

Schadepreventie en omgevingsmonitoring IJsselwerken



Projectnummer
Projectomschrijving
Documentnummer
Versienummer
Versiedatum

P0020293
Dijkversterking IJsseldijk Zwolle - Olst
20293-WPL-00184
2.0
16 juli 2025

1	Inleiding	6
1.1	Leeswijzer	6
1.2	Aanleiding	7
1.3	Doel	7
1.4	Interactie bewoners en belanghebbenden	7
2	Mogelijke oorzaken van schade	8
2.1	Trillingen door inbrengen damwandplanken	8
2.2	Zettingen door inbrengen damwandplanken	8
2.2.1	Zettingstrog intrillen	8
2.2.2	Voorboren en frezen damwandtracé	9
2.3	Zetting door een bovenbelasting	9
2.4	Horizontale grondvervorming door bovenbelasting	10
2.5	Bouwverkeer (+ werkverkeer/materieel)	11
2.6	Grondwaterstandsveranderingen	12
2.7	Instabiliteit grondlichaam	13
3	Ontwerpproces	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Inventarisatie en toetsing objecten	15
3.3	Onderdelen monitoringsplan	18
3.4	Verzamelen aanvullende basisgegevens	18
4	Schadecriteria	20
4.1	Inleiding	20
4.2	Richtlijnen, normen en criteria	20
4.2.1	Algemeen	20
4.2.2	Toelichting schadecriteria door vervormingen	22
4.2.2.1	Bebouwing	22
4.2.2.2	Kabels en leidingen	23
4.2.2.3	Overige objecten	24
4.2.3	Toelichting schadecriteria door verandering freatische grondwaterstand	25
4.2.4	Toelichting schadecriteria door trillingen	26



4.2.5	Toelichting criteria geluid	26
4.2.6	Toelichting hinder	27
5	Omgevingsmonitoring	28
5.1	Doel	28
5.2	Taakverdeling	28
5.2.1	Algemeen	28
5.2.2	Uitvoering omgevingsmonitoring	28
5.2.3	Toezicht op omgevingsmonitoring	28
5.2.4	Afweging monitoringsinspanning	28
5.3	Meetperiode	29
5.4	Vastlegging nulsituatie	29
5.4.1	Bouwkundige opnamen	29
5.4.2	Vastlegging wegen	30
5.4.3	Vastlegging grondwaterstanden	30
5.4.4	Nulmeting meetpunten	30
5.5	Te monitoren parameters	31
5.6	Metingen	35
5.6.1	Algemeen	35
5.6.2	Hoogtemeting panden (precisiewaterpassing, z-richting)	35
5.6.3	Precisiewaterpassing panden X-,Y-meting	36
5.6.4	Hoogtemeting maaiveld, asfaltverharding en K&L	37
5.6.5	Inclinometingen	39
5.6.6	Metingen van scheurwijdte bij panden	40
5.6.7	Grondwaterstandsmetingen	41
5.6.8	Trillingsmetingen	42
5.6.9	Geluidsmetingen	43
5.6.10	GPS-metingen en satellietdata	44
5.7	Signaleringswaarden en interventiewaarden	44
5.7.1	Algemeen	44
5.7.2	Richtlijnen	44
5.8	Monitoringsproces	45
5.8.1	Beoordelingsmomenten monitoringsdata	45
5.8.2	Proces overschrijding signalerings- of interventiewaarden	45
5.8.3	Ontsluiting data	45
5.8.4	Rapportage	46
5.8.4.1	Rapportage aan opdrachtgever en Risk Engineer	46
5.8.4.2	Verstrekken meetgegevens aan belanghebbenden	46



6	Begrippenlijst	48
7	Referenties	50
7.1	Richtlijnen	50
7.2	Referenties IJsselwerken	50
7.3	Overige referenties	50



1 Inleiding

1.1 Leeswijzer

IJsselwerken wil de kans op schade aan de omgeving als gevolg van de dijkversterkingswerkzaamheden zo klein mogelijk houden. Dit is benoemd als één van de prioriteiten van de dijkversterking.

Dit rapport geeft aan hoe IJsselwerken de kans op schade meeneemt in het ontwerp en hoe dit wordt gecontroleerd tijdens de uitvoering van de werkzaamheden. In het rapport zijn onder andere de recente negatieve ervaringen bij de dijkversterking Kinderdijk – Schoonhovenseveer, de werkzaamheden bij kanaal Almelo – De Haandrik en de positieve ervaringen bij de dijkversterking Markermeerdijken meegenomen. Dit bij het ontwerpproces, schadecriteria en de controle op de omgevingsmonitoring.

Dit rapport is met name bedoeld voor het interne ontwerpproces binnen IJsselwerken en geschreven voor technisch specialisten. Hierdoor is het document relatief technisch van aard. Dit maakt het rapport soms moeilijk leesbaar voor derden. Ten behoeve van transparantie wordt dit rapport als bijlage toegevoegd aan de motivering en overwegingen voor het projectbesluit. Deze definitieve versie zal leesbaarder worden gemaakt voor burgers en belanghebbenden.

Samengevat zijn in deze rapportage de volgende onderwerpen opgenomen:

Locatie	Onderwerp
Paragraaf 1.2 en 1.3	Aanleiding en doel.
Paragraaf 1.4	Hier wordt aangegeven hoe de monitoringsplannen aan belanghebbenden worden toegelicht.
Hoofdstuk 2	Hier worden de mogelijke oorzaken van schade door de dijkversterking besproken.
Hoofdstuk 3	Hier wordt het interne ontwerpproces geschetst.
Hoofdstuk 4	Hier worden de schadecriteria (ontwerpcriteria) behandeld die IJsselwerken hanteert om de kans op schade zo klein mogelijk te houden.
Hoofdstuk 5	Hier wordt uitgelegd hoe IJsselwerken tijdens de uitvoering het effect op de omgeving controleert.
Paragraaf 5.2	In deze paragraaf wordt toegelicht hoe WDOD als opdrachtgever tijdens de werkzaamheden de aannemer controleert.
Paragraaf 5.7	In deze paragraaf wordt toegelicht op welke wijze de grenswaarden worden bepaald die worden gehanteerd om het werk tijdens uitvoering (tijdelijk) stil te leggen.
Hoofdstuk 6	Begrippenlijst
Hoofdstuk 7	Referenties.

Tabel 1.1 Leeswijzer



1.2 Aanleiding

Het project Dijkversterking Zwolle-Olst behelst de planuitwerking en uitvoering van 28,9 km dijk. Het traject Zwolle-Olst is onderdeel van de oostelijke IJsseldijk en is globaal gelegen tussen Deventer tot in Zwolle. Het traject ligt in de provincie Overijssel, in de gemeenten Olst-Wijhe en Zwolle. Het traject begint bij landgoed “de Haere” net ten zuiden van Olst en eindigt in Zwolle bij de Spooldersluis (Zwolle IJsselkanaal).

Belangrijke kenmerken van het plangebied zijn het landelijk karakter van de Sallandse dijk, de bebouwing in de dorpen en buurtschappen, verspreid liggend en de aansluiting in de stad Zwolle. Op ongeveer de helft van het traject ligt een provinciale weg (N337) op de kruin van de dijk. Het cultuurhistorisch sluisencomplex het Katerveercomplex is tevens onderdeel van het project. Naast dit monument zijn er nog verschillende cultuurhistorische waarden als bebouwing, landgoederen en de voormalige IJssellinie.

Door IJsselwerken is het beperken van de kans op schade in de omgeving als gevolg van de dijkversterking een prioriteit. In het voorliggend document zijn hiervoor de kaders geschetst. Op basis van gangbare ontwerpwaarden en ervaringen uit vergelijkbare projecten zijn criteria opgesteld, zodat de in het ontwerp bepaalde omgevingsbeïnvloeding kan worden getoetst en de benodigde omgevingsmonitoring kan worden bepaald. Hierbij zal in de toetsing rekening gehouden worden met de specifieke staat en constructie van de bebouwing en infrastructuur.

1.3 Doel

IJsselwerken heeft als ambitie om zowel in het ontwerpproces als tijdens uitvoering de kans op schade aan bebouwing en infrastructuur zo klein mogelijk te houden.

Het doel van dit integrale plan is om de ambitie ten aanzien van de kans op schade in technische zin nader uit te werken, zodat de te hanteren kaders in de ontwerp- en aanlegfase, en de benodigde omgevingsmonitoring concreter en eenduidig worden. De objecten die vallen onder de scope van dit document worden in hoofdstuk 4 behandeld. Voor hinder wordt verwezen naar de BLVC (Bereikbaarheid, Leefbaarheid, Veiligheid en Communicatie) plannen, en wordt in dit document buiten beschouwing gelaten.

1.4 Interactie bewoners en belanghebbenden

In voorliggende document is in algemene zin beschreven op welke wijze, en op basis van welke criteria, de omgevingsbeïnvloeding van de dijkversterking wordt getoetst. Tevens wordt aangegeven uit welke monitoringsinstrumenten de omgevingsmonitoring kan bestaan en hoe signalerings- en interveniënde waarden worden bepaald. De ‘Meedenkgroep Schadeprotocol IJsselwerken’, die bestaat uit bewoners en belanghebbenden uit de omgeving, heeft voor het definitief maken van het document kunnen meelezen en feedback kunnen leveren.

In 2024 t/m 2026 wordt per uitvoeringstraject een uitvoeringsontwerp voor de dijkversterking opgesteld, inclusief monitoringsplan om de omgevingsbeïnvloeding te beheersen. Het uitvoeringsontwerp wordt uitgewerkt op publieksvriendelijke tekeningen. Hierbij wordt tevens een publieksvriendelijk overzicht van de omgevingsmonitoring op hoofdlijnen gepresenteerd, waarin eventuele privacygevoelige informatie is weggelaten. Dit overzicht bestaat uit overzichtstekeningen met de verschillende meetpunten en een tabel/planning met de voorgenomen meetmomenten. Informatie over panden, bijvoorbeeld het autonome zettingsgedrag of de bouwkundige staat, wordt niet gepresenteerd. Voorafgaand aan de uitvoering van een uitvoeringstraject wordt de geplande omgevingsmonitoring met de omgeving besproken. Met de eigenaren van woningen/opstallen wordt specifiek de monitoring van hun woning/opstal besproken.



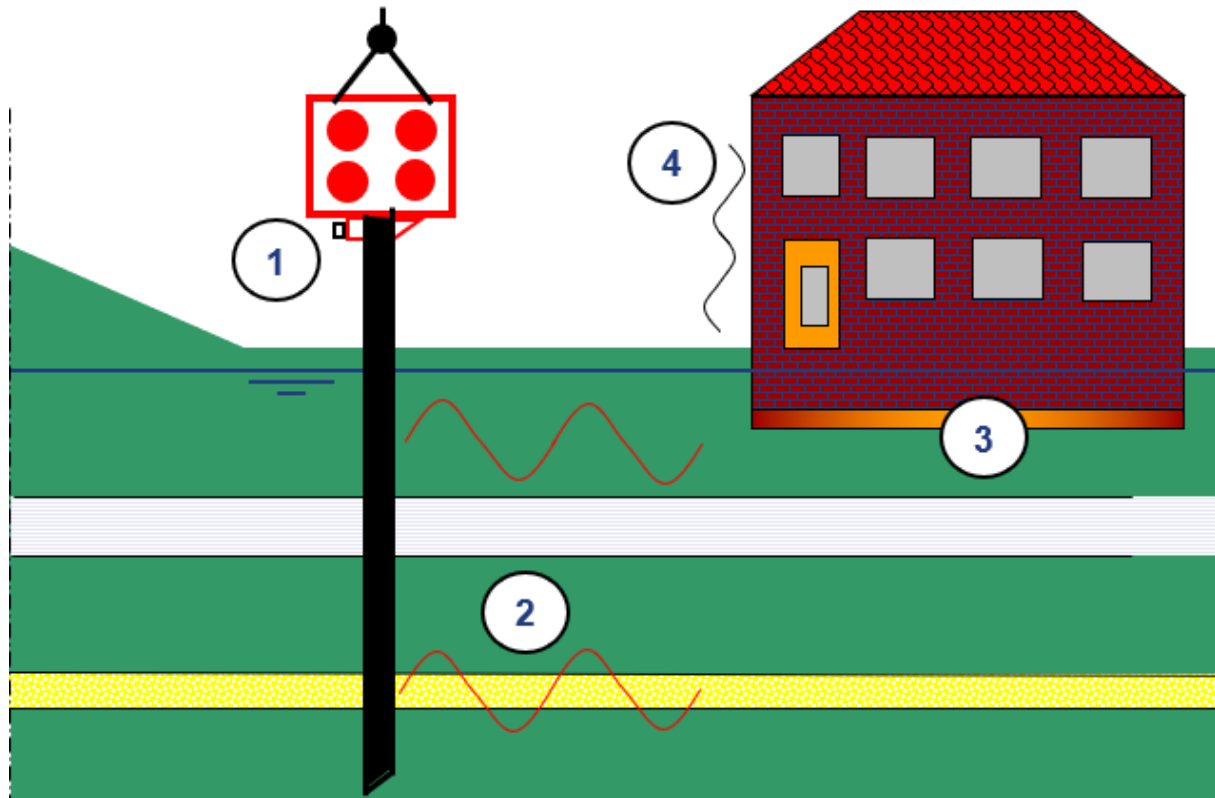
2 Mogelijke oorzaken van schade

Bij IJsselwerken zijn meerdere (geotechnische) mechanismen met effecten op de omgeving van toepassing. Deze zijn in de volgende paragrafen toegelicht. De mechanismen zijn geïllustreerd voor panden, maar gelden ook voor overige objecten. Bijvoorbeeld wegen, sluizen, bruggen en kabels en leidingen.

2.1 Trillingen door inbrengen damwandplanken

In het project worden bij grote delen van het tracé stalen of kunststof damwanden toegepast voor de dijkverbetering. Wanneer bij de installatie gebruik gemaakt wordt van een trilblok geeft dit via de damwandplank een trillingsbron (1) waarvan de energie wordt doorgegeven aan de ondergrond (2). Vervolgens werken de trillingen door op de funderingen van nabijgelegen panden en objecten (3) en geeft dit een trilling in het pand (4). In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd van dit mechanisme.

Op locaties waar damwanden op korte afstand van bebouwing wordt ingebracht wordt gewerkt met trillingsarme methoden. Bij vergelijkbare projecten in Nederland, bijvoorbeeld Stenendijk in Hasselt en Markermeerdijken, zijn damwanden drukkend ingebracht met een Silent Piler. Ook hierbij worden relevante trillingen richting de omgeving geconstateerd. Dit vanwege het torderen van de plank tijdens inbrengen, waardoor de slotwrijving oploopt en de plank schoksgewijs naar beneden gaat.



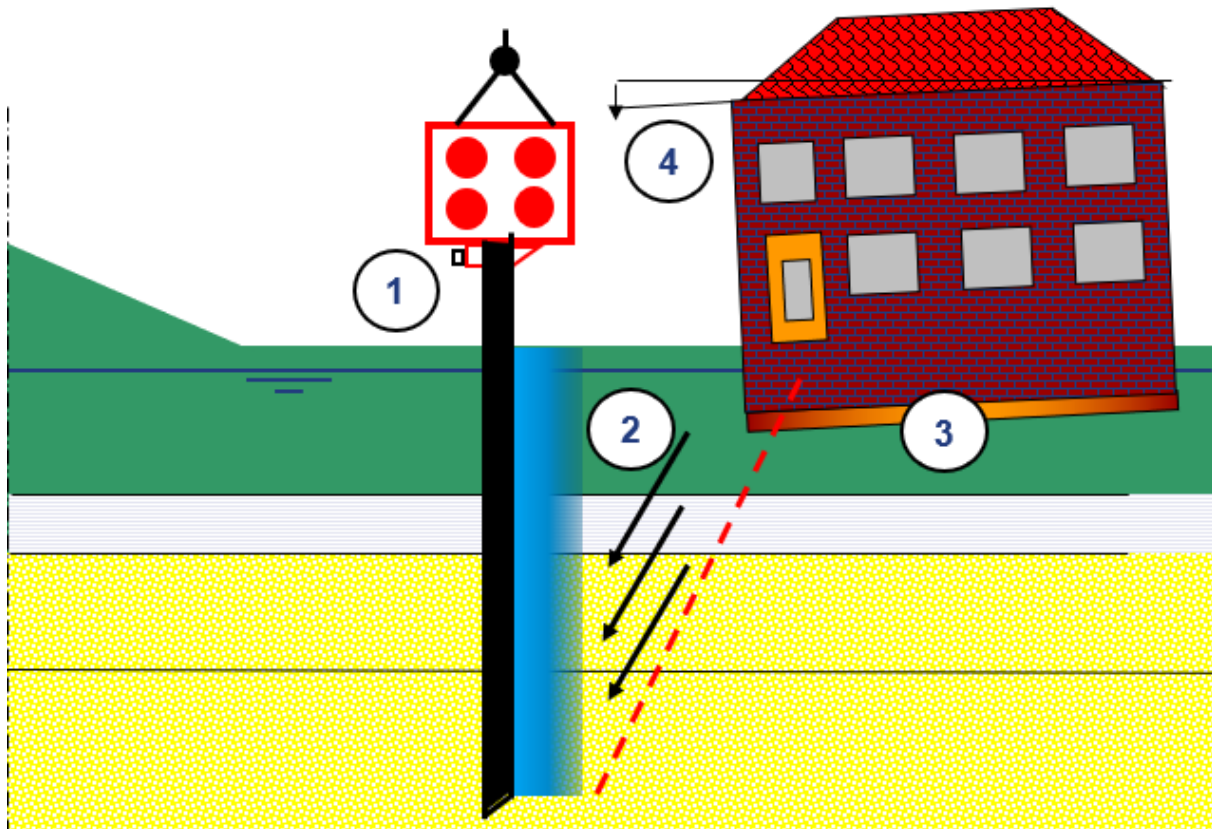
Afbeelding 2.1 Opgelegde trilling bij inbrengen damwandplanken

2.2 Zettingen door inbrengen damwandplanken

2.2.1 Zettingstrog intrillen

In het project worden bij grote delen van het tracé stalen of kunststof damwanden toegepast voor de dijkverbetering. Wanneer tijdens de damwandplankinstallatie gebruik gemaakt wordt van een trilblok veroorzaakt dit via de damwandplank een trillingsbron (1) waarvan de energie in losgepakte zandlagen verdichting kan veroorzaken welke in een wigvorm/zettingstrog wordt doorgegeven aan de omgeving (2), welke doorwerken op de (fundering van) nabijgelegen panden en objecten (3) en resulteren in een opgelegde pandvervorming (4). Dit is mechanisme

speelt alleen op korte afstand van de damwand. In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd van dit mechanisme.



