben veelal een paal/ankerfundering om opdrijven te voorkomen. Door het extra gewicht van het dek voor het kruisende verkeer zijn er bij de diepste snede meestal geen ankers noodzakelijk om opdrijven te voorkomen. Bij relatief ondiepe toeritten is de bak soms op staal gefundeerd. Verschillen in de funderingswijze komen in het algemeen vaak voor.

In de lengterichting is de onderdoorgang in losse moten uitgevoerd. De waterdichtheid tussen de moten wordt middels rubberen voegprofielen verzorgd. Deze profielen kunnen in het algemeen een verplaatsingsverschil van 30 mm in alle richtingen opnemen zonder te bezwijken.

Analyse

De bakconstructie zal (deels) meebewegen met de omliggende grond. De gronddeformaties zullen niet direct tot een toename van de druk tegen de wanden leiden. Bezwijken van de wanden door gronddrukken is dus niet aan de orde. Bezwijken door traagheidskrachten door het gewicht van het dek is bij deze constructie niet te verwachten. Het feit of het dek opgelegd is op blokken of monoliet is verbonden, zal geen verschil opleveren.

Bij verschillen in funderingswijze van de moten kunnen zettingsverschillen tussen de moten ontstaan. Als deze vervormingscapaciteit van de voegprofielen overschrijden dan zal de onderdoorgang vollopen en kunnen er door meevoeren van zand gaten in het maaiveld naast de voegen ontstaan.

In het geval van bodemverweking zouden trekpalen een deel van hun draagvermogen kunnen verliezen. De kans dat dit over de gehele lengte speelt is echter klein. Bovendien is het draagvermogen van de slappe lagen die waarschijnlijk ook over een deel van de lengte aanwezig zijn, bij kortdurende belasting, groter.

Conclusie

Bij onderdoorgangen die volledig op palen/ankers zijn gefundeerd, is de kans op schade: zeer onwaarschijnlijk (score --).

Bij onderdoorgangen waarbij bij moten verschillende funderingswijzen zijn toegepast, is de kans op schade klein. Hierin is impliciet meegenomen dat het gevolg van bezwijken door lekkage van voegen gering is (score 0).

8.3 Beweegbare bruggen

8.3.1 Basculebruggen

Beschrijving

Bij de grotere basculebruggen is er veelal sprake van een basculekelder met val aan één zijde van de vaarweg en een betonnen brug aan de andere zijde, waarbij de middenpijler in het hart van de vaarweg is geplaatst. Zie figuur 8-4.



Figuur 8-4: Voorbeeld van een basculebrug

Bij kleinere basculebruggen overspant het beweegbare val in één keer de vaarweg en is aan de overzijde uitsluitend een soort van landhoofd aanwezig.

Enkele algemene kenmerken van basculebruggen zijn:

- Het beweegbare deel is uitgevoerd in staal.
- Omdat bascule bruggen gevoelig zijn voor horizontale verplaatsingen zijn de funderingen vaak mede op basis van stijfheid gedimensioneerd. De zijde van de basculekelder wijkt constructief sterk af van de andere zijde. De respons op de aardbeving zal dus verschillend zijn tussen beide zijden van de vaarweg.
- Basculebruggen zijn vaak relatief hooggelegen ten opzichte van het maaiveld.
- De bruggen zullen waarschijnlijk op palen gefundeerde zijn.

Analyse

Zeker bij een beving in dwarsrichting van de overspanning ligt het zwaartepunt van de massa niet in lijn met het zwaartepunt van de horizontale weerstand. Ten opzichte van vaste bruggen en viaducten zal er sprake zijn van torsie effecten in het gedrag bij aardbevingen.

Omdat de brug meestal gesloten is, is de kans het grootst dat dit ook bij een aardbeving het geval zal zijn. De vooroplegging van het val zal verhinderen dat er een grotere relatieve verplaatsing optreedt dan de bewegingsruimte bij de voorhar. Het valt echter niet uit te sluiten dat het val na de beving helemaal niet meer wil openen, omdat deze is gaan klemmen of dat deze niet meer gesloten kan worden, omdat na het openen restspanningen tot vervormingen leiden die in eerste instantie door het val werden verhinderd.

Directe schade aan het bewegingswerk door traagheidskrachten worden bij een beving in gesloten positie niet verwacht. Indirecte schade aan de draaipunten door verschilvervormingen tussen beide opleggingen zijn zeker niet uit te sluiten.

Bij een beving met een open val zullen de traagheidskrachten naar verwachting groter zijn dan de normale ontwerpbelastingen. Kans op schade bij de hoofdraaipunten, waardoor de brug niet meer kan sluiten, valt niet uit te sluiten.

Conclusie

De kans op functieverlies van het openen of sluiten van het val wordt als groot beoordeeld. Het is de vraag of een brug waarvan het val is vastgelopen en het bewegingswerk is ontzet nog bruikbaar is voor verkeer. Er is in dat geval zeker sprake van hinder voor de scheepvaart.

Bij relatief grote verplaatsingsverschillen tussen de basculekelder en oplegpijler moet de onderbouw mogelijk gesloopt worden. Bij kleine verplaatsingsverschillen kan met modificaties en herstel van de opleggingen de brug weer operationeel worden. De kans op het bezwijken van de onderbouw wordt als klein beoordeeld (score -).

Als het mogelijke gebruik van een deels beschadigde brug wordt meegenomen in de beoordeling, dan worden basculebruggen als “waarschijnlijk kwetsbaar” beoordeeld (score +).

8.3.2 Ophaalbruggen

Met name in de kleinere wegen en over kleinere vaarwegen liggen een groot aantal ophaalbruggen met een grote variatie in uitvoering. Het is niet mogelijk deze bruggen in het kader van de risicoanalyse inhoudelijk te beschouwen. Er wordt daarom onderscheid gemaakt tussen “standaard moderne” ophaalbruggen en “overige” ophaalbruggen.

