

Expertise Netwerk Waterveiligheid
prof.dr.ir. M. Kok
p/a Rijkswaterstaat WVL,
afdeling Waterkeringen
Postbus 2232
3500 GE Utrecht

CRUX Engineering BV
Pedro de Medinalaan 3c
NL-1086 XK Amsterdam

+31(0)20 494 30 70
info@cruxbv.nl

cruxbv.nl

Notitie

Onderwerp

ENW, vragen naar
aanleiding KIS

Projectnummer

21457

Ons kenmerk

NT21457a3

Versie

3

Datum

25 januari 2022

Pagina's

22

Opgesteld door

ir. B. Snijders
dr. ir. ing. A.E.C. van der
Stoel

Gecontroleerd door

dr. ir. ing. A.E.C. van der
Stoel

Vrijgave

dr. ir. ing. A.E.C. van der
Stoel

Bijlagen

Geen bijlagen

Formulier

NT-010

1 Inleiding

Naar aanleiding van de problematiek die is ontstaan bij het KIS dijkversterkingsproject zijn door ENW een aantal vragen aan CRUX gesteld, die in deze notitie op beknopte wijze worden behandeld.

Het gaat om de onderstaande vragen.

1. Zijn er aandachtspunten bij het ontwerp of implementatie van de KIS versterkingen over het hoofd gezien?
2. Kan ook een veiligheidsprobleem ontstaan door de vervormingen die nu optreden?
3. Is bij dit type dijkversterkingen de schade bij huizen dicht bij onvermijdelijk, kunnen deze worden beperkt of voorkomen, en hangt dit ook af van de versterkingstechniek?
4. In hoeverre en onder welke voorwaarden is het toepassen van funderingselementen bij dijkversterkingen in bebouwde omgeving een geschikte methode?
5. Welke criteria met betrekking tot omgevingsbeïnvloeding zoals deze nu worden toegepast in stedelijk gebied zijn voor dijkversterkingen toepasbaar?
6. Welke specifieke monitoring is van toegevoegde waarde specifiek daar waar het omgevingsbeïnvloeding voor dijkversterkingen aangaat?
7. Welke aanbevelingen kunnen worden gegeven voor het versterken van waterkeringen in gronden met slappe lagen?

Gezien de specifieke, complementaire kennis van CRUX ten opzichte van andere reviewers die vanuit het ENW zelf worden geleverd, heeft CRUX de vragen vooral geïnterpreteerd vanuit haar specifieke kennis. Aspecten met betrekking tot waterveiligheid, geotechniek en geohydrologie die ook bij de reviewers vanuit ENW aanwezig is, is dus niet specifiek beschouwd.

Opgemerkt wordt dat door Deltares in meerdere fasen onderzoek naar verschillende aspecten van de problematiek bij KIS dijk zijn / worden uitgevoerd. In fase 1 is het onderzoek naar de veiligheid gerapporteerd. De boven gestelde vragen hebben voornamelijk betrekking op hetgeen gerapporteerd is in fase 2a, waarin een feitelijke reactie wordt gegeven op 6 door Van Baars gestelde vragen. Ten tijde van opstellen van deze notitie dient fase 2b nog uitgevoerd te worden:

worden beschouwd. Er volgt nog een fase 2b waarin de schades aan woningen centraal staan en nader wordt gekeken naar de schades, de oorzaak van die schades en schademechanismen. Ingrepen, gebeurtenissen en autonome processen staan niet op zichzelf, maar kunnen elkaar versterken of schademechanismen initiëren. Ook dat wordt in fase 2b geadresseerd.

Deze laatste fase sluit met name aan op de aan CRUX gestelde vragen. Naar mening van CRUX is deze laatste fase ook zeer van belang om lering te trekken uit alle aspecten met betrekking tot omgevingsbeïnvloeding, zowel in de ontwerp- als in de uitvoeringsfase. Daarnaast dient deze laatste fase inzicht te geven in tot nu toe onbeantwoord gebleven aspecten uit de eerdere fasen, zoals bijvoorbeeld de oorzaak van de vernatting, die blijkbaar nog steeds optreedt.

Deze aspecten dienen allemaal inzichtelijk te zijn, zodat herstelmaatregelen aan de bebouwing zo kunnen worden uitgevoerd dat deze duurzaam en blijvend zijn.

Ten tweede wordt opgemerkt dat een beperkte hoeveelheid van het zeer omvangrijke KIS dossier ter beoordeling is aangeleverd bij CRUX en dat de beschikbare tijd en het beschikbaar budget om antwoord te geven op de vragen gelimiteerd was. Dit heeft erin geresulteerd dat CRUX het antwoord op enkele vragen die zijn ontstaan bij het lezen van de rapportage van Deltares niet zelf nader heeft kunnen onderzoeken. Aangezien CRUX de originele ontwerpen/stukken niet zelf kunnen bestuderen is bij de beantwoording van de vragen gebruik gemaakt van de constatering zoals gerapporteerd door Deltares.

1.1 Leeswijzer

1.2 Versiegeschiedenis

In Tabel 1 is de versiegeschiedenis van deze notitie getoond.

Tabel 1 Versiegeschiedenis

Versie	Toelichting
1	16-12-21 1 ^e concept ter bespreking
2	23-12-21 2 ^e concept ter reactie
3	25-1-22 Definitief

De vragen zullen per hoofdstuk worden beantwoord.

2 Zijn er aandachtspunten bij het ontwerp of implementatie van de KIS versterkingen over het hoofd gezien?

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
3/22

De insteek van het project was een risico-gestuurde aanpak van de uitvoering. De uiteindelijke implementatie van de deze aanpak is niet correct geweest. Ten aanzien van de (risicoanalyse) omgevingsbeïnvloeding zijn daarbij de onderstaande zaken onderschat / niet goed beschouwd.

Ontwerp:

- Er is zonder onderbouwing van uitgegaan dat het installeren van de boorpalen (en diepwandbaretten?) geen effect zou hebben op de omgeving.
- Het is niet duidelijk hoe is omgegaan met de beoordeling van het schaderisicoprofiel van de bebouwing. Het ontwerp is bij CRUX niet aanwezig. Uit de eisen ten aanzien van toelaatbare vervorming (zie onder) is niet te achterhalen hoe de beoordeling is uitgevoerd.

Uit de Deltares rapportage achterhaalde eisen met betrekking tot vervorming van de gebouwen uit het VSE (vraagspecificatie eisen):

ID	Grenswaarde vervorming woning	Bovenliggende eis(en)	Onderliggende eis(en)										
S-As-32	Voor woningen is de maximaal toegestane vervorming aangegeven in onderstaande tabel. <table><tr><th>Aspect</th><th></th><th>grenswaarde</th></tr><tr><td>bebouwing op staal</td><td>schade t.g.v. vervorming door aanbrengen constructie</td><td>Op de gevel horizontaal 5 mm, verticaal 5 mm. Op 1 m uit de gevel horizontaal 10 mm</td></tr><tr><td>bebouwing op palen</td><td>schade t.g.v. vervormingen door ophoging en/of aanbrengen constructies</td><td>Max scheurmoment in palen zie BIND-B Op maaiveld 1 m uit het pand maximaal horizontaal 10 mm en horizontaal op 5 m diepte 50 mm</td></tr></table>	Aspect		grenswaarde	bebouwing op staal	schade t.g.v. vervorming door aanbrengen constructie	Op de gevel horizontaal 5 mm, verticaal 5 mm. Op 1 m uit de gevel horizontaal 10 mm	bebouwing op palen	schade t.g.v. vervormingen door ophoging en/of aanbrengen constructies	Max scheurmoment in palen zie BIND-B Op maaiveld 1 m uit het pand maximaal horizontaal 10 mm en horizontaal op 5 m diepte 50 mm	S-As-03		
Aspect		grenswaarde											
bebouwing op staal	schade t.g.v. vervorming door aanbrengen constructie	Op de gevel horizontaal 5 mm, verticaal 5 mm. Op 1 m uit de gevel horizontaal 10 mm											
bebouwing op palen	schade t.g.v. vervormingen door ophoging en/of aanbrengen constructies	Max scheurmoment in palen zie BIND-B Op maaiveld 1 m uit het pand maximaal horizontaal 10 mm en horizontaal op 5 m diepte 50 mm											
Bron: BIND-B Nota: Technische Uitgangspunten KIS													
Verificatiemethode: Meting.													