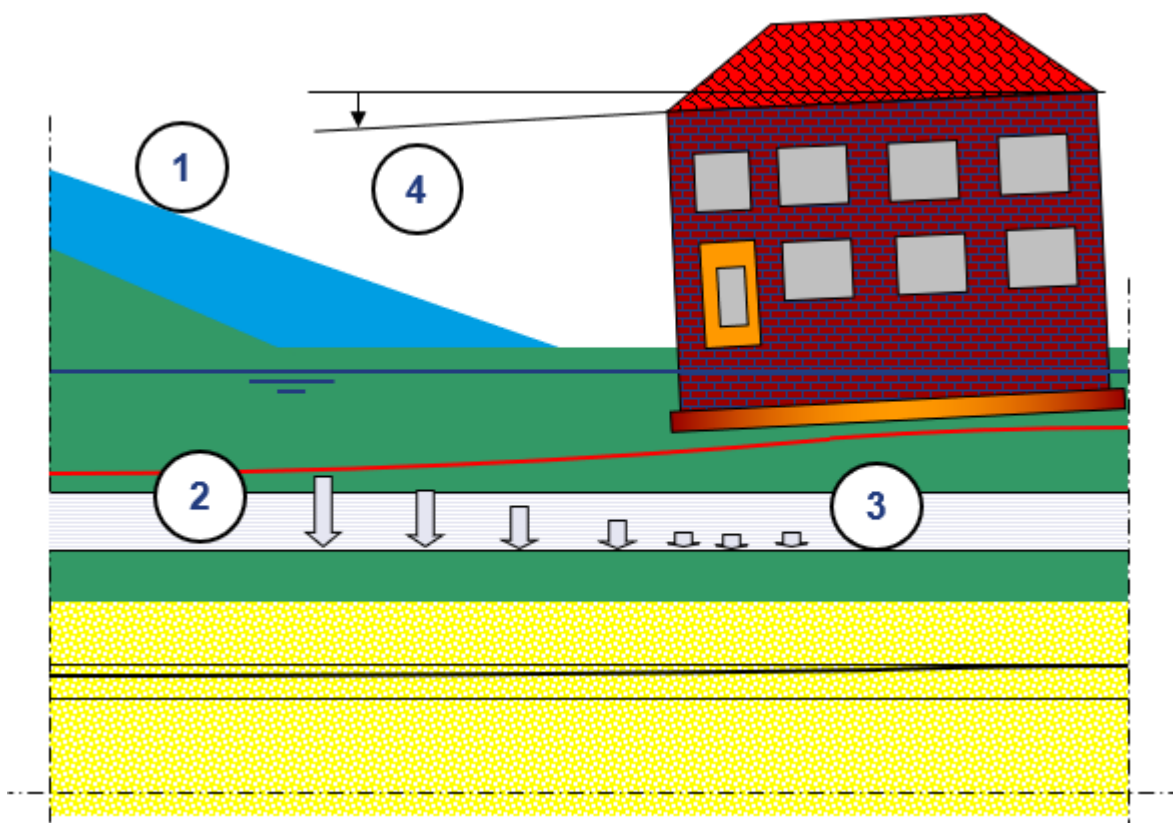
Afbeelding 2.2 Gebouwrespons bij inbrengen damwandplanken

2.2.2 Voorboren en frezen damwandtracé

Bij delen van het tracé wordt voorafgaand aan het inbrengen van de damwanden of verticaal zanddicht geotextiel de ondergrond voorbereid door het tracé voor te boren of te frezen. Hierdoor kan tot op korte afstand van het voorboren/frezen een zettingstrog optreden die wordt doorgegeven aan de omgeving (2), welke kunnen doorwerken op de (fundering van) nabijgelegen panden en objecten (3) en resulteren in een opgelegde pandvervorming (4). Zie ook figuur 2. Om dit risico te beperken wordt bij het voorboren voor damwanden gebruik gemaakt van bentoniet als steunvloeistof.

2.3 Zetting door een bovenbelasting

Een van de geotechnische mechanismen betreft de gevolgen van het aanbrengen van een extra grondmassa of (tijdelijke) bovenbelasting op/langs het bestaande dijklichaam, waarbij een pand zich op korte afstand tot de dijk bevindt. De extra belasting (1) veroorzaakt zetting (2), welke door spanningsspreiding direct (of lokaal indirect via een paalfundering) doorwerken op de fundering van nabijgelegen panden en objecten (3) en resulteren in pandvervorming (4). In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd van dit mechanisme.

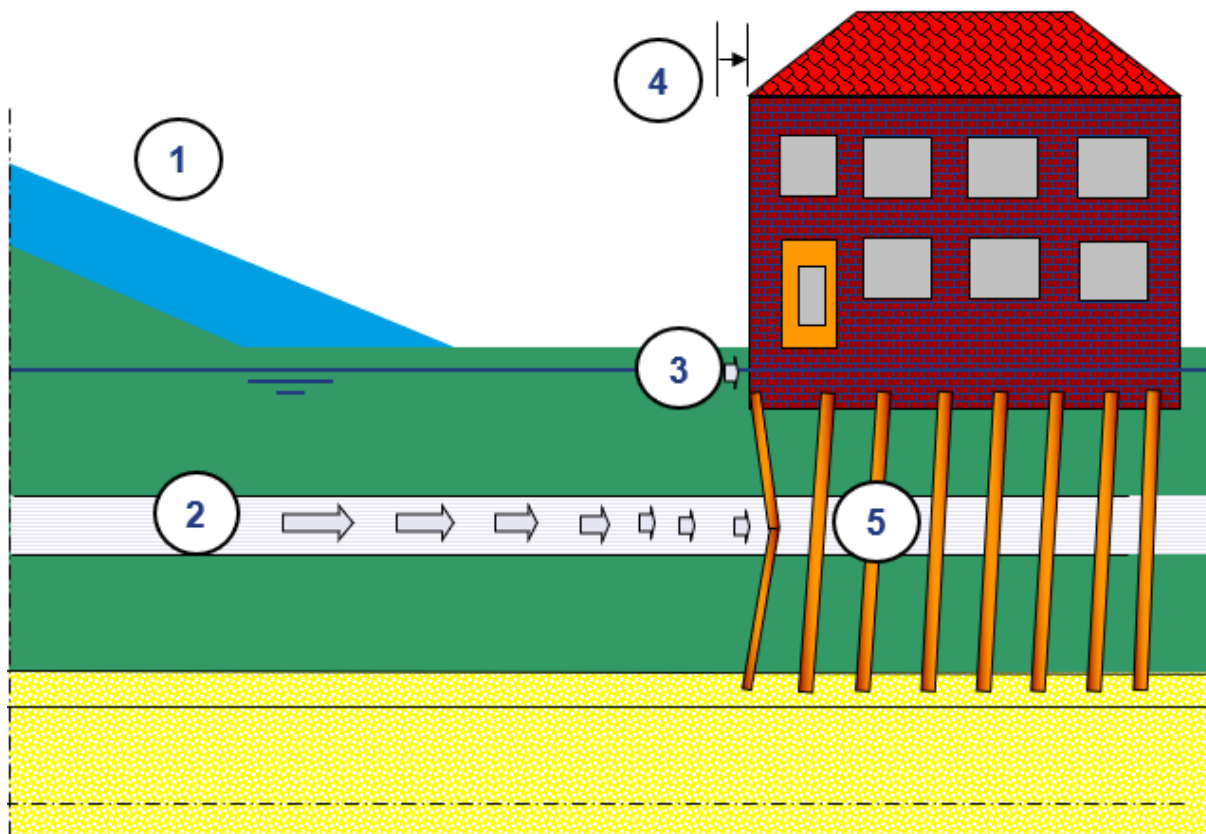


Afbelding 2.3 Gebouwrespons bij aangrenzende ophoging

2.4 Horizontale grondvervorming door bovenbelasting

Naast zettingen kunnen lokaal ook horizontale grondvervormingen optreden bij slappe klei- of veenlagen als gevolg van het aanbrengen van een extra grondmassa of (tijdelijke) bovenbelasting op/langs het bestaande dijklichaam, waarbij een pand zich op korte afstand tot de dijk bevindt. De extra massa of (tijdelijke) bovenbelasting (1) veroorzaakt een horizontale grondvervorming (2), welke middels horizontale gronddruk op de fundering van nabijgelegen panden en objecten (3) kan resulteren in pandvervorming (4). Wanneer sprake is van een paalfundering onder een pand kan ook hierop invloed worden uitgeoefend (5). In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd van dit mechanisme.

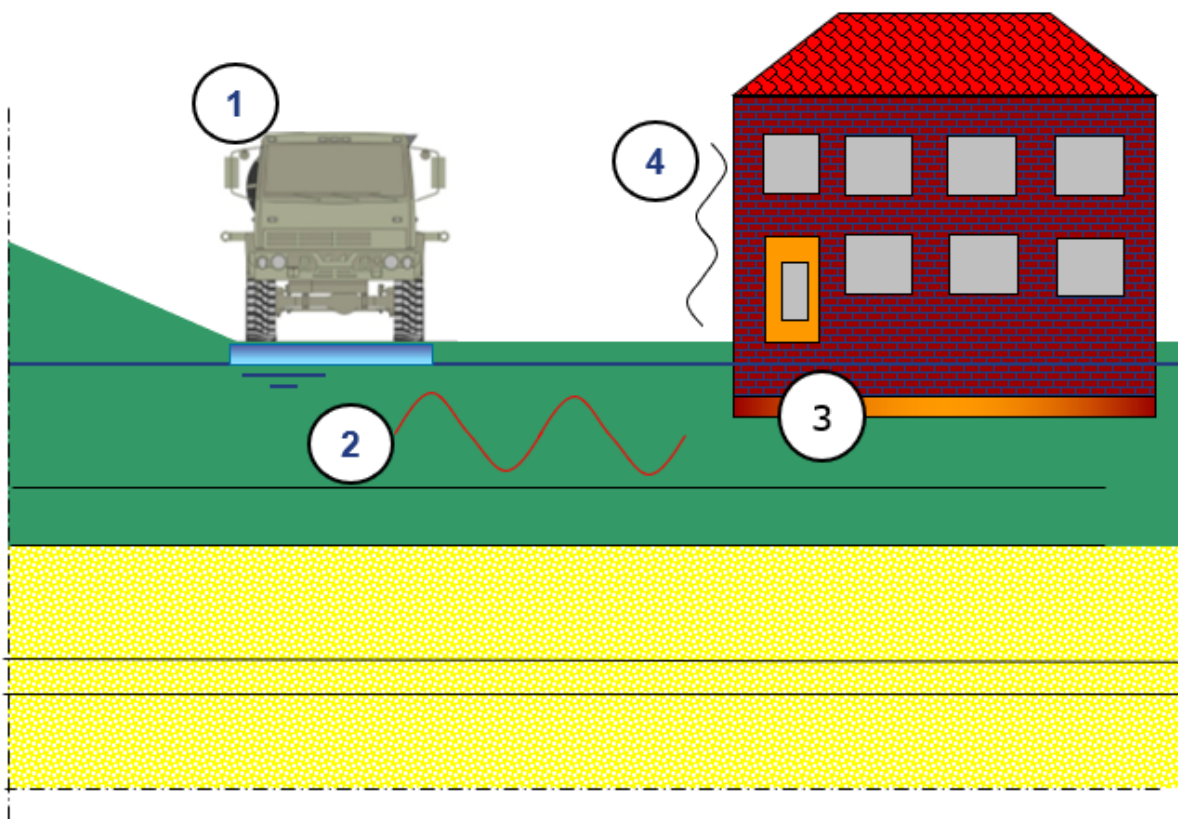
Het zijwaarts vervormen van de ondergrond kan toenemen wanneer door het gewicht van de extra grondmassa of tijdelijke bovenbelasting (1) en de wateroverspanningen in de klei- en veenlagen (2) squeezing (zijdelings wegpersen) van de ondergrond veroorzaakt.



Afbeelding 2.4 Gebouwrespons bij nabije ophoging

2.5 Bouwverkeer (+ werkverkeer/materieel)

In dit project wordt voorzien op diverse delen gebruik te maken van al dan niet bestaande of aan te leggen bouwwegen. Bouwverkeer kan verkeerstrillingen (1) afgeven waarvan de energie via draagkrachtige lagen wordt doorgegeven aan de omgeving (2), welke doorwerken op de daarop geplaatste fundering van nabijgelegen panden en objecten (3) en resulteren in een opgelegde pandtrilling (4). In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd van dit mechanisme.



Afbeelding 2.5 Opgelegde trilling bij passage verkeer

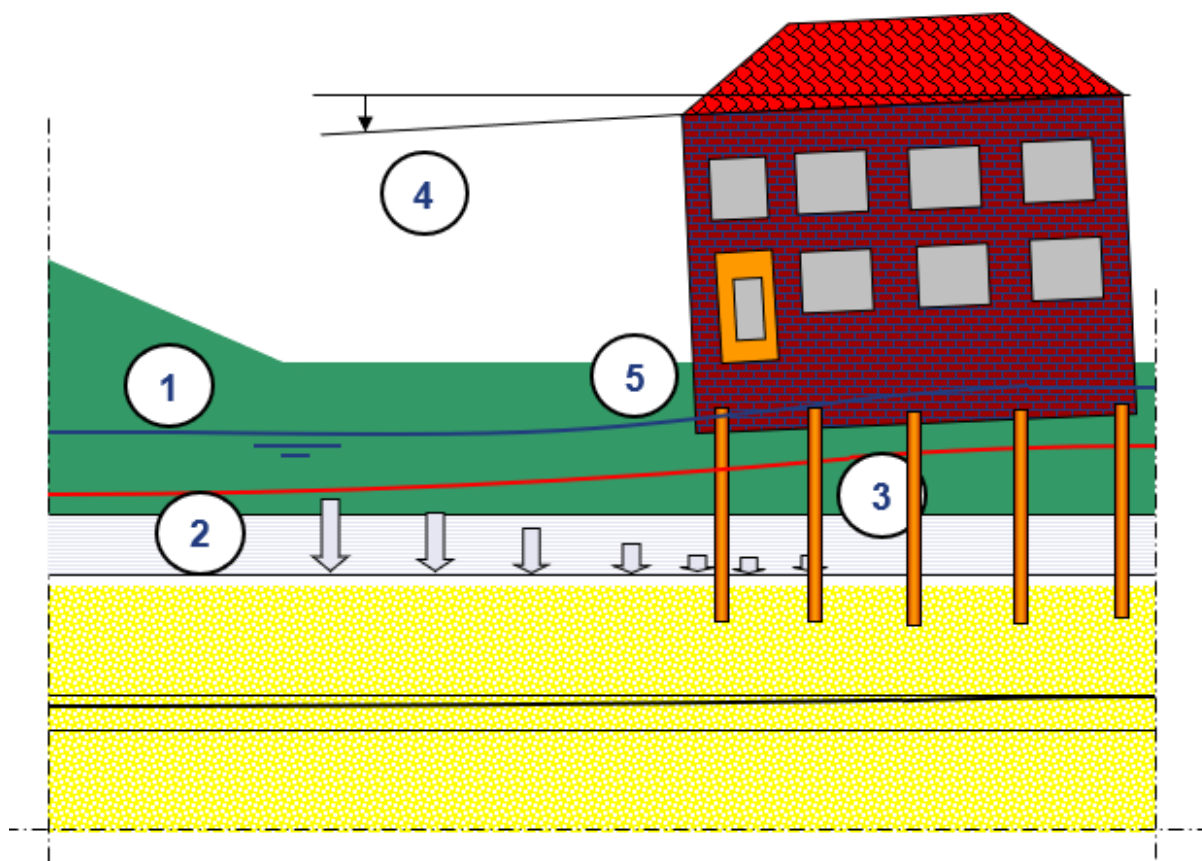
2.6 Grondwaterstandsveranderingen

Grondwaterstandsverlagingen

Binnen het project zijn lokaal bemalingswerkzaamheden en/of grondwaterstandsverlagingen gepland om kleibekleding en constructies in den droge aan te brengen. Tevens worden over een groot deel van het tracé damwanden geplaatst die lokaal mogelijk invloed hebben op de grondwaterstand.

Het verlagen van de grondwaterstand kan invloed hebben op een pand wanneer de grondwaterstand verder wordt verlaagd dan de eerder laagst opgetreden grondwaterstand. Een grondwaterstandsval (1) veroorzaakt een verhoging van de effectieve korrelspanning welke resulteert in zetting (2), welke direct kunnen doorwerken op de fundering van nabijgelegen panden en objecten (3) en resulteren in pandvervorming (4). In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd.

Bijkomende aandachtspunten zijn een mogelijke langdurige (> 1 maand) droogstand van houten funderingen (5) bij een grondwaterstandsverlaging (zie afbeelding).