Standaard moderne ophaalbruggen



Figuur 8-5: Ophaalbrug over het Eemskanaal

Beschrijving

Ophaalbruggen in doorgaande wegen bestaan veelal uit betonnen aanbruggen die niet veel hoger liggen dan het omliggende maaiveld. Het val en bewegingswerk zijn uitgevoerd in staal. In figuur 8-5 is een voorbeeld van een dergelijk object weergegeven. Bij smallere vaarwegen vervalt vaak de aanbrug aan de zijde van de hameistijlen. Bij zeer smalle vaarwegen zijn er geen aanbruggen aanwezig.

Analyse

Voor de onderbouw gelden dezelfde overwegingen als bij basculebruggen. De pijler bij de hameistijl is wel minder zwaar dan in het geval van een basculekelder maar in verhouding tot overige afmetingen en gewichten is deze nog voldoende robuust.

De krachten vanuit het val op de draaipunten zijn lager dan bij een basculebrug, omdat traagheidskrachten uit de ballastkist niet op de draaipunten werken.

De draaipunten kunnen eventueel wel beschadigd raken door verplaatsingsverschillen van de pijlers, maar dit wordt niet waarschijnlijk geacht. Daarmee is de kans dat het val als “plank over de sloot” in gebruik kan blijven, groter.

De kwetsbaarheid van het bewegingswerk is niet te beoordelen zonder een analyse van de stijfheid van de hameistijlen en de massa in de balans. Een zware massa op een relatief slappe ondersteuning kan een lage respons hebben op een aardbevingsbelasting, maar het is niet bekend wat de eigenfrequentie zijn en of hier een algemeen gelden inschatting van gemaakt kan worden. Potentieel is de constructie wel gevoelig en kwetsbaar. Met name de verankering van de hameistijlen is een aandachtspunt. Als deze aansluiting bros kan bezwijken, dan kan de opbouw op de weg belanden.

Conclusie

De kans op functieverlies van het openen of sluiten van het val wordt als groot beoordeeld. Het is de vraag of een brug, waarvan het val is vastgelopen en het bewegingswerk is ontzet nog bruikbaar is voor verkeer. Zichtbare vervormingen van de hameistijlen of balanspriemen zullen tot afsluiting van de weg leiden. Er is in dat geval zeker sprake van hinder voor de scheepvaart.

De kans op het bezwijken van de onderbouw wordt als klein beoordeeld. De kans dat deze moet worden herbouwd wordt kleiner geacht dan bij bascule bruggen (score -).

Als het mogelijke gebruik van een deels beschadigde brug wordt meegenomen in de beoordeling, dan worden basculebruggen als “waarschijnlijk kwetsbaar” beoordeeld (score +).

Overige ophaalbruggen



Figuur 8-6: lichte ophaalbrug in secundaire weg

Analyse en conclusie

Bij secundaire wegen zijn er zeer lichte geconstrueerde varianten van dit type constructie aanwezig. figuur 8-6 is een voorbeeld van een dergelijk object. Deze lichte constructies worden in het kader van de risicoanalyse niet beschouwd. In het geval een lichte, fragiel ogende brug, in een belangrijke weg en binnen de PGA contour van 0,2 g ligt, dan wordt geadviseerd de brug nader te onderzoeken.

8.3.3 Overige beweegbare bruggen

In het gebied komen ook afwijkende beweegbare bruggen in de vorm van draai- en hefbruggen voor. Voor zover bekend maken deze bruggen geen deel uit van de hoofdinfrastructuur. Binnen het kader van de kwalitatieve risicoanalyse zijn deze objecten niet specifiek beschouwd. De verschijningsvorm is divers en vaak zijn het oudere bruggen die minder robuust zijn gebouwd.

Analyse en conclusie

Een deel van de kenmerken van ophaalbruggen is voor dit type van toepassing. In algemene zin wordt de kans op falen als redelijk groot beoordeeld. De meeste van deze bruggen zijn relatief oud en ogen kwetsbaar. Een eventuele prioritering moet door de beheerder op basis van de ligging in het gebied, belang van de brug en schijnbare kwetsbaarheid op basis van de verschijningsvorm beoordeeld worden. Een aantal overwegingen voor de beoordeling zijn bij de bascule- en ophaalbruggen in de voorgaande paragrafen benoemd.

8.4 Spoorbruggen

Uit een globale scan van de in het gebied voorkomende spoorbruggen blijkt dat er in de kern van het aardbevingsgebied veel kleine spoorbruggen voorkomen, bestaande uit twee keerwanden/landhoofden en een stalen dek.

In de stad Groningen is een aantal grotere spoorbruggen. Deze is zeer verschillend in verschijningsvorm en apart beschreven.

Voor spoorbruggen geldt dat relatief kleine vervormingen al tot ontsporing van een trein kunnen leiden. Omdat er in de baan altijd sprake is van spoor in ballast, is de invloed van deze vervormingen op de spoorligging eenvoudig te compenseren.

8.4.1 Kleine spoorbruggen

In het aardbevingsgebied komt in de spoorlijnen een aantal kleine, soms ook beweegbare spoorbruggen voor.



Figuur 8-7: kleine spoorbruggen

Beschrijving

De kleine spoorbruggen bestaan uit betonnen of metselwerk landhoofden en een stalen dek.

Analyse

De dynamische respons van deze constructies zal gering zijn. Een beving zal wel extra gronddruk tegen de wanden geven. Er zijn geen gegevens over de sterkte van de constructie, maar in het geval van metselwerk is de kans op bezwijken redelijk groot.

Conclusie

In het geval van metselwerk wanden wordt de kwetsbaarheid als “waarschijnlijk kwetsbaar” beoordeeld (score +). In het geval van betonwanden als “waarschijnlijk niet kwetsbaar” (score -).

8.4.2 Overige spoorbruggen

In de stad Groningen komt nog een aantal afwijkende spoorbruggen voor. Er zijn geen ontwerpgegevens van deze bruggen. Op basis van de foto is een beoordeling gemaakt.

- Ophaalbrug westzijde Centraal Station



Figuur 8-8: ophaalbrug westzijde Centraal Station

Conclusie

Voor deze brug gelden met betrekking tot de hameistijlen de overwegingen als voor ophaalbruggen voor wegverkeer. Voor de onderbouw is het als een kleine spoorbrug te beschouwen.