Figuur 2-20 Grenswaarden vervormingen voor woningen tijdens de realisatie van de dijkversterking conform de VSE

En

ID	WONING Monitoring	Bovenliggende eis(en)	Onderliggende eis(en)	
WOC-As-12	Belastingen welke voortvloeien uit de werkzaamheden ten gevolge van dijkversterking KIS dienen ten behoeve van de sterkte van de fundering voor alle woningen in een monitoringsplan en -programma te zijn ondergebracht en blijvend te worden geactualiseerd met relevante meetwaarden.	WOC-F-05	geen	
Bron:				
Verificatiemethode: Monitoring				
Toelichting: Monitoringsplan maken zie VSP hoofdstuk 4.10				

Figuur 2-21 Eisen m.b.t. registratie van de gerealiseerde belastingen t.b.v. de belasting op de fundering

Uitvoering:

- Tijdens de uitvoering zijn de vooraf gestelde grenswaarden ten aanzien van gebouwvervormingen losgelaten en verruimd; dit zonder gedocumenteerde en overtuigende onderbouwing.
- Tijdens de uitvoering is de beoordeling aangepast: er is overgestapt van een maximaal toelaatbare absolute verplaatsing naar een maximaal toelaatbare verschilverplaatsing over een bepaalde afstand.

Monitoring:

- Door als uitgangspunt “geen installatie-effecten” aan te houden, heeft geen monitoring plaatsgevonden tijdens het installeren van de boorpalen / diepwandbaretten.
- De monitoring is niet aangepast naar aanleiding van het wijzigen van de grenswaarden (absolute vs. relatieve vervorming).
- Monitoring van “groene panden”, panden met een hoog risicoprofiel die volgens het contract afgeschermd hadden moeten worden, lijkt gelijk te zijn uitgevoerd als monitoring aan “gewone” panden.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
4/22

Bovenstaande is door Deltares ook geconstateerd en wijst er duidelijk op dat de originele insteek van het project, een risico gestuurde uitvoering van het ontwerp, helemaal niet goed is uitgevoerd.

Aangezien fase 2b nog niet is uitgevoerd, is er bij CRUX geen goed inzicht in hoe er in de verschillende fasen van het ontwerp is omgegaan met het onderdeel omgevingsbeïnvloeding. De juistheid en volledigheid van de verschillende ontwerpfasen zelf is dus niet te beoordelen.

Algemeen geldt dat er een volledig en correct ontwerp aan de basis moet liggen ligt van een goede risico beheersing. De achtergrond van de originele vervormingseisen zijn zoals gezegd niet bij CRUX bekend. Of deze dus goed / afdoende zijn is ook niet te bepalen.

Wat wel uit de rapportage volgt is dat deze oorspronkelijke grenswaarden zijn los gelaten.

Uit het Deltares rapport een aantal citaten die inzicht geven in het proces tot los laten van de oorspronkelijke grenswaarden:

Door CDVM is aan WSRL het verzoek gedaan om van eis S-As-32 de vervormingseis te vervangen door het opgraven, inmeten en inspecteren van funderingspalen en de sterkte eis m.b.t. het scheurmoment te vervangen door een analyse waaruit blijkt dat de panden zonder schade aan de bovenbouw de grondvervormingen deels kunnen volgen. Zolang hieromtrent nog geen uitsluitsel is verkregen geldt S-As-32.

Figuur 2-65 Informatie uit monitoringsplan met betrekking tot verzoek om af te wijken van de vervormingseis S-As-32 (CDVM, 07-12-2015 v.9.0)

(CDVM is de afkorting voor de aannemerscombinatie)

Verder in het Deltares rapport:

Als **grenswaarde voor de horizontale grondvervorming** tijdens uitvoering hanteert CDVM nu de met PLAXIS berekende waarden welke optreden bij Acceptatie Dijkveilig in 2017. Op basis van berekeningen is aangetoond dat bij deze grondvervormingen bij acceptatie de fundering van het pand nog zal voldoen aan het geëiste veiligheidsniveau in 2066.

De grondvervormingen zullen in 2017 ongeveer 50% van de totale grondvervormingen in 2066 bedragen. Hierdoor is er nog voldoende tijd om passende maatregelen te ontwerpen en uit te voeren ten tijde van de werkzaamheden van CDVM.

Naast de grenswaarde van de grondvervorming, gebaseerd op de resultaten van een hellingsmeter, heeft CDVM ook een **grenswaarde voor de absolute pandverplaatsing** gedefinieerd, welke wordt gemonitord d.m.v. de meetbouten op de panden. Omdat alleen de paalkopverplaatsing in 2066 is berekend, zal CDVM een waarde van 50% van deze waarde hanteren als grenswaarde tijdens uitvoering.

Omdat echter bij veel panden kleine vervormingen zijn berekend, wordt voor alle paalfunderingen een minimale waarde van 3 cm aangehouden als grenswaarde tijdens uitvoering. Over een periode van 50 jaar zal het pand dan ongeveer 6cm verplaatsen. Deze waarde van de vervorming voor niet monumentale panden is zonder meer een veilige waarde, waarbij geen noemenswaardige schade te verwachten valt. Veel panden langs de dijk zullen immers deze vervorming onder de autonome vervorming van de kering reeds ondergaan over de levensduur van het pand.

Figuur 2-82 Invulling grenswaarde in memo van CDVM (CDVM, 5-11-2015)

En

Tabel 1: Berekende grenswaarden voor de HMB en meetbouten per Groen cirkel- pand.

Pand	Berekende paalkopverplaatsing 2066 [m]	Grenswaarde paalkopverplaatsing (meetbouten) tijdens uitvoering [m]	Grenswaarde HMB verplaatsing tijdens uitvoering [m]
Lekdijk 471	0,11	0,055	0,15
Lekdijk 470-468	0,16 + (0,185 (1985))	0,08	0,17
Lekdijk 430	0,074	0,037	0,25
Lekdijk 432	0,06	0,03	0,13
Lekdijk 281	0,02	0,03	0,05
Lekdijk 260+267	0,078	0,039	0,12
Lekdijk 257	0,071	0,036	0,07
Lekdijk 59	0,17	0,085	0,07
Lekdijk 25a	0,3	0,15	0,12
Lekdijk 26	0,29	0,145	0,16
Lekdijk 24	0,21	0,105	0,05
Lekdijk 11a	Nvt	Nvt	Nvt
Boezem 22	0,026	0,03	0,2
Boezem 13	0,09	0,045	0,18
Zwanenvliet 4	0,0037	0,03	0,03
Dorpsstraat 49	0,08	0,04	0,12
Dorpsstraat 28-30	0,063	0,0315	0,1
Nieuwe Veer 51	0,035	0,03	0,05
Bergstoep 49 (schuur)	Nvt	Nvt	Nvt
Gelkenes 50	0,078	0,036	0,02
Gelkenes 54a	0,0121	0,03	0,03

Figuur 2-83 Gehanteerde grenswaarden voor de groenecirkelpanden in verband met de aanleg van de grondbermen (CDVM, 5-11-2015)

De in de bovenstaande tabel opgenomen, berekende paalkopverplaatsingen zijn aanzienlijk groter dan de origineel maximaal geëiste horizontale grondvervorming van 0,01m, op 1 m buiten de fundering op paalkopniveau. Het is bij CRUX niet duidelijk hoe deze vervormingen zijn bepaald en of hierbij ook rekening is gehouden met installatie effecten van boorpalen / diepwandbarettten. De rekenkundige onderbouwing welke aantoont dat de berekende vervormingen resulteren in een acceptabel risicoprofiel voor de bebouwing wordt niet gegeven in de rapportage van Deltares.

Op basis van de getalswaarden lijkt het CRUX zeer onaannemelijk dat dergelijke vervormingen resulteren in een acceptabel schadepatroon aan de belendingen. Wij kunnen ons ook niet goed voorstellen hoe iemand er vanuit kan gaan dat dergelijke vervormingen zonder schade gepaard zullen gaan en waarom akkoord is gegaan met dergelijke, grote vervormingen. Het wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren naar de uiteindelijke besluitvorming en goedkeuring van deze wijziging alsmede naar de rekenkundige onderbouwing ten aanzien van het schade-risicoprofiel van de belendingen.