Afbeelding 2.6 Gebouwrespons bij grondwaterstandsdeling

Grondwaterstandsverhoging

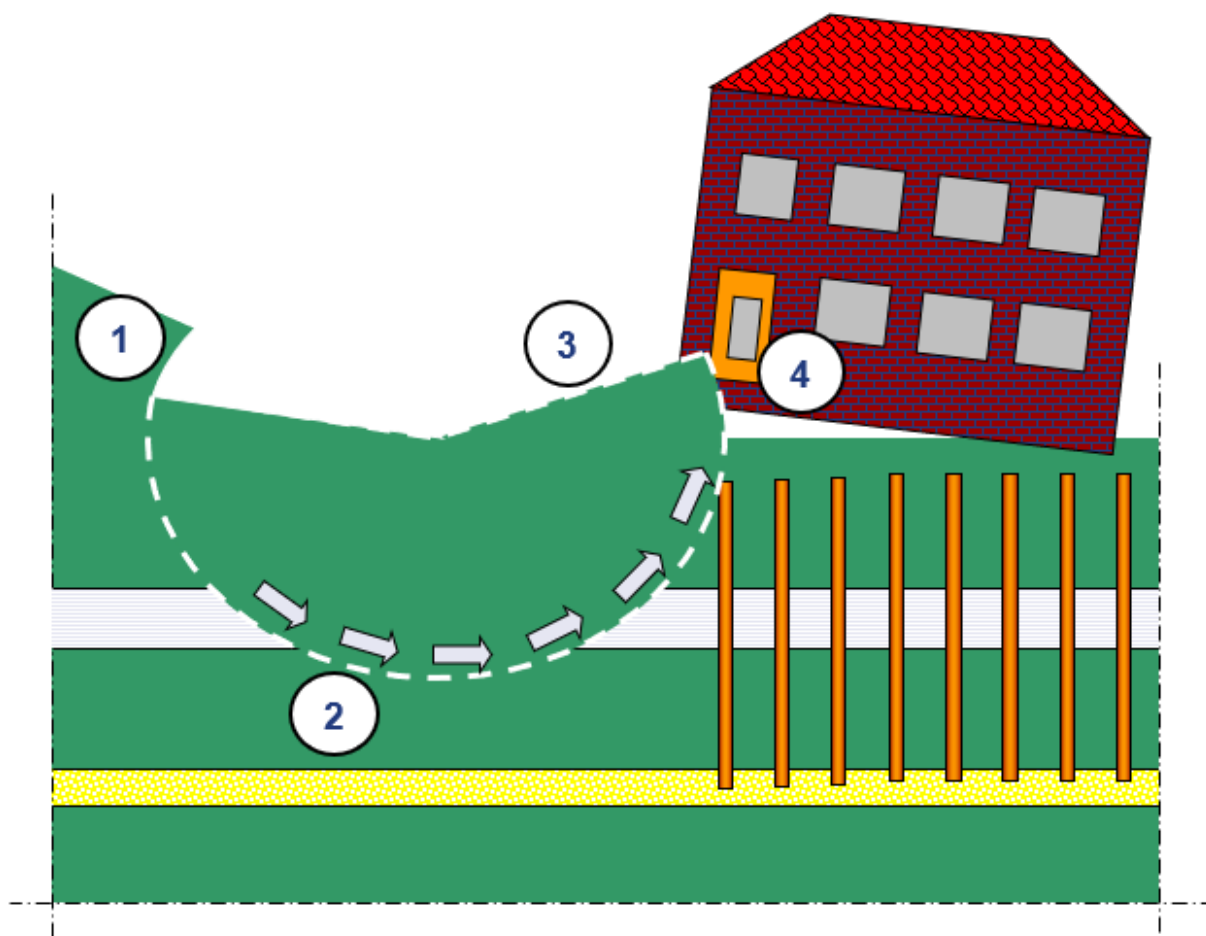
Door de toepassing van damwanden kan in de gebruiksfase de grondwaterstand lokaal verhoogd worden, omdat opstuwning van grondwater tegen de damwand plaats vindt. Een hoge grondwaterstand kan leiden tot overlast en schade. Bijvoorbeeld natte kruipruimten of natte kelders.

Ook een aandachtspunt is de verlaging van de draagkracht van een fundering op staal. Dit laatste kan in zeldzame gevallen leiden tot verzakkingen.

2.7 Instabiliteit grondlichaam

Een mechanisme dat het gevolg is van het aanbrengen van een grondlichaam en/of (tijdelijke) bovenbelasting betreft het plotseling afschuiven (optreden van instabiliteit) van de ophoging tijdens de bouwfase.

Het gewicht van de extra grondmassa of (tijdelijke) bovenbelasting (1) en de wateroverspanningen in de klei- en veenlagen (2) veroorzaken een plotselinge afschuiving (3), hetgeen resulteert in grote vervormingen en belastingen op het pand (4). In onderstaande afbeelding is een schetsmatig overzicht gepresenteerd van dit mechanisme.



Afbeelding 2.7 Illustratie afschuiven / instabiliteit

In tegenstelling tot de andere mechanismen treedt een afschuiving niet geleidelijk, maar ineens op (bros bezwijkmechanisme). Het is daarom in tegenstelling tot de andere mechanismen niet door omgevingsmonitoring te volgen en bij te sturen. Dit risico wordt beschouwd en beheerst in het uitvoeringsontwerp van de dijkversterking en de monitoring van de dijkwerkzaamheden.

3 Ontwerpproces

3.1 Inleiding

Om de kans op schade te beperken worden bij het opstellen van de uitvoeringsontwerpen door het ontwerpteam van IJsselwerken per uitvoeringstraject de effecten van de aanlegfase, de tijdelijke bijbehorende werken en gebruiksfase beschouwd en wordt voor de omliggende bebouwing en infrastructuur bepaald of deze effecten acceptabel zijn.

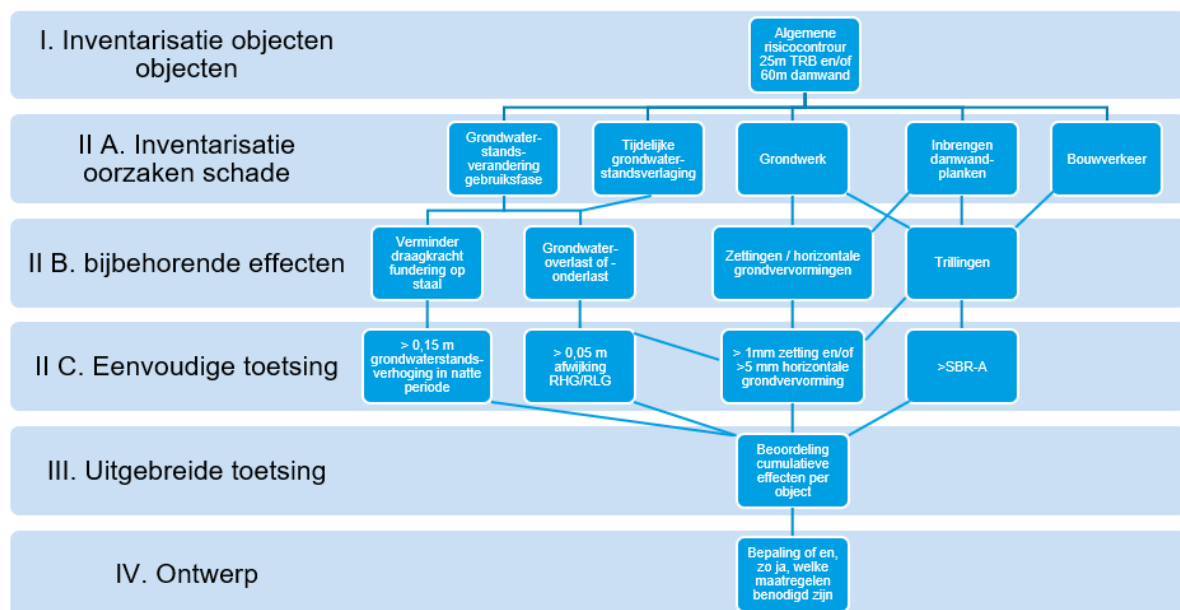
In hoofdlijnen bestaat dit proces uit:

1. Inventarisatie objecten tot op ruime afstand van het werk.
2. Inventarisatie relevante schademechanismen en eenvoudige toetsing op basis van veilige criteria.
3. Toetsing van de verwachte cumulatieve effecten als gevolg van het werk per object. Hierbij wordt getoetst op de schadecriteria in hoofdstuk 4.
4. Aanpassing ontwerp o.b.v. toetsing en herhaling van stappen 1 en 2 (indien noodzakelijk).

Wanneer de effecten voldoen aan de schadecriteria in hoofdstuk 4 wordt in het uitvoeringsontwerp (per deeltraject) een monitoringsplan voor de omgevingsmonitoring opgenomen om de voorspelde effecten tijdens uitvoering te kunnen controleren en het werk bij te sturen. Het monitoringsplan in het uitvoeringsontwerp wordt opgesteld op basis van de CUR 223 en de richtlijnen van ProRail [22, 23].

3.2 Inventarisatie en toetsing objecten

Als onderdeel van de risicoanalyse dienen de schademechanismen in grootte verkend te worden en vertaald te worden naar effecten op objecten en panden door het ontwerpteam. Hiervoor worden de onderstaande stappen doorlopen.



Afbeelding 3.1 risicoanalyse schademechanismen

I. Inventarisatie objecten nabij dijkversterking

De algemene risicocontour is bedoeld om het gebied te bepalen waarin binnen het ontwerp en tijdens uitvoering rekening gehouden moet worden met effecten op panden/objecten.

Op basis van GIS-kaarten en het ontwerp worden alle panden, infrastructuur en relevante objecten geïnventariseerd binnen 25 m afstand van het TRB en/of 60 m afstand van de damwanden.

De 25 m afstand is bepaald op basis van $2 \times$ de dikte van de slappe bodemlagen + 5 m marge. Buiten $2 \times$ de dikte van de slappe bodemlagen zijn geen geotechnische zettingen als gevolg van belastingspreiding te verwachten. Zekerheidshalve is 5 m (50% van de maximale slappe laagdikte) aan marge aangehouden.

De 60 m afstand van de damwand is bepaald op basis van de maximale trillingscontour in [1]. Deze afstand is maatgevend ten opzichte van de berekende grondwaterstandsveranderingen [13] als gevolg van de damwanden.

Deze verzamellijst vormt de basis voor verdere beschouwing van de effecten van de dijkversterking op de omgeving. Alle objecten buiten deze afstanden liggen buiten de tijdelijke of permanente effecten van de dijkversterking.

II. **Beschouwing relevant schademechanisme per object**

Voor een nadere beschouwing van schademechanismen die per object van toepassing zijn de verschillende werkzaamheden per deeltracé geïnterpreteerd. Vervolgens wordt op basis van de onderstaande criteria gekeken welke invloeden bij een object relevant kunnen zijn. Dit resulteert in een tabel van objecten met de bijbehorende effecten/werkzaamheden.

Grondwaterstandsstijging

Draagkracht fundering op staal

Voor de kans op vermindering van draagkracht bij een fundering op staal is het veilig om aan te nemen dat dit nagenoeg alleen optreedt indien de freatische grondwaterstand in natte perioden tot meer dan 0,15 m stijgt boven de historisch hoogste grondwaterstand [21]. Bij kleinere stijging van de freatische grondwaterstand is de kans op optreden verwaarloosbaar.

In de MER-studie [13] zijn de gebieden bepaald waar dit lokaal voorkomt. Deze zijn weergegeven in het scenario van de "berekende stijghoogteverandering t.o.v. februari 2018". Van dit scenario wordt de 0,15 m-beïnvloedingscontour aangehouden op basis van [21]. Bij een stijging groter dan dit zal de kans op schade nader worden beschouwd.

Grondwateroverlast

Voor (een toename van) grondwateroverlast is het veilig om aan te nemen dat dit alleen optreedt wanneer de grondwaterstand stijgt tot meer dan 0,05 m boven de historisch hoogste grondwaterstand. In de MER-studie [13] zijn de gebieden bepaald waar dit lokaal voorkomt. Deze zijn weergegeven in het scenario van de "berekende stijghoogteverandering t.o.v. februari 2018". Van dit scenario wordt de 0,05 m-beïnvloedingscontour aangehouden. Bij een stijging groter dan dit zal de kans op schade nader worden beschouwd.

Grondwaterstandsval

Voor het optreden van grondwateronderlast is het veilig en bruikbaar om aan te nemen dat eventuele negatieve effecten (zetting en/of droogstand houten paalfunderingen) alleen optreden indien de grondwaterstand meer dan 5 cm wordt verlaagd ten opzichte van de RLG.

Grondwateronderlast

Uit MER-berekeningen blijkt verlaging van de grondwaterstand tot op afstand van de damwand plaatsvindt. Echter zal de grondwaterstand slechts lokaal dalen tot onder de huidige RLG. In de MER-studie [13] zijn de gebieden bepaald waar dit voorkomt. Deze zijn weergegeven in het scenario van de "berekende stijghoogteverandering t.o.v. juli 2018". Van dit scenario wordt de 0,05 m-beïnvloedingscontour aangehouden. Bij een berekende daling groter dan 0,05 m zal de kans op schade nader worden beschouwd.

Grondwaterstandsval bij de aanlegfase

Lokaal zijn bemalingswerkzaamheden noodzakelijk om de aanleg van constructies en/of kleibekleding in den droge uit te voeren. Indien een grondwaterstandsverlaging tot beneden de RLG benodigd is wordt de invloedssfeer en effect van de bemaling nader uitgewerkt in een bemalingsadvies behorend bij het uitvoeringsontwerp.



Grondvervormingen

Het is bruikbaar en veilig om aan te nemen dat er buiten de afstand van 2 x dikte zettingsgevoelige klei-/veenlaag de verwachte grondvervormingen verwaarloosbaar zijn. De dikte van deze bodemlagen bedraagt over het algemeen 1 tot 5 m. De maximale dikte langs het dijktracé bedraagt circa 10 m. Indien er binnen een afstand van $2 \times 10 = 20$ m van de uiterste grens van de aanpassing van het dijkprofiel en/of aanleg (tijdelijke) ophoging een object staat zal de lokale bodemopbouw nader worden beschouwd. Vervolgens zal worden gekeken of er objecten binnen een afstand van 2x de lokale zettingsgevoelige lagen bevindt. Zo ja, dan dient de ontwerper de grondvervormingen voor dit object te bepalen.

Wanneer de grondvervormingen bij een object als gevolg van de dijkversterking vervolgens meer dan 1 mm verticaal (zetting) en/of meer dan 5 mm horizontaal bedragen dan zal de kans op schade nader worden beschouwd bij stap III.

Trillingen

Het hoogste trillingsniveau bij de werkzaamheden wordt veroorzaakt door het intrillen van stalen damwanden. Daarom is deze activiteit maatgevend voor trillingen naar de omgeving. Trillingen als gevolg van rupskranen en ander materieel reiken minder ver.

Het nader beschouwen van het trillingsniveau wordt bij panden/bouwwerken uitgevoerd die zich binnen een afstand van 60 m bevinden. Voor deze bouwwerken wordt vervolgens de trillingspredictie nader beschouwd op basis van de lokale bodemopbouw, voorgenomen werkzaamheden, het type en staat van de omliggende bebouwing en de meetmethode.

De afstand van 60 m is berekend voor het intrillen van damwanden bij een worst-case scenario [10, v4]. In dit worst-case scenario is uitgegaan van:

- *het intrillen van stalen damwanden;*
- *een 99% betrouwbaarheidsindex van het voorspelde maximale trillingsniveau*;*
- *metseelwerk bebouwing die gevoelig is voor trillingen of een monumentale status heeft;*
- *een indicatieve trillingsmeting bij het dichtstbijzijnde pand [SBR-A].*

**De toepassing van de 99% betrouwbaarheidsindex in de berekening geeft conservatieve inschatting van de maximale trilling. De berekening gaat er dan van uit dat 99% van de trillingen lager zijn dan de maximaal berekende waarde [CUR166]. Bij praktijkproeven bij de dijkversterkingen Meanderende Maas en Markermeerdijken worden piekwaarden gemeten die lager zijn dan de 95% betrouwbaarheidsindex. Daarnaast zal binnen het project IJsselwerken bij het intrillen van damwanden een uitgebreide meting bij het dichtstbijzijnde pand worden toegepast. Indien in de berekening de 95% betrouwbaarheidsindex en de uitgebreide meting wordt aangehouden wordt voor het intrillen van stalen damwanden een afstand van 30 m berekend.*

III. **Uitgebreide toetsing**

Wanneer bij de bebouwing of infrastructuur wordt verwacht dat niet wordt voldaan aan de eenvoudige criteria bij stap II wordt nader onderzoek verricht. Hierbij wordt een integrale beoordeling uitgevoerd van de cumulatieve berekende effecten op het pand/object, waarbij onder andere op basis van bouwjaar, funderingswijze, bouwkundige staat, zettingssnelheid en constructiewijze wordt bepaald of de effecten van de dijkversterking acceptabel zijn. Pandspecifiek wordt bepaald of de vervormingen, trillingen en grondwaterstandsverandering toelaatbaar zijn. Dit betreft ook bijvoorbeeld de constructieve toetsing van kelderwanden en funderingspalen. Hierbij wordt getoetst aan de criteria in hoofdstuk 4.

IV. **Ontwerp**

Indien de criteria van de beoordeling (onder III) overschreden worden dient er door het ontwerpteam gekeken te worden wat de mogelijke maatregelen zijn. Een eerste stap kan zijn nader (veld)onderzoek uit te voeren en een gedetailleerde berekening van het effect te maken. Indien de cumulatieve beïnvloeding niet acceptabel wordt geacht wordt vervolgens overgegaan tot het aanpassen van het ontwerp.



Wanneer de berekende cumulatieve beïnvloeding acceptabel wordt geacht wordt per object de benodigde omgevingsmonitoring, inclusief signalerings- en grenswaarden, bepaald. Dit wordt vastgelegd in het monitoringsplan dat wordt opgenomen in het uitvoeringsontwerp van het betreffende uitvoeringstraject.

3.3 Onderdelen monitoringsplan

Het monitoringsplan per uitvoeringstraject wordt opgesteld door het ontwerpteam van IJsselwerken. Het monitoringsplan is een onderdeel van het uitvoeringsontwerp en wordt opgesteld op basis van de CUR 223 en de richtlijnen van ProRail [22, 23]. In het monitoringsplan worden de volgende onderwerpen opgenomen:

- Een lijst van bebouwing en infrastructuur die zich binnen de invloedssfeer van de werkzaamheden bevinden.
- Karakteristieken van de bebouwing en infrastructuur. Bijvoorbeeld de mate van autonome zetting, bouwkundige staat en funderingswijze.
- Een samenvatting van de berekende beïnvloeding van de bebouwing en infrastructuur. Bijvoorbeeld de verwachte zettingen, grondwaterstandsverlagingen* of het verwachte trillingsniveau.
- Toetsing van de berekende beïnvloeding op basis van de schadecriteria in hoofdstuk 4.
- Het ontwerp van het monitoringsnetwerk. Bijvoorbeeld de aantallen, locaties, kenmerken en overzichtstekeningen van de monitoringsinstrumenten.
- Vaststelling (per meetpunt) van de signalerings- en interventiewaarden.
- Omschrijving van de generieke terugvalsscenario's bij overschrijding van de interventiewaarden.