- Draaibrug Reitdiep



Figuur 8-9: draaibrug

Conclusie

Zonder een nadere analyse is het voor dit kunstwerk lastig om een beoordeling te maken. In een gesloten positie zal de dynamische opslinging gering zijn. Omdat de brug op een locatie met een lage PGA ligt, wordt deze in gesloten positie als “waarschijnlijk niet kwetsbaar” beoordeeld.

In de geopende stand kan er opslinging van het dek optreden. Het stalen val is echter relatief licht en de horizontale ontwerpbelastingen voor spoorverkeer vrij hoog. Daarom wordt de kwetsbaarheid op basis van de PGA op deze locatie als “waarschijnlijk niet kwetsbaar” beoordeeld.

- Spoorbrug Van Starckenborghkanaal:



Figuur 8-10: Spoorbrug Van Starckenborghkanaal

Conclusie

De eigenfrequenties van deze constructie zijn moeilijk in te schatten, omdat de parameters die invloed hebben op de eigenfrequenties niet met engineering judgement te bepalen is. Deze object is dan ook niet beoordeeld.

Daarvoor is het noodzakelijk om meer dan deze analyse, een studie uit te voeren vanuit de ontwerpdocumenten.

8.5 Duikers

Beschrijving

Het objecttype duiker wordt gedefinieerd als de kruising van een leiding of een watergang met een (spoor)weg met beperkte afmeting (< 2 m breedte) en een gesloten doorsnede. Een duiker kan een rechthoekige vorm (dek/wanden/vloer) of een gesloten, cirkelvormige doorsnede hebben. Constructies met landhoofden en een dekplaat met een kleine overspanning worden in het algemeen ook wel duiker genoemd, maar zijn in de context van deze rapportage als vaste brug te beschouwen.

De ronde duikers kunnen in staal, kunststof of beton uitgevoerd zijn en zijn veelal op staal gefundeerd.

De rechthoekige duikers bestaan veelal uit betonnen prefab elementen. In veel gevallen zijn deze middels een horizontale voorspanning in lengterichting van de duiker tot één lange gekoppelde buis samengevoegd. Alleen bij een zeer slechte bodemgesteldheid zal een paalfundering toegepast zijn.

Analyse

Zowel voor ronde als rechthoekige duikers zal de directe belasting uit aardbevingen op de dwarsdoorsnede geen aanleiding tot bezwijken geven. Eventuele schade zal kunnen ontstaan door vervormingsverschillen in de ondergrond.

Voor ronde duikers geldt in principe hetzelfde als voor buisleidingen. Omdat onder de weg geen bochten liggen en de wanddikte soms ook vergroot is voor de verkeersbelasting, zal de sterkte minimaal gelijk zijn en vaak groter zijn dan in normale leidingstrekking.

Rechthoekige duikers zonder voorspanning gedragen zich niet afwijkend van ronde betonnen buisleidingen met mof-spie verbindingen. Bij voorgespannen duikers is de langvoorspanning gedimensioneerd op de langzetting voor het normale gebruik. Bij grotere zettingen dan verwacht, kunnen ook de voorgespannen duikers gaan lekken bij de voegen tussen de prefab-elementen. Door de langvoorspanning is dit subtype wel minder kwetsbaar dan duikers met mof-spie verbindingen.

Voor de diverse duikers gelden dus in feite dezelfde overwegingen als voor andere leidingsystemen als beschrijving in hoofdstuk 10.

Conclusie

Omdat de vervormingsverschillen over de duiker beperkt zullen zijn, is de kans op het bezwijken van een doorgaande leiding of het opentrekken van de verbindingen in een leiding met losse elementen als zeer onwaarschijnlijk beoordeeld (score --).

9 Ondergrondse infrastructuur

9.1 Gasnetwerk

In de provincie Groningen liggen diverse gasleidingen. Dit omvat hoofdgasleidingen omtrent de gaswinningen en gastransport en daarnaast de fijnere detailstructuur.

Literatuur

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006. Aangeduid als; Deltares (2013a)
- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op het Gasunie-netwerk Groningen; Studie naar de robuustheid van het gasleidingsnetwerk; kenmerk: 1208092-000-GEO-0005-gbh –Aangeduid als; Deltares (2013b)

Analyse

In Deltares (2013b) geeft de Gasunie aan dat de berekende randvoorwaarden en gekozen onderdelen als maatgevend kunnen worden beschouwd. Deltares (2013a) stelt dat bij een aardbeving met een intensiteit van PGA van 0,5 bij rechte stalen leidingen voor gas-en chloortransport geen schade te verwachten is. Bijzondere onderdelen zijn aandachtspunten, maar gebaseerd op Deltares (2013b) is er bij voorbaat een aantal faalmechanismen uit te sluiten.

Risico's van de onderstaande situaties kunnen op voorhand worden uitgesloten:

- Ondergrondse leidingstrekkingen aangelegd na 1964.
- Leidingstrekkingen aangelegd met de HDD methode.
- Overgang ondergrondse leidingstrekkingen naar onderheide strekkingen.
- Aansluitingen met constructies (ondergronds en bovengronds).
- Isolatieverbindingen -isolatiekoppelingen –isolatieflenzen.
- Leidingen bij waterkeringen, parallelle ligging aangelegd volgens NEN 3651.
- Leidingen bij waterkeringen, kruisingen.
- Leiding bij waterleiding c.q. vloeistofleiding.

Het grootste aandachtspunt uit Deltares (2013b) is de standzekerheid van metselwerk van de GOS bebouwing. Deltares (2013b) stelt dat deze met een PGA van 0,5 vrijwel zeker zal instorten. Deltares (2013a) geeft aan dat vanaf PGA 0,1 metselwerk al kan bezwijken. Indien het gebouwen met bedieningselementen betreft, kan dit effect doorwerken naar het transport, mits er niet genoeg bypassmogelijkheden beschikbaar zijn bij het mogelijk uitvallen van een station.