Aanvullend op bovenstaande punten is in de rapportage van Deltares de volgende gerapporteerde afwijking aangetroffen (uit tabel 2-13):

AW-00187	Storten boorpalen rechtstreeks via de stortgoot van de betonmixer	M-01308	Aanpassen Werkplan boorpalen	
----------	---	---------	------------------------------	--

Het is niet duidelijk of door deze wijziging er geen gebruik meer is gemaakt van een plungerbuis. Mocht deze ook niet meer zijn toegepast dan is dit een sterke afwijking van het uitvoeringsplan, welke was afgestemd op NEN-EN 1536, waarin specifiek staat vermeld dat bij het betonneren onder water de betonaanvoer middels een pijp vanaf de onderzijde dient plaatst te vinden. Door beton van bovenaf in het water te storten is er een groot risico op

ontmenging van het beton. De paal dient dus afgekeurd te worden of er dient aangetoond te worden dat de kwaliteit van de paal geborgd is. Het is bij CRUX niet bekend hoeveel palen op deze foutieve wijze zijn uitgevoerd en wat er daarna mee gebeurd is.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
6/22

3 Kan ook een veiligheidsprobleem ontstaan door de vervormingen die nu optreden?

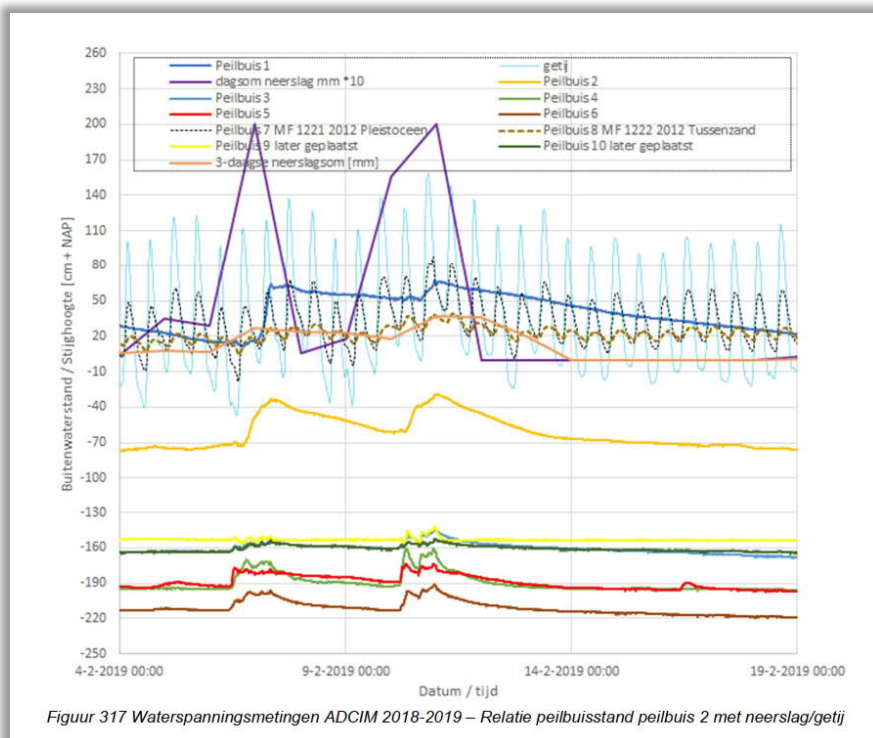
Uit de beschouwing van Deltares volgt dat met betrekking tot de waterveiligheid geen acute veiligheidsproblemen worden verwacht. Ten aanzien van de gehele ontwerp levensduur van de waterkering is het onzeker of deze behaald kan worden met de benodigde veiligheid. Gezien echter de ruime marge tussen berekende krachten in de huidige situatie en de maatgevende situatie over 100 jaar is het reguliere 12-jarlijkse beoordelingsproces voldoende om de veiligheid te blijven borgen en volgen in de loop van de tijd.

Ten aanzien van waterveiligheid gekoppeld aan kwel, wordt door Deltares gesteld dat er in het ontwerp gerekend is met een hogere GWS dan nu gemeten / waargenomen, en dat er dus geen veiligheidsprobleem is. Een duidelijke verklaring voor de waargenomen vernatting is door Deltares niet gegeven.

Ten aanzien van de belendingen wordt opgemerkt dat het nog steeds onbekend is waardoor de vernatting en opgetreden schade zijn veroorzaakt. Nieuw aanvullende onderzoek zal ook duidelijk moeten maken of er nog steeds en zo ja in welke mate, aanvullende vervormingen van de belendingen verwacht worden.

Afhankelijk van deze resultaten dient duidelijk te worden of deze vervormingen de constructieve veiligheid van de belendingen in gevaar brengen.

Uit de Deltares rapportage van fase 1 volgt:



Conclusie Deltares (in eigen bewoording):

- Duidelijke respons getijdewerking in diepe peilbuizen (Pleistoceen 7 en 8)
- Geen respons op getijdewerking bij "hoge" peilbuizen 3 en hoger
- Zeer beperkte respons in peilbuis 1 en 2; e reactie in peilbuizen is wel sterk op de neerslag.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
7/22

De conclusies zijn daardoor dat:

- De stelling van Van Baars, dat het freatisch vlak direct wordt beïnvloed door de buitenwaterstand, wordt niet ondersteund door de door hem aangehaalde peilbuismetingen; de peilbuismetingen nabij de palenwand hebben nauwelijks een correlatie met het buitenwater; (opgemerkt wordt evenwel dat een positieve correlatie is gevonden tussen neerslag en de peilbuismetingen)
- De freatische lijn in het ontwerp lijkt veilig te zijn geschematiseerd in het licht van de metingen, in ieder geval voor de locatie die door Van Baars is aangehaald in zijn rapport.
- De stelling van Van Baars dat het water via de diepe zandlagen omhoog stroomt langs de boorpalen wordt niet ondersteund door de door hem aangehaalde peilbuismetingen. Dit wil echter niet zeggen dat kortsluiting kan worden uitgesloten.

Naar mening van CRUX kan dit op basis van de peilbuismetingen niet zo stellig gezegd worden. Er is een duidelijke reactie in peilbuis 1 en 2 op de neerslag. Er volgt echter ook dat de stijghoogte in peilbuis 1 en 2 aanzienlijk hoger is dan de overige peilbuizen en daarnaast dat peilbuis 1 niet onder de stijghoogten 7 en 8 daalt. Op basis van de registratie in peilbuis 1 zoals getoond in de figuur kan dus niet uitgesloten worden dat de minimale grondwaterstand wordt bepaald/gevoed door de stijghoogte in het Pleistoceen of de tussenzandlaag, maar daarbij nog beïnvloed wordt door neerslag.

Het is naar mening van CRUX onbevredigend dat er geen verklaring is gevonden voor de vernatting. Zolang deze ontbreekt blijft er enige mate van onzekerheid over de veiligheid en kan er ook geen volledig plan gemaakt worden voor herstel aan / van belendingen.

Handreikingen voor nader onderzoek naar de oorzaak van de vernatting zijn:

- waar is dit opgetreden; bij alle palen?
- onderzoek bij palen waar de in de vorige paragraaf geconstateerde uitvoeringsfout is gemaakt;
- ter plaatse van geraakte ankers, uit de rapportage in fase 1 volgt dat op de locatie waar de monitoring heeft plaatsgevonden ook een anker beschadigd is tijdens het maken van de diepwandpanelen.

4 Is bij dit type dijkversterkingen de schade bij huizen dichtbij onvermijdelijk, kunnen deze worden beperkt of voorkomen, en hangt dit ook af van de versterkingstechniek?

Ervaring leert dat veel dijkversterkingsprojecten schadegevoelig zijn. Dit wordt mede verklaart door de staat, ouderdom, funderingswijze en ligging van de belendingen ten opzichte van de dijk.

Daarnaast blijkt dat installatie-effecten van constructieve elementen niet altijd goed ingeschat worden en dat er nog beperkte ervaring is bij toepassing in of aan de teen van een dijk. Duidelijk is dat door de geometrische situatie er een andere spanningstoestand in de ondergrond aanwezig is dan bij een vlak

maaiveld en dat installatie-effecten aanzienlijk groter kunnen zijn bij waterkeringen dan bij toepassing in het geval van een horizontaal maaiveld.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Een goede inschatting van de risico's ten aanzien van de constructiemethoden bij dijkversterkingsprojecten en goed begrip van de mechanismen die kunnen optreden en resulteren in grondvervormingen is van belang. Het lijkt dat deze kennis niet altijd paraat is.

Ons kenmerk
NT21457a3

Kennis / begrip van de versterkingstechnieken resulteert erin dat de effecten op en mechanismen in de grond hiervan goed kunnen worden ingeschat en daarmee een eerste risicoanalyse ten aanzien van omgevingsbeïnvloeding gemaakt kan worden.

Pagina
8/22

Als alle mechanismen goed worden onderkend kunnen de effecten ook gekwantificeerd worden middels berekeningen. Het is daarbij van belang dat de juiste berekeningsmethoden en modellen worden gehanteerd om het grondgedrag juist te voorspellen. Maar belangrijk is dat eerst maar eens onderkend wordt dat dergelijke berekeningen benodigd zijn. Het is op basis van de beschikbare gegevens bij CRUX niet duidelijk of er überhaupt rekenkundig is gekeken naar installatie-effecten.

Uiteindelijk dienen de berekende grondvervormingen / trilling vertaald te worden naar een schadekans voor de belendingen.

Deltares stelt in haar rapportage dat de COB-richtlijn "Aanbeveling voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving, F530" waarnaar vaak verwezen wordt bij het bepalen van de vervormingen in dijkversterkingsprojecten niet geheel geschikt is voor toepassing bij deze doeleinden en dat er een richtlijn zou moeten worden opgesteld die specifiek geschikt is voor dijken.

Bij het ontbreken van een dergelijke richtlijn is ons inziens de genoemde COB aanbeveling echter zeer goed te hanteren. Hierbij dient dan wel degelijk rekening gehouden te worden met de verschillen tussen een dijk en een bouwkuip bij het bepaling van de mate van omgevingsbeïnvloeding.