Voor integrale onderdelen die voor elke module gelden, bijvoorbeeld de doelstelling, technische uitvoering van de metingen en de organisatie plus communicatie van de omgevingsmonitoring, wordt in het UO verwezen naar voorliggend document.

*De verwachte grondwaterstandsveranderingen als gevolg van dijkversterking en de monitoring hiervan zijn opgenomen in het Achtergrondrapport Water Deel B [13] en Monitoring grondwater [14].

3.4 Verzamelen aanvullende basisgegevens

In de planfase van het project zijn reeds een groot aantal gegevens verzameld, bijvoorbeeld van de bodemopbouw, grondwaterstanden, trillingen bij aanbrengen damwanden (damwandproeven), bouwjaren panden, generieke langjarige zettingen (Sensar satelliet data) van panden en infrastructuur en kabels en leidingen.

Voor het toetsen van de invloed van de dijkversterking op de panden en/of infrastructuur worden bij het opstellen van het uitvoeringsontwerp aanvullende gegevens verzameld. Dit geldt voor panden binnen de eerder genoemde 60 m van damwandwerkzaamheden en/of 20 m van het TRB. Hierbij gaat het om de volgende gegevens:

- Pandspecifieke zettingen. Hiervoor worden op de hoekpunten van de panden, en lokaal bij verschillende bouwdelen van een pand, hoogtemeetboutjes geplaatst. Deze worden 3 keer per jaar ingemeten. De metingen worden voorafgaand aan de werkzaamheden van de uitvoeringstrajecten die in 2025 starten in 2024 gestart en worden doorgezet tot en met 3 jaar na oplevering van het uitvoeringstraject. Dit betreffen achtergrondmetingen die ook tijdens de uitvoering worden doorgezet. Deze metingen staan los van de omgevingsmonitoring die tijdens de uitvoering (zie hoofdstuk 5) wordt uitgevoerd.
- Funderingswijze en constructiewijze. Door middel van archiefonderzoek en vraaggesprekken met bewoners worden funderingsgegevens en gegevens over de constructie van de panden verzameld.
- Bouwkundige staat van de panden.
Deze informatie wordt verzameld door middel van een visuele inspectie. Deze inspecties worden in ontwerploop 3 uitgevoerd conform de KCAF-Richtlijn voor ondiepe funderingen en bijlage 5 van de SBR-Richtlijn deel A, schade aan bouwwerken, 2017. Bij bestaande scheurvorming >3 mm [conform KCAF-Richtlijn] wordt tevens een lintvoegwaterpassing uitgevoerd om de ongelijkmatige zetting van het pand te bepalen.

Opmerking: Deze visuele inspectie betreft geen bouwkundige vooropname. Bij een bouwkundige vooropnamen worden bestaande gebreken zonder oordeel fotografisch vastgelegd. Dit gebeurt enkele



weken voor uitvoering. Bij de visuele inspectie wordt door een deskundige het schadebeeld van de gevels geïnspecteerd en wordt een oordeel vanuit de KCAF-Richtlijn en de SBR-A aan gekoppeld. Dit is input voor het ontwerpproces dat begin 2024 van start gaat.

De bovenstaande gegevens zijn voldoende om pandspecifiek de effecten van de dijkversterking te beoordelen. Het uitvoeren van funderingsonderzoek door middel van het opgraven en inmeten van de fundering wordt vanwege de hoge kosten per inspectie en de beperkte informatie die dit oplevert niet doelmatig geacht.



4 Schadecriteria

4.1 Inleiding

Tijdens het ontwerpproces (zie hoofdstuk 3) wordt de ligging en staat van de bebouwing binnen de verwachte invloedssfeer geïnventariseerd. Wanneer uit het ontwerpproces blijkt dat een uitgebreide toetsing (zie paragraaf 3.2) benodigd is wordt de cumulatieve omgevingsbeïnvloeding nader bepaald en wordt deze getoetst aan de schadecriteria in hoofdstuk 4.

De voornaamste objecten die beschouwd worden zijn monumenten, woningen, panden, bijgebouwen, grote kunstwerken (sluizen, bruggen, kademuren, spoorlijnen, viaducten), kleine waterhuishoudkundige objecten (duikers, gemalen en stuwen), wegen en kabels en leidingen. De omgevingsbeïnvloeding bij overige objecten wordt niet tijdens ontwerp en uitvoering beschouwd.

Om het risico op schade te bepalen wordt de bouwtechnische staat van de bebouwde omgeving in kaart gebracht (zie hoofdstuk 3), waarna de berekende beïnvloeding van zowel de permanente als tijdelijke werkzaamheden over het object heen worden gelegd. Dit resulteert in een effect dat wordt getoetst aan de schadecriteria in dit hoofdstuk.

4.2 Richtlijnen, normen en criteria

4.2.1 Algemeen

In Tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van de normen en richtlijnen die binnen het project worden gevolgd.

Voor vervormingen haaks op een bouwproject is de Limiting Tensile Strain Method (LTSM) [19, 2] breed geaccepteerd voor dit type objecten. De criteria voor de toetsing van de vervormingen worden ontleend aan de BRE [20]. Deze methode wordt aanbevolen voor het bepalen van de kans op schade als gevolg van vervormingen. Het toegestane trillingsniveau bij panden en monumenten is gebaseerd op de SBR-Richtlijn deel A, Schade aan bouwwerken, 2017. Tevens is ten aanzien van kabels en leidingen een specifieke lijst met criteria opgesteld, in overleg met de beheerders. Voor overige objecten is, op grond van engineering judgement, een voorstel gemaakt (zie paragraaf 4.2.2.3).

In de navolgende hoofdstukken worden deze projectambities nader toegelicht.



Type invloed	Normen & richtlijnen*	Ambitie vanuit het project	Opmerking
Horizontale en verticale grondvervormingen	F530 CUR166 CUR223 CUR 2175 BRE1995	Ambitie panden: schadecategorie 1, waarbij incidenteel toepassen van schadecategorie 2 mogelijk is. (alleen esthetische schade)	Toepassen van schadecategorie 2 gebeurt altijd op grond van gedegen afweging en wanneer geen technisch haalbare alternatieven beschikbaar zijn.
	NEN-EN 1990 EN1992-1-1:2014-12 NEN 2011/NB:2016-11 NEN 9997-1	Constructief voldoen van de paalfundering (UC < 1,0)	Toetsing door een constructeur
	Richtlijnen ProRail [22, 23]	Richtlijnen ProRail [22, 23]	Omgevingsbeïnvloeding van het spoorlichaam en bijbehorende kunstwerken wordt ten allen tijden afgestemd met ProRail.
Verandering freatisch grondwaterstand in gebruiksfase	KCAF-Richtlijn m.b.t. funderingen. Beoordelingsrichtlijn BRL12000 "Tijdelijke grondwaterbemaling", protocol 12010, voorbereiden melding of vergunningaanvraag. RioNED, Gangbare toetsingscriteria grondwaterstanden 2011	Verandering van de RLG/RHG met minder dan 5 cm als gevolg van de werkzaamheden bij bebouwing, wegen en agrarische percelen.	RHG/RLG: Representatief hoogste/laagste grondwaterstand gedefinieerd als 90° en 10° percentielwaarde van een langjarige hoogfrequente meetreeks. Bij verandering nadere analyse t.a.v. de kans op schade voor de specifieke locatie en, indien nodig, welke beheersmaatregel kan worden getroffen. Dit op basis van de lokale bodem en type constructie.
Grondwaterstandsdaling door tijdelijke bemaling	Beoordelingsrichtlijn BRL12000 "Tijdelijke grondwaterbemaling", protocol 12010, voorbereiden melding of vergunningaanvraag. KCAF-Richtlijn m.b.t. funderingen.	Geen grondwaterstandsverlaging van meer dan 5 cm beneden de RLG.	Bij een verwachte grondwaterstands-verlaging tot beneden de RLG wordt een nadere analyse uitgevoerd naar de kans op schade. Indien noodzakelijk worden beheersmaatregelen getroffen, bijvoorbeeld retourbemaling op de grondwaterstand op peil te houden.
Trillingen	SBR Richtlijn deel A, Schade aan bouwwerken, 2017.	Bij panden voldoen aan de SBR-richtlijn deel A met 1% kans op schade. Voor overige objecten zie toelichting.	Voor metselwerk erfafscheidingen, kleine schuren of kleine bruggen geldt ook dat de kans op schade klein moet zijn. Omdat de gevolgen van schade echter kleiner zijn dan bij een woning of kunstwerk wordt een groter schaderisico acceptabel geacht.
Geluid	APV Circulaire bouwlawaai 2010		Indien noodzakelijk wordt een ontheffing op de APV aangevraagd.

Tabel 4.1: Overzicht richtlijnen en normen

*Zie hoofdstuk 7 voor de volledige benaming van de referenties.



Bij de schadecriteria wordt uitgegaan van beïnvloeding als gevolg van de werkzaamheden van de dijkversterking, exclusief autonome zettingen.

4.2.2 Toelichting schadecriteria door vervormingen

4.2.2.1 Bebouwing

Voor de bebouwing worden in geotechnische rekenprogramma's de doorsneden waarbij de grootste grondvervormingen worden verwacht doorgerekend. Vervolgens worden deze grondvervorming één op één op de panden geprojecteerd, waarbij de hoekverdraaiing en horizontale rek van de maatgevende gevel wordt berekend volgens de LTSM-methode [2, 19].

De aanpak is gebaseerd op het gegeven dat een (pand)vervorming als gevolg van de werkzaamheden resulteert in (aanvullende) scheurvorming. Des te groter de vervorming, des te groter de schade en vice versa. De relatie tussen de vervormingen, berekende rekken en de mate van schade wordt vertaald in een schade classificatietabel, zie Tabel 4.2.

Schade-categorie	klasse	Omschrijving	Schadebeeld
Esthetisch	0	Verwaarloosbaar	Haarscheurtjes. Aanvullende scheurwijdte <0,1 mm
	1	Zeer licht	Enige scheurvorming in metselwerk. Kleine scheuren, meestal beperkt tot pleisterwerk, die eenvoudig kunnen worden weggewerkt. Aanvullende scheurwijdte 0,1 tot 1 mm
	2	Licht	Scheuren kunnen aan buitenzijde zichtbaar zijn en kunnen tot vochtdoorslag leiden. Deuren en ramen klemmen licht. Geringe scheurvorming, kan eenvoudig hersteld worden. Aanvullende scheurwijdte 1 tot 5 mm
Functioneel	3	Matig	Deuren en ramen klemmen. Mogelijke schade aan nuts-aansluitingen. Vochtdoorslag mogelijk. Scheuren zijn zodanig dat metselwerk dient te worden hersteld. Aanvullende scheurwijdte 5 tot 15 mm of meerdere scheuren > 3 mm.
	4	Ernstig	Bruikbaarheid en toegankelijkheid ernstig aangetast. Voelbare scheefstand. Herstel vergt vervanging van muurdelen en andere constructieve elementen.
Constructief	5	Zeer ernstig	Instortingsgevaar, volledige renovatie noodzakelijk

Tabel 4.2: Schade classificatietabel [F530]

De onderstaande projectambities betreffen de vervorming als gevolg van de werkzaamheden, exclusief autonome zettingen. Door uit te gaan van de maatgevende doorsneden van de dijkversterking en de berekende grondvervormingen één op één op te leggen aan het pand wordt een conservatieve en veilige werkwijze gehanteerd, waarbij bij de onderstaande criteria in de praktijk de kans op schade klein is. Deze werkwijze is bijvoorbeeld bij de dijkversterking van Markermeerdijken in de praktijk gehanteerd.

Indien uit de berekening blijkt dat er kans is op een schade groter dan de onderstaande criteria zal het dijkontwerp en/of de uitvoeringswijze worden aangepast totdat wordt voldaan aan de onderstaande criteria.

Het spreekt voor zich dat de kans op schade in de klasse 3 tot en met 5 niet acceptabel is. Het meest gebruikelijke is om als een pand monumentale waarde heeft of voorzien is van niet-vervangbare / kwetsbare afwerking (glasgevel, antieke tegels, natuursteen wandbekleding, etc.) te kiezen voor klasse 0 of 1.

Voor dit project worden panden standaard ingedeeld in klasse 1. Bij grote bijzonderheden kan lokaal op basis van een afwegingsmatrix een uitzondering gemaakt worden naar klasse 2 - waarbij de eigenschappen van het pand worden meegewogen. Bijvoorbeeld wanneer de technische maatregelen voor de dijkverbetering uitgeput zijn en er



een afweging moet worden gemaakt tussen de waterveiligheid van de waterkering en de kans op schade bij een pand. Voor bijgebouwen / schuren / stalen loodsen wordt vrijwel altijd klasse 2 gekozen.

Opmerking

Als panden en overige objecten voor start werkzaamheden al niet voldoen aan de gestelde projecteisen, dienen maatwerkafspraken met de betreffende eigenaren te worden gemaakt. Het gaat erom dat IJsselwerken niet verantwoordelijk kan zijn, of de kosten moet dragen, voor bijvoorbeeld een pand dat voorafgaand aan de uitvoering in slechte bouwkundige staat is en door autonome processen (onafhankelijk van de dijkversterking) schade oploopt. Pandeigenaren zijn primair zelf verantwoordelijk voor de staat van hun pand.

4.2.2.2 Kabels en leidingen

Bij kabels en leidingen leiden gelijkmatige zettingen niet tot schade, maar ongelijkmatige zettingen wel. Dit treedt met name op rondom de overgang van gefundeerde objecten naar de (ongefundeerde) ondergrond. Bijvoorbeeld bij een gefundeerd trafostation waar elektrakabels naar toe lopen. In overleg met de K&L-beheerders zijn de volgende richtlijnen voor toelaatbare verschilvervormingen bij (in gebruik zijnde) K&L opgesteld.

Categorie leiding	Toelaatbare verschilvervorming (totaalvervorming) per 10 m1 leiding.	Voorbeelden leidingen
-	maatwerk	Buisleiding gevaarlijke inhoud (HD Gasleiding) Landelijk hoogspanningsnet Tennet
A	0,01 m	Asbestcement (AC) en gietijzeren (GGIJ) leidingen Hoge druk gasleiding van staal Afsluiterschema's gas- en waterleidingen
	0,01 m en de leiding mag niet op tegenschot liggen	DWA of gemengde riolering (vrijeval)
C	0,03 m	Koperen hoogspanning- / middenspanningskabels Gepantserde lood-grondkabels (GPLK) HWA riolering (vrijeval)
D	0,05	Kunststof laagspanning-/middenspanningskabels Signaal kabels (koper/glasvezel)
E	0,10	Lage druk gasleiding (PVC/PE/staal) Waterleiding (PVC/PE) Persriolering (PVC/PE) Aluminium hoogspanning- / middenspanningskabels
F	0,20	Datatransport

Tabel 4.3: Overzicht projecteisen bijkomende vervorming

Bij de bovenstaande richtlijnen geldt het volgende:



- Er wordt getoetst op de berekende grondvervormingen ter hoogte van de K&L als gevolg van de werkzaamheden. Autonome bodemdaling wordt niet meegerekend.
- De bovengenoemde richtlijnen betreffen de totaalvervormingen (resultaat van horizontale en verticale vervormingen).
- Bij een parallelle ligging aan werkzaamheden worden over het algemeen geen relevante verschilvervormingen berekend. Conform NEN9997-1 dient minimaal 50% van de berekende vervorming als verschilvervorming in rekening te worden gebracht.

4.2.2.3 Overige objecten

De vervormingseisen toe te passen in geval van overige objecten als bruggen, waterhuishoudkundige objecten en kabels/leidingenwegen, wegen etc. vergt in de regel overleg met de eigenaar/beheerder. Vooralsnog worden de uitgangspunten zoals vermeld in Tabel 4.3 gehanteerd.

Onderstaande projecteisen betreffen vervorming door werkzaamheden, exclusief autonome zettingen. Het gaat om bijkomende zettingen die berekend worden over een periode van 30 jaar.

Object	Projectambitie
Drinkwaterwinning	Maximaal schadeklasse 1
(Grote) kunstwerken	Maximaal schadeklasse 1 (zie Tabel 4.2) wordt toegestaan (of: maatwerk op basis van constructieve eigenschappen)
Te handhaven wegen asfalt	1% verkantingstoename / afname
Kleine gemalen en stuwen	zetting van maximaal 5 cm is toegestaan
Duikers	minimaal 10% lucht behouden
Eenvoudige beschoeiingen	zetting van maximaal 5 cm is toegestaan en huidige belastingssituatie wordt niet gewijzigd
Particuliere bruggen metselwerk	maximaal toegestane hoekverdraaiing is 1:500 en maximaal 10 cm zetting (totaal)
Particuliere bruggen overige (bv. betonnen plaat)	maximaal 10 cm zetting (totaal) en maximaal 5 cm verschilzetting over lengte brug
Te handhaven wegen overige (bv. klinkers, halfverharding)	1% verkantingstoename / afname
Tuinen	maximaal 10 cm zetting (totaal)
Agrarische percelen	maximaal 10 cm zetting (totaal)
Huisaansluiting kabels en leidingen tpv. gevel	maximaal 5 cm zetting (totaal)



Objecten particulariseren (brongaswinning, gas tanks, septic tanks, erfafscheidingen etc.)

geen projecteisen

Tabel 4.4: Overzicht projecteisen bijkomende vervormingen

Toelichting bij de tabel:

- Met kleine gemalen en stuwen wordt bedoeld: bestaande houten stuwten in sloten, vlotterstuwten, etc. De projecteis van 5 cm is ingegeven vanuit het gevolg van de zettingen voor het peilbeheer (maximaal 5 cm effect op de waterstand in de sloten). Nadrukkelijk worden hiermee niet de grote kunstwerken, zoals het Katerveercomplex bedoeld; deze worden behandeld als gebouw.
- Voor eenvoudige particuliere bruggen is vanuit het functioneel gebruik een grenswaarde van 10 cm gekozen. Bij een dergelijke zetting is de brug nog steeds bruikbaar. Voor grote ornamentale bruggen die voorzien zijn van metselwerk geldt daarnaast een grenswaarde aan rotatie (een versimpeling van het criterium voor panden) om schade te voorkomen. Deze projecteis zal vrijwel altijd maatgevend zijn. Overige particuliere bruggen zijn in het algemeen simpeler in constructie (met name toegangen tot landbouwpercelen) en eenvoudiger te herstellen.
- Onder "te handhaven wegen" wordt verstaan: wegen die wel in het invloedsgebied liggen, maar niet nieuw aangelegd of vervangen worden. Hier is de wens deze wegen te laten blijven voldoen aan de CROW criteria voor langsvlakheid en verkanting, met het oog op een veilige berijdbaarheid van de weg. Voor het beschouwen van het effect van de werkzaamheden zal de verkanting maatgevend zijn; verschillen in langsricting zullen veel geleidelijker zijn en de projecteisen hieraan zijn ook ruimer. Bij een weg die in goede staat is en afdoende onderhouden is zal een maximale additionele verkanting van 1% er niet voor zorgen dat de weg buiten de uiterste grenzen van de CROW komt (verkantingsomslag / 7% verkanting), terwijl het toch enige ontwerpvrijheid biedt. Wanneer de weg in huidige situatie een verkanting heeft van meer dan 5% of minder dan 2% is, en bij zichtbare schade aan het wegdek, nader overleg met de wegbeheerder vereist.
- Voor huisaansluitingen van kabels en leidingen zal in het algemeen de vervorming van het pand maatgevend zijn. Bij een zeer gelijkmatig zakkend pand, of een zeer goed gefundeerd pand is dit een extra criterium om te voorkomen dat leidingen bij de aansluiting naar de woning breken.
- Voor particuliere objecten geldt dat deze niet geïnventariseerd zijn, en dat er onvoldoende technische aanknopingspunten zijn om hier goede grenswaarden voor op te stellen. Strategie is daarom het ontwerp er niet op aan te passen, maar als er schade ontstaat deze te herstellen / vergoeden.