Verdere aandachtspunten die genoemd worden in Deltares (2013b):

- Bochten van ondergrondse leidingstrekkingen – waarbij de lokale zettingsgevoeligheid als maatgevend wordt aangegeven.
- Leidingen bij waterkeringen, parallelle ligging dichterbij dan voorschrift NEN 3651- Deltares (2013b) stelt dat stabiliteit en invloedzone waterkering beoordeeld zal moeten worden.
- Verwekingeffecten op leidingelementen en effecten op gebouwen en constructies zijn door Deltares in 2013 conservatief beoordeeld. Recentere inzichten bij primaire keringen geven aan dat verweking een minimale rol speelt. Schade aan het gasnetwerk wordt dan ook niet verwacht.
- Merk op dat de analyse van Deltares (2013b) gebaseerd is op een beving met PGA = 0,5 g. Dit onderzoek maakt een vergelijking met andere infrastructuur op basis van bevingen met een herhalingstijd van 1x per 475 jaar moeilijk extrapoleerbaar. Daarbij ligt de intensiteit van een beving lager (PGA = 0,35 g).

Er wordt gesteld Deltares (2013a) dat er enige onzekerheid kan optreden, doordat de gegevens zijn afgeleid van tectonische aardbevingen en niet specifiek zijn gevalideerd zijn voor geïnduceerde aardbevingen.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- De kwetsbaarheid van de gasleidingen jonger dan 1964 is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van de overgangen en aansluitconstructies is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- De kwetsbaarheid van leidingen ouder dan 1964 is mogelijk kwetsbaar voor aardbevingen (score 0).
- De kwetsbaarheid van GOS-locaties met metselwerkgebouwen is kwetsbaar voor aardbevingen (score ++).

Bij het interview met Gasunie en Enexis is aangegeven dat er meerdere varianten van dit soort gebouwen bestaan en dat er varianten zijn die niet kwetsbaar zijn. Omdat Antea Group niet over de detailinformatie beschikt, is de kwetsbaarheid van dit soort gebouwen op basis de genoemde rapportage van Deltares. Het is aan de beheerders dit nader te verfijnen. Omdat volgens opgave van Gasunie/Enexis redundantie in het systeem zit, is deze score niet meegenomen in de overall score in het hoofdrapport.

9.2 Chloorleidingen

In de provincie Groningen zijn chloorleidingen aanwezig. Hier is reeds verkennend onderzoek naar gedaan. Dit valt buiten de scope van deze KRA.

9.3 Datakabels

In de provincie Groningen zijn ondergrondse datakabels aanwezig. Deze zijn echter niet geanalyseerd in het kader van de quickscan studie.

Literatuur

- Geen literatuur beschikbaar gesteld op dit vlak.

Analyse

Antea Group hanteert een pragmatische werkwijze op dit vlak. Er worden denklijnen gehanteerd die vergelijkbaar zijn met die van ondergrondse gasleidingen. Deze gasleidingen kennen een aantal belastingscenario's. Daarbij is getoetst aan de sterkte van het object. Aangezien kabels flexibele elementen zijn, kunnen deze niet bezwijken op basis van te grote buigspanningen. Wel kunnen kabels bezwijken door te grote deformaties. Een belangrijke vorm van deformaties die tot schade leiden bij kabels zijn aardverschuivingen (landslides). Aangezien de berekeningen bij primaire keringen aangeven dat de deformaties in de bodem als gevolg van een beving gering is, bestaat het beeld dat dit leidt tot overkoombare effecten op de kabels.

Conclusie

- De kwetsbaarheid van de ondergrondse datakabels is beoordeeld als hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).

10 Elektriciteit

10.1 Hoogspanningsmasten

In de provincie Groningen zijn (vele) elektriciteitsmasten aanwezig. Dit betreft 110, 220 en 380 kV verbindingen. Deze zijn onder andere aanwezig in het deel waar aardbevingsrisico's heersen. Hier is reeds verkennend onderzoek naar gedaan. Dit onderzoek sluit daarbij aan.

Literatuur

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006.
- TNO (2013) Aardbevingen: Quick Scan Kritieke Infrastructuur; kenmerk: 060-DTM-2013-01676. Deze rapportage is een bijlage bij de bovenstaande.
- Deltares (2014) Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen Samenvatting resultaten onderzoek Deltares; kenmerk; 1208624-002-GEO-0004.

Analyse

In de analyse van TNO is een berekening gemaakt van een hoogspanningsmast en de kwetsbaarheid daarvan voor aardbevingen. Daaruit volgt dat aardbevingen extremer dan $PGA = 0,12$ g risico's geven voor hoogspanningsmasten. Binnen het gebied van Groningen worden seismische risico's verwacht extremer dan $PGA = 0,12$ g (met een herhalingsstijd van 1x per 475 jaar). Falen van hoogspanningsmasten is dan ook redelijk groot. Risico's worden verwacht binnen de $PGA = 0,12$ g contour. Merk op dat de notitie van TNO de waarde van $PGA = 0,12$ g benoemt als falen voor hoogspanningsmasten. Andere rapporten (o.a. die van Deltares) die verwijzen naar ditzelfde rapport hanteren andere waarden (0,25 g), deze zijn echter exclusief veiligheidsfactoren.

Binnen het gebied zijn meerdere bovengrondse hoogspanningsverbindingen aanwezig. Indien een hoogspanningsmast faalt, dan worden deze verbindingen bedreigd. Het is plausibel dat het systeem enige redundantie heeft. Zo gaan er twee separate hoogspanningsverbindingen naar Eemshaven. Echter een beving nabij Eemshaven bedreigt beide verbindingen. Eenzelfde situatie geldt voor Delfzijl. Daar zijn meerdere verbindingen aanwezig. Echter de meeste hoogspanningsleidingen betreffen dezelfde serie hoogspanningsmasten. Daarom is het plausibel dat een beving leidt tot uitval van hoogspanningsmasten en daarmee ook tot uitval van een aanzienlijk deel van de energielevering naar een gebied.



Figuur 10-1: Nederlands transportnet – TenneT

Het beeld is dat de analyses van TNO betreffende hoogspanningsmasten een verkennend stadium betreffen. Het is plausibel dat een analyse met meer diepte tot scherpere conclusies kan komen. Het beeld op basis van de huidige stand van zaken is echter dat risico's niet uitgesloten kunnen worden.