Naast handreikingen ter bepaling van de omgevingsbeïnvloeding geeft deze F530 aanbeveling ook handreikingen ter bepaling van het gedrag van de omgeving (gebouwen en leidingen) alsmede voor ontwerp-verificatie en optimalisatie met behulp van monitoring.

5 In hoeverre en onder welke voorwaarden is het toepassen van funderingselementen bij dijkversterkingen in bebouwde omgeving een geschikte methode?

In zijn algemeen kan gesteld worden dat een versterking toepasbaar is als de te bereiken doelen worden behaald en de benodigde veiligheid voor de gewenste periode gewaarborgd is. Daarbij dient de versterking geen onacceptabele negatieve beïnvloeding van de omgeving te veroorzaken. Dit geldt dus ook voor het toepassen van funderingselementen.

Ervaring leert dat juist het aanbrengen van de constructieve elementen of grondverbeteringstechnieken grote, onverwachte en ongewenste grondvervormingen optreden. Hierbij wordt naast KIS onder andere gewezen op de ervaringen binnen het project BAS (Bergambacht – Ammerstol – Schoonhoven) maar ook op de ervaringen binnen het INSIDE (Innovations on Stability Improvements enabling Dike Elevations)programma.

Binnen dit programma zijn destijds drie innovatieve (mixed in place / dijkvernageling / dijkdeuvels) dijkversterkingsmethoden beproefd. Aanbevolen wordt om bij toekomstige projecten meer aandacht te besteden aan installatie-effecten van constructieve elementen / grondverbetering. Hierbij wordt aanbevolen om naast een rekenkundige beschouwing ook gebruik te maken van proeven voorafgaand aan werkelijke uitvoering. Hiermee kan vooraf inzicht verkregen worden op installatie-effecten, kunnen de berekeningsmodellen geverifieerd worden en kan zo nodig overgestapt worden op een andere techniek of kunnen beheersmaatregelen genomen worden.

Het is bij CRUX op basis van de aangeleverde informatie onduidelijk of er voorafgaand aan de werkzaamheden testvelden bij KIS zijn toegepast waarbij specifiek is gekeken naar de installatie effecten in relatie tot beïnvloeding van de omgeving. Op basis van de uiteindelijke gebeurtenissen lijkt het onwaarschijnlijk dat deze zijn toegepast of dat er adequaat met de resultaten hiervan is omgegaan.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
9/22

6 Welke criteria met betrekking tot omgevingsbeïnvloeding zoals deze nu worden toegepast in stedelijk gebied zijn voor dijkversterkingen toepasbaar?

6.1 Inleiding

Door dijkversterkingswerkzaamheden kunnen trillingen en spanningsveranderingen in de grond worden veroorzaakt. De spanningsveranderingen in de grond kunnen leiden tot grondvervormingen (zowel in verticale als horizontale richting), die zich in een bepaald invloedsgebied rondom de bouwwerkzaamheden uitstrekken. Bestaande constructies (gebouwen en leidingen) die zich in dit invloedsgebied bevinden, ondergaan via de fundering deze (verschil)grondvervormingen en kunnen daardoor mogelijk schade ondervinden. De mogelijke schaderisico's door zettingen en door trillingen dienen, in het kader van een risicoanalyse, middels de huidige ter beschikking staande voorspellingsmethodieken rekenkundig te worden onderzocht. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de grondgesteldheid, de manier van inbrengen van de funderingselementen, de invloed van waterstandverlagingen en het incasseringsvermogen van de belendende constructies.

Basis voor het afleiden / opstellen van criteria is dat deze tot doel hebben om grenswaarden te stellen aan omgevingseffecten zodat deze niet resulteren in onacceptabele schade van belendingen.

Zoals eerder genoemd is er voor bouwkuipen in binnenstedelijk gebied de COB aanbeveling F530. Deze aanbeveling geeft goed inzicht in de te volgen methodiek en maakt beheersing van de omgevingsbeïnvloeding een expliciet onderdeel in het ontwerp- en bouwproces.

Op rekenkundig vlak kan het proces onderverdeeld worden in 2 stappen:

1. bepaling van de grondvervormingen / trillingen;
2. bepaling van de schaderisico's voor belendingen.

Het verschil tussen een dijkversterkingsproject en een bouwkuip in binnenstedelijk gebied zit in de bronnen die de grondvervormingen

veroorzaken. Bijvoorbeeld in plaats van het ontgraven van een bouwkuip kunnen er juist grondaanvullingen / ophogingen plaatsvinden. Daarnaast zullen vanwege de geometrische aspecten ander installatie-effecten te verwachten zijn bij het aanbrengen van constructieve elementen of grondverbetering.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Onderstaand wordt een opsomming gegeven van kenmerken en rekenmethodieken welke gehanteerd kunnen worden bij het doorlopen van beide stappen in het proces.

Pagina
10/22

6.2 Grondvervormingen en trillingen

Als oorzaak van omgevingsbeïnvloeding kennen we een aantal verschillende bronnen.

De belangrijkste trillingsbronnen bij dijkversterkingsprojecten zijn:

- Trillen van damwanden. Door het trillen van stalen damwanden (of open buispalen) wordt de omliggende grond in beweging / trilling gebracht. Hierdoor kunnen ook trillingen aan de belendingen worden veroorzaakt. De trillingsintensiteiten ter plaatse van de belendende gebouwen door trillen van funderingselementen kunnen rekenkundig worden gekwantificeerd met behulp van de rekenmethodiek zoals opgenomen in de CUR 166.
- Heien van palen. Door het heien van palen wordt de omliggende grond in beweging / trilling gebracht. De trillingsintensiteit ter plaatse van de belendingen door het heien van palen kan rekenkundig worden gekwantificeerd met behulp van de rekenmethodiek conform PREPAL.
- Verkeer en andere "algemene" trillingsbronnen. Ten gevolge van verkeer- / transportbewegingen, machines, laden en lossen en andere werkzaamheden wordt de omliggende grond in beweging / trilling gebracht. Deze bronnen zijn sterk uitvoeringsafhankelijk en kunnen daarom voorafgaand aan de werkzaamheden onvoldoende in beeld gebracht worden. Aangezien deze trillingen moeilijk te voorspellen maar wel aanzienlijk kunnen zijn (zeker in de beleving van bewoners van de belendingen) wordt aanbevolen om deze trillingen tijdens de uitvoering te beheersen en bewaken middels trillingsmetingen.

Ten aanzien van het laatste punt wordt nog specifiek opgemerkt dat funderingsmachines ten bate van bijvoorbeeld boorpalen en diepwanden zeer zware machines zijn, die bij rijden, remmen en wrikken/manoeuvreren met name op slappe veen/ en kleilagen aanzienlijke horizontale trillingen kunnen veroorzaken. Uit de aangeleverde stukken blijkt dat ten aanzien van bovenstaande de monitoring van trillingen niet goed is ingeschat:

In het monitoringsplan wordt aangegeven dat de aard van de werkzaamheden zodanig is dat online monitoring niet noodzakelijk zal zijn. Het aan te brengen van constructies, zoals diepwanden en boorpalenwanden, is namelijk trillingsarm, waardoor, volgens het monitoringsplan, kan worden volstaan met periodieke meting en uitlezing, of zelfs geen meting.

De rekenkundig gekwantificeerde trillingsintensiteiten kunnen worden getoetst conform de in Nederland gehanteerde richtlijn SBR-A (voor schade aan gebouwen en buisleidingen).

De volgende mogelijke grondvervormingsbronnen kunnen worden aangewezen bij dijkversterkingsprojecten:

- Ophogingen. Door het aanbrengen van de grond bij een dijkversterking vinden veranderingen in de grondspanningen plaats (verhoging van de grondspanning en mogelijk wijziging van de hoofdspanningsrichting van de grondspanningen) die tot grondvervormingen kunnen leiden.
- Inklinking door het trillen van de damwanden. Door het trillen van damwanden kunnen grondvervormingen door inklinking van de grond ontstaan. Dit is met name van belang bij los en matig vast gepakte zandlagen met een lage relatieve dichtheid. Het zettingsverloop als gevolg van het trillen van damwanden (inklinking van de ophooglaag) kan voor Nederlandse omstandigheden rekenkundig worden gekwantificeerd met behulp van het rekenmodel van Hergarden, TUDelft, december 2000.
- Statisch drukken van damwanden. Door het drukken van damwanden kan langs de damwand enige zetting ontstaan als gevolg van het meetrekken van de grond. Dit effect wordt in deze risicoanalyse kwalitatief beschouwd op basis van ervaring. Daarnaast kan er een effect zijn van het drukken in de reactiekracht op de druksteling.
- Installatie invloed diepwanden. Het graven van een sleuf voor het maken van een diepwandpaneel kan in de directe omgeving tot gevolg hebben dat:
 - door instabiliteit van de sleufwand er grond in de met bentoniet gevulde sleuf terecht komt en er daardoor holtes in de ondergrond naast de sleuf ontstaan die op korte of wat langere termijn leiden tot zakkingen van het maaiveld;
 - de draagkracht van de ondergrond op korte afstand van de sleuf vermindert als gevolg van ontspanning van de ondergrond.