4.2.3 Toelichting schadecriteria door verandering freatische grondwaterstand

Tijdelijke bemalingen aanlegfase

Lokaal zijn bemalingswerkzaamheden noodzakelijk om de aanleg van constructies en/of kleibekleding in den droge uit te voeren. Wanneer de grondwaterstand bij een object tot beneden de RLG wordt verlaagd kunnen, afhankelijk van de bodemopbouw, (ongelijkmatige) zettingen optreden. Als de grondwaterstand meer dan 5 cm beneden de RLG wordt verlaagd dient het effect te worden getoetst.

Gebruiksfase

Na het plaatsen van damwanden kan rondom de damwand barriewerking ontstaan, waardoor de grondwaterstand nabij de damwand opgestuwd danwel verlaagd kan worden. Daarnaast kan het lokaal nodig zijn om een tijdelijke bemaling uit te voeren om werkzaamheden uit te voeren, bijvoorbeeld bij verlegging van kabels en leidingen.

In de MER deel B: Achtergrondrapport Water [13] zijn de effecten van de dijkversterking op de grondwatersituatie bepaald. Ten behoeve van de uitvoering worden grondwaterstandsmetingen uitgevoerd om de effecten van de werkzaamheden in beeld te brengen [14].

Voorafgaand aan de werkzaamheden wordt middels een grondwatermeetnet, zie [14], de Representatief Hoogste/Laagste Grondwaterstand (RHG/RLG) bepaald. Tijdens de uitvoering van de dijkversterking en in de



gebruiksfase tot 5 jaar na de dijkversterking op het uitvoeringstraject periodiek getoetst of de gemeten grondwaterstanden zich binnen de vooraf bepaalde RLG/RHG bedragen.

Bij een (verwachte) verandering in de grondwatersituatie wordt een analyse uitgevoerd naar de kans op schade en een doelmatigheidsafweging voor de specifieke locatie uitgevoerd waarbij wordt bepaald of, en zo ja welke, beheersmaatregel kan worden getroffen om negatieve effecten te voorkomen. Dit op basis van de lokale bodembouw en type constructie/object.

Bebouwing, wegen en agrarische percelen

Om schade en overlast te voorkomen is het van belang dat de dijkversterking niet tot gevolg heeft dat de grondwaterstand onder de RLG of boven de RHG komt.

Wanneer de grondwaterstand zich binnen de normale RHG of RLG blijft zijn geen aanvullende maaiveldzettingen te verwachten, zal geen (aanvullende) grondwateroverlast ontstaan bij kelders en zal geen (aanvullende) droogstand van het bovenste funderingshout van houten paalfunderingen optreden. Ook ontstaan geen zettingen bij wegen en is geen verlies in gewasopbrengst te verwachten. Omdat er altijd sprake is van reken- en meeton nauwkeurigheden is de ambitie gesteld op RHG +5 cm en RLG -5 cm.

Overige objecten

Voor alle objecten geldt dat zettingen door grondwaterstandsveranderingen worden ondervangen in de vervormingscriteria in paragraaf 4.2.2. Voor de waterhuishoudkundige kunstwerken geldt dat de grondwaterstand met name wordt bepaald door het naastgelegen oppervlaktewater. Daarom zijn hiervoor geen criteria aan de grondwaterstand voor opgenomen. Op de overige objecten, bijvoorbeeld kabels en leidingen, hebben veranderingen in de grondwatersituatie geen effect, waardoor ook voor overige objecten geen criteria aan de grondwaterstand zijn opgenomen.

4.2.4 Toelichting schadecriteria door trillingen

Panden

Het trillingsniveau bij de panden worden getoetst op SBR Richtlijn deel A, Schade aan bouwwerken, 2017, waarbij als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de kans op schade kleiner dan 1% moet zijn.

Kabels en leidingen

Voor kabels en leiding geldt dat er geen projecteisen zijn voor trillingen, met uitzondering van leidingen van gietijzer en asbestcement. Bij deze materialen kunnen trillingen tot schade leiden. De exacte projecteisen zijn nader af te stemmen met de beheerder, vanwege maatwerk onder specifieke omstandigheden. Ook kan ervoor worden gekozen in overleg met de desbetreffende beheerder de leiding preventief te vervangen door bijvoorbeeld PE.

Overige objecten

Voor de meeste objecten geldt dat ze, omdat ze van beton, hout, kunststof of staal zijn, weinig gevoelig zijn voor trillingen. Uitzonderingen daarop zijn (grote) kunstwerken zoals het Katerveercomplex, die als een gebouw behandeld worden. Voor metselwerk erfafscheidingen of kleine schuren geldt ook dat zij gevoelig zijn voor trillingen en dat de kans op schade klein moet zijn. Omdat de gevolgen van schade echter kleiner zijn dan bij een woning of kunstwerk wordt een groter schaderisico acceptabel geacht.

4.2.5 Toelichting criteria geluid

In de notitie Geluid Aanlegfase Natuur [12] zijn indicatieve berekeningen uitgevoerd om het te verwachte geluidsniveau bij diverse werkzaamheden te bepalen. Hierbij is het intrillen van stalen damwanden maatgevend met een berekende contour van 50 dB(A) op 200 m afstand. Op 10 m afstand van het intrillen wordt een geluidsniveau van circa 80 dB(A) berekend. Het geluidsniveau van de werkzaamheden wordt getoetst aan de Circulaire Bouwlawaai 2010 en de eventuele voorschriften uit de ontheffing op de APV.



4.2.6 Toelichting hinder

Het voorliggende plan heeft betrekking op schadepreventie. Voor hinder wordt er verwezen naar de BLVC (Bereikbaarheid, Leefbaarheid, Veiligheid en Communicatie) plannen, en wordt in dit document buiten beschouwing gelaten.



5 Omgevingsmonitoring

5.1 Doel

Het primaire doel van de omgevingsmonitoring is om tijdens de uitvoering van de dijkversterking de (grond)vervormingen, trillingen en grondwaterstanden ter plaatse van belendingen en overige omgevingsobjecten periodiek te meten om op basis hiervan eventuele beheersmaatregelen te kunnen treffen. Dit om een beheerste uitvoering te waarborgen en de kans op schade aan de omgeving te minimaliseren.

Dit type monitoring is nadrukkelijk niet geschikt als actieve waarschuwing tegen snel optredende faalmechanismen, zoals een afschuiving, en de daarmee gepaard gaande vervormingen. Dit wordt afgedekt in het ontwerpproces.

De secundaire doelen van de omgevingsmonitoring zijn:

- Toetsing van de ontwerpvoorspellingen.
- Het verkrijgen van informatie voor omgevingsmanagement (verkrijgen en behoud van draagvlak belanghebbenden, informeren belanghebbenden, etc)
- Ondersteuning van het schadeproces bij eventuele schadeclaims.

5.2 Taakverdeling

5.2.1 Algemeen

Voor de plan- en ontwerpfase van de dijkversterking is door Boskalis Nederland en Waterschap Drents Overijsselse Delta (WDOD) een samenwerkingsverband aangegaan, namelijk IJsselwerken.

Voor de uitvoering van de dijkversterking is straks sprake van een opdrachtgever- opdrachtnemerrelatie met WDOD als opdrachtgever en Boskalis als opdrachtnemer.

5.2.2 Uitvoering omgevingsmonitoring

Tijdens de uitvoering wordt de omgevingsmonitoring door de opdrachtnemer uitgevoerd onder toezicht van de Risk Engineer(s). Hierbij wordt de Plan-Do-Check-Act cirkel gevolgd conform de integrale planvorming en het monitoringsplan van het uitvoeringstraject. De opdrachtnemer stelt een team samen bestaande uit specialisten in omgevingsmonitoring, trillingen, geohydrologie en geotechniek. Tevens zal de opdrachtnemer gespecialiseerde meetbureaus inhuren om namens de opdrachtnemer metingen te verrichten. De opdrachtnemer is verantwoordelijk voor het tijdig en juist uitvoeren van de metingen conform het monitoringsplan in het uitvoeringsontwerp, het beoordelen van de meetresultaten, het handelen bij overschrijding van de signalerings- en interventiewaarden en het informeren van de opdrachtgever. Op welke wijze de aannemer de uitvoering van de omgevingsmonitoring nader inricht is in dit stadium nog niet bekend.

5.2.3 Toezicht op omgevingsmonitoring

In het samen met de omgeving tot stand gekomen schadeprotocol is de inzet van één of meerdere riskengineers opgenomen. Deze riskengineers zijn verantwoordelijk voor het toezicht op de juiste uitvoering van de omgevingsmonitoring door de opdrachtnemer en vormen het aanspreekpunt voor de omgeving met betrekking tot de monitoring. De Risk Engineers kunnen desgewenst de bewoners uitleg geven aan de hand van (realtime) meetgegevens. De Risk Engineers opereren onder verantwoordelijkheid van opdrachtgever. Bij constatering dat de opdrachtnemer niet werkt volgens het vooraf opgestelde monitoringsplan kan de opdrachtgever de werkzaamheden van het betreffende uitvoeringstraject geheel of deels stilleggen.

5.2.4 Afweging monitoringsinspanning

Monitoring is een proces van plannen, meten/waarnemen en waar nodig bijsturen tijdens de uitvoering (plan - do - check - act). Het impliceert dat er een projecteis of verwachting is ten aanzien van de uitkomst, bijvoorbeeld een berekende zetting (plan), die tijdens de uitvoering (do) gemeten (check) wordt. Wanneer de metingen niet aan de



verwachtingen voldoen, moet een beheersmaatregel worden ingezet (act). Daarna kan de verwachting bijgesteld worden, waarmee de cyclus opnieuw begint.

Niet voor alle objecten is het zinvol om intensieve (dure) metingen te verrichten om schade te voorkomen, bijvoorbeeld bij objecten (ver) buiten de invloedssfeer of objecten waarbij eventuele schade snel en eenvoudig kan worden hersteld. Dit geldt uiteraard niet voor panden, woningen of belangrijke infrastructuur. Maar wel voor bijvoorbeeld duikers, kleine stuwten of eenvoudige beschoeiingen, waarbij de kosten van eventuele schade niet in verhouding staan met de kosten die worden gemaakt voor het monitoren. Derhalve is in paragraaf 5.3 een afweging gemaakt of schade tijdens uitvoering actief wordt voorkomen of dat eventuele schade wordt hersteld/vergoed.

Daarnaast wordt op basis van de berekende omgevingsbeïnvloeding in het monitoringsplan afgewogen welke metingen benodigd zijn. Voorbeeld: wanneer bij een pand zettingen en grondwaterstandsverlagingen worden verwacht, maar geen horizontale grondvervormingen dan worden hoogtemetingen en grondwaterstandsmetingen uitgevoerd, maar geen XYZ-metingen of inclinometingen.

In paragraaf 5.4 is ingegaan op de mogelijke metingen die worden verricht, inclusief de meetfrequentie bij bepaalde werkzaamheden. Voor de hoogte- en deformatiemetingen worden periodiek, bijvoorbeeld 1x per week of 1x per twee weken, metingen verricht. En ook direct vóór en direct na aanbrengen van een verticale maatregel (o.a. damwanden). Vanwege de lengte van het tracé, de verplaatsende aard van de werkzaamheden en de ruimtelijke inrichting van het gebied is het niet doelmatig om zeer kostbare continue hoogte- en deformatiemetingen te verrichten middels geautomatiseerde total stations. Hetzelfde geldt voor de uitvoering van trillingsmeters, waarbij alleen trillingsmeters worden geplaatst wanneer relevante trillingen (>50% van de grenswaarde) worden verwacht en de trillingsmeters met het werk mee worden verplaatst.

5.3 Meetperiode

Bij het monitoring van de invloed van de dijkversterking op de panden/infrastructuur lopen twee sporen parallel aan elkaar, namelijk de langjarige achtergrondmonitoring en de omgevingsmonitoring tijdens uitvoering van het werk.

De achtergrondmonitoring bestaat uit de reeds actieve grondwaterstandsmetingen door WDOD en de periodieke hoogtemetingen die vanaf 2024 (zie paragraaf 3.4.) worden uitgevoerd. De periodieke hoogtemetingen worden ondersteund met hoogtemetingen door satellieten (Sensar). De achtergrondmonitoring wordt doorgezet tot 3 jaar oplevering van het betreffende uitvoeringstraject om eventuele trendveranderingen in autonoom zettingsgedrag van panden/infrastructuur te signaleren.

Tijdens de uitvoering wordt intensief gemonitord (zie paragraaf 5.6) op de omgevingsbeïnvloeding om zo de werkzaamheden, indien nodig, bij te kunnen sturen. Deze metingen worden enkele weken voor de start van het desbetreffende uitvoeringstraject opgestart en tot maximaal 3 maanden na oplevering van het uitvoeringstraject doorgezet. Dit omdat ruim vóór oplevering van het uitvoeringstraject de grootste ophogingen en bemalingswerkzaamheden worden uitgevoerd en daarmee bij oplevering van het uitvoeringstraject de grondvervormingen nagenoeg zijn gestabiliseerd.

5.4 Vastlegging nulsituatie

5.4.1 Bouwkundige opnamen

Binnen afstand 20 m van het maatgevende ruimtebeslag (TRB of DRB) en/of 60 m vanaf de damwand wordt van alle panden en relevante infrastructuur een bouwkundige vooropname gemaakt. Het doel van de bouwkundige vooropname is om bestaande gebreken fotografisch vast te leggen voorafgaand aan de uitvoering van de werkzaamheden. Met een bouwkundige vooropname kunnen een eventuele aansprakelijkheid en schadevaststelling worden onderbouwd of juist uitgesloten.

Omdat bewoners vaak kleine schade aan de binnenzijde van de woningen als eerste melden wordt als uitgangspunt aangehouden dat bij woningen het interieur en exterieur wordt opgenomen. Bij hoogbouw (flats) wordt alleen het exterieur aan de zijde van de werkzaamheden opgenomen vanwege de funderingswijze en constructie.



5.4.2 Vastlegging wegen

Bij relevante asfaltwegen, bijvoorbeeld de N337, wordt de huidige staat vastgelegd middels camerabeelden vanuit een inspectievoertuig. De weg en bijbehorende assets worden met 360-graden camera's in beeld gebracht in hoge resolutie. Hierbij wordt geen beoordeling van de beelden uitgevoerd. Met deze vooropname kunnen een eventuele aansprakelijkheid en schadevaststelling worden onderbouwd of juist uitgesloten.

5.4.3 Vastlegging grondwaterstanden

Op het traject van dijkversterking IJsselwerken zijn meerdere peilbuizen aanwezig. Deze staan ter plaatse van de dijk, voorland en/of het achterland. In het document 'Monitoring grondwater' [14] staan de peilbuislocaties, metingen en berekende RHG/RLG beschreven. De berekende RHG/RLG worden als nulmeting van de grondwaterstanden aangehouden.

5.4.4 Nulmeting meetpunten

Voor de hoogte- en deformatiemetingen (zie paragraaf 5.4) wordt na plaatsing van de meetinstrumenten, voorafgaand aan de uitvoering, per meetpunt een nulmeting uitgevoerd. Voor trillingsmetingen en geluidsmetingen zijn geen nulmetingen van toepassing, omdat de metingen hierbij getoetst worden aan respectievelijk de SBR-A en Circulaire Bouwlawaaier.



5.5 Te monitoren parameters

Eerder in dit document zijn de schademechanismen en projecteisen voor de omgevingsobjecten vastgelegd en is aangegeven op welke vervormingen/beïnvloeding actief wordt gestuurd. Om te besluiten of beheersmaatregelen ingezet moeten worden is informatie benodigd. De gewenste informatie is opgesomd in onderstaande tabel.

¹ Een toelichting op de schadeklasse is gegeven in hoofdstuk 4

² Afweging of schade moet worden voorkomen door een robuust ontwerp plus robuust ontwerp en actieve monitoring of de kans beperken door robuust ontwerp, geen actieve monitoring en risico op schade accepteren en schade herstellen wanneer dit optreedt.

^{3,4} Dit betreft aanvullende metingen die uitgevoerde worden wanneer daar aanleiding toe is op basis van een gedetailleerde analyse van de werkzaamheden en het pand.