Als arbitraire grens is gesteld dat bij bevingen de helft lager dan $PGA = 0,12 \text{ g}$ (dus $PGA = 0,06 \text{ G}$), de kans op schade zeer onwaarschijnlijk is.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- De kwetsbaarheid van de hoogspanningsmasten binnen de $PGA = 0,3 \text{ g}$ contour is kwetsbaar voor aardbevingen (score ++).
- De benadering van Deltares voor de beoordeling van bezwijken van de masten is een relatief eenvoudige benadering. Mogelijk kan door een verfijndere berekening de beoordeling worden bijgesteld.

10.2 Hoogspanningsstations

De onderstaande literatuur heeft een analyse van Hoogspanningsstations gegeven. Deze analyse is hier overgenomen. Deze literatuur stelt het volgende: "In Groningen staan meerdere verdeelstations van TenneT voor het hoofdnet en van lokale beheerders voor de lagere spanningen. Het onderzoek (...) heeft (...) betrekking op de hoogspanningsstations van 380 kV en deels ook 220 kV en 110 kV van TenneT. Naast stations zijn er ook verbindingen met masten, die ook gevoelig kunnen zijn voor de aardbeving."

Literatuur

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006.
- Deltares (2014) Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen Samenvatting resultaten onderzoek Deltares; kenmerk; 1208624-002-GEO-0004.

Analyse

De bovenstaande literatuur heeft een analyse van Hoogspanningsstations gegeven. Deze analyse is hier overgenomen.

Ten gevolge van een aardbeving bestaat de kans dat een component van het station door te hoge trilling uitvalt. De meeste componenten zijn standaard toegepast in klasse AF3, wat overeen komt met een versnelling van 0,3g, maar enkele componenten kunnen slechts een versnelling tussen 0,1 en 0,2g aan. De meeste transformatoren zijn ontworpen op 0,5g.

Als tweede effect kan een aardbeving de constructie van het station doen falen. De meeste elektrische componenten zijn geplaatst op kolommen of portalen die een versnelling van 0,24g-0,48g kunnen weerstaan. Dit is niet voor alle stations voldoende.

Als derde effect kunnen secundaire systemen (zoals bedieningsfuncties) in gevaar komen als de behuizing bezwijkt. De bediening is vaak gevestigd in eenvoudige metselwerk gebouwtjes (...). Deze zijn naar verwachting zeer kwetsbaar.

Deltares stelt verder dat verweking van de bodem een aandachtspunt is. De huidige inzichten vanuit primaire keringen is dat de impact van verweking zeer gering is. Daarom stelt Antea Group dat de risico's op het vlak van verweking gering zijn.

Tevens stelt Deltares een aantal verbetermaatregelen voor. Daarvan is het beeld dat een deel hiervan al is en wordt opgepakt. Daardoor neemt het risico op dit vlak af.

Conclusie

- De kwetsbaarheid van de hoogspanningsstations is als waarschijnlijk kwetsbaar voor aardbevingen beoordeeld (score +). Dit omdat er meerdere elementen zijn die afzonderlijk kunnen falen met stroomuitval tot gevolg.
- Een verfijnde aanpak waarbij de componenten en gebouwen afzonderlijk worden beschouwd, is noodzakelijk om tot een definitieve beoordeling te komen.

10.3 Ondergrondse kabels

In de provincie Groningen zijn ondergrondse kabels aanwezig. Deze zijn echter niet geanalyseerd in het kader van de quickscan studie.

Literatuur

- Geen literatuur beschikbaar gesteld op dit vlak.

Analyse

Antea Group hanteert een pragmatische werkwijze op dit vlak. Er worden denklijnen gehanteerd die vergelijkbaar zijn met die van ondergrondse gasleidingen. Deze gasleidingen kennen een aantal belastingscenario's. Daarbij is getoetst aan de sterkte van het object. Aangezien kabels flexibele elementen zijn, kunnen deze niet bezwijken op basis van te grote buigspanningen. Wel kunnen kabels bezwijken door te grote deformaties. Een belangrijke vorm van deformaties, die tot schade leiden bij kabels, zijn aardverschuivingen (landslides). Aangezien de berekeningen bij primaire keringen aangeven dat de deformaties in de bodem als gevolg van een beving gering is, is het beeld dat dit leidt tot overkoombare effecten op de kabels.

Conclusie

De kwetsbaarheid van de ondergrondse kabels is als hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen beoordeeld (score --).

11 Watervoorziening / afvalwatervoorziening

11.1 Afvalwaterleidingen

In de provincie Groningen zijn afvalwaterleidingen aanwezig. Deze zijn echter niet geanalyseerd in het kader van de quickscan studie.

Literatuur

- Geen literatuur beschikbaar gesteld op dit vlak.

Analyse

Antea Group hanteert een pragmatische werkwijze op dit vlak. Er worden denklijnen gehanteerd die vergelijkbaar zijn met die van ondergrondse gasleidingen. Deze gasleidingen kennen een aantal belastingsscenario's. Daarbij is getoetst aan de sterkte van het object. Afvalwaterleidingen betreffen ofwel een vrijverval riool, of een mechanisch riool (druk riool).

In het geval van een drukloos riool wordt vaak gebruik gemaakt van buizen die verbonden zijn met een mof-spie verbinding. Verschil tussen deze buizen en gasleidingen is dat gasleidingen vaak doorgelast zijn en dus trek-druk en moment vast zijn. Een buis met verbindingen gebaseerd op mof-spie kent meer vrijheden. Deze buizen kunnen onderling roteren. Afhankelijk van de diameter kan een kleine of een grote hoekverdraaiing worden opgevangen. Deze ligt in de orde 1,5 tot 3,0°. Wanneer de hoekverdraaiing kleiner is dan deze waarde kunnen knelpunten worden uitgesloten. Wanneer de hoekverdraaiing groter is, is het risico op brose breuk reëel.