Problemen met de stabiliteit van de sleufwand kunnen eerder worden verwacht in zand- en grindlagen dan in klei- en veenformaties. In slappe grond zoals klei- en veenlagen kunnen daarentegen wel horizontale deformaties optreden door verdringing van de grond als gevolg van de hoge betondruk.

- Installatie invloed andere constructieve elementen, grondverbeteringstechnieken. Bij de beoordeling van de installatie-effecten van andere constructieve elementen of grondverbeteringstechnieken dient beschouwd te worden wat er wordt aangebracht en hoe dit gebeurt. Palenwanden kunnen bijvoorbeeld worden aangebracht middels een grondverwijderende techniek maar ook middels een grondverdringende techniek. Daarnaast zal bij beide methoden rekening gehouden moeten worden met hoge horizontale betondrukken in de nog niet uitgeharde kolom. Soilmix (MIP - Mixed In Place) kan middels meerdere technieken worden uitgevoerd. Bij de eerste kennismaking met deze technieken in Nederland werd vooral gebruik gemaakt van de "Scandinavische" droge methode. Hiermee werden aanzienlijke grondvervormingen tijdens installatie waargenomen zowel bij een doorlopend horizontaal maaiveld (zie proefvelden No-Recess) als bij de toepassing in dijken (Inside programma). Tegenwoordig wordt binnen Nederland veel gebruik gemaakt van natte technieken (zowel avegaarmethode, veelvuldig toegepast bij de aanleg van polderconstructies in Friesland, als middels gebruik van een frees (CSM) bij talloze bouwkuipen). De ervaringen met installatie-effecten van deze methoden, bij doorlopend horizontaal maaiveld, zijn zeer positief. Bij het maken van CSM wanden direct naast

belendingen, gefundeerd zowel op palen als op staal, zijn de gemeten vervormingen aan de belendingen bij meerdere projecten verwaarloosbaar gering. De installatie-effecten in de situatie bij dijkversterkingsprojecten dienen ook bij deze technieken vooraf goed beschouwd te worden; het is bij CRUX niet duidelijk of deze ervaring binnen Nederland voldoende beschikbaar is.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
12/22

- Trekken van damwanden. Door het trekken van de damwand ontstaat er ruimte in de grond. Aangenomen wordt dat deze vrijgekomen ruimte volledig wordt omgezet in maaiveldzakking. Het bepalen van de maaiveldzakking door het trekken van de damwanden kan met een theoretisch model van Hergarden (TUDelft, 2000) worden uitgevoerd.
- Invloed van grondwaterstandverandering in de omgeving. Door verlaging van grondwaterstanden ontstaat een verhoging van de korrelspanningen waardoor zettingen in de omgeving kunnen ontstaan. Let wel dat bij een grondwaterstandverhoging ook grondvervormingen kunnen optreden, zoals bijvoorbeeld bij zwelklei. Dit kan leiden tot een verlaging van het draagvermogen van de ondergrond.

Voor alle ervaringsgetallen en verwachtingen met betrekking tot grondvervormingen geldt dat deze zeer sterk beïnvloed worden door de mate van stabiliteit. Bij lage stabiliteit kunnen de vervormingen sterk toenemen (bij bijvoorbeeld een nagenoeg labiel evenwicht). Hiermee dient gezien de situatie bij waterkeringen (slappe gronden en taluds) dus terdege rekening gehouden te worden.

De gehele situatie, en dan vooral het feit dat er bij dijken doorgaans sprake is van ophogingen op slappe grond, resulteert erin dat ervaringen bij doorgaand horizontaal maaiveld (lees bouwkuipen) NIET zomaar overgenomen mogen worden bij de risico beoordeling in dijkversterkingsprojecten.

Het berekende cumulatieve grondvervormingsverloop wordt opgelegd aan de belendende panden middels de 'Methode der grensrekken' ter bepaling van de kans op schade. Hierop wordt hieronder nader ingegaan.

6.3 Bepaling schaderisico's

6.3.1 Trillingen

Het beoordelen van trillingen ten aanzien van schade kan plaatsvinden op basis van de SBR-A.

6.3.2 Vervormingen met Methode der grensrekken

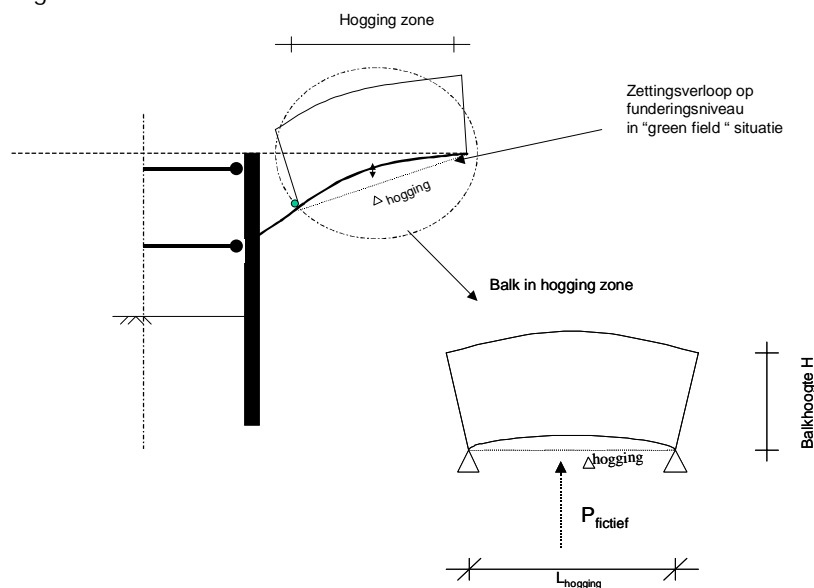
Met deze empirisch, analytische rekenmethodiek worden maatgevende rekken in het gebouw ten gevolge van de opgelegde verschil(grond)vervormingen bepaald. Het gebouw wordt hierbij vereenvoudigd geschematiseerd door een geavanceerd balkmodel (Timoshenko balk rekening houdend met buig- en afschuifvervormingen). Er wordt geen rekening gehouden met grond - constructie interactie waardoor de methode wordt geacht een conservatieve bovengrens van te verwachten schade weer te geven. Deze empirisch getoetste methodiek geeft een indicatie weer van de mogelijke schadeomvang ten gevolge van de aanleg van de bouwkuipconstructie. De methodiek geeft de state-of-the-art in de ontwerppraktijk in het binnen- en buitenland weer en is succesvol toegepast voor schadepredicties van belendingen bij klein- en grootschalige ondergrondse bouwprojecten in binnenstedelijke omgeving.

Het wordt aanbevolen om de empirisch, analytische “Methode der grensrekken” te hanteren ter bepaling van schade aan belendende panden. De principes van deze methodiek zijn het bepalen van geometrische schadeparameters (“angular distortion” (relatieve hoekverdraaiing), “deflection ratio” (relatieve doorbuiging) en horizontale rek uit de greenfield grondvervormingen ter plaatse van het gebouw. Het gebouw (geschematiseerd als een balk) wordt gesplitst in een opbuigingszone (hogging) en een doorbuigingszone (sagging); zie Figuur 1.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
13/22



Figuur 1: Schematisering methode der grensrekken voor verticale verschillzettingen

Op de als balk geschematiseerde constructie worden de grondvervormingen opgelegd en worden vervolgens met behulp van mechanische formules conform de elasticiteitsleer lineair-elastische rekken berekend. Om met een grote bandbreedte van in de praktijk voorkomende L/H (lengte/hoogte)-verhoudingen van constructie-elementen rekening te houden, wordt daarbij in de balkformules o.a. met afschuifvervormingen rekening gehouden. De berekende rekken worden vervolgens gerelateerd aan empirisch afgeleide observaties tussen rekken en optredende schade.

Tabel 2: Schadeclassificatiesysteem conform BRE

Schadecategorie	Schadeklasse
Esthetische, architectonische schade	Verwaarloosbaar
	Zeër licht
	Licht
Functionele Schade	Matig
	Ernstig
Constructieve Schade (Stabiliteitsproblemen)	Zeër ernstige schade

Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een bovengrens van de te verwachten schade bepaald. Als acceptabele grens in de ontwerp praktijk wordt de schadeklasse “lichte” esthetische schade aangehouden (zie groen gearceerd gebied in Tabel 2).