Object	Projecteis vervorming ¹	Strategie ²	Bewaking van (indien van toepassing)	Te monitoren parameters (indien van toepassing)	Meetwijze
Monument (pand)	Maximaal schadeklasse 1 (In uitzonderlijke gevallen schadeklasse 0)	Actieve monitoring	Schade door vervormingen	Zakking object (z-richting)	Precisiewaterpassing hoogtemeetboutjes Scheurmeting
				Horizontale vervorming object (xy-richting) ³	Precisiewaterpassing met tachymeter bij miniprisma's Scheurmeting
				Grondvervorming (xy-richting) ⁴	Inclinometing
Pand	Maximaal schadeklasse 1 (In uitzonderlijke gevallen schadeklasse 2)		Schade door verandering grondwaterstand	Grondwaterstand	Peilbuizen met datalogger voorzien van telemetrie
Bijgebouwen, schuren, etc.	Maximaal schadeklasse 2 (In uitzonderlijke gevallen schadeklasse 1)		Schade door trillingen, met kans op schade van max. 1%	Trillingen	Trillingsmeters conform SBR-A Bij spoorlijnen conform SBR-A en SBR-C

(Grote) kunstwerken en drinkwaterwinning	Maximaal schadeklasse 1 wordt toegestaan (of: bij uitzondering maatwerk)				
Spoorlijnen en bijbehorende kunstwerken	Maatwerk o.b.v. richtlijnen ProRail				
Eenvoudige beschoeiingen	Zetting van maximaal 5 cm is toegestaan en huidige belastingssituatie wordt niet gewijzigd herstellen	Herstel bij schade	Schade door vervormingen	Zakking object (z-richting)	Waterpassing hoogtemeetboutjes
Kleine gemalen en stuwen	Zetting van maximaal 5 cm is toegestaan	Herstel bij schade	Schade door vervormingen	Zakking object (z-richting)	Waterpassing hoogtemeetboutjes
Duikers	Minimaal 10% lucht behouden	Herstel bij schade	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Particuliere bruggen metselwerk	Maximaal toegestane hoekverdraaiing is 1:500 en maximaal 10 cm zetting (totaal)	Actieve monitoring	Schade door vervormingen	Zakking (z-richting)	Precisiewaterpassing hoogtemeetboutjes Scheurmeting
			Schade door trillingen, met kans op schade van max. 3%	Trillingen	Trillingsmeters conform SBR-A
Particuliere bruggen overige (bv. betonnen plaat)	Maximaal 10 cm zetting (totaal) en maximaal 5 cm verschilzetting	Herstel bij schade	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

Bestaande te handhaven wegen asfalt	1% verkantingstoename / afname en toename GHG + 5 cm	Actieve monitoring	Schade door vervormingen	Zakking maaiveld (z-richting)	Precisiewaterpassing meetspijkers
			Schade door verandering grondwaterstand	Grondwaterstand	Grondwaterstandsmeting met datalogger
Bestaande te handhaven wegen overige (bv. klinkers, halfverharding)	1% verkantingstoename / afname	Herstel bij schade	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
	Toename GHG + 5 cm	Actieve monitoring	Schade door verandering grondwaterstand	Grondwaterstand	Grondwaterstandsmeting met datalogger
Tuinen	Maximaal 10 cm zetting (totaal)	Herstel bij schade	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Agrarische percelen	Maximaal 10 cm zetting (totaal)	Herstel bij schade	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Huisaansluiting kabels en leidingen t.p.v. gevel	Maximaal 5 cm zetting (totaal)	Herstel bij schade	Schade door vervormingen	n.v.t. (gevel wordt reeds gemeten)	n.v.t.
Kabels en leidingen	Zie schadecriteria	Actieve monitoring	Schade door vervormingen	Zakking maaiveld of object (z-richting)	Precisiewaterpassing zakbaak
				Horizontale vervorming object (xy-richting)	Inclinometing bij hellingmeetbuis

Objecten particulier (gastanks, septic tanks, erf- afscheidings etc.)	Geen projecteisen	Herstel bij schade	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
--	-------------------	-----------------------	--------	--------	--------

Tabel 5.1: Overzicht te monitoren parameters en meetwijze

5.6 Metingen

5.6.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn die metingen beschreven die worden uitgevoerd om de in hoofdstuk 2 benoemde parameters te controleren. Per type meting wordt, indien van toepassing, een toelichting gegeven op:

- van toepassing zijnde normen en richtlijnen;
- het type meetpunt;
- locatie meetpunten en aandachtspunten bij plaatsing;
- de meetmethode, referentie en nauwkeurigheid;
- de benodigde registratie van gegevens;
- de dataverwerking en beschikbaarheid;
- Meetfrequentie, meetperiode en eindmeting;
- Verwijdering.

5.6.2 Hoogtemeting panden (precisiewaterpassing, z-richting)

Meetpunten

Voor het meten van de zettingen (verticale richting) worden bij panden rvs meetbouten met een doorsnede van 6 mm geplaatst of (in geval van mogelijke beschadiging bij boren/schroeven) een gelijmd meetpunt of meetsticker.

Locatie van de meetpunten

De locaties van de meetpunten worden vastgesteld in het monitoringsplan en volgen uit de gestelde projecteisen:

- Bevestigd aan gebouwen en constructies waar verplaatsingen worden voorzien (>1 mm);
- Meetpunten (minimaal 2) worden geplaatst op de zijde / gevel waar verplaatsingen door werkzaamheden naar verwachting het grootst zijn;
- Meetpunten worden eveneens geplaatst op een zijde / gevel haaks daarop waar significante (relatieve) rotaties worden voorzien.

Aandachtspunten bij plaatsing

In 2024 (zie paragraaf 3.4) worden hoogtemeetboutjes geplaatst op de relevante panden/infrastructuur om eerder inzicht te verkrijgen in de autonome zettingen van de panden/infrastructuur.

Wanneer uit het monitoringsplan blijkt dat aanvullende meetpunten benodigd zijn gelden de volgende uitgangspunten:

- De aanvullende meetpunten dienen minimaal 4 weken voor start van de relevante werkzaamheden (grondverzet, inbrengen damwanden, etc) te zijn geplaatst;
- Bij het plaatsen van een meetpunt op publiek toegankelijk terrein wordt rekening gehouden met (on)opzettelijke beschadigingen door ze laag bij het maaiveld, of buiten bereik te plaatsen. Waar het risico op beschadiging groot is worden meerdere meetpunten per object gebruikt (50% extra);
- Bij het plaatsen van een meetpunt op particulier terrein wordt het zo mogelijk dusdanig geplaatst dat het vanaf de openbare weg / met zo min mogelijk overlast in te meten is.
- Het kan nodig zijn om referentiepunten aan te brengen. Locaties en aantal referentiepunten dienen te worden afgestemd met de Risk Engineer.

Meetmethode en referentie

Voor het meten van zakkingen van belendingen wordt gebruik gemaakt van precisiewaterpassing (handmatige metingen) ten opzichte van NAP. Bij de nulmeting wordt het meetpunt met een dubbele meetkring ingemeten. Bij de reguliere inmeting wordt een normale meetkring uitgevoerd.

Meetnauwkeurigheid en referentie

De benodigde meetnauwkeurigheid bedraagt circa 0,5 mm. Indien de afstand tot de referentiemeetpunten dermate groot is dat de beoogde meetnauwkeurigheid niet wordt gehaald en er geen bestaande panden/objecten aanwezig zijn waar nieuwe referentiepunten kunnen worden geplaatst kunnen stalen buispalen worden geïnstalleerd als referentiemeetpunt.



Registratie meetgegevens

Tijdens een meting van een meetpunt dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer meetpunt;
- Datum en tijd van de meting;
- Verstoringen in de omgeving (tijdelijke opslag van materiaal/materieel, niet geplande ophogingen of ontgravingen, verbouwingen, etc.);
- Verstoring van het meetpunt, schade, etc.

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij de Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of verwijdering direct te worden hersteld.

Deze gegevens worden opgeslagen in een online GIS-systeem, zie paragraaf 5.8.3

Meetfrequentie, meetperiode en eindmeting

De vereiste meetfrequentie is:

- Dubbele nulmeting (2 onafhankelijke meetronden) uiterlijk twee weken voor start relevante werkzaamheden;
- Bij grondwerkzaamheden vanaf start grondverzet (of overige relevante werkzaamheden, zoals het afgraven van een leeflaag): 1x per 2 weken.
- Bij het aanbrengen van de verticale maatregel: 1x per week + direct vóór en direct na aanbrengen verticale maatregel.
- In perioden dat geen werkzaamheden worden verricht is een variabele meetfrequentie van toepassing:
 - Op locaties binnen de invloedssfeer van ophogingen >1 m wordt gedurende 6 weken de meetfrequentie van 1x per 2 weken doorgezet. Hierna wordt de meetfrequentie verlaagd naar 1x per 1 tot 2 maanden. De exacte frequentie wordt vastgesteld in het UO.
 - Bij overige locaties wordt de meetfrequentie verlaagd naar 1x per 1 tot 2 maanden. De exacte frequentie wordt vastgesteld in het UO.

Daarbij komt dat steeds gemeten moet worden:

- Bij verstoring van een meetpunt;
- Bij vervanging van een meetpunt.

De omgevingsmonitoring wordt doorgezet tot 3 maanden na de oplevering van het uitvoeringstraject.

Verwijdering

De meetstiften worden na einde werk niet verwijderd. Dit om:

- in de toekomst nog herhalingsmetingen uit te kunnen voeren.
- beschadiging aan metselwerk te voorkomen.

5.6.3 Precisiewaterpassing panden X-,Y-meting

Meetpunten

Voor het meten van vervormingen in de horizontale richting (x-,y-richting) worden reflecterende (mini)prisma's geplaatst.

Locatie van de meetpunten

De locaties van de meetpunten worden vastgesteld in het monitoringsplan en volgen uit de gestelde projecteisen:

- Bevestigd aan alle belendingen waar risicovolle horizontale verplaatsingen worden verwacht op basis van het ontwerp;
- Meetpunten (minimaal 2) worden geplaatst op de zijde / gevel waar verplaatsingen door werkzaamheden naar verwachting het grootst zijn op een hoogte van circa 2 tot 3 m;
- Meetpunten worden eveneens geplaatst op een zijde / gevel haaks daarop waar significante (relatieve) rotaties worden voorzien.
- Het kan nodig zijn om referentiepunten aan te brengen. Locaties en aantal referentiepunten worden opgenomen in het uitvoeringsontwerp.



Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van de meetpunten gelden de volgende uitgangspunten:

- De meetpunten dienen minimaal 4 weken voor start ophoging te zijn geplaatst;
- Bij het plaatsen van een meetpunt op publiek toegankelijk terrein wordt rekening gehouden met (on)opzettelijke beschadigingen door ze buiten bereik te plaatsen. Waar het risico op beschadiging groot is worden meerdere meetpunten per object gebruikt (50% extra);
- Bij het plaatsen van een meetpunt op particulier terrein wordt het zo mogelijk dusdanig geplaatst dat het vanaf de openbare weg / met zo min mogelijk overlast in te meten is;
- De zichtlijnen tussen de referentiepunten en de in te meten prisma's dienen obstakelvrij te zijn.

Meetmethode en referentie

Voor het meten van vervormingen in de x- en y-richting van belendingen wordt gebruik gemaakt van (handmatige) metingen met een total station ten opzichte van minimaal 2 vaste referentiepunten.

Bij de nulmeting worden het meetpunt met een dubbele meetkring ingemeten. Bij de reguliere inmeting wordt een normale meetkring uitgevoerd.

Meetnauwkeurigheid

De benodigde meetnauwkeurigheid bedraagt circa 3 mm. Indien de afstand tot de referentiemeetpunten dermate groot is dat de beoogde meetnauwkeurigheid niet wordt gehaald en er geen bestaande panden/objecten aanwezig zijn waar nieuwe referentiepunten kunnen worden geplaatst kunnen stalen buispalen worden geïnstalleerd als referentiemeetpunt.

Registratie meetgegevens

Tijdens een meting van een maaiveldmeetpunt dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer;
- Datum en tijd van de meting;
- Verstoringen in de omgeving (tijdelijke opslag van materiaal/materieel, niet geplande ophogingen of ontgravingen, verbouwingen);
- Verstoring van het meetpunt, schade, etc.

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of verwijdering direct te worden hersteld.

Deze gegevens worden opgeslagen in een online GIS-systeem, zie paragraaf 5.8.3

Meetfrequentie, meetperiode en eindmeting

De meetfrequentie, meetperiode en eindmeting is gelijk aan de precisiewaterpassing in verticale richting (z-richting).

Verwijdering

De mini-prisma's worden uiterlijk 6 maanden na einde werk weer verwijderd.

5.6.4 Hoogtemeting maaiveld, asfaltverharding en K&L

Meetpunten

Voor de meeste locaties geldt dat standaard maaiveldmeetpunten (meetspijkers) in de verharding of zakkaken in groenstroken kunnen worden toegepast voor het meten van de zettingen.

Tevens kan ook gebruik worden gemaakt van fenomarkers en tell-tales (baak met manchet op leiding). Uit praktijkervaring blijkt dat deze meetinstrumenten gevoelig zijn voor verstoring vanuit de omgeving, waardoor deze alleen bij uitzondering worden toegepast.

Locatie van de meetpunten

De locaties van de meetpunten worden vastgesteld in het monitoringsplan en volgen uit de volgende projecteisen:

- Ter plaatse van asfaltverhardingen waar dwars op de weg een ongelmatige zetting van meer dan 40 mm wordt verwacht.



- Ter plaatse van K&L waarbij kritische verschilvormingen optreden ten opzichte van een vast punt. Bijvoorbeeld maaiveldzettingen nabij een op palen gefundeerd trafostation.

Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van de meetpunten gelden de volgende uitgangspunten:

- De meetpunten dienen minimaal 4 weken voor start ophoging te zijn geplaatst en ingemeten (nulmeting);
- Bij het plaatsen van een meetpunt op publiek toegankelijk of particulier terrein wordt rekening gehouden met (on)opzettelijke beschadigingen door ze af te schermen / te markeren.
- Waar het risico op beschadiging groot is worden meerdere meetpunten per object gebruikt (50% extra);
- Bij het plaatsen van een meetpunt op particulier terrein wordt het zo mogelijk dusdanig geplaatst dat het vanaf de openbare weg / met zo min mogelijk overlast in te meten is;
- Verstoring van de ondergrond bij plaatsing dient tot een minimum te worden beperkt;
- Rondom de zakbaken en fenomarkers dienen drie oranje gemarkeerde piketten tot 0,8 m boven maaiveld te worden aangebracht ter bescherming van het meetpunt;
- Meetpunten dienen zodanig te worden geplaatst dat de kans op verstoring/beschadiging door derden als gevolg van gebruik van het (openbaar) terrein wordt beperkt.

Meetmethode en referentie

Voor het meten van de zettingen wordt gebruik gemaakt van precisiewaterpassing (handmatige metingen) ten opzichte van NAP. Bij de nulmeting wordt het meetpunt met een dubbele meetkring ingemeten. Bij de reguliere inmeting wordt een normale meetkring uitgevoerd.

Bij verwachte zettingen groter dan 200 mm kan tevens een GPS-waterpassing worden uitgevoerd.

Meetnauwkeurigheid en referentie

De benodigde meetnauwkeurigheid bedraagt circa 1 mm. Indien de afstand tot de referentiemeetpunten dermate groot is dat de beoogde meetnauwkeurigheid niet wordt gehaald en er geen bestaande panden/objecten aanwezig zijn waar nieuwe referentiepunten kunnen worden geplaatst kunnen stalen buispalen worden geïnstalleerd als referentiemeetpunt.

Registratie meetgegevens

Tijdens een meting van een meetpunt dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer meetpunt;
- Datum en tijd van de meting;
- Verstoringen in de omgeving (tijdelijke opslag van materiaal/materieel, niet geplande ophogingen of ontgravingen, verbouwingen, etc.);
- Verstoring van het meetpunt, schade, etc.

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij de Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of verwijdering te worden hersteld.

Deze gegevens worden opgeslagen in een online GIS-systeem, zie paragraaf 5.8.3

Meetfrequentie, meetperiode en eindmeting

De vereiste meetfrequentie is:

- Dubbele nulmeting (2 onafhankelijke meetronden) uiterlijk twee weken voor start relevante werkzaamheden;
- Bij grondwerkzaamheden vanaf start grondverzet (of overige relevante werkzaamheden, zoals het afgraven van een leeflaag): 1x per 4 weken.
- Bij het aanbrengen van de verticale maatregel: 1x per week
- In perioden dat geen werkzaamheden worden verricht is een variabele meetfrequentie van toepassing:
 - Op locaties binnen de invloedssfeer van ophogingen >1 m wordt gedurende 6 weken de meetfrequentie van 1x per 4 weken doorgezet. Hierna wordt de meetfrequentie verlaagd naar 1x per 2 maanden.
 - Bij overige locaties wordt de meetfrequentie verlaagd naar 1x per 2 maanden.



Daarbij komt dat steeds gemeten moet worden:

- Bij verstoring van een meetpunt;
- Bij vervanging van een meetpunt.

De omgevingsmonitoring wordt doorgezet tot 3 maanden na deeloplevering van het uitvoeringstraject.

5.6.5 Inclinometingen

Voor het meten van horizontale grondvervormingen buiten het werkterrein wordt gebruik gemaakt van inclinometingen (handmatige metingen) bij hellingmeetbuizen.

Locatie en installatieniveau van de hellingmeetbuizen

De locaties van de inclinometerbuizen worden vastgesteld in het monitoringsplan en volgen uit de gestelde projecteisen:

- Ter plaatse van kritieke locaties voor omgevingsbeïnvloeding waarbij horizontale grondvervormingen een rol spelen. De kritieke locaties worden per uitvoeringstraject uitgewerkt.

De hellingmeetbuis wordt dusdanig geplaatst dat:

- deze tussen de ophoging en de belending ligt, en zo dicht mogelijk bij de belending;
- de te verwachten vervormingen ter plaatse van de inclinometer duidelijk meetbaar zijn (i.e. >10 mm).

Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van de hellingmeetbuizen gelden de volgende uitgangspunten:

- De hellingmeetbuis dient minimaal 2 weken voor start ophoging te zijn geplaatst en 2x zijn ingemeten (nulmeting);
- Hellingmeetbuizen dienen over twee assen (90° ten opzichte van elkaar) te kunnen worden ingemeten. Het meetinterval bedraagt maximaal 0,5 m. De hellingmeetbuizen worden met hun hoofdas haaks op de dijk / maatgevende ophoging / ontgraving geplaatst;
- Hellingmeetbuizen dienen aan onderzijde minimaal 5 m in een vaste zandlaag te worden geplaatst.
- Hellingmeetbuizen dienen te worden voorzien van een goed afsluitbaar deksel, om te voorkomen dat vuil of obstakels in de buis terecht zouden komen;
- De ruimte rond de inclinobuizen moet afgevuld worden met zand (in pleistoceen) en zwelklei / bentoniet (in holoceen).