Over een afstand van 25 meter geeft een hoekverdraaiing van 1,5 tot 3,0° een acceptabele verticale deformatie van 0,6 tot 1,2 m. Uitgaande dat er binnen een lengte van 25 meter meerdere buiselementen liggen die onderling verder kunnen knikken, kan de acceptabele verticale deformatie, indien de horizontale vervorming geen knelpunt is, nog groter uitvallen. De acceptabele verticale deformatie is ruim meer dan de verwachte 25 mm per 25 m als gevolg van verdichting. Effecten van verdichting lijken dan ook verwaarloosbaar. De verwachting is dat buissegmenten afdoende kort zijn dat indien er binnen een buissegment enige verschilzetting optreedt, dat dit door de sterke opgevangen kan worden. Dit is namelijk een veel voorkomende situatie in gebieden waar enige zettingen kunnen optreden. Andere faalmechanismen van deze leidingen worden als niet kritisch geacht (opdrijven, drukgolf belasting, e.d.). Aandachtspunten zijn er bij de aansluitconstructies. Hier is vaak een overgang van flexibel naar stijf. In de regel zijn deze aansluitconstructies ontworpen om deformaties op te kunnen vangen. Daarom worden op dit vlak dan ook geen knelpunten verwacht.

Bij een drukriool wordt het afvalwater in een put verzameld. Zodra het waterpeil in de put een bepaald niveau heeft bereikt dan wordt de put automatisch geleeegd. Drukriolen zijn dan ook in de regel drukloos. Deze zijn daarnaast ontworpen op drukvariaties / waterslag. Er is aangehouden dat deze riolen qua sterkte en belasting vergelijkbaar zijn met gasleidingen. Mogelijk komen deze leidingen robuuster uit een toetsing aangezien ze tijdens een aardbevingsbelasting vermoedelijk drukloos zijn. Daarom worden geen knelpunten verwacht betreffende aardbevingsbelastingen op een drukriool.

Conclusie

- De kwetsbaarheid van de ondergrondse afvalwaterleidingen is hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).
- In het geval van aansluitingen waarbij niet de gebruikelijke voorzieningen zijn getroffen om zettingsverschillen op te vangen is de kans op schade redelijk groot (score +). Dit moet wel gebruikt worden voor de screening van de infrabeheerders, maar is niet meegenomen in de beoordeling in het hoofdrapport.

11.2 Drinkwaterleidingen

In de provincie Groningen zijn drinkwaterleidingen aanwezig. Deze zijn echter niet geanalyseerd in het kader van de quickscan studie.

Literatuur

- Geen literatuur beschikbaar gesteld op dit vlak.

Analyse

Antea Group hanteert een pragmatische werkwijze op dit vlak. Er worden denklijnen gehanteerd die vergelijkbaar zijn met die van ondergrondse gasleidingen en afvalwaterleidingen (persleiding). Deze gasleidingen kennen een aantal belastingscenario's. Daarbij is getoetst aan de sterkte van het object. Deze objecten voldoen aan de effecten van een aardbevingsbelasting.

Het beeld is dat drinkwaterleidingen ontworpen zijn op normale situaties en op waterslag. Daardoor hebben deze een zekere sterkte met reserve. Dus is het plausibel dat drinkwaterleidingen een (aardbevings)belasting kunnen weerstaan. Omdat leidingen in de grond liggen, is er geen sprake van opslingering en is de belasting gering ook voor leidingen van bros materiaal (bijvoorbeeld beton, asbest en cement). Aandachtspunten zijn er, net als bij afvalwaterleidingen, bij de aansluitconstructies. Hier is vaak een overgang van flexibel naar stijf. In de regel zijn deze aansluitconstructies ontworpen om deformaties op te kunnen vangen. Daarom worden er op dit vlak geen knelpunten verwacht.

Conclusie

- De kwetsbaarheid van de drinkwaterleidingen is als hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen beoordeeld (score --).
- In het geval van aansluitingen waarbij niet de gebruikelijke voorzieningen zijn getroffen om zettingsverschillen op te vangen is de kans op schade redelijk groot (score +). Dit moet wel gebruikt worden voor de screening van de infrabeheerders, maar is niet meegenomen in de beoordeling in het hoofdrapport.

11.3 RWZI

In de provincie Groningen zijn meerdere waterzuiveringen aanwezig. Een zuivering bestaat in het algemeen uit:

- gebouwen, een dienstgebouw, extra gebouwen voor onderhoudswerkzaamheden, besturingssystemen en pompen;
- Leidingen;
- ronde en rechthoekige bassins en ronde tanks.

De wijze waarop deze onderdelen constructief in elkaar zitten zal per geval verschillend zijn. Een algemene conclusie m.b.t. de kwetsbaarheid is daarom niet te trekken. Op basis van de mogelijke kenmerken van deze constructies worden enige handreikingen gedaan om kritische onderdelen te herkennen.

Een feitelijke echte beoordeling op aardbevingsbelasting kan uitgevoerd worden conform de Handreiking voor het uitvoeren van studies naar het effect van aardbevingen.

11.3.1 Gebouwen

Beschrijving

De gebouwen hebben naar alle waarschijnlijkheid alle mogelijke constructievormen in metselwerk, staal en beton. Het is dus niet mogelijk om in het kader van deze risicoanalyse een beschrijving te maken.

Analyse

De beoordeling op de kans op falen kan uitsluitend gekoppeld worden aan de algemene kenmerken van het materiaal van de constructie. Dat wil zeggen dat metselwerk als relatief kwetsbaar wordt aangemerkt en beton en staal als relatief ongevoelig voor aardbevingen.

Het is aan de beheerder om op basis van de functie een nadere prioritering aan te brengen.

Conclusie

- De conclusie met betrekking tot de kwetsbaarheid van de gebouwen is gebaseerd op een gebouw, waarbij het falen een directe invloed heeft op het functioneren van de zuivering.
- De kans op falen van metselwerk gebouwen wordt beoordeeld als groot.
- De kans op falen van gebouwen met een stalen of betonnen draagstructuur wordt beoordeeld als zeer klein.

Eventueel kunnen metselwerk wanden in gebouw met een betonnen of stalenhoofddraagconstructie wel bezwijken.

11.3.2 Leidingen

Voor leidingen wordt verwezen naar het algemene deel over leidingen in de voorgaande paragrafen.

11.3.3 Bassins en tanks

Beschrijving

In het algemeen zijn bassins op waterzuiveringen van beton.

Bij rechthoekige bassins zijn vloer en wanden monoliet aan elkaar verbonden. Bij ronde bassins en tanks zijn er verschillende vormen:

- monoliet, vloer en wanden volledig verbonden, niet voorgespannen;
- monoliet, vloer en wanden volledig verbonden, voorgespannen;
- in situ vloer met wand uit gesegmenteerd prefab elementen en voorspanning.