6.3.3 Toetsing vervorming conform SBR- rapport " Leidraad ... grondwaterstandsverlaging op de bebouwing"

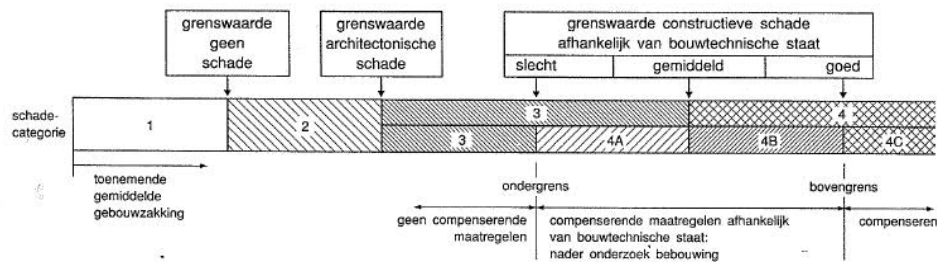
Op basis van deze SBR-Leidraad kan een schade inschatting gemaakt worden op basis van de bouwkundige staat van de bebouwing, het funderingstype en de omvang en duur van de zettingen. In de zettingsberekening ten gevolge van de grondwaterstandsverlaging is in eerste instantie uitgegaan van een homogene bodemopbouw en constante samendrukkingsparameters. In de praktijk kan onder andere door inhomogeniteit van het bodemprofiel en variatie van de samendrukkingsconstanten een gebouwsakking optreden welke mogelijk ongelijkmatiger verloopt dan gebouwsakking conform het berekende vervormingsverloop. Hiermee wordt conform SBR-rapport "Leidraad voor het onderzoek naar de invloed van een grondwaterstanddaling op de bebouwing" rekening gehouden door als input de gemiddelde gebouwsakking te hanteren.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

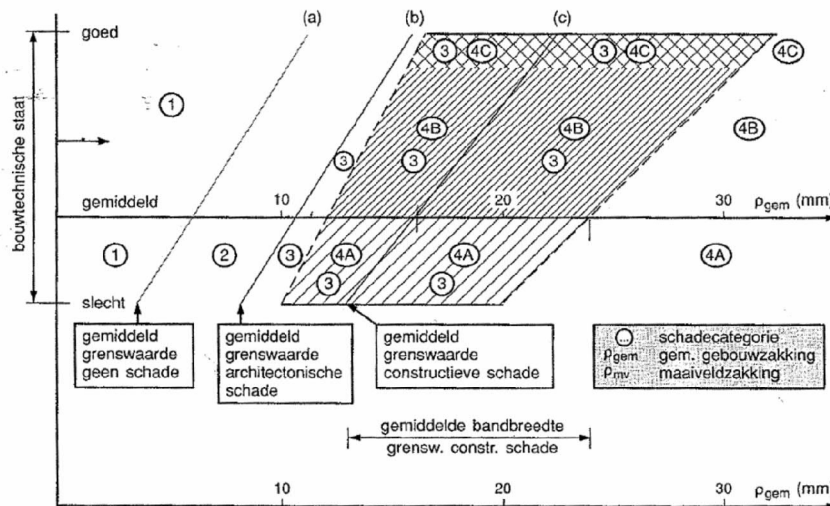
Ons kenmerk
NT21457a3

Pagi na
14/22

In Figuur 3 is de mogelijke spreiding in grenswaarde voor de gemiddelde gebouwsakking in afhankelijkheid van diverse invloedsfactoren weergegeven. In het figuur wordt de bouwtechnische staat uitgezet tegen de gebouwsakking.



Figuur 2 Grafische weergave van grenswaarden en categorieën (bron: SBR)



Figuur 3 Grenswaarden gebouwsakking (bron: SBR)

6.3.4 Overdracht verticale grondvervormingen aan palen

Voor op palen gefundeerde, belendende panden dienen de verticale grondvervormingen door de bouwput op verschillende niveaus in de grond te worden beschouwd. Daaruit is een mogelijke zetting van de palen af te leiden, waarbij rekening dient te worden gehouden met de volgende mogelijke effecten:

- A. Mogelijke activering van negatieve kleeft indien (in het geval van puntdragende palen) de grondvervormingen boven het paalpuntniveau groter zijn dan de zettingen op paalpuntniveau.
- B. Zettingen op paalpuntniveau, waarbij voor puntdragende palen meestal een directe paalzakking te verwachten is.
- C. Zettingen tengevolge van paalpuntontspanning.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
15/22

Voor de kwantificering van aandeel A. wordt in SBR-rapport d.d. april 1998 een empirische bandbreedte aangegeven voor het in rekening te brengen aandeel van de verhouding van gebouwzakking/maaiveldzetting voor stuitpalen voor een karakteristiek Amsterdams bodemprofiel. Hieruit volgt een verhouding van de paalzakking/maaiveldzakking van 5-20%. Tevens wordt in de SBR-rapportage vermeld dat de bandbreedte bij nieuwe betonnen en/of stalen palen op stuit circa 2% tot 7% bedraagt.

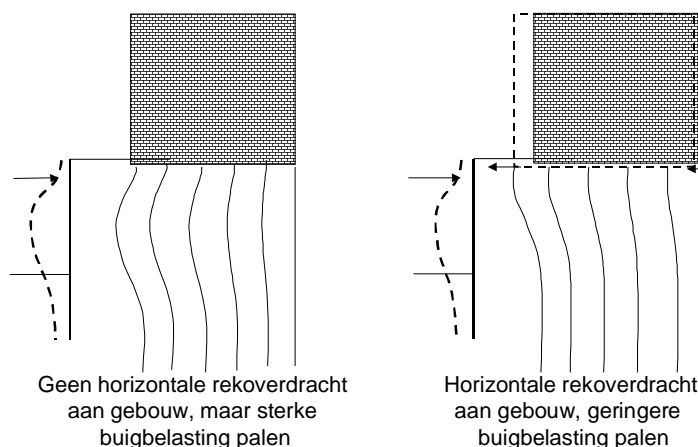
Het wordt benadrukt dat deze bandbreedten algemeen zijn en per situatie afhankelijk zijn van verschillende factoren. De mate van overdracht is onder andere afhankelijk van de grootte van de te mobiliseren negatieve kleeft, de permanent aanwezige paalbelasting en het last-zakkingsgedrag van de paal. Bovendien zal de gepresenteerde procentuele verhouding niet van toepassing zijn voor onbeperkt verder toenemende maaiveldzettingen, omdat op een gegeven moment de maximaal mogelijke negatieve wrijvingskrachten tussen grond en paal zijn geactiveerd.

Omdat het in de praktijk niet mogelijk is om vooraf het last-zakkingdiagram van paalfundering c.q. het reeds gemobiliseerde negatieve kleeftaandeel op deze palen te kunnen bepalen, wordt voor deze beschouwingen voor de overdracht van maaiveldzakkingen naar paalzakkingen in principe van de bovengrens van 20% uitgegaan.

6.3.5 Overdracht horizontale grondvervormingen via de palen aan de constructie

Ten gevolge van de horizontale grondvervormingen ondergaan de palen laterale buigbelasting. Hierbij is de randvoorwaarde aan de paalkop (scharnierende verbinding of ingeklemde verbinding met funderingsmuur of funderingsvloer) essentieel voor de krachtsoverdracht en de momentenbelasting in de paal.

Het mechanisme voor het effect van horizontale grondvervorming is geschetst in Figuur 4.



Figuur 4 Overdracht horizontale grondvervormingen aan op palen gefundeerde constructies

Voor de beoordeling van het effect van horizontale verschilvervorming wordt voor de belendingen op palen in eerste instantie het verloop van de vervormingen op maaiveldniveau beschouwd. Hierbij wordt verondersteld dat de palen deze horizontale verschilvervorming van de grond gedeeltelijk volgen en 50% van de horizontale vervormingen ter plaatse van de paalkoppen (dus nagenoeg aan het maaiveld) worden overgedragen aan het bouwwerk. In werkelijkheid is de mogelijke horizontale krachtsoverdracht tussen de paalkop en de funderingsmuur afhankelijk van de details van deze verbinding, de beddingstijfheid van de palen en de horizontale normaalstijfheid van de constructie. De 50% overdracht van horizontale verschilvervorming bij paalfundering is als conservatieve bovengrens te beschouwen.

Door de gekozen conservatieve berekeningsaannamen (geen beschouwing van interactie tussen gebouw en grond) wordt rekenkundig een bovengrens van de te verwachten schade bepaald. Als acceptabele grens in de ontwerp praktijk wordt de schadeklasse "lichte" esthetische schade aangehouden (zie groen gearceerd gebied in Tabel 2).

6.3.6 Overdracht grondvervormingen aan op staal gefundeerde panden
Voor de overdracht van de greenfield grondvervormingen op funderingen op staal dient zowel voor de verticale als ook voor de horizontale grond(verschil)vervormingen 100% van de voorspelde vervormingen op aanlegniveau van de fundering te worden gehanteerd.