Meetmethode en referentie

Omdat inclinometingen altijd met hetzelfde instrument moeten worden verricht om betrouwbare resultaten te behouden dient de nulmeting met twee verschillende instrumenten (regulier en back-up) te worden uitgevoerd.

Herhalingsmetingen gebeuren handmatig, met steeds hetzelfde instrument. Gemeten wordt ten opzichte van de nulmeting. Metingen worden uitgevoerd door een medewerker met kennis en ervaring op het gebied van inclinometingen.

Na inmeten van de twee assen wordt de meting 180° gedraaid uitgevoerd ter controle. Aandachtspunt hierbij is dat de inclinometer voldoende is geacclimatiseerd aan het grondwater.

Ter controle van het meetpunt wordt periodiek ook de kop (xyz-richting) d.m.v. een precisiewaterpassing ingemeten.

Meetnauwkeurigheid

Gebruikelijke nauwkeurigheden van inclinometers zijn 0,1 mm per m' lengte inclinobuis. Bij een lengte van circa 20 m zou dit een meetnauwkeurigheid van 2 mm betekenen. Dit is acceptabel.

Registratie meetgegevens

Bij een meting dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer inclinometer;
- Datum en tijd van de meting;
- Horizontale vervorming (x- en y-as) bij elke meting ten opzichte van de nulmeting per halve meter diepte;



- Eventuele horizontale verplaatsing aan de kop (xy-richting) bij de periodieke inmeting;
- Verstoringen in de omgeving (tijdelijke opslag van materiaal/materieel, niet geplande ophogingen of ontgravingen);
- Verstoring van het meetpunt).

De bovenstaande gegevens worden opgeslagen in GIS.

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij de Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of verwijdering direct te worden hersteld of herplaatst.

Meetfrequentie

De meetfrequentie, meetperiode en eindmeting is gelijk aan de precisiewaterpassing in verticale richting (z-richting).

Daarbij komt dat steeds gemeten moet worden:

- Bij verstoring van een hellingmeetbuis

5.6.6 Metingen van scheurwijdte bij panden

Meetpunten

In bijzondere gevallen worden aanvullend op de deformatiemetingen scheurmetingen verricht. Voor het meten van veranderingen in scheurwijdte worden analoge vlakke scheurmeters ingezet met een witte achtergrond. Het horizontale en verticale meetbereik dient, respectievelijk 50 en 20 mm te bedragen. De scheurmeter dient weersbestendig te zijn.

Locatie van de meetpunten

De locaties van de meetpunten worden door het ontwerpteam vastgesteld bij het opstellen van uitvoeringsontwerp op basis van de visuele inspecties voorafgaand aan het ontwerp.

Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van scheurmeters gelden de volgende aandachtspunten:

- Bij het plaatsen van een scheurmeter op publiek toegankelijk terrein wordt rekening gehouden met (on)opzettelijke beschadigingen door ze af te schermen / te markeren. Waar het risico op beschadiging groot is worden meerdere scheurmeters per object gebruikt (50% extra).
- Bij het plaatsen van een scheurmeter op particulier terrein wordt het zo mogelijk dusdanig geplaatst dat het met zo min mogelijk overlast in te meten is.
- De scheurmeters dienen visueel, zonder bijzondere hulpmiddelen, leesbaar te zijn.
- Scheurmeters dienen zodanig te worden geplaatst dat de kans op verstoring/beschadiging door derden als gevolg van gebruik van het (openbaar) terrein wordt beperkt.

Meetmethode en referentie

Meetpunten worden bij installatie op "nul" ingesteld. Aflezing van het meetpunt wordt visueel uitgevoerd.

Meetnauwkeurigheid

De meetnauwkeurigheid dient minimaal 1 mm te bedragen.

Registratie meetgegevens

Tijdens een meting van een meetpunt dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer;
- Datum en tijd van de meting;
- Verstoringen in de omgeving (verbouwingen, etc.);
- Verstoring van het meetpunt, abnormale scheefstand, schade.

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij de Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of



verwijdering direct te worden hersteld of herplaatst. Bij vervanging van een meetpunt wordt de aansluiting binnen de meetreeks tenietgedaan, waardoor deze als nieuw meetpunt dient te worden geregistreerd.

Deze gegevens worden opgeslagen in GIS.

Meetfrequentie

De meetfrequentie, meetperiode en eindmeting is gelijk aan de precisiewaterpassing in verticale richting (z-richting).

5.6.7 Grondwaterstandsmetingen

Meetpunten

Voor de grondwaterstandsmetingen is reeds een grondwatermeetnet met peilbuizen beschikbaar [14]. Dit meetnet wordt, indien nodig, op basis van de bevindingen in het uitvoeringsontwerp uitgebreid. De hier bedoelde meetpunten maken geen onderdeel uit van het achtergrondmeetnet [14], maar zijn bedoeld voor de actieve omgevingsmonitoring.

Locatie van de meetpunten

De locaties van de meetpunten volgen uit de gestelde eisen dat:

- Indien bij panden of infrastructuur verwacht wordt dat door de werkzaamheden de grondwaterstand of stijghoogte dalen tot beneden de representatief laagste grondwaterstand of boven de representatief hoogste grondwaterstand.
- Peilbuizen wordt geplaatst tussen de werkzaamheden en het pand/infrastructuur.

Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van de meetpunten gelden de volgende uitgangspunten:

- diameter van de peilbuizen bedraagt minimaal 36/40 mm (binnen-/buitenmaat);
- filterlengte bedraagt minimaal 1 m;
- onderzijde filter 1,0 m onder GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand);
- toepassing filterkous;
- peilbuizen worden afgewerkt met straatpotten met afsluitbare kunststof deksel of afsluitbare kunststof schutkoker i.v.m. de toepassing van sensoren met telemetrie;
- plaatsing gebeurt op basis van het Stowa-protocol (2012);
- peilbuizen worden geplaatst door een aantoonbaar deskundig veldwerkbureau;
- de kop peilbuis wordt na plaatsing met een meetnauwkeurigheid van <1 cm ten opzichte van NAP ingemeten;
- de meetpunten dienen maximaal 6 weken en minimaal 2 weken voor start (bemaalings)werkzaamheden te zijn geplaatst en voorzien van sensoren;
- bij het plaatsen van een meetpunt op publiek toegankelijk terrein wordt rekening gehouden met (on)opzettelijke beschadigingen door de afsluitbare straatpot gelijk aan maaiveld af te werken;
- bij het plaatsen van een meetpunt op particulier terrein wordt het zo mogelijk dusdanig geplaatst dat het zo min mogelijk overlast geeft voor de desbetreffende eigenaren;
- peilbuizen worden minimaal 1x per jaar onderhouden (schoonpompen, controle op beschadigingen, uitvoeren handmeting grondwaterstand).

Meetmethode en referentie

De grondwaterstandsmetingen worden uitgevoerd met dezelfde telemetrische sensoren als die in het bestaande grondwatermeetnet worden toegepast, namelijk het type mslv5 (of hoger) van Aveco de Bondt / Munisense B.V. Deze sensoren zijn batterij gevoed, werken op basis van GPRS en communiceren met de portal (WWD/ARGUS) die door WDOD wordt gebruikt voor het beheer van grondwaterstandsmetingen. Per sensor is de meetfrequentie, verzendfrequentie en alarmering te programmeren.

Meetnauwkeurigheid en referentie

De meetnauwkeurigheid (bij 25 °C) bedraagt +/- 0,05% van het meetbereik en nooit groter dan 0,5 cm.



Registratie meetgegevens

De opslag van de grondwaterstandsgegevens, en het beheer van de grondwaterstandssensoren, vindt plaats op de door WDOOD gebruikte portal. Deze portal sluit aan op de processen zoals die in de BRO geregistreerd dienen te worden voor de metadata (kenmerken peilbuis en sensor) en meetdata.

Meetfrequentie, meetperiode en eindmeting

Bij de algemene sensoren wordt een meetfrequentie van 1x per uur aangehouden. De data wordt eenmaal per dag naar de portal verzonden. Voor de meetperiode wordt verwezen naar [14].

Bij de controle van bemalingswerkzaamheden wordt een meetfrequentie van 1x per 5 minuten aangehouden. De data wordt eenmaal per uur naar de portal verzonden. De meting wordt één week na beëindiging van de bemalingswerkzaamheden stopgezet.

Verwijdering

De sensoren voor de grondwaterstandsmetingen worden na afloop van de meetperiode verwijderd. De peilbuizen worden niet verwijderd, zodat het meetpunt beschikbaar blijft voor eventuele latere metingen. Peilbuizen worden alleen verwijderd indien dit met de desbetreffende perceeleigenaar is afgesproken.

5.6.8 Trillingsmetingen

Meetpunten

Voor de trillingsmetingen worden zowel vaste als verplaatsende trillingsmeters geïnstalleerd. Op kritieke locaties worden vaste trillingsmeters geplaatst die gedurende de periode van relevante werkzaamheden blijven staan. Bij voortschrijdende werkzaamheden, bijvoorbeeld het intrillen damwanden, worden trillingsmeters geïnstalleerd die met het werk mee verplaatsen. Dit wordt nader gespecificeerd in het uitvoeringsontwerp.

Locatie van de meetpunten

De locaties en dichtheid van de meetpunten worden per uitvoeringstraject bepaald in het uitvoeringsontwerp. Als richtlijn wordt aangehouden dat eventuele trillingsmetingen:

- aan de buitengevel van panden wordt uitgevoerd ter plaatse van stijve hoekpunten;
- als indicatieve meting conform de SBR-A (Schade aan bouwwerken, 2017) wordt uitgevoerd bij reguliere werkzaamheden;
- als uitgebreide meting conform de SBR-A wordt uitgevoerd wanneer damwanden worden ingetrild.

Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van de meetpunten gelden de volgende uitgangspunten:

- Plaatsing dient volledig conform de SBR Trillingsrichtlijn deel A, Schade aan bouwwerken, 2017 (hierna SBR-A) plaats te vinden;
- De apparatuur dient op steenachtige materialen (beton, metselwerk, etc.) te worden geïnstalleerd. Er worden geen trillingsmeters geplaatst op houtachtige materialen;
- De apparatuur dient zodanig te worden geplaatst dat deze niet kan worden aangereden door verkeer;
- Om de apparatuur dient een afsluitbare metalen beschermkast te worden aangebracht. De apparatuur wordt niet dagelijks geplaatst en verwijderd.
- Bij uitvoering van een uitgebreide meting worden de klokken van de trillingsmeters bij installatie gesynchroniseerd om lokale pieken te kunnen herleiden.

Meetmethode, -nauwkeurigheid en -frequentie

Metingen worden verricht conform de SBR-A en onder het KOMO-procescertificaat BRL 5023 "Het proces van het meten van trillingen".

Bij de trillingsmetingen wordt een drempelwaarde van 0,5 mm/sec ingesteld. Elke 15 seconden wordt de hoogste trillingen (mits groter dan 0,5 mm/sec) opgeslagen.

De metingen worden grotendeels "beperkt bewaakt" uitgevoerd met alarmbewaking op afstand (zie BRL 5023)*. Hierbij vindt tijdens werktijden continue bewaking van de metingen plaats op afstand, waarbij de metingen (bij overschrijding) door de adviseur van de opdachtneer worden geanalyseerd en er contact wordt opgenomen met de (hoofd)uitvoerder. Dit omdat de (hoofd)uitvoerder op locatie aanwezig is en de werkzaamheden direct kan



aanpassen of (deels) stil leggen. De (hoofd)uitvoerder informeert bij structurele overschrijdingen (>5 overschrijdingen per dagdeel) van het toegestane trillingsniveau de Risk Engineer van de opdrachtgever en de Technisch manager van opdrachtnemer.

*Lokaal kan tijdelijk een bewaakte meting op locatie worden uitgevoerd, bijvoorbeeld bij de installatie van damwanden op korte afstand van objecten. Dit wordt aangegeven in het monitoringsplan in het uitvoeringsontwerp.

Registratie meetgegevens

Trillingsmetingen dienen met een maximale vertraging van 30 minuten op een beveiligd online platform te worden gepresenteerd. Bij een bemande bewaakte meting op locatie worden de trillingen real-time door een adviseur gevolgd en geanalyseerd. Hierbij dient de hoofdvoerder en de Risk Engineer direct inzage te hebben (of mee te kunnen kijken) in de meetresultaten.

Bij installatie, verplaatsing/verwijdering en rapportage van een meetpunt dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer meetpunt;
- Datum en tijd;
- x-, y-, z-oriëntatie van de trillingsmeter.
- Verstoringen in de omgeving (werkzaamheden aan het object, activiteiten derden);
- Verstoring van het meetpunt (niet mogelijk bij online uitlezing).

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij de Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of verwijdering direct te worden hersteld of herplaatst.

5.6.9 Geluidsmetingen

Meetpunten

Voor de geluidsmetingen worden bij kritieke werkzaamheden tijdelijke trillingsmeters geïnstalleerd. Bij voortschrijdende werkzaamheden, bijvoorbeeld het intrillen damwanden, worden geluidsmeters geïnstalleerd die met het werk mee verplaatsen. Dit wordt nader gespecificeerd in het uitvoeringsontwerp.

Locatie van de meetpunten

De locaties van de meetpunten worden per uitvoeringstraject bepaald in het uitvoeringsontwerp en, indien nodig, later bijgesteld op basis van de ontheffing op de APV. Als richtlijn wordt aangehouden dat eventuele geluidsmetingen:

- aan de buitengevel van panden wordt uitgevoerd;
- wordt uitgevoerd conform de Circulaire Bouwlawaaier 2010.

Aandachtspunten bij plaatsing

Bij het plaatsen van de meetpunten gelden de volgende uitgangspunten:

- Plaatsing conform de ontheffing op de APV.
- Plaatsing bij pand aan zijde werkzaamheden op 1^e verdiepingsniveau.
- De apparatuur (exclusief microfoon) dient in een beschermde meetkoffer te worden geplaatst.

Meetmethode, -nauwkeurigheid en -frequentie

Er wordt gemeten met klasse 1 geluidsmeters (type Norsonic 1545 of gelijkwaardig). De meetnauwkeurigheid dient 1 à 2 dB(A) te bedragen. Tijdens de meetperiode wordt continue gemeten.

Registratie meetgegevens

Geluidsmetingen dienen met een maximale vertraging van 30 minuten op een beveiligd online platform te worden gepresenteerd. Hierbij dienen de hoofdvoerder en de Risk Engineer direct inzage te hebben (of mee te kunnen kijken) in de meetresultaten.

Dagelijks dient een automatische rapportage te worden gegenereerd en toegestuurd, waarbij de metingen worden getoetst aan de grenswaarden uit de APV en Circulaire Bouwlawaaier 2010.



Bij installatie, verplaatsing/verwijdering en rapportage van een meetpunt dienen de volgende gegevens geregistreerd te worden:

- Naam/nummer meetpunt;
- Datum en tijd;
- Verstoringen in de omgeving (werkzaamheden aan het object, activiteiten derden);
- Verstoring van het meetpunt (niet mogelijk bij online uitlezing).

Indien bij het uitvoeren van een meting een verstoring van het meetpunt (bv. verwijdering) geconstateerd wordt, dient dit binnen twee werkdagen te worden gemeld bij de Risk Engineer. Het meetpunt dient bij schade of verwijdering direct te worden hersteld of herplaatst.

5.6.10 GPS-metingen en satellietdata

Voor de uitvoering van de hoogtemetingen wordt alleen bij uitzondering (verwachte zetting groter dan 200 mm) gebruik gemaakt van GPS metingen. Dit omdat deze onvoldoende meetnauwkeurigheid biedt bij kleinere zettingen. Ook kan de meetnauwkeurigheid sterk kan fluctueren door objecten in de directe omgeving en de beschikbaarheid van satellieten. Wel kan gebruik gemaakt worden van GPS bij installatie van meetpunten (bijvoorbeeld meetspijkers op de weg) om de XY-positie te bepalen.

Het bovenstaande geldt voor het gebruik van satelliet (Sensor) data, waarbij rasters van circa 1 x 1 m worden ingemeten. De meetnauwkeurigheid van deze metingen bedraagt circa 16 mm hetgeen onvoldoende is voor het monitoren van de invloed van de dijkversterkingswerkzaamheden tijdens de uitvoering. Ook is door de grootte van het meetraster geen zekerheid over de exacte meetlocatie.

5.7 Signaleringswaarden en interventiewaarden

5.7.1 Algemeen

Tijdens de uitvoering worden de metingen getoetst aan vooraf bepaalde signaleringswaarden en interventiewaarden. Deze waarden worden, indien van toepassing, per bouwphase bepaald in het uitvoeringsontwerp.

De signaleringswaarde is een procesmatige waarde en dient als waarschuwingssignaal. De functie is dat tijdig aangekondigd wordt dat er sprake is van onverwachte veranderingen in het systeem (omgeving). Overschrijding van de interventiewaarde geeft aan dat de omgeving meer dan verwacht wordt beïnvloed door de werkzaamheden en er (in later stadium) een reële kans op schade ontstaat.

5.7.2 Richtlijnen

Voor de signalerings- en interventiewaarde bij zettingen en vervormingen wordt als richtlijn aangehouden dat:

- 1) Indien de ontwerpprognose kleiner is dan circa 50% van de toegestane vervormingen van een object dan wordt alleen voor de eindfase een signalerings- en interventiewaarde vastgesteld. Hierbij wordt, respectievelijk, voor de signalerings- en interventiewaarde uitgegaan van 80% en 100% van de ontwerpprognose + eventuele autonome zettingen + de meetnauwkeurigheid.
- 2) Indien de ontwerpprognose groter is dan circa 50% van de maximaal toegestane vervormingen van een object dan wordt per relevante bouwfasen een signaleringswaarde bepaald. Voor de eindfase wordt voor de interventiewaarde uitgegaan van 100% van de maximaal toegestane vervormingen. De signaleringswaarden van de tussenliggende fasen worden bepaald op basis van de ontwerpprognose.