De bassins en tanks kunnen zowel (gedeeltelijk) ondergronds als bovengronds geplaatst zijn.

De fundering zal afhankelijk zijn van de grondslag en kan zowel op palen als op staal zijn. Verdiepte bakken zijn soms verankerd tegen opdrijven bij het droogzetten.

Analyse

In algemene zin worden bassins en tanks op water- en gronddrukken ontworpen. Naar verwachting zal de directe extra belasting uit aardbevingen binnen de veiligheidsmarges van het ontwerp vallen.

Bij ongelijkmatige zettingen van de bodem is er een verschil tussen de monoliete tanks en de variant met prefab wanden. Bij de monoliete variant is de verbinding tussen vloer en wand sterk en zal de wand de ongelijkmatige zetting herverdelen zonder dat er veel schade op zal treden.

Bij tanks met prefab wanden is de verbinding tussen de wand en de vloer kwetsbaar voor vervormingsverschillen in de vloer. Deze verbinding kan meestal geen verticale trekkracht opnemen als de vloer over een gedeelte verzakt. In het geval van een fundering op staal is de kans op een grote scheur tussen vloer en wand hier redelijk groot.

Conclusie

- De kans op falen door bevingen is zeer onwaarschijnlijk bij monoliete bassins en tanks ongeacht de funderingswijze (score --).
- De kans op falen is zeer klein bij een fundering op palen en prefab wanden (score -).
- De kans op falen is redelijk groot bij een fundering op staal en prefab wanden (score +).

11.4 Pompstations

In de provincie Groningen zijn pompstations aanwezig. Er wordt onderscheid gemaakt naar drie soorten pompstations:

- Drinkwater gerelateerde systemen
- Afvalwater gerelateerde systemen
- Oppervlaktewater gerelateerde systemen.

Literatuur

- Geen literatuur beschikbaar gesteld op dit vlak.

Analyse

Antea Group hanteert een de volgende denklijnen betreffende drinkwatersystemen:

- Drinkwatersysteem betreft een netwerk met daarbinnen robuustheid. Zo kan bij uitval van een enkel deel binnen het drinkwaternetwerk water worden omgeleid, zodat niet grote gebieden zonder drinkwater komen te zitten. Het netwerk heeft zwakke en/of kritische schakels. Hier is aangenomen, omdat er slechts een voornamelijk drinkwaterwinning is, dat de kritische schakel deze drinkwaterwinning is. Van de verdeelstations/boosterstations is het beeld dat uitval van een enkel station leidt tot knelpunten, maar niet tot uitval van het gehele drinkwatersysteem.
- De voornaamste drinkwaterwinning is Onnen-De Punt. Deze ligt ter plaatse van de PGA = 0,1 g contour. De verwachting is, gezien de locatie van deze drinkwaterwinning, dat de effecten van een beving beperkt zijn. Vooral de leidingen, onttrekkingsbronnen en pompen worden als robuust beschouwd. De overige eigenschappen van het pompegebouw (sterkte gebouw, robuustheid ruwwater behandeling, kwetsbaarheid voor uitval stroomvoorziening) en of deze afdoende robuust zijn, is onbekend. Daarom is als oordeel waarschijnlijk niet kwetsbaar gegeven (score -).
- Het beeld van de verdeelstations/boosterstations is dat deze over het gehele aardbevingsgebied verdeeld liggen. Deze liggen dus ook ter plaatse van het aardbevingsgebied met zwaardere bevingen (PGA > 0,3 g). De verwachting is dat de leidingen en pompen robuust zijn voor aardbevingen. Naar verwachting betreffen de verdeelstations geen of beperkt metselwerk, maar een pragmatische ombouw zoals een betonnen bak. Deze is robuust tegen aardbevingen. Daarom is als oordeel waarschijnlijk niet kwetsbaar gegeven (score -).

Antea Group hanteert een de volgende denklijnen betreffende afvalwatersystemen:

- Pompstations van afvalwatersystemen zijn opgenomen binnen RWZI's. Deze worden beschouwd in paragraaf 10.3.
- Aanvullend zijn er pompstations nabij persleidingen. Hiervoor is eenzelfde kader toegepast als voor de verdeelstations / boosterstations. Dit omdat de opbouw van het object en de inhoud ervan (pomp met leiding) overeenkomstig is. Daarom is als oordeel waarschijnlijk niet kwetsbaar gegeven (score -).



Figuur 11-1: Voorbeelden van twee gemalen binnen het aardbevingsgebied (boven: gemaal Schaphalsterzijl, onder: gemaal Spijksterpompen).

Antea Group hanteert de volgende denklijnen betreffende oppervlaktewatersystemen:

- Pompstations van oppervlaktewatersystemen zijn beter bekend als gemalen. Deze liggen binnen het gehele aardbevingsgebied. Deze gemalen hebben verschillende groottes van afvoer en opvoerhoogtes.
- Het beeld is dat de leidingen en pompen van gemalen niet kwetsbaar zijn voor bevingen.
- Het beeld is dat de meeste kleine gemalen een pragmatische ombouw kennen, laag bij de grond en zonder metselwerk. Deze ombouw van deze objecten is dan ook niet kwetsbaar voor bevingen.
- Het beeld is dat andere grotere gemalen mogelijk een minder pragmatische ombouw hebben. In Figuur 11-1 zijn twee gemalen weergegeven. Het beeld is dat de ombouw van de linker minder bevingegevoelig (Schaphalsterzijl) is dan de rechter (Spijksterpompen). Bij Spijksterpompen is metselwerk aanwezig wat kan beschadigen als gevolg van een beving. De verwachting is echter dat falen van de ombouw kan leiden tot schade aan het functioneren van het gemaal, maar dat dit niet leidt tot volledige uitval van het gemaal.
- Aanvullend worden de risico's van het falen van een gemaal voor oppervlaktewatervoorziening gereduceerd, omdat de gevolgen, naar verwachting, kleiner zijn dan die bij drinkwatersystemen of keringen. Dit is gebaseerd op het volgende denkkader:
 - o Falen van de oppervlaktewaterbeheersing leidt tot knelpunten. Deze knelpunten kunnen verholpen worden door het plaatsen van tijdelijke maatregelen. Een voorbeeld daarvan is de inzet van een pomp met een aggregaat. Deze kunnen in de regel snel ingezet worden. Daarbij is een responstijd van minder dan een week voor alle gemaaltypen reëel. Bij grote oppervlaktewatersystemen, zoals gemaal Spijksterpompen (capaciteit ca. 11 m³/s), is dit minder eenvoudig in te passen, maar nog steeds inpasbaar. De impact van het falen van het watersysteem op een termijn langer dan 1 week is dan ook verwaarloosbaar.
 - o Falen van de waterbeheersing leidt tot tijdelijke knelpunten. Een voorbeeld daarvan is een tijdelijk hoge waterstand. In het waterbeheer gelden echter lage normen voor dit onderdeel. Zo mag grasland 1x per 10 jaar onderwater staan, akkerbouw 1x per 25 jaar en bebouwing 1x per 100 jaar. Formeel bestaat er geen veiligheidsfilosofie voor aardbevingsbesteding waterbeheer. Hier is een pragmatische slag gemaakt door te stellen dat een 1x per 10 jaar aardbeving met een 1x per jaar regenbui mag leiden tot het onderstromen van grasland, een 1x per 25 jaar