7 Welke specifieke monitoring is van toegevoegde waarde specifiek daar waar het omgevingsbeïnvloeding voor dijkversterkingen aangaat?

7.1 Inleiding

Het doel van het monitoren tijdens de uitvoering van de bouwwerkzaamheden is om, in verschillende stadia van de uitvoering, gegevens over de ontwikkeling van mogelijke omgevingsbeïnvloeding (door het meten van bijvoorbeeld damwand- of grondvervormingen, vervormingen en trillingen ter plaatse van de belendingen) ter beschikking te hebben. De gemeten waarden worden tijdens de uitvoering met de in een monitoringsplan opgestelde signalerings- en alarmwaarden vergeleken.

Indien door de metingen onvoorziene afwijkingen van de voorspelling gaandeweg het bouwproces worden geconstateerd, kan door een terugkoppeling van de monitoringsresultaten met de schadepredicties op tijd worden bepaald of het wel of niet noodzakelijk is om een (vervormings- of trillingsreducerende) maatregel te treffen en indien ja welke maatregel het meest effectief zal zijn. Op deze manier kan met behulp van de meetdata op de voortgang en de prestatie van het bouwproces op tijd worden geanticipeerd en kunnen maatregelen worden genomen. Het monitoringsplan is een belangrijk onderdeel van de proactieve risicobeheersing, waarbij het adagium geldt "op tijd meten is op tijd weten".

De deskundige interpretatie en beoordeling van de monitoringsresultaten is essentieel voor een proactieve risicobeheersing en vormt de basis om te

kunnen beslissen over de noodzaak van het toepassen van een economische (zettings- of trillingsreducerende) maatregel gedurende het bouwproces. Door de combinatie van de verschillende meetinformatie (bijvoorbeeld grondwaterstandsmetingen, hoogtemetingen van maaiveld en de constructies, metingen van de horizontale vervorming van grond en constructies alsmede trillingsmonitoring) zijn de invloedsbronnen duidelijk te achterhalen. In de afweging voor het nemen van een maatregel is de monitoring van de belendende constructies als maatgevend te beschouwen.

Zoals volgt uit de bovenstaande beschrijving is het doel van monitoring dus verschillende mechanismen, onderdelen en locaties tijdens verschillende fasen van de bouwwerkzaamheden te meten, registreren en op basis daarvan controleren.

Onderscheid wordt gemaakt tussen monitoringswerkzaamheden welke voorafgaand aan de bouwwerkzaamheden dienen plaats te vinden en werkzaamheden welke tijdens het bouwproces worden uitgevoerd.

7.2 Monitoring voorafgaand aan de werkzaamheden

Voorafgaand aan de bouwwerkzaamheden dient de huidige staat van de belendende bebouwing en mogelijk ook andere belendingen, met een bouwkundige opname vastgesteld te worden. Aan de hand van de bouwkundige opname kunnen vermeende schades aan panden als gevolg van de sloop- en bouwwerkzaamheden achteraf op juistheid worden beoordeeld. De bouwkundige opnamen dienen te worden uitgevoerd door een onafhankelijk, deskundig bedrijf en dienen voor start van bouwwerkzaamheden te worden gedeponeerd bij een notaris.

Onder belendingen wordt verstaan, alle vreemde objecten binnen het invloedsgebied bijvoorbeeld:

- Infrastructuur (wegen / tram / spoor)
- Kabels en leidingen
- Bebouwing
- Maar ook de waterkering zelf

Alvorens de werkzaamheden te starten dient ook het gehele monitoringssysteem (zie verder) ingericht te worden en dienen voldoende nulmeting uitgevoerd te worden. De hoeveel nulmeting is afhankelijk van het te monitoren aspect en de mogelijke variatie hiervan in de tijd. Bijvoorbeeld grondwaterstanden welke seizoenen fluctuatie kennen maar ook bijvoorbeeld temperatureffecten.

7.3 Monitoring tijdens de werkzaamheden

7.3.1 Monitoring van de bron

Dit is het monitoren / registreren van uitvoeringsparameters bij het aanbrengen van bijvoorbeeld grondophogingen (waar, hoeveel (hoog) , wanneer) maar ook bijvoorbeeld bij het inbrengen damwand (waar, wanneer, type plank, lengte plank, type blok, slagkracht en frequentie). De verschillende geotechnische uitvoeringsnormen hebben een hoofdstuk dat toezicht, registratie en monitoring behandelt. Bijvoorbeeld:

NEN-EN 12063 (nl) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Damwanden
NEN-EN 12699 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verdringingspalen
NEN-EN 12715 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Grouten
NEN-EN 14199 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Micropalen
NEN-EN 14475 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Gewapende grond constructies
NEN-EN 14475+C1 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Correctieblad
NEN-EN 14679 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Diep mengen
NEN-EN 14679+C1 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Correctieblad
NEN-EN 14731 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Grondverbetering door dieptrillen
NEN-EN 15237 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Verticale drainage
NEN-EN 1536+A1(2015) (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Boorpalen
NEN-EN 1537 (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Grondankers
NEN-EN 1538+A1(2015) (en) Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk - Diepwanden

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
18/22

7.3.2 Monitoring van ontvanger

Naast monitoren van de bron kan dient ook de ontvanger gemonitord te worden.

- De ontvanger kan worden gesplitst in:
 - De grond;
 - De belendingen (dit is de eindontvanger in de meeste gevallen kan de grond worden gezien als doorgeef medium tussen bron en belending)

Grond

Monitoren in de grond zelf, in plaats van alleen aan de belending, heeft als voordeel dat de respons van de grond zelf direct gemeten wordt en dat indien beide gemonitord worden de overdrachtsfactoren tussen grond en belending bepaald kunnen worden. Daarnaast kan door monitoring aan de grond op verschillende posities inzicht verkregen worden in het grondgedrag en uitdemping van de verschillende gemeten mechanismen. Op basis van kentallen voor overdrachtsfactoren tussen grond en belending kunnen dan ook voorspellingen gedaan worden over het gedrag van belendingen.

Welke grondreacties gemonitord dient te worden afgestemd op de bron. De belangrijkste aspecten die in / aan de grond geregistreerd dienen te worden zijn:

- verticale grondvervormingen;
- horizontale grondvervormingen;
- Waterspanningen en grondwaterstanden;
- Trillingen.

Hiermee worden ook de mechanismen, consolidatie en stabiliteit gemonitord.

Tabel 3 Overzicht monitoringsmethoden, grondvervormingen en grondwater(spanningen)

Methode	Mechanisme	Geschiktheid
Zakbaak	Zetting / klink	Beproefde methode voor meting zettingen, tevens robuust indien niet door externe factoren beïnvloed (zoals aanrijden tijdens uitvoering)
Elektronische zakbaak	Zetting / klink	Minder beproefde methode, minder afhankelijk van externe factoren zoals aanrijding

Methode	Mechanisme	Geschiktheid
Zettingsmeet-slang	Zetting	Beproefde methode, bij zeer grote zettingsverschillen mogelijk breuk slang risico: lekweg in dijk
Meetspijker / hoogtemeet-bouten	Zetting / verticale-horizontale vervorming	Beproefde methode, robuust op verharde oppervlakten
Extensometer	Zetting	Bedoeld om zetting in afzonderlijke lagen te kunnen onderscheiden. Bewerkelijk om aan te brengen, niet verlengbaar en gevoelig voor horizontale vervorming. In verband met eisen (ligging maaiveld) en rekenmethode fitberekening geen toegevoegde waarde.
Inclinometer	Horizontale vervorming	Beproefde methode zolang de hellingmeetbuis een vast punt heeft. Tevens robuust
Fenomarker	Horizontale vervorming / verticale vervorming	Als meetspijkers, bij slappe normale gronden
SAAF (vergelijkbaar met inclinometer, door middel van digitale meting)	Horizontale vervorming / verticale vervorming	Beproefde methode zolang de hellingmeetbuis een vast punt heeft Tevens robuust
Liquid level netwerk	Verticale vervorming	Gevoelig meetsysteem voor kleine vervormingen, bij grote vervormingen niet robuust.
Glasfiber	Relatieve vervormingen / temperatuur (stabiliteit)	Geen absolute verplaatsing, relatief nieuwe methode voor stabiliteit en relatieve vervorming, tijdens uitvoering te veel verschilvervorming om betrouwbaar te zijn. Uitleesunits zijn relatief kostbaar.
Waterspanning smeters	Consolidatie / waterspanningsveranderingen	Beproefde methode voor meting waterspanningen, robuustheid lange termijn door dichtslibben minder goed.
Satelliet metingen	Verticale vervorming	Relatief nieuwe methode, zeer afhankelijk van reflectie, te gebruiken voor relatief kleine verticale vervormingen. Voordeel: ook metingen in het verleden beschikbaar
Peilbuizen	Waterstand	Beproefde en robuuste methode, toe te passen in doorlatende lagen.