Voor de signalerings- en interventiewaarde bij grondwaterstandsveranderingen tijdens de werkzaamheden bij panden en infrastructuur wordt als richtlijn aangehouden dat:

- 1) Wanneer bij tijdelijke bemalingen de grondwaterstand op de werklocatie niet verder wordt verlaagd dan de RLG de RLG als interventiewaarde wordt gehanteerd. De signaleringswaarde is minimaal de RLG + 0,2 m.
- 2) Wanneer bij tijdelijke bemalingen de grondwaterstand op de werklocatie wordt verlaagd beneden de RLG de ontwerpvoorspellingen van de grondwaterstand en bijbehorende (cumulatieve) zetting bij een object



leidend is. De interventiewaarde wordt zo gekozen dat de (cumulatieve) zetting als gevolg van de grondwaterstandsverlagingen binnen de schadecriteria voor vervormingen valt. De signaleringswaarde is minimaal de berekende grondwaterstandsverlaging + 0,4 m.

- 3) Voor de gebruiksfase worden de grenswaarden in 'Grondwaterstandsmonitoring t.b.v. schadeafhandeling' [14] toegepast.

Voor de interventiewaarde bij trillingen bij panden wordt de SBR-Richtlijn deel A, Schade aan bouwwerken, 2017 toegepast. Bij trillingen is geen signaleringswaarde van toepassing.

Voor de interventiewaarde bij geluid wordt de Circulaire Bouwlawaai (2010) en de eventuele voorschriften uit de ontheffing voor de APV toegepast. Bij de geluidsmetingen is geen signaleringswaarde van toepassing.

5.8 Monitoringsproces

5.8.1 Beoordelingsmomenten monitoringsdata

Voor het moment van beoordelen van de meetdata van de omgevingsmonitoring kunnen grofweg twee werkwijzen worden gevolgd, namelijk:

- Vrijgave van de werkzaamheden per fase/stap. Hierbij wordt bedoeld dat de aannemer een vrijgave (toestemming) krijgt voor het uitvoeren van bijvoorbeeld een ophoogslag op basis van eerdere meetresultaten. Voor verdere werkzaamheden zijn nieuwe vrijgaven benodigd zijn. Dit systeem wordt met name toegepast bij werkzaamheden waarbij ophogingen en ontgraving in stappen kunnen worden opgedeeld en de werkzaamheden een groot tijdspad beslaan. Voorafgaand aan elke stap worden de meetresultaten beoordeeld en wordt bepaald of de stap uitgevoerd mag worden. Het volgende beoordelingsmoment vindt plaats voorafgaand aan de volgende stap.
- Periodieke monitoring, waarbij na elke meetronde de meetresultaten worden beoordeeld.

Omdat bij IJsselwerken geen faseringen in bijvoorbeeld ophoogslagen te maken zijn en de werkzaamheden als 'rijdende trein' worden uitgevoerd wordt een periodieke monitoring aangehouden. Binnen één werkdag na het uitvoeren van hoogte- en deformatiemetingen worden deze door de aannemer beoordeeld. Het meten van trillingen en grondwaterstanden bij bemalingswerkzaamheden is een continue proces, waarbij automatische signalering wordt toegepast en de aannemer bij overschrijding direct wordt geïnformeerd.

5.8.2 Proces overschrijding signalerings- of interventiewaarden

Bij overschrijding van de signaleringswaarde wordt door de geotechnisch en/of geohydrologische specialisten van de aannemer zo spoedig mogelijk, en uiterlijk binnen 2 werkdagen een eerste analyse gemaakt naar de oorzaak van de overschrijding, risico op schade aan de omgeving en wordt een voorspelling gemaakt over de kans op overschrijden van de interventiewaarde. Tevens worden de mogelijke beheersmaatregelen uit het werkplan geïnventariseerd en uitgewerkt, en wordt beoordeeld of de monitoringsinspanning moet worden verhoogd. Bij een reële kans op overschrijden van de interventiewaarde worden de beheersmaatregelen door de opdrachtnemer voorbereid. De analyse wordt direct gedeeld met de Risk Engineer.

Bij overschrijding van de interventiewaarde worden door de aannemer de beheersmaatregelen uit de werkplannen uitgevoerd om de kans op schade te beperken. Ook wordt de monitoringsinspanning, indien nodig, verhoogd. Voor uitvoering van de beheersmaatregelen worden de te nemen beheersmaatregelen gecommuniceerd met de Risk Engineer.

5.8.3 Ontsluiting data

Bij de omgevingsmonitoring is het belangrijk dat de meetgegevens snel en overzichtelijk zijn in te zien en te beoordelen. Hiervoor wordt voornamelijk gebruik gemaakt van een online GIS platform dat toegankelijk is voor de Risk Engineer en het monitoringsteam van de aannemer. In het GIS platform is tevens voorzien in het automatisch toetsen van de ingeladen meetgegevens aan de signalerings- en interventiewaarden.



Data	Presentatie	Proces
Basisinformatie object (funderingswijze, -constructie, visuele inspectie, etc)	GIS-viewer	n.v.t.
Bouwkundige vooropname	Portal onderaannemer bereikbaar via GIS-viewer	n.v.t.
Opname wegen	Portal onderaannemer bereikbaar via GIS-viewer	n.v.t.
Hoogte- en deformatiemetingen	GIS-viewer	Onderaannemer upload metingen, automatische toetsing -> digitaal signaal bij overschrijding
Scheurmetingen	GIS-viewer	Onderaannemer upload metingen, automatische toetsing -> digitaal signaal bij overschrijding
Inclinometingen	GIS-viewer	Onderaannemer upload metingen, automatische toetsing -> digitaal signaal bij overschrijding
Trillingsmetingen	Portal onderaannemer bereikbaar via GIS-viewer	Signalering vanuit onderaannemer naar (hoofd)uitvoerder
Grondwaterstandsmetingen	Portal onderaannemer bereikbaar via GIS-viewer	Automatische signalering
Geluidsmetingen	Portal onderaannemer bereikbaar via GIS-viewer	Signalering vanuit onderaannemer naar (hoofd)uitvoerder

Tabel 5.2

5.8.4 Rapportage

5.8.4.1 Rapportage aan opdrachtgever en Risk Engineer

Door het monitoringsteam van de aannemer wordt minimaal maandelijks aan de opdrachtgever en de Risk Engineer een rapportage verstrekt m.b.t. de monitoringsresultaten. In deze rapportage zijn de volgende zaken opgenomen:

- Samenvatting van de uitgevoerde en geplande werkzaamheden voor de dijkversterking, incl. activiteiten van derden die de monitoringsresultaten mogelijk beïnvloed (kunnen) hebben.
- Samenvatting van de monitoringsinspanning en afwijkingen t.o.v. het monitoringsplan.
- Overzicht van de bedrijfszekerheid van het monitoringsnetwerk, met onder andere:
 - Beschadigde en/of verdwenen meetinstrumenten, -apparatuur en meetpunten.
 - Niet uitgevoerde metingen (bijvoorbeeld omdat een meetpunt tijdelijk niet bereikbaar was of dat er storing was in de apparatuur).
 - Vervanging en/of reparatie van meetpunten/-apparatuur.
- Overzicht van de overschrijdingen van signalerings- en interventiewaarden, analyse naar de oorzaken daarvan en uitgevoerde beheersmaatregelen.
- Overzicht van schademeldingen en klachten.
- Bijzonderheden.

5.8.4.2 Verstrekken meetgegevens aan belanghebbenden

Voor de omgevingsmonitoring zijn diverse contactmomenten met bewoners/pandeigenaren voorzien, waaronder:

- Aankondigingen benodigd vooronderzoek.
- Algemene informatiebijeenkomsten over het ontwerp.



- Algemene informatiebijeenkomsten over de uitvoering.
- Aankondiging start uitvoering.
- Aankondiging en uitvoering bouwkundige opnamen.
- Voor installatie van meetpunten/-apparatuur op particulier terrein/aan particulier eigendom.

Er is niet voorzien in het actief communiceren van de meetresultaten van de omgevingsmonitoring met belanghebbenden. Dit omdat het op grote schaal communiceren van (pand)specifieke gegevens in het kader van de privacywetgeving niet is toegestaan en per belanghebbende actief communiceren teveel mankracht vergt.

Wanneer een pandeigenaar verzoekt de meetresultaten te ontvangen wordt ernaar gestreefd de meetresultaten binnen één week te verstrekken. Het contact tussen pandeigenaren/bewoners wordt verzorgd door de Risk Engineer.



6 Begrippenlijst

In de volgende tabel zijn diverse gebruikte begrippen en afkortingen toegelicht.

Begrip/ afkorting	
Uitvoeringstraject	Het hele project is opgeknipt in verschillende uitvoeringstrajecten. De werkzaamheden worden per uitvoeringstraject uitgevoerd.
Uitvoerings-ontwerp	Het uitvoeringsontwerp omvat de gedetailleerde specificaties en plannen voor het ontwerp en uitvoering van de dijkversterking.
Ontwerploop 3	Het derde ontwerptraject. Per ontwerploop wordt het ontwerp van het project steeds gedetailleerde uitgewerkt om uiteindelijk tot uitvoering te komen. Ontwerploop betreft het laatste ontwerptraject.
TRB	Tijdelijk ruimtebeslag, het gebied wat tijdelijk wordt gebruikt om de werkzaamheden uit te voeren. Denk hierbij aan aanvoerwegen, opstelplaatsen, etc.
DRB	Definitief ruimtebeslag, Het gebied wat definitief wordt ingenomen wanneer alle werkzaamheden zijn uitgevoerd.
Grondwaterstand	Grondwaterstand is de hoogte van het water in de grond, onder het aardoppervlak. Het wordt gemeten vanaf het bodemoppervlak (of een ander referentie punt, zoals NAP) tot aan het niveau waar het water verzadigd is in de bodem. Grondwaterstand wordt gebruikt bij het grondwater dat direct in contact staat met de atmosferische druk, dit wordt ook wel de freatische grondwaterstand genoemd.
Stijghoogte	Stijghoogte is de hoogte van de grondwaterstand in een watervoerend pakket. Door de regel wordt dit gebruikt wanneer een pakket is afgesloten door slecht doorlatende lagen zoals klei en veen. De stijghoogte van een pakket staat niet in direct contact met de atmosferische druk.
RHG/RLG	Representatief hoogste/laagste grondwaterstand. Gedefinieerd als, respectievelijk, het 90 ^e - en 10 ^e -percentiel van de meetwaarden van de grondwaterstand of stijghoogte.
Silent Piler	Een specifiek type machine dat wordt gebruikt voor het trillingsarm inbrengen van damwanden in de grond.
Slotwrijving	Slotwrijving bij het plaatsen van damwanden verwijst naar de weerstand tussen de delen van de damwand die in elkaar glijden (de sloten).
Bros bezwijk-mechanisme	Het bros bezwijkmechanisme treedt op wanneer een materiaal plotseling, en zonder waarschuwing, breekt onder belasting. Meestal is er dan weinig of geen vervorming te zien.
Fundering op staal	Een fundering op staal is een fundering die direct op de ondergrond staat en de belasting direct op de ondergrond (zonder palen) overbrengt.
K&L	Kabels en leidingen
Cumulatieve effecten	Cumulatieve effecten verwijzen naar de optelling of combinatie van verschillende (kleine) veranderingen in de tijd. Bijvoorbeeld wanneer er 5 mm maaiveldzetting optreedt door een ophoging en 10 mm maaiveldzetting door een grondwaterstandsverlaging is het cumulatieve effect 5 + 10 mm = 15 mm.
LTSM	LTSM staat voor "Limiting Tensile Strain Method", een methode die wordt gebruikt om de kans op scheurvorming bij bebouwing te bepalen op basis van berekende rekken.
UC	Unity check, verhouding tussen de belasting en de berekende constructieve capaciteit, inclusief veiligheidsfactoren. Bij een UC is groter dan 1,0 is de belasting groter dan de berekende constructieve capaciteit, inclusief veiligheidsfactoren.



Squeezing	Zijdelings weg persen/drukken van grond onder druk (denk hierbij aan het eten van een tompoes).
Geotechnische mechanismen	Geotechnische mechanismen verwijzen naar de verschillende processen en interacties die plaatsvinden in de bodem, zoals inklinken van de ondergrond, afschuiven van een talud, verdichting, en andere gedragingen die relevant zijn voor het begrijpen van de stabiliteit en het gedrag van geotechnische grondlichamen en constructies.
Geotextiel	Een synthetisch textielmateriaal dat wordt gebruikt in geotechnische toepassingen voor versteviging, filtratie, drainage en scheiding van grondlagen.
MER-studie	Een Milieu Effecten Rapportage-studie (MER) is een systematische beoordeling van de mogelijke milieueffecten van het project, uitgevoerd om de besluitvorming te informeren en duurzame ontwikkeling te bevorderen.
Contour	Contour verwijst naar een lijn die punten van gelijke hoogte met elkaar verbindt. Hierdoor ontstaat een representatie van bijvoorbeeld de grondwaterstand en/of de hoogte van de te verwachten trillingen.
Trillingspredictie	Een trillingspredictie is een berekening voor het voorspellen van trillingsniveaus die kunnen optreden in de omgeving als gevolg van bepaalde werkzaamheden. Bij IJsselwerken voeren we trillingspredicties uit voor het bepalen van het trillingsniveau in de omgeving bij het intrillen van damwanden.
Zetting	Zetting verwijst naar de geleidelijke inkrimping of vervorming van de grond onder een bouwwerk als gevolg van het gewicht van de constructie, en kan invloed hebben op de stabiliteit en prestaties ervan.
Autonome zetting	Autonome zetting verwijst naar de natuurlijke of ongestoorde mate van grondverzakking die optreedt zonder externe belasting of menselijke activiteit.
APV	Algemene Plaatselijke Verordening, Deze regelt waar bouwactiviteiten aan voldoen moeten, bijvoorbeeld de mate van lawaai.
Hoekverdraaiing	De rotatie van een specifiek object of pand. Vaak veroorzaakt door verschil/ongelijkmatige zettingen. Met andere woorden meer zettingen bij één hoek/kant dan bij de andere hoek/kant.
Maatgevend	In een meer informele context van geotechniek wordt "maatgevend" vaak gebruikt om te verwijzen naar iets dat het belangrijkste of meest relevante is in een bepaalde situatie. Het kan simpelweg betekenen dat iets de leidende factor is waar rekening mee moet worden gehouden.
Afwegingsmatrix	Een afwegingsmatrix is een hulpmiddel dat gebruikt wordt om verschillende opties of alternatieven systematisch te evalueren en te vergelijken op basis van verschillende criteria, om zo een weloverwogen beslissing te kunnen nemen.
Inclinometingen / hellingmeetbuis	Inclinometingen zijn metingen van de ondergrond om over de diepte de horizontale grondvervorming te meten. Hiervoor wordt een geschakelde slappe hellingmeetbuis (holle buis) geplaatst waarin we vervolgens periodiek een meetinstrument in laten afzakken die de hoekverdraaiing van de buis meet. Dit wordt vertaald in een afwijking naar millimeters in horizontale richting.
Parameters	Parameters zijn instellingen of eigenschappen die worden gebruikt om iets te meten, evalueren of bepalen.
GIS	Geografisch Informatiesysteem. Het is een softwaretool die wordt gebruikt om geografische gegevens te verzamelen, te beheren, te analyseren en te presenteren om ruimtelijke relaties en patronen te begrijpen.
Peilbuis	Een peilbuis is een verticale buis die in de grond wordt geplaatst om de (grond)waterstand op een bepaalde locatie te meten en te monitoren. In de peilbuis wordt een meetinstrument geplaatst die de waterdruk meet. Dit wordt vervolgens vertaald naar een grondwaterstand ten opzichte van NAP.



7 Referenties

7.1 Richtlijnen

1. CUR-rapport 223: Richtlijn Meten en Monitoren van Bouwputten – voor kwaliteits- en risicomanagement, Stichting CURNET, Gouda, 2010.
2. COB rapport nr. F530-ER-12-49785: aanbevelingen voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving, 2012, Stichting COB, Gouda.
3. Richtlijnen damwanden:
 - a. CUR-publicatie 166: Damwandconstructies 6de herziene druk deel 1 en 2, CUR Gouda, 2012.
 - b. CUR 2175, Praktijkrichtlijn omgevingsbeïnvloeding inbrengen en trekken van damwanden, SBRCURnet, december 2017.
4. SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken:2017, CUR Gouda, 2017.
5. SBR Meet- en beoordelingsrichtlijn: Trillingen, deel B, CUR 2006.
6. Richtlijnen wegen:
 - a. Handboek wegontwerp 2013 Gebiedsontsluitingswegen, Publicatie 330, CROW, 2013;
 - b. Handboek wegontwerp 2013 Erftoegangswegen, Publicatie 329, CROW, 2013;
 - c. Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2017, ROA2017, RWA, 2017;
 - d. Richtlijn verkeersdrempels, Publicatie 172, CROW, 2002.
7. KCAF-Richtlijn: Fundering onder gebouwen, onderzoek en beoordelingen van funderingen op houten palen en ondiepe funderingen, 22 november 2022.
8. Circulaire bouwlawaai 2010.
9. NEN 9997-1+C2, Geotechnisch ontwerp van constructies.

7.2 Referenties IJsselwerken

10. Risicocontouren trillingen, december 2023.
11. Motivering en overwegingen ontwerp Projectbesluit IJsselwerken, december 2023.
12. Geluid aanlegfase natuur, februari 2023.
13. Achtergrondrapport water MER deel B, november 2023.
14. Monitoring grondwater, december 2023.

7.3 Overige referenties

15. 2010 Presentation and paper 'Instrumentation and Monitoring at Deep Excavation in Historic City of Amsterdam, Design and Performance Analysis of Monitoring System at Ceintuurbaan Station', World Tunnel Congress, May 2010, Vancouver, Canada.
16. 'Zijn scheuren zorgwekkend?', D. Martens, Cement jaargang 2016 nummer 4.
17. TBA, Manual 7 Design Clay Masonry for Serviceability, 2009.
18. 'Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing', J. Brinkman, kenmerk 1221076-000-GEO-0004, december 2016.
19. Building response to excavation-induced settlement. Boscardin, M. D., and Cording, E. J Journal of Geotechnical Engineering 115, 1 Jan 1989.
20. Assessment of damage in low-rise buildings, BRE digest 251 Building Research Establishment 1995.
21. Het effect van grondwaterstijging op funderingen op staal, prof. ir. A.F. van Tol, vakblad Geotechniek, april 2006.
22. Monitoring spoorinfrastructuur bij de uitvoering van werken, ProRail, kenmerk RLN00416-1, 1 oktober 2019.
23. Monitoring spoorgeometrie bij bouwwerkzaamheden, ProRail, kenmerk RLN00416-2, 1 april 2020.