aardbeving met een 1x per jaar regenbui mag leiden tot het onderstromen van akkerbouw en een 1x per 100 jaar aardbeving met een 1x per jaar regenbui mag leiden tot het onderstromen van bebouwing. Bevingen die 1x per 10 à 25 jaar voorkomen zijn dermate licht dat hiervan geen schade wordt verwacht aan de waterbeheersing. Bij een 1x per 100 jaar beving kan het zijn dat bebouwing mogelijk beïnvloed wordt. Dit heeft als schade dat het watersysteem minder effectief werkt (uitval gemalen / stuwen / o.i.d.). Echter bebouwing staat overwegend op het hoogste deel van een gebied. Voordat impact is aan de bebouwing moet het water in het gebied ten minste 1 m stijgen¹⁶. Dit lijkt bij een 1x per jaar regenbui, binnen de responstijd van tijdelijke maatregelen, niet reëel. De impact van het falen van het watersysteem op een korte termijn is dan ook verwaarloosbaar.

- Op basis van bovenstaande is het oordeel dat oppervlaktewatersystemen en daarbinnen de gemalen, het oordeel krijgen waarschijnlijk niet kwetsbaar (score -).

Conclusie

- De kwetsbaarheid van pompstations ten behoeve van de drinkwatersystemen is beoordeeld als waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -).
- De kwetsbaarheid van pompstations ten behoeve van de afvalwatersystemen is beoordeeld als waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -).
- De kwetsbaarheid van pompstations ten behoeve van de oppervlaktewatersystemen is beoordeeld als waarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score -).

NB: dit betreft de score van het systeem. Met name metselwerk gebouwen kunnen uiteraard wel schade oplopen bij een aardbeving.

¹⁶ Hierbij is uitgegaan van een drooglegging van 1 m. Dit is een gemiddelde waarde voor het verschil tussen het polderpeil en het maaiveldniveau van een woning in Groningen. Voor nieuwbouw adviseert waterschap Noorderzijlvest een drooglegging van ten minste 1,3 m. Bron: Waterschap Noorderzijlvest(2006) Notitie Stedelijk Water; blz. 15.

12 Overige constructies

12.1 Windturbines

In de provincie Groningen zijn meerdere windturbines aanwezig. Deze zijn onder andere aanwezig in het deel waar aardbevingsrisico's heersen. Hier is reeds verkennend onderzoek naar gedaan. Dit onderzoek sluit daarbij aan.

Literatuur

- Deltares (2013) Effecten geïnduceerde aardbevingen op kritische infrastructuur Groningen; quickscan naar de sterkte van de infrastructuur; kenmerk: 1208149-000-GEO-006.
- TNO (2013) Aardbevingen: Quick Scan Kritieke Infrastructuur; kenmerk: 060-DTM-2013-01676.

Deze rapportage is een bijlage bij de bovenstaande.

Analyse

In de analyse van TNO is een berekening gemaakt van een windturbine en de kwetsbaarheid daarvan voor aardbevingen. Daaruit volgt dat aardbevingen extremer dan $PGA = 0,5$ g risico's geven voor windturbines.

De analyse van TNO gaat uit van windturbines met een hoogte van circa 44 meter. De trillingstijd voor de laagste eigenfrequentie van de beschouwde constructie is circa 1 seconde. Tegenwoordig worden ook grotere windturbines gebouwd (>100 meter). De kwetsbaarheid van deze grote windturbines wordt ingeschat als vergelijkbaar lager dan kleine windturbines. De trillingstijd voor de laagste eigenfrequentie zal lager zijn en, omdat dit in de dalende tak van het responspectrum zit, is dat gunstig. Daarnaast worden grotere windturbines ontworpen op grotere windbelastingen (i.v.m. groter bladoppervlak). In verhouding is de extra belasting van bevingen dan procentueel ook kleiner ten opzichte van de ontwerpsterkte. Gezien deze punten ziet Antea Group voldoende redenen om de conclusies van TNO toe te passen op alle windturbines.

Conclusie

Bovenstaande betekent het volgende:

- De kwetsbaarheid van de windturbines is: hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar voor aardbevingen (score --).

12.2 Zendmasten / C2000

Analyse

Analoog aan de windturbine heeft TNO in bovengenoemd rapport ook een analyse van een 56 m hoge zendmast uitgevoerd. Hierbij is de waarde van de PGA bepaald waarbij de krachten in de mast lager zijn dan de windbelasting. Omdat de mast een relatief lage eigenfrequentie heeft, is de op te nemen PGA (inclusief veiligheidsfactoren) 0,78 g. Dit is dus aanzienlijk hoger dan de verwachte versnellingen.

Conclusie

De kwetsbaarheid van zendmasten wordt als "hoogstwaarschijnlijk niet kwetsbaar" beoordeeld (score --).

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN

www.anteagroup.nl

Copyright © 2017

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.