Belendingen

Naast de grond dient ook direct aan belendingen gemonitord te worden.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Voor een groot deel zijn de te monitoren aspecten gelijk als bij de grond:

- Verticale (verschil) vervorming
- Horizontale (verschil) vervorming
- Trillingen
- Bestaande scheuren

Ons kenmerk
NT21457a3

Pagina
20/22

Trillingen

Zoals eerder gemeld kunnen trillingen worden veroorzaakt door allerlei bronnen, niet alleen als er specifiek "getrild" wordt, damwanden, heipalen, verdichten van aanvullingen, dient er dus op trillingen gemonitord te worden

Trillingen dienen gemonitord te worden op basis van de SBR-A (en of B/C in de specifieke gevallen van hinder of storing aan apparatuur).

De meetpunten worden gekozen op stijve punten van de hoofd draagconstructie van de belendingen en net boven maaiveld. De opnemer wordt door kabels verbonden aan een datalogger, die de data registreert, zie Figuur 5 voor een voorbeeld van dergelijke apparatuur.



Figuur 5 Voorbeeld trillingsmeetapparatuur

De trillingen aan de sensoren worden gemeten in verticale richting en twee onderling loodrechte horizontale richtingen in overeenstemming met de hoofdasen van het gebouw.

De trillingsbeïnvloeding van de belendingen gedurende de werkzaamheden wordt conform het monitoringsplan bewaakt door middel van trillingsmeters die voorzien zijn van zwaailichten. De zwaailichten geven het bereiken van de SBR-A trillingsgrenswaarden op het werk aan.

Hoogte / vervormingsmetingen

Met een nauwkeurigheidswaterpassing moet de hoogte van de meetbouten ten opzichte van NAP worden ingemeten. De hoogtemetingen dienen zodanig aan meerdere stabiele referentiepunten in de omgeving te worden gerelateerd, dat de vereiste meetnauwkeurigheid van $\pm 0,5\text{mm}$ wordt gewaarborgd.

De onderling afstand van meetpunten dient afgestemd te worden op de constructie en dient geschikt te zijn voor het verwerken van de resultaten zodat ook goed inzicht wordt verkregen in verschil vervormingen.

In sommige gevallen kan het wenselijk zijn om de panden (of bv. een belendende kade) in x,y,z richting te meten (met meetstickers of prisma's). Meetnauwkeurigheid van deformatiemeting in x,y,z bedraagt +/-2mm.

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Frequentie

De frequentie van monitoring dient te worden afgestemd op de verschillende bouwfasen. Aangezien een van de doelen van de monitoring het verifiëren van het ontwerp is dienen de resultaten zo uitgevoerd te worden dat de metingen vergeleken kunnen worden met de predicties. Als specifieke monitoringsmomenten op basis van bouwfasering in de tijd te ver uit elkaar liggen dienen tussentijds extra meetmomenten ingepland te worden.

Pagina
21/22

8 Welke aanbevelingen kunnen worden gegeven voor het versterken van waterkeringen in gronden met slappe lagen?

- Ten eerste dient bepaling en beoordeling van de omgevingsbeïnvloeding een integraal onderdeel te worden van het ontwerp en tijdens uitvoering. Hierbij dienen de verschillende onderdelen in de verschillende fasen van het project onderling op elkaar aan te sluiten en dient gecontroleerd / geverifieerd te worden of wijzigingen in ontwerp, proces of uitvoeringsmethodiek effect hebben op de risicobeoordeling. Alle onderdelen zijn van belang en dienen op elkaar afgestemd te zijn: een goed ontwerp zonder correcte monitoring is ongewenst en omgekeerd geldt hetzelfde. Daarnaast dient het monitoringsplan en de daarin opgenomen signalering- en interventiewaarden op het ontwerp te zijn afgestemd.
- Ontwerp lijkt tot op heden vaak vooral te zijn gericht op de UGT (Uiterste GrensToestand), lees veiligheidssituatie. Er is, ook bij KIS, wel aandacht voor omgevingsbeïnvloeding maar deze aandacht lijkt nog niet te resulteren in een volledig complete / correcte analyse van de omgevingsbeïnvloeding.
- Er dient aandacht te zijn voor de te hanteren berekeningsmodellen en (grond)parameters die in de analyses worden gehanteerd. Dit wordt specifiek opgemerkt omdat afhankelijk van het te toetsen mechanisme (bijvoorbeeld installatie effecten) beoordeeld dient te worden of tijdseffecten een rol spelen. Daarnaast dienen de stijfheid- en sterkteparameters afgestemd te worden op de optredende rek. Het uitvoeren van vervormingsberekeningen (en daarop volgende schade-risicopredicties) op basis van grote rekken is niet correct.
- Ervaringen van effecten bij bijvoorbeeld bouwkuipen, kunnen NIET een op een worden overgenomen bij dijkversterkingsprojecten. Ervaring leert dat installatie effecten veel groter en zelfs anders kunnen zijn dan verwacht. Zie KIS waarvan vooraf ten onrechte werd gedacht dat door het toepassen van een grond verwijderende boorpaal er geen installatie effecten zouden zijn.
- Gezien de ervaringen ten aanzien van installatie effecten wordt aanbevolen om hier veel meer aandacht aan te besteden. Er wordt aanbevolen om veel meer gebruik te maken van proefvelden waar allerlei aspecten vooraf getest / gecontroleerd / geverifieerd kunnen worden zodat indien noodzakelijk beheersmaatregelen of wijzigingen in het proces genomen kunnen worden.

Opgemerkt wordt dat een beperkte hoeveelheid van het zeer omvangrijke KIS dossier ter beoordeling is aangeleverd bij CRUX en dat de beschikbare tijd en budget om antwoord te geven op de vragen gelimiteerd waren.
De insteek van het Waterschap ten aanzien van risico's voor de omgeving lijkt voor zover CRUX kan beoordelen juist. Uit de Vraagspecificatie Proces "

CRUX Engineering BV
cruxbv.nl

Ons kenmerk
NT21457a3

Voorkomen van schade aan omgevingsobjecten.

Opdrachtnemer dient:

- alles in het werk te stellen om schades aan omgevingsobjecten te voorkomen.
- Indien beheersmaatregelen die onderdeel zijn van de Aanbieding in de praktijk de schade onvoldoende beperken andere beheersmaatregelen toe te passen waartoe toepassing van een andere constructie of andere inbrengtechniek en/of het vergroten van de afstand tot de bebouwing kunnen behoren.

Pagi na
22/22

Daarnaast is vooraf een risico analyse uitgevoerd (hoe is bij CRUX niet bekend), zijn gebouwen opgekocht en zijn gebouwen gekenmerkt die volgens het contract afgeschermd hadden moeten worden.
Uiteindelijk is sterk afgeweken van bovenstaande. Hoe dit heeft kunnen gebeuren en welke onderbouwingen daaraan ten grondslag lagen is voor CRUX onduidelijk.

Bijlage 1 Inhoudsopgave

1 Inleiding	1
1.1 Leeswijzer	2
1.2 Versiegeschiedenis	2
2 Zijn er aandachtspunten bij het ontwerp of implementatie van de KIS versterkingen over het hoofd gezien?	3
3 Kan ook een veiligheidsprobleem ontstaan door de vervormingen die nu optreden?	6
4 Is bij dit type dijkversterkingen de schade bij huizen dichtbij onvermijdelijk, kunnen deze worden beperkt of voorkomen, en hangt dit ook af van de versterkingstechniek?	7
5 In hoeverre en onder welke voorwaarden is het toepassen van funderingselementen bij dijkversterkingen in bebouwde omgeving een geschikte methode?	8
6 Welke criteria met betrekking tot omgevingsbeïnvloeding zoals deze nu worden toegepast in stedelijk gebied zijn voor dijkversterkingen toepasbaar?	9
6.1 Inleiding	9
6.2 Grondvervormingen en trillingen	10
6.3 Bepaling schaderisico's	12
6.3.1 Trillingen	12
6.3.2 Vervormingen met Methode der grensrekken	12
6.3.3 Toetsing vervorming conform SBR- rapport " Leidraad ... grondwaterstandsverlaging op de bebouwing"	14
6.3.4 Overdracht verticale grondvervormingen aan palen	14
6.3.5 Overdracht horizontale grondvervormingen via de palen aan de constructie	15
6.3.6 Overdracht grondvervormingen aan op staal gefundeerde panden	16
7 Welke specifieke monitoring is van toegevoegde waarde specifiek daar waar het omgevingsbeïnvloeding voor dijkversterkingen aangaat?	16
7.1 Inleiding	16
7.2 Monitoring voorafgaand aan de werkzaamheden	17
7.3 Monitoring tijdens de werkzaamheden	17
7.3.1 Monitoring van de bron	17
7.3.2 Monitoring van ontvanger	18
8 Welke aanbevelingen kunnen worden gegeven voor het versterken van waterkeringen in gronden met slappe lagen?	21
Bijlage 1 Inhoudsopgave	